

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**POLÍMERO HIDRORETENTOR MITIGANDO O  
DÉFICIT HÍDRICO EM *Schinus terebinthifolia*:  
METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO E CRESCIMENTO  
INICIAL**

**FRANCISCO ANTONIO BELTRAMIN**

**WILLIAN COSTA SILVA**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2020**

**POLÍMERO HIDRORETENTOR MITIGANDO O DÉFICIT HÍDRICO EM  
*Schinus terebinthifolia*: METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO E  
CRESCIMENTO INICIAL**

FRANCISCO ANTONIO BELTRAMIN  
WILLIAN COSTA SILVA

Orientador: Prof. Dr. CLEBERTON CORREIA SANTOS  
Co-orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. SILVANA DE PAULA QUINTÃO SCALON

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal da Grande Dourados,  
como parte das exigências do Curso de  
Bacharelado em Agronomia, para obtenção do  
título de Engenheiro Agrônomo.

Dourados  
Mato Grosso do Sul  
2020

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a Deus pela graça da vida, por inúmeros benefícios e bênçãos em minha história. Á Nossa Senhora Aparecida, por toda sua intercessão.

Segundamente quero agradecer minha família, a começar por meus pais, Antonio Luis Beltramin e Judite Eliana Colombi Beltramin, que sempre fizeram de tudo por mim, por minha educação e formação. Obrigado pai, pelos dias árduos na lavoura, pela busca incansável em dar a nossa família uma base sólida, e tudo o que necessitamos. Obrigado por todo encorajamento e apoio. Obrigado mãe por toda doçura, motivação e inspiração. Vocês são minha fortaleza.

Ás minhas três irmãs, Micheli Poliana Beltramin, Sara Maria Beltramin e Miriam Raquel Beltramin, que desde sempre cuidaram de mim. Foram e são exemplos pra minha caminhada. Obrigado por todo o apoio de vocês três, por todos os conselhos e advertências, são meus anjos da guarda. Obrigado por terem se esforçado tanto por mim.

Ao meu irmão mais velho Lucas Pablo Beltramin, que tem influência especial em minha escolha profissional. Obrigado por tanto trabalho e esforço que fez por nossa família e por mim. Obrigado pelos conselhos e por ter aberto um caminho onde eu posso trilhar.

À minha namorada, Victória Casagrande Amorim, que tem me dado todo o apoio. Obrigado por toda ajuda, compreensão, paciência, e por ter feito esse período tão especial, você faz tudo ficar mais leve.

Ao Willian Costa Silva que é como um irmão. Muito obrigado por todo o companheirismo, por tornar essa jornada mais alegre. Obrigado pela motivação e ânimo.

Ao meu orientador Cleberton, por toda sua atenção, paciência e dedicação. Obrigado por todo o conhecimento que nos passou. Obrigado por ter nos guiado e orientado da melhor forma possível, você é certamente um exemplo a ser seguido.

Á professora Silvana De Paula Quintão Scalon, que me deu a oportunidade e o privilegio da pesquisa durante meu curso. Obrigado pela paciência e compreensão.

Aos meus colegas de sala, que de alguma forma enriqueceram todo meu período na graduação.

Á UFGD e FCA pela estrutura e ensino.

A todos os professores do curso de Agronomia que contribuíram pra minha formação.

Francisco Antonio Beltramin

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus e Nossa Senhora pelo dom da vida e por estar aqui, firme na caminhada.

Aos meus pais, Salomão e Maria Lionice, por me darem apoio em todas minhas escolhas e me ajudarem a conquistar meus objetivos, são meus exemplos de vida.

A minha irmã e meu cunhado, Lilian e Ederson Alexandre, por me apoiarem em tudo que faço e me ajudarem sempre que preciso.

Ao meu amigo e irmão Francisco, por me ajudar em toda a faculdade, sempre motivando e ajudando, sempre dando o “último gás” na hora certa, com muita paciência vamos nos ajudando.

Meu orientador e grande amigo Cleberton, por ter muita paciência para nos ensinar tudo que sabe, sempre mostrando os melhores caminhos e guiando de forma excelente, um verdadeiro exemplo de profissional e de pessoa.

A todos meus amigos Aruan Marcondes, Vinicius Navarro, Pedro Souza, Larissa Mendes, Leonardo Decian, Geovane Balotin, Alécio Andrade, Lucas Souza, Rafael Costa e outros, que sempre contribuíram de forma positiva na minha vida universitária e pessoal.

A todos os colegas de turma que de alguma forma fizeram parte da minha vida e formação.

A UFGD e a FCA por me receber e oferecer toda sua estrutura.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação.

São meus sinceros agradecimentos, um grande abraço a todos!

Willian Costa Silva

## SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
1 INTRODUÇÃO .....	01
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	03
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	06
4 CONCLUSÕES .....	16
5 REFERÊNCIAS.....	17

**POLÍMERO HIDRORETENTORE MITIGANDO O DÉFICIT HÍDRICO EM  
*Schinus terebinthifolia*: METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO E  
CRESCIMENTO INICIAL**

**RESUMO**

O uso de polímeros hidrorretentores (hidrogel) pode ser uma alternativa para mitigar os danos ao aparato fotossintético e aumentar a robustez de plantas jovens sob déficit hídrico. Assim, objetivou-se neste estudo avaliar o efeito de polímero hidrorretentor nos aspectos morfofisiológicos de *Schinus terebinthifolia* submetidas ao déficit hídrico. Os regimes hídricos estudados foram caracterizados por três manejos da irrigação das plantas: 1) irrigadas diariamente (controle), 2) estresse: déficit hídrico: suspensão da irrigação e 3) estresse + polímero hidrorretentor. As plantas foram submetidas à suspensão da irrigação até que a fotossíntese se aproximasse de zero [ $1^a F_0$ ], seguida de retomada da irrigação (REI) durante 15 dias após a  $1^a F_0$ , até recuperação da taxa fotossintética das plantas, e manutenção da irrigação de todas as plantas por 90 dias, caracterizando o período final de recuperação (REC) (125 dias de experimento). A taxa fotossintética alcançou valores próximos a zero nas plantas sob estresse aos 20 dias de restrição hídrica, enquanto que àquelas com o hidrogel, não apresentaram queda do metabolismo foliar. Os aspectos fisiológicos, exceto a concentração intercelular de  $CO_2$ , foram menores na  $1^a F_0$  sob déficit hídrico sem hidrogel, mas apresentaram plasticidade fisiológica. As maiores características de crescimento foram das plantas cultivadas com o hidrogel e na recuperação final. O uso de hidrogel contribuiu na manutenção da capacidade fotossintética de *S. terebinthifolia* sob déficit hídrico, apresentando-se um produto promissor nessas condições de estresse.

**Palavras-chave:** Cerrado, hidrogel, plasticidade fisiológica, pimenta rosa.

## 1 INTRODUÇÃO

As regiões tropicais, especialmente no Cerrado, são caracterizadas por apresentar sazonalidade climática em suas diferentes fitofisionomias, ocasionada por flutuações hídricas, ressaltando o déficit em determinados períodos do ano, devido às oscilações de precipitações (FONSECA et al., 2017). A baixa disponibilidade hídrica nos solos dessa região pode causar danos funcionais e metabólicos nas plantas, tais como fechamento estomático, redução de eficiência de carboxilação da Rubisco, aumento na concentração intercelular de CO<sub>2</sub> e produção de espécies reativas de oxigênio, comprometendo a capacidade fotossintética e o crescimento vegetal (FRANÇA et al., 2017; RESENDE et al., 2019).

As condições ambientais interferem no sucesso de sobrevivência e estabelecimento inicial das plantas nas áreas priorizadas para reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e sistemas integrados de produção sustentável. Neste sentido, é necessário estabelecer tecnologias que possam atenuar os efeitos deletérios nas plantas jovens ocasionados pelo déficit hídrico, uma vez que, especialmente na fase de implantação, essas necessitam manter os processos fisiológicos e produção de fotoassimilados.

O uso de polímeros hidroretentores (hidrogel) tem sido uma opção que contribui para a retenção de água no solo, disponibilizando-a para as plantas em períodos secos (FELIPPE et al., 2016; SILVA et al., 2019), além disso, eles permitem uma melhor aeração, capacidade de troca catiônica e redução da lixiviação de nutrientes (BARTIERES et al., 2016; KONZEN et al., 2017). Entretanto, informações ecofisiológicas das espécies arbóreas frutíferas na fase de mudas associadas ao uso do hidrogel são incipientes.

Dentre as espécies com potencial bioecológico para fitofisionomias do Cerrado, a *Schinus terebinthifolia* Raddi (Anacardiaceae), espécie pioneira, conhecida popularmente como pimenta rosa ou aroeira vermelha, apresenta larga distribuição na América do Sul, incluindo o Brasil com seus diversos biomas. Na fase adulta, a planta pode atingir altura de 5 a 10 metros, com frutos pequenos e avermelhados atrativos a

fauna silvestre (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2013; VIÉGAS et al., 2018). Portanto a espécie apresenta potencial para inserção em sistemas integrados de produção e/ou áreas degradadas para restabelecimento dos serviços ecossistêmicos.

Objetivou-se neste estudo avaliar o efeito de polímero hidroretentor nos aspectos morfofisiológicos de *S. terebinthifolia* submetidas ao déficit hídrico a fim de testar a hipótese de que embora a restrição hídrica reduza a eficiência do metabolismo foliar, a adição de hidrogel ao solo pode mitigar danos ao aparato fotossintético e aumentar a tolerância dessa espécie na fase inicial de crescimento direcionando-a para recuperação e enriquecimento de áreas no Cerrado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### Detalhamento do experimento

Frutos maduros de *S. terebinthifolia* foram coletados (Registro de Acesso nº A9CDAAE – CGEN-MMA, de 15/10/2018) de matrizes localizadas no Horto de Plantas Medicinais (22°11'43.7"S e 54°56'08.5"W, 452 m), da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Dourados – MS, Brasil. O despulpamento manual foi feito seguido da imersão das sementes em hipoclorito de sódio (2%), por 5 minutos, para desinfecção e assepsia das mesmas. A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido de 72 células, preenchidas com substrato Tropstrato®.

Aos 60 dias após a emergência, realizou-se repicagem das plântulas para tubetes de polietileno de 290 cm<sup>3</sup>, permanecendo sob viveiro com 50% sombreamento e irrigações diárias até alcançarem altura média de 10 cm, o que ocorreu aos 30 dias após a repicagem. Em seguida, foi feito o transplântio para vasos plásticos preenchidos com 10 kg de substrato seco constituído de Latossolo Vermelho Distroférico + areia (3:1, v/v) e irrigações diárias mantendo 70% da capacidade de retenção de água (CRA) no substrato por 30 dias, caracterizado como período de aclimatização, ou seja, todas as mudas sob as mesmas condições hídricas.

O experimento foi desenvolvido sob viveiro com 30% de sombreamento e proteção adicional superior e lateral de cobertura plástica com espessura de 150 µm, visando proteção de precipitações. Os regimes hídricos foram caracterizados por três manejos da irrigação, separando os vasos e plantas em três grupos: 1) Irrigadas diariamente (controle): mantendo 70% da CRA no substrato conforme Souza et al. (2000), 2) Estresse: déficit hídrico – realizou-se a suspensão da irrigação, e a cada dois dias foi feito o monitoramento da taxa fotossintética, até o momento em que os valores se aproximassem de zero [ $1^a F_0$ ], realizando posteriormente a retomada da irrigação e 3) Estresse + hidrogel: déficit hídrico + polímeros hidroretentores, o qual os procedimentos foram semelhantes ao regime hídrico anterior.

O polímero hidroretentor foi obtido por meio da adição do hidrogel Forth Gel® constituído de copolímero poliacrílico de potássio poliacrilamida (condicionador de solo

– classe E; CTC= 53,22 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>) na dose de 4 g L<sup>-1</sup> de água, permanecendo em recipiente por 30 minutos, até que o produto apresentasse aspecto de gel, no qual foi posteriormente adicionado na quantidade de 100 mL por vaso próximo a raiz no momento do transplante das mudas, nas parcelas correspondentes ao estresse + hidrogel.

Durante o período experimental as avaliações das características morfofisiológicas foram realizadas em quatro períodos: T<sub>0</sub> (início do experimento – dia zero, um dia antes de suspender a irrigação dos tratamentos correspondentes), 1<sup>a</sup> F<sub>0</sub> (primeira fotossíntese próxima à zero, por parte das plantas estressadas sem hidrogel – 20<sup>o</sup> dia), REI (retomada da irrigação diária do substrato durante 15 dias após a 1<sup>a</sup> F<sub>0</sub> – 20<sup>o</sup> ao 35<sup>o</sup> dia), momento este em que as plantas sob estresse apresentaram valores da taxa fotossintética próximos aos das plantas controle. Após esse período todas as plantas foram irrigadas diariamente por mais 90 dias, caracterizando o período de recuperação final (REC), realizando a avaliação final no 125<sup>o</sup> dia de experimento.

As irrigações foram realizadas conforme os regimes hídricos estabelecidos, no qual as mudas sob irrigações diárias, REI e REC foram mantidas sob 70% da CRA no substrato conforme Souza et al. (2000), isto é, determinou-se a CRA de 100% no substrato por meio do conteúdo de água retido após o escoamento, e a CRA de 70% foi obtida por meio de regra de três simples em função do peso. Os vasos foram pesados em balança analítica (0,001 g) e a irrigação individualizada dos mesmos foi realizada diariamente, com água em quantidade suficiente para atingir o peso pré-estabelecido.

Foi utilizado delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, sendo que cada unidade experimental foi constituída por quatro vasos com duas plantas cada. Os tratamentos foram arrançados em esquema de subparcelas, sendo alocados nas parcelas os regimes hídricos, e nas subparcelas os períodos de avaliação. Em cada período foram avaliadas quatro plantas por repetição para características não destrutivas e uma planta para as destrutivas, realizando as seguintes avaliações:

**(a) Trocas gasosas:** utilizando folhas totalmente expandidas, foram quantificadas a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (fotossíntese) –  $A$  (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> –  $C_i$  (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática –  $g_s$  (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e transpiração –  $E$  (mmol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>), utilizando-se medidor de fotossíntese portátil LCIPRO-SD

(IRGA – *Infra Red Gas Analyzer*) (Modelo ADC BioScientific Ltd.), em que as medições foram realizadas entre às 8 e 10h com radiação fotossinteticamente ativa de  $865 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Posteriormente, calcularam-se as eficiências do uso da água – *WUE* ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmolH}_2\text{O}$ ), de carboxilação da Rubisco –  $A/C_i$  ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/\mu\text{mol mol}$ ) e intrínseca do uso da água –  $iWUE$  ( $\text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ ), utilizando as relações  $A/E$ ,  $A/C_i$  e  $A/g_s$ , respectivamente.

**(b) Índice SPAD:** utilizando clorofilômetro portátil – Konica Minolta 502, SPAD (*Soil Plant Analyzer Development*) no período matutino (8 às 11h).

**(c) Crescimento:** foram contabilizados o número de folhas totalmente expandidas; então, as plantas foram coletadas e separadas em diferentes órgãos, sendo determinada a área foliar utilizando integrador de área (LI-COR, 3100 C – Area Meter, Nebraska – USA). Os limbos foliares e as raízes foram acondicionados em estufa com circulação forçada de ar a  $60\pm 5$  °C, até massa seca constante, e pesados em balança de precisão (0,0001 g).

**(d) Índices fisiológicos e de qualidade:** a partir dos dados de área foliar e produção de biomassa seca foram calculadas a razão de área foliar e área foliar específica (Benincasa, 2003). E também índice de qualidade de Dickson por meio da fórmula:  $\text{IQD} = \text{MST} / (\text{RAD} + \text{RPAR})$  (DICKSON et al., 1960), em que: MST = massa seca total.

### **Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando significativos pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para regimes hídricas e períodos de avaliação ( $p \leq 0,05$ ), utilizando-se o *software* SISVAR (FERREIRA, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ) foram influenciadas pela interação entre os regimes hídricos e períodos de avaliação. A taxa fotossintética ( $A$ ), alcançou valores próximos a zero (1<sup>a</sup> F<sub>0</sub>) nas plantas sob estresse (1,01 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>) aos 20 dias de restrição hídrica (Figura 1a). Nesse período as plantas de *S. terebinthifolia* tanto submetidas a irrigações diárias (controle) quanto ao estresse + hidrogel mantiveram seus valores de  $A$ .

Ao realizar a retomada da irrigação (REI) observamos aumento de  $A$  em todas as plantas, inclusive àquelas que foram submetidas apenas ao estresse, as quais mantiveram valores menores nesse período, obtendo valores semelhantes às demais apenas no final do experimento, estendendo assim, o período necessário para a recuperação (REC). Entretanto, as plantas com o polímero hidroretentor, não apresentaram queda na taxa fotossintética durante a suspensão da irrigação, mantendo valores próximos ao das plantas irrigadas diariamente durante todo período experimental. O uso de hidrogel favorece a capacidade de manutenção de água no solo, uma vez que, o mesmo consegue armazenar elevado volume hídrico, especialmente água remanescente e disponibilizá-la para as plantas nos períodos secos (SILVA et al., 2019).

A  $g_s$  foi maior no T<sub>0</sub>, independente dos regimes hídricos, uma vez que essas plantas ainda não haviam sido submetidas à condição de estresse (Figura 1b). Na 1<sup>a</sup> F<sub>0</sub> as plantas cultivadas sob estresse apresentaram menor  $g_s$  (0,05 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) com tendência de restabelecimento dos valores após a reirrigação. A menor  $g_s$  influencia diretamente a redução de entrada de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática, limitando sua capacidade de assimilação. No período de REI todos os regimes obtiveram incremento não apresentando diferença entre os mesmos, enquanto que em REC os valores sugeriram a mesma tendência de  $A$ , isto é, a partir do momento em que mantivemos a irrigação

diariamente, as plantas apresentaram capacidade de recuperação, sugerindo plasticidade fisiológica.

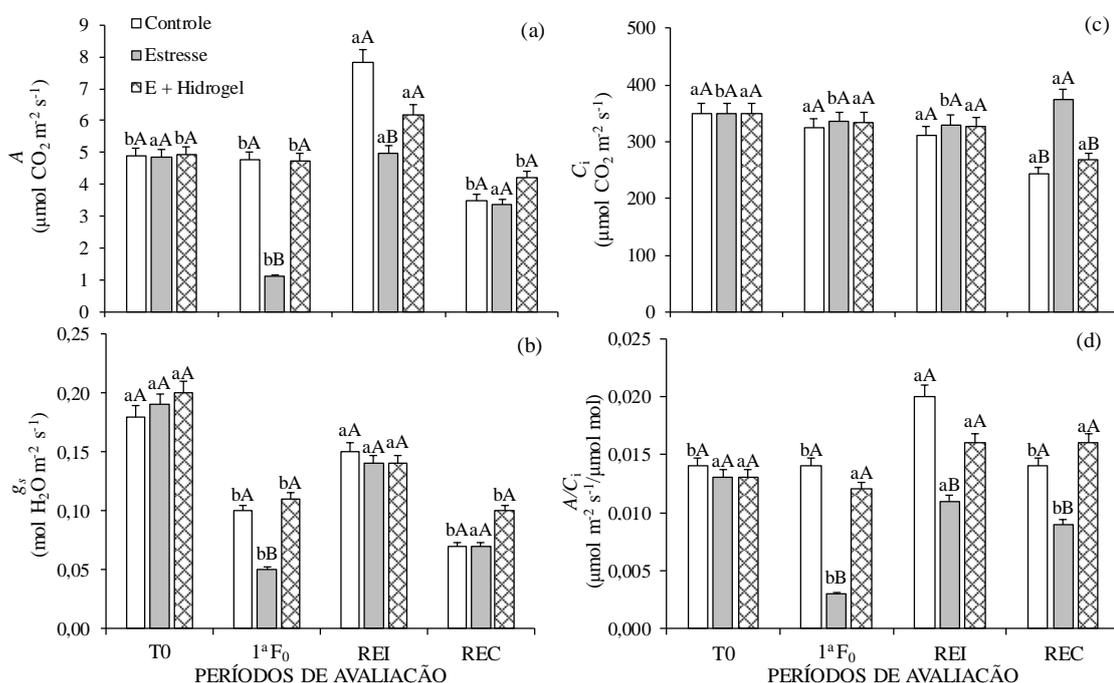


FIGURA 1. Variações nos parâmetros de trocas gasosas em plantas jovens de *S. terebinthifolia* sob diferentes regimes hídricos e períodos de avaliação. Fotossíntese – A (a), condutância estomática –  $g_s$  (b), concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  –  $C_i$  (c) e eficiência intrínseca de carboxilação da Rubisco –  $A/C_i$  (d). (Letras minúsculas comparam o mesmo regime hídrico nos diferentes períodos de avaliação, e maiúsculas, os diferentes regimes hídricos no mesmo período pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )).

A concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  manteve-se próxima até o período de REI sob todos os regimes hídricos. Por outro lado, na REC verificamos maior  $C_i$  nas plantas submetidas apenas ao estresse, indicando menor eficiência de carboxilação nessa condição, ocorrendo aumento de  $\text{CO}_2$  no tecido. Entretanto, ao observarmos o comportamento da  $C_i$  (Figura 1c) e de A (Figura 1a), observamos que estas plantas apresentaram taxa fotossintética semelhante à das plantas controle, sugerindo que outros fatores, não estomáticos, estão interferindo na eficiência fotossintética dessa espécie.

A redução da disponibilidade hídrica, por influência do aumento do ácido abscísico, induz o fechamento dos estômatos (FRANÇA et al., 2017), reduzindo a

assimilação e a difusão de CO<sub>2</sub> (ASHRAF e HARRIS, 2013), tal como observado na *S. terebinthifolia*. Sob menor disponibilidade hídrica ocorre também redução da condutância estomática (WONG et al., 1979). Entretanto, a menor  $g_s$  favorece a otimização do uso da água por reduzir a taxa de transpiração (KRÖBER et al., 2015), tal como observado na 1ª F<sub>0</sub> nas plantas deste estudo.

Observamos menores valores de  $A/C_i$  nas plantas sob estresse sem hidrogel em todos os períodos de avaliação, exceto no T<sub>0</sub> (Figura 1d). O decréscimo da carboxilação da Rubisco sob baixa disponibilidade hídrica (1ª F<sub>0</sub>) deve-se, dentre outros fatores, pela menor  $g_s$ , refletindo em maior  $C_i$ . O aumento da  $C_i$  é reflexo da menor carboxilação da Rubisco, e essa resposta resulta em danos às membranas dos tilacoides (REJEB et al., 2014; CHOUDHURY et al., 2017). Quando realizou-se a retomada da irrigação (REI) as plantas apresentaram incremento de  $A/C_i$ , inclusive àquelas submetidas apenas ao estresse, uma vez que também houve o aumento de  $g_s$  nesse mesmo período, favorecendo a entrada de CO<sub>2</sub> e maximizando o processo fotossintético, no entanto, mesmo com os incrementos, é importante ressaltar que plantas submetidas apenas ao estresse mantiveram menores valores para essa característica em comparação aos demais tratamentos. Na REC, as plantas apresentaram capacidade de recuperação, mas sob estresse sem hidrogel os valores mantiveram-se inferiores quando comparadas às irrigadas e sob estresse + hidrogel.

A transpiração foliar ( $E$ ) foi influenciada apenas pelos períodos de avaliação, sendo que a maior  $E$  foi de 5,35 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> nas plantas no T<sub>0</sub>, e menor na 1ª F<sub>0</sub> (1,14 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) não diferindo estatisticamente da REI (Figura 2a). O menor valor de  $E$  na 1ª F<sub>0</sub> observado para *S. terebinthifolia* é decorrente do fechamento estomático devido à suspensão da irrigação, o que favorece a redução de perda de água do tecido (OSAKABE et al., 2014). Após a 1ª F<sub>0</sub> houve aumento gradativo da  $E$ , principalmente na REC (4,01 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), demonstrando que essa condição foi superada com a retomada da irrigação conforme observado nos períodos de REI e REC.

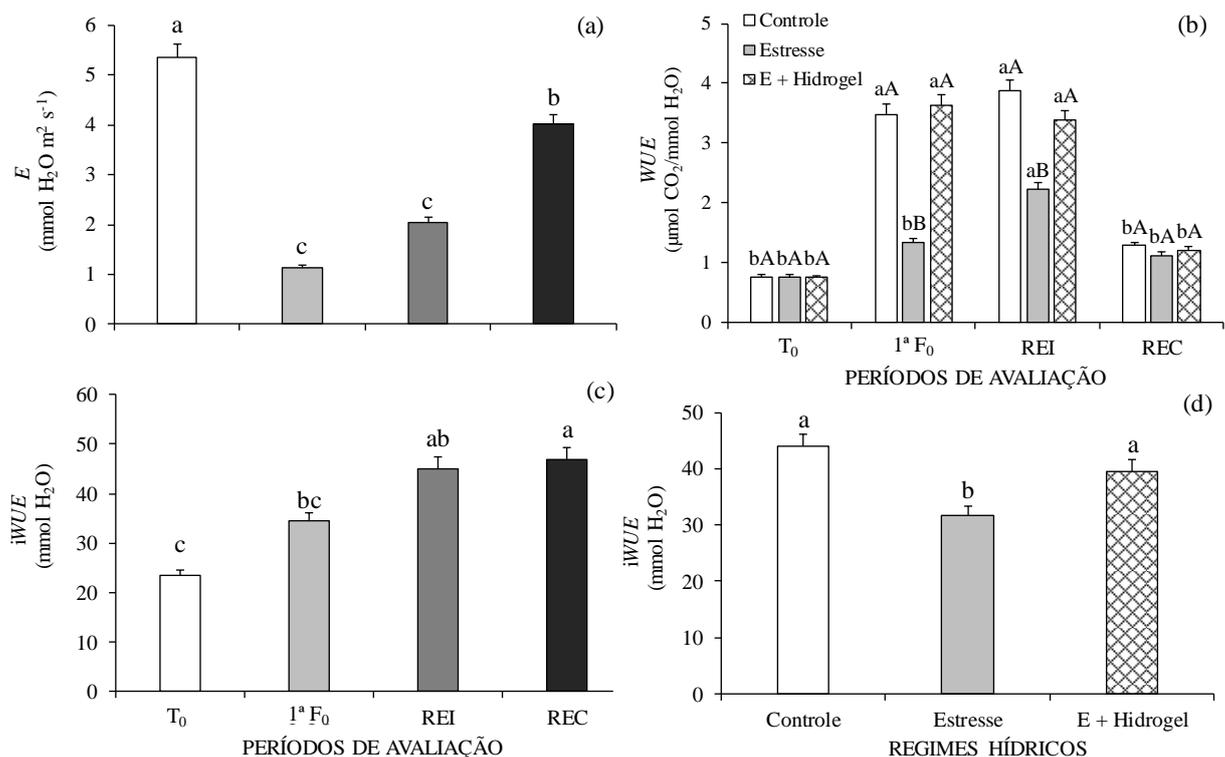


FIGURA 2. Variações nos parâmetros de uso da água em plantas jovens de *S. terebinthifolia* sob diferentes regimes hídricos e períodos de avaliação. Transpiração foliar –  $E$  (a), eficiência de uso da água –  $WUE$  (b) e eficiência de uso da água –  $iWUE$  (c, d). (a, c, d) Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ). (b) (Letras minúsculas comparam o mesmo regime hídrico nos diferentes períodos de avaliação, e maiúsculas, os diferentes regimes hídricos no mesmo período pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )).

A eficiência do uso da água ( $WUE$ ) foi influenciada pela interação entre os fatores em estudo (Figura 2b), no qual as plantas irrigadas e mantidas sob estresse + hidrogel apresentaram maiores valores de  $WUE$  na 1<sup>a</sup> F<sub>0</sub> quando comparados àquelas submetidas apenas ao déficit em função da redução de  $E$  e  $A$ . Observamos incremento de  $WUE$  nas plantas sob estresse sem hidrogel, sendo esses inferiores aos demais regimes hídricos na 1<sup>a</sup> F<sub>0</sub> e REI. Na REC, verificamos decréscimo em relação aos demais períodos de avaliação, mantendo-se os valores próximos entre os tratamentos e semelhantes quando comparados aos de T<sub>0</sub>, no qual todas as plantas apresentavam as mesmas condições.

A  $iWUE$  foi influenciada pelos fatores isoladamente e aumentou ao longo dos períodos de avaliação (Figura 2c), com menor valor nas plantas sob estresse sem hidrogel

(Figura 2d), por consequência da menor  $g_s$  refletindo em menor  $WUE$  e  $A$ . Neste sentido, a adição de hidrogel é uma prática que pode contribuir para a manutenção da capacidade dos processos fisiológicos sob condições inóspitas, tal como o déficit hídrico intermitente. No que refere-se aos regimes hídricos, resultados semelhantes foram observados por Nunes et al. (2017), em mudas de *S. terebinthifolia* sob restrição hídrica intermitente, sugerindo que a redução dessas características indica economia de água.

O índice SPAD, o número de folhas e a área foliar foram influenciados pela interação dos fatores em estudo. O índice SPAD reduziu na 1ª F<sub>0</sub> nas plantas estressadas (Figura 3a). O menor índice ocorreu nas plantas submetidas ao déficit sem hidrogel em consequência da menor disponibilidade hídrica no substrato, e embora essas plantas apresentaram tendências de recuperação após a retomada da irrigação em REI, elas não alcançaram os valores das plantas sob irrigação contínua ou cultivadas com hidrogel no período final, reforçando que o déficit hídrico é estressante para *S. terebinthifolia*.

Sob baixo *status* hídrico no solo ocorre redução da turgescência celular e degradação dos pigmentos fotossintéticos em função de colapsos nos cloroplastos por meio do aumento de carboidratos e EROs, ocasionando danos oxidativos (ZHANG et al., 2014). De maneira semelhante outras espécies encontradas nas fitofisionomias do Cerrado, tais como *Hymenaea courbaril* L. (FREITAS et al., 2018) e *Dipteryx alata* Vogel. (MATOS et al., 2018) também apresentaram redução do conteúdo de clorofila sob menor disponibilidade hídrica no solo.

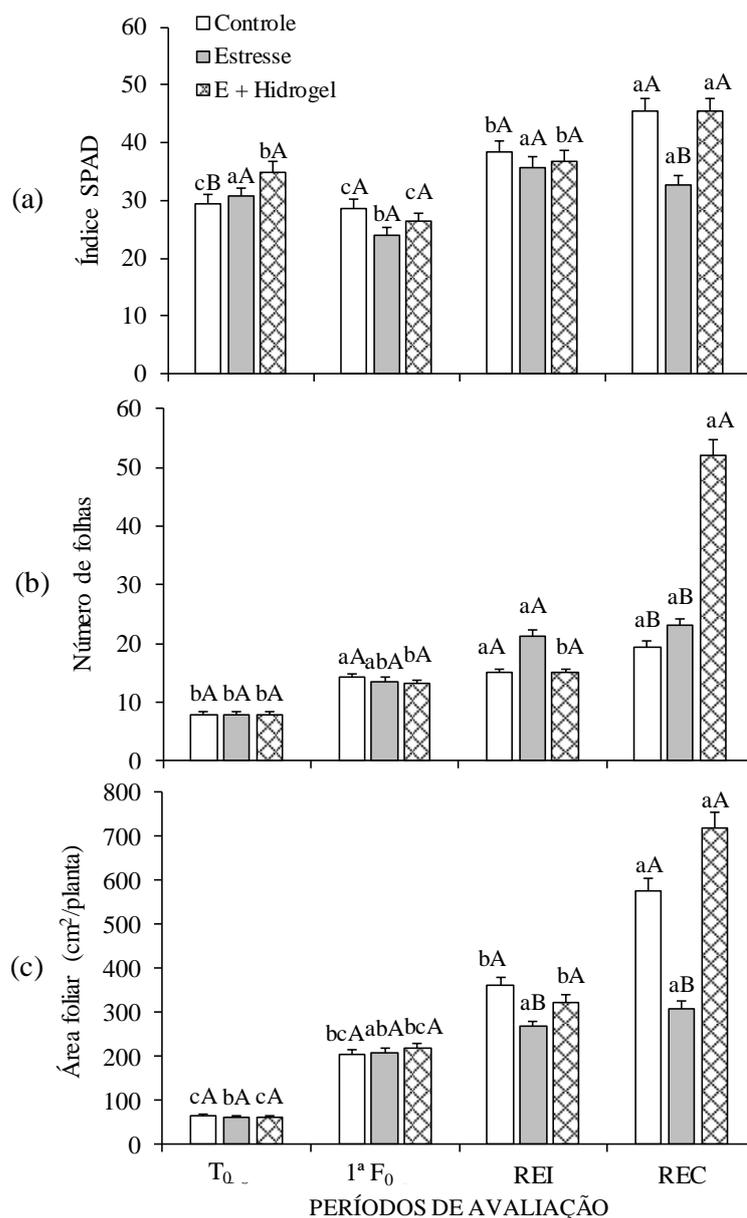


FIGURA 3. Variações nos parâmetros de crescimento em plantas jovens de *S. terebinthifolia* sob diferentes regimes hídricos e períodos de avaliação. Índice de clorofila (a), número de folhas (b) e área foliar (c). (Letras minúsculas comparam o mesmo regime hídrico nos diferentes períodos de avaliação, e maiúsculas, os diferentes regimes hídricos no mesmo período pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )).

O número de folhas não variou nos períodos T<sub>0</sub> e 1<sup>a</sup> F<sub>0</sub> independente dos regimes hídricos (Figura 3b). Esse padrão no T<sub>0</sub> deve-se a padronização das mudas (8 folhas) no momento de transplante, entretanto, sob suspensão da irrigação, a espécie demonstrou tolerância a essa condição adversa na 1<sup>a</sup> F<sub>0</sub>, possivelmente pelo fato de que a mesma sob

redução da atividade fotossintética mantém inicialmente a translocação dos fotoassimilados para os órgãos vegetativos.

Porém, observamos incremento de número de folhas nas plantas após o déficit ao realizar a REI, quando comparada aos demais regimes hídricos, demonstrando a rápida resposta fisiológica da planta para essa característica em situação de estresse (FREITAS e SILVA, 2014). No entanto, na REC as plantas apresentaram maior quantidade de limbos foliares sob estresse + hidrogel do que nos demais regimes hídricos nesse mesmo período, possivelmente em função do efeito prolongado de sua ação no solo, isto é, a poliacrilamida presente no hidrogel contribui em maior disponibilidade de água por maior período de tempo.

As maiores áreas foliares (AF) foram observadas nas plantas irrigadas diariamente e sob estresse + hidrogel na REI e REC (Figura 3c) em função da maior disponibilidade hídrica nessas condições. A menor AF nas plantas submetidas ao estresse pode sugerir estratégias de redução da transpiração por unidade de área, visando manter a integridade da maquinaria fotossintética. Esse comportamento tem sido relatado na literatura como resposta de proteção em várias espécies como por exemplo em mudas de *Callophyllum brasiliense* Cambess. (REIS et al., 2020) que também apresentaram menor área foliar, quando submetidas ao déficit hídrico, semelhante aos observados nesse estudo.

As plantas de *S. terebinthifolia* mostraram-se tolerantes ao déficit hídrico por poucos dias (1ª F<sub>0</sub>), mantendo área foliar próxima aos demais tratamentos. Entretanto, as respostas à condição de estresse na 1ª F<sub>0</sub> ocasionou respostas negativas posteriores, isto é, menor área foliar mesmo após a retomada da irrigação nas plantas cultivadas sem hidrogel.

A massa seca de folha foi influenciada apenas pelos períodos de avaliação, em que os maiores valores ocorreram ao longo do tempo (Figura 4a). Esse maior resultado deve-se ao fato de que mesmo sob condições de suspensão hídrica e posterior reirrigação as plantas otimizaram os recursos disponíveis ao final do período, demonstrando capacidade de recuperação e incremento de fotoassimilados na REC. Quanto à massa seca de raiz, na 1ª F<sub>0</sub> as plantas sob estresse + hidrogel apresentaram maiores valores do que nos demais regimes hídricos nesse período (Figura 4b), demonstrando efeito benéfico do

hidrogel, principalmente por estar em contato próximo a raiz, isto é, favorece maior potencial de absorção de nutrientes e água.

No período de REI verificamos incremento das biomassas radiculares das plantas controle e estresse sem hidrogel, as quais atingiram valores semelhantes ao das plantas sob estresse com hidrogel. Entretanto, na REC o maior aporte de biomassa radicular ocorreu nas plantas irrigadas diariamente e em estresse + hidrogel, enquanto que àquelas sem adição do hidrogel, apresentaram menor valor, indicando que o déficit prejudicou a translocação de fotoassimilados nesse órgão mesmo após a condição de estresse.

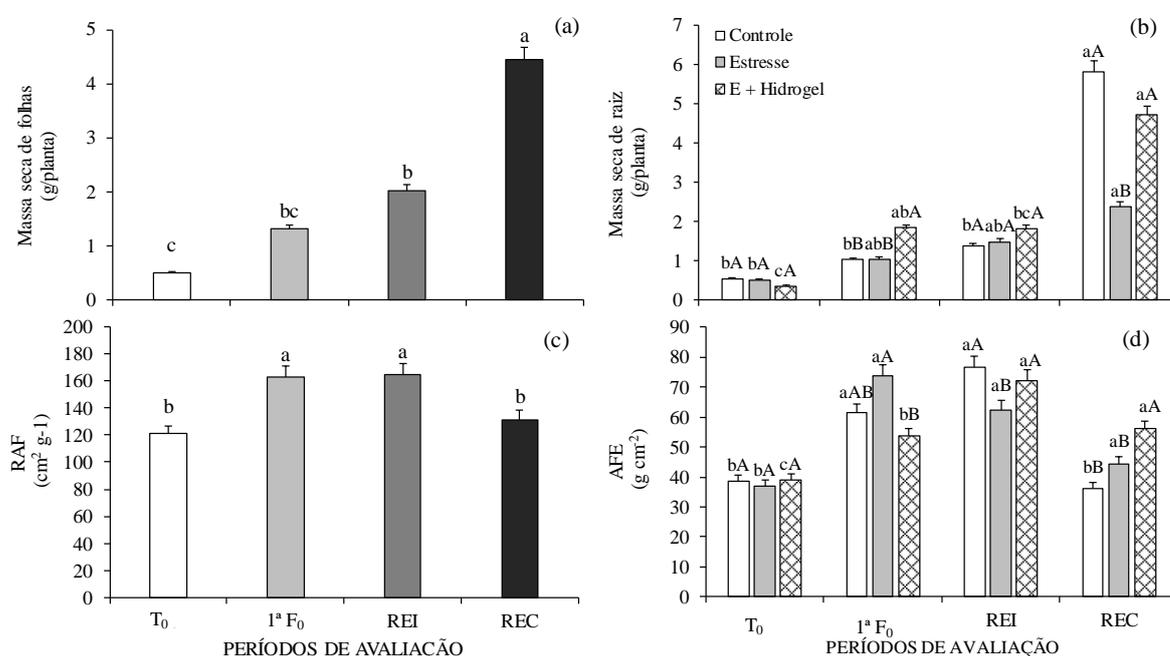


FIGURA 4. Variações nos parâmetros de massa seca e índices fisiológicos em plantas jovens de *S. terebinthifolia* sob diferentes regimes hídricos e períodos de avaliação. Massa seca de folha (a), massa seca de raiz (b), razão de área foliar – RAF (c) e área foliar específica – AFE (d). (a, c). (Letras iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ )). (b, d) Letras minúsculas comparam o mesmo regime hídrico nos diferentes períodos de avaliação, e maiúsculas, os diferentes regimes hídricos no mesmo período pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )).

Os resultados de razão de área foliar foram maiores na 1<sup>a</sup> F<sub>0</sub> e REI (Figura 4c), indicando que embora as mudas de *S. terebinthifolia* apresentaram área foliar

considerável (Figura 3c), essas tiveram menor acúmulo de biomassa nesses dois períodos, uma vez que na 1ª F<sub>0</sub> as plantas estavam em uma condição de estresse, e na REI, deve-se ao fato de que esse período não foi o suficiente para que as plantas recuperassem totalmente a A nessas condições de cultivo (Figura 1a) e produção de biomassa.

A área foliar específica (AFE) foi influenciada pela interação entre os regimes hídricos e períodos de avaliação, apresentando valores semelhantes no T<sub>0</sub> para todos os tratamentos. Na 1ª F<sub>0</sub>, as AFE de todos os tratamentos aumentaram, destacando-se as plantas sob estresse sem hidrogel (Figura 4d). As plantas sob estresse + hidrogel apresentaram maior AFE na REI e REC.

As respostas foliares em função da disponibilidade hídrica variam entre as espécies. De acordo com Campelo et al. (2015) mudas de *Swietenia macrophylla* (King), *Handroanthus serratifolius* (Vahl) e *Handroanthus impetiginosa* (Mart.) Matos apresentaram menores valores de AFE quando submetidas ao déficit hídrico, resposta diferente da observada para *S. terebinthifolia*. A variação da AFE pode ser explicada por uma maior espessura de folhas em resposta ao período de restrição de água, e isso reflete em maior biomassa de folhas.

Em geral, cabe destacar que além da manutenção da capacidade de armazenamento de água no solo, o polímero hidrorretentor contribui na mitigação de lixiviação de nutrientes (NAVROSKI et al., 2015), principalmente quando é aplicado em cova, isto é, próximo a raiz, aumentando a superfície de contato com a rizosfera, favorecendo a nutrição das plantas e seus processos metabólicos estáveis, dentre eles de A, g<sub>s</sub>, A/C<sub>i</sub> e características morfológicas foliares dessa espécie.

O índice de qualidade de Dickson (IQD) foi influenciado pela interação entre os fatores em estudo, mostrou-se então que no período de avaliação T<sub>0</sub> as plantas de *S. terebinthifolia* estavam em condições igualitárias, com índices que não apresentaram diferenças significativas (Figura 5). Quando as plantas foram submetidas ao estresse hídrico, ou seja, na 1ª F<sub>0</sub> sob estresse sem hidrogel houve redução do IQD, como reflexo à condição adversa, sendo que os valores das mudas de E+PH foram superiores. Nos períodos de REI e REC a tendência foi de recuperação e expressão de seu potencial de desenvolvimento, e mesmo assim as plantas sob E-PH apresentou menor IQD.

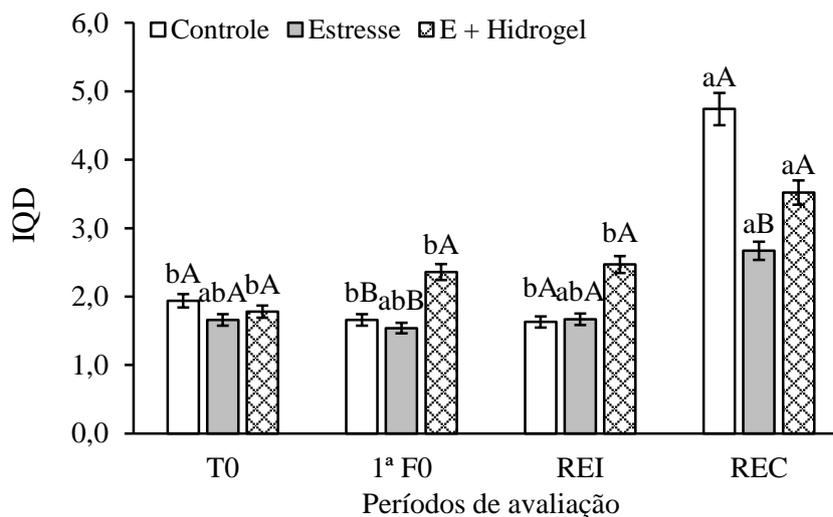


FIGURA 5. Índice de qualidade de Dickson (IQD) em plantas jovens de *S. terebinthifolia* sob diferentes regimes hídricos e períodos de avaliação. (Letras minúsculas comparam cada regime hídrico dentro dos períodos de avaliação, e maiúsculas, os períodos dentro de cada regime hídrico, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ )). UFGD, Dourados – MS, 2019.

O uso de polímero hidroretentor demonstrou ser uma prática promissora para atividades silviculturais em áreas com irregularidades de precipitações ou ausência de dimensionamento de sistemas de irrigação, contribuindo na redução de custos com reposição de mudas em virtude de maior capacidade de sobrevivência.

#### 4 CONCLUSÕES

Nossos resultados confirmam nossa hipótese de que a eficiência do metabolismo foliar das plantas de *S. terebinthifolia* reduzem sob restrição hídrica, e que a adição de hidrogel ao solo contribui para a manutenção da capacidade fotossintética dessa espécie mesmo sob déficit hídrico, além de potencializar as respostas foliares e alocação de biomassa nessas condições de cultivo. Além disso, ressaltamos que *S. terebinthifolia* apresenta potencial de recuperação das trocas gasosas após o período de estresse, demonstrando resiliência ambiental por plasticidade fisiológica.

## 5 REFERÊNCIAS

- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stress full environments: An overview. **Photosynthetica**, v. 51, p. 163-190, 2013
- BARTIERES, E. M. M.; CARNEVALI, N. H. S.; LIMA, E. S. L.; CARNEVALI, T. O.; MALLMANN, V. Hidrogel, calagem e adubação no desenvolvimento inicial, sobrevivência e composição nutricional de plantas híbridas de eucalipto. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 36, n. 86, p. 145-151, 2016.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.
- CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J.D.M.; NEVES, A.L.R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 973-883, 2015.
- CHOUDHURY, F. K.; RIVEIRO, R. M.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Reactive oxygen species, abiotic stress and combination. **The Plant Journal**, v. 90, p. 856-867, 2017.
- FELIPPE, D.; NAVROSKI, M. C.; SAMPIETRO, J. A.; FRIGOTTO, T.; ALBUQUERQUE, J. A.; MOTA, C. S.; PEREIRA, M. O. Efeito do hidrogel no crescimento de mudas de *Eucalyptus benthamii* submetidas a diferentes frequências de irrigação. **Floresta**, v. 46, n. 2, p. 215-225, 2016.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- FONSECA, L.; ROITMAN, I.; JACOBSON, T. K. B.; OGATA, R.S.; SOLARI, R.A.F.; RIBEIRO, R.J.C. Viabilidade do hidrogel na recuperação de Cerrado *sensu stricto* com espécies nativas, **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-8, 2017.
- FRANÇA, P. H. T.; DA SILVA, E. C. A.; SILVA, T. C.; BRASIL, A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) submetidas ao déficit hídrico. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 264-269, 2017.

FREITAS, R. S.; SILVA, E. C. Respostas fisiológicas de mudas de *Aspidosperma pyrifolium* (Apocynaceae) à ciclos de suspensão de rega. **Scientia Plena**, v. 14, n. 5, p. 1-12, 2014.

FREITAS, V. D. M. B.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; BASTOS, S. S.; SOUZA, A. P. R. Influence of exogenous application of abscisic acid on gas exchanges in *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae) seedlings subjected to water deficit. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 163-172, 2018.

KONZEN, E. R.; NAVROSKI M. C.; FRIEDERICHS, G.; FERRARI, L.H.; PEREIRA, M. N.; FELLIPE, D. The use of hydrogel combined with appropriate substrate and fertilizer improve quality and growth performance of *Mimosa scabrella* Benth. **Cerne**, v. 23, n. 4, p. 473-482, 2017.

KRÖBER, W.; PLATH, I.; HEKLAU, H.; BRUELHEIDE, H. Relating Stomatal Conductance to Leaf Functional Traits. **Jove**, v. 104, e. 52738, p. 1-7, 2015.

MATOS, F. S.; FREITAS, I. A. S.; DOS SANTOS, L. V. B.; VENÂNCIO, D. G.; SILVEIRA, P. S. Crescimento inicial das plantas *Dipteryx alata* sob déficit hídrico. **Revista Árvore**, v. 42, n. 1, p. 1-8, 2018.

NAVROSKI, M. C.; ARAÚJO, M. M.; REININGER, L. R. S.; MUNIZ, M. F. B.; PEREIRA, M. O. Influencia do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 315-328, 2015.

NUNES, D. P.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; GORDIN, C. R. B.; Photosynthetic and enzymatic metabolism of *Schinus terebinthifolius* Raddi seedlings under water deficit. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 1-7, 2017

OLIVEIRA JÚNIOR, L. F. G.; SANTOS, R. B.; REIS, F. O.; MATSUMOTO, S. T.; BISPO, W. M. S.; MACHADO, L. P.; OLIVEIRA, L. F. M. Fungitoxic effect of essential oil from aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) on *Colletotrichum gloeosporioides*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 1, p. 150-157, 2013.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. P. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. 86, p. 1-8, 2014.

REIS, L.C.; SCALON, S.P.Q.; DRESCH, D.M.; FORESTI, A.C.; SANTOS, C.C.; PEREIRA, Z.V. Chlorophyll-*a* fluorescence as an indicator of water stress in *Callophyllum Brasiliense*. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 48, n. 1, p. 210-220, 2020.

REJEB, K.B.; ABDELLY, C.; SAVOURÉ, A. How reactive oxygen species and proline face stress together. *Plant Physiology and Biochemistry*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 278-284, 2014.

RESENDE, C. F.; PACHECO, V. S.; DORNELLAS, F. F.; OLIVEIRA, A. M. S.; FREITAS, J. C. E.; PEIXOTO, P. H. P. Responses of Antioxidant enzymes, photosynthetic pigments and carbohydrates in micropropagated *Pitcairnia encholirioides* L.B.Sm. (Bromeliaceae) under *ex vitro* water déficit and after rehydration. **Braslian Journal of Biology**, v. 79, n. 1, p. 52-62, 2019.

SILVA, W. R.; SALOMÃO, L. C.; PEREIRA, D. R. M.; DE OLIVEIRA, H. F. E.; PEREIRA, A. I. A.; CANTUÁRIO, F.S. Níveis de irrigação e uso de hidrorretentor na produção de alface em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 406-412, 2019.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIN NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 338-342, 2000.

VIÉGAS, L. B.; SIMÕES, D.; LIMA, K. B.; SILVA, M. R. Water management for *Schinus terebinthifolius* Raddi seedlings in degradable containers. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n 1, e. 20160084, 2018.

WONG, S. C.; FARQUHAR, I. R.; FARQUHAR, G. D. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. **Nature**, v. 282, p. 424-426, 1979.

ZHANG, F.; ZHANG, K.; DU, C.; XING, Y.; YANG, L.; LI, Y. Effect of drought stress on anatomical structure and chloroplast ultrastructure in leaves of sugarcane. **Sugar Tech**, v. 17, p. 41-48, 2014.