

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 30/11/2023.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO ETIL-TRINEXAPAC NO METABOLISMO PRIMÁRIO DO EUCALIPTO
EM CONDIÇÕES DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Allan Lopes Bacha

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves

Laboratório de Plantas Daninhas

Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária

FCAV / UNESP – Jaboticabal

Jaboticabal – SP

2022

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DO ETIL-TRINEXAPAC NO METABOLISMO PRIMÁRIO DO EUCALIPTO
EM CONDIÇÕES DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

Discente: Allan Lopes Bacha

Orientador: Dr. Pedro Luis da Costa Aguiar Alves

**Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para a obtenção
do título de Doutor em Agronomia
(Produção Vegetal)**

2022

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: EFEITO DO ETIL-TRINEXAPAC NO METABOLISMO PRIMÁRIO DO EUCALIPTO EM CONDIÇÕES DE DEFICIÊNCIA HÍDRICA

AUTOR: ALLAN LOPES BACHA

ORIENTADOR: PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. PEDRO LUÍS DA COSTA AGUIAR ALVES (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. EDIVALDO DOMINGUES VELINI (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP



Prof. Dr. ROGÉRIO FALLEIROS CARVALHO (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV UNESP Jaboticabal



Profa. Dra. JUANA TERESA VILLALBA FARINHA (Participação Virtual)
Universidad de la Republica / Montevideú/Uruguay



Prof. Dr. ANTONIO NATAL GONÇALVES (Participação Virtual)
Ciências Florestais / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz



Jaboticabal, 30 de novembro de 2021

B118e Bacha, Allan Lopes
 Efeito do etil-trinexapac no metabolismo primário do
 eucalipto em condições de deficiência hídrica / Allan Lopes
 Bacha. -- Jaboticabal, 2021
 96 p.

 Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
 Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
 Orientador: Pedro Luis da Costa Aguiar Alves

 1. Regulador de crescimento vegetal. 2. Hormesis. 3.
 Fisiologia do eucalipto. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Allan Lopes Bacha – Nasceu em 21 de novembro de 1987, na cidade de Ribeirão Preto-SP, filho de Antonio Jorge Bacha e Rose Mary de Oliveira Lopes Bacha. Em fevereiro de 2009 ingressou no curso de graduação em Ciências Biológicas na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, câmpus de Jaboticabal, tendo concluído o curso de Licenciatura em fevereiro de 2013 e Bacharelado em agosto de 2015. De 2010 à 2015 atuou como professor bolsista no projeto Cursinho Ativo da mesma Universidade. Em 2013 iniciou estágio no Laboratório de Plantas Daninhas (LAPDA), onde realizou diversos trabalhos na área de fisiologia vegetal e matologia, e também seu Trabalho de Conclusão de Curso. Em agosto de 2015 ingressou no curso de Mestrado em Agronomia, pelo Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, junto ao Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária da FCAV/UNESP - Jaboticabal, tendo concluído o curso em julho de 2017. Em fevereiro de 2018 ingressou no curso de Doutorado em Agronomia, pelo Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, junto ao Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária da FCAV/UNESP - Jaboticabal, tendo concluído o curso em dezembro de 2021. Foi bolsista FAPESP, tendo sua BEPE aprovada para condução de Doutorado sanduíche na Universidad Politécnica de Valência - UPV no ano de 2020. No entanto, devido à Pandemia COVID-19, não foi possível sua realização. Durante esses anos no LAPDA, atuou como coorientador de diversos ICs/TCCs, organizou Eventos Internacionais, atuou como Editor de Anais de Eventos, teve um livro publicado além da autoria e coautoria de diversos artigos científicos em periódicos nacionais e internacionais. Mais detalhes sobre o CV do autor se encontram no Sistema Lattes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Antonio Jorge Bacha e Rose Mary de Oliveira Lopes Bacha, pelo amor, educação, dedicação, apoio e conselhos que sempre me deram. Ao meu irmão, Renan Lopes Bacha, pela amizade, ajuda, carinho e sei que sempre poderei contar com ele; e a toda minha família, pois eles fazem parte do que sou.

Ao grande Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves, por ser essa pessoa tão especial! E também por ter me acolhido em seu laboratório no início de minha caminhada acadêmica e por ter me proporcionado diversas oportunidades para meu desenvolvimento pessoal e profissional; por ter depositado sua confiança em mim, pela paciência, amizade, carinho, atenção, orientação e conselhos que sempre me deu e continua dando.

Aos amigos do LAPDA, pela amizade de sempre, suporte, ensinamentos e por tornar o ambiente de trabalho mais agradável. Saibam que vocês também fizeram a diferença na minha caminhada!

Aos integrantes da banca de qualificação, Prof. Dr. Rinaldo César de Paula e Prof. Dr. Davi Rodrigo Rossatto, pelas sugestões apontadas no trabalho.

Aos integrantes da banca de defesa, Prof. Dr. Edivaldo Domingues Velini, Prof^a. Dr^a. Juana Villalba, Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho e Prof. Dr. Antonio Natal Gonçalves pelas diversas sugestões e apontamentos que foram e serão válidos para esse e outros trabalhos futuros.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À FAPESP pelo financiamento deste projeto (Processo Nº 2018/04376-9).

Aos funcionários do Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária, pelo auxílio sempre que necessário.

E claro, ao amor da minha vida, Fernanda Merelles Bacha, minha amada esposa! Sou muito grato ao Universo pelo nosso reencontro! Te amo!

Um grande abraço a todos vocês, e meu MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. A cultura do eucalipto no Brasil.....	14
2.2. Deficiência hídrica no eucalipto.....	15
2.3. Efeito hormético ou <i>hormesis</i>	16
2.4. Sobre o etil-trinexapac	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. Experimento 1 – Curva dose-resposta.....	21
3.2. Experimento 2 – Resposta do eucalipto a três doses de etil-trinexapac.....	24
3.3. Análise de compostos do metabolismo primário.....	28
4. RESULTADOS	31
4.1. Experimento 1 – Curva dose-resposta.....	31
4.2. Experimento 2 - Resposta do eucalipto a três doses de etil-trinexapac.....	45
4.3. Análise de compostos do metabolismo primário	74
5. DISCUSSÃO	82
6. CONCLUSÕES	88
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

Efeito do etil-trinexapac no metabolismo primário do eucalipto em condições de deficiência hídrica

RESUMO – Plantas de eucalipto são sensíveis às interferências impostas por fatores estressantes durante seu crescimento inicial, sendo a deficiência hídrica o mais comum dentre eles. Estudos anteriores relataram que o etil-trinexapac pode ocasionar efeito positivo ao crescimento de mudas de eucalipto, mas não existem trabalhos que provaram a ocorrência de hormese para este composto. A hormese é um efeito estimulatório ocasionado pela aplicação de baixas doses de um produto químico que seria tóxico em elevadas quantidades. Com isso, o objetivo foi verificar o possível efeito hormético do etil-trinexapac em mudas de *Eucalyptus urograndis* (Clone 1407), em condições normais e com deficiência hídrica, e seus efeitos no metabolismo primário do eucalipto. Para isso, dois experimentos foram conduzidos em condições semicontroladas, em vasos de 25 L e 15 L, durante 90 e 81 dias após o plantio (DAP) do eucalipto, respectivamente para os experimentos 1 e 2. O primeiro experimento consistiu da aplicação de oito doses de etil-trinexapac, a saber: 0, 15, 30, 60, 90, 120, 150 e 300 g i.a. ha⁻¹, e duas condições hídricas (condição normal e sob deficiência hídrica, mantidas em 40% da capacidade de campo), em oito repetições. A aplicação do produto ocorreu um dia antes do plantio do eucalipto. Foram realizadas avaliações de trocas gasosas, eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) e teor relativo de clorofila total dos 9 aos 15 DAP. Quinzenalmente, foram feitas avaliações de altura e diâmetro do eucalipto. Ao final do período experimental (90 DAP), foi determinada a área foliar do eucalipto, seguido das massas secas de folhas e caules. O segundo experimento foi conduzido em seis repetições, nos mesmos locais e condições do primeiro experimento, com as doses estabelecidas pelos resultados encontrados; foram elas: 0, 90 e 150 g i.a. ha⁻¹. Foram realizadas avaliações destrutivas (juntamente com a coleta dos materiais para as análises de metabolismo primário) aos 8, 14, 21, 42 e 81 DAP. As avaliações destrutivas consistiram da mensuração da altura, diâmetro, área foliar e massas secas de folhas e caules. Dos 02 aos 06 DAP, foram realizadas avaliações de trocas gasosas, F_v/F_m e do teor relativo de clorofila total nos horários: 9:00; 11:00; 13:00; 15:00; e 17:00. Em ambos os experimentos, os dados foram submetidos à análise de variância pelo

teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, bem como submetidos à análise de regressão. Para a análise de compostos do metabolismo primário, os materiais vegetais foram preparados em extratos para isolamento e confecção do perfil dos metabolitos, e as frações coletadas foram analisadas por Ressonância Magnética Nuclear de ^1H . Os dados coletados foram submetidos à análise de componentes principais. O etil-trinexapac ocasionou efeito estimulatório nas mudas de eucalipto, sendo a dose de 150 g i.a. ha^{-1} aquela que proporcionou maior crescimento às plantas. Apesar disso, este produto não proporcionou a *hormesis* completa no eucalipto (i.e., o efeito bifásico, sendo estimulatório em baixas doses, seguido de efeito deletério em altas doses), não sendo tóxico às plantas até a dose de 300 g i.a. ha^{-1} . A restrição hídrica foi condição limitante ao crescimento do eucalipto, assim, as plantas nessas condições não sofreram efeito estimulatório do etil-trinexapac. O etil-trinexapac ocasionou alterações no metabolismo primário das plantas de eucalipto cultivadas sem restrição hídrica, possivelmente resultando em uma maior produção de carboidratos. No entanto, mais pesquisas que objetivem estudar os efeitos deste regulador de crescimento vegetal na cultura do eucalipto devem ser realizadas, principalmente trabalhos que avaliem as alterações hormonais nas plantas.

Palavras-chave: *Eucalyptus urograndis*, regulador de crescimento vegetal, *hormesis*, giberelina, estresse abiótico, fisiologia do eucalipto.

Trinexapac-ethyl effect on eucalyptus primary metabolism under drought stress conditions

ABSTRACT – Eucalyptus plants are sensitive to interference imposed by stress factors during their initial growth, with water deficit being the most common among them. Previous studies reported that trinexapac-ethyl can have a positive effect on the growth of eucalyptus seedlings, but there are no studies that have proven the occurrence of *hormesis* for this chemical compound. *Hormesis* is a stimulatory effect caused by the application of low doses of a chemical that would be toxic in high amounts. Thus, the objective of this study was to verify the possible hormetic effect of trinexapac-ethyl on *Eucalyptus urograndis* (Clone 1407) seedlings, under normal conditions and with water deficit, and its effects on the primary metabolism of eucalyptus plants. For this, two experiments were conducted under semi-controlled conditions, in 25 L and 15 L pots, for 90 and 81 days after planting (DAP) of eucalyptus, respectively for experiments 1 and 2. The first experiment consisted of the application of eight doses of trinexapac-ethyl, namely: 0, 15, 30, 60, 90, 120, 150 and 300 g a.i. ha⁻¹, and two water conditions (normal condition and under water deficit, maintained at 40% of field capacity) in eight repetitions. Trinexapac-ethyl was sprayed one day before eucalyptus planting. Evaluations of gas exchange, photosystem II quantum efficiency (F_v/F_m) and total relative chlorophyll content from 9 to 15 DAP were carried out. Every two weeks, eucalyptus height and stem diameter assessments were carried out. At the end of the experimental period (90 DAP), the eucalyptus leaf area was determined, followed by the dry mass of leaves and stems. The second experiment was carried out in six replications, in the same places and conditions as the first experiment, with the doses established by the results found; they were: 0, 90 and 150 g a.i. ha⁻¹. Destructive assessments were performed (along with the collection of materials for primary metabolism analyses) at 8, 14, 21, 42 and 81 DAP. Destructive evaluations consisted of measuring height, diameter, leaf area and dry mass of leaves and stems. From 02 to 06 DAP, evaluations of gas exchange, F_v/F_m and the total relative chlorophyll content were carried out at the following times: 9:00 am; 11:00 am; 1:00 pm; 3:00 pm; and 5:00 pm. In both experiments, the data were submitted to analysis of

variance by the F test and the means were compared by the Tukey test at the 5% probability level, as well as submitted to regression analysis. For the analysis of compounds from primary metabolism, plant materials were prepared in extracts for isolation and profiling of metabolites, and the collected fractions were analyzed by ^1H Nuclear Magnetic Resonance. The collected data were subjected to principal component analysis. Trinexapac-ethyl had a stimulatory effect on eucalyptus seedlings, and the dose of $150 \text{ g a.i. ha}^{-1}$ provided greater plant growth. Nevertheless, this product did not provide complete *hormesis* in eucalyptus (*i.e.*, the biphasic effect, being stimulatory at low doses, followed by deleterious effect at high doses), thus, not being toxic to plants at doses up to $300 \text{ g a.i. ha}^{-1}$. Water restriction was a limiting condition for eucalyptus growth, thus, plants under these conditions did not suffer a stimulatory effect of trinexapac-ethyl. Trinexapac-ethyl caused alterations in the primary metabolism of plants cultivated without water restriction, possibly resulting in a greater production of carbohydrates. However, more researches aiming to study the effects of this plant growth regulator in the eucalyptus crop must be carried out, mainly works that evaluate the hormonal alterations in the plants.

Keywords: *Eucalyptus urograndis*, plant growth regulator, *hormesis*, gibberellin, abiotic stress, eucalyptus physiology

1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é a cultura mais importante do setor florestal brasileiro, o qual apresenta importante relevância na economia do País, com representação de 1,2% do PIB nacional e geração de 3,75 milhões de empregos diretos e indiretos (IBÁ, 2020).

Devido aos programas de melhoramento genético, bem como do desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes (Stape et al., 2004), as florestas de eucalipto do Brasil se tornaram as mais produtivas do mundo, atingindo, em 2019, $35,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em mais de 6,97 milhões de hectares plantados, tendo sua matéria prima destinada principalmente à produção de energia, papel, celulose e construção civil (IBÁ, 2020).

A fase de crescimento inicial do eucalipto (período que compreende o primeiro ano após o plantio da cultura no campo) é o momento em que as plantas estão mais suscetíveis a interferências impostas por fatores estressantes (Nambiar e Sands, 1993; Garau et al., 2008), sendo a deficiência hídrica a mais importante dentre eles, podendo ocasionar perdas de até 47% na matéria seca das folhas e 44% na matéria seca do caule (Correia et al., 2014).

Devido à expansão da eucaliptocultura pelas mais diversas regiões do Brasil (ABRAF, 2013), na qual muitas delas apresentam sistemas com baixa disponibilidade hídrica, são necessários estudos que busquem maneiras de auxiliarem as mudas de eucalipto a superarem os períodos estressantes. Assim, a aplicação de etil-trinexapac pode ser uma opção viável, uma vez que a pulverização deste produto proporciona ganhos de até 70% ao desenvolvimento inicial do eucalipto em condições normais (Pires et al., 2013, 2019; Correia e Villela, 2015; Bacha et al., 2017).

Esse efeito positivo, resultante da aplicação de baixas doses de produtos químicos, faz parte do fenômeno hormético (ou *hormesis*). Por definição, *hormesis* é caracterizado como sendo um efeito estimulatório ocasionado pela aplicação de baixas doses de um produto químico que seria tóxico em altas quantidades (Calabrese e Baldwin, 2002). Este conceito foi introduzido por Southam e Ehrlich (1943) e já foi provada sua ocorrência para diversas espécies vegetais, incluindo arbóreas, como eucalipto, pinus e café, sendo o glyphosate o produto mais estudado

para esse fim (Duke et al., 2006; Carbonari et al., 2007; Cedergreen et al., 2007; Velini et al., 2008; Velini et al., 2010; Carvalho et al., 2013; Pereira et al., 2013; Brito et al., 2017).

O etil-trinexapac é um regulador de crescimento vegetal, pertencente ao grupo químico das acilciclohexanedionas, frequentemente utilizado como maturador na cultura da cana-de-açúcar e redutor de crescimento em cereais de inverno, e que atua nas fases finais da biossíntese da giberelina (Rademacher, 2000; Hedden e Sponsel, 2015). Em nível molecular, o etil-trinexapac atua reduzindo a conversão de GA₂₀ para GA₁ (uma das principais giberelinas ativas), devido à competição entre o maturar e o 2-oxogluterato pelo cosubstrato Fe⁺²/ascorbato dependente dioxigenase, o que resulta na inibição da hidroxilação na posição 3β da molécula (Adams et al., 1992; Hedden, 2016). No entanto, paradoxalmente, este produto também inibe a hidroxilação na posição 2β, fazendo com que as giberelinas GA₁ já presentes na planta, não sejam convertidas em GA₈, uma conformação bioinativa da molécula (Griggs et al., 1991; Hisamatsu et al., 1998; Rademacher, 2016). Assim, é provável que esta seja a causa do aumento do crescimento do eucalipto observado em trabalhos anteriores (Pires et al., 2013, 2019; Correia e Villela, 2015; Bacha et al., 2017). No entanto, mais trabalhos devem ser realizados de maneira a confirmar tal hipótese. Além disso, aventa-se a possibilidade de que esta resposta ocasione um desbalanço hormonal na planta, provocando um efeito sinérgico entre os hormônios, ocasionando o efeito positivo anteriormente relatado.

Com isso, à luz de resultados positivos anteriormente obtidos em condições sem estresse, pelo nosso grupo de pesquisa, estudos que busquem investigar o efeito da aplicação de etil-trinexapac em mudas de eucalipto sob condições de deficiência hídrica podem fornecer informações importantes para o aprimoramento dos cultivos em regiões com baixa disponibilidade hídrica no solo, proporcionando, assim, aumentos de produtividade, além da viabilidade da implantação de eucaliptais.

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o possível efeito hormético bifásico de etil-trinexapac em mudas de *Eucalyptus urograndis* (Clone 1407), em condições normais e de deficiência hídrica. Também foi estabelecida a dose que proporciona o maior efeito positivo às mudas de eucalipto nas condições de cultivo

anteriormente citadas, bem como delimitar a maior dose na qual o etil-trinexapac não proporciona efeito deletério à cultura (que proporciona crescimento semelhante à testemunha). Além disso, também foi investigado, através de técnicas de metabolômica, os efeitos das doses no metabolismo primário do eucalipto nas condições propostas.

6. CONCLUSÕES

O etil-trinexapac ocasionou efeito estimulatório nas mudas de eucalipto, sendo a dose de 150 g i.a. ha⁻¹ aquela que proporcionou maior crescimento às plantas. Apesar disso, este produto não proporcionou a *hormesis* completa (efeito bifásico, sendo estimulatório em baixas doses, seguido de efeito deletério em altas doses) no eucalipto, não sendo tóxico às plantas até a dose de 300 g i.a. ha⁻¹.

A restrição hídrica foi condição limitante ao crescimento do eucalipto, assim, as plantas nessas condições não sofreram efeito estimulatório do etil-trinexapac.

O etil-trinexapac ocasionou alterações no metabolismo primário das plantas de eucalipto cultivadas sem restrição hídrica, possivelmente resultando em uma maior produção de carboidratos. No entanto, mais pesquisas que objetivem estudar os efeitos deste regulador de crescimento vegetal na cultura do eucalipto devem ser realizadas, principalmente trabalhos que avaliem as alterações hormonais nas plantas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTAS. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012**. 2013. Disponível em: < <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-abraf13-br.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2017.
- ADAMS, R.; KERBER, E.; PFISTER, K.; WEILER, W. **Studies on the action of the new growth retardant CGA 163'935 (cimectacarb)**. In: Progress in plant growth regulation. *Edited by* C.M. Karssen, L.C. van Loon and D. Vreugdenhil. Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 818-827, 1992.
- BACHA, A.L.; MARTINS, P.F.R.B.; ALVES, P.L.C.A.; PAULA, R.C. Trinexapac-ethyl causes stimulatory effect on eucalyptus initial growth under nutritional deficiency. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 48, p. 94-100, 2018.
- BACHA, A.L.; MARTINS, P.F.R.B.; CARREGA, W.C.; ALVES, P.L.C.A.; PAULA, R.C. Trinexapac-ethyl causes stimulatory effect on the initial growth of *Eucalyptus urograndis* clones. **Journal of Agricultural Science**, v.9, n.10, p.189-197, 2017.
- BELZ, R.G.; CEDERGREEN, N. Parthenin hormesis in plants depends on growth conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v.69, n.3, p.293-301, 2010.
- BELZ, R.G.; DUKE, S.O. Herbicides and plant hormesis. **Pest Management Science**, v.70, n.5, p.698-707, 2014.
- BRITO, I.P.F.S.; TROPALDI, L.; CARBONARI, C.A.; VELINI, E.D. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pest Management Science**, 2017.
- CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. Defining hormesis. **Human Experimental Toxicology**, v.21, p.91-97, 2002.
- CALDAS, L.S.; MACHADO, L.L.; CALDAS, S.C.; CAMPOS, M.L.; CALDAS, J.A.; PHARIS, R.P.; PEREIRA-NETTO, A.B. Growth-active gibberellins overcome the very slow shoot growth of *Hancornia speciosa*, an important fruit tree from the Brazilian "Cerrado". **Trees**. v. 23, p. 1229-1235, 2009.
- CARBONARI, C.A.; MESCHEDE, D.K.; VELINI, E.D. Efeitos da aplicação de glyphosate no crescimento inicial de mudas de eucalipto submetidas a dois níveis de adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GLYPHOSATE, 1.,

- 2007, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. v. 1, 342p., p. 68-70.
- CARVALHO, L.B.; ALVES, P.L.C.A.; DUKE, S.O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v.85, n.2, p.813-821, 2013.
- CEDERGREEN, N.; FELBY, C.; PORTER, J.R.; STREIBIG, J.C. Chemical stress can increase crop yield. **Field Crop Research**, v. 114, n. 1, p. 54-57, 2009.
- CEDERGREEN, N.; STREIBIG, J.C.; KUDSK, O.; MATHIASSEN, S.K.; DUKE, S.O. The occurrence of hormesis in plants and algae. **Dose-Response**, v. 5, n. 2, p. 150-162, 2007.
- CHAVES MM, MAROCO JP, PEREIRA JS. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Funct Plant Biol** 30: 239–264, 2003.
- CORREIA, B.; HANCOCK, R.D.; VALLEDOR, L.; PINTO, G. Gene expression analysis in *Eucalyptus globulus* exposed to drought stress in a controlled and a field environment indicates different strategies for short- and longer-term acclimation. **Tree Physiology** 00, (2018), 1–17, 2018. doi:10.1093/treephys/tpy067
- CORREIA, B.; PINTÓ-MARIJUAN, M.; NEVES, L.; BROSSA, R.; DIAS, M.C.; COSTA, A.; CASTRO, B.B.; ARAÚJO, C.; SANTOS, C.; CHAVES, M.M.; PINTO, G. Water stress and recovery in the performance of two *Eucalyptus globulus* clones: physiological and biochemical profiles. **Physiologia Plantarum**, v.150, p.580-592, 2014.
- CORREIA, D.; GONÇALVES, A. N. COUTO, H. T. Z.; RIBEIRO, M. C. Efeito do meio de cultura líquido e sólido no crescimento e desenvolvimento de gemas de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* na multiplicação in vitro. **IPEF**, n.48/49, p.107-116, 1995.
- CORREIA, N.; VILLELA, G.B. Trinexapac-ethyl and sulfometuron-methyl selectivity to young eucalyptus plants. **Planta Daninha**, v. 33, n. 2, p.259-266, 2015.
- DAVIES. P. J. **Plant hormones physiology biochemistry and molecular biology**. 2.ed. Netherlands: Klumer Academic Publishes, 1995. 823 p.
- DUKE, S.O.; CEDERGREEN, N.; VELINI, E.D.; BELZ, R.G. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? **Outlooks Pest Management**, v.17, n.1, p.29-33, 2006.

- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. New York: Oxford University Press, p. 288, 1994.
- FLEXAS, J.; BOTA, J.; ESCALONA, J.M.; SAMPOL, B.; MEDRANO, H. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions. **Functional Plant Biology**, v.29, p.461-471, 2002.
- FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; DIAZ-ESPEJO, A.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. **Plant, Cell and Environment**, v.31, p.602-621, 2008.
- FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; HANSON, D.T.; BOTA, J.; OTTO, B.; CIFRE, J.; MCDOWELL, N.; MEDRANO, H.; KALDENHOFF, R. Tobacco aquaporin NtAQP1 is involved in mesophyll conductance to CO₂ in vivo. **The Plant Journal**, v.48, p.427-439, 2006.
- FOITO, A.; BYRNE, S.L.; SHEPHERD, T.; STEWART, D.; BARTH, S. Transcriptional and metabolic profiles of *Lolium perenne* L. genotypes in response to a PEG-induced water stress. **Plant Biotechnology Journal**, (2009), 7, 719–732.
- GARAU, A.M., LEMCOFF, J.H., GHERSA, C.M.; BEADLE, C.L. Water stress tolerance in *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *maidenii* (F. Muell.) saplings induced by water restrictions imposed by weeds. **Forest Ecology and Management**, v.255, n.7, p.2811-2819, 2008.
- GONÇALVES, M.R.; PASSOS, C.A.M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Ciência Florestal**, v.10, n.2, p.145-161, 2000.
- GONZÁLEZ, E. R. **Transformação genética de *Eucalyptus grandis* e de híbrido *E. grandis* x *E. urophyllavia* Agrobacterium**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- GRANDA, V.; CUESTA, C.; ALVAREZ, R.; ORDÁS, R.; CENTENO, M.L.; RODRÍGUEZ, A.; MAJADA, J.P.; FERNÁNDEZ, B.; FEITO, I. Rapid responses of C14 clone of *Eucalyptus globulus* to root drought stress: time-course of hormonal and physiological signaling. **Journal of Plant Physiology**, v.168, p.661-670, 2011.
- GRIGGS, D.L.; HEDDEN, P.; TEMPLE-SMITH, K.E.; RADEMACHER, W. Inhibition of gibberellin 2 β -hydroxylases by acylcyclohexanedione derivatives. **Phytochemistry**, v.30, n.8, p.2513-2517, 1991.

- HANBA, Y.T.; SHIBASAKA, M.; HAYASHI, Y.; HAYAKAWA, T.; KASAMO, K.; TERASHIMA, I.; KATSUHARA, M. Overexpression of the barley aquaporin HvPIP2;1 increases internal CO₂ conductance and CO₂ assimilation in the leaves of transgenic rice plants. **Plant and Cell Physiology**, v.45, n.5, p.521-529, 2004.
- HEDDEN, P. Gibberellin biosynthesis in higher plants. **Annual Plant Reviews**, v.49, p.37-72, 2016.
- HEDDEN, P.; SPONSEL, V.M. A century of gibberellin research. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.34, n.4, p.740-760, 2015.
- HISAMATSU, T.; KOSHIOKA, M.; KUBOTA, S.; KING, R.W. Effect of gibberellin A4 and GA biosynthesis inhibitors on growth and flowering of stock [*Matthiola incana* (L.) R. Br.]. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v.67, n.4, p.537-543, 1998.
- IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório anual de 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf> Acesso em: 10 de setembro de 2021.
- JIANG, F.; HARTUNG, W. Long-distance signalling of abscisic acid (ABA): the factors regulating the intensity of the ABA signal. **Journal of Experimental Botany**, v.59, p.37-43, 2008.
- KIM, H.; CHOI, Y.; VERPOORTE, R. NMR-based metabolomic analysis of plants. **Nat Protoc** 5, 536–549, 2010. <https://doi.org/10.1038/nprot.2009.237>
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económica. México, 1948. 478p.
- LAWLOR, D.W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, v.89, p.871-885, 2002.
- LEWIS, J.; BAKER, J.M.; BEALE, M.H.; WARD, J.L. **Metabolite profiling of GM plants: the importance of robust experimental design and execution**. In: Genomics for Biosafety in Plant Biotechnology; Nap, J. P. H., Atanassov, A., Stiekema, W. J., Eds.; IOS Press, pp 47–57, 2004.
- LI C., WANG K. Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell populations. **Forest Ecology and Management**. 2003; 179:377-385.

MERCHANT, A.; TAUSZ, M.; ARNDT, S.K.; ADAMS, M.A. Cyclitols and carbohydrates in leaves and roots of 13 Eucalyptus species suggest contrasting physiological responses to water deficit. **Plant Cell and Environment**, (2006), 29, 2017–2029.

MCDONALD, L.; MORGAN, T.; JACKSON, P. The effect of ripeners on the CCS of 47 sugarcane varieties in the Burdekin. **Proceedings of the Conference of the Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 23, p. 102-108, 2001.

MIYAZAWA, S.I.; YOSHIMURA, S.; SHINZAKI, Y.; MAESHIMA, M.; MIYAKE, C. Deactivation of aquaporins decreases internal conductance to CO₂ diffusion in tobacco leaves grown under long term drought. **Functional Plant Biology**, v. 35, p. 553-564, 2008.

MODDUS. Bula. Disponível em: <https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2020-10/moddus1219.pdf> Acesso em: 05 setembro 2021.

MOURA, V.P.G. **O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no Brasil**. Brasília: EMBRAPA Recursos genéticos e biotecnologia. 2004. 12 p. (Comunicado técnico, n. 111), Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/174980/1/cot111.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

NAKAYAMA, K. et al. Effects of a plant-growth regulator, prohexadione, on the biosynthesis of gibberellins in cell-free systems derived from immature seeds. **Plant Cell Physiol**, v. 31, p. 1183-1190, 1990.

NAMBIAR, E.; SANDS, R. Competition for water and nutrients in forests. **Canadian Journal of Forest Research**, v.23, n.10, p.1955-1968, 1993.

NASCIMENTO, V.; ARF, O.; SILVA, M.G.; BINOTTI, F.F.S.; RODRIGUES, R.A.F.; ALVAREZ, R.C.F. Uso do regulador de crescimento etil-trinexapac em arroz de terras altas. **Bragantia**, v.68, n.4, p.921-929, 2009.

PARRY, M.A.; ANDRALOJC, P.J.; KHAN, S.; LEA, P.J.; KEYS, A.J. Rubisco activity: effects of drought stress. **Annals of Botany**, v.89, p.833-839, 2002.

PEREIRA, F.C.M.; NEPOMUCENO, M.P.; PIRES, R.N.; PARREIRA, M.C.; ALVES, P.L.C.A. Response of eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*) plants at different doses of glyphosate. **Journal of Agricultural Science**, v.5, n.1, p.66-74, 2013.

- PIRES, R. N.; BACHA, A. L.; NEPOMUCENO, M. P.; ALVES, P. L. C. A. Can trinexapac-ethyl stimulate the initial growth of eucalyptus? *Ci. Fl.*, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 385-395, jan./mar., 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509815326>
- PIRES, R.N. **Influência do etil-trinexapac no crescimento inicial do eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.
- PIRES, R.N.; PEREIRA, F.C.M.; NEPOMUCENO, M.P.; ALVES, P.L.C.A. Effects of the simulated drift of ripeners on *Eucalyptus urograndis*. **Journal of Agricultural Science**, v.5, n.12, p.78-86, 2013.
- PITELLI, R.A.; MARCHI, S.R. Interferência das plantas invasoras nas áreas de reflorestamento. Seminário técnico sobre plantas daninhas e o uso de herbicidas em reflorestamento, 3, Belo Horizonte, 1991. **Anais...Belo Horizonte**, 1991.p.1-11.
- RADEMACHER, W. Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production. **Annual Plant Reviews**, v.49, p.359-403, 2016.
- RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, p.501-531, 2000.
- RADEMACHER, W. Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.34, n.4, p.845-872, 2015.
- ROCHA, M.G.B.; PIRES, I.E.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D.; ROCHA, R.B. Avaliação genética de progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus urophylla* utilizando os procedimentos REML/BLUP e E(QM). **Ciência Florestal**, v.16, n.4, p.369-379, 2006.
- SHVALEVA, A.L.; COSTA E SILVA, F.; BREIA, E.; JOUVE, L.; HAUSMAN, J.F.; ALMEIDA, M.H.; MAROCO, J.P.; RODRIGUES, M.L.; PEREIRA, J.S.; CHAVES, M.M. Metabolic responses to water deficit in two *Eucalyptus globulus* clones with contrasting drought sensitivity. **Tree Physiology**, v.26, p.239-248, 2006.
- SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A.A.; CARDOSO, A.A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. **Floresta**, v.34, p.325-335, 2004.
- SOUTHAM, C.M.; EHRLICH, J. Effects of extracts of western red-cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. **Phytopathology**, v.33 p.517-524, 1943.

- STAPE, J.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G.; GOMES, A.N. Water use, water limitation, and water use efficiency in a eucalyptus plantation. **Bosque**, v.25, n.2, p.35-41, 2004
- SUSILUOTO S.; BERNINGER F. Interactions between morphological and physiological drought responses in *Eucalyptus microtheca*. **Silva Fennica**, v.41, p.221-233, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- THE PLANT LIST. **Version 1**. Disponível em: <<http://www.theplantlist.org/>> Acesso em: 05 jun. 2017.
- UTKHAO, W.; YINGJAJAVAL, S. Changes in leaf gas exchange and biomass of *Eucalyptus camaldulensis* in response to increasing drought stress induced by polyethylene glycol. **Trees** 29: 1581–1592, 2015. 10.1007/s00468-015-1240-1
- VASSILEVA V, SIGNARBIEUX C, ANDERS I, FELLER U. Genotypic variation in drought stress response and subsequent recovery of wheat (*Triticum aestivum* L.). *J Plant Res* 124: 147–154, 2011.
- VELINI, E.D.; ALVES, E.; GODOY, M.C.; MESCHEDE, D.K.; SOUZA, R.T.; DUKE, S.O. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. **Pest Management Science**, v.64, n.4, p.489-496, 2008.
- VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B.; BARBERIS, L.R.M.; DUKE, S.O. Growth Regulation and other secondary effects of herbicides. **Weed Science**, v.58, n.3, p.351-354, 2010.
- VELLINI, A.L.T.T.; DE PAULA, N.F.; ALVES, P.L.C.A.; PAVANI, L.C.; BONINE, C.A.V.; SCARPINATI, D.A.; DE PAULA, R.C. Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, v.32, n.4, p.651-663, 2008.
- WARD, J.L.; HARRIS, C.; LEWIS, J.; BEALE, M.H. Assessment of ¹H NMR spectroscopy and multivariate analysis as a technique for metabolite fingerprinting of *Arabidopsis thaliana*. **Phytochemistry**, v.62, p.949-957, 2003.
- WARREN, C.R.; ARANDA, I.; CANO, F.J. Responses to water stress of gas exchange and metabolites in *Eucalyptus* and *Acacia* spp **Plant, Cell and Environment** (2011) 34, 1609–1629.

WARREN, C.R.; ARANDA, I.; CANO, F.J. Metabolomics demonstrates divergent responses of two *Eucalyptus* species to water stress. **Metabolomics**, (2012), 8(2), 186–200.

WARREN, C.R.; BLEBY, T.M.; ADAMS, M.A. Changes in gas exchange versus leaf solutes as a means to cope with summer drought in *Eucalyptus marginata*. **Oecologia**, (2007), 154, 1–10.

ZHANG, J.; JIA, W.; YANG, J.; ISMAIL, A.M. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. **Field Crop Research**, v.97, p.111-119, 2006.