



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BALSAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE

**DIEGO PEREIRA SANTOS**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE FILME DE PARTÍCULAS A BASE DE CAULIM NA  
FISIOLOGIA DE PLANTAS DE EUCALIPTO**

Balsas - MA

2019



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



**DIEGO PEREIRA SANTOS**

## **EFEITO DA APLICAÇÃO DE FILME DE PARTÍCULAS A BASE DE CAULIM NA FISIOLOGIA DE PLANTAS DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis Figueiredo.

Balsas - MA

2019

Santos, Diego Pereira.

Efeito da aplicação de filme de partículas a base de caulim na fisiologia de plantas de eucalipto / Diego Pereira Santos. – Balsas, 2019. 56 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Centro de Estudos Superiores de Balsas – CESBA, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis Figueiredo.

1. Fotoproteção. 2. Fotossíntese. 3. Déficit hídrico. I. Título.

CDU 577.355:582.776



DIEGO PEREIRA SANTOS

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE FILME DE PARTÍCULAS A BASE DE CAULIM NA  
FISIOLOGIA DE PLANTAS DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis Figueiredo.

Aprovado em 10 / 03 / 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Afonso Mazzei Moura de Assis Figueiredo – UEMA (Orientador)

Prof. Dr. Eliemar Campostrini – UENF (Membro)

Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis – UEMA (Membro)

## AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio que sempre me ofereceu e por fomentar cada vez mais meu direcionamento aos estudos, me sendo sempre um alicerce;

Ao Prof. Fábio Figueiredo, pela orientação, por toda paciência, apoio e disponibilidade. Por todo conhecimento compartilhado, atenção, confiança e por ter sido uma extensão da minha família nesse período;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Maranhão – FAPEMA, pela concessão da bolsa;

À Universidade Estadual do Maranhão - UEMA;

Ao Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente - PPGAA;

Ao Tessengerlo Group, NovaSource por ter disponibilizado o produto para a realização do trabalho;

Aos meus grandes amigos, Fernando Ralfer, Marcos Aurélio e Johnny Viegas, por sempre me darem forças, e estarem comigo me apoiando nos bons e maus momentos, além de partilharem grandes laços de confiança;

À todos do Laboratório de Ciências Ambientais e Biodiversidade da UEMA, Campus São Luís, por terem contribuído consideravelmente com a produção desse trabalho, em especial à Abimael e Cristiely, os quais não mediram esforços ao me auxiliar e oferecer apoio, fico profundamente agradecido.

Ao Prof. Fabrício, por ter contribuído sobremaneira com o desenvolvimento do projeto da dissertação e pela disponibilidade dos equipamentos para as análises;

Ao Prof. Heder Braun, por todo o auxílio com as análises estatísticas e compartilhamento de informações;

À Profa. Elizabeth Fernandes por ter me proporcionado a experiência da iniciação científica, a qual me permitiu, por intermédio de suas orientações, desenvolver competências e gostos relacionados a prática da pesquisa acadêmica, e por ainda hoje expressar tanto contentamento e apoio;

E por fim, a todos que partilharam desse momento comigo e puderam me auxiliar ou contribuir de alguma forma.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>9</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 O gênero <i>Eucalyptus</i> .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Efeitos Deletérios da Alta Temperatura e Radiação na Produção Vegetal.....</b>	<b>11</b>
<b>3.3 Estresse Hídrico .....</b>	<b>13</b>
<b>3.4 Filme de Partícula Protetora .....</b>	<b>15</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Área Experimental.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Implantação do Experimento .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Aplicação dos Tratamentos.....</b>	<b>20</b>
<b>4.4 Avaliações Biométricas .....</b>	<b>20</b>
<b>4.5 Avaliações Fisiológicas .....</b>	<b>21</b>
<b>4.6 Delineamento Experimental .....</b>	<b>22</b>
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 Avaliação da resposta de plantas de eucalipto submetidas a aplicação de diferentes doses de caulim.....</b>	<b>23</b>
<b>5.2 Avaliação da resposta de plantas de eucalipto submetidas a aplicação de diferentes doses de caulim após a interrupção da irrigação .....</b>	<b>32</b>
<b>6 DISCUSSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>6.1 Avaliação da resposta de plantas de eucalipto submetidas a aplicação de diferentes doses de caulim.....</b>	<b>41</b>
<b>6.2 Avaliação da resposta de plantas de eucalipto submetidas a aplicação de diferentes doses de caulim após a interrupção da irrigação .....</b>	<b>44</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## RESUMO

Diante do cenário atual de mudanças climáticas, o qual culmina no aumento das temperaturas globais pela intensificação do aquecimento global, é indispensável o desenvolvimento de tecnologias que favoreçam a sobrevivência e o crescimento de mudas após o plantio e consequentemente aumento da produtividade em campo diante dessa realidade. A aplicação de filmes de partícula a base de caulim calcinado tem sido utilizada como barreira protetora contra os efeitos deletérios da radiação solar e do excesso de temperatura. O presente trabalho visou avaliar os efeitos da aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado purificado em plantas de eucalipto, em condições normais de irrigação e sob sua interrupção. Nas duas condições de cultivo foram estabelecidos cinco tratamentos, sendo: controle (sem aplicação do filme de partículas), 3%, 5% 7% e 10% de volume de calda. A aplicação foi realizada na parte adaxial das folhas. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, apresentando cinco tratamentos com 10 repetições, totalizando 50 unidades experimentais para as plantas sob irrigação, enquanto que para a condição de interrupção da disponibilidade hídrica, feita aos 60 dias, 25 plantas permaneceram sendo irrigadas, e em 25 a irrigação foi cessada. As plantas foram avaliadas quanto à altura, o diâmetro ao nível do solo, a temperatura foliar, às trocas gasosas (assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub>, condutância estomática e transpiração), a eficiência instantânea e intrínseca do uso da água, a fluorescência da clorofila (rendimento quântico máximo do fotossistema II, densidade de centros de reação ativos e rendimento quântico efetivo de conversão de energia), a intensidade de verde e a ontogenia foliar. A aplicação do filme de partículas fotoprotetoras a base de caulim calcinado purificado mitigou os efeitos da intensidade luminosa e alta temperatura nas menores concentrações do volume de calda do produto, sob condições normais de irrigação, tendo a dose de 3% apresentado os melhores resultados no geral. Não foram observados efeitos significativos, da aplicação do produto, sob a interrupção da irrigação. O crescimento em altura e diâmetro, das plantas, apresentaram respostas positivas à aplicação do caulim, durante o período de avaliações, sendo os maiores incrementos observados para a dose de 3%.

**Palavras-chave:** Fotoproteção; Fotossíntese; Déficit hídrico.

## ABSTRACT

Given the current scenario of climate change, which culminates in the increase of global temperatures by the intensification of global warming, it is indispensable to develop technologies that favor the survival and growth of seedlings after planting and consequently increase productivity in the field in the face of this reality. The application of particle films based on calcined kaolin has been used as a protective barrier against the deleterious effects of solar radiation and excess temperature. The present work aimed to evaluate the effects of the application of particle film based on purified calcined kaolin in eucalyptus plants under normal irrigation conditions and under their interruption. In the two cultivation conditions, five treatments were established: control (without application of the particle film), 3%, 5%, 7% and 10% volume rate. The application was performed on the adaxial part of the leaves. The experimental design was a completely randomized design, presenting five treatments with 10 replications, totaling 50 experimental units for the plants under irrigation, while for the condition of interruption of water availability at 60 days, 25 plants remained under irrigation and in 25 irrigation has ceased. The plants were evaluated for height, soil diameter, leaf temperature, gas exchange (photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, stomatal conductance and transpiration), instantaneous and intrinsic water use efficiency, chlorophyll fluorescence maximum quantum of photosystem II, active reaction center density and effective energy conversion quantum yield), green intensity and foliar ontogeny. The application of the photoprotective film based on purified calcined kaolin has mitigated the effects of light intensity and high temperature at the lowest concentrations of the product volume under normal irrigation conditions, with the 3% dose having the best overall results. No significant effects of the application of the product were observed under interruption of irrigation. The growth in height and diameter of the plants showed positive responses to kaolin application during the evaluation period, with the highest increases observed at the 3% dose.

**Keywords:** Photoprotection; Photosynthesis; Water deficit.

## 1 INTRODUÇÃO

As zonas entre os trópicos possuem grande diversidade vegetal, e muito está associado às condições ambientais favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Em consonância com a eficiência tecnológica, as regiões tropicais são dotadas de grande potencial de produção florestal (DELIAS, 2013).

Dentre essas regiões, o Brasil é referência em investimentos em tecnologia e silvicultura de florestas plantadas, tendo destaque mundial no setor florestal, e possuindo a maior produtividade mundial em um menor tempo de rotação (ABRAF, 2013; LOPES et al., 2016; IBÁ, 2017).

O cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus* tem sido crescente no país, ao ponto de se tornar um dos mais adotados em povoamentos comerciais. Isso se deve a algumas espécies que o compõem apresentarem rápido crescimento, grande capacidade de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas do país e por produzirem madeira de alta qualidade com grande diversidade de uso (BERGER et al., 2002; FIGUEIREDO et al., 2011; PINTO et al., 2011; FERNANDES et al., 2015).

Mesmo o eucalipto possuindo grande capacidade adaptativa, são necessárias estratégias em prol de reduzir o impacto do estresse ocasionado por condições ambientais extremas, principalmente sob a atuação de mais de um fator estressante sobre as mudas (XAVIER et al., 2018). Muitos plantios, por exemplo, têm sido feitos em áreas sujeitas ao estresse hídrico.

A constante busca por povoamentos mais produtivos tem fomentado a pesquisa de materiais genéticos mais tolerantes a esse tipo de situação, que pode ocorrer durante o crescimento das plantas, além do desenvolvimento de tecnologias mais eficientes (FIGUEIREDO et al., 2011; OTTO et al., 2013).

Frente ao cenário de mudanças climáticas, que tem ganhado destaque mundial e representa a ocorrência de possíveis impactos à produção agrícola, em adição, a necessidade de suprir a demanda mundial de produtos, que cresce gradualmente, a agricultura tem o desafio de se adaptar a essas duas grandes mudanças, buscando formas de associar o aumento da produção com a mitigação dos efeitos decorrentes das mudanças climáticas (OLIVEIRA et al., 2013; BRILLANTE et al., 2016).

A relação entre fatores genéticos e ambientais tem grande efeito sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Pesquisas na busca de elucidar o tema são essenciais para a otimização da produção, aumento da produtividade e sustentabilidade dos

ecossistemas. Entender a influência das limitações impostas ajuda na busca por formas de mitigar seus efeitos (DELIAS, 2013; OTTO et al., 2013).

A água é um dos recursos que a planta mais precisa para sua sobrevivência, e é o que mais impacta a produtividade agrícola (SOUZA et al., 2001; BALARDIN et al., 2013), tendo efeitos complexos sobre as plantas (FERNANDES et al., 2015), tanto em nível anatômico, quanto morfológico, celular, bioquímico e molecular (TAIZ; ZEIGER, 2017).

A aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado purificado, sob as folhas das plantas, tem sido utilizado com o intuito de mitigar o efeito de estresse térmico e hídrico (ROSATI et al., 2007) e auxiliar no controle de insetos-praga e patógenos (D'AQUINO et al., 2011; GLENN et al., 2014; SILVA; SILVA, 2015). Pesquisas com produtos dessa composição tem apresentado efeitos positivos de sua aplicação na regulação da temperatura da superfície de folhas e frutos, na assimilação de carbono e na economia hídrica (BOARI et al., 2015).

Diversos avanços tecnológicos têm sido aplicados na silvicultura clonal brasileira, e ainda são observadas diferenças de produtividade nas florestas plantadas. Esse fato ressalta a necessidade de pesquisas contínuas acerca dos aspectos ecofisiológicos das plantas que compõem esses ambientes (XAVIER; DA SILVA, 2009; DELIAS, 2013).

Nesse contexto, este trabalho tem como escopo determinar os efeitos da aplicação do filme de partículas fotoprotetoras em plantas de eucalipto, em prol da mitigação dos impactos decorrentes da alta intensidade luminosa e da redução da disponibilidade hídrica, de forma a beneficiar aspectos produtivos inerentes ao clone estudado.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o efeito da aplicação de filme de partículas a base de caulim no crescimento inicial de plantas de eucalipto.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar o efeito da aplicação foliar de filme de partículas a base de caulim, em plantas de eucalipto, na redução dos efeitos negativos da alta radiação, da temperatura e do estresse hídrico sobre a resposta ecofisiológica das plantas;
- Avaliar o efeito da aplicação foliar de filme de partículas a base de caulim, em plantas de eucalipto, sobre o crescimento em altura e diâmetro do colo;
- Determinar a melhor dosagem de produto a ser aplicado em calda para potencializar a sobrevivência e o crescimento inicial desta cultura.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 O gênero *Eucalyptus*

As regiões tropicais são dotadas de grande potencial para a produção florestal, atribuído, em suma, às condições ambientais e a eficiência tecnológica empregada (DELIAS, 2013). O Brasil é referência em investimentos na área tecnológica e de silvicultura de povoamentos plantados, tendo destaque mundial no setor florestal, sendo o país que possui a maior produtividade em um menor tempo de rotação (ABRAF, 2013; LOPES et al., 2016; IBÁ, 2017).

As florestas plantadas são uma opção à extração de madeira em florestas nativas, reduzindo a pressão sobre estas e sua exploração inadequada (PROTASIO et al., 2014). O cultivo de espécies florestais exóticas dotadas de grande potencial de crescimento é comum no Brasil, o que é atribuído a sua fácil adaptação e a diversidade de usos comerciais da madeira (PREVEDELLO et al., 2013).

Nesse contexto, por apresentar rápido crescimento, grande capacidade de adaptação às diferentes condições edafoclimáticas e por produzir uma madeira de alta qualidade com grande diversidade de uso, o cultivo de espécies do gênero *Eucalyptus* tem aumentando no Brasil, sendo o mais adotado em povoamentos comerciais (BERGER et al., 2002; FIGUEIREDO et al., 2011; PINTO et al., 2011; FERNANDES et al., 2015).

O gênero *Eucalyptus* pertence à família das Myrtaceae. Oriundo de ilhas da Oceania, compreende cerca de 730 espécies, das quais, as mais utilizadas pelo setor industrial de base florestal do Brasil são: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. viminalis* e híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, destacando-se o *E. grandis* e seus híbridos como os mais plantados no país (BRONDANI et al., 2010; DELIAS, 2013; PINTO JÚNIOR et al., 2014).

No ano de 2016, os plantios florestais ocupavam cerca de 7,84 milhões de hectares no país, dos quais 5,67 milhões de hectares (72,32 %) representavam povoamentos de eucalipto, com média de produtividade de 35,7 m<sup>3</sup> por hectare ao ano. No estado do Maranhão, as áreas ocupadas por esse gênero permeavam os 221.859 ha. (IBÁ, 2017).

A densidade de povoamentos comerciais de eucalipto tem aumentando no Maranhão e regiões circunvizinhas, o que tem sido atribuído à crescente quantidade de empresas de base florestal, das quais cinco são de grande porte, distribuídas entre os segmentos de siderurgia, de cerâmicas e de papel e celulose (CARVALHO, 2016).

Diversos produtos são comercializados, atendendo a setores como o de celulose e papel, de painéis e madeiras industrializadas, de processamento mecânico, de madeira tratada, de siderurgia e carvão vegetal e de energia (ABRAF, 2013).

A produção de clones de eucalipto, para variados fins, adaptados a condições ambientais diversas encontradas nas regiões brasileiras, a custos competitivos, tem contribuído com o aumento dos plantios clonais em todo o território nacional, alcançando até áreas com períodos prolongados de seca, como o semiárido nordestino (XAVIER; DA SILVA, 2009; FERNANDES et al., 2014).

Muitos plantios têm sido feitos em áreas sujeitas ao estresse hídrico. Otto et al. (2013), ao comparar quatro clones de eucalipto implantados em uma área úmida e outra área seca, observaram que sob a condição de estresse hídrico, a produtividade das plantas foi 3,3 vezes inferior a encontrada em condições ótimas de disponibilidade hídrica.

Diversos avanços tecnológicos têm sido aplicados na silvicultura clonal brasileira, e ainda são observadas diferenças de produtividade nas florestas plantadas. Esse fato ressalta a necessidade de pesquisas contínuas acerca dos aspectos ecofisiológicos das plantas que compõem esses ambientes (XAVIER; DA SILVA, 2009; DELIAS, 2013).

O desafio em buscar povoamentos mais produtivos tem fomentado a pesquisa de materiais genéticos mais tolerantes a esses tipos de adversidades, que podem ocorrer durante o crescimento das plantas, além do desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a mitigação de impactos decorrentes de estresses ambientais (OTTO et al., 2013).

### **3.2 Efeitos Deletérios da Alta Temperatura e Radiação na Produção Vegetal**

Fatores genéticos associados à disponibilidade de recursos afetam diretamente as plantas. Estudos relacionados ao tema são essenciais para otimizar da produção, aumento da produtividade e sustentabilidade dos ecossistemas. Entender a influência das limitações que possam vir a surgir, ajuda na busca por formas de mitigar seus efeitos (DELIAS, 2013; OTTO et al., 2013).

O cenário de mudanças climáticas tem ganhado destaque mundial, representando grandes impactos à produção agrícola, diretamente afetada pelas condições meteorológicas. Em adição, a necessidade de suprir a demanda mundial de produtos cresce gradualmente (OLIVEIRA et al., 2013).

Nesse contexto, a agricultura tem o desafio de se adaptar a essas duas grandes mudanças, buscando formas de associar o aumento da produção de alimentos com a mitigação dos efeitos decorrentes das mudanças das condições climáticas (BRILLANTE et al., 2016).

Alterações em fatores ambientais, como a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), a disponibilidade de nutrientes, a umidade relativa, fotoperíodo, irradiância, qualidade espectral e temperatura, tem impacto direto sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, por afetarem inúmeros processos, como a fotossíntese, que tem grande destaque por seu papel crucial na manutenção da vida terrestre (DELIAS, 2013; GONÇALVES et al., 2015; TAIZ et al., 2017).

De toda a radiação solar que incide sobre a terra cerca de 5% é assimilado no processo fotossintético. A maior parte dessa fração de luz se encontra em comprimentos de onda que não são absorvidos pelas plantas por meio da utilização de pigmentos fotossintéticos (KLUGE et al., 2015).

Valores muito elevados de intensidade luminosa podem propiciar a ocorrência do processo de fotoinibição e, em casos mais extremos, foto-oxidação, causando a degradação de pigmentos fotossintéticos ao danificar a proteína D1 do fotossistema II (HARTMANN et al., 2011; SHARMA et al., 2015).

A fotoinibição é um fenômeno reversível associado a danos ao aparato fotossintético quando há excesso de excitação dos centros de reação pela maior intensidade luminosa. Enquanto que a foto-oxidação, fenômeno irreversível, trata da excitação dos pigmentos fotossintéticos ao ponto de interagirem com o O<sub>2</sub>, originando radicais livres, os quais podem destruir as membranas dos tilacóides (KLUGE et al., 2015).

As variáveis de trocas gasosas são suscetíveis aos impactos da temperatura foliar e, de forma conjunta, ao déficit de pressão de vapor (GLENN, 2016). Em consonância com a baixa umidade relativa do ar, há um maior fechamento estomático, como forma de reduzir a perda de água para a atmosfera (FIGUEIREDO et al., 2011; LEGOAS, 2016; TATAGIBA et al., 2016).

A elevação térmica, além de reduzir a atividade da rubisco e afetar o teor de água da planta, em muitos casos, por aumentar as taxas transpiratórias, pode contribuir com a ocorrência da respiração mitocondrial e da fotorrespiração (MARENCO et al., 2014). Como proteção, as plantas buscam estratégias para mitigar essa condição de estresse, como por exemplo, reduzindo a absorção da radiação solar, seja por meio do movimento foliar, como pela presença de pêlos e aumento da reflectância (DIAS; MARENCO, 2007)

Dentre as formas de reduzir a temperatura foliar, o processo transpiratório é o mais utilizado pelas plantas. Contudo, na ocorrência de altas temperaturas e em condição de déficit hídrico, ou quando a umidade relativa do ar está elevada, a transpiração pode não ocorrer de forma eficiente. Dessa forma, dependendo da intensidade do estresse térmico, há redução da área foliar, murchamento de folhas, senescência e estagnação de crescimento, e, em condições extremas, a morte da planta (TAIZ et al., 2017).

### **3.3 Estresse Hídrico**

A planta expressa todo seu potencial genético quando submetida a condições ideais de cultivo (BRITO et al., 2013). Dessa forma, quando um dos fatores essenciais ao crescimento e desenvolvimento do vegetal está em desequilíbrio, desencadeia diversas respostas negativas no indivíduo.

O processo fotossintético é afetado sobremaneira pela disponibilidade de água (MARENCO et al., 2014; COSTA et al., 2015). De todos os recursos que precisa para a sobrevivência, o hídrico é o que mais afeta a produtividade agrícola (SOUZA et al., 2001; BALARDIN et al., 2013), causando alterações nas plantas tanto em nível anatômico, quanto em morfológico, celular, bioquímico e molecular (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Nas variáveis fisiológicas, a falta de água afeta a condutância estomática, as taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, a taxa de transpiração e a concentração interna de CO<sub>2</sub> (MORAIS et al., 2017; FREITAS et al., 2017). Dentre estas variáveis, a condutância estomática é a que tem maior sensibilidade, em comparação às taxas de fotossíntese e transpiração, sendo assim uma boa sinalizadora de estresse hídrico (VALADARES et al., 2014).

Uma planta sob estresse hídrico tem o fechamento estomático como uma de suas respostas fisiológicas para evitar a perda de água para a atmosfera, e deste modo, os processos que dependem da tensão de turgor, como a expansão foliar e o crescimento de raízes são prejudicados (TAIZ; ZEIGER, 2017). Em longo prazo, a escassez desse recurso pode acelerar a taxa de degradação da clorofila (MAFAKHERI et al., 2010; MARENCO et al., 2014).

O fechamento parcial dos estômatos implica na redução da condutância estomática e, por consequência, há declínio da transpiração e da assimilação de CO<sub>2</sub>, paralisando o crescimento da planta ao prejudicar a formação de carboidratos na fotossíntese (SCALON et al., 2011; BRITO et al., 2013; FREITAS et al., 2017).

A redução da condutância estomática está associada à expressão do gene NCED (cis-epoxicarotenóide dioxigenase-9), que atua na cascata biossintética do ácido abscísico (ABA), auxiliando a planta a tolerar a falta hídrica (SOUZA et al., 2016). O ABA quando produzido em decorrência de escassez hídrica estimula o fechamento dos estômatos, desta forma, antes mesmo das relações hídricas da parte aérea serem afetadas, um rápido ressecamento do solo já aumenta a quantidade de ácido abscísico no xilema (PADILHA et al., 2016), promovendo a comunicação das raízes com a parte aérea da planta, por meio de sinais químicos (FERRARI et al., 2015).

Se o estresse for moderado, a planta consegue se restabelecer e compensar o efeito nos parâmetros fisiológicos após a retomada da disponibilidade hídrica, podendo inclusive apresentar maiores valores de taxa fotossintética que àquelas não submetidas ao estresse, destinando os recursos à produção de estruturas reprodutivas (FREITAS et al., 2017). Quanto à condutância estomática, dependendo da intensidade do estresse, pode ser necessário um tempo maior para sua recuperação completa (VALADARES et al., 2014).

O aumento da temperatura foliar é mais uma consequência do fechamento estomático, uma vez que a transpiração é um dos meios de dissipação térmica das plantas. Em cultivos de arroz, por exemplo, a temperatura aumenta, em média, 4°C em condição de restrição hídrica (TERRA et al., 2015). Dessa forma, o estresse hídrico origina um estresse térmico sobreposto, com a temperatura da folha subindo em relação à temperatura do ar (CHAVES et al., 2011).

Com a escassez hídrica no solo, há, também, uma restrição na absorção de nutrientes, tanto pela menor captação de água pelas raízes, quanto pela diminuição da mobilidade dos íons no solo. Esta menor absorção reflete na redução da altura das plantas, no índice de área foliar, na produção de folhas, na taxa de alongamento foliar, na massa seca, além de muitas outras variáveis que estão diretamente relacionadas com a produtividade (TERRA et al., 2015; COUTINHO et al., 2015).

A altura das plantas é uma variável extremamente afetada pelo déficit hídrico. Em plantas de mutambo, por exemplo, há uma redução de 50 % da altura sob estresse (SCALON et al., 2011), de 61,7 % em pinhão-manso (PADILHA et al., 2016) e em capim-buffel, as reduções na altura do colmo podem alcançar os 72 % (COUTINHO et al., 2015).

A massa seca foliar apresenta decréscimo em decorrência, principalmente, da menor produção de folhas, maior senescência e abscisão foliar e diminuição da área foliar (PADILHA et al., 2016). Um maior impacto na produção de massa seca é esperado em estresse moderado por longo período (SILVA et al., 2015).

Nesse contexto, ainda que o eucalipto possua grande capacidade de adaptação, são necessárias estratégias para minimizar os efeitos do estresse ocasionados por grandes variações nas condições ambientais, principalmente sob a atuação de mais de um fator estressante sobre as mudas (XAVIER et al., 2018).

### **3.4 Filme de Partícula Protetora**

Visando a mitigação dos estresses térmico e hídrico (ROSATI et al., 2007) e o controle de insetos-praga e patógenos (D'AQUINO et al., 2011; GLENN et al., 2014; SILVA; SILVA, 2015), em diversas culturas tem sido feita a utilização de filme de partículas, a base de caulim, sobre as folhas e frutos.

Nas décadas de 60 e 70 foram desenvolvidos diversos estudos acerca do uso de produtos antitranspirantes no dossel das plantas, visando o incremento da eficiência do uso da água, o que perdeu forças nos anos seguintes, devido, provavelmente, aos custos envolvidos e à eficiência da prática (EVANS; SADLER, 2008). As primeiras pesquisas com filme de partículas foram desenvolvidas na década de 90, com o uso do caulim hidrofóbico (TURATI, 2008).

No geral, um filme de partículas fotoprotetora para ser considerado ideal para aplicação em tecidos vegetais, deve apresentar algumas características básicas, das quais se destacam: o material ter diâmetro inferior a 2  $\mu\text{m}$ , a película formada sobre a superfície de contato ser uniforme e bem distribuída, não prejudicar o fluxo das trocas gasosas e controle estomático, afetar as radiações ultravioleta e infravermelha até certo ponto, não prejudicar a radiação fotossinteticamente ativa, interferir no comportamento de insetos ou patógenos, e possuir facilidade em sua remoção nos produtos coletados (GLENN; PUTERKA, 2005; SHARMA et al., 2015).

O caulim calcinado purificado tem sido a base da composição de diversos produtos. O caulino, ou caulim, trata-se de um tipo de mineral inerte, composto por silicatos hidratados de alumínio ( $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ), não tóxico, não abrasivo, comercializado na forma de pó, geralmente misturado com algum adjuvante, de forma a ser diluído para aplicação (CANTORE et al., 2009; GLENN et al., 2010). Além disso, ele faz parte da lista dos produtos que possuem liberação de uso na produção de alimentos orgânicos do Instituto de Revisão de Materiais Orgânicos (OMRI, 2018).

Aplicado nas plantas por meio de uma solução aquosa, geralmente na forma de spray, ao secar, o caulim deixa uma película branca sobre as folhas formando um filme de partículas com excelentes propriedades reflexivas (BARKER, et al., 2006; DINIS et al., 2015). Na agricultura, tem sido utilizado como uma estratégia a ser adotada no manejo integrado de pragas e para a redução do efeito do estresse térmico sobre as plantas (BOARI et al., 2015).

A camada criada com sua aplicação causa um efeito redutor do estresse ocasionado por temperaturas elevadas pelo excesso de luz, podendo beneficiar características fisiológicas e a produtividade das plantas (CANTORE et al., 2009).

O produto atua como uma espécie de protetor solar. Sua coloração branca aumenta o albedo na superfície da planta que foi coberta, seja ela folha ou fruto, contribuindo com o aumento da reflectância dos comprimentos de ondas UV e infravermelhos, os quais estão relacionados com danos às plantas pela formação de dímeros de DNA, inibindo a atividade do fotossistema II e da rubisco, se tornando, assim, uma barreira para os efeitos deletérios da radiação e excesso de temperatura (BARKER, et al., 2006; SHELLIE; KING, 2013; SHARMA et al., 2015).

A aplicação de filme de partículas tem sido vista como uma ferramenta que propicia uma maior economia de água nas plantas, entretanto, Brilhante et al., (2016) relatam a ocorrência de controvérsias em relação ao seu impacto nas trocas gasosas, e dúvidas sobre seus mecanismos de atuação.

Os benefícios da aplicação do produto podem variar muito, sendo dependente de fatores como: a espécie avaliada, a escala de medida na planta e sua arquitetura, além das condições ambientais as quais estão expostas (BOARI et al., 2015).

A literatura demonstra os benefícios da utilização do caulim em diversos cultivos, como tomate (CANTORE et al., 2009), maçã (GLENN, 2009), mamão (CAMPOSTRINI et al., 2010), uva (GLENN et al., 2010; DINIS et al., 2015) e café (STEIMAN et al., 2007), tendo apresentado efeitos positivos na regulação térmica foliar e dos frutos, assimilação de carbono e eficiência do uso da água, melhorando as respostas ao estresse hídrico e mitigando o impacto do excesso térmico e da seca (BOARI et al., 2015).

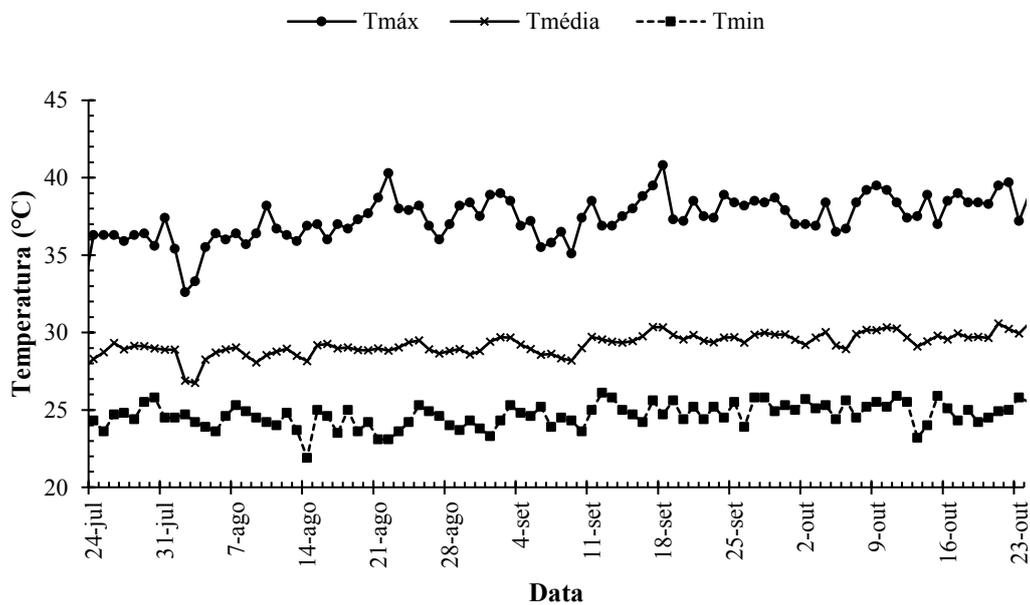
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área Experimental

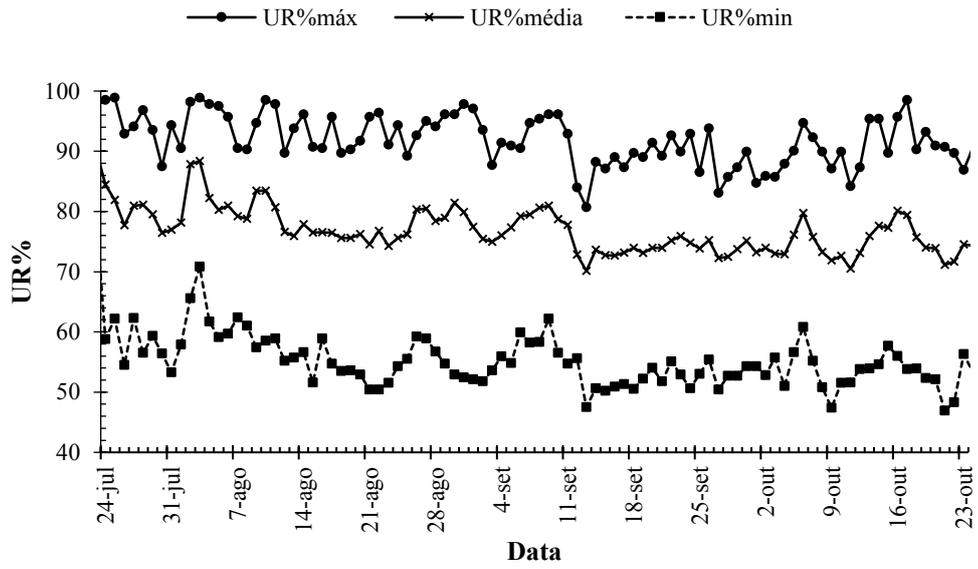
O experimento foi conduzido na fazenda-escola da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, localizada no município de São Luís, no estado do Maranhão, cuja região, segundo a classificação de Köppen e Geiger, possui clima caracterizado como sendo do tipo Aw (quente e úmido) (TRINTA, 2007).

O trabalho foi realizado em duas etapas: na primeira, as plantas foram submetidas ao cultivo mantendo o solo com disponibilidade de água na capacidade de campo encontrada (1 litro); em um segundo momento, metade das plantas foram submetidas à condição de restrição hídrica, com o corte completo da irrigação, enquanto a outra metade das plantas foi mantida com o solo na capacidade de campo.

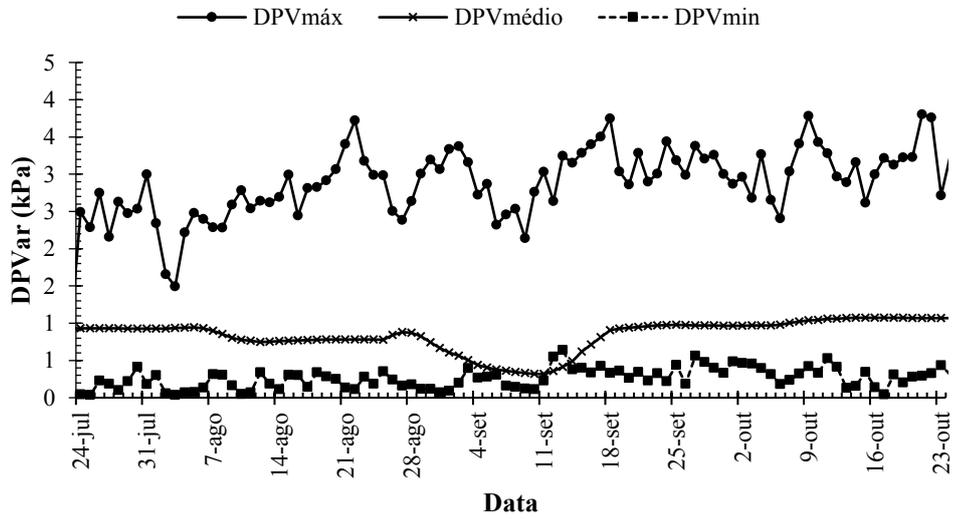
Durante todo o período de condução do experimento foi realizado o acompanhamento diário da temperatura (T), da umidade relativa do ar (UR%), do déficit de pressão de vapor do ar (DPVar), da precipitação e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (Figura 1A – 1E). As médias diárias da RFA consideraram apenas os valores obtidos entre os horários de 6:00 e 18:00 horas.



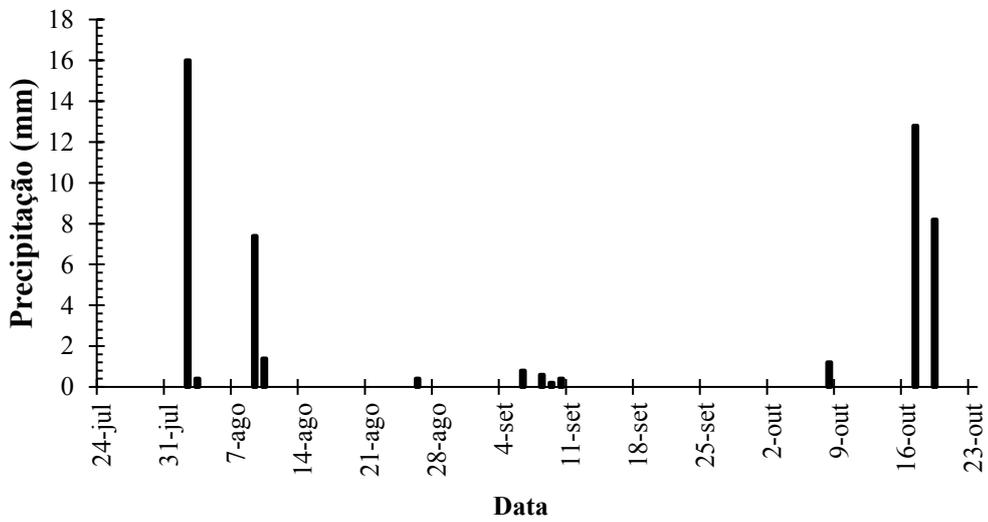
(A)



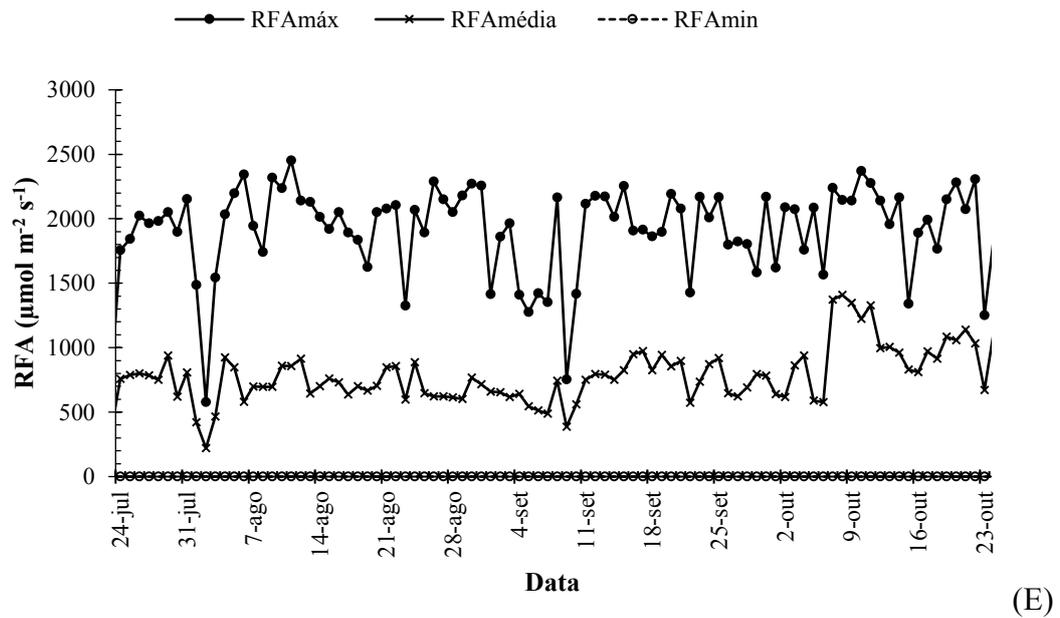
(B)



(C)



(D)



**Figura 1** – Valores médios diários da temperatura (A), da umidade relativa do ar (B), do déficit de pressão de vapor do ar (C), da precipitação (D) e da radiação fotossinteticamente ativa (E), durante o período de cultivo em vasos (24 de julho a 23 de outubro de 2018).

#### 4.2 Implantação do Experimento

Para a realização deste experimento foram utilizadas mudas clonais de eucalipto, material híbrido de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. As mudas, com 90 dias de idade, foram plantadas em vasos com capacidade volumétrica de 15 litros (Figura 2) e ficaram expostas à condição de céu aberto.



**Figura 2** – Detalhes da disposição da planta de eucalipto no vaso.

As mudas utilizadas no experimento foram produzidas em tubetes de polietileno com capacidade volumétrica de 53 cm<sup>3</sup>.

Foi utilizado como substrato, nos vasos, uma parte de solo retirado da própria fazenda-escola da UEMA, recebendo adubação NPK (18-18-18) na dosagem de 6,67 gramas por litro. Em cobertura foi aplicado a dose de 20g, por vaso, de óxido de potássio (60% K<sub>2</sub>O) e de ureia (40% N), parcelados em duas aplicações de 10 gramas cada, realizada aos 30 e 60 dias após o plantio.

Os vasos foram irrigados todas as manhãs, mantendo o substrato na capacidade de campo. Aos 81 dias a irrigação foi interrompida em 50% dos vasos.

### **4.3 Aplicação dos Tratamentos**

A aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado foi realizada por meio da pulverização do produto diluído em água, nas concentrações de 3%, 5%, 7% e 10% de volume de calda, com os tratamentos dispostos em fileiras. Desta forma foram definidos cinco tratamentos:

Tratamento 1 (T1) - controle (mudas sem aplicação de filme de partículas);

Tratamento 2 (T2) - aplicação de filme de partículas a 3 % de concentração do volume de calda;

Tratamento 3 (T3) - aplicação de filme de partículas a 5 % de concentração do volume de calda;

Tratamento 4 (T4) - aplicação de filme de partículas a 7 % de concentração do volume de calda;

Tratamento 5 (T5) - aplicação de filme de partículas a 10 % de concentração do volume de calda.

Para a aplicação da calda foi utilizado um pulverizador atomizador manual com capacidade para 2 litros. A haste de pressurização foi acionada continuamente até ser apresentada uma resistência. A pulverização foi feita no período da manhã, a uma distância de 50 cm das plantas, distribuindo o jato de forma homogênea, sobre a parte adaxial das folhas, até cobrir totalmente a planta.

### **4.4 Avaliações Biométricas**

#### **4.4.1 Altura e diâmetro**

As plantas foram avaliadas quanto à altura e o diâmetro ao nível do solo no ato do plantio (tempo zero), aos 15, 30, 60 e 80 dias após o plantio, sendo utilizados para tanto régua graduada e paquímetro digital, respectivamente.

#### 4.4.2 Ontogenia foliar

Após a aplicação dos tratamentos, em cada planta foi selecionado um folíolo, e estes, em intervalos de dois e três dias, foram avaliados quanto ao crescimento da nervura central, até o comprimento atingir valores constantes.

### 4.5 Avaliações Fisiológicas

#### 4.5.1 Trocas gasosas e Temperatura foliar

Os dados referentes avaliações da assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e temperatura foliar (T<sub>folha</sub>) foram obtidas com o auxílio de um analisador de gás por infravermelho (IRGA, LI-6400XT).

As avaliações foram realizadas no período da manhã, entre 08:00 e 10:00 horas, e no período da tarde, entre 12:00 às 14:00 horas. Para tanto, o equipamento foi ajustado a um fluxo de fótons fotossintéticos de 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e fluxo de 500  $\mu\text{mol}$ s.

As avaliações foram realizadas em uma única folha, por planta, sendo selecionadas no terço médio da copa, sadias, completamente expandidas e expostas ao sol.

#### 4.5.2 Eficiência do uso da água (EUA) e eficiência intrínseca do uso da água (EIUA)

Os valores referentes à EUA foram estimados através da relação entre os valores da assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> e da transpiração foliar, e a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) mediante a relação entre a assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> e a condutância estomática, sendo utilizados os dados obtidos por intermédio da avaliação de trocas gasosas.

#### 4.5.3 Fluorescência da clorofila a

Nas mesmas folhas em que foram realizadas as avaliações das trocas gasosas, com o auxílio do fluorímetro não modulado, portátil, Pocket – PEA (Hansatech) foi realizado a avaliação do rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), da energia absorvida por centro de reação (RC/ABS) e fluxo de energia capturada por energia dissipada ( $F_v/F_o$ ).

Para estas avaliações foi realizada a adaptação da folha ao escuro, por um período de 30 minutos, utilizando pinças específicas para a análise. Esta adaptação é necessária para

que os centros de reações estejam completamente abertos e a quinona *a* seja completamente oxidada.

#### 4.5.4 Intensidade de verde

A intensidade de verde das folhas foi avaliada com o auxílio do medidor portátil de clorofila (SPAD-502 Plus, Konica Minolta), realizada no período da manhã (entre 07:00 e 09:00 horas) e no período da tarde (entre 12:00 e 14:00 horas). Para tanto, foram amostrados cinco pontos em folhas distintas da planta.

#### 4.5.5 Massa seca da parte aérea

Ao final do experimento, apenas as cinco plantas, por tratamento, que foram mantidas com o solo irrigado na capacidade de campo foram avaliadas. Para tanto, as plantas foram cortadas ao nível do solo, separando-se caule e folha, e colocadas em estufa a 72°C até atingirem peso constante. Posteriormente, após a secagem, o material foi pesado em uma balança analítica de precisão, obtendo-se assim a massa seca (g/planta). A massa seca da parte aérea foi estimada pela soma dos valores de massa seca do caule e das folhas.

#### 4.5.6 Massa foliar específica

A obtenção da massa foliar foi realizada apenas nas plantas que não foram submetidas ao estresse hídrico. Para tanto, foram coletados 10 discos foliares frescos por planta, com o auxílio de um perfurador com diâmetro de corte de 0,58 cm, e colocados para secar em estufa a 72°C até atingir peso constante. Após a secagem, estes discos foram pesados em uma balança analítica de precisão.

A massa foliar específica foi calculada por meio da Equação 1 (DEUS, 2014):

$$\text{MFE} = \text{MSF}/\text{AF} \quad (1),$$

onde,

MFE = massa foliar específica;

MSF = massa seca foliar;

AF = área foliar.

## 4.6 Delineamento Experimental

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos e dez repetições, totalizando 50 unidades experimentais, sob condições normais

de irrigação. Enquanto que para a condição de interrupção da disponibilidade hídrica, após 80 dias, 25 plantas permaneceram sendo irrigadas, e em 25 a irrigação foi interrompida.

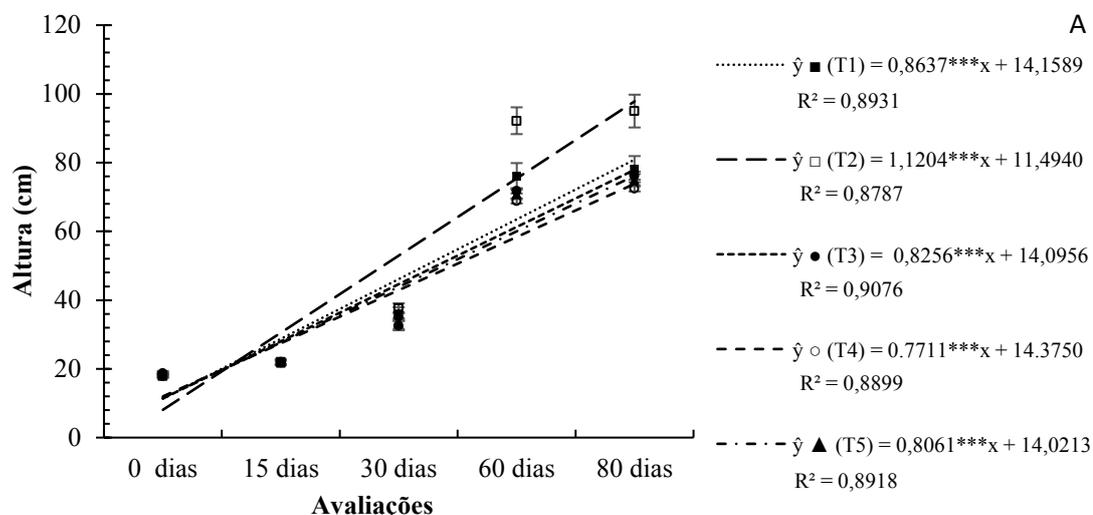
Os dados foram submetidos à análise de variância. Nas médias das variáveis qualitativas o teste f foi conclusivo, por terem sido comparados apenas dois fatores. Enquanto que as variáveis quantitativas foram submetidas à análise de regressão, ambos considerando o nível de 5 % de probabilidade. O software estatístico utilizado para a execução das análises foi o software R.

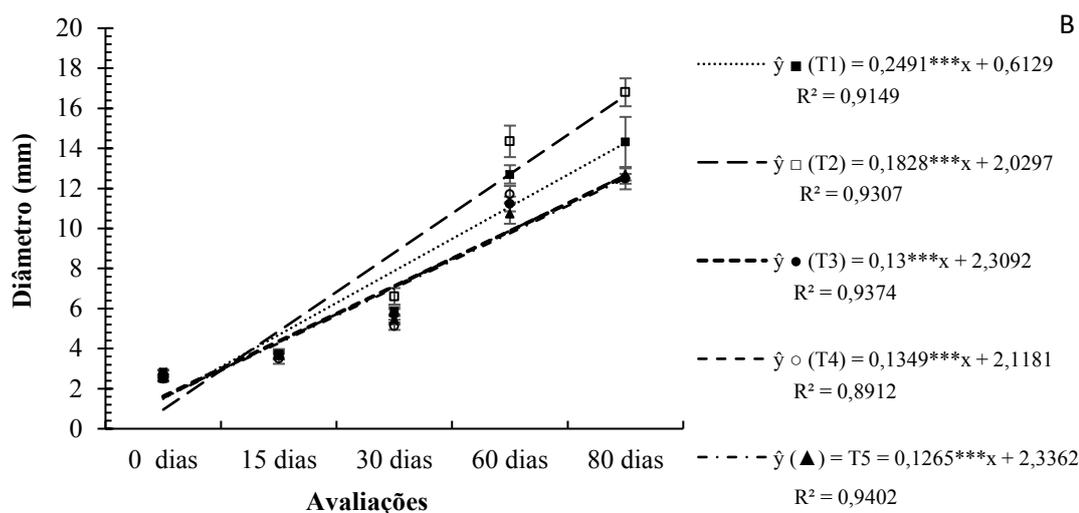
## 5 RESULTADOS

### 5.1 Avaliação da resposta de plantas de eucalipto submetidas a aplicação de diferentes doses de caulim

Em relação à altura de plantas, a dose com concentração de 3% de caulim no volume de calda apresentou o maior crescimento, verificado aos 80 dias após o plantio e demonstrado pelo coeficiente angular, indicando um crescimento mais acelerado. A média de altura para a dose foi de 95 cm, valor superior ao controle (sem a aplicação do caulim) em 21,62%. Os resultados indicam que concentrações superiores a 3% do volume de calda não resultaram em incremento na altura (Figura 3A).

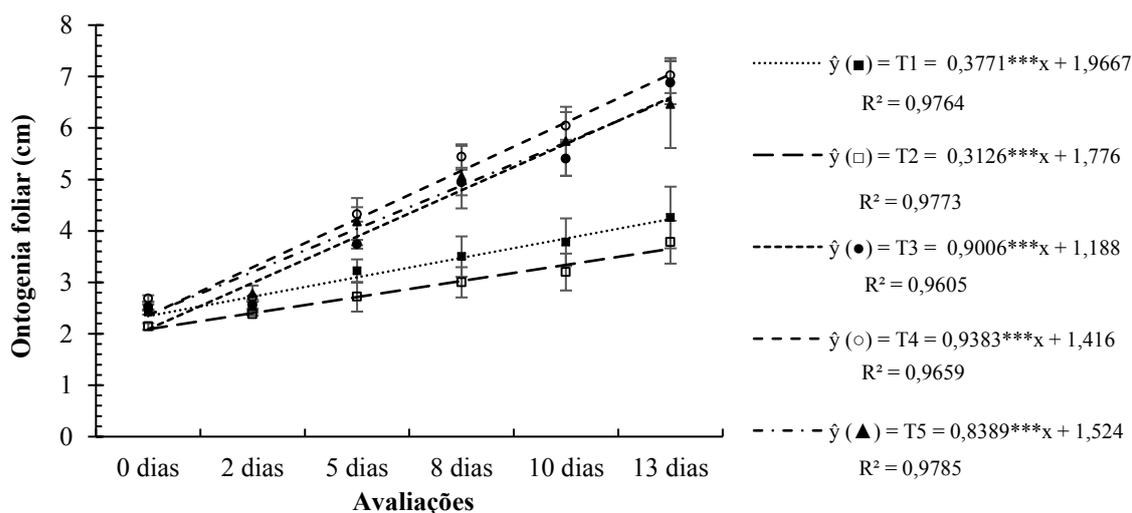
Aos 80 dias após o plantio, a dose de caulim a 3% de concentração também exibiu a maior média diamétrica, 16,8 mm, resultados de 17,32% acima do encontrado para o controle. Valores acima dessa concentração, também, não beneficiaram o incremento em diâmetro (Figura 3B).





**Figura 3** – Crescimento em altura (A) e diâmetro (B) de plantas de eucalipto submetidas a aplicação de um filme de partículas a base de caulim calcinado nas concentrações de 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de volume de calda. As barras verticais indicam o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=10). \*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste “t”.

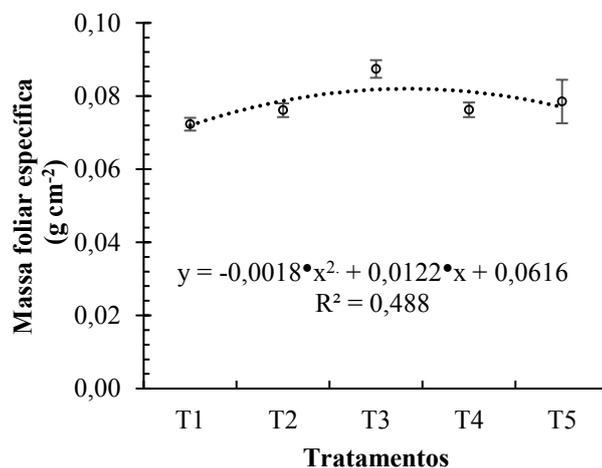
Os dados apresentados na figura 4 mostram um efeito positivo do caulim no crescimento foliar, tendo os tratamentos com aplicação de 5, 7 e 10% apresentado crescimento superior ao tratamento com aplicação de 3% e ao controle. As diferenças entre tratamentos se tornam mais expressivas a partir da avaliação aos cinco dias. Aos 13 dias o tratamento com aplicação de 7% de caulim apresentou 148,82% de crescimento superior ao controle.



**Figura 4** – Ontogenia foliar de plantas de eucalipto, submetidas a aplicação de um filme de partículas a base de caulim calcinado nas concentrações de 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de volume de calda, nas coletas aos 0, 2, 5, 8, 10 e 13 dias do início da avaliação. As barras

verticais refletem o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=10). \*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste “t”.

A avaliação da massa foliar específica demonstrou que houve diferenças significativas entre os tratamentos (p<0,05). A dose de 5% (T3) obteve a maior média, 0,0874 g cm<sup>-2</sup>, valor 20,89% superior ao controle.

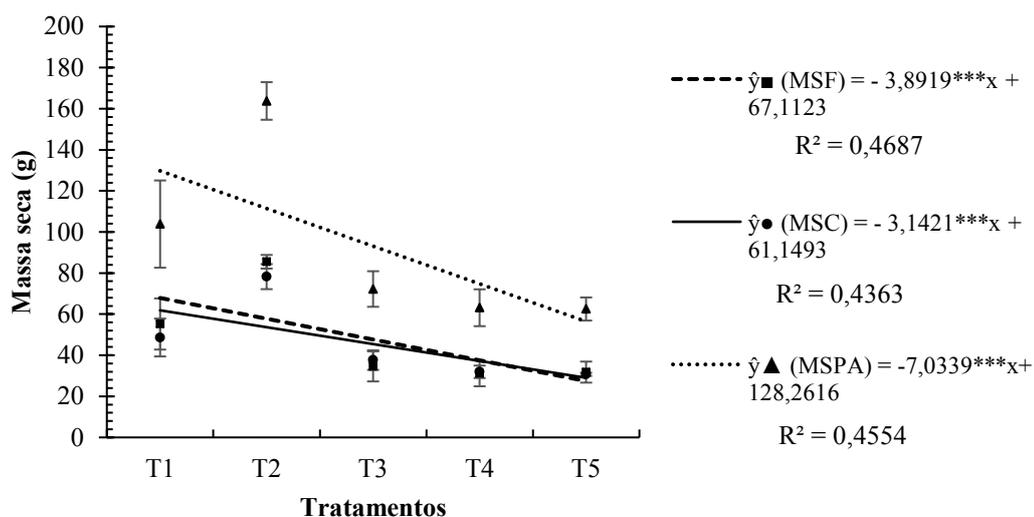


**Figura 5** – Massa foliar específica (MFE), em plantas de eucalipto, após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, nas concentrações de 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de volume de calda. As barras verticais refletem o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=5). •: significativo a 10% de probabilidade pelo teste “t”.

Houve efeito significativo para as doses nas avaliações de massa seca foliar (MSF), do caule (MSC) e da parte aérea (MSPA) (p<0,001), que à medida que se aumenta a dose de caulim é observada uma queda na produção de biomassa. Contudo, ainda que estas variáveis tenham apresentado um comportamento linear negativo, conforme coeficiente angular, o tratamento 2 (aplicação de 3% de caulim) apresentou as maiores médias, com valores de 54,87%, 60,93%, 57,71% para a MSF, MSC e MSPA, respectivamente, em relação ao controle.

Em relação a MSF, o tratamento a 7%, apresentou a menor média, apresentando um valor 43,53% abaixo do controle, enquanto que, para a MSC, o tratamento com a dose de 10% obteve a menor média e um valor inferior ao controle em 36,85%.

Dentre as doses aplicadas, a que expressou a menor média para massa seca da parte aérea foi a de 10%, apresentando valor de 38,81% inferior ao controle. É observado, ainda, que, da média de 93,01g encontrada para a variável, a MSF contribuiu com 48,81% desse valor.



**Figura 6** – Massa seca foliar (MSF), do caule (MSC) e da parte aérea (MSPA), em função das coletas, após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, nas concentrações de 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de volume de calda. As barras verticais expressam erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=5). \*\*\*: significativo à 0,1% de probabilidade pelo teste “t”.

A assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> demonstrou aos 34 (Figura 7A) e 47 dias (Figura 7B), que a aplicação do filme de partículas, não influenciou na resposta das plantas.

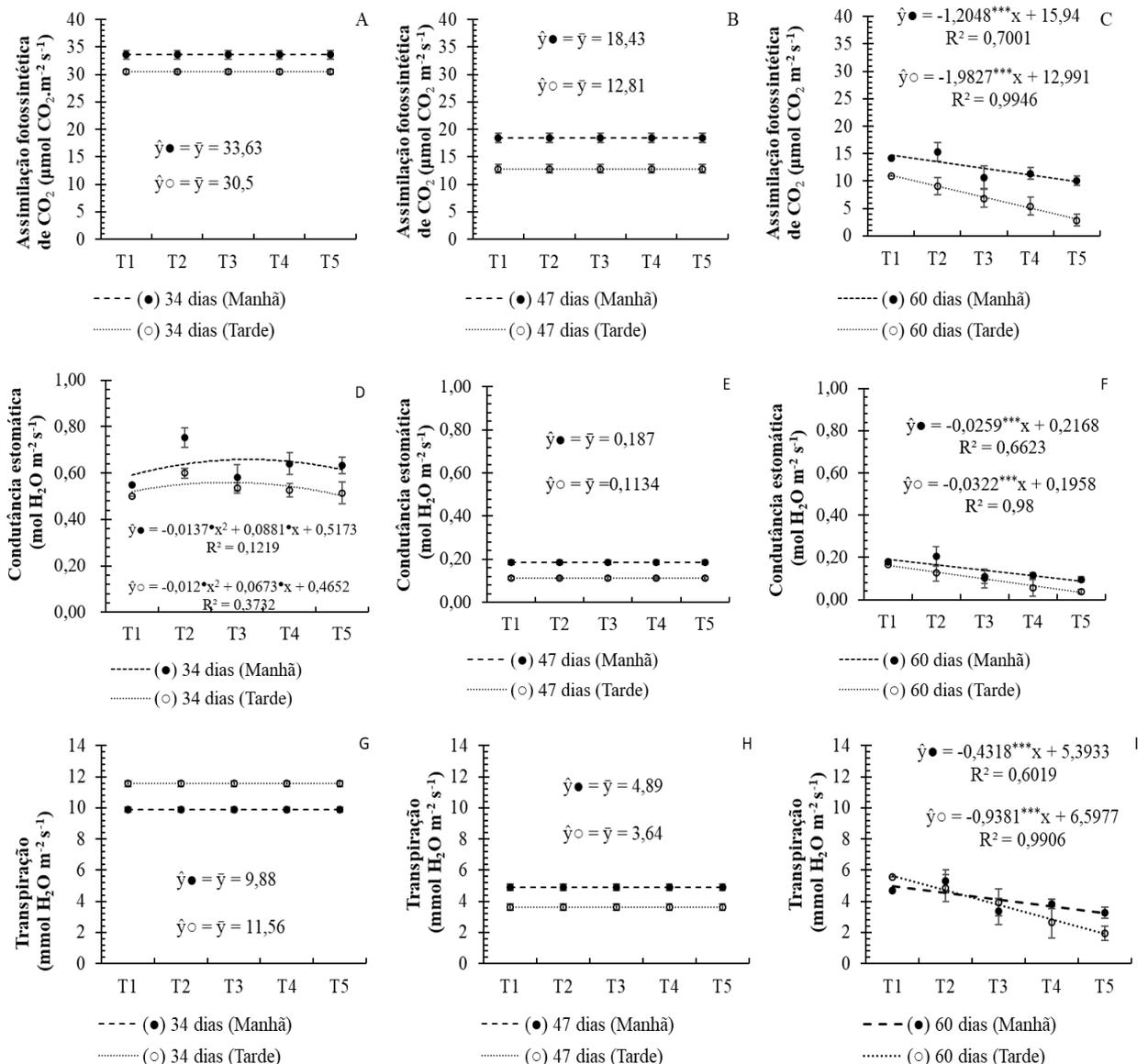
Contudo, na avaliação realizada aos 60 dias após o plantio, em ambos os horários de avaliação, houve efeito significativo das doses (p<0,01), apresentando um modelo linear negativo, ou seja, à medida que se aumenta a concentração do produto há uma queda na taxa fotossintética das plantas (Figura 7C). Pela manhã a dose de 3% de concentração de caulim foi 8,11% maior que a média das plantas do controle, obtendo um valor médio de 15,3  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . No turno da tarde a assimilação de carbono foi decrescente, as plantas com a aplicação de caulim expressaram os menores valores médios à medida que aumentou a concentração do produto, com reduções observadas de 17,43%, para a dose de 3%, e de 73,67%, para a concentração de 10%, em comparação ao controle.

Foram encontradas diferenças significativas do efeito das doses sobre a condutância estomática das plantas aos 34 (p<0,01) (Figura 7D) e 60 dias (p<0,001) (Figura 7F).

Na avaliação realizada aos 34 dias após o plantio, foi encontrado um modelo quadrático, com pontos de máximo estimados de gs de 0,66  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , relativo a uma concentração de 3,22% de caulim no volume calda, para o turno matutino, e de 0,56  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , para uma concentração de 2,8% de caulim no turno vespertino (Figura 7D).

Na avaliação aos 60 dias (Figura 7F), os resultados mostram uma relação inversamente proporcional às doses, em que o tratamento com 10% de caulim exibe as menores médias em ambos os turnos de medição. No período da manhã este tratamento apresentou média de  $0,1 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , sendo observada uma redução de 46,62% em comparação ao controle. No período da tarde, a média, do tratamento com 10% de caulim, foi 76,11% inferior ao encontrado para as plantas sem a aplicação do produto.

Houve efeito das doses para a variável transpiração apenas na avaliação aos 60 dias ( $p < 0,01$ ) (Figura 7G, H e I). Apresentando um comportamento decrescente, as menores médias foram observadas para o tratamento com a dose de 10% de caulim, o qual obteve um valor 30,41% abaixo da média do controle, pela manhã, e 64,94% inferior no turno da tarde.



**Figura 7** – Assimilação fotossintética do carbono (A) (A – C), condutância estomática (gs) (D – E) e transpiração foliar (E) (G - I), em plantas de eucalipto, após aplicação de filme de

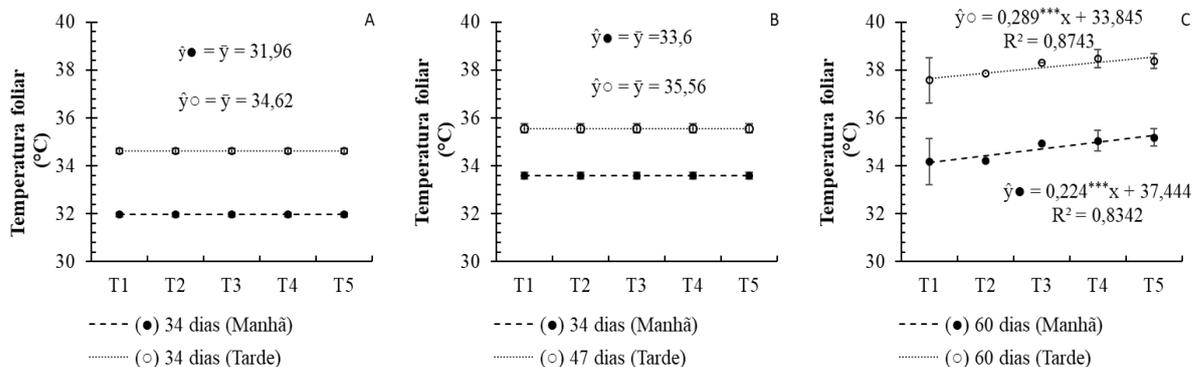
partículas a base de caulim calcinado, nas concentrações de 0% (T1), 3% (T2), 5% (T3), 7% (T4) e 10% (T5) de volume de calda, em diferentes épocas e horários do dia. As barras verticais refletem o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=10). • e \*\*\*: significativo à 10% e 0,01% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

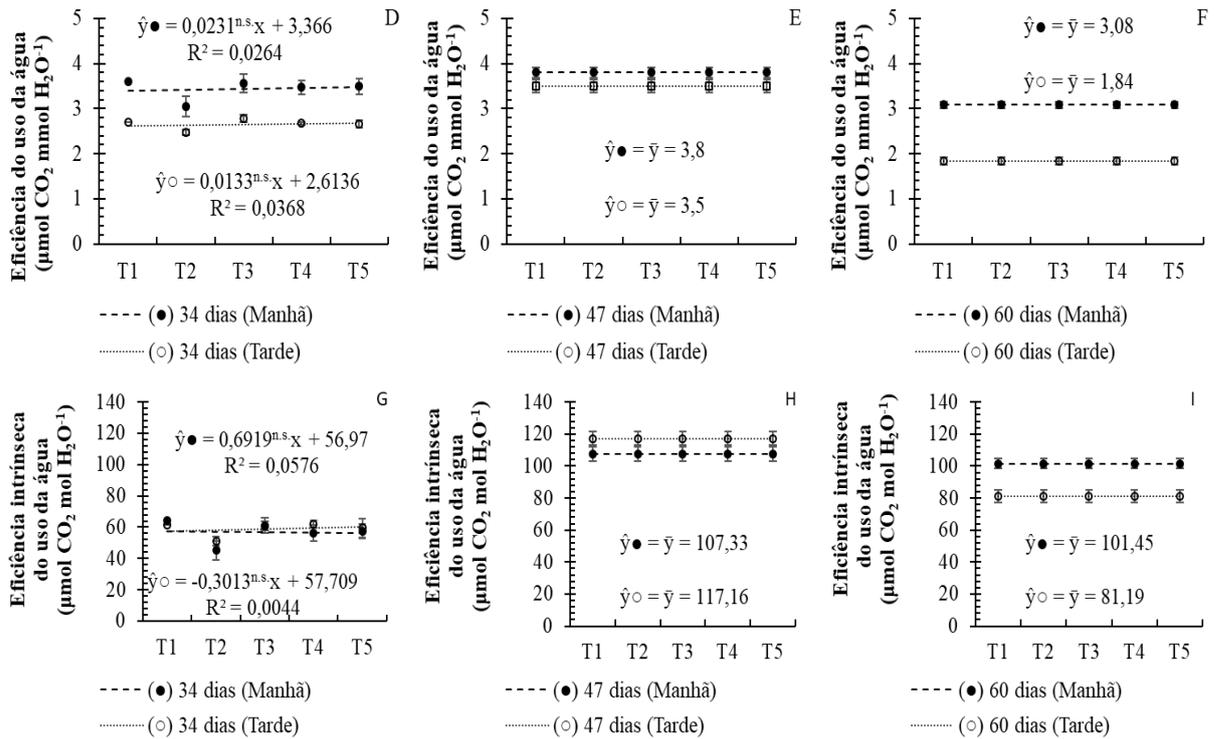
A análise dos dados de temperatura foliar apresenta diferenças significativas entre as doses apenas na avaliação aos 60 dias ( $p < 0,001$ ) (Figura 8C). Com um comportamento crescente, o tratamento com dose de 3% apresentou a menor média no turno da manhã,  $34,2^{\circ}\text{C}$ , resultado 0,09% superior ao encontrado para o controle ( $34,17^{\circ}\text{C}$ ). No turno da tarde, a dose de 3% também obteve a menor média para a variável dentre as doses com caulim,  $37,85^{\circ}\text{C}$ , valor 0,75% maior que o das plantas com ausência da aplicação de caulim ( $37,57^{\circ}\text{C}$ ). Ressalta-se um maior erro (barras de máximo e mínimo) na média do tratamento das plantas sem a aplicação do caulim, mostrando que estas estão mais expostas ao ambiente, variando de acordo com a adaptação do genótipo ao ambiente.

Diferenças significativas foram encontradas apenas na avaliação aos 34 dias após o plantio para a eficiência do uso da água ( $p < 0,001$ ) (Figura 8D, E e F) e para a eficiência intrínseca do uso da água ( $p < 0,01$ ) (Figura 8G, H e I). Em ambas, o tratamento com dose de 3% apresentou as menores médias, independente do horário de avaliação.

Para a EUA, os menores valores médios encontrados para a dose a 3% aos 34 dias (Figura 8D) foram de  $3,04 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$  no turno matutino e de  $2,47 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$  no vespertino, médias de 15,44% e 8,02% menores que as encontradas para o controle, respectivamente.

Em relação à EIUA, aos 34 dias (Figura 8G) foi observado que no turno da manhã, as plantas submetidas à aplicação da dose de 3% de caulim expressaram uma média de 29,54% inferior ao das plantas sem a utilização do produto. No turno vespertino, a variação observada para o mesmo tratamento foi de 17,14% abaixo do valor observado para o controle.

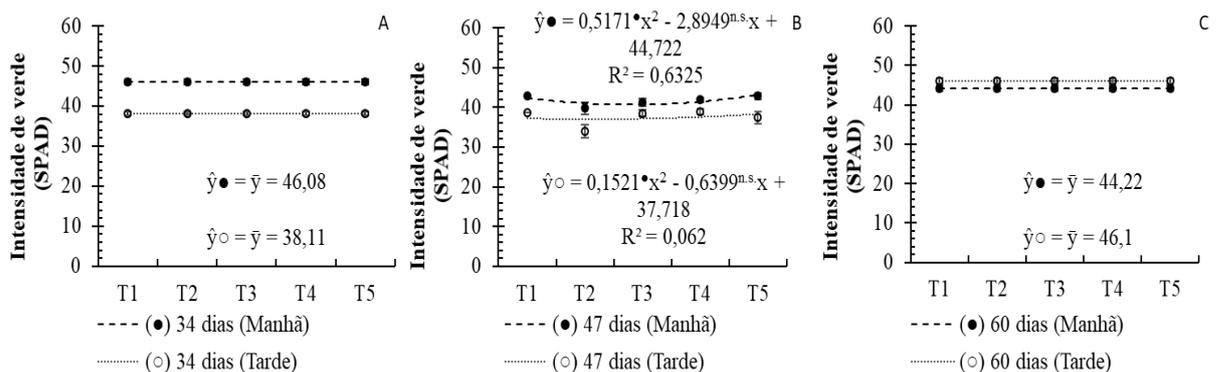




**Figura 8** - Temperatura foliar (A) (A – C), eficiência do uso da água (EUA) (gs) (D – E) e eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) (G - I), em plantas de eucalipto, após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, nas concentrações de 0% (T1), 3% (T2), 5% (T3), 7% (T4) e 10% (T5) de volume de calda, em diferentes épocas e horários do dia. As barras verticais refletem o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=10). \*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste “t”. n.s: Não significativo.

Houve efeito significativo das doses para a intensidade de verde apenas na avaliação aos 47 dias após o plantio ( $p < 0,05$ ) (Figura 9B). Expressando comportamento quadrático, observa-se, para o turno da manhã um ponto de máximo estimado de 40,67, associado a uma dose com concentração de 2,8% de caulim.

No horário da tarde foi encontrada um ponto de máximo de 37,04, no qual a aplicação de doses acima de 2,1% de caulim, exibiram reduções na intensidade de verde.



**Figura 9** – Intensidade de verde (SPAD) em plantas de eucalipto, após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, nas concentrações de 0% (T1), 3% (T2), 5% (T3), 7% (T4) e 10% (T5) de volume de calda, em diferentes épocas e horários do dia. As barras verticais refletem o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=10). •: significativo a 10% de probabilidade pelo teste “t”.

O rendimento quântico máximo do fotossistema II, expresso pela relação  $F_v/F_m$  apresentou efeito significativo para as doses nas medições aos 34 ( $p<0,05$ ) e 60 dias ( $p<0,01$ ) após o plantio (Figura 10A e C). Na medição aos 34 dias foi observado um comportamento crescente nos valores médios da variável, tendo o tratamento com dose de 10% alcançado os maiores valores, apresentando médias 1,39% e 3,39% superiores ao controle nos horários de avaliação da manhã e da tarde, respectivamente.

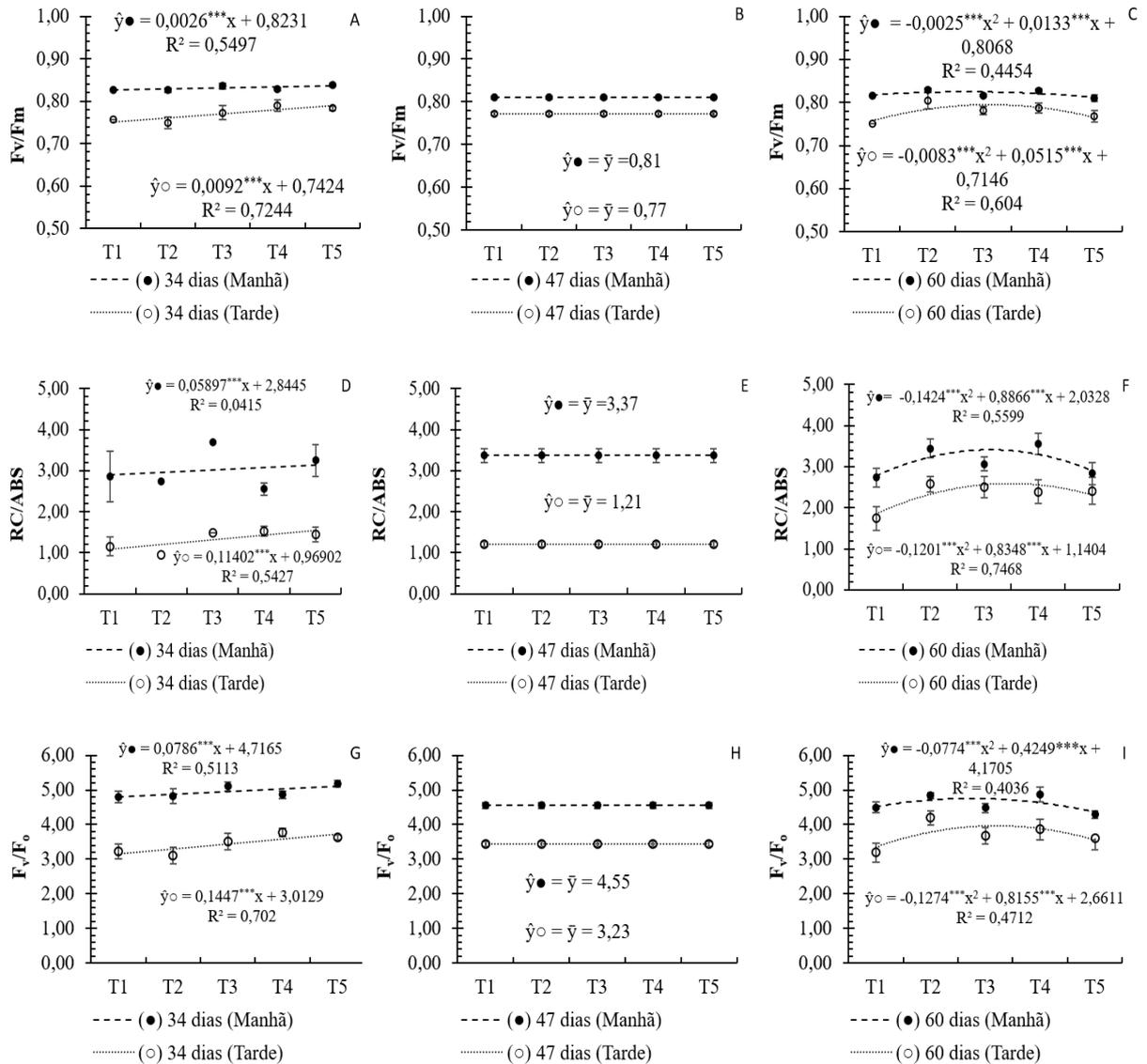
Na avaliação aos 60 dias após o plantio, a variável apresentou comportamento quadrático, possuindo como pontos de máximo os valores de 0,82, para uma dose de 2,66% de caulim por volume de calda para o turno matutino, e 0,79, associado à concentração de 3,1% de caulim para o turno vespertino.

Semelhante ao encontrado para a relação  $F_v/F_m$ , houve diferenças significativas entre os tratamentos para a relação RC/ABS apenas nas medições aos 34 ( $p<0,05$ ) e 60 dias ( $p<0,01$ ) após o plantio (Figura 10D e F). Aos 34 dias, no turno da manhã, o tratamento com dose à 5% obteve a maior média, 3,7, valor de 29,33% superior ao do controle. No turno da tarde foi observada uma relação positiva entre as variáveis dependente e independente, com a dose a 7% de concentração de caulim apresentando a maior média (1,52), com um resultado de 31,72% maior que o de encontrado para o controle.

Na medição realizada 60 dias após o plantio a análise foi significativa, apresentando um modelo quadrático, com pontos de máximo estimados de 3,41, relativo a uma concentração de 3,11% de caulim no volume calda, para o turno matutino, e de 2,59, para uma concentração de 3,48% de caulim no turno vespertino.

Houve diferenças significativas na relação  $F_v/F_o$  para as doses nas avaliações aos 34 ( $p<0,05$ ) e 60 dias ( $p<0,001$ ) após o plantio (Figura 10G e I). Na primeira avaliação, observa-se um aumento desta relação à medida que se aumentam as concentrações do produto. No horário da manhã o tratamento com 10% de caulim obteve a maior média, expressando um valor 7,79% superior ao controle, enquanto que no horário da tarde, a dose de 7% foi superior aos demais tratamentos, com uma média de 3,77, cerca de 16,81% acima do observado para as plantas controle.

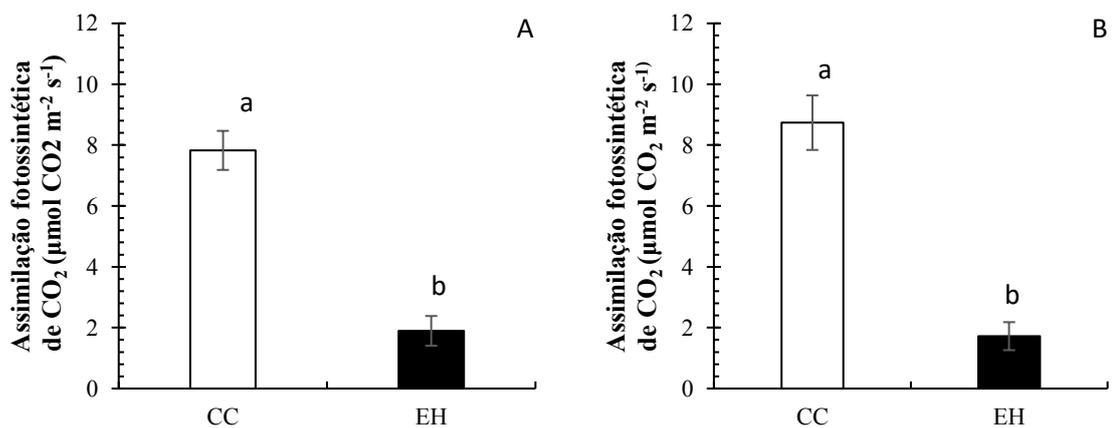
Na medição aos 60 dias após o plantio, os dados apresentam um ajuste quadrático, tendo como ponto de máximo estimado o valor de 4,75, associado à concentração de 2,74% de caulim no volume calda, para o turno matutino, e de 3,97, relacionado à dose de 3,2% de caulim para o turno vespertino.



**Figura 10** – Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) (A – C), densidade de centros de reação ativos ( $RC/ABS$ ) (D – E) e rendimento quântico efetivo de conversão de energia ( $F_v/F_o$ ) (G - I), em plantas de eucalipto, após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, nas concentrações de 0% (T1), 3% (T2), 5% (T3), 7% (T4) e 10% (T5) de volume de calda, em diferentes épocas e horários do dia. As barras verticais refletem o erro padrão da média a 5% de probabilidade ( $n=10$ ). \*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste “t”.

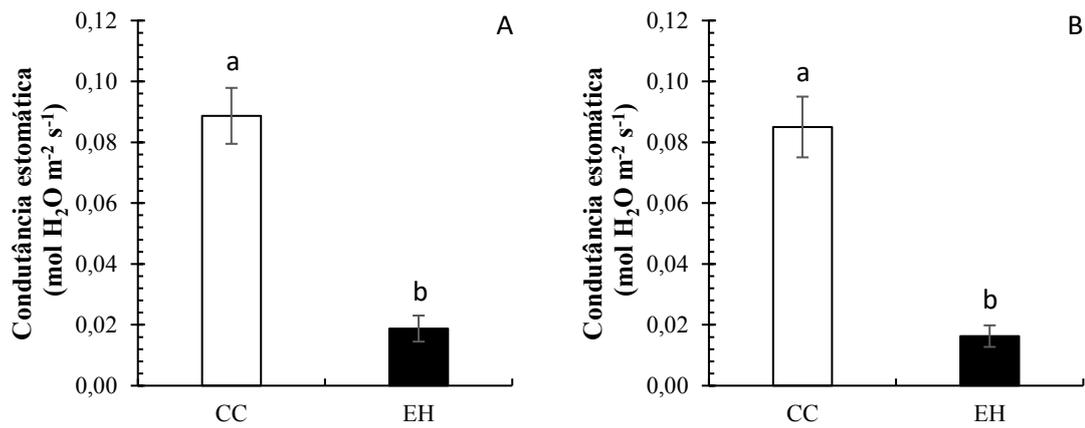
## 5.2 Avaliação da resposta de plantas de eucalipto submetidas a aplicação de diferentes doses de caulim após a interrupção da irrigação

Não foram encontradas diferenças significativas do efeito das doses de caulim para a assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub>, independente da condição de cultivo e horário de avaliação. Contudo, foram encontrados efeitos significativos comparando as plantas cultivadas na condição de capacidade de campo e as plantas sob déficit hídrico em ambos os horários de medição ( $p < 0,001$ ) (Figura 11A e B). No período da manhã, as plantas que permaneceram sob irrigação alcançaram um valor médio de 7,83  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Em comparação, os indivíduos que foram submetidos ao estresse hídrico obtiveram uma assimilação fotossintética do carbono 75,78% inferior. No turno vespertino, essa variação alcançou 80,3%, com as plantas irrigadas expressando valor médio de 8,7  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .



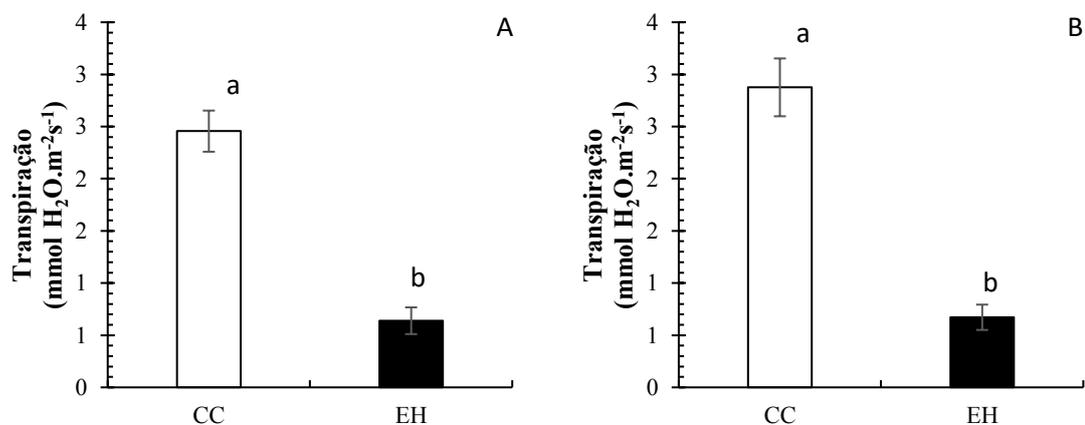
**Figura 11** - Assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub>, sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=25). Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Não houve efeito das doses para a condutância estomática nas plantas sob irrigação e nas submetidas ao estresse hídrico, em ambos os turnos avaliados. Contudo, foram encontradas diferenças significativas ao serem comparadas as duas condições para  $p < 0,001$  (Figura 12A e Figura 12B). Foi observada, no turno da manhã, uma média de 0,09 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para as plantas irrigadas, enquanto que para os indivíduos sob restrição hídrica, o valor encontrado foi 78,84% inferior. No turno vespertino, essa variação foi maior, alcançando os 80,85%.



**Figura 12** – Condutância estomática sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=25). Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste f a 5% de probabilidade.

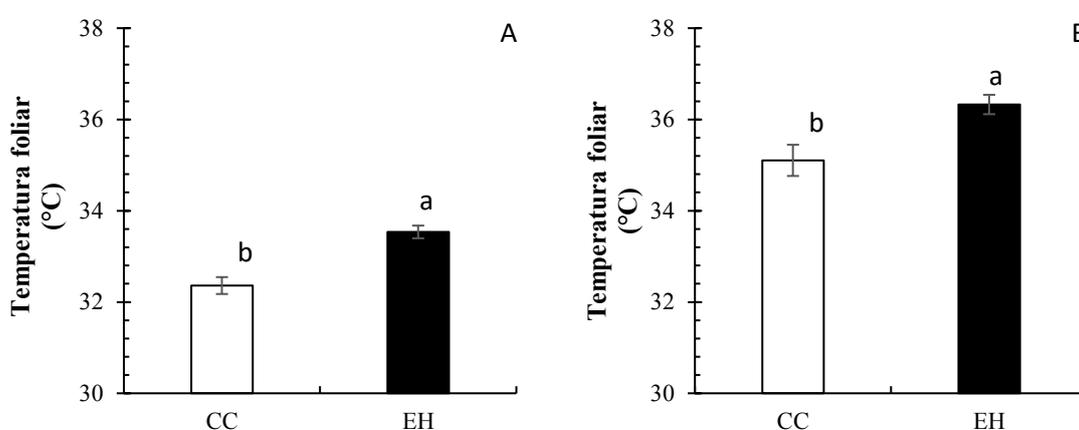
A análise dos valores da transpiração não expressou efeito significativo das doses, sob as duas condições de cultivo estudadas, em nenhum dos turnos. Em contrapartida, foram encontrados efeitos significativos entre as condições ( $p < 0,001$ ) (Figura 13A e Figura 13B). Pela manhã, as plantas que permaneceram sob irrigação obtiveram um valor médio de 2,46 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Em comparação, os indivíduos que foram submetidos ao estresse hídrico exibiram uma média de 0,64 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, uma redução de 74%. No turno vespertino, essa variação alcançou os 76,64%, com as plantas irrigadas apresentando um valor médio de 2,88 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.



**Figura 13** – Transpiração foliar (E) sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de

probabilidade ( $n=25$ ). Médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo teste  $f$  a 5% de probabilidade.

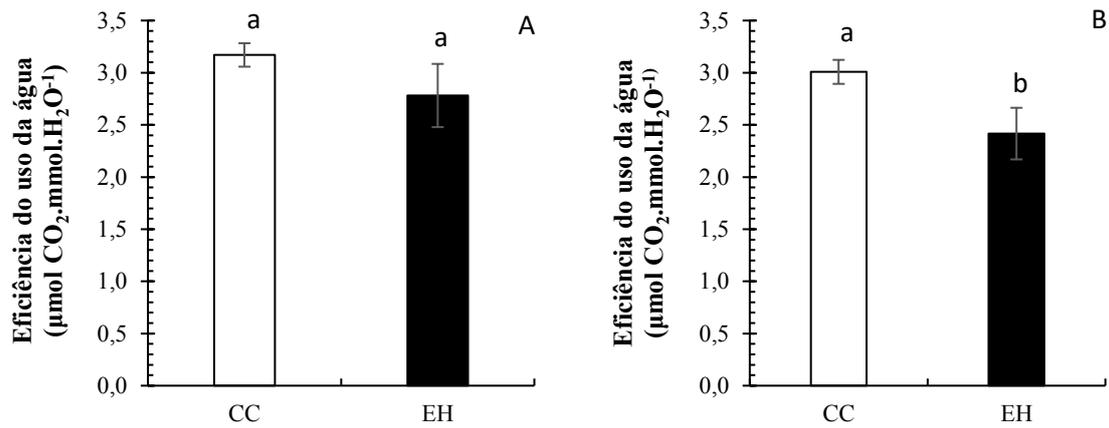
Não foram encontradas diferenças significativas entre as doses nos valores de temperatura foliar sob as condições avaliadas, em nenhum dos turnos. Entretanto, foram observados efeitos significativos ao serem consideradas as diferenças entre as condições ( $p<0,001$ ) (Figura 14A e Figura 14B). Foi observada, no turno da manhã, uma média de  $35,36^{\circ}\text{C}$  para as plantas irrigadas, enquanto que, em comparação, os indivíduos sob restrição hídrica expressaram um aumento de 3,63%. No turno vespertino, essa elevação foi inferior, alcançando os 3,49%.



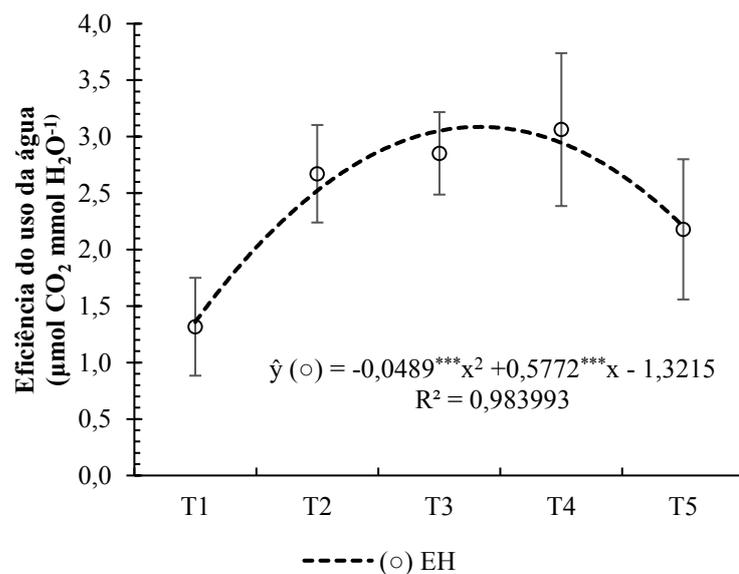
**Figura 14** – Temperatura foliar sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade ( $n=25$ ). Médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo teste  $f$  a 5% de probabilidade.

Não foram encontradas diferenças significativas do efeito das doses de caulim sobre as plantas, em relação à eficiência do uso da água, independente da condição de cultivo e horário de avaliação. Contudo foram encontradas diferenças significativas entre as condições apenas na avaliação no turno da tarde ( $p<0,05$ ) (Figura 15). Pela manhã, os indivíduos que foram submetidos ao estresse hídrico exibiram uma redução na EUA de 12,26% em comparação às plantas sob irrigação. No turno vespertino, essa variação alcançou os 16,67%, com as plantas irrigadas expressando valor médio de  $3,01 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ .

Foi encontrado, ainda, interação significativa, com ajuste quadrático, entre o efeito da dose e a condição de estresse hídrico na avaliação feita no turno da tarde ( $p<0,05$ ) (Figura 16). O ponto de máximo encontrado foi de  $3,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ , associado à dose na concentração de 5,9% de caulim.

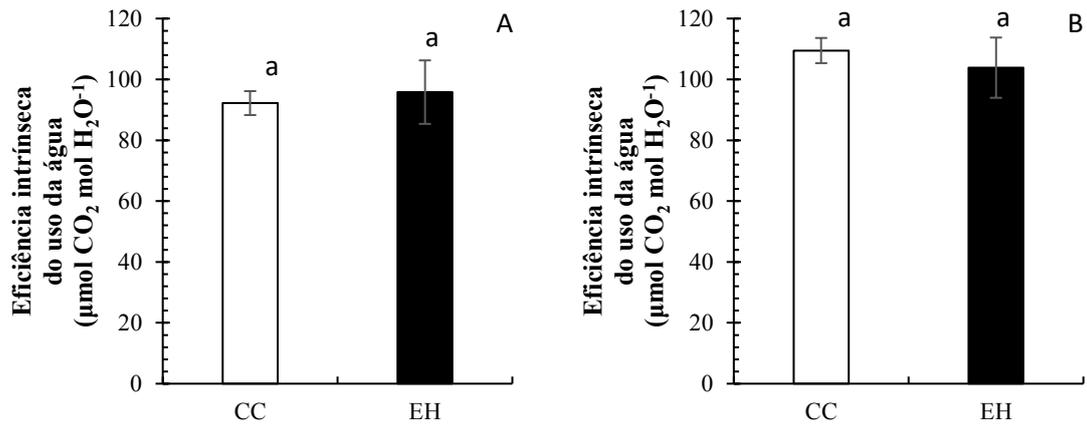


**Figura 15** – Eficiência do uso da água (EUA), sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=25). Médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo teste *f* a 5% de probabilidade.



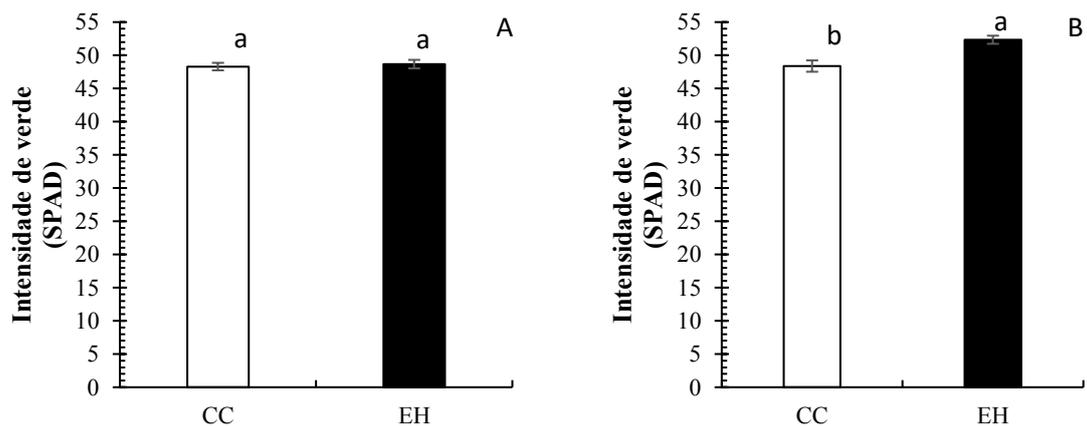
**Figura 16** – Eficiência do uso da água (EUA) sob condições de estresse hídrico (EH), em função das doses de 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de volume de calda, para o turno da tarde, após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado. As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=5). \*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste “*t*”.

Não houve efeito das doses para a eficiência intrínseca do uso da água sob as condições normais de irrigação e após sua interrupção, em ambos os turnos avaliados. Além disso, também, não foram encontradas diferenças estatísticas entre as duas condições (Figura 17A e Figura 17B).



**Figura 17** – Eficiência intrínseca do uso da água (EUA), sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=25). Médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo teste f a 5% de probabilidade.

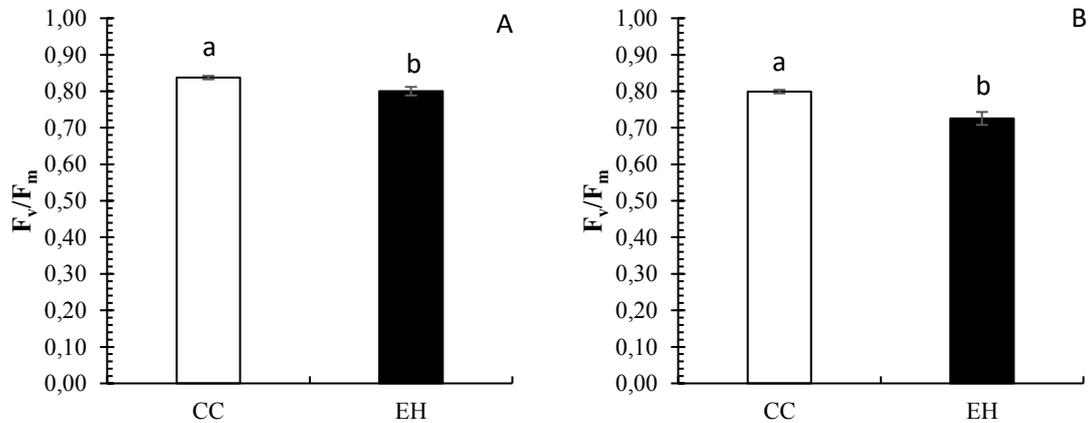
A intensidade de verde não demonstrou nenhum efeito significativo das doses de caulim sobre as plantas, em ambas as condições estudadas. Foi encontrada diferença significativa entre as condições apenas na avaliação no turno da tarde ( $p < 0,001$ ) (Figura 18A e Figura 18B). No turno vespertino, as plantas sob interrupção da irrigação expressaram um valor médio de 52,34, representando um aumento de 8,2% em relação aos indivíduos sob condição normal da distribuição do recurso.



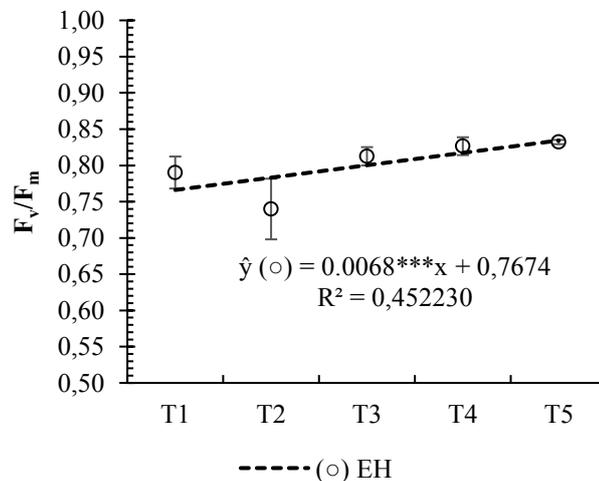
**Figura 18** – Intensidade de verde (SPAD) sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=25). Médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo teste f a 5% de probabilidade.

Não foram encontradas diferenças significativas entre as doses na análise dos dados da relação  $F_v/F_m$ , sob as condições normais de irrigação e sob sua interrupção, em nenhum dos turnos avaliados. Contudo, foram encontrados efeitos significativos entre as duas condições de cultivo ( $p < 0,001$ ) (Figura 19A e Figura 19B). É observado, no turno da manhã, uma média de 0,84 para as plantas irrigadas, enquanto que para os indivíduos sob restrição hídrica, o valor obtido foi de 0,8, expressando uma queda de 4,44%. No turno vespertino, essa variação foi maior, alcançando os 9,2%, com as plantas não irrigadas expressando valor médio de 0,73.

Além disso, foi encontrada interação significativa e positiva entre o efeito da dose e a condição de estresse hídrico na avaliação feita no turno da manhã ( $p < 0,01$ ) (Figura 20).



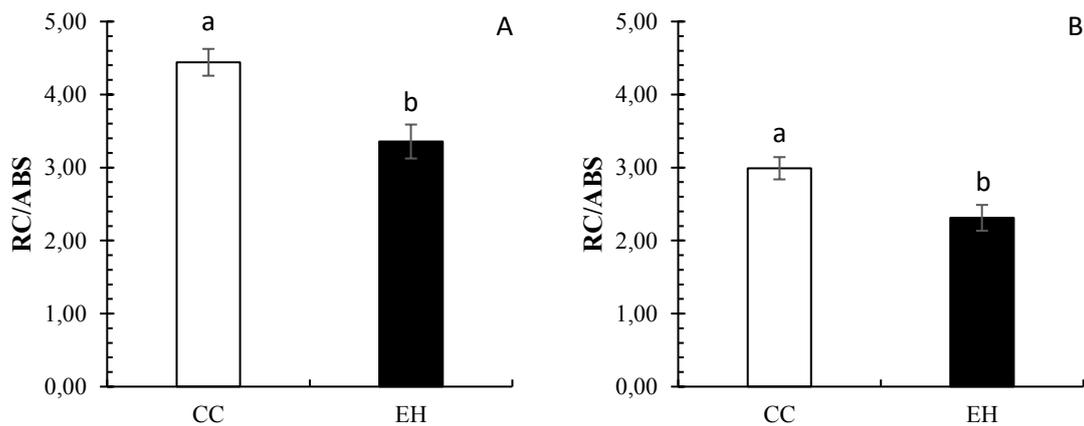
**Figura 19** – Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade ( $n=25$ ). Médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo teste f a 5% de probabilidade.



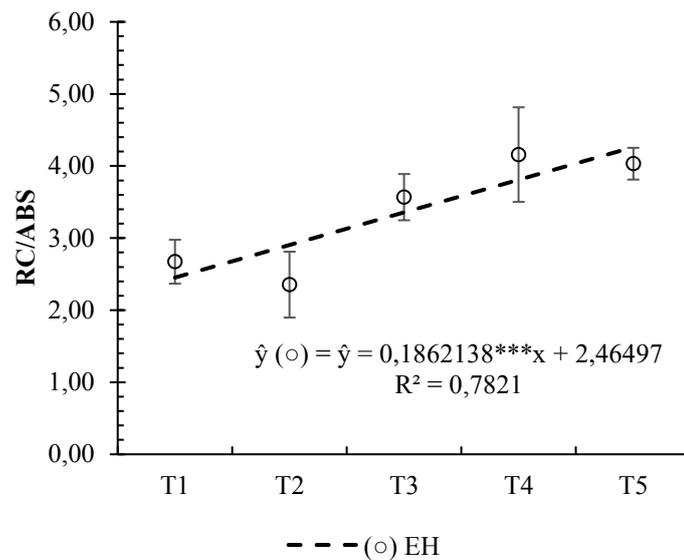
**Figura 20** – Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), sob condições de estresse hídrico (EH), em função das doses de 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de volume de calda, para o turno da manhã, após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado. As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade ( $n=5$ ). \*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste “t”.

Semelhante ao ocorrido com  $F_v/F_m$ , a relação RC/ABS não apresentou efeitos significativos entre as doses. Entretanto, foram observados efeitos significativos ao serem consideradas as diferenças entre as condições para os turnos da manhã ( $p<0,001$ ) e tarde ( $p<0,05$ ) (Figura 21A e B). Pela manhã, as plantas sob interrupção da irrigação alcançaram um valor médio de 3,36, uma redução de 24,42% em comparação aos indivíduos em condições de capacidade de campo. No turno vespertino, a redução observada entre estas condições alcançou os 22,71%.

Foi encontrada, ainda, interação significativa, positiva, entre o efeito da dose e a condição de estresse hídrico na avaliação realizada no turno da manhã ( $p<0,01$ ) (Figura 22).



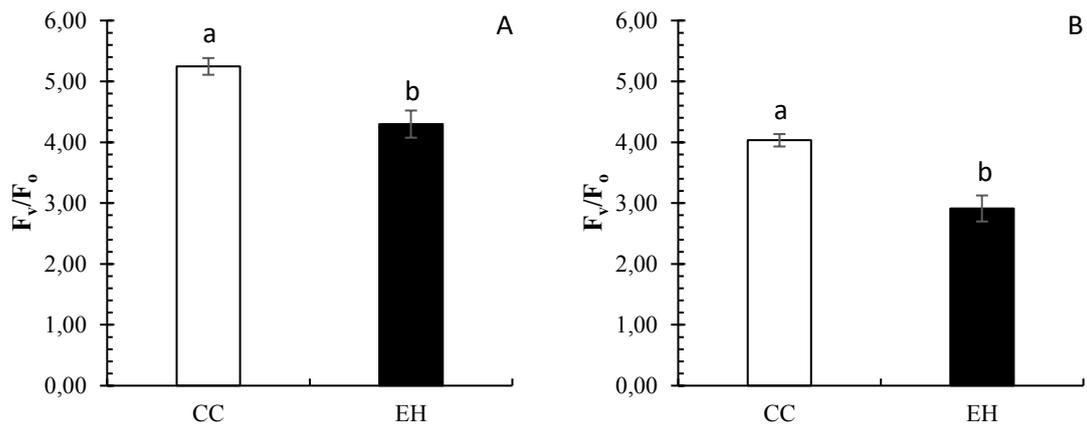
**Figura 21** – Densidade de centros de reação ativos no fotossistema II (RC/ABS) sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade ( $n=25$ ). Médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo teste f a 5% de probabilidade.



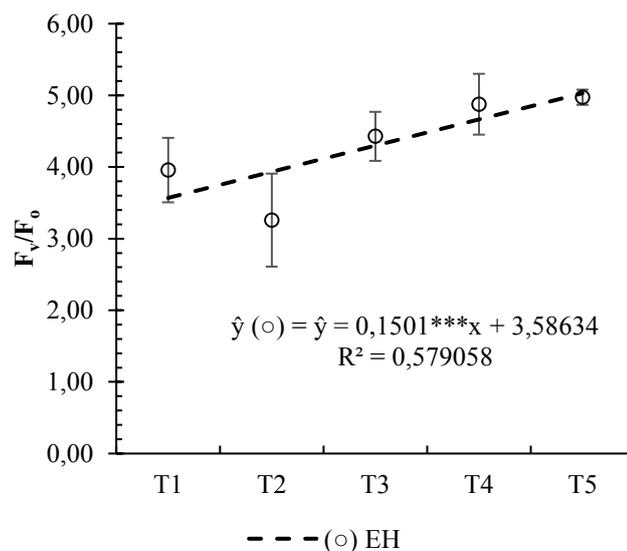
**Figura 22** – Densidade de centros de reação ativos no fotossistema II (RC/ABS), sob condições de estresse hídrico (EH), em função das doses de 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de volume de calda, para o turno da manhã, após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado. As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade (n=5). \*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste “t”.

A relação  $F_v/F_o$  não exibiu a ocorrência de efeito significativo das doses, sob as condições normais de irrigação e sob sua interrupção, em nenhum dos turnos avaliados. Contudo, foram encontradas diferenças significativas entre as duas condições de cultivo ( $p < 0,001$ ) (Figura 23A e B). Foi observada, no turno da manhã, uma média de 5,25 para as plantas irrigadas, enquanto que para os indivíduos sob restrição hídrica, o valor médio de 4,3, o que reflete uma queda de 18,07%. No turno vespertino, essa variação foi maior, alcançando os 27,78%, com as plantas não irrigadas expressando valor médio de 2,9.

Foi observado interação significativa e positiva entre as concentração das doses e a condição de estresse hídrico na avaliação feita no turno da manhã ( $p < 0,01$ ) (Figura 24), ainda que a médias da dose de 3% tenha sido 17,63% inferior ao controle.



**Figura 23** – Rendimento quântico efetivo de conversão de energia ( $F_v/F_o$ ) sob condições normais de irrigação (CC) e sob estresse hídrico (EH), após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado, para o turno da manhã (A) e da tarde (B). As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade ( $n=25$ ). Médias com letras iguais minúsculas não diferem entre si pelo teste *t* a 5% de probabilidade.



**Figura 24** – Rendimento quântico efetivo de conversão de energia ( $F_v/F_o$ ), sob condições de estresse hídrico (EH), em função das doses de 0%, 3%, 5%, 7% e 10% de volume de calda, para o turno da manhã, após aplicação de filme de partículas a base de caulim calcinado. As barras verticais expressam o erro padrão da média a 5% de probabilidade ( $n=5$ ). \*\*\*: significativo a 0,01% de probabilidade pelo teste “*t*”.

## 6 DISCUSSÕES

### 6.1 Avaliação da resposta de plantas de eucalipto submetidas a aplicação de diferentes doses de caulim

O crescimento em altura e diâmetro das plantas de eucalipto foi afetado pela aplicação do caulim, tendo o tratamento com a concentração de 3% apresentado a maior média aos 80 dias após o plantio. Contudo, doses acima de 3% parecem não ter contribuído para o crescimento das plantas, pois as médias foram inferiores ao tratamento sem a aplicação do produto (Figura 3). Esses resultados são corroborados pela produção da massa seca de folhas, caule e da parte aérea como um todo (Figura 6), que embora o modelo matemático ajustado seja uma linear negativa, o tratamento com a dose de 3% de caulim apresentou as maiores médias, seguido pelo tratamento controle.

Além disso, ainda que não tenham sido apresentadas diferenças significativas nas avaliações da assimilação de carbono (Figuras 7A - C) aos 34 e 47 dias após o plantio, na avaliação aos 60 dias o tratamento com aplicação de 3% de caulim apresentou as maiores médias, em ambos os horários de avaliação, indicando, naquele momento, uma maior incorporação de carbono em sua biomassa. Devido a produção de fotoassimilados ser dependentes da conversão da energia luminosa fotossinteticamente ativa (CARON et al., 2012), o aumento do albedo da superfície foliar com a dose de 3% de caulim pode ter mitigado o efeito da alta intensidade luminosa sobre os estômatos, corroborando com o aumento da assimilação de carbono observada, e, conseqüentemente, propiciando uma maior produção de fotoassimilados, o que, conforme observado por Otto et al. (2013), implica em maiores valores de massa seca, refletindo em incrementos superiores nas variáveis biométricas.

A avaliação da ontogenia foliar (Figura 4) apresentou resultado contrário ao que foi apresentado pela altura, pelo diâmetro e pela avaliação da biomassa. Infere-se que, a aplicação do caulim, em doses superiores aos 3% de concentração, poderia estar atribuindo às folhas dessas plantas uma característica de folhas de sombra, corroborado pela maior intensidade de verde observada à medida que se aumenta a concentração do produto, como mostra a figura 9B. Devido a aplicação de caulim contribuir com o aumento do albedo da superfície foliar, e, conseqüentemente, da reflectância dos comprimentos de ondas UV e infravermelhos (GLENN, 2012), as plantas, como alternativa de compensação à menor quantidade de luz disponível, podem ter investido no aumento do limbo foliar e em maiores concentrações de clorofila nas folhas, semelhante ao que ocorre com espécies umbrófilas no

subdossel (ALMEIDA et al., 2005). Esse efeito de sombreamento do caulim já foi relatado em estudos com noqueira e amendoeira (ROSATI et al., 2006), maçã (WÜNSCHE et al., 2004), laranja, limão, seringueira e feijão (ABOU-KHALED et al., 1970).

Foi observado, ainda, redução das médias de massa foliar específica (Figura 5) em reposta ao aumento das concentrações das doses do produto. A MFE é diretamente proporcional à elevação da intensidade de fótons que chega a superfície foliar e está ligada à espessura das folhas (TAIZ et al., 2017). Nesse contexto, a redução observada pode estar associada à estratégia das plantas em elevar a área de captação dos raios solares pelo aumento da área foliar, em detrimento do crescimento em espessura (ALMEIDA, 2005; QUEIROZ; FIRMINO, 2014; SHARMA et al., 2015).

As plantas, na avaliação das trocas gasosas (Figura 6) realizadas aos 34 dias após o plantio, apresentaram, para a assimilação do carbono, uma média de  $33,63 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  no período da manhã e de  $30,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  no período da tarde. Contudo nas avaliações seguintes, realizadas aos 47 e 60 dias após o plantio, esses valores reduziram substancialmente, ficando, de forma geral, abaixo de  $20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Estes resultados são explicados pelos fatores estomáticos, avaliados pela condutância estomática, que, assim como a transpiração, apresentou o mesmo comportamento de queda acentuada nas duas últimas avaliações. Cantore et al. (2009), ao estudarem o efeito do caulim na cultura do tomate, observaram que a aplicação do produto reduziu a assimilação fotossintética de carbono, a condutância estomática e a transpiração em 26%, 53% e 32,5%, respectivamente, sendo observado, ainda, um decréscimo na concentração interna de  $\text{CO}_2$ . Em geral, as variáveis de trocas gasosas possuem estreita relação entre si (MARENCO et al., 2014), menores valores de abertura estomática implicam na diminuição da captação de  $\text{CO}_2$  para o processo fotossintético e da perda de água pelos estômatos (COSTA et al., 2015).

Aos 34 e 47 dias após o plantio não foram encontrados efeitos significativos da aplicação do caulim sobre as médias da temperatura foliar em ambos os turnos, enquanto que aos 60 dias, foram observadas elevações com o aumento da concentração das doses (Figura 8A, B e C), o que contrapõe o efeito esperado do produto em relação à regulação térmica, como o observado para o café (STEIMAN et al., 2007), noqueira, amendoeira (ROSATI et al., 2006), algodão (DE LIMA E SILVA, 2015) e tomate (CANTORE et al., 2009). Esse comportamento pode ter ocorrido devido ao efeito do caulim sobre os fatores estomáticos (BOARI et al., 2015). Ainda que, o déficit de pressão de vapor (DPV) afete o comportamento das variáveis de trocas gasosas e temperatura foliar (GLENN, 2016), a média de 0,98 kPa à 29,7 °C encontrada para o DPV na avaliação aos 60 dias, foi relativamente baixa para ter

causado influências consideráveis. Xavier et al. (2018), em pesquisa com uso de um fotoprotetor foliar sob o crescimento inicial de clone comercial de eucalipto em diferentes demandas hídricas atmosféricas, associadas ao estresse hídrico, encontrou DPV de 1,18 kPa, sob temperatura média de 28,2 °C, valor considerado baixo pelos autores, não sendo observadas diferenças significativas para o crescimento das plantas em relação à ambientes com condições mais favoráveis.

As avaliações da eficiência do uso da água (Figura 8D,E e F) e da eficiência intrínseca do uso da água (Figura 8G, H e I) foram significativas apenas aos 34 dias após o plantio dentre as três épocas de avaliação. Steiman et al. (2007), em estudos sobre as respostas fisiológicas de plantas de café submetidas à aplicação do caulim, relacionaram o efeito discreto do produto sobre as variáveis de EUA e EIUA ao maior controle estomático expresso pelas plantas, como forma de evitar reduções drásticas nas taxas de fotossíntese líquida. Glenn et al., 2010, também não encontraram efeito da aplicação do produto sobre as variáveis.

As médias de intensidade de verde aos 34 e 60 dias após o plantio não expressaram efeito significativo das doses, em ambos os turnos. Enquanto que, a avaliação aos 47 dias apresentou relação quadrática, com redução na concentração de clorofila das folhas até as doses estimadas de 2,8% pela manhã, e de 2,1% no turno da tarde. Em concentrações superiores, como resposta ao aumento do efeito reflectivo com a aplicação do caulim, as plantas parecem ter investido em maiores concentrações de clorofila nas folhas como estratégia para aumentar a captação do recurso luminoso (ALMEIDA et al., 2005).

Aos 47 dias não foi observado efeito significativo da aplicação do caulim para o rendimento quântico máximo do fotossistema II (Figura 10A, B e C). As plantas apresentaram maiores valores de  $F_v/F_m$  aos 34 dias do plantio, fase esta em que a planta ainda está em processo de adaptação às condições de campo, com respostas positivas ao aumento da concentração das doses do produto, e aos 60 dias, com comportamento quadrático, refletindo em elevações até as concentrações estimadas de 2,66% no turno da manhã, e 3,1% no turno da tarde. Independente da dose e em todas as avaliações, os valores de  $F_v/F_m$  se situaram dentro da faixa de 0,75 a 0,85, o que, de acordo com Bolhàr-Nordenkampf et al. (1989), é um indicativo de não ocorrência de fotoinibição, ressaltando o efeito do caulim na mitigação de altos valores de intensidade luminosa ao fotossistema II, beneficiando a utilização da luz no processo fotossintético (SILVA et al., 2011). Ao estudarem o efeito da pulverização foliar do caulim na temperatura foliar, na troca gasosa líquida, na fluorescência da clorofila e nas relações hídricas de folhas de *Citrus paradisi* L expostas ao sol, Jifon e Syvertsen (2003) observaram que os valores de  $F_v/F_m$  encontrados para as folhas pulverizadas com caulim

foram de 3% a 6% superior ao das plantas controle, expressando redução de 30% da ocorrência de fotoinibição da fotossíntese.

A densidade de centros de reação ativos no fotossistema II (Figura 10D, E e F) não foi afetada pela aplicação do caulim aos 47 dias. Porém, os 34 dias após o plantio houve um aumento progressivo, em respostas às maiores concentrações das doses de caulim, enquanto que aos 60 dias, esse aumento foi observado até o ponto de máximo de 3,11% no turno da manhã e 3,48% no turno da tarde, corroborando com o observado para  $F_v/F_m$ . Esse comportamento indica que houve uma maior absorção de fótons pela planta e da captura pelos centros de reações nesses pontos, com a consequente redução da Quinona a, proporcionando uma maior ativação dos centros de reações (MENGARDA et al., 2012), sugerindo que, nesses pontos, o caulim ofereceu uma maior proteção contra a fotoinibição, além de, em consonância com o observado para  $F_v/F_o$  (Figura 10G, H e I), representar uma maior eficiência da utilização da energia absorvida nos processos fotoquímicos (BISPO, 2010).

Os resultados da relação  $F_v/F_o$  não sofreram variação com a aplicação do caulim aos 47 dias após o plantio. As concentrações de 5%, 7% e 10% aos 34 dias e as doses estimadas de 2,74%, para o turno da manhã, e 3,2%, para o turno da tarde, aos 60 dias, mostraram maior eficiência do processo fotoquímico no fotossistema II, indicando que não foram observados danos ao aparato fotossintético, expressando assim, como relatado na literatura, que a capacidade das plantas em manter a Quinona a em um estado oxidado não foi enfraquecida (ZHAO et al., 2017).

## **6.2 Avaliação da resposta de plantas de eucalipto submetidas a aplicação de diferentes doses de caulim após a interrupção da irrigação**

As avaliações ecofisiológicas com foco no comparativo de plantas bem irrigadas e plantas sob efeito de estresse hídrico, foi realizada três dias após o corte da irrigação. Nestas, não foram observados efeitos dos tratamentos, independente da condição de cultivo. Infere-se que tal resultado esteja atrelado ao volume limitado de substrato (vasos de 15 litros), que pode ter limitado o crescimento das plantas e o efeito do confinamento ter mascarado a atuação dos tratamentos, e à baixa capacidade de retenção de água do mesmo, já que o substrato utilizado foi um solo com características predominantemente arenosas. Desta forma, a discussão fica restrita à comparação entre o manejo com irrigação e o manejo sob estresse hídrico.

De forma geral, nas variáveis de trocas gasosas, a limitação do recurso hídrico afetou os valores de assimilação líquida de  $CO_2$  (Figura 11A e B), da condutância estomática

(Figura 12A e B) e da transpiração (Figura 13A e B). Mendes et al. (2013), ao estudarem as respostas fisiológicas de cinco genótipos de eucalipto à disponibilidade hídrica e à adubação potássica, observaram que essas variáveis são mais sensíveis a interrupção da irrigação, pois são altamente dependentes da disponibilidade hídrica do solo.

Comparando as condições de cultivo, percebe-se grande redução da condutância estomática em ambos os turnos, o que pode estar associado ao efeito do estresse hídrico sobre a diminuição do potencial hídrico foliar, e, conseqüentemente, da pressão de turgescência (FLEXAS; MEDRANO, 2002; TAIZ; ZIEGER, 2017). A condutância estomática possui grande sensibilidade à restrição hídrica, sendo assim uma boa sinalizadora do estresse pela deficiência do recurso (VALADARES et al., 2014). As variáveis de trocas gasosas são diretamente proporcionais (MARENCO et al., 2014), assim, a redução observada da condutância estomática, refletiu na diminuição do influxo CO<sub>2</sub> para o processo fotossintético e na perda de água pelos estômatos.

Além da redução da captação de CO<sub>2</sub> para os cloroplastos, como um efeito estomático (FARIA et al., 1996), a assimilação fotossintética de carbono, na condição de restrição hídrica, pode ter sido inferior ao das plantas na capacidade de campo, devido à fatores não estomáticos diretamente ligados à alterações nos processos fotoquímicos e bioquímicos, como a ocorrência de danos ao aparato fotossintético e a redução da atividade da Rubisco (LU, ZHANG, 1999; FLEXAS; MEDRANO, 2002).

O aumento da temperatura da folha, observado nas plantas sob interrupção da irrigação (Figura 14A e B), pode estar relacionado, também, a redução da abertura estomática que foi observada para as variáveis de trocas gasosas. Como a diminuição da condutância estomática afetou a transpiração, que é uma estratégia de dissipação térmica que protege a planta de altas temperaturas (PEREIRA et al., 2006), sua redução pode ter propiciado a ocorrência de um estresse térmico sobreposto ao hídrico (CHAVES et al., 2011).

A não diferença encontrada entre as condições de cultivo, para a eficiência do uso da água (Figura 15A) pela manhã e eficiência intrínseca do uso da água (Figura 17A e B) em ambos os turnos, é devido ao fato dessas duas variáveis serem relações de variáveis das trocas gasosas. Comportamento similar foi encontrado em estudo com andiroba (GONÇALVES et al., 2009) sob a restrição do recurso. Contudo, observa-se uma maior eficiência do uso da água no horário da tarde (Figura 15B), o que mostra que, nesse período, as plantas mantidas sob manejo de irrigação na capacidade de campo apresentaram maior controle estomático, o que também foi observado por Glenn (2010) ao examinar a interação entre um filme de partículas refletivas e a eficiência do uso da água em macieiras irrigadas e não irrigadas. No

mesmo período, foi observada interação significativa e quadrática (Figura 16) entre o efeito das doses e a condição de estresse hídrico. O desdobramento da interação indicou um ponto de máximo estimado de 5,9% de concentração de volume de calda do caulim, havendo redução das médias da variável com a aplicação de doses com maiores concentrações.

De forma geral, não foram observadas diferenças significativas em relação a intensidade de verde (Figura 18A e B). Efeitos significativos se restringiram apenas ao período da tarde. As maiores médias observadas na condição de estresse hídrico nesse turno podem estar associadas ao seu efeito sobre o potencial hídrico e a turgescência celular, na qual o déficit hídrico pode ter propiciado a ocorrência de plasmólise, refletindo na retração do citoplasma (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006), o que pode ter aproximado as moléculas de clorofila e aumentado sua concentração em pontos específicos.

As menores médias para a relação  $F_v/F_m$  (Figura 19A e B) foram observadas nas plantas sob condição de estresse hídrico, em ambos os turnos. Essa relação é, geralmente, empregada como indicador de estresse, denotando quando há impactos decorrentes de fatores bióticos ou abióticos ao funcionamento do fotossistema II (DIAS; MARENCO, 2007). A redução observada para a variável pode estar relacionada à ocorrência de alterações funcionais nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos, culminando em mudanças nas respostas da fluorescência (KONRAD et al., 2005). Comportamento semelhante foi observado por Lima et al. (2003), ao avaliarem cinco espécies de eucalipto submetidas à condição de estresse hídrico severo, sendo relatados quedas para a razão em todas as espécies, expressando a ocorrência de fotoinibição. Além disso, a eficiência da cadeia transportadora de elétrons e o rendimento do fotossistema II podem ter sido afetados pela condutância estomática, visto que há redução do influxo de  $CO_2$  para os sítios carboxilase da Rubisco, o que implica na redução da atividade fotoquímica (TAIZ; ZEIGER, 2017). No turno da manhã, houve, ainda, interação significativa e positiva (Figura 20) entre as doses e a condição de estresse hídrico. O desdobramento da interação indicou que, a partir da dose de 5% de concentração de volume de calda, o caulim apresentou maiores valores de  $F_v/F_m$  com o aumento da concentração do produto.

Os valores de  $RC/ABS$  (Figura 21A e B) e  $F_v/F_o$  (Figura 23A e B) das plantas em condição de estresse hídrico foram inferiores ao das plantas irrigadas, em ambos os turnos. A redução da quantidade de centros de reação ativos e da conversão da energia fotoquímica, expressam que o quantitativo de energia radiante introduzida nas folhas foi maior que a capacidade de utilização no processo fotossintético (SILVA et al., 2011), explicando também, os decréscimos em  $F_v/F_m$ , e ressaltando a ocorrência de fotoinibição, decorrente da restrição

hídrica. De acordo com Cheng et al., (2014), a relação RC/ABS é um importante indicador da perda da estrutura e função do fotossistema II, podendo sinalizar a ocorrência de bloqueio do fluxo de elétrons além da Quinona a. Enquanto que  $F_v/F_o$  é apontado como variável mais efetiva na discriminação de pequenas diferenças no rendimento quântico do fotossistema II, em comparação ao  $F_v/F_m$  (SILVA et al., 2010; VITÓRIA et al., 2010). Zanetti (2013), ao estudar as respostas fisiológicas e anatômicas de um clone de cacau submetido ao déficit hídrico após pulverização foliar com partícula fotoprotetora a base de Si, observou reduções em RC/ABS e  $F_v/F_o$ . As doses e a condição de estresse hídrico demonstraram interação no turno da manhã para ambas as variáveis (Figura 22 e Figura 24). O desdobramento da interação indicou que no período, ainda que a menor média tenha sido observada para a dose de 3% de caulim no volume de calda, as doses com as maiores concentrações corroboraram com maiores médias de RC/ABS e  $F_v/F_o$ .

## 7 CONCLUSÃO

Não foram observados efeitos do produto sob a interrupção da irrigação, contudo, a condição de estresse hídrico severo afetou consideravelmente os processos fisiológicos.

Os crescimentos em altura e diâmetro das plantas mostraram respostas positivas a aplicação do caulim, durante o período de avaliações, sendo os maiores incrementos observados para a dose de 3% de concentração do caulim.

Dessa forma, considerando todas as variáveis, o tratamento que apresentou, de forma geral, o melhor desempenho foi o tratamento com a concentração de 3% de volume de calda.

## REFERÊNCIAS

ABOU-KHALED, A.; HAGAN, R. M.; DAVENPORT, D. C. Effects of kaolinite as a reflective antitranspirant on leaf temperature, transpiration, photosynthesis, and water-use efficiency. **Water Resources Research**, v. 6, n. 1, p. 280-289, 1970.

ABRAF – Associação Brasileira de Florestas. **Anuário estatístico ABRAF 2013**: ano base 2012. ABRAF. 148p. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf>>. Acesso em 20 jan 2018.

ALMEIDA, S. M. Z.; SOARES, A. M.; DE CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; GAJEGO, E. B. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência rural**, v.35, n.1, p.62-68, jan./fev. 2005.

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, out./dez. 2009.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**. 2 ed. Viçosa: Editora UFV. 2006.

BARKER, J. E.; FULTON, A.; EVANS, K. A.; POWELL, G. The effects of kaolin particle film on *Plutella xylostella* behaviour and development. **Pest Management Science**, v. 62, n. 6, p. 498-504, 2006.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; GUIMARÃES, C. A. F.; HASELEIN, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 75-87, 2002.

BISPO, W. M. S. **Respostas fisiológicas de goiabeira ‘Paluma’ parasitada por *Meloidogyne mayaguensis* sob condições controladas e de campo**. 2010. 78f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2010.

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

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G.; SCHREIDER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrument. **Functional Ecology**, v.3, p.497- 514, 1989.

BRILLANTE, L.; BELFIORE, N.; GAIOTTI, F.; LOVAT, L.; SANSONE, L.; PONI, S.; TOMASI, D. Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. **PLoS One**, v. 11, n. 6, jun. 2016.

BRITO, M. E. B; DE ARAÚJO FILHO, G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; DE MELO, A. S.; DA COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Biosciência Journal**, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, set./out. 2013.

- BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; DUTRA, L. F.; ARAÚJO, M. A. Miniestquia de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*: (II) sobrevivência e enraizamento de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 453-465 jul./set. 2010.
- CAMPOSTRINI, E.; REIS, F. O.; SOUZA, M. A. Processed-Kaolin Particle Film on Papaya Leaves: a Study Related to Gas Exchange, Leaf Temperature and Light Distribution in Canopy. **Acta Horticulturae**, 864, 2010.
- CANTORE, V.; BERNARDO, P.; ALBRIZIO, R. Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, p. 279-288, 2009.
- CARON, B. O.; DE SOUZA, V. Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; BAMBERG, R.; ELOY, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.36, n.5, p. 833-842, 2012.
- CARVALHO, I. S. **Estruturação da cadeia produtiva de produtos madeireiros das grandes empresas na região sudoeste do Maranhão**. 2016. 65f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal). Universidade Estadual do Maranhão, Imperatriz - MA, 2016.
- CHAVES, M. M.; COSTA, J. M.; SAIBO, N. J. M. Recent advances in photosynthesis under drought and salinity. **Advances in Botanical Research**, v. 57, p. 49-104. dez. 2011.
- CHEN, S.; STRASSER, R. J.; QIANG, S. In vivo assessment of effect of phytotoxin tenuazonic acid on PSII reaction centers. **Plant physiology and biochemistry**, v. 84, p. 10-21, 2014.
- COSTA, A. S.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, I. A.; PEREIRA, F. H. F. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**, v. 20, n. 4, p. 705-717, 2015.
- COUTINHO, M. J. F. Características morfogênicas, estruturais e produtivas de capim-buffel sob diferentes turnos de rega. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 216-224, abr-jun, 2015.
- D'AQUINO, S.; COCCO, A.; ORTU, S.; SCHIRRA, M. Effects of kaolin-based particle film to control *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) infestations and postharvest decay in citrus and stone fruit. **Crop Protection**, v. 30, n. 8, p. 1079-1086, 2011.
- DA SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; DE LACERDA, C. F.; DE SOUSA, C. H. C.; CHAGAS, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 317-325, out./dez. 2016.
- DE LIMA E SILVA, A. L. A. **Determinação da dose de caulim eficiente contra o bicudo e seu impacto sobre a capacidade fotossintética do algodoeiro**. 2015. 40f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Estadual da Paraíba, Campo Grande, 2015.

DELIAS, D. S. **Características biométricas, trocas gasosas e atividade do sistema antioxidante de plantas de Eucalipto durante o crescimento inicial**. 2013. 71f. Dissertação (Mestrado em em Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

DEUS, B. C. S. **Capacidade fotossintética e ontogenia foliar da videira 'Niagara rosada' cultivada sob cobertura plástica no Norte Fluminense**. 2014. 71f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesq. agropec. bras.**, v.42, n.3, p.305-311, mar. 2007.

DINIS, L.T.; BERNARDO, S.; CONDE, A.; PIMENTEL, D.; FERREIRA, H.; FÉLIX, L.; GERÓSA, H.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. **Journal of plant physiology**, v. 191, p. 45-53, 2016.

EVANS, R. G.; SADLER, E. J. Methods and technologies to improve efficiency of water use. **Water resources research**, v. 44, n. 7, 2008.

FARIA, T.; GARCÍA-PLAZAOLA, J. I.; ABADIA, A.; CERASOLI, S.; PEREIRA, J. S.; CHAVES, M. M. Diurnal changes in photoprotective mechanisms in leaves of cork oak (*Quercus suber*) during summer. **Tree Physiology**, v. 16, n. 1-2, p. 115-123, 1996.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no mato grosso. **Nativa**, v. 03, n. 01, p. 67-77, jan./mar. 2015.

FERNANDES, T. E.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Rural**, v.45, n.1, p.29-34, jan. 2015.

FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; CARNEIRO, J. G. de A.; PENCHEL, R. M.; BARROSO, D. G.; DAHER, R. F. Efeito das variações biométricas de mudas clonais de eucalipto sobre o crescimento no campo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p.01-11, 2011.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of botany**, v. 89, n. 2, p. 183-189, 2002.

FREITAS, R. M. O. Physiological responses of cowpea under water stress and rewatering in no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 559-567, jul-set, 2017.

GLENN, D. M. Canopy gas exchange and water use efficiency of 'Empire' apple in response to particle film, irrigation, and microclimatic factors. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 135, n. 1, p. 25-32, 2010.

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

GLENN, D. M. Particle Film Mechanisms of Action That Reduce the Effect of Environmental Stress in ‘Empire’ Apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 134, n. 3, p. 314–321, 2009.

GLENN, D. M. The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. **HortScience**, v. 47, n. 6, p. 710-711, 2012.

GLENN, D. M.; BASSETT, C.; DOWD, S. E. Effect of pest management system on ‘Empire’ apple leaf phyllosphere populations. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 58-65, 2014.

GLENN, D. M.; COOLEY, N.; WALKER, R.; CLINGELEFFER, P. Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. **Hort Science**, v. 45, n. 8, p. 1178-1187, 2010.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J. Particle Films: A New Technology for Agriculture. **Horticultural Reviews**, New York, v. 31, p. 1-44, 2005.

GONÇALVES, K. S.; SOUSA, A. P.; VELINI, E. D. Aplicação de reguladores vegetais e de fosfito de potássio em mudas de eucalipto submetidas à deficiência hídrica. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 273-285, 2015.

GONÇALVES, J. F. C.; DA SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 8-14, 2009.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T.; GENEVE, L. R. **Plant Propagation: Principles and Practices**. 8 ed. Pearson Education Limited, 2011.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual**. Brasília - DF, 2017. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)>. Acesso em 23 jan. 2018.

JIFON, J. L.; SYVERTSEN, J. P. Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of ruby red grapefruit leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 1, p. 107-112, 2003.

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.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B. D.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v.64, n.3, p.339-347, 2005.

LEGOAS, R. C. **Efeito do potássio e do sódio no crescimento e nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* sob duas condições de regime hídrico**. 2016. 134f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2016.

LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO<sub>2</sub> concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, v.60, n.2, p.231-238, abr./jun. 2003.

LOPES, A. S.; TSUKAMOTO FILHO, A. A.; BRONDANI, G. E.; MATOS, S. E.; OLIVEIRA, T. M.; BARBOSA FILHO, J.; FONSECA, R. M. C.; NINÁCIO, P. R. Produtividade de minicepas de *Eucalyptus urophylla* S. T Blake em função da solução nutritiva e coleta de brotações. **Nativa**, Sinop, v.4, n.1, p.44-47, jan./fev. 2016.

LU, C.; ZHANG, J. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, n. 336, p. 1199-1206, 1999.

MAFAKHERI, A.; SIOSEMARDEH, A. F.; BAHRAMNEJAD, B.; STRUIK, P. C.; SOHRABI, Y. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. **Australian journal of crop science**, v. 4, n. 8, p. 580, 2010.

MARENCO, R. A.; ANTEZANA-VERA, S. A.; DOS SANTOS GOUVÊA, P. R.; CAMARGO, M. A. B.; DE OLIVEIRA, M. F.; DA SILVA SANTOS, J. K. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Ceres**, v. 61, n. 7, p. 786-789, nov./dez. 2014.

MENDES, H. S. J.; PAULA, N. F. D.; SCARPINATTI, E. A.; PAULA, R. C. D. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 603-611, 2013.

MENGARDA, L. H. G.; MILANEZ, C. R. D.; SILVA, D. M.; AGUILAR, M. A. G.; CUZZUOL, G. R. F. Morphological and physiological adjustments of Brazilwood (*Caesalpinia echinata* Lam.) to direct solar radiation. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 24, n. 3, p. 161-172, 2012.

MORAIS, R. R.; ROSSI, L. M. B.; HIGA, R. C. V. Trocas gasosas de plantas jovens de taxi-branco submetidas à variação de temperatura foliar e suspensão da irrigação. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 97-104, jan./mar. 2017.

OLIVEIRA, P.; et al. **Evolução de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF): estudo de caso da Fazenda Santa Brígida, Ipameri, GO. Embrapa Cerrado (INFOTECA-E). Documentos**, 318. 2013.

OMRI - Organic Materials Review Institute. **Products List 2018**. Longwood, Flórida, 9 jan. 2018. Disponível em: < [https://www.omri.org/sites/default/files/opl\\_pdf/CompleteCompany-NOP.pdf](https://www.omri.org/sites/default/files/opl_pdf/CompleteCompany-NOP.pdf) >. Acesso em: 13 jan. 2018.

OTTO, M. S. G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, A. N.; VRECHI, A.; SILVA, S. R.; STAPE, J. L. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, v.37, n.3, p.431-439, 2013.

- PADILHA, N. S. Crescimento inicial do pinhão-manso submetido a diferentes regimes hídricos em latossolo vermelho distrófico. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 513-521, abr./jun. 2016.
- PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; SILVA, M. R. D.; DE SOUZA, R. A.; FONSECA, N. R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**, p. 518-531, 2006.
- PINTO, S. I. C.; FURTINI NETO, A. E.; NEVES, J. C. L.; FAQUIN, V.; MORETTI, B. S. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 523-533, 2011.
- PINTO JÚNIOR, J. E.; SANTAROSA, E.; GOULART, I. C. G. R. Histórico do cultivo de eucalipto. IN: SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Transferência de tecnologia florestal**. Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- PREVEDELLO, J.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; VOGELMANN, E. S.; FONTANELA, E.; REICHERT, J. M. Manejo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em argissolo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 129-138, 2013.
- PROTASIO, T. P.; GOULART, S. L.; NEVES, T. A.; ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F. Clones comerciais de *Eucalyptus* de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 113-127, mar. 2014.
- QUEIROZ, S. É. E.; FIRMINO, T. O. Efeito do sombreamento na germinação e desenvolvimento de mudas de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista Biociências**, v. 20, n. 1, p. 72-77, 2014.
- ROSATI, A.; METCALF, S. G.; BUCHNER, R. P.; FULTON, A. E.; LAMPINEN, B. D. Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. **Annals of botany**, v. 98, n. 1, p. 267-275, 2006.
- ROSATI, A.; METCALF, S. G.; BUCHNER, R. P.; FULTON, A. E.; LAMPINEN, B. D. Effects of kaolin application on light absorption and distribution, radiation use efficiency and photosynthesis of almond and walnut canopies. **Annals of Botany**, v. 99, p. 255-263, 2007.
- SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 655-662, out./dez. 2011.
- SHARMA, R. R.; REDDY, S. V. R.; DATTA, S. C. Particle films and their applications in horticultural crops. **Applied Clay Science**, v. 116–117, p. 54–68, 2015.
- SHELLIE, K. C.; KING, B. A. Kaolin particle film and water deficit influence red wine grape color under high solar radiation in an arid climate. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 64, n.2, p. 214-222, 2013.
- SILVA, A. S.; OLIVEIRA, J. G.; CUNHA, M. D.; VITÓRIA, A. P. Photosynthetic performance and anatomical adaptations in *Byrsonima sericea* DC. under contrasting light

conditions in a remnant of the Atlantic forest. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 4, p. 245-254, 2010.

SILVA, P. E. M.; SANTIAGO, E. F.; DA SILVA, E. M.; RONDON SÚAREZ, Y. R.; DALOSO, D. M. Fluorescência da clorofila-a e variação da simetria como ferramentas de investigação de plantas sob estresse. **IDESIA**, v. 29, n. 3, p. 45-52, set./dez. 2011.

SILVA, P. H. M.; CAMPOE, O. C.; VIEIRA, I. G.; DE PAULA, R. C. Aplicação foliar de boro em eucalipto sob estresse hídrico. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 395-405, jun, 2015.

SILVA, A. L. A. L.; SILVA, C. A. D. Concentração eficiente e econômica de caulim para a proteção de algodoeiro contra o bicudo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.9, p.763-768, set. 2015.

SOUZA, A. M. S.; BATISTA, V. G.; PINHEIRO, M. P.; SUASSUNA, J. F.; LIMA, L. M. D.; FERNANDES, P. D. Expression of NCED gene in colored cotton genotypes subjected to water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 692-696, 2016.

SOUZA, P. A.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; ALVARENGA, M. I. N.; SILVA, V. F. Estabelecimento de Espécies Arbóreas em Recuperação de Áreas Degradadas pela Extração de Areia. **CERNE**, v. 7, n. 2, p. 43-52, 2001.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed, Porto Alegre: Artmed, 2017.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; VINCO, J. S.; PINHEIRO, A. A. Crescimento de clones de eucalipto em diferentes condições microclimáticas e lâminas de água no substrato. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 104-118, 2016.

TERRA, G. R. T.; LEAL, T. C. A. B.; RANGEL, P. H. N.; DE OLIVEIRA, A. B. Características de tolerância à seca em genótipos de uma coleção nuclear de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.9, p.788-796, set. 2015.

TRINTA, P. V. **Análise bioclimática do bairro do Renascença II São Luis-MA: realidade e perspectiva do conforto térmico em espaços externos**. 2007. 197f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

TURATI, D. T. **Efeito de filme de partículas de caulim sobre a seleção hospedeira e desenvolvimento de *Diaphorinacitri* Kuwayama em *Citrus sinensis* (L.) Osbeck**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Piracicaba – SP, 2008.

VALADARES, J.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Physiological changes in eucalyptus hybrids under different irrigation regimes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 805-814, out./dez. 2014.

VITÓRIA, A. P.; LAGE-PINTO, F.; CAMPANELI, L. B.; ALMEIDA, M. G.; SOUZA, C. M.; REZENDE, C. E.; AZEVEDO, R. A.; OLIVEIRA, J. G. Ecophysiological adaptation and metal accumulation in water hyacinth from two tropical rivers. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, n. 1, p. 49-59, 2010.

WÜNSCHE, J.N.; LOMBARDINI, L.; GREER, D.H. ‘Surround’ particle film applications — effects on whole canopy physiology of apple. **Acta Hortic**, v. 636, p. 565–571, 2004.

XAVIER, A.; DA SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93-98, 2010.

XAVIER, T. M. T.; PEZZOPANE, J. E. M.; PENCHEL, R. M.; PEZZOPANE, J. R. M. Uso de fotoprotetor foliar em mudas de eucalipto em condição de déficit hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.2, p. 2418-2429, 2018.

ZANETTI, L. V. **Efeitos da pulverização foliar com silício na tolerância de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) ao déficit hídrico**. 2013. 60f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal). Universidade Estadual do Espírito Santo, Vitória, 2013.

ZHAO, L. S.; LI, K.; WANG, Q. M.; SONG, X. Y.; SU, H. N.; XIE, B. B.; ZHANG, X. Y.; HUANG, F.; CHEN, X. L.; ZHOU, B. C.; ZHANG, Y. Z. Nitrogen starvation impacts the photosynthetic performance of *Porphyridium cruentum* as revealed by chlorophyll a fluorescence. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 8542, 2017.