

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

PAULO RICARDO LIMA

**AVALIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM MUDAS DE EUCALIPTO
RESULTANTES DA APLICAÇÃO DE ÁCIDO JASMÔNICO E FLEXÕES
CAULINARES**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2017

PAULO RICARDO LIMA

**AVALIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM MUDAS DE EUCALIPTO
RESULTANTES DA APLICAÇÃO DE ÁCIDO JASMÔNICO E FLEXÕES
CAULINARES**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientador: Prof. Dr. Ubirajara Contro Malavasi
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Marlene de Matos Malavasi

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

L732a

Lima, Paulo Ricardo

Avaliações morfofisiológicas em mudas de eucalipto resultantes da aplicação de ácido jasmônico e flexões caulinares. / Paulo Ricardo Lima.-- Marechal Cândido Rondon, 2017.

65 f.

Orientador: Prof. Dr. Ubirajara Contro Malavasi

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Marlene de Matos Malavasi

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2017.

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

1. Eucalipto – Mudas - Qualidade. I. Malavasi, Ubirajara Contro. II. Malavasi, Marlene de Matos. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 20.ed. 634.97342
CIP-NBR 12899

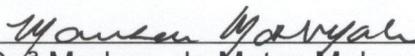
Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Beijo – CRB 9ª/965

PAULO RICARDO LIMA

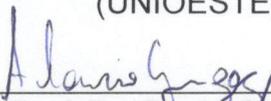
**AVALIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM MUDAS DE EUCALIPTO
RESULTANTES DA APLICAÇÃO DE ÁCIDO JASMÔNICO E FLEXÕES
CAULINARES**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

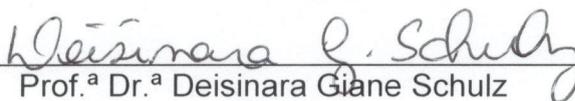
APROVADA: 29 de junho de 2017



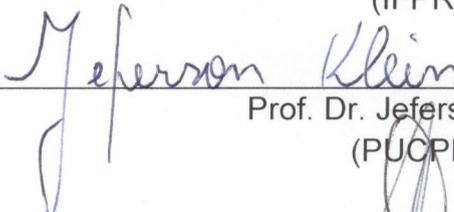
Prof.^a Dr.^a Marlene de Matos Malavasi
(Coorientadora)
(UNIOESTE)



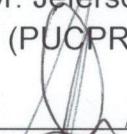
Prof. Dr. Flavio Gurgacz
(UNIOESTE)



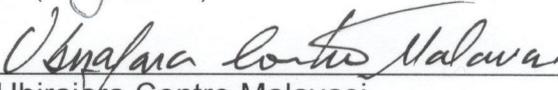
Prof.^a Dr.^a Deisimara Giene Schulz
(IFPR)



Prof. Dr. Jeferson Klein
(PUCPR)



Prof. Dr. João Alexandre Lopes Dranski
(FAEMED)



Prof. Dr. Ubirajara Contro Malavasi
(Orientador)
(UNIOESTE)

Aos meus queridos e admiráveis pais Nilton Dias Lima e Vanda de Fátima Ferreira Lima, pelas palavras de conforto e sabedoria que me sustentaram em meio às dificuldades, pelo apoio, dedicação, compreensão e, por sempre acreditarem que eu pudesse chegar até aqui: realizar um sonho.

Ao meu amado irmão Sidney Dias Lima, companheiro e fiel amigo, sempre se doando para que eu pudesse concretizar meu objetivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos,

A DEUS, por dar-nos a oportunidade de evoluirmos com o dom da vida, pela proteção diária, força e paciência nas horas de fraqueza e pelos ensinamentos recebidos como filho dEle.

Aos meus pais, Nilton Dias Lima e Vanda de Fátima Ferreira Lima (a maior incentivadora nos meus estudos), que nunca mediram esforços para continuar me incentivando a cada dia. Nos momentos difíceis e de alegria sempre estiveram comigo. Vocês não me deram tudo que queriam, mas me forneceram o que eu necessitava. Agradeço imensamente cada palavra de incentivo, cobrança e consolo durante todo esse período. Sou muito grato por tê-los ao meu lado. Devo-os a minha vida.

Ao meu admirável irmão Sidney Dias Lima, por todos os conselhos, broncas, cobranças, enfim, por tudo. Sempre me motivou e cobrou a continuar no caminho certo. Grande irmão, irmão verdadeiro, que sempre me apoio nos projetos da vida.

À minha noiva Caroline Matheus Anastácio, pelo apoio, incentivo, compreensão e companheirismo. Apenas eu sei o quanto foi importante tê-la ao meu lado durante essa jornada. Minha eterna gratidão. Amo-te!

À minha admirável amiga “irmã de coração” Abigail Cassiola Rovari (Bega), por sempre estar ao meu lado, nos dias alegres, mas principalmente nos dias tristes, aos quais mais precisei do seu ombro amigo. Sempre me motivou e cobrou a continuar no caminho certo. Grande amiga, amiga verdadeira, que sempre me apoio nos projetos da vida. Enfim, você é aquela amiga que vibra, que aplaude a cada vitória, a cada conquista, mas é também aquela amiga que se entristece, lamenta e me encoraja a seguir em frente à cada tropeço. Enfim, obrigado por tudo.

Ao professor orientador Dr. Ubirajara Contro Malavasi que abriu as portas do laboratório de sementes e de ciências florestais e, acima de tudo com seriedade e profissionalismo me orientou durante esse período. Obrigado por aceitar a me orientar e, dessa forma, contribuir de forma imprescindível em minha vida profissional. Obrigado pelas cobranças e ensinamentos. Obrigado pela orientação e convívio durante esses três anos. Se não fosse pelo senhor, talvez eu não chegasse ao final de mais essa etapa em minha vida.

À minha coorientadora, professora Dr^a Marlene de Matos Malavasi pelos ensinamentos repassados em sala de aula. Obrigado pela orientação, paciência, cobrança, sinceridade, respeito e, principalmente a dedicação que a senhora teve para comigo.

Ao professor Dr. Flavio Gurgacz, do curso de engenharia agrícola da Unioeste de Cascavel, pelo auxílio durante o desenvolvimento do aparato utilizado na leitura da resistência flexural e pelos demais ensinamentos.

Ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia (PPGA) da Unioeste de Marechal Cândido Rondon, pela oportunidade de realização deste curso. A todos os professores do PPGA pelos ensinamentos durante o transcorrer das disciplinas. A todos os professores do departamento de mestrado/doutorado que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao pessoal do laboratório de sementes e de ciências florestais que sempre se dispôs a me ajudar de alguma forma e em todos os momentos. Não esquecerei jamais de nenhum de vocês, de nenhum mesmo! Em especial a Neusa Francisca Michelin Herzog, que esteve presente durante toda a minha jornada na UNIOESTE. Enfim, a todos minha eterna gratidão.

Aos meus grandes amigos e companheiros de república Martios Ecco e Jean Sérgio Rosset, que durante os longos anos de mestrado/doutorado, distante de casa, foram o meu refúgio e com quem passei grandes situações da minha vida. Obrigado por compartilharem momentos de estudos, conversas e descontração. Com vocês aprendi o verdadeiro sentido da amizade e do companheirismo. Sempre que precisei, estavam lá. Amizades que levarei por toda a vida.

Aos meus grandes amigos e companheiros, João Alexandre Lopes Dranski, André Gustavo Battistus, Augustinho Borsoi, Maycon Marinho Lopes e Paulo César Camargo Júnior por terem colaborado efetivamente nesta jornada e aos demais amigos da pós-graduação em Agronomia da UNIOESTE.

Às secretárias do PPGA da Unioeste, em especial a Leila Dirlene Allievi Werlang pelo comprometimento, atenção e auxílio. Durante todos os anos seu tratamento manteve-se sempre exemplar, digno de todos os elogios.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de auxílio ao estudo.

Enfim, todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho, ficam aqui meus agradecimentos.

Muito obrigado!

“O sonho é o início da realização”
(Autor desconhecido)

RESUMO

LIMA, Paulo, R. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, maio de 2017. **Avaliações morfofisiológicas em mudas de eucalipto resultantes da aplicação de ácido jasmônico e flexões caulinares.** Orientador: Ubirajara Contro Malavasi. Coorientadora: Marlene de Matos Malavasi.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a rustificação de mudas de híbrido de *Eucalyptus urophylla* vs *Eucalyptus grandis* clone 1528 com aplicação de ácido jasmônico (JA) e flexões caulinares e seu posterior desenvolvimento a campo. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no município de Marechal Cândido Rondon, PR. Foram realizados três experimentos para avaliar as respostas das plantas de eucalipto a aplicação exógena de JA e flexões caulinares. O primeiro foi desenvolvido em delineamento experimental inteiramente ao acaso com sete tratamentos (testemunha; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA; 20 e 40 flexões caulinares diárias), com cinco repetições de vinte mudas, em ambiente protegido não climatizado. Após quatro semanas de aplicação dos tratamentos, foram determinados os incrementos na altura, diâmetro do coleto, número de folhas, massas secas de raízes e da parte aérea e índice relativo de clorofila (SPAD). Aos 90 dias após o plantio (campo) foram avaliados os incrementos na altura e no diâmetro do coleto e a relação altura/diâmetro das mudas. No segundo experimento em ambiente protegido, utilizando delineamento inteiramente ao acaso com cinco repetições de vinte mudas, com os seguintes tratamentos: T1: testemunha, T2: 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA e T3: 40 flexões caulinares. Foram mensuradas a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), taxa de transpiração da folha (E), eficiência do uso de água (WUE), eficiência intrínseca do uso de água ($iWUE$) e eficiência de carboxilação (F_c). O terceiro experimento em ambiente protegido foi utilizado delineamento inteiramente ao acaso com sete tratamentos (T1: testemunha; T2: 2,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA; T3: 4,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA; T4: 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA; T5: 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA; T6: 20 flexões; T7: 40 flexões) e cinco repetições de vinte mudas. Após a aplicação dos tratamentos foram avaliados o incremento na altura, diâmetro do coleto, teor de lignina do caule e raiz e rigidez flexural. As mudas rustificadas foram transplantadas a campo e aos 90 e 150 dias foram avaliados os incrementos na altura e diâmetro do caule. Os tratamentos com aplicação de JA e testemunha apresentaram maior incremento na altura e número de folhas durante a fase de rustificação e obtiveram maior incremento em altura e no diâmetro do coleto a campo. A dose de JA aplicada nas mudas foi

insuficiente para alterar as respostas fotossintéticas em relação à testemunha. Estímulos mecânicos promoveram incremento da capacidade fotossintética máxima e máxima assimilação de CO₂, mas externaram redução na eficiência do uso da água, ou seja, menor eficiência fotossintética quando comparado aos demais tratamentos. Para rigidez flexural, mudas submetidas a estímulos mecânicos apresentaram maior resistência de curvatura. Aplicações de JA acima de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e estímulos mecânicos obtiveram incremento no teor de lignina no caule em mudas de eucalipto. Doses menores de JA e imposição de 20 flexões resultaram em mudas com aumento no incremento no diâmetro caule. A análise de trilha demonstrou que houve aumento na rigidez do caule acompanhado com o aumento no teor de lignina e que estes possuem um maior efeito direto inversamente proporcional com o incremento médio em altura e com o diâmetro do caule ao nível do solo. Portanto, a aplicação de flexões caulinares e ácido jasmônico foram capazes de alterar a concentração de lignina no caule, proporcionando maior rigidez flexural em mudas de eucalipto. Porém, essa menor flexura caulinar não se refletiu em maior qualidade da muda nas condições estudadas.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla* vs *Eucalyptus grandis*. Estímulo mecânico. Estímulo químico. Qualidade de mudas.

ABSTRACT

LIMA, Paulo, R. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, May 2017. **Morphophysiological evaluations in eucalyptus seedlings resulting from the application of jasmonic acid and caulin flexures.** Advisor: Ubirajara Contro Malavasi. Co-Advisor: Marlene de Matos Malavasi.

The objective of the present study was to evaluate the rustification of hybrids of *Eucalyptus urophylla* versus *Eucalyptus grandis* (clone 1528) with application of jasmonic acid (JA) and kaolin flexions stem and their subsequent field development. The experiment was conducted at the State University of Western Paraná, in the municipality of Marechal Cândido Rondon, PR. Three experiments were carried out to evaluate the responses of eucalyptus plants to the exogenous application of JA and flexions stem. In the first, a completely randomized experimental design with seven treatments (control, 2.0, 4.0, 6.0 and 8.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of JA, 20 and 40 stem flexions daily), with five replications of twenty seedlings, in the protected environment. After 4 weeks of application of the treatments were determined the increment in height, stem diameter, number of leaves, dry masses of roots and aerial part and relative index of chlorophyll (SPAD). At 90 days after planting (field), the increases in height and in the stem diameter and the height/diameter ratio of the seedlings were evaluated. In the second experiment in protected environment, using a completely randomized design with five replications of 20 seedlings, with the following treatments: T1: control, T2: 8.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of JA and T3: 40 stem flexions. They were measured the net assimilation rate of CO_2 (A), stomatal conductance (gs), internal CO_2 concentration (Ci), leaf transpiration rate (E), water use efficiency (WUE), intrinsic efficiency of use of Water (iWUE) and carboxylation efficiency (Fc). The third experiment in protected environment was a completely randomized design with seven treatments (T1: control; T2: 2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of JA; T3: 4.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of JA; T4: 6.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of JA; T5: 8.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of JA; T6: 20 stem flexions; and T7: 40 stem flexions) with five replicates of twenty seedlings. After applied of the treatments were evaluated, the increment in height, diameter stem and lignin content of root and stem and flexural stiffness of the stem. The rustified seedlings were transplanted to the field and at 90 and 150 days the height and stem diameter increments were evaluated. The treatments with application of JA and control showed a greater increase in height and number of leaves during the rustification phase and obtained a greater increase in height and in the diameter of stem after field planting. The dose of JA applied in the seedlings was insufficient to alter the photosynthetic responses to the control. Mechanical stimuli promoted an increase in the maximum photosynthetic

capacity and maximum assimilation of CO₂, but reduction in the efficiency of water use, that is, lower photosynthetic efficiency when compared to other treatments. For flexural rigidity, seedlings submitted to mechanical stimuli presented greater curvature resistance. Applications of JA above 6.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ and mechanical stimuli obtained an increase in the lignin content in the stem in eucalyptus seedlings. Minor doses of JA and imposition of 20 push-ups resulted in seedlings with increase in diameter stem increment. The track analysis showed that the increase in the lignin content promotes more rigid stems and these have a greater direct effect inversely proportional to the average increase in height and the diameter of the stem at the level of the ground. Therefore, the application of stem flexures and jasmonic acid were able to alter the lignin concentration in the stem, providing greater flexural stiffness in eucalyptus seedlings, but this smaller flexural stiffness was not reflected in higher seedling quality under the studied conditions.

Keywords: *Eucalyptus urophylla* vs *Eucalyptus grandis*. Mechanical stimulus. Chemical stimulus. Quality of seedlings.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2	REFERÊNCIAS.....	3
3	CAPÍTULO 1: ESTÍMULO QUÍMICO E MECÂNICO NA RUSTIFICAÇÃO DE MUDAS DE EUCALIPTO	4
3.1	RESUMO	4
3.2	ABSTRACT	4
3.3	INTRODUÇÃO.....	5
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
3.6	CONCLUSÕES	17
3.7	REFERÊNCIAS	17
4	CAPÍTULO 2: RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS EM MUDAS DE EUCALIPTO SUBMETIDAS A ESTÍMULO QUÍMICO E MECÂNICO	21
4.1	RESUMO	21
4.2	ABSTRACT:	21
4.3	INTRODUÇÃO.....	22
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.6	CONCLUSÃO.....	35
4.7	REFERÊNCIAS	36
5	CAPÍTULO 3: TEOR DE LIGNINA E RIGIDEZ FLEXURAL EM MUDAS DE EUCALIPTO SUBMETIDA AO ÁCIDO JASMÔNICO E FLEXÕES CAULINARES.....	42
5.1	RESUMO	42
5.2	ABSTRACT	42
5.3	INTRODUÇÃO	43
5.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	45
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.6	CONCLUSÕES	59
5.7	REFERÊNCIAS	60
6	CONCLUSÕES GERAIS.....	62
7	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	63

1 INTRODUÇÃO GERAL

Cultivar árvores e aprimorar seus frutos tem sido um dos anseios do homem desde o estabelecimento das primeiras atividades agrícolas. Inicialmente, buscava-se apenas sua subsistência; mais tarde, passou-se a plantar árvores por razões econômicas (LEÃO, 2000).

Das árvores, o homem retira uma diversidade de artigos aproveitáveis, como alimentos, remédios, gomas, resinas, corantes, óleos e fibras. Mas é a madeira, seu produto mais precioso. A madeira é, ao mesmo tempo, fonte de energia, material de construção e matéria prima para a fabricação de diversos objetos fundamentais à vida humana (LEÃO, 2000). Além de fornecerem matéria-prima para usos industriais e domésticos, as florestas desempenham funções ambientais e sociais, papel importante no desenvolvimento sustentável e contribuem com a conservação das florestas nativas.

Considerando que a madeira é um dos materiais mais usados pelo homem, bem como o aumento da procura de matéria-prima para os diversos setores, espécies florestais do gênero *Eucalyptus*, por possuírem características de crescimento rápido, capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais e alta produtividade, vem ganhando um papel importante para o suprimento de madeira, tendo em vista os altos índices de desmatamento a nível mundial (FAO, 2009). De acordo com a INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (2016), a área plantada de *Eucalyptus* no Brasil, vem crescendo ano após ano, principalmente em função do aumento da demanda e dos investimentos de empresas nacionais do segmento de papel e celulose.

Atualmente, espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais utilizadas em reflorestamentos comerciais. De acordo com o relatório da INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (2016), ano base 2015, a área total de florestas plantadas no Brasil alcançou 5,63 milhões de hectares. Porém, esta área representa menos de 1% da área total do território nacional e, portanto, demonstra o grande potencial de crescimento do cultivo de *Eucalyptus* no Brasil.

De acordo com a UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION (2015), no ano de 2015, a população mundial atingiu 7,3 bilhões de pessoas e segundo suas projeções a tendência é que a população atinja a marca de 9,7 bilhões de pessoas em 2050. De acordo com estimativas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o consumo per capita de madeira tende a aumentar em 40%, o que exigirá o plantio adicional de milhões hectares de eucalipto em todo o mundo (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016).

No Brasil, devido a necessidade do aumento de produção, bem como pela oportunidade da obtenção de uma renda alternativa, os plantios estão crescendo em locais onde não se havia a prática do cultivo do eucalipto. Dessa forma, se torna importante que essa expansão de plantios comerciais de eucalipto, principalmente em novas áreas, requeira cuidado dos silvicultores, visto que o crescimento e desempenho das mudas/árvores estão sujeitos às condições edafoclimáticas dos locais de plantio.

Para garantir o êxito de um povoamento florestal, bem como o sucesso do plantio a campo, é imprescindível o uso de mudas florestais que apresentem bom desempenho após o plantio. Entretanto, a identificação do padrão de rusticidade de mudas no viveiro a fim de melhorar o desempenho das mesmas após o plantio tem se tornado um desafio para muitas empresas florestais.

Mesmo o atendimento da demanda por mudas do gênero *Eucalyptus* sendo realizado em sua maioria por meio da clonagem, mudas com padrões inferiores podem apresentar bom desenvolvimento em sítios em boas e adequadas condições climáticas. Em contrapartida, quando o status fisiológico é igual, mudas com maior tamanho crescem melhor, mas usualmente não sobrevivem tanto quanto as de menor tamanho em locais com maior adversidade ambiental (PEZZUTTI et al., 2011). Desta maneira, denota-se maior importância da qualidade de mudas aos diferentes sítios de plantio.

Além da necessidade de se obter mudas que apresentem tolerância a diferentes estresses bióticos e abióticos após o plantio, faz-se necessário mudas de boa qualidade a fim de evitar perdas por mortalidade e baixo incremento após o plantio, aliado a redução dos tratamentos culturais aplicados ao povoamento, devido à redução da competição com as plantas invasoras, promovida pelo maior crescimento inicial da cultura de interesse (FIGUEIREDO et al., 2011).

Nesse sentido, muitos esforços têm sido realizados para melhorar a qualidade e reduzir os custos de produção das mudas, dentre eles, algumas práticas, tais como a submissão de mudas a estímulos mecânicos e a reguladores vegetais podem estar relacionadas com a rusticificação de mudas de espécies lenhosas e conseqüentemente com a melhoria na qualidade da muda, a fim de obterem maior desenvolvimento a campo.

A partir do exposto, este estudo teve como hipótese que mudas submetidas à indução de estresse por estímulos mecânicos e químicos, através de flexões caulinares e pulverizações com ácido jasmônico, respectivamente, possam sofrer alterações fotossintéticas, alterar sua concentração de lignina, e por conseqüência, apresentar maior qualidade, melhorando seu

desempenho após o plantio no campo. Para avaliar essa hipótese, esta tese foi dividida em três capítulos com diferentes objetivos:

O capítulo I intitulado “Estímulo químico e mecânico na rustificação de mudas de eucalipto”, teve como objetivo: avaliar a qualidade de mudas do híbrido 1528 de eucalipto após aplicações de ácido jasmônico e flexões caulinares e seus reflexos sobre o estabelecimento a campo.

O capítulo II intitulado “Respostas fotossintéticas em mudas de eucalipto submetidas a estímulo químico e mecânico”, teve como objetivo: investigar as respostas fotossintéticas em mudas do híbrido 1528 de *Eucalyptus urophylla* vs *Eucalyptus grandis* submetidas a aplicação de ácido jasmônico e flexões caulinares.

O capítulo III intitulado “Teor de lignina e rigidez flexural em mudas de eucalipto submetida ao ácido jasmônico e flexões caulinares”, teve como objetivo: verificar se a rustificação por flexões caulinares e ácido jasmônico induzem lignificação e correlacioná-la com o desenvolvimento inicial em campo de mudas do híbrido 1528 de eucalipto.

2 REFERÊNCIAS

FIGUEIREDO, F. A. M. M.; CARNEIRO, J. G. 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**, Viçosa, v.35, n.1, p.01-11, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: planted forests and trees working paper**. Rome, 2009. 44 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (São Paulo). **Relatório IBÁ 2016**. São Paulo: Studio 113, 2016.

LEÃO, R. M. **A Floresta e o homem**, EDUSP-IPEF, São Paulo, 2000, 447 p.

PEZZUTTI, R. V.; CALDATO, S. L. Sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *Pinus taeda* L. com diferentes diâmetros do colo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 355-362, 2011.

UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION. **World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables**. Working Paper No. ESA/P/WP.241. 2015. 59 p.

3 CAPÍTULO 1: ESTÍMULO QUÍMICO E MECÂNICO NA RUSTIFICAÇÃO DE MUDAS DE EUCALIPTO

3.1 RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade de mudas do clone 1528 de eucalipto após rustificação com aplicação de ácido jasmônico (JA) e flexões caulinares. O experimento foi conduzido no município de Marechal Cândido Rondon-PR. e realizado em duas etapas. A primeira etapa foi desenvolvida em ambiente protegido e a segunda realizada a campo. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso com sete tratamentos (testemunha; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA, aplicados semanalmente por quatro semanas; Vinte e quarenta flexões diárias por quatro semanas), com cinco repetições de vinte mudas. Após as quatro semanas de aplicação dos tratamentos, foram determinados os incrementos na altura, diâmetro do coleto, número de folhas, massas secas de raízes e da parte aérea, potencial de regeneração de raízes e índice relativo de clorofila (SPAD). Aos noventa dias após o plantio (campo), foram avaliados os incrementos na altura e no diâmetro do coleto e a relação altura/diâmetro das mudas. A análise de agrupamento por UPGMA evidenciou a formação de três grupos: grupo 1 (testemunha, 2,0; 4,0 e 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA); grupo 2 (8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA) e grupo 3 (flexões caulinares). Parâmetros como incremento no diâmetro do coleto, potencial de regeneração de raízes e SPAD quantificados durante a rustificação de mudas no viveiro não são preditivas de maior desempenho a campo. Mudas que apresentaram maior incremento na altura e número de folhas (grupo I e II) durante a fase de rustificação obtiveram maior incremento em altura e no diâmetro do coleto a campo aos noventa dias após o plantio.

Palavras-Chave: Ácido jasmônico. Flexões caulinares. Qualidade de mudas. Clone 1528.

3.2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the quality of seedlings of clone 1528 of eucalyptus after hardening with application of jasmonic acid (JA) and stem bending. The experiment was conducted in the municipality of Marechal Cândido Rondon, PR, conducted in two stages, the first in protected environment and the second in the field. A completely randomized experimental design with seven treatments (control, 2.0, 4.0, 6.0 and 8.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$

of JA applied weekly for 4 weeks, 20 and 40 daily push-ups for 4 weeks), with five replicates of twenty seedlings. At the end of the treatments, the increase in height (IA), collection diameter (IDC), number of leaves (NF), dry masses of roots and shoot and relative chlorophyll index (SPAD) were determined. At 90 days after planting (field), the increases in height, the collection diameter, and the height / diameter ratio of the seedlings were evaluated. The analysis for UPGMA evidenced the formation of 3 groups: group 1 (control, 2.0, 4.0 and 6.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of JA); Group 2 (8.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of JA) and group 3 (stem bending). Parameters such as IDC, PRR (root regeneration potential) and SPAD quantified during the hardening of seedlings in the nursery are not predictive of higher field performance. Seedlings with higher IA and NF (group I and II) obtained higher AI and IDC in the field at 90 days after planting.

Key-words: Jasmonic acid. Caulinary flexures. Quality of seedlings. Clone 1528.

3.3 INTRODUÇÃO

O uso de mudas florestais que apresentem bom desempenho após o plantio faz-se necessário para garantir o sucesso do plantio a campo e o êxito de um povoamento florestal. No entanto, a identificação do padrão de rusticidade de mudas para implantação no viveiro a fim de melhorar o desempenho das mudas tem se tornado um desafio para muitas empresas florestais.

O clone de eucalipto Cl 1528, conhecido como “superclone” de acordo com o Portal Florestal (2016), apresenta base genética *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com incremento médio anual (IMA) de 50 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, densidade básica da madeira de 531 kg m^{-3} , teor de lignina total de 29,24%, teor de holocelulose de 68,14%, rendimento gravimétrico de 50,41% e resistência mecânica de 80,82%. O clone objetiva plantas com um bom crescimento, características do *E. grandis*, assim como um aumento na densidade da madeira e melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose, características do *E. urophylla* (CARVALHO; NAHUZ, 2001).

Porém, dificuldades no estabelecimento de técnicas padrões e de recomendações para a obtenção de mudas de qualidade acarretam mortalidade pós-plantio. Dessa forma, a produção de mudas resistentes, capacitadas a sobreviver a campo é uma das possíveis alternativas para minimizar as perdas pós-plantio. Sabe-se que a qualidade de mudas florestais se baseia numa série de características morfofisiológicas que especialmente se relacionam

com a sobrevivência e o desenvolvimento a campo, e conseqüentemente com o sucesso de plantios florestais.

Vários autores indicam que algumas práticas, tais como a submissão de mudas a estímulos mecânicos e a reguladores vegetais podem estar relacionadas com a rusticidade de espécies lenhosas (ORO et al., 2011; DRANSKI, 2013; MAZZUCHELLI et al., 2014; GONÇALVES et al., 2015). Assim, tais práticas poderiam ser incluídas na rotina dos viveiros, favorecendo o desenvolvimento pós-plantio das mudas.

O ácido jasmônico e seus derivados jasmonatos são reguladores endógenos do crescimento vegetal originários do ácido linolênico, que ocorrem em várias espécies vegetais e estão relacionados com a senescência de plantas, abscisão foliar, desenvolvimento de embriões e mecanismo de defesa, agindo como sinalizadores de estresse (FRANK, 1991; KERBAUY, 2012).

Os estímulos mecânicos têm sido utilizados para descrever respostas mecanicamente induzidas em vegetais através de flexões caulinares em mudas (JAFFE, 1973). Apesar das respostas vegetais a estes estímulos serem muito variáveis entre espécies, alguns comportamentos comuns a um grande número de espécies lenhosas têm sido relatados. Entre eles estão a redução do alongamento celular, com conseqüente redução na altura das mudas e o aumento no diâmetro de coleto, atributos que têm servido como indicadores da qualidade de mudas (FONSECA et al., 2002; GOMES et al., 2002; BRAAM, 2005; DRANSKI, 2013; VOLKWEIS et al., 2014).

Apesar da aplicação de flexões caulinares e ácido jasmônico causarem respostas fisiológicas e por estarem relacionadas com rusticidade em mudas florestais, ainda se faz necessário verificar se de fato refletem em mudas com maior desempenho a campo. Portanto, este trabalho objetivou avaliar a qualidade de mudas do híbrido 1528 de eucalipto após aplicações de ácido jasmônico e flexões caulinares e seus reflexos sobre o estabelecimento a campo.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Marechal Cândido Rondon-PR., durante os meses de maio a outubro de 2016, sendo realizado em duas etapas. A primeira em ambiente protegido, não climatizado, localizado nas coordenadas latitude 24°33'S e longitude de 54° 02'O e altitude de 414 m. A segunda realizada a campo, sob coordenadas com latitude 24°31'S e longitude de 54° 01'O e altitude de 363 m.

O clima da região, segundo Köppen, é caracterizado como tipo Cfa, subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão. Contudo, sem estação seca definida. A precipitação pluviométrica anual é em torno de 1.600 a 1.800 mm (CAVIGLIONE et al., 2000).

Mudas do híbrido 1528 de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) foram propagadas via vegetativa por miniestacas, em tubetes de 50 cm³ preenchidos com substrato comercial (Plantmax®) a base de casca de pinus, adubadas com 300 g de fertilizante de liberação controlada (Basacote® Plus 6M) da formulação N₂-P₂O₅-K₂O (16-8-12). As mudas foram adquiridas do viveiro florestal Ouro Verde – Toledo-PR., com idade de 60 dias com altura média de 23,58 ± 1,16 cm e diâmetro do coleto médio de 2,70 ± 0,13 mm. Em maio de 2016, as mudas foram colocadas em ambiente protegido e submetidas aos tratamentos de rustificação por aplicação de ácido jasmônico e de flexões caulinares.

O ambiente protegido constituiu-se de uma estrutura de ferro galvanizado com teto em forma de arco de 7 x 30 m e 3,5 m de pé direito. O teto foi coberto com filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD) e anti-UV de 150 µ de espessura. As laterais foram fechadas com tela de 30 % de sombreamento de coloração branca.

O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso com cinco repetições de vinte mudas, que foram submetidas aos seguintes tratamentos: T1: testemunha com água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente, por quatro semanas; T2: 2,0 µmol L⁻¹ de ácido jasmônico + água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas; T3: 4,0 µmol de ácido jasmônico + água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas; T4: 6,0 µmol de ácido jasmônico + água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas; T5: 8,0 µmol de ácido jasmônico + água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas; T6: vinte flexões diárias + água deionizada e tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas; T7: quarenta flexões diárias + água deionizada e tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas. O tensoativo não iônico utilizado foi o AGRAL®, seguindo as orientações do fabricante.

A aplicação do estímulo químico foi realizada em intervalos de uma semana através de pulverizações foliares de ácido jasmônico na concentração de acordo com cada tratamento descrito acima, com volume total da solução equivalente a 7 mL por muda, ponto em que iniciou o escorrimento foliar. As soluções foram constituídas de ácido jasmônico, água

deionizada e tensoativo não iônico, aplicadas com pulverizador costal manual, trabalhando a pressão de 0,3 MPa. O tensoativo foi utilizado por melhorar a distribuição e absorção foliar do produto aplicado, através da redução da tensão superficial das gotas reduzindo o ângulo de contato destas com a superfície da folha.

As flexões caulinares compreenderam estímulos mecânicos efetuados diariamente através da passagem em duplo sentido de uma estrutura composta por uma barra de cano de PVC com 25 mm de diâmetro disposta horizontalmente e fixada em uma estrutura metálica com rolamentos. As mudas foram flexionadas verticalmente não mais do que 45° mediante a passagem da barra no terço inferior da folhagem, sempre no mesmo horário, a uma velocidade de 0,10 m seg⁻¹ (VOLKWEIS et al., 2014).

Durante a aplicação dos tratamentos, as irrigações ocorreram diariamente, duas vezes ao dia, no início da manhã e final da tarde, por aspersão até a saturação do substrato.

Ao final do período de imposição dos tratamentos das vinte mudas por repetição, foram utilizadas para as determinações dos incrementos na altura, no diâmetro do coleto, no número de folhas. Quatro mudas (dentre as vinte) por repetição foram selecionadas ao acaso para obtenção dos incrementos em massas secas de raízes e dos tecidos aéreos.

A altura da muda foi obtida com régua graduada a partir do nível do substrato até a gema apical e o diâmetro do coleto mensurado com o auxílio de um paquímetro digital. As massas secas de raízes e dos tecidos aéreos foram obtidas através de secagem em estufa de circulação de ar a 65 °C durante 72 h. O incremento do número de folhas foi obtido através de contagem de todas as folhas. Os incrementos foram calculados pela diferença entre os valores antes e após a imposição dos tratamentos, ou seja, entre um intervalo de tempo de quatro semanas.

O índice relativo de clorofila (unidades SPAD) final foi obtido da média de quatro folhas por muda, em vinte mudas por repetição, com medidas tomadas no centro da folha, com auxílio de um medidor de clorofila Minolta SPAD-502. O potencial de regeneração de raízes foi obtido através do plantio de quatro mudas (dentre as vinte) por repetição, ao final da aplicação dos tratamentos, em vasos de 3,4 dm³ preenchidos com areia. As mudas permaneceram nos vasos por vinte e oito dias sob irrigação diária até a capacidade de campo. Após aquele período, foi quantificada a massa seca de novas raízes emergidas do torrão (LANDIS et al., 2010).

Após o período de rustificação das mudas, deu-se início a segunda etapa, sendo três mudas (das vinte) por repetição plantadas a campo, seguindo o delineamento em blocos ao acaso, respeitando-se os tratamentos impostos durante a fase de rustificação.

O plantio das mudas ocorreu em julho de 2016. O clima da região da é classificado como Cfa – clima subtropical úmido mesotérmico (CAVIGLIONE et al., 2000). Os dados meteorológicos do período que compreendeu a condução do experimento a campo estão apresentados na Figura 1. De acordo com mapa de solos do estado do Paraná (BHERING, 2007), o solo do local é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013), apresentando as seguintes características químicas na camada de 0-20 cm de profundidade, antes do plantio: pH (CaCl₂) = 5,3; MO = 13,40 g.dm⁻³; P = 1,32 mg.dm⁻³; Ca²⁺ = 4,30 cmolc.dm⁻³; Mg²⁺ = 2,20 cmolc.dm⁻³; K⁺ = 0,23 cmolc.dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmolc.dm⁻³; H+Al = 3,42 cmolc.dm⁻³; SB = 6,73 cmolc.dm⁻³; CTC = 10,15 cmolc.dm⁻³ e V% = 66,31%.

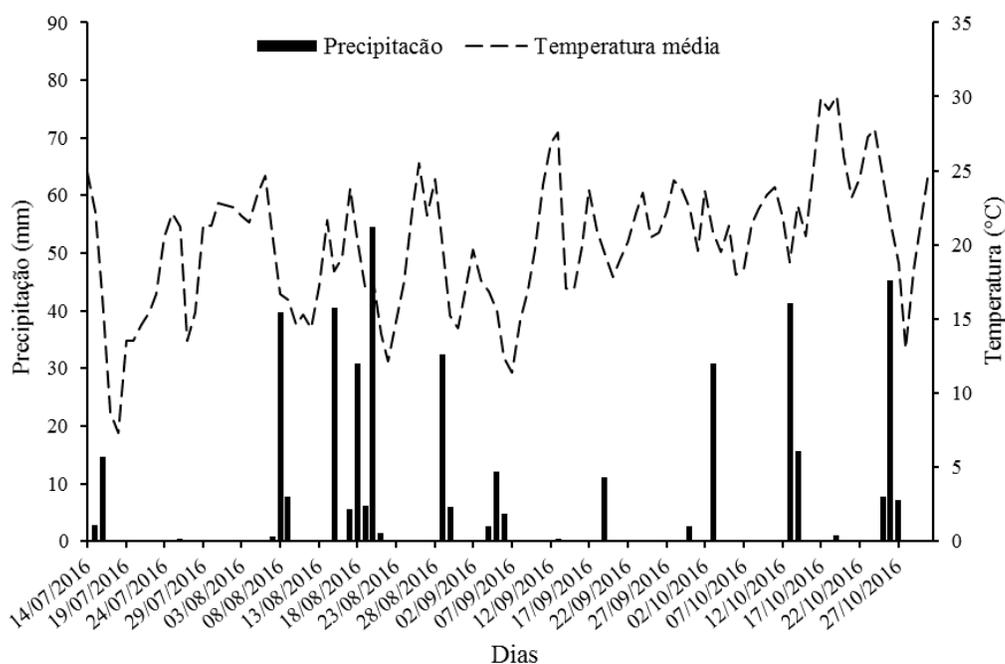


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura média na estação automática de Marechal Cândido Rondo – PR., entre os meses de julho a outubro de 2016.

Fonte: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET.

As covas para o plantio das mudas a campo mediram 27 cm de diâmetro por 50 cm de profundidade em espaçamento de 3 x 2 m. A adubação de base foi de 100 g por cova da formulação 5N-25P₂O₅-25K₂O. Plantas daninhas foram eliminadas através de capina e roçadas a cada 30 dias. Para o combate de formigas cortadeiras foi utilizado iscas granuladas Mirex-S (sulfluramida 0,3%) seguindo as recomendações indicadas no rótulo da embalagem comercial. Aos noventa dias após o plantio foram avaliados os incrementos na altura e no diâmetro do coleto e a relação altura/diâmetro das mudas.

A análise dos dados consistiu primeiramente na avaliação da normalidade da distribuição dos resíduos pelo teste de Lilliefors, e da homogeneidade da variância pelo teste de Cochran e Bartlett. Em seguida, foram determinadas as matrizes de distância euclidiana média padronizada, que foram utilizadas como medidas de dissimilaridade para a análise de agrupamento dos tratamentos pelo método hierárquico UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages) (RIBEIRO JÚNIOR e MELO, 2008). Para a determinação do ponto de corte no dendrograma, foi utilizado o método de Mojena (1977), que é um procedimento baseado no tamanho relativo dos níveis de fusões ou distâncias no dendrograma. As análises e construção do dendrograma foram realizadas utilizando-se os softwares SAEG 9.1 (SAEG, 2007) e o XLSTAT (ADDINSOFT, 2009).

Utilizou-se a análise de variância para delineamento inteiramente ao acaso para dados não balanceados a 5% de significância, para testar a hipótese da diferença entre grupos para cada parâmetro de qualidade avaliado no viveiro e a campo. A média dos grupos foi representada em gráfico de perfis com base no teste de Tukey a 5% de significância.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de agrupamento dos tratamentos pelo método de otimização de Tocher evidenciaram a formação de três grupos, sendo eles: grupo 1 composto por quatro tratamentos (testemunha (T1), dose menor de ácido jasmônico (T2) e doses intermediárias de ácido jasmônico T3 e T4); o grupo 2 composto apenas pelo tratamento da dose maior de ácido jasmônico (T5) e; o grupo 3 composto pelos tratamentos envolvendo as flexões caulinares (T6 e T7) (Figura 2). Tais resultados na separação dos grupos sugerem que mudas do clone 1528 de eucalipto submetidas a aplicação de ácido jasmônico externaram respostas morfológicas que não se assemelham às resultantes das flexões caulinares, diferente do encontrado por Cadornin et al. (2015) em mudas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud.

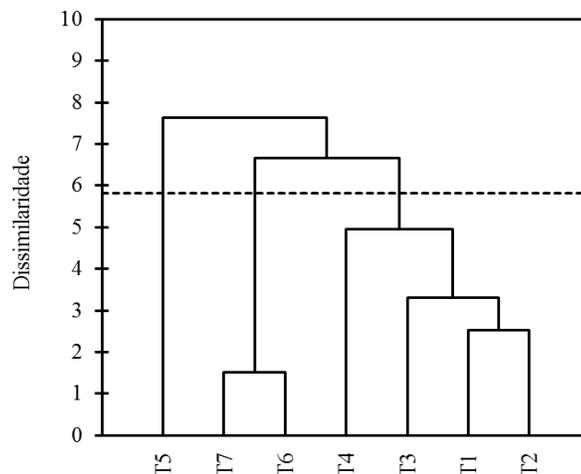


Figura 2. Dendrograma de dissimilaridade dos tratamentos.

A variável que mais contribuiu para a formação dos grupos foi IA (incremento em altura) com 38,1%, seguido pelo NF (número de folhas) com 19%, IDC (incremento no diâmetro do coleto) com 14,3%, PRR (potencial de regeneração de raízes) e IMSPA (incremento da massa seca da parte aérea), ambos com 9,52% e IMSR e SPAD, ambos com 4,76%.

Em relação aos parâmetros quantificados no viveiro (Tabela 1), todos apresentaram diferença significativa ($<0,05$) entre os grupos.

Tabela 1. Parâmetro das mudas do clone de eucalipto avaliadas no viveiro (IA: incremento em altura; IDC: incremento em diâmetro do coleto; IMSPA: incremento de massa seca da parte aérea; IMSR: incremento da massa seca da raiz; NF: número de folhas; SPAD: índice relativo de clorofila; PRR: potencial de regeneração das raízes e; parâmetros avaliados no campo (H/D: relação da altura e diâmetro).

Parâmetros (viveiro)	Grupos			QMR	ANOVA	
	Grupo I (n=16)	Grupo II (n=4)	Grupo III (n=8)		F _{calc}	p-valor
IA (cm)	3,64 ± 0,82	3,99 ± 0,63	1,49 ± 0,91	0,680	20,966	<0,0001
IDC (mm)	0,49 ± 0,13	0,44 ± 0,06	0,62 ± 0,14	0,002	3,635	0,0411
IMSPA (g)	0,68 ± 0,12	1,02 ± 0,06	0,75 ± 0,17	0,002	10,512	0,0005
IMSR (g)	0,24 ± 0,01	0,30 ± 0,02	0,28 ± 0,01	0,252E ⁻²	3,807	0,0360
NF (%)	107,50 ± 3,98	115,29 ± 4,44	97,51 ± 3,63	76,756	6,229	0,0064
SPAD	28,87 ± 1,77	28,01 ± 0,65	32,62 ± 1,65	2,6910	16,759	<0,0001
PRR (mg)	176,31 ± 24,99	207,88 ± 32,88	215,33 ± 17,51	0,590E ⁻³	7,884	0,0022
Desempenho em campo após 90 dias do plantio						
IA (cm)	26,34 ± 4,74	21,99 ± 5,23	18,95 ± 2,98	18,786	8,075	0,0021
IDC (mm)	2,79 ± 0,15	2,83 ± 0,35	2,10 ± 0,21	0,299	4,775	0,0180
H/D	8,35 ± 0,58	8,25 ± 0,78	8,18 ± 0,61	0,381	0,230	0,7960

As mudas de eucalipto que receberam as flexões caulinares (grupo III) apresentaram menor incremento em altura (Figura 3a). As mudas que receberam as demais doses do ácido

jasmônico, juntamente com a testemunha (grupos I e II) não apresentaram diferença significativa ($<0,05$). Porém, mudas do grupo III apresentaram maior IDC em relação às mudas do grupo II sem diferir do grupo I (Figura 3b).

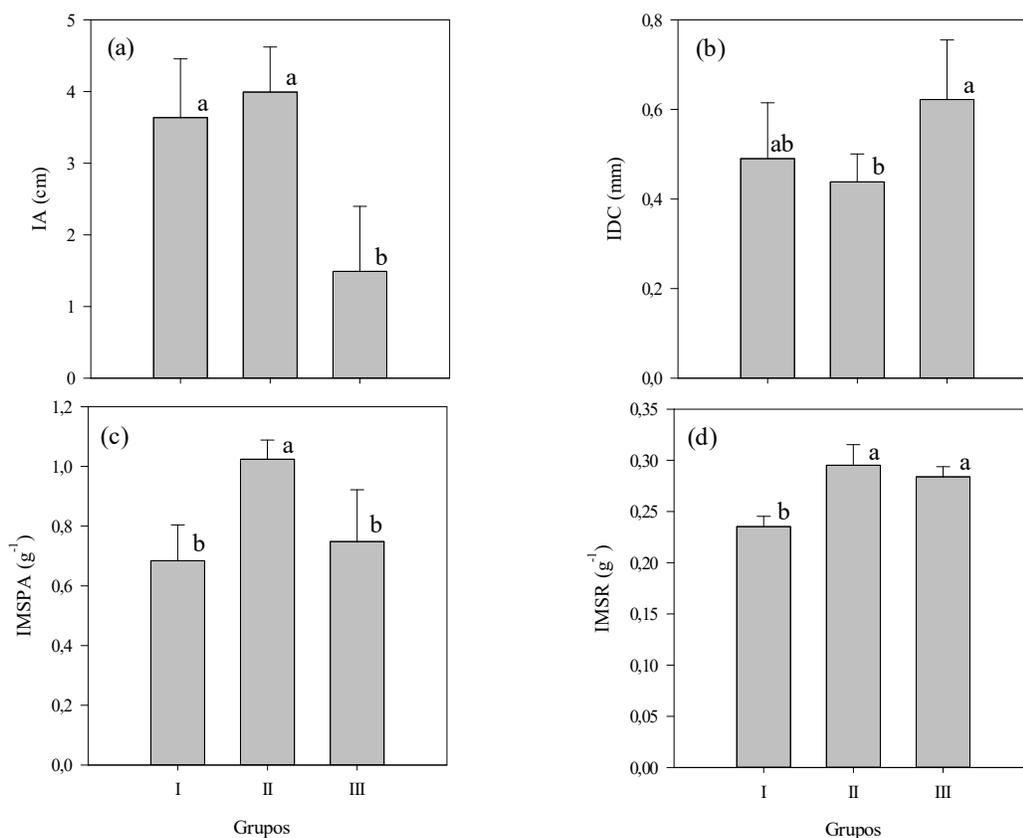


Figura 3. IA: incremento em altura (a); IDC: incremento em diâmetro do coleto (b); IMSPA: incremento de massa seca da parte aérea (c); IMSR: incremento da massa seca da raiz (d); em mudas do clone de eucalipto avaliadas no viveiro.

Estímulos mecânicos (flexões caulinares) podem ser responsáveis por desencadear uma série de respostas em mudas de espécies lenhosas. Dentre elas, menor incremento em altura e maior incremento em diâmetro de coleto têm sido alterações comumente relatadas para diversas espécies lenhosas após submissão à ação mecânica, devido à redução do alongamento celular (KERN et al., 2005; DRANSKI, 2013; VOLKWEIS et al., 2014; DRANSKI et al., 2015; CADORIN et al., 2015). Tais alterações podem estar relacionadas ao fato desses estímulos causarem perturbações mecânicas (estresse) e, por sua vez, abrandarem o crescimento primário e estimularem o crescimento secundário das plantas (MOREL et al., 2012).

Trabalhando com mudas de *C. trichotoma*, Cadorin et al. (2015) verificaram menor incremento na altura das mudas submetidas a flexões caulinares (76% inferior), enquanto que mudas pulverizadas com metil jasmonato (metil ester do ácido jasmônico) a redução foi em média de 42% em relação ao tratamento controle. Ainda de acordo com os autores acima citados, a aplicação de flexões caulinares e metil jasmonato elevou em média 102% a taxa de crescimento em diâmetro do coleto, quando comparado ao tratamento controle. Dranski et al. (2015) trabalhando com mudas de *Pinus taeda* L. verificaram incrementos no diâmetro do caule em mudas sob frequências de 10 a 40 flexões caulinares, resultando em um aumento médio de 28%.

Resultados que em parte corroboram com o deste estudo foram encontrados por Kern et al. (2005) que após submeterem sete híbridos de *Populus trichocarpa* (Torr.; A. Gray) e *Populus deltoides* (Bartr. ex Marsh) a vinte flexões caulinares diárias por oitenta dias encontraram redução na altura, na biomassa aérea e aumento no diâmetro de coleto para todos os híbridos em comparação com a testemunha. As alterações resultantes no incremento em altura e diâmetro de coleto, oriundas tanto da aplicação de flexões caulinares como de metil jasmonato parecem estar relacionadas com a síntese de etileno, ao passo que Biro e Jaffe (1984) afirmaram que perturbações mecânicas, tanto na forma de atrito como de ferimento induzem a síntese de etileno em entrenós de *Phaseolus vulgaris* (L. cv. Cherokee Wax).

Mudas que compõem o grupo II apresentaram o maior incremento em IMSPA (Figura 3c). Já com a variável IMSR, os grupos II e III não diferiram entre si, porém, ambos obtiveram maior incremento em relação ao grupo I (Figura 3d). Estes resultados acima descritos se devem ao fato de que a maior dose do ácido jasmônico tenha contribuído para desenvolvimento da parte aérea e não tenha afetado o desenvolvimento radicular das mudas do clone de eucalipto. Segundo Creelman e Mullet, (1997), as maiores concentrações de jasmonatos estão presentes em tecidos jovens e em crescimento, demonstrando a importância do mesmo como estimulador do desenvolvimento vegetal.

A taxa de incremento do NF foi menor no grupo III em relação aos demais grupos. Essa constatação demonstra que as mudas do clone 1528 submetidas a flexões caulinares externaram decréscimo no número de folhas em relação aos demais grupos (Figura 4a). Provavelmente o estresse proporcionado pelas flexões caulinares fez com o que as mudas perdessem folhas e por consequência, diminuição da área foliar, afetando assim, a área fotossintética da muda, fato esse que pode ter contribuído para desempenho inferior após os noventa dias do plantio a campo das mudas submetidas às flexões caulinares no viveiro.

O maior valor do índice relativo de clorofila SPAD (Figura 4b), foi mensurado em folhas de mudas do grupo III. Segundo Taiz e Zeiger (2013), tecidos vegetais submetidos a qualquer situação de estresse podem apresentar aumento na atividade da peroxidase desencadeando processos fisiológicos que culminam na proteção celular contra reações oxidativas, na lignificação da parede celular, na oxidação de compostos fenólicos, na biossíntese de etileno, e na manutenção da integridade das membranas. Portanto, tais resultados deste estudo sugerem que as flexões caulinares provocaram estresse, o que provavelmente contribuiu para um menor crescimento em altura e menor número de folhas e por consequência houve uma maior concentração do teor de clorofila nas folhas.

O PRR foi maior nas mudas pertencentes ao grupo III em relação ao grupo I, que por sua vez não diferiu ($P < 0,05$) do grupo II (Figura 4c). Tais resultados sugerem que mudas submetidas às flexões caulinares tiveram a produção de novas raízes estimuladas. O teste de potencial de regeneração de raízes é considerado por muitos pesquisadores como preditivo do desempenho da muda a campo, e tem sido um bom indicador de qualidade de mudas, uma vez que seu resultado é a expressão de vários parâmetros fisiológicos, que culminam na habilidade de uma muda iniciar e alongar novas raízes em um dado período de tempo e condição ambiental tida como ótima ao crescimento (DAVIS; JACOBS, 2005; LANDIS et al., 2010). Desta forma, a capacidade de crescimento de novas raízes é determinante para que ocorra a conexão entre o sistema radicular da muda com o solo do local de plantio (GROSSNICKLE, 2012).

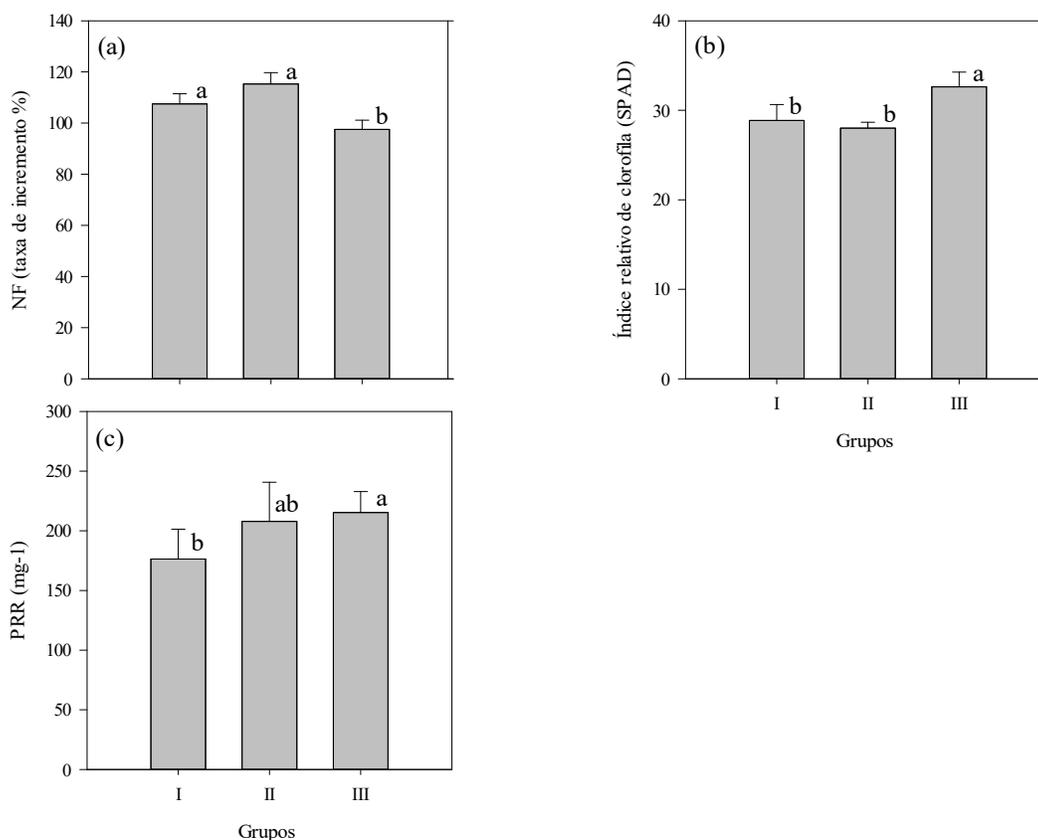


Figura 4. NF: número de folhas (a); SPAD: índice relativo de clorofila (b); PRR: potencial de regeneração das raízes (c); em mudas do clone de eucalipto avaliadas no viveiro.

Vários trabalhos publicados têm indicado que o metil ester do ácido jasmônico induz a produção de etileno em diversos órgãos das plantas (FAN et al., 1998). Hudgins e Franceschi (2004) aplicaram diferentes concentrações de metil jasmonato no segundo nó de mudas de *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco var. *menziesii* e encontraram indução de produção de etileno nos entrenós acima e abaixo do nó tratado. O etileno, por sua vez, pode provocar redução de crescimento de plantas por promover, além da redução no transporte de auxinas, a reorganização de microtúbulos e microfibrilas de celulose da parede celular para uma posição longitudinal, resultando em redução de altura e espessamento do caule (KERBAUY, 2012). Porém, tais resultados foram diferentes do encontrado neste estudo, onde a maior dose aplicada do ácido jasmônico (grupo II) proporcionou maior IMSPA (Figura 3c). Em contraponto, estímulos mecânicos, através de flexões caulinares proporcionaram mudas com menor crescimento da parte aérea, porém, com maior IDC.

Portanto, ao final da fase de viveiro pode-se dizer que a aplicação das flexões caulinares (grupo III) possibilitou obter mudas com maior rusticidade em relação ao diâmetro

do coleto, ao IMSR, ao SPAD e ao PRR, porém, tendo o crescimento aéreo afetado em relação aos grupos I e II. Estes fatos sugerem que a utilização do ácido jasmônico não substitui a utilização das flexões caulinares em mudas do clone 1528 de eucalipto, visto que as respostas morfométricas não se assemelharam.

Em relação ao desempenho das mudas a campo após noventa dias do plantio, o grupo I apresentou maior IA em relação ao grupo III, porém ambos não diferiram ($P < 0,05$) do grupo II (Figura 5a). Já para o IDC, os grupos I e II obtiveram maior ganho no campo em relação ao grupo III. (Figura 5b). Para a relação altura e diâmetro (H/D), não houve diferença significativa entre os grupos avaliados (Tabela 1).

Os resultados observados em mudas submetidas à aplicação dos estímulos mecânicos sustentam a hipótese de a redução do crescimento aéreo estar associada à redução da fotossíntese, seja pelo estímulo a abscisão foliar ou pela redução em tamanho e número de folhas, conforme também descrito por Dranski (2013).

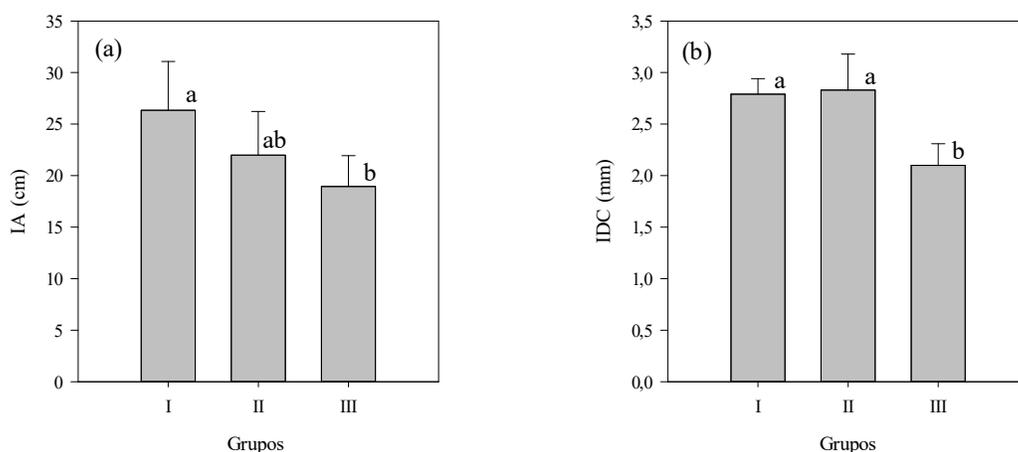


Figura 5. IA: incremento em altura (a); IDC: incremento em diâmetro do coleto (b); em mudas do clone de eucalipto avaliadas no campo após noventa dias do plantio.

Ao se verificar o desempenho das mudas a campo após os noventa dias do plantio, nota-se que as mudas submetidas às flexões caulinares (grupo III) externaram desempenho menor em relação aos grupos I e II, demonstrando que para as condições estudadas, as mudas submetidas às flexões caulinares apresentaram menor taxa de crescimento a campo em relação às mudas que foram submetidas à aplicação de diferentes doses de ácido jasmônico, bem como para com a testemunha.

Tais resultados podem estar ligados aos dois fatores que mais contribuíram para a classificação dos grupos, sendo ela o IA e NF com 38,1 e 19% respectivamente, visto que, ainda no viveiro, mudas do grupo III apresentaram menor IA e NF.

Os resultados a campo foram inesperados, pois diferem do exposto na literatura por vários autores (KERN et al., 2005; DRANSKI, 2013; VOLKWEIS et al., 2014; DRANSKI et al., 2015; CADORIN et al., 2015), visto que mudas do grupo III apresentaram maior IDC em relação ao grupo II e maior PRR em relação ao grupo I e não obtiveram maior IA e IDC a campo. Portanto, de acordo com esse estudo, não é possível afirmar que mudas do clone 1528 de eucalipto que externaram maior IDC, PRR e SPAD durante a rustificação no viveiro são suficientes para que apresentem maior IA e IDC a campo após noventa dias do plantio. Ao passo que, a redução em altura, crescimento de novas raízes e incremento em diâmetro envolvido durante o desenvolvimento das mudas no viveiro não se aplicam em maior qualidade a campo para esta espécie. É importante relatar que durante os noventa dias após o plantio, não se verificou mudas com sintomas de mortalidade aparente (mudas totalmente secas).

3.6 CONCLUSÕES

Neste trabalho fica evidente que parâmetros como incremento em diâmetro do coleto, potencial de regeneração da raiz e índice relativo de clorofila quantificado durante a rustificação de mudas de eucalipto não implicaram necessariamente em mudas com maior desempenho a campo após o plantio, conforme indica a literatura especializada. Portanto, para as condições estudadas, as mudas submetidas a estímulo mecânico através de flexões caulinares (grupo III) não externaram maior qualidade.

Mudas de eucalipto que apresentaram maior incremento em altura e número de folhas após a rustificação (grupo I e II) obtiveram maior incremento em altura e diâmetro do coleto após o plantio campo. Indicando que, mudas com maior área fotossintética são capazes de obterem maiores desempenho a campo após o plantio.

Vale ressaltar que os resultados deste trabalho sugerem que estímulos mecânicos através de flexões caulinares e estímulo químico através do ácido jasmônico aplicados nas plantas não se assemelham, portanto, o uso de um estímulo não substitui o outro nas condições estudadas.

3.7 REFERÊNCIAS

ADDINSOFT, S. A. R. L. **XLSTAT software**, version 9.0. Paris, 2009.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. DOS; MANZATTO, C. V.; BOGNOLA, I.; FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P. DE.; POTTER, O.; CURCIO, G. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: escala 1:250.000: legenda. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

BIRO, R.; JAFFE, M.J. Thigmomorphogenesis: ethylene evolution and its role in the changes observed in mechanically perturbed bean plants. **Physiologia Plantarum**, v. 62, n. 2, p. 289-296, 1984.

BRAAM, J. In touch: respostas das plantas aos estímulos mecânicos. **New Phytologist**, v.165, p.373-389, 2005.

CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. M.; COUTINHO, P. W. R.; DRANSKI, J. A. L. MALAVASI, M. M. Metil jasmonato e flexões caulinares na rustificação e crescimento inicial de mudas de *Cordia trichotoma*. **CERNE**. v. 21, n. 4, p. 657-664, 2015.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptuurophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 61-76. 2001.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CREELMAN RA; MULLET JE. 1997. Biosynthesis and action of jasmonate in plants. **Annual Review of Plant and Molecular Biology**, n. 48, p. 355-381.

DAVIS, A.S.; JACOBS, D.F. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to out planting performance. **New Forests**, v.30, n.2-3, p.295-311, 2005.

DRANSKI, J.A.L.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M.; JACOBS, D.F. Effect of ethephon on hardening of *Pachystroma longifolium* seedlings. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 401-407, 2013.

DRANSKI, J.A.L.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M.; Relationship between lignin content and quality of *Pinus taeda* seedlings. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 905-913, 2015.

DRANSKI, J. L. **Tigmomorfogênese na rustificação e sobrevivência em mudas de *Pinus taeda* L.** 2013. 107p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2013.

FAN, X; MATHEIS, J. P; FELLMAN, J.K. A role for jasmonates in climacteric fruit ripening. **Planta**, v. 204, p. 444–449, 1998.

FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, n.26, p.515-523, 2002.

FRANK, S.; ROSS, S. **Plant Physiology**, 4 ed. California: Wadsworth, 1991.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.655-664, 2002.

GONÇALVES, K. S.; SOUSA, A.P.; VELINI, E.D.S. 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.

GROSSNICKLE, S.C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 43, n. 5-6, p. 711-738, 2012.

HUDGINS, J.W.; FRANCESCHI, R.V. Methyl jasmonate-induced ethylene production is responsible for conifer phloem defense responses and reprogramming of stem cambial zone for traumatic resin duct formation. **Plant Physiology**, v. 135, p. 2134-2149, 2004.

JACOBS, D.F.; LANDIS, T.D. Hardening. In: DUMROESE, R.K.; LUNA, T.; LANDIS, T.D. (Eds.). **Nursery manual for native plants: Guide for tribal nurseries**. v.1. Washington: United States Department of Agriculture, Forest Service, 2009. p. 217-228.

JAFFE, M. J. Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation with special reference to *Bryonia dioica*. **Planta**, v.114, n.2, p.143-156, 1973.

LANDIS, T.D.; DUMROESE, R.K.; HAASE, D.L. **The container tree nursery manual: seedling processing, storage, and out planting**. v. 7. Washington: Department of Agriculture Forest Service, 2010.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

KERN, A.K.; WERS, W.F.; TELEWSKI, W.F.; KOEHLER, L. Mechanical perturbation affects conductivity, mechanical properties and aboveground biomass of hybrid poplars. **Tree Physiology**, v. 25, n. 10, p. 1243-1251, 2005.

MAZZUCHELLI, E.H.L.; SOUZA, G.M.; PACHECO, A.C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de ácido salicílico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia,GO, v. 44, n. 4, p.443-450, out/dez 2014.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359-363, 1977.

MOREL, P., CRESPEL, L., GALOPINC, G., MOULIAD, B. Effect of mechanical stimulation on the growth and branching of garden rose. **Scientia Horticulturae**, v. 135, p. 59-64, 2012.

ORO, P.; VOLKWEIS, R.C.; NEIVERTH W.; DRANSKI, J.A.L.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Aplicação de regulador vegetal na aclimação de mudas de *Cariniana estrellensis*. **Cultivando o Saber**, v. 5, n.4, p. 103-112, 2011.

PANDOLFI, F. **Avaliação de parâmetros de rusticidade de mudas clonais de eucalipto e suas influências no crescimento inicial do povoamento**. 2009. 134p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, ALEGRE, 2009.

PORTAL FLORESTAL. **Clone – AEC 1528 – Super Clone**. <<http://www.portalflorestal.com.br/portfolio/mudas-de-eucalipto-clonado-a-venda-clone-aec-1528-super-clone/>>. Acesso em: 08/11/2016.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; MELO, A. L. P. **Guia prático para utilização do SAEG**. Viçosa: Folha, 2008. 288p.

SAEG **Sistema para Análises Estatísticas**, v. 9.1: Viçosa: Fundação Arthur Bernardes – UFV, 2007.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBREERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

VOLKWEIS, R.C.; DRANSKI, J.A.L.; ORO, P.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Efeito da tigmomorfogênese na morfometria de mudas de *Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch. **Ciência Florestal**, v. 24, n.2, p. 339- 342, 2014.

4 CAPÍTULO 2: RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS EM MUDAS DE EUCALIPTO SUBMETIDAS A ESTÍMULO QUÍMICO E MECÂNICO

4.1 RESUMO

Este trabalho objetivou investigar as respostas fotossintéticas em mudas de híbrido 1528 de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* submetidas à aplicação de ácido jasmônico (JA) e flexões caulinares. O experimento na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, localizada no município de Marechal Cândido Rondon-PR., foi conduzido em ambiente protegido, utilizando delineamento inteiramente ao acaso com cinco repetições de vinte mudas, com os seguintes tratamentos: T1: testemunha, T2: 8,0 μmol de JA e T3: quarenta flexões. Foram mensuradas a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), taxa de transpiração da folha (E), eficiência do uso de água (WUE), eficiência intrínseca do uso de água ($iWUE$) e eficiência de carboxilação (F_c). As trocas gasosas foram realizadas com o auxílio do equipamento IRGA. A dose de JA aplicada nas mudas foi insuficiente para alterar as respostas fotossintéticas em relação ao tratamento controle. Estímulos mecânicos induzidos através de flexões caulinares em mudas do híbrido 1528 de eucalipto promoveram incremento da capacidade fotossintética máxima e máxima assimilação de CO_2 . Porém, as mudas apresentaram redução na eficiência do uso da água, ou seja, menor eficiência fotossintética quando comparado com as mudas submetidas aos demais tratamentos. Mudas do híbrido 1528 de eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetidas a estímulos mecânico e ácido jasmônico apresentam maior respiração sob níveis baixos de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

Palavras-Chave: Ácido jasmônico. Flexões caulinares. Qualidade de mudas. Clone 1528.

4.2 ABSTRACT:

This work aimed to investigate the *photosynthetic responses of Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* hybrids 1528 submitted to the application of jasmonic acid (JA) and caulin flexures. The experiment at the Universidade Estadual do Oeste do Paraná, located in the municipality of Marechal Cândido Rondon, PR, conducted in a protected environment, using a completely randomized design with five replicates of 20 seedlings, with the following treatments: T1: control, T2: 0 μmol of JA and T3: 40 flexions. The net assimilation rate of

CO₂ (A), stomatal conductance (gs), internal CO₂ concentration (Ci), leaf transpiration rate (E), water use efficiency (WUE), intrinsic efficiency of use of Water (iWUE) and carboxylation efficiency (Fc). The gas exchanges were performed with the aid of IRGA equipment. The dose of JA applied in the seedlings went insufficient to alter the photosynthetic responses in relation to the control treatment. Mechanical stimuli induced by caulin flexures in eucalyptus hybrid 1528 seedlings promoted an increase in the maximum photosynthetic capacity and maximum assimilation of CO₂, but the seedlings presented a reduction in the efficiency of the water use, that is, lower photosynthetic efficiency when compared to the seedlings submitted to other treatments. Seedlings of eucalyptus hybrid 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) submitted to mechanical stimuli and jasmonic acid show greater respiration under low flow levels of photosynthetically active photons.

4.3 INTRODUÇÃO

Dentre as espécies lenhosas florestais, as do gênero *Eucalyptus* destacam-se devido às características de crescimento rápido, capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais e alta produtividade (MORA; GARCIA, 2000; GONÇALVES et al., 2015). No Brasil, a utilização do gênero é principalmente no uso para reflorestamento e o seu cultivo comercial corresponde por grande parte do sucesso da atividade, sobretudo nos setores ligados a produção de papel, celulose e madeira.

Considerando a área total plantada com eucalipto no Brasil, aproximadamente 50% é ocupada por híbridos (BRACELPA, 2008). A hibridação interespecífica tornou-se uma forma rápida e eficiente de obtenção de ganhos genéticos no melhoramento de espécies de *Eucalyptus*, com reflexos diretos e significativos na indústria florestal. A busca de complementaridade nas características tecnológicas da madeira, a tolerância a estresses bióticos e abióticos, bem como a manifestação da heterose foram verificadas em vários cruzamentos híbridos, como por exemplo, no híbrido interespecífico *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, denominado “urograndis” (ASSIS; MAFIA, 2007).

O clone de eucalipto Cl 1528, conhecido como “superclone”, de acordo com o Portal Florestal (2016) apresenta base genética *E. urophylla* x *E. grandis*, com incremento médio anual (IMA) de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, densidade básica da madeira de 531 kg m⁻³, teor de lignina total de 29,24%, teor de holocelulose de 68,14%, rendimento gravimétrico de 50,41% e resistência mecânica de 80,82%. O clone objetiva plantas com um bom crescimento, características do *E. grandis*, assim como um aumento na densidade da madeira e melhorias

no rendimento e propriedades físicas da celulose, características do *E. urophylla* (CARVALHO; NAHUZ, 2001).

O ambiente natural em que as plantas se desenvolvem é composto por um conjunto complexo de estresses bióticos e abióticos, os quais resultam de condições ambientais que reduzem o crescimento, e por consequência, produtividade abaixo dos níveis ideais, sendo que as respostas das plantas a esses estresses são dinâmicas e complexas (CRAMER, 2010; SKIRYCZ; INZE, 2010). Além disso, dificuldades no estabelecimento de padrões e de recomendações para a obtenção de mudas de qualidade acarretam mortalidade pós-plantio. Dessa forma, a produção de mudas resistentes, capacitadas a sobreviver e tolerar as adversidades pós-plantio é uma das possíveis alternativas para minimizar as perdas.

Vários autores indicam que algumas práticas, tais como a submissão de mudas a estímulos mecânicos e a reguladores vegetais podem estar relacionadas com melhorias na qualidade das mudas de espécies lenhosas (JACOBS; LANDIS, 2009; ORO et al., 2011; VOLKWEIS et al., 2014; CADORIN et al., 2015; DRANSKI, et al., 2015;). Assim, tais práticas poderiam ser incluídas na rotina dos viveiros, favorecendo o desenvolvimento pós-plantio das mudas.

As plantas apresentam defesas integradas ou induzidas, que se manifestam em resposta aos estresses bióticos e abióticos, as quais abrangem alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. No caso de estresse por perturbações mecânicas e hormonais as alterações morfológicas mais comuns são a redução da área foliar, o fechamento estomático e o crescimento do sistema radicular mediado por ácido abscísico (LOPEZ et al., 2008; TAIZ; ZEIGER, 2013). As alterações fisiológicas e bioquímicas estão relacionadas com o genótipo da planta, mas geralmente respostas aos estresses tem inferido em menor potencial hídrico nas folhas (LIBERATO et al., 2006), redução da eficiência quântica do fotossistema II (SILVA et al., 2007) e do teor relativo de água da folha (SILVA et al., 2007; LOBATO et al., 2008), decréscimos na condutância estomática e na taxa fotossintética (POLIZEL et al., 2011), além de ajustamento osmótico, com acréscimos na síntese de açúcares e prolina (MCCORMICK et al., 2008; CAMPOS et al., 2011).

Estímulos mecânicos têm sido aplicados para descrever respostas mecanicamente induzidas em vegetais através do uso de flexões caulinares em vegetais (JAFFE, 1973). Apesar de serem diversas às respostas fisiológicas entre as espécies a estes estímulos, reações correntes a uma expressiva quantidade de espécies lenhosas têm sido relatadas. Entre elas estão a redução do alongamento celular, com consequente redução na altura das mudas e o aumento no diâmetro de coleto, atributos que têm servido como indicadores da qualidade de

mudas (KERN et al., 2005; VOLKWEIS et al., 2014; CADORIN et al., 2015; DRANSKI et al., 2015).

Porém, estímulos mecânicos usualmente empregados na rustificação de mudas florestais têm sido de difícil operacionalização nos viveiros, o que justifica a procura por outros métodos que possa substituí-los, dentre eles, a utilização de reguladores vegetais. Existem compostos orgânicos sintetizados pelas plantas que têm sua concentração elevada em resposta aos estresses. Estes compostos agem como indutores de resistência, e alguns são classificados como hormônios vegetais. As plantas produzem uma grande variedade de hormônios vegetais entre os quais se incluem as auxinas, giberelinas, ácido abscísico, citocininas e etileno (GONÇALVES et al., 2015).

Recentemente, outros compostos que podem afetar o crescimento e o desenvolvimento vegetal têm sido descritos, dentre eles o ácido jasmônico (JA). O JA e seus derivados jasmonatos são reguladores endógenos do crescimento vegetal sintetizados do ácido linolênico, que ocorrem em várias espécies vegetais (FRANK, 1991; KERBAUY, 2012). A aplicação exógena dos jasmonatos nas plantas produz efeitos muito variados, dentre eles a inibição do alongamento de raízes, a degradação da clorofila e o fechamento dos estômatos em condições de estresse (SANCHEZ, 2008).

Além disso, o JA está envolvido na regulação das respostas de defesa e sinalização das plantas frente a estresses abióticos (LORENZO; SOLANO, 2005; YASUDA et al., 2008). As vias de sinalização desses hormônios vegetais não são isoladas, mas interligadas por uma complexa rede que envolve várias respostas de defesa e processos de desenvolvimento (MARTÍN, 2009). De acordo Deuner et al. (2015), a indução ou a aplicação de ácido jasmônico proporciona resistência nas plantas em situações de estresse, resultando em melhor desenvolvimento e produção dessas culturas.

Embora a indução do estresse pela aplicação de estímulos mecânicos e químicos possua a possibilidade de representar uma vantagem imediata, uma vez que podem estimular o sistema de defesa da planta, Kerbauy (2012) indicou que situações de estresse também podem afetar diretamente a assimilação de CO₂ e conseqüentemente a taxa fotossintética líquida. Uma influência direta que o estresse pode causar na fotossíntese das plantas é através do impacto sobre a abertura estomática (MARENCO; LOPES, 2009).

O estresse também pode afetar a fotossíntese através de grande número de outros mecanismos: por afetar o nível dos metabólicos intermediários, por inibir o sistema de transporte de elétrons fotossintéticos, e por alterar a taxa de respiração. Adicionalmente, perturbações mecânicas podem diminuir a temperatura foliar, pois reduzem a resistência da

camada limítrofe promovido pela pressão de vapor, facilitando a difusão de gases e vapor de água (CHAVARRIA; SANTOS, 2012). Por sua vez, a aplicação do JA pode acarretar um comprometimento da fotossíntese, reduzindo a expressão de genes, além de possuir potencial de causar degradação de clorofilas em folhas (SANCHEZ, 2008).

Saber o comportamento de defesa e proteção das plantas é um dos fatores essenciais para obter plantas mais resistentes a diferentes tipos de estresse, o que pode aumentar a produção e a qualidade das plantas (SOARES; MACHADO, 2007). Nessa perspectiva, são necessários estudos buscando compreender as respostas fisiológicas das plantas em função da indução de estresses promovidos pela aplicação de perturbações mecânicas e hormonais, no intuito de que seja possível compreender melhor o papel regulador destes indutores de defesa nos mecanismos de adaptação das plantas, bem como a possibilidade de estimar os reflexos dos manejos sobre o metabolismo das plantas.

A aplicação de estímulos mecânicos, bem como hormonais como agentes que favorecem a tolerância a estresses abióticos, podem ajudar a conhecer o papel regulador destes indutores de defesa nos mecanismos de adaptação das plantas. Neste sentido, este trabalho objetivou investigar as respostas fotossintéticas em mudas do híbrido 1528 de *E. urophylla* x *E. grandis* submetidas a aplicação de ácido jasmônico e flexões caulinares.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante os meses de maio a julho de 2016, em ambiente protegido, não climatizado, localizado nas coordenadas latitude 24°33'S e longitude de 54° 02'O e altitude média de 414 m. O clima da região, segundo Köppen, é caracterizado como tipo Cfa, subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo, sem estação seca definida. A precipitação pluviométrica anual é em torno de 1.600 a 1.800 mm (CAVIGLIONE et al., 2000).

Mudas do híbrido 1528 de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) foram propagadas via vegetativa por miniestacas, em tubetes de 50 cm³ preenchidos com substrato comercial (Plantmax®) a base de casca de pinus, adubadas com 300 g de fertilizante de liberação controlada (Basacote® Plus 6M) da formulação N₂-P₂O₅-K₂O (16-8-12). As mudas foram adquiridas do viveiro florestal Ouro Verde – Toledo-PR., com idade de 60 dias com altura média de 23,58 ± 1,16 cm e diâmetro do coleto médio de 2,70 ± 0,13 mm. Em

maio de 2016, as mudas foram colocadas em ambiente protegido e submetidas aos tratamentos de rustificação por aplicação de ácido jasmônico e de flexões caulinares.

O ambiente protegido constituiu-se de uma estrutura de ferro galvanizado com teto em forma de arco de 7 x 30 m e 3,5 m de pé direito. O teto é coberto com filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD) e anti-UV de 150 μ de espessura. As laterais foram fechadas com tela de 30 % de sombreamento de coloração branca.

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso com cinco repetições de vinte mudas cada, submetidas aos seguintes tratamentos por quatro semanas consecutivas: T1: testemunha com água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente; T2: 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido jasmônico + água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente; T3: quarenta flexões diárias + água deionizada e tensoativo não iônico aplicados semanalmente. O tensoativo não iônico utilizado foi o AGRAL[®], seguindo as orientações do fabricante.

A aplicação do estímulo químico foi realizada em intervalos de uma semana através de pulverizações foliares de ácido jasmônico na concentração de acordo com cada tratamento descrito acima, com volume total da solução equivalente a 7 mL por muda, ponto em que iniciou o escorrimento foliar. As soluções foram constituídas de ácido jasmônico, água deionizada e tensoativo não iônico, aplicadas com pulverizador costal manual, trabalhando a pressão de 0,3 MPa. O tensoativo foi utilizado por melhorar a distribuição e absorção foliar do produto aplicado, através da redução da tensão superficial das gotas, reduzindo o ângulo de contato destas com a superfície da folha.

As flexões caulinares compreenderam estímulos mecânicos efetuados diariamente através da passagem em duplo sentido de uma estrutura composta por barra de PVC com 25 mm de diâmetro disposta horizontalmente, e fixada em uma estrutura metálica com rolamentos. As mudas foram flexionadas verticalmente não mais do que 45° mediante a passagem da barra no terço inferior da folhagem, sempre no mesmo horário, a uma velocidade de 0,10 m seg^{-1} (VOLKWEIS et al., 2014).

Durante a aplicação dos tratamentos, as irrigações ocorreram diariamente, duas vezes ao dia, no início da manhã e final da tarde, por aspersão até a saturação do substrato, ou seja, escoamento pela abertura inferior do tubete.

Após duas semanas do término da aplicação dos tratamentos, curvas de resposta de trocas gasosas em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) foram construídas pela redução da DFFFA de 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ até 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, efetuadas em vinte e cinco mudas por tratamento. As leituras foram realizadas no período matutino,

entre 09h00min e 11h00min, com teor de CO₂ atmosférico fixado a 380 μmol m⁻² s⁻¹, em folhas localizadas no terço médio, sem lesões e completamente desenvolvidas. Determinou-se então, em função da DFFFA a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO₂ (C_i) taxa de transpiração da folha (E), além das seguintes relações: $WUE = A/E$, $iWUE = A/g_s$ e $F_c = A/C_i$ (ZHANG et al., 2001), em que WUE corresponde à eficiência do uso de água, $iWUE$ é a eficiência intrínseca do uso de água e F_c é a eficiência de carboxilação. As mensurações de trocas gasosas foram realizadas com o auxílio do equipamento IRGA (Infra Red Gas Analyser) modelo LI-6400XT (Licor Inc. Lincoln, Nebraska, USA).

As curvas de resposta de assimilação líquida de CO₂ em função da DFFFA foram ajustadas preferencialmente a equação: $A = A_{\text{máx}} [1 - e^{-k(Q-I_c)}]$, permitindo estimar a assimilação líquida máxima ($A_{\text{máx}}$) (PRADO; MORAES, 1997). Os dados de A , provenientes de DFFFA abaixo de 200 μmol m⁻² s⁻¹ foram utilizados para cálculo da eficiência quântica aparente (Φ), ajustando equação linear de 0 a 200 μmol m⁻² s⁻¹ DFFFA. Determinou-se também o ponto de compensação luminosa (Γ), verificado no ponto de intersecção da reta com o eixo X.

A análise dos dados consistiu na avaliação da normalidade da distribuição dos resíduos pelo teste de Lilliefors, e da homogeneidade da variância pelo teste de Cochran. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de regressão a 5% de probabilidade de erro. Utilizou-se para A em função da DFFFA, equação proposta por Prado e Moraes (1997), preferencialmente. As demais variáveis foram ajustadas por equações significativas, baseadas coeficiente de determinação mais elevado.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As flexões caulinares promoveram incremento da capacidade fotossintética máxima das mudas de eucalipto (Figura 1a), com a máxima assimilação de CO₂ (A_{max}) de 14,80 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹, ao passo que o tratamento controle e o que recebeu ácido jasmônico apresentaram A_{max} de 9,65 e 9,98 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹, respectivamente.

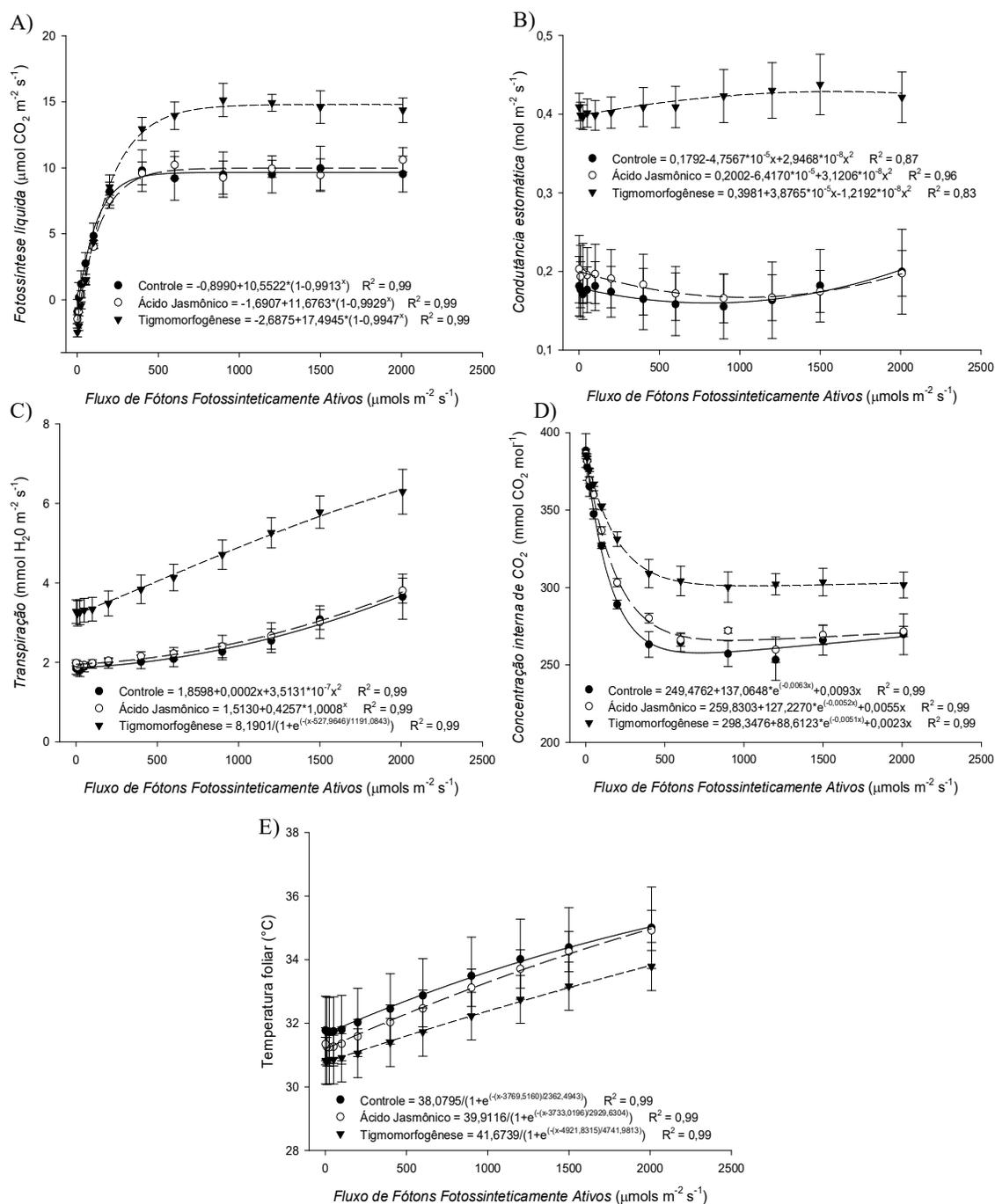


Figura 1. Taxa de assimilação líquida (A), condutância estomática (B), concentração interna de CO_2 (C), taxa de transpiração (D) e temperatura foliar (E) em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetidas pulverização de ácido jasmônico ($8,0 \mu\text{mol L}^{-1}$) e tigmomorfogênese (40 flexões caulinares) em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

Esta maior capacidade fotossintética promovida pela perturbação mecânica possibilitou controle por feedback da abertura estomática (Figura 1b), elevando em aproximadamente 50% a capacidade de trocas gasosas e água entre planta-ambiente em relação ao tratamento controle e o pulverizado com ácido jasmônico. Por consequência, o aporte de CO₂ na câmara subestomática para o tratamento com aplicação das flexões caulinares foi incrementado (Figura 1c). Porém, maior condutância estomática promove maior perda de água para a atmosfera do que difusão de CO₂. Logo, a transpiração apresentou valores elevados para mudas submetidas a flexões caulinares (Figura 1d), o que provocou maior arrefecimento foliar (Figura 1e).

Tal evento transpiratório relaciona-se a diferença da área foliar entre os tratamentos, visto que mudas perturbadas mecanicamente apresentaram menores valores de área foliar ($p < 0,05$) em relação ao tratamento controle e o que recebeu ácido jasmônico, que por sua vez, não diferiram entre si. A redução da área foliar em mudas que receberam flexões caulinares em relação ao controle, e as que receberam ácido jasmônico foi de 14,68% e 21,55% respectivamente, o que corrobora com tais resultados, uma vez que plantas com menor área foliar e status hídrico adequado do substrato (condição presente durante este estudo) tendem a aumentar a condutância estomática, e conseqüentemente, favorecendo maior transpiração das mudas por área de tecido foliar. Dessa forma, esta seqüência de eventos favorece a difusão de CO₂ para os espaços intercelulares do mesófilo foliar, em contrapartida ao custo de perda de água na forma de vapor, conforme observado no presente estudo.

Koo et al. (2009) observaram em folhas de *Arabidopsis*, em que foram provocados danos com auxílio de um hemostato, a indução de danos levou a uma diminuição acentuadamente da expressão de genes de resposta do JA durante um período em que os níveis de JA permanecem elevados. Esta observação sugere que as folhas danificadas se tornam dessensibilizadas ao sinal do JA-Ile (Jasmonoyl-L-isoleucine). Porém, diversos autores relataram que respostas de JA dependem tipicamente de alterações em larga escala na expressão de genes, verificando que em células não estressadas com níveis baixos de JA as expressões de genes responsivos ao JA são reprimidas por proteínas JAZMONATE ZIM (JAZ) (CHINI et al., 2007; THINES et al., 2007; YAN et al., 2007). Portanto, ao se levar em conta que células vegetais usam mecanismos adicionais para atenuar as respostas ao estresse, possivelmente a dose aplicada do JA neste trabalho não tenha sido suficiente para que o vegetal apresentasse expressões responsivas de genes em relação ao tratamento controle. Para Chung e Howe (2009), repressores do JA que são estabilizados contra a degradação induzida por hormônios podem estar envolvidos nesta forma de controle de feedback negativo.

Resultados diferentes deste trabalho em função da aplicação do derivado de JA foram encontrados por Heijari et al. (2005), que investigando o potencial do MJ em induzir reações de defesa em plântulas de *Pinus sylvestris* L. com dois anos de idade, verificaram que a maior dose aplicada (100 mmol L⁻¹) reduziu (P = 0.027) a fotossíntese líquida em relação plântulas controle, porém não observaram efeito na condutância estomática entre os tratamentos. Já Suhita et al. (2003), observaram que a abertura estomática em plantas de *Nicotiana glauca* Graham foi suprimida pela presença de MJ.

Resultados divergentes ao deste trabalho foram relatados por Gonçalves et al. (2015) estudando mudas híbridas de eucalipto (*E. grandis* vs. *E. urophylla*) sob estresse hídrico, que encontraram tendência de redução na transpiração do tratamento controle em relação ao ácido jasmônico e MJ, mostrando que a aplicação destes compostos possui influência na percepção e sinalização ao estresse hídrico, resultando em maior eficiência no fechamento estomático e na redução da taxa de transpiração. Enquanto que Pereira et al. (2006) avaliando os possíveis efeitos do estresse em mudas de *E. urograndis*, verificaram que ao comparar a transpiração com a resistência estomática, detectaram uma relação inversa de quanto menor a resistência estomática maior a transpiração. Assim, plantas que estão submetidas ao estresse possuem menor potencial de água na folha, fazendo com que haja maior resistência estomática e conseqüentemente menor transpiração.

Valores elevados de transpiração permitem maior arrefecimento da temperatura foliar reduzindo danos potenciais ao aparato fotossintético e perdas na efetividade fotossintética. (MILBURN, 1979; ENDRES et al. 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013). Resultados que corroboram com o deste foi reportado por Lima et al. (2014) que verificaram maior temperatura foliar em mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, provavelmente devido ao estresse ter induzido o fechamento estomático, evitando a perda de água por transpiração, resultando no aquecimento foliar. Também corroborando com resultados deste estudo, Endres et al. (2010) reportaram que a elevação da temperatura foliar em resposta ao estresse pode ser explicada pela redução na perda de calor latente através da transpiração que, normalmente, reduz nessas condições. Nesta mesma variável (temperatura foliar), o ácido jasmônico proporcionou inicialmente uma tendência de valores reduzidos em relação ao controle quando sob exposição a menores taxas luminosas, e aproximando-se ao observado no tratamento controle com o incremento da DFFFA. Esta tendência pode indicar dificuldades do aparato fotossintético na conversão da energia luminosa em ATP sob efeito do ácido jasmônico, visto que parte da energia não aproveitada é perdida em forma de calor (ENDRES et al. 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Com relação à eficiência fotossintética, as flexões caulinares, apesar de externarem valores elevados de assimilação líquida de CO₂, reduziram em 31,85% a eficiência do uso da água, quando comparado aos demais tratamentos (Figura 2a). Ou seja, mudas perturbadas mecanicamente assimilam menos moléculas de CO₂ por molécula de água transpirada quando comparado ao tratamento controle e ao tratamento com ácido jasmônico (Figura 2b). Conseqüentemente, devido a menor eficiência no uso de água, foi necessário que as mudas de eucalipto que receberam flexões caulinares abrissem mais seus estômatos para assimilar a mesma quantidade de CO₂ que os demais tratamentos.

Sob adequada disponibilidade hídrica, mudas flexionadas mecanicamente realizaram maior sequestro de carbono. No entanto, em situações de menor disponibilidade hídrica os tratamentos de ácido jasmônico e controle poderiam contribuir no melhor aproveitamento da água utilizada, protegendo quanto à perda da mesma através do controle da abertura estomática.

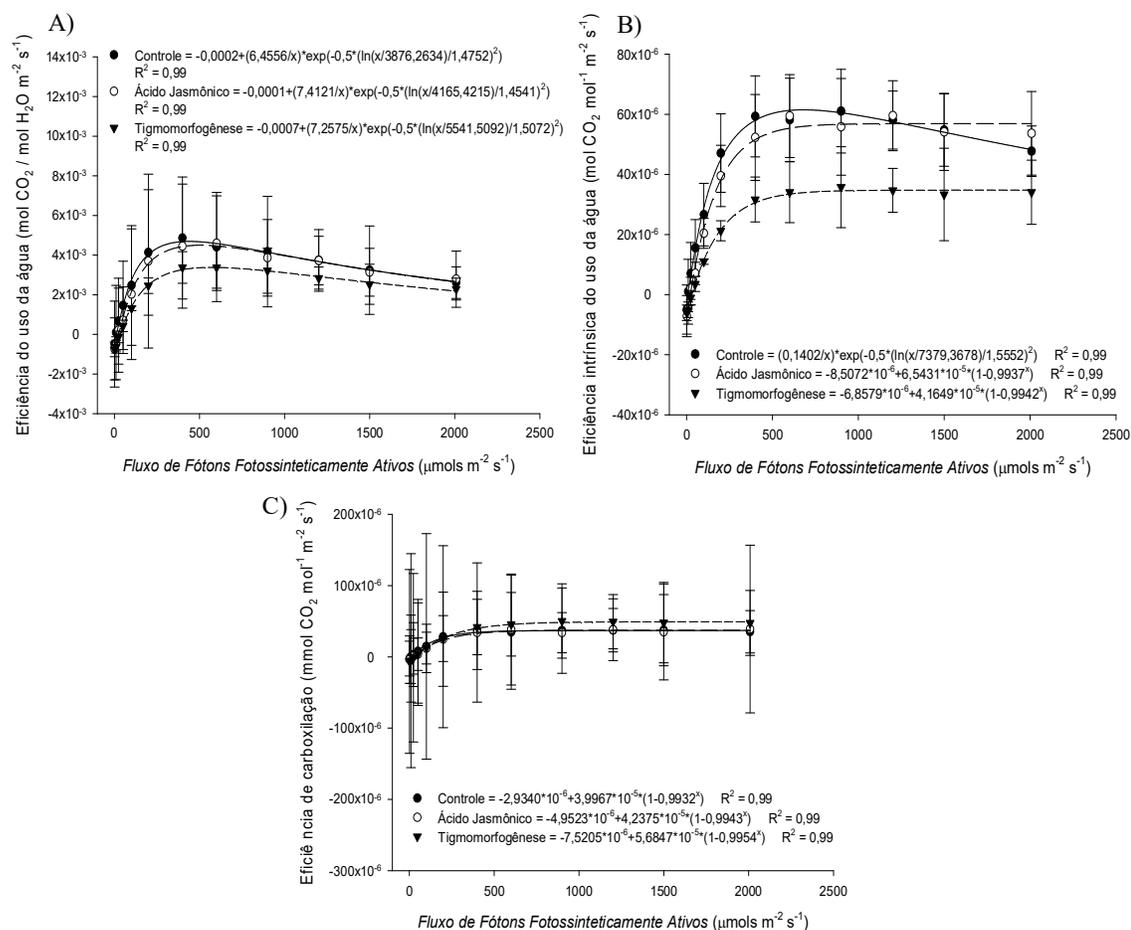


Figura 2. Eficiência do uso da água (A/E) (A), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) (B) e eficiência de carboxilação (A/C_i) (C) de mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetidas pulverização de ácido jasmônico e tigmomorfogênese (40 flexões caulinares) em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

A eficiência de carboxilação em mudas submetidas a flexões caulinares externaram maiores valores quando comparadas aos tratamentos com ácido jasmônico e ao controle (Figura 2c), indicando que apesar da maior disponibilidade de CO₂ na câmara subestomática (Ci) (Figura 1C), também houve incremento no aproveitamento pelo ciclo de Calvin em relação aos outros tratamentos, colaborando na superioridade fotossintética.

Tal fato pode ser explicado em função do efeito da concentração de nitrogênio nas folhas, visto que em unidades SPAD, mudas perturbadas mecanicamente possuíram maiores valores estatisticamente significativos ($p < 0,05$). As unidades de SPAD foram de 28,82; 28,00; e 32,52 para os tratamentos controle, ácido jasmônico e flexões caulinares, respectivamente. Torna-se importante frisar que de 30 a 50% do nitrogênio do vegetal é para a síntese de rubisco (SINCLAIR; HORIE, 1989; MARSCHNER, 2011). Logo mudas submetidas ao estresse mecanicamente induzido pelas flexões caulinares apresentaram maior teor desta enzima por unidade de área, além de apresentarem menor taxa de fotorrespiração, pois possuem maiores valores de Ci. Outro fator que merece ser comentado é a condutância estomática maior, visto que possibilita maior taxa de difusão de CO₂, com maior perda de água.

Resultado que corrobora com o encontrado neste estudo foi observado por Attaran et al. (2014), que ao analisar o efeito do jasmonato (JA) sobre a eficiência fotossintética em folhas de *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. não observaram uma diminuição da fotossíntese induzida pelo hormônio, demonstrando que o mesmo não induziu imediatamente o fechamento estomático em relação ao tratamento controle.

Com base no fato de que altas concentrações de CO₂ podem superar as limitações estomáticas na fotossíntese, Attaran et al. (2014) testaram a exposição de plantas tratadas com o regulador vegetal (JA) a níveis elevados de CO₂ e verificaram a indução da diminuição da FII no início da manhã a CO₂ ambiente, mas após a suplementação de plantas com CO₂ elevado durante um período de duas horas (começando 1 h antes do amanhecer), este efeito na FII foi aliviado. Tais resultados permitem explicar as respostas encontradas neste trabalho, uma vez que mudas sobre estresse mecânico externaram menor quantidade de área fotossinteticamente ativa, porém, maior unidade SPAD em relação ao controle e ao tratamento pulverizado com ácido jasmônico, proporcionando assim maior taxa fotossintética como forma de compensação a menor área foliar, e conseqüentemente, maior aporte de CO₂ na câmara subestomática (Ci) devido a maior unidade SPAD. Por outro lado, mudas do tratamento controle e submetidas à pulverização com JA apresentaram menor taxa

fotossintética, porém, maior eficiência do uso da água, quando comparado às mudas submetidas às flexões caulinares.

Resultado diferente foi encontrado por Hristova e Popova (2002), que estudando mudas de cevada (*Hordeum vulgare* L.) pulverizadas com MJ observaram declínio no teor de clorofila, na fotossíntese líquida e na taxa de transpiração das folhas em relação ao tratamento controle.

Resultado encontrado neste trabalho sugere ser diferente dos encontrados por Ballaré (2009) e Meldau et al. (2012), onde ambos indicam que a sinalização do JA pelo vegetal efetivamente desacopla no aumento da fotossíntese e para isso se atrelam na visão de que o JA atua como um sinalizador para reorientar a capacidade biossintética do metabolismo de defesa das plantas. Estudos recentes de dinâmica do fluxo de nitrogênio em resposta aos estresses induzidos por insetos herbívoros apoiam esta ideia (ULLMANN-ZEUNERT et al., 2013). Outros estudos mostraram como a simulação de herbivoria pode redirecionar a alocação de carbono das folhas às raízes (SCHWACHTJE et al., 2006; FERRIERI et al., 2013). O fato da partição de carbono translocar para tecidos subterrâneos pode representar uma estratégia da planta para proteger o consumo de energia e tolerar melhor o estresse abiótico (SCHWACHTJE et al., 2006). Talvez a quantidade de JA a qual as plantas tenham sido submetidas neste trabalho não tenha sido suficiente para externarem reações fotossintéticas diferentes ao tratamento controle, ou até mesmo, tal ausência de diferença no comportamento esteja relacionada ao fator genético do híbrido.

Utilizando valores de DFFFA de $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ até $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, ajustou-se equações lineares (Figura 3), que indicaram a eficiência quântica aparente (Φ) promovida pelos tratamentos (Tabela 1). Em outras palavras, a relação inversa da constante da equação linear, representa a capacidade de utilização e aproveitamento de poder redutor e ATP no ciclo de Calvin (MACHADO et al., 2005), sendo necessário em média $17,95 \mu\text{mol fótons}^{-1}$ para fixação de $1 \mu\text{mol CO}_2$ para mudas submetidas a flexões caulinares, $22,32 \mu\text{mol fótons}^{-1} \mu\text{mol CO}_2^{-1}$ nas mudas submetidas ao ácido jasmônico e $22,72 \mu\text{mol fótons}^{-1} \mu\text{mol CO}_2^{-1}$ nas mudas controle, evidenciando aumento na eficiência foto-fosforilativa promovida pelas perturbações mecânicas.

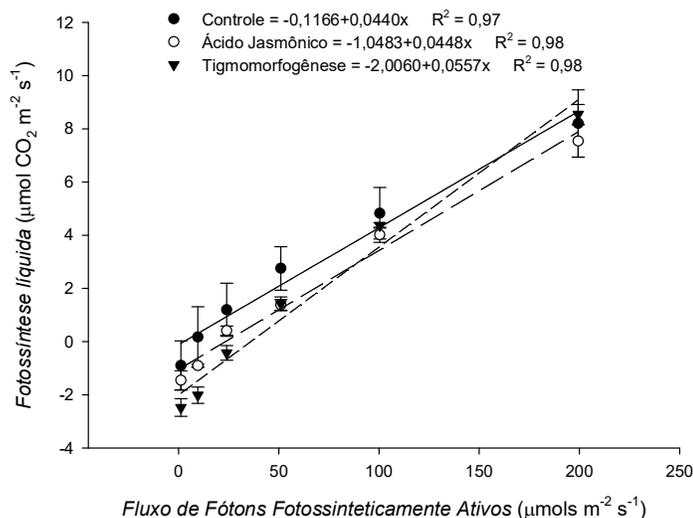


Figura 3. Taxa de assimilação líquida de CO₂ em mudas de eucalipto CI 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetidas à pulverização de ácido jasmônico e tigmomorfogênese (40 flexões caulinares) em função da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos entre 0 e 200 µmol photons m⁻² s⁻¹.

Apesar de maiores valores de Φ , mudas flexionadas mecanicamente possuíram maior ponto de compensação luminoso (Γ), seguido daquelas submetidas ao ácido jasmônico (Tabela 1). As mudas controle apresentaram os menores valores de Γ . Estas proporções indicam que apesar dos incrementos fotossintéticos promovidos pela perturbação mecânica e ácido jasmônico, os mesmos apresentam maior respiração sob níveis baixos de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, devido a necessidade de gasto energético para recuperação de eventuais lesões a nível celular ocasionados pelas flexões caulinares e incremento do metabolismo secundário para estruturação de compostos intermediários promovido pelo ácido jasmônico e pelas perturbações mecânicas.

Tabela 1. Eficiência quântica aparente (Φ) ponto de compensação luminoso (Γ) obtidos a partir dos valores da taxa de assimilação líquida (A) entre 0 µmol m⁻² s⁻¹ até 200 µmol m⁻² s⁻¹ de densidade de fótons fotossinteticamente ativos, em mudas de eucalipto CI 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) em função dos tratamentos.

Tratamentos	Φ (µmol CO ₂ µmol ftons ⁻¹)	Γ (µmol m ⁻² s ⁻¹)
Controle	0,044	2,65
Ácido jasmônico	0,0448	23,39955357
Tigmomorfogênese	0,0557	36,01436266

Vários autores têm relatado que danos mecânicos resultam em aumento na acumulação rápida de JA de até dez vezes (dentro de cinco minutos) após a lesão tecidual (CHUNG et al., 2008; GLAUSER et al., 2008; KOO et al., 2009). No entanto, uma vez que o nível de JA

possa ser alterado por dano mecânico levando ao aumento da concentração do JA no vegetal, parece provável que a dose do ácido jasmônico utilizado neste trabalho não foi suficiente para que a planta apresentasse respostas semelhantes às provocadas pelo estresse mecânico. Para isso, fica evidente a necessidade de quantificar a concentração de JA após a indução de estresse mecânico por flexões caulinares.

Está bem estabelecido que níveis de JA variam amplamente dependendo do estágio de desenvolvimento e condições bióticas e abióticas em que as plantas são submetidas (CREELMAN; MULLET, 1997; WASTERACK, 2007). Os resultados neste estudo levam a crer que 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de JA aplicado exógenamente em mudas não foi prejudicial à fisiologia do organismo, visto que as respostas foram semelhantes ao do tratamento controle. Entretanto, estímulos mecânicos simulando uma indução de estresse foram suficientes para externarem maiores taxas fotossintéticas, maior abertura estomática, resultando na maior assimilação de CO_2 , provavelmente em resposta a menor área foliar e maior índice relativo de clorofila.

É importante ressaltar que vários autores relataram que JA e seus derivados exercem atividades biológicas distintas quando aplicados a tecidos vegetais (BLECHERT et al., 1999; MIERSCH et al., 1999; STINTZI et al., 2001; RIBOT et al., 2008; WANG et al., 2008). Uma vez que os JA aplicados exógenamente não visam um único tipo celular específica. Sendo frequentemente administrados a concentrações não fisiológicas e estão sujeitos a destinos metabólicos desconhecidos, tornando necessárias abordagens adicionais para determinar o papel *in vivo* específicos do JA e seus derivados.

4.6 CONCLUSÃO

A dose de ácido jasmônico aplicada em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) foi insuficiente para alterar as respostas fotossintéticas em relação ao tratamento controle.

Estímulos mecânicos induzidos promoveram incremento da capacidade fotossintética máxima e máxima assimilação de CO_2 . Ao custo da maior taxa de transpiração e menor temperatura foliar em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*).

Estímulos mecânicos induzidos em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) apesar de externar valores elevados de fotossíntese, resultaram em redução na eficiência do uso da água quando comparado aos demais tratamentos.

Mudas do híbrido 1528 de eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetidas a estímulos mecânicos e ácido jasmônico apresentam maior respiração sob níveis baixos de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

4.7 REFERÊNCIAS

ASSIS, T.F.; MAFIA, R.G. Híbridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biociologia Florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 93-121, 2007.

ATTARAN, E.; MAJOR, I.T.; CRUZ, J.A.; ROSA, B.A.; KOO, A.J.; CHEN, J.; KRAMER, D.M.; HE, S.Y.; HOWE, G.A. Temporal dynamics of growth and photosynthesis suppression in response to jasmonate signaling. **Plant Physiol**, v.165, p.1302–1314, 2014.

BALLARÉ, C.L. Illuminated behaviour: phytochrome as a key regulator of light foraging and plant anti-herbivore defence. **Plant Cell Environ**, v.32, p.713–725, 2009.

BLECHERT, S.; BOCKELMANN, C.; FUSSLEIN, M.; VON SCHRADER, T.; STELMACH, B.; NIESEL, U.; WEILER, E.W. Structure–activity analyses reveal the existence of two separate groups of active octadecanoids in elicitation of the tendril-coiling response of *Bryonia dioica* Jacq. **Planta**, v.207, p.470–479, 1999.

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Desempenho do setor em 2006 e projeções para 2007**. São Paulo, 2008. 8 p. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/annual/desempenho_2006.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2016.

CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. M.; COUTINHO, P. W. R.; DRANSKI, J. A. L. MALAVASI, M. M. Metil jasmonato e flexões caulinares na rustificação e crescimento inicial de mudas de *Cordia trichotoma*. **CERNE**, v. 21, n. 4, p. 657-664, 2015.

CAMPOS, M. K. F. et al. Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic ‘Swingle’ citrumelo plants over-accumulating proline. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 72, n. 2, p. 242-250, 2011.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 61-76. 2001.

CHAVARRIA, G.; SANTOS, H.P. Plant water relations: absorption, transport and control mechanisms. In: MONTANARO, G.; DICHIO, B. (Org.). **Advances in selected plant physiology aspects**. Rijeka: Intech, 2012. v.1, p.105-132.

CHINI, A.; FONSECA, S.; FERNÁNDEZ, G.; ADIE, B.; CHICO, J.M.; LORENZO, O.; GARCÍA-CASADO, G.; LÓPEZ-VIDRIERO, I.; LOZANO, F.M.; PONCE, M.R.; MICOL, J.L.; SOLANO, R. The JAZ family of repressors is the missing link in jasmonate signalling. **Nature**, v.448, p.666-671, 2007.

- CHUNG, H.S.; HOWE, G.A. A critical role for the TIFY motif in repression of jasmonate signaling by a stabilized splice variant of the JASMONATE ZIM domain protein JAZ10 in Arabidopsis. **Plant Cell**, v.21, p.131-145, 2009.
- CHUNG, H.S.; KOO, A.J.K.; GAO, X.; JAYANTY, S.; THINES, B.; JONES, A.D.; HOWE, G.A. Regulation and function of Arabidopsis JASMONATE ZIM-domain genes in response to wounding and herbivory. **Plant Physiology**, v.146, p.952–964, 2008.
- CRAMER GR. Abiotic stress and plant responses from the whole vine to the genes. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, 16:86-93. 2010.
- CREELMAN, R.A.; MULLET, J.E. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.48, p.355-381, 1997.
- DEUNER, C.; BORGES, C.T.; ALMEIDA, A.S.; MENEGHELLO, G.E.; TUNES, L.V.M. Ácido jasmônico como promotor de resistência em plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v.38, n.3, p.275-281, 2015.
- DRANSKI, J.A.L.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Relationship between lignin content and quality of *Pinus taeda* seedlings. **Revista Árvore (Online)**, v. 39, p. 905-913, 2015.
- ENDRES, L.; SOUZA, J. L.; TEODORO, L.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M.; BRITO, J. E. D. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.11-16, 2010.
- FERRIERI, A.P.; AGTUCA, B.; APPEL, H.M.; FERRIERI, R.A.; SCHULTZ, J.C. Temporal changes in allocation and partitioning of new carbon as ¹¹C elicited by simulated herbivory suggest that roots shape aboveground responses in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v.161, p.692-704, 2013.
- FRANK, S.; ROSS, S. **Plant Physiology**, 4 ed. California: Wadsworth, 1991.
- GLAUSER, G.; GRATA, E.; DUBUGNON, L.; RUDAZ, S.; FARMER, E.E.; WOLFENDER, J.L. Spatial and temporal dynamics of jasmonate synthesis and accumulation in Arabidopsis in response to wounding. **Journal of Biological Chemistry**, v.283, p.16400–16407, 2008.
- GONÇALVES, K. S.; SOUSA, A.P.; VELINI, E.D.S. 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.
- HEIJARI, J.; NERG, A.M.; KAINULAINEN, P.; VIIRI, H.; VUORINEN, M.; HOLOPAINEN, J.K. Application of methyl jasmonate reduces growth but increases chemical defence and resistance against *Hylobius abietis* in Scots pine seedlings. The Netherlands Entomological Society. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v.115, p.117–124, 2005.
- HRISTOVA, V.A.; POPOVA, L.P. Treatment with methyl jasmonate alleviates the effects of paraquat on photosynthesis in barley plants. **Photosynthetica**, v.40, p.567–574, 2002.

JACOBS, D.F.; LANDIS, T.D. Hardening. In: DUMROESE, R.K.; LUNA, T.; LANDIS, T.D. (Eds.). **Nursery manual for native plants: Guide for tribal nurseries**. v.1. Washington: United States Department of Agriculture, Forest Service, 2009. p. 217-228.

JAFFE, M. J. Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation with special reference to *Bryonia dioica*. **Planta**, v.114, n.2, p.143-156, 1973.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

KERN, A.K.; WERS, W.F.; TELEWSKI, W.F.; KOEHLER, L. Mechanical perturbation affects conductivity, mechanical properties and aboveground biomass of hybrid poplars. **Tree Physiology**, v. 25, n. 10, p. 1243-1251, 2005.

KOO, A.J.K.; GAO, X., JONES, A.D.; HOWE, G.A. A rapid wound signal activates systemic synthesis of bioactive jasmonates in Arabidopsis. **The Plant Journal**, v.59, p.974-986, 2009.

LIBERATO, M. A. R. et al. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, p.315-323, 2006.

LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; COSTA, R. C. L.; SANTOS FILHO, B. G.; CRUZ, F. J. R.; LAUGHINGHOUSE, H. D. Biochemical and physiological behavior of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. under water stress during the vegetative phase. **Asian Journal of Plant Sciences**, Pakistan, v. 7, n. 1, p. 44-49, 2008.

LOPEZ, F. B.; CHAUHAN, Y.S.; JOHANSEN, C. Effects of timing of drought stress on leaf area development and canopy light interception of short-duration pigeon pea. **Journal of Agronomy and Crop Science**, California, v. 178, n. 1, p. 1-7, 2008

LORENZO, O.; SOLANO, R. Molecular players regulating the jasmonate signalling network. *Curr. Opin. Plant Biology*, v.8, p.532-540, 2005.

MACHADO, E.C.; SCHMIDT, P.T.; MEDINA, C.L.; RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1161-1170, 2005.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3ªed. Editora UFV, Viçosa. 2009. 486p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd Edition. Academic Press. San Diego. 2011. 672p.

MARTÍN, F. J. P. **Respuestas inducidas por ácido abscísico y ácido salicílico en las simbiosis de judía y alfalfa en estrés salino**. 2009. 395 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Faculdade de Ciências, Universidade de Granada, Granada, 2009.

MCCORMICK, A. J.; CRAMER, M.; WATT, D. A. Changes in photosynthetic rates and gene expression of leaves during a source-sink perturbation in sugarcane. **Annals of Botany**, 101(1), 89-102. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcm258>

MELDAU, S.; ERB, M.; BALDWIN, I.T. Defence on demand: mechanisms behind optimal defence patterns. **Annals of Botany**, v.110, p1503–1514, 2012.

MIERSCH, O.; KRAMELL, R.; PARTHIER, B.; WASTERACK, C. Structure–activity relations of substituted, deleted or stereospecifically altered jasmonic acid in gene expression of barley leaves. **Phytochemistry**, v.50, p.353–361, 1999.

MILBURN J. Water flow in plants. London: Longman; 1979.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo, Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.

ORO, P.; VOLKWEIS, R.C.; NEIVERTH W.; DRANSKI, J.A.L.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Aplicação de regulador vegetal na aclimação de mudas de *Cariniana estrellensi*. **Cultivando o Saber**, v. 5, n.4, p. 103-112, 2011.

PEREIRA, M.R.R.; KLAR, A.E.; SILVA, M.R.; SOUZA, R.A.; FONSECA, N.R. Comportamento fisiológico e morfológico de clones de *Eucalyptus urograndis* submetidos a diferentes níveis de água no solo. **Irriga**, v.11, n.4, p.518-531, 2006.

POLIZEL, A. M.; MEDRI, M. E.; NAKASHIMA, K.; YAMANAKA, N.; FARIAS, J. R.; OLIVEIRA, M. C.; MARIN, S. R.; ABDELNOOR, R. V.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C.; FUGANTI, R.; RODRIGUES, F. A.; STOLF-MOREIRA, R.; BENEVENTI, M. A.; ROLLA, A. A.; NEUMAIER, N.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; CARVALHO, J. F.; NEPOMUCENO, A. L. Molecular, anatomical and physiological properties of a genetically modified soybean line transformed with rd29A:AtDREB1A for the improvement of drought tolerance. **Genetics and molecular research: GMR**, v. 10, n. 4, p. 3641–56, jan. 2011.

PORTAL FLORESTAL. Clone – AEC 1528 – Super Clone. <<http://www.portalflorestal.com.br/portfolio/mudas-de-eucalipto-clonado-a-venda-clone-aec-1528-super-clone/>>. Acesso em: 08/11/2016.

PRADO, C.H.B.A.; MORAES, J.A.P.V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. **Photosynthetica**, v.33, p.103-112, 1997.

RIBOT, C.; ZIMMERLI, C.; FARMER, E.E.; REYMOND, P.; POIRIER, Y. Induction of the Arabidopsis PHO1; H10 gene by 12-oxo-phytodienoic acid but not jasmonic acid via a CORONATINE INSENSITIVE1-dependent pathway. **Plant Physiology**, v.147, p.696-706, 2008.

SANCHEZ, F. Jasmonatos: compuestos de alto valor para la agricultura: actividad biológica y ruta biosintética del ácido jasmónico en plantas. **Revista ICIDCA**, La Habana, v. 42, n. 1-3, p. 51-59, 2008.

SCHWACHTJE, J.; MINCHIN, P.E.H.; JAHNKE, S.; VAN DONGEN, J.T.; SCHITTKO, U.; BALDWIN, I.T. SNF1-related kinases allow plants to tolerate herbivory by allocating carbon to roots. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.103, p.12935-12940, 2006.

SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, v.29, p.90-98, 1989.

SILVA, M. A.; JIFON J. L, DA SILVA JAG, SHARMA V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

SKIRYCZ A, INZE D. More from less: plant growth under limited water. **Current Opinion in Biotechnology**, 21:197-203. 2010.

SOARES, A.M.S.; MACHADO, O.L.T. Defesa de plantas: sinalização química e espécies reativas de oxigênio. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.1, n.1, p.9-19, 2007.

STINTZI, A.; WEBER, H.; REYMOND, P.; BROWSE, J.; FARMER, E.E. Plant defense in the absence of jasmonic acid: the role of cyclopentenones. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.98, p.12837–12842, 2001.

SUHITA, D.; KOLLA, V.A.; VAVASSEUR, A.; RAGHAVENDRA, A.S. Different signaling pathways involved during the suppression of stomatal opening by methyl jasmonate or abscisic acid. **Plant Science**, v.164, p.481–488, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

THINES, B.; KATSIR, L.; MELOTTO, M.; NIU, Y.; MANDAOKAR, A.; LIU, G.; NOMURA, K.; HE, S.Y.; HOWE, G.A.; BROWSE, J. JAZ repressor proteins are targets of the SCF(CO11) complex during jasmonate signalling. **Nature**, v.448, p.661–665, 2007.

ULLMANN-ZEUNERT, L.; STANTON, M.A.; WIELSCH, N.; BARTRAM, S.; HUMMERT, C.; SVATOŠ, A.; BALDWIN, I.T.; GROTEN, K. Quantification of growthdefense trade-offs in a common currency: nitrogen required for phenolamide biosynthesis is not derived from ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase turnover. **Plant Journal**, v.75, p.417–429, 2013.

VOLKWEIS, R.C.; DRANSKI, J.A.L.; ORO, P.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Efeito da tigmomorfogênese na morfometria de mudas de *Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch. **Ciência Florestal**, v. 24, n.2, p. 339- 342, 2014.

WANG, L.; ALLMANN, S.; WU, J.; BALDWIN, I.T. Comparisons of LOX3- and JAR4/6-silenced plants reveal that JA and JA-AA conjugates play different roles in herbivore resistance of *Nicotiana attenuata*. **Plant Physiology**, v.146, p.904–915, 2008.

WASTERNAACK, C. Jasmonates: an update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. **Annals of Botany**, v.100, p.681–697, 2007.

YAN, Y.; STOLZ, S.; CHETELAT, A.; REYMOND, P.; PAGNI, M.; DUBUGNON, L.; FARMER, E.E. A downstream mediator in the growth repression limb of the jasmonate pathway. **Plant Cell**, v.19, p.2470–2483, 2007.

YASUDA, M. et al. Antagonistic interaction between systemic acquired resistance and the abscisic acid-mediated abiotic stress response in *Arabidopsis*. **The Plant Cell**, v. 20, p. 1678-1692, 2008.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica**, Prague, v.39, p. 383-388, 2001.

5 CAPÍTULO 3: TEOR DE LIGNINA E RIGIDEZ FLEXURAL EM MUDAS DE EUCALIPTO SUBMETIDA AO ÁCIDO JASMÔNICO E FLEXÕES CAULINARES

5.1 RESUMO

O trabalho objetivou verificar se a rustificação por flexões caulinares e a pulverização com ácido jasmônico induzem lignificação e correlacioná-la com o desenvolvimento inicial em campo de mudas do clone 1528 de eucalipto. O estudo foi conduzido no município de Marechal Cândido Rondon/PR. Na primeira etapa, em ambiente protegido, foi utilizado delineamento inteiramente ao acaso com sete tratamentos (T1: testemunha; T2: 2,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ; T3: 4,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ; T4: 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ; T5: 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ; T6: 20 flexões; T7: 40 flexões). Ao final da aplicação dos tratamentos foram avaliados o incremento na altura, no diâmetro do coleto, o teor de lignina dos tecidos caulinares, das raízes e a rigidez flexural. Na segunda etapa, as mudas rustificadas foram transplantadas a campo, seguindo os mesmos tratamentos em delineamento em blocos ao acaso. Aos 90 e 150 dias foram avaliados os incrementos na altura e no diâmetro do caule ao nível do solo. Mudas dos tratamentos T5 e T6 apresentaram maior resistência de curvatura (0,2885 e 0,3005 N cm^{-1}). O teor de lignina no caule foi incrementado pelas aplicações de doses acima de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ e imposição de flexões caulinares. Doses menores de AJ e imposição de 20 flexões resultaram em mudas com aumento no incremento no diâmetro caule. A análise de trilha demonstrou que houve aumento na rigidez do caule acompanhado com o aumento no teor de lignina e que estes possuem um maior efeito direto inversamente proporcional com o incremento médio em altura e com o diâmetro do caule ao nível do solo.

Palavras chave: Rustificação, *E. urophylla* x *E. grandis*. Qualidade de mudas. Fitoregulador.

5.2 ABSTRACT

The objective of this work was to determine the lignification and to correlate it with quality attributes in seedlings of the clone 1528 of rustified eucalyptus by sprayings of jasmonic acid (AJ) and applications of stem bending. The experiment was conducted in the municipality of Marechal Cândido Rondon/PR. In the first stage in a protected environment, a completely randomized design was used with seven treatments (T1: control: T2: 2.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of AJ, T3:

4.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of AJ, T4: 6.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of AJ; T5: 8.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of AJ; T6: 20 stem bending; T7: 40 stem bending) and five replicates. At the end of the treatments, the increase in height, shoot diameter, number of leaves, dry root and shoot mass, lignin content of shoots and roots and flexural stiffness were evaluated. In the second stage the rustified seedlings were transplanted to the field, following the same treatments in a randomized block design with three seedlings per replicate. At 90 and 150 days were evaluated the increases in height and the diameter of the collection of the seedlings. The treatments T5 and T6 showed higher bending strength (0.28885 and 0.3005 N cm^{-1}). The lignin content in the stem was influenced by the application of doses above 6.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of AJ and imposition of flexions resulting in a higher lignin content in the stem than lower doses of AJ and T1. Minor doses of AJ and imposition of 20 push-ups resulted in seedlings with a relative increase in diameter. The analysis of trail analysis showed weak multicollinearity, that is, the variables under study are not highly correlated and there was a greater direct correlation between the lignin content of the stem with the mean increase in height and diameter of the seedlings planted to field.

keywords: Rustification. *E. urophylla* x *E. grandis*. Quality of seedlings. Phytohormone.

5.3 INTRODUÇÃO

O uso de mudas com adequado padrão de qualidade e de rusticidade faz-se necessário para garantir o sucesso do plantio a campo e o êxito de um povoamento florestal (PANDOLFI, 2009). Mudanças de alta qualidade são aquelas que melhor se adaptam as condições adversas pós-plantio, proporcionam alto percentual de sobrevivência e desempenho eficiente em seu desenvolvimento. Apesar disso, o conceito de qualidade de mudas é relativo, visto que o padrão de qualidade é diferente entre espécies e entre sítios de plantio, tornando a identificação do padrão de rusticidade de mudas para implantação um desafio para muitas empresas florestais.

A produção de mudas resistentes, capacitadas a sobreviver e tolerar as adversidades pós-plantio é uma das possíveis alternativas para minimizar perdas após o plantio. Sabe-se até então que a qualidade de mudas de espécies lenhosas baseia-se numa série de características morfofisiológicas que se relacionam com a sobrevivência e o desenvolvimento a campo, e consequentemente com o sucesso de plantios florestais. Características como altura, diâmetro de coleto, têm sido adotado como atributos de qualidade de mudas (CARNEIRO, 1995; RITCHIE et al., 2010).

Por outro lado, a concentração de lignina em espécies lenhosas não é reconhecidamente atributo de qualidade de mudas. Contudo, é notável que sua molécula desempenha importante função nos vegetais (MALAVASI et al., 2016). Depois da celulose, a lignina é a substância orgânica mais abundante nas plantas. Trata-se de uma macromolécula fenólica que apresenta diversas funções, entre as quais estão a rigidez necessária à manutenção da verticalidade do caule e a existência de vias rápidas de circulação da água através do xilema. Além do suporte mecânico, a lignina está relacionada com a defesa vegetal contra herbívoros, uma vez que é dificilmente digerível por esses animais (MONTEIRO et al., 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). Dessa forma, é razoável inferir que haja relação entre a concentração de lignina e qualidade de mudas.

Vários autores indicaram que algumas práticas, tais como a submissão de mudas a estímulos mecânicos e a reguladores vegetais podem estar relacionadas com a rustificação de espécies lenhosas (JACOBS; LANDIS, 2009; ORO et al., 2011; DRANSKI, 2013; VOLKWEIS et al., 2014; CADORIN et al., 2015). Assim, tais práticas poderiam ser incluídas na rotina dos viveiros, favorecendo o desenvolvimento pós-plantio das mudas.

Os estímulos mecânicos têm sido utilizados para descrever respostas mecanicamente induzidas em vegetais através de flexões caulinares em mudas (JAFFE, 1973). Apesar das respostas vegetais a estes estímulos serem muito variáveis entre espécies, alguns comportamentos comuns a um grande número de espécies lenhosas têm sido relatados. Entre eles estão a redução do alongamento celular, com conseqüente redução na altura das mudas e o aumento no diâmetro de coleto, atributos que tem servido como indicadores da qualidade de mudas (KERN et al., 2005; DRANSKI, 2013; VOLKWEIS et al., 2014; CADORIN et al., 2015).

Visto ser possível alterar a concentração de lignina em mudas de espécies lenhosas através do estímulo físico, Dranski et al. (2015) obtiveram alterações significativas no teor de lignina tanto no sistema radicular quanto na parte aérea em mudas de *Pinus taeda* L. submetidas a diferentes intensidades de estímulos mecânicos.

O estímulo mecânico é de difícil operacionalização nos viveiros, o que justifica a utilização de outros métodos como a aplicação de reguladores vegetais na rustificação de mudas, também responsáveis por alterações na biossíntese de lignina em plantas. Em experimento conduzido por Oliveira et al (2009), aplicações de ácido jasmônico resultaram em aumento do teor de lignina em *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.

O ácido jasmônico e seus derivados jasmonatos são reguladores endógenos do crescimento vegetal originários do ácido linolênico, que ocorrem em várias espécies vegetais

e estão relacionados com a senescência de plantas, abscisão foliar, desenvolvimento de embriões e mecanismo de defesa, agindo como sinalizadores de estresse (FRANK, 1991; KERBAUY, 2012).

O clone de eucalipto Cl 1528, conhecido como “superclone”, de acordo com o Portal Florestal (2016) apresenta base genética *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com incremento médio anual (IMA) de $50 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1} \text{ cm}^{-3}$, densidade básica da madeira de 531 kg m^{-3} , teor de lignina total de 29,24%, teor de holocelulose de 68,14%, rendimento gravimétrico de 50,41% e resistência mecânica de 80,82%. O clone objetiva plantas com um bom crescimento, características do *E. grandis*, assim como um aumento na densidade da madeira e melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose, características do *E. urophylla* (CARVALHO; NAHUZ, 2001).

Apesar das aplicações de flexões caulinares e ácido jasmônico causarem respostas fisiológicas e por serem relacionadas com maior rusticidade, ainda se faz necessário verificar se de fato refletem em mudas com maior desempenho a campo. Portanto, este trabalho objetivou verificar se a rustificação por flexões caulinares e ácido jasmônico induzem lignificação e correlacioná-la com o desenvolvimento inicial em campo de mudas do híbrido 1528 de eucalipto.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Marechal Cândido Rondon-PR., durante os meses de maio a janeiro de 2016, sendo realizado em duas etapas. A primeira etapa foi conduzida em ambiente protegido, não climatizado, localizado nas coordenadas latitude $24^{\circ} 33'S$ e longitude de $54^{\circ} 02'O$ e altitude de 414 m enquanto a segunda etapa foi realizada a campo, sob coordenadas com latitude $24^{\circ} 31'S$ e longitude de $54^{\circ} 01'O$ e altitude de 363 m.

O clima da região, segundo Köppen, é caracterizado como tipo Cfa, subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C , com geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo, sem estação seca definida. A precipitação pluviométrica anual varia de 1.600 a 1.800 mm (CAVIGLIONE et al., 2000).

Mudas do híbrido 1528 de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) foram propagadas via vegetativa por miniestacas, em tubetes de 50 cm^3 preenchidos com substrato comercial (Plantmax®) a base de casca de pinus, adubadas com 300 g de fertilizante de liberação controlada (Basacote® Plus 6M) da formulação $\text{N}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ (16-8-12). As

mudas foram adquiridas do viveiro florestal Ouro Verde – Toledo-PR., com idade de 60 dias com altura média de $23,58 \pm 1,16$ cm e diâmetro do coleto médio de $2,70 \pm 0,13$ mm. Em maio de 2016, as mudas foram colocadas em ambiente protegido e submetidas aos tratamentos de rustificação por aplicação de ácido jasmônico e de flexões caulinares.

O ambiente protegido constituiu-se de uma estrutura de ferro galvanizado com teto em forma de arco de 7x30 m e 3,5 m de pé direito. O teto foi coberto com filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD) e anti-UV de 150 μ de espessura. As laterais foram fechadas com tela de 30% de sombreamento de coloração branca.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso com cinco repetições de vinte mudas, que foram submetidas aos seguintes tratamentos: T1: testemunha com água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas; T2: 2,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido jasmônico + água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente por 4 semanas; T3: 4,0 μmol de ácido jasmônico + água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas; T4: 6,0 μmol de ácido jasmônico + água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas; T5: 8,0 μmol de ácido jasmônico + água deionizada + tensoativo não iônico aplicados semanalmente por quatro semanas; T6: 20 flexões diárias por quatro semanas + água deionizada e tensoativo não iônico aplicados semanalmente; T7: 40 flexões diárias por quatro semanas + água deionizada e tensoativo não iônico aplicados semanalmente. O tensoativo não iônico utilizado foi o AGRAL[®], seguindo as orientações do fabricante.

A aplicação do estímulo químico foi realizada em intervalos de uma semana através de pulverizações foliares de ácido jasmônico na concentração de acordo com cada tratamento descrito acima, com volume total da solução equivalente a 7 mL por muda, ponto em que iniciou o escoamento foliar. As soluções foram constituídas de ácido jasmônico, água deionizada e tensoativo não iônico, aplicadas com pulverizador costal manual, trabalhando a pressão de 0,3 MPa. O tensoativo foi utilizado por melhorar a distribuição e absorção foliar do produto aplicado, através da redução da tensão superficial das gotas reduzindo o ângulo de contato destas com a superfície da folha.

As flexões caulinares compreenderam estímulos mecânicos efetuados diariamente através da passagem em duplo sentido de uma estrutura composta por uma barra de cano de PVC com 25 mm de diâmetro disposta horizontalmente e fixada em uma estrutura metálica com rolamentos. As mudas foram flexionadas verticalmente não mais do que 45° mediante a passagem da barra no terço inferior da folhagem, sempre no mesmo horário, a uma velocidade de 0,10 m seg^{-1} (VOLKWEIS et al., 2014).

Durante a aplicação dos tratamentos, que perdurou por quatro semanas, as irrigações ocorreram diariamente no início da manhã e final da tarde, por aspersão até escoamento pela abertura inferior do tubete.

Ao final do período de imposição dos tratamentos, as vinte mudas por repetição foram selecionadas para as determinações dos incrementos na altura, no diâmetro do coleto, no número de folhas. Quatro mudas (dentre as vinte) por repetição foram selecionadas ao acaso para obtenção dos incrementos em massas secas de raízes e dos tecidos aéreos. A altura da muda foi obtida com régua graduada a partir do nível do substrato até a gema apical e o diâmetro do coleto mensurado com o auxílio de um paquímetro digital.

Aos sete dias após o término da aplicação dos tratamentos rustificativos, 25 mudas por tratamento (cinco por repetição) foram submetidas à extração de lignina dos tecidos caulinares e das raízes seguindo o método de extração por hidrólise ácida conforme o método INCT-CA F-005/1, descrito por Detmann et al. (2012), em que o material vegetal foi seco em estufa de ventilação de ar forçada a 65 °C e após moído em moinho estacionário em peneira de 1 mm.

Para extração dos teores de lignina foi primeiramente determinado os teores de fibra em detergente ácido utilizado saquinhos de TNT (tecido não tecido) e 1,0 g de amostra e 40 mL da solução de FDA por amostra. Os sacos foram colocados em recipientes plásticos com capacidade de 1.000 mL e autoclavados a uma temperatura de 100 °C por 60 min, após estes foram retirados e lavados com água destilada quente 90 °C e sequencial com acetona, o material lavado foi levado a estufa a 105 °C por três horas e posteriormente colocados em solução sulfúrica a 72%, 30 mL por amostra por 3 h. Após a extração, os saquinhos foram lavados com água fervente para retirada total da solução ácida, em seguida foram colocados em estufa a 105 °C por 8 h, quando foram alojados em dissecador até atingir temperatura ambiente pesados e anotado o valor. Após a pesagem, o material foi incinerado em forno mufla a 500 °C por 2 h. Em seguida, os cadinhos foram colocados em dissecador e pesados. Os cálculos do teor de lignina utilizaram a equação: $Lignina (\%) = [(Res\ As - Res\ c) * (100/2 * MA)] / MA$. Em que: Res As = matéria seca resultante da digestão sulfúrica; Res c: matéria seca resultante da carbonização; MA = matéria seca inicial.

Para a avaliação da rigidez flexural, após a rustificação foram quantificados a resistência das mudas à indução da curvatura do caule em vinte e cinco mudas por tratamento (cinco mudas por repetição). Para isso construiu-se um aparato conforme Figura 1.

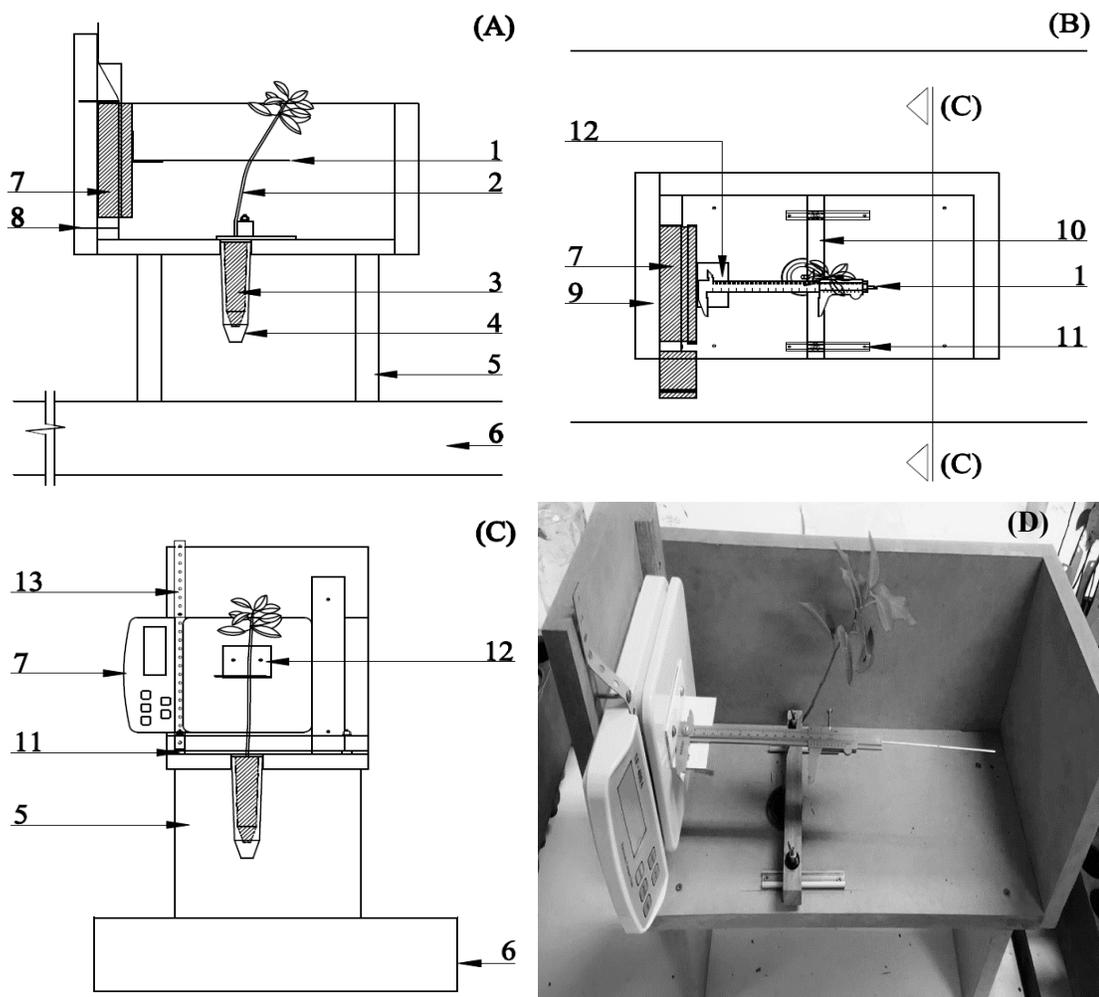


Figura 1. Aparato construído para quantificação da resistência das mudas clone 1528 de eucalipto à indução da curvatura do caule. (A) vista frontal. (B) vista superior. (C) corte lateral. (D) imagem realística. Em que: 1 - paquímetro; 2 - caule da muda; 3 - tubete de 50 cm³; 4 - tubete de 120 cm³; 5 - suporte; 6 - bancada; 7 - balança; 8 - parafusos da alça de fixação da balança; 9 - parede lateral; 10 - trava da muda; 11 - trilho da trava da muda; 12 - engate de fixação no prato da balança; 13 - alça de fixação da balança.

Esse aparato fornece suporte às mudas, ao mesmo tempo que quantifica a resistência com que a muda exerce ao ser puxada do centro de seu eixo vertical (ponto “zero”) ou seja, da muda ereta. O arraste do caule ocorreu a uma altura de 9 cm da base do tubete. Para quantificação da resistência, utilizou-se uma Balança Digital Sf-400 de alta precisão eletrônica (1 g a 10 kg) e um paquímetro comum 200 mm de 8” (0,05mm 1/128”) fixado no prato da balança. O paquímetro foi utilizado para tracionar as mudas de acordo com as distâncias pré-estabelecidas (1, 2 e 3 cm do eixo) e tal movimento fez com que as mudas exercessem uma determinada resistência em detrimento do movimento, sendo essa força quantificada pelo peso registro pela balança. O registro da leitura foi realizado 3 seg após

moção da muda até distância desejada, período esse que leva até a estabilização do peso pela balança. O aparato foi desenvolvido pelo próprio autor, com auxílio do Professor Adjunto da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, do curso de Engenharia Agrícola, Dr. Flavio Gurgacz. De posse dos valores de peso e de distância, os dados foram convertidos para unidade de resistência e expressos em Newton ($N\ cm^{-1}$).

Posteriormente a aplicação dos tratamentos rustificativos, deu-se início a segunda etapa, sendo que três mudas por repetição foram plantadas a campo, seguindo o delineamento em blocos ao acaso, respeitando-se os tratamentos impostos durante a fase de rustificação.

O plantio das mudas ocorreu em julho de 2016. O clima da região de plantio é classificado como Cfa – clima subtropical úmido mesotérmico (CAVIGLIONE et al., 2000), estando os dados meteorológicos do período que compreendeu a condução do experimento a campo apresentados na Figura 2 (precipitação e temperatura) e Figura 3 (velocidade média do vento).

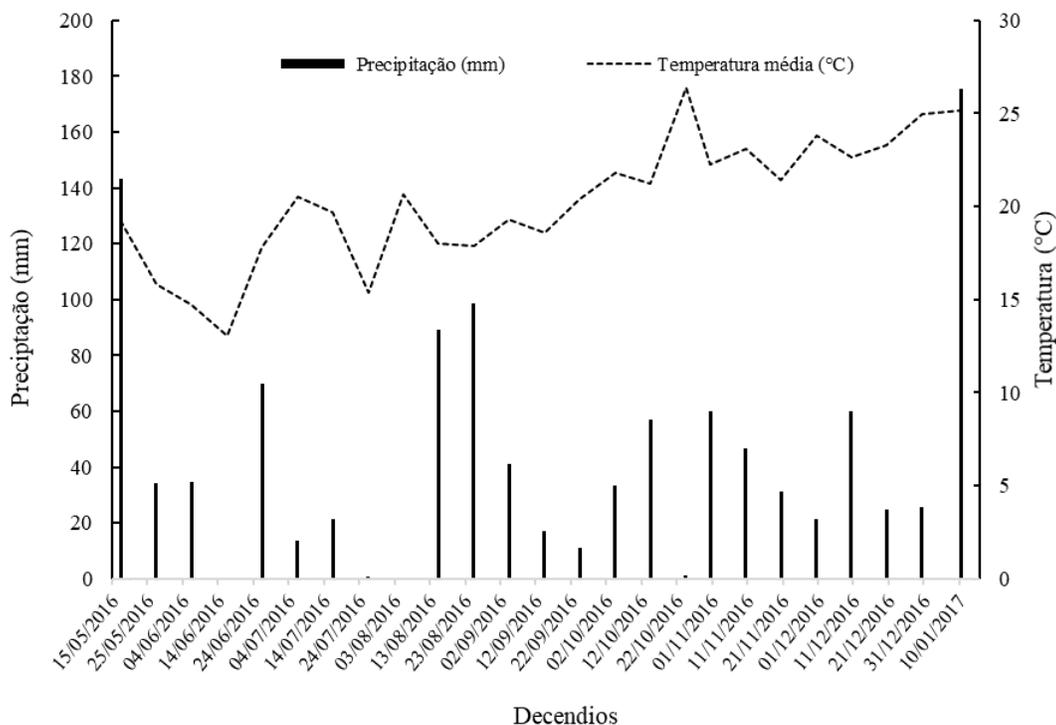


Figura 2. Dados meteorológicos decendiais de precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (°C) na estação automática de Marechal Cândido Rondo-PR., entre os meses de maio de 2016 a janeiro de 2017.

Fonte: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET.

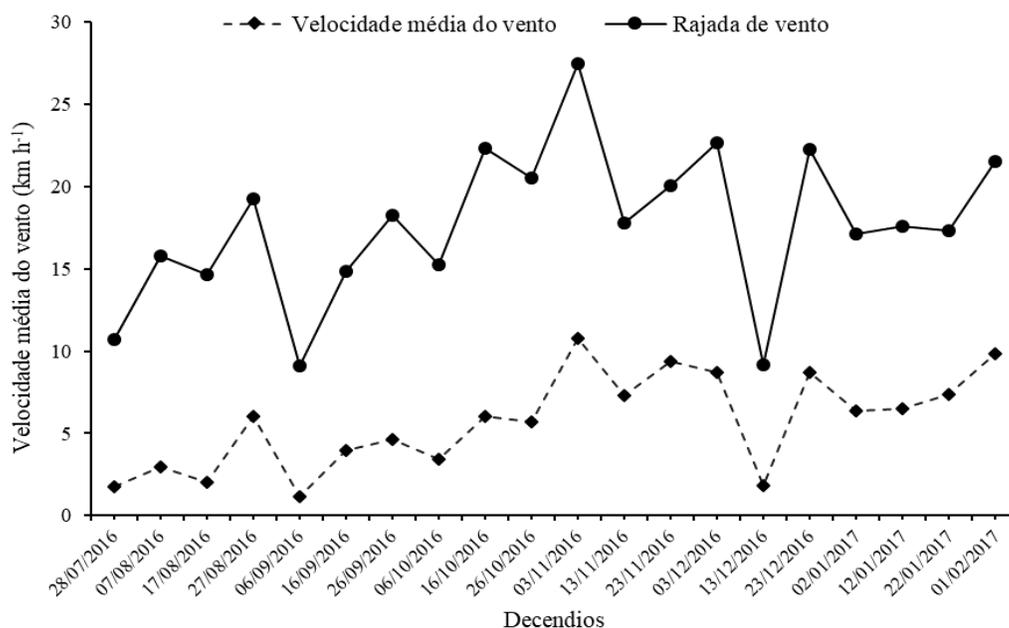


Figura 3. Dados meteorológicos decendiais de velocidade média do vento (km h⁻¹) na estação automática de Marechal Cândido Rondo-PR., entre os meses de julho de 2016 a fevereiro de 2017.

Fonte: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET.

De acordo com mapa de solos do estado do Paraná (BHERING, 2007), o solo da região é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013), apresentando as seguintes características químicas antes do plantio: pH (CaCl₂) = 5,3; MO = 13,40 g.dm⁻³; P = 1,32 mg.dm⁻³; Ca²⁺ = 4,30 cmolc.dm⁻³; Mg²⁺ = 2,20 cmolc.dm⁻³; K⁺ = 0,23 cmolc.dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmolc.dm⁻³; H+Al = 3,42 cmolc.dm⁻³; SB = 6,73 cmolc.dm⁻³; CTC = 10,15 cmolc.dm⁻³ e V% = 66,31%.

Utilizou-se covas de 27 cm de diâmetro por 50 cm de profundidade em espaçamento de 3 x 2 m. A adubação de base constou de 100 g por cova da formulação N₂-P₂O₅-K₂O (5-25-25). Os tratos culturais envolveram capina e roçada de plantas daninhas a cada trinta dias. Aos noventa e aos cento e cinquenta dias após o plantio foram avaliados os incrementos na altura e no diâmetro do caule ao nível do solo das mudas sobreviventes.

A análise dos dados consistiu primeiramente na avaliação da normalidade da distribuição dos resíduos pelo teste de Lilliefors, e da homogeneidade da variância pelo teste de Cochran e Bartlet, em seguida submetidos à análise de variância ao nível de significância de 0,05. Para teor de lignina no caule e raiz, altura de planta e diâmetro do coleto os dados foram analisados seguindo o delineamento inteiramente ao acaso. Para rigidez flexural a análise dos dados seguiu o delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas,

cujos tratamentos compreenderam as parcelas e as distâncias nas subparcelas. Para a análise dos resultados de incremento em altura e diâmetro do caule ao nível do solo, os dados foram analisados em delineamento em parcelas subdivididas no tempo, em que as parcelas foram consideradas os tratamentos e o período avaliativo nas subparcelas. Quando houve significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Com base nos resultados das variáveis avaliadas no viveiro e de desempenho em campo, calculou-se a matriz de correlações simples entre as variáveis e em seguida realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade, com base no número de condição (NC) e pelo fator de inflação da variância (FIV). Posteriormente realizou-se a análise de trilha, em que o incremento na altura e no diâmetro do caule ao nível do solo foram considerados como variáveis dependentes. Para realização das análises estatísticas utilizou-se o programa GENES (CRUZ, 2001).

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da rigidez flexural evidenciou que mudas dos tratamentos cinco e seis apresentaram maior resistência flexural em relação aos demais tratamentos analisados (Tabela 1). Tais resultados sugerem que mudas do clone 1528 de eucalipto submetidas à aplicação da maior dose de ácido jasmônico (T5) externaram respostas morfológicas que se assemelham àquelas resultantes da menor frequência de flexões caulinares (T6).

Tabela 1. Avaliação da rigidez flexural de mudas de Eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetidas à aplicação de ácido jasmônico e flexões caulinares em função da distância de 1, 2 e 3 cm.

Tratamentos	1 cm	2 cm	3 cm	Média
	N cm ⁻¹			
T1	0,2402	0,2356	0,2010	0,2256 bc
T2	0,1845	0,1897	0,1835	0,1932 c
T3	0,2389	0,2359	0,2039	0,2262 bc
T4	0,2672	0,2605	0,2237	0,2505 b
T5	0,3009	0,2887	0,2760	0,2885 a
T6	0,3230	0,3087	0,2698	0,3005 a
T7	0,2784	0,2609	0,2229	0,2541 b
Média	0,2619 A	0,2543 A	0,2258 B	
F calculado para tratamentos = 18,53; $p < 0,001$				
F calculado para distância = 10,103; $p < 0,001$				
F calculado interação = 0,39; $p = 0,962$				
CV (%)	16,6			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N cm⁻¹ (Newton cm⁻¹); T1: testemunha; T2: 2,0 µmol L⁻¹ de AJ; T3: 4,0 µmol L⁻¹ de AJ; T4: 6,0 µmol L⁻¹ de AJ; T5: 8,0 µmol L⁻¹ de AJ; T6: 20 flexões; T7: 40 flexões.

De acordo com Telewski (2012) e Martin et al. (2010) a tigmomorfogênese afeta o comportamento mecânico do caule, modificando a diferenciação celular, o que resulta em alterações anatômicas que diminuem a elasticidade daquele órgão. Tal fato possivelmente resultou em aumento na rigidez do caule, obtendo como resultado final um caule mais rígido, capaz de absorver mais energia mecânica em resposta à ação do vento. Portanto, mudas menos flexíveis tendem a serem mais resistentes às condições de campo, onde a velocidade do vento é um fator limitante.

Os fitorreguladores como o AJ podem ser compostos promissores na redução da sensibilidade dos cultivos aos estresses abióticos, pois podem atenuar os efeitos adversos produzidos por diferentes fatores ambientais estressantes a exemplo do estresse hídrico (MARDANI et al., 2012; SANCHEZ, 2008). Sanchez (2008) aplicando AJ e metil jasmonato (MJ) em eucalipto híbrido das espécies *E. grandis* vs. *E. urophylla*, relatou que a aplicação do AJ e MJ pode ter interferido na percepção dos sinais de estresse, resultando em maior eficiência no fechamento estomático e na redução da taxa de transpiração.

Nota-se também uma diferença significativa nos valores médios da rigidez flexural em função da distância de arraste (Tabela 1), há uma decrescente da diminuição da resistência flexural pelas mudas conforme ocorreu o aumento da distância de arraste. Tal fato revela que a resistência flexural das mudas movidas a uma distância de 3 cm foi menor em relação às distâncias menores, provavelmente pela perda da resistência da planta conforme se aumentam a tensão. Portanto, é importante ressaltar a necessidade de estudos a fim de entender melhor as respostas dos vegetais em função da imposição de diferentes níveis de indução flexural em mudas de espécies florestais. Visto que tais resultados encontrados neste trabalho podem ter sido motivados pela ocorrência de alguma ruptura do tecido da planta, em resposta a um possível “excesso” de curvatura proporcionando perda de resistência.

Mudas dos tratamentos seis e sete apresentaram menor concentração de lignina na raiz em relação aos demais tratamentos analisados (Tabela 2), porém, sem diferir do tratamento em que se utilizou a aplicação da maior dose de ácido jasmônico (T5). Tal resultado pode ser explicado em função da maior alocação da lignina nos tecidos caulinares, pois mudas dos tratamentos quatro, cinco, seis e sete apresentaram maior concentração de lignina neste órgão em relação aos demais tratamentos analisados. Tais resultados sugerem que mudas do clone 1528 de eucalipto submetidas à aplicação das duas maiores doses de ácido jasmônico externaram respostas para com a concentração de lignina no caule que se assemelham àquelas resultantes das frequências de flexões caulinares.

Monteiro et al. (2012), trabalhando com *Eucalyptus urophylla* submetidas a aplicação de ácido jasmônico e ácido 2,4-diclorofenoxiacético, relatam que estes fitorreguladores podem ativar ou inibir a fase de polimerização da lignina dependendo da concentração utilizada. De acordo com os mesmos autores, reguladores de crescimento atuam como sinalizadores na planta e a síntese da lignina podem ser afetadas por diversos fatores abióticos e bióticos. Tal fato sugere que as duas maiores doses do AJ utilizadas neste trabalho possivelmente foram capazes de atuar como sinalizadores de estresse na planta, alterando a síntese de lignina o que provavelmente tenha contribuído para que as mudas do clone 1528 de eucalipto concentrassem maior teor de lignina no caule. Para reforçar essa possibilidade, Kavalier (2000) relatou que o AJ é uma das moléculas sinalizadoras que inicia a ativação da fenilalanina amônia-liase, que é uma das enzimas da via fenilpropanóides, rota biossintética da formação da lignina e outros metabólitos secundários.

Resultados que em parte corroboram com o verificado neste trabalho foram relatados por Oliveira et al. (2009), que verificaram mudança no teor de lignina em mudas de *Eucalyptus urophylla* quando submetidas a aplicação de 1 e 2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ. A menor concentração de AJ resultou em aumento considerável no teor de lignina (41,56%) em relação à testemunha (26,43%), enquanto que a aplicação de 2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ apresentou efeito inibitório, reduzindo a lignina para 20,49%, teor menor que a testemunha.

Em relação à concentração de lignina no caule resultantes das frequências de flexões caulinares, resultados que corroboram com o deste trabalho foi reportado por Porter et al. (2009), que trabalhando com estímulos mecânicos em mudas de mamão anotaram um aumento de aproximadamente 12% na concentração de lignina nas mudas estimuladas.

Mudas submetidas às flexões caulinares apresentaram menor incremento em altura em relação aos demais tratamentos, porém sem diferir das mudas submetidas à aplicação de 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ (T4) (Tabela 2).

Com relação ao incremento em diâmetro do coleto, ficou evidenciado que mudas do tratamento controle e mudas submetidas à aplicação da maior dose de AJ (T5) apresentaram menor incremento em relação ao tratamento seis (vinte flexões), porém ambos não diferiram dos demais tratamentos analisados. Tais resultados demonstram que mudas do clone 1528 de eucalipto submetidas à aplicação de flexões caulinares durante a rustificação externaram aumento do diâmetro do caule em comparação à testemunha. O resultado acima corrobora com o observado por diversos autores em diferentes espécies de vegetais (KERN et al., 2005; DRANSKI, 2013; VOLKWEIS et al., 2014; CADORIN et al., 2015).

Tabela 2. Teor de lignina na raiz (LR) e no caule (LC), incremento na altura de planta (IAP) e no diâmetro do coleto (IDC) em mudas de Eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetidas à aplicação de ácido jasmônico e flexões caulinares durante a rustificação.

Tratamentos	LR	LC	IAP	IDC
	----- % -----		----- cm -----	----- mm -----
T1	27,40 a	13,17 b	3,607 ab	0,372 b
T2	26,65 a	13,14 b	3,780 a	0,470 ab
T3	26,62 a	13,27 b	4,020 a	0,527 ab
T4	26,70 a	14,44 a	2,707 abc	0,592 ab
T5	25,06 ab	14,22 a	3,995 a	0,437 b
T6	24,17 b	14,65 a	1,960 bc	0,702 a
T7	23,98 b	14,62 a	1,022 c	0,545 ab
F calc para LR = 7,51; $p < 0,001$)				
F calc para LC = 21,68; $p < 0,001$)				
F calc para IAP = 8,92; $p < 0,001$)				
F calc IDC = 3,64; $p < 0,05$)				
CV (%)	3,9	3,4	25	21

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1: testemunha; T2: 2,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ; T3: 4,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ; T4: 6,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ; T5: 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ; T6: 20 flexões; T7: 40 flexões.

A altura de plantas por ser de fácil mensuração e um método não destrutivo é amplamente utilizada para avaliar o padrão de qualidade em mudas de espécies florestais, enquanto que o diâmetro de coleto é muito importante para a avaliação do potencial da muda para sobrevivência e crescimento após o plantio no campo. Dessa forma, ambos se tornam indispensáveis na aferição da qualidade de mudas. Mudas com maior diâmetro de coleto, em geral, apresentam maior sobrevivência, este fato ligado a maior capacidade de formação de novas raízes (HAASE, 2008).

A análise do crescimento a campo evidenciou que em média, após cento e cinquenta dias do plantio, mudas que receberam a menor dose do ácido jasmônico (tratamento 2) apresentaram uma maior média de crescimento em relação as duas maiores doses de ácido jasmônico (tratamentos 4 e 5), e a menor frequência de flexões caulinares (tratamento 6), porém, sem diferir dos demais tratamentos (Tabela 3). Tais resultados sugerem que as plantas submetidas à aplicação da maior dose de ácido AJ e ao estímulo mecânico por flexões caulinares, que apresentaram maior concentração de lignina no caule e maior rigidez flexural não inferiram em maior desempenho a campo em relação ao IAP, levando a crer que para as condições testadas neste trabalho, mudas mais lignificadas e rígidas não se sobressaíram após o plantio em relação aos demais tratamentos.

Tabela 3. Incremento em altura e diâmetro do coleto em mudas de Eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) a campo após serem submetidas à aplicação de ácido jasmônico e flexões caulinares durante a rustificação, avaliadas aos 90 e 150 dias após o transplante.

Tratamentos	Altura		Média	Diâmetro do coleto		Média
	90	150		90	150	
	----- cm -----			----- mm -----		
T1	23,1	64,9	44,0 ab	2,59	7,46	5,03 b
T2	30,8	79,8	55,3 a	3,19	9,95	6,57 a
T3	26,0	66,1	46,1 ab	2,44	8,29	5,36 ab
T4	20,5	61,9	41,2 b	2,18	8,11	5,15 b
T5	22,0	51,5	36,7 b	2,58	7,80	5,19 ab
T6	18,6	61,4	40,0 b	1,73	7,52	4,63 b
T7	21,7	66,4	44,1 ab	2,72	7,71	5,22 ab
Média	23,3 B	64,6 A		2,49 B	8,12 A	
F calc para tempo	1960,47; $p < 0,001$			846,11; $p < 0,001$		
F calc para tratamento	4,19; $p = 0,003$			3,57; $p = 0,007$		
F calc interação	1,06; $p = 0,401$			0,74; $p = 0,622$		
CV P (%)	7,9			13,1		
CV SP (%)	18,5			19,0		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1: testemunha; T2: 2,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ; T3: 4,0 $\mu\text{mol de AJ}$; T4: 6,0 $\mu\text{mol de AJ}$; T5: 8,0 $\mu\text{mol de AJ}$; T6: 20 flexões; T7: 40 flexões. P: parcelas; SP: subparcelas.

Em trabalho com o fitorregulador ácido salicílico (AS) e deficiência hídrica em mudas de eucalipto híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, Mazzuchelli et al. (2014) concluíram que a aplicação de fitorregulador poderia afetar positivamente o crescimento e desenvolvimento de mudas de eucalipto, tanto em condição normal como sob condição de estresse hídrico. O acima corrobora com o observado neste estudo ao se utilizar ácido jasmônico, visto que a dose de 2,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ aplicada em mudas do clone 1528 de eucalipto externou a maior média de IAP.

Mudas após o plantio externaram crescimento médio do diâmetro do caule maior quando submetidas à aplicação da menor dose do ácido jasmônico (T2) em relação à segunda maior dose de ácido jasmônico (T4), a menor frequência de flexões caulinares (T6) e a testemunha (T1), porém, sem diferir dos demais tratamentos.

Mesmo externando menores médias de rigidez flexural e LC, mudas submetidas à aplicação 2,0 $\mu\text{mol de AJ}$ (T2) apresentaram maiores médias para IAP e IDC após a rustificação, fato esse que provavelmente tenha contribuído para maior desempenho do IAP em relação às demais doses e do IDC em relação ao tratamento controle, a dose 6,0 $\mu\text{mol de AJ}$ (T4) e ao tratamento 6 (vinte flexões caulinares) cento e cinquenta dias após o plantio.

Trabalhos com a utilização de jasmonatos indicaram que este fitorregulador induz a produção de etileno em diversos órgãos das plantas (FAN et al., 1998). Hudgins e Franceschi

(2004) aplicando metil jasmonato em diferentes concentrações no segundo nó de mudas de *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* observaram produção de etileno nos entrenós acima e abaixo do nó tratado. Segundo Kerbauy (2012), o etileno pode provocar redução de crescimento das plantas por possuir potencial de inferir alterações na fisiologia da planta, como a redução no transporte de auxinas, a reorganização de microtúbulos e microfibrilas de celulose da parede celular para uma posição longitudinal, ocasionando redução de altura e espessamento do caule. Tais fatos demonstram a possibilidade de que doses acima de 2 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de AJ pulverizadas em mudas de Eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) estimulem a produção de etileno e o desempenho das mudas a campo.

Em relação às flexões caulinares, resultados distintos deste trabalho foram relatados por Dranski (2013) com mudas de *Pinus taeda* L. noventa dias após o plantio a campo que observou 25% de incremento em altura em mudas submetidas a trinta e cinco flexões diárias por sessenta dias e aumento de 28,2% no diâmetro do coleto com vinte e três flexões caulinares em comparação ao tratamento controle, indicando que mudas submetidas a flexões caulinares no viveiro externaram maior potencial de crescimento inicial a campo, enquanto que neste estudo, o uso de estímulo mecânico com o uso de flexões caulinares diárias não alterou o desempenho do IAP e IDC em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*). Contudo, é importante ressaltar que em relação ao *P. taeda*, Dranski (2013) relatou que as mudas foram plantadas em uma área sujeita a fortes ventos. Portanto, as condições climáticas diferentes evidenciadas neste estudo (Figura 3) poderiam ter influenciado em resultados diferentes dos encontrados por Dranski (2013), uma vez que, neste estudo, as mudas que apresentaram maior concentração de lignina no caule e maior rigidez flexural não inferiram em maior desempenho a campo (incremento em altura da planta) em relação ao tratamento controle.

Demais resultados divergentes ao deste estudo foram reportados por Kern et al. (2005) com híbridos de *Populus trichocarpa* e *Populus deltoides* submetidos a vinte flexões caulinares diárias por oitenta dias, que encontraram redução na altura e aumento no diâmetro de coleto comparados ao tratamento controle e também por Cadorin et al. (2015) com mudas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. submetidas a flexões diárias e pulverização de metil jasmonato que aos noventa dias após o plantio observaram inexistência na taxa de crescimento em altura. Cadorin et al. (2015) ainda relata que em mudas submetidas a vinte flexões caulinares diárias durante sessenta dias externaram maior incremento na taxa de crescimento em diâmetro do coleto (107%) em relação ao tratamento controle e aos cento e cinquenta dias após o plantio, mudas submetidas a vinte flexões caulinares diárias e também

as submetidas a pulverização de metil jasmonato por sessenta dias, resultaram em maiores taxas de crescimento em altura (130 %) e no diâmetro do coleto (102%), em comparação ao tratamento controle.

A ausência de maior desempenho (incremento em altura das plantas e incremento no diâmetro do coleto) a campo em relação ao tratamento controle, neste estudo provavelmente estejam relacionados com as características genéticas da espécie estudada, visto que se trata de um híbrido com características já melhoradas. Outra possibilidade de se explicar as alterações resultantes no incremento em altura e diâmetro de coleto, observadas quando aplicadas flexões caulinares ou pulverização de metil jasmonato neste estudo, possam estar relacionadas com a síntese de etileno. Tais fatos demonstram a possibilidade das maiores doses de AJ utilizadas em mudas de Eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) poderem ter estimulado a produção de etileno e por consequência ter afetado o desempenho das mudas a campo.

Após a análise de multicolinearidade (Tabela 4), o número de condição (NC) foi de 8,14 e o FIV de 4,0 indicando multicolinearidade fraca (CRUZ, 2006). Portanto, as variáveis em estudo não são altamente correlacionadas. A análise de trilha revelou que mudas com caules mais rígidos resultam em menor taxa de incremento em altura, tendo em vista a mesma direção do coeficiente negativo do efeito direto e total entre as variáveis (-3,70 e -0,90, respectivamente), indicando que a relação é de causa – efeito, o que corrobora com o observado nas Tabela 1, cujos tratamentos 1, 2, 3 e 7 possuíram menor rigidez, bem como maior taxa de crescimento em altura (Tabela 2).

Por outro lado, mudas com caules mais lignificados, apesar de possuírem alto valor do coeficiente do efeito direto com o incremento em altura (3,49) e com o diâmetro do caule (3,53), este é afetado negativamente via efeito indireto da rigidez flexural (-3,10 e -3,14, respectivamente). Portanto, mudas mais lignificadas resultam em caules mais rígidos, o que não favorece o crescimento em altura e em diâmetro do caule.

Na interpretação dos resultados obtidos nas decomposições do coeficiente de correlação linear de Pearson em efeitos direto e indireto (Tabela 4), para análise deste estudo optou-se por considerar que, quando o coeficiente de correlação e o efeito direto forem iguais ou semelhantes, em magnitude e sinal, essa correlação direta explica a verdadeira associação entre as variáveis (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Da forma que, quando o coeficiente de correlação de Pearson for positivo, mas o efeito direto for negativo ou desprezível, a correlação será causada pelos efeitos indiretos, sendo estes considerados na análise. Com o coeficiente de correlação de Pearson desprezível e o efeito direto, apresentando-se positivo e

alto, os efeitos indiretos que são responsáveis pela falta de correlação, merecendo a mesma atenção na análise. Finalmente, com a correlação de Pearson negativa e efeito direto positivo e alto, buscou-se eliminar os efeitos indiretos da análise e aproveitar somente os diretos.

Tabela 4. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha e correlação para média do incremento no diâmetro do caule (MIDC) e altura de plantas (MIAP) em relação à altura de plantas (AP), diâmetro de coleto (DC), lignina na raiz (LR), lignina no caule (LC) e rigidez flexural (RF) em mudas de Eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetidas à aplicação de ácido jasmônico durante a rustificação.

Variáveis	Vias de associação	MIDC		MIAP	
		Estimativa	Coefficiente de correlação	Estimativa	Coefficiente de correlação
AP	Efeito direto	0,84		0,54	
	Indireto via DC	0,80		0,95	
	Indireto via LR	-0,37		-0,34	
	Indireto via LC	-1,93		-1,90	
	Indireto via RF	0,69		0,68	
	Total (direto e indireto)		0,03		-0,07
DC	Efeito direto	1,45		1,72	
	Indireto via AP	0,46		0,30	
	Indireto via LR	-0,38		-0,35	
	Indireto via LC	-2,65		-2,61	
	Indireto via RF	1,12		1,11	
	Total (direto e indireto)		0,01		0,16
LR	Efeito direto	-0,72		-0,66	
	Indireto via AP	0,43		0,28	
	Indireto via DC	0,77		0,91	
	Indireto via LC	-2,82		-2,78	
	Indireto via RF	2,72		2,68	
	Total (direto e indireto)		0,38		0,42
LC	Efeito direto	3,53		3,49	
	Indireto via AP	-0,46		-0,29	
	Indireto via DC	-1,09		-1,29	
	Indireto via LR	0,57		0,53	
	Indireto via RF	-3,14		-3,10	
	Total (direto e indireto)		-0,58		-0,67
RF	Efeito direto	-3,75		-3,70	
	Indireto via AP	-0,15		-0,10	
	Indireto via DC	-0,44		-0,52	
	Indireto via LR	0,52		0,48	
	Indireto via LC	2,96		2,93	
	Total (direto e indireto)		-0,85		-0,90
Coeficiente de determinação		0,91		0,98	
Número da condição (NC)		12,75		8,14	
Fator de inflação da variância (FIV)		3,0		4,0	

Os coeficientes de determinação de 0,91 para média de incremento em altura e 0,98 para média de incremento em diâmetro demonstram que quase a totalidade das variáveis são explicadas pelas variáveis morfométricas e teor de lignina. As variáveis alturas de planta, diâmetro de coleto e teor de lignina na raiz apresentaram correlação positiva baixa com a média de incremento em diâmetro (0,03; 0,01 e 0,38), já o teor de lignina no caule e rigidez flexural apresentaram correlação negativa (-0,58 e -0,85). Para a média de incremento em altura de planta as variáveis diâmetro do coleto e lignina na raiz apresentaram correlação de baixa magnitude positiva (0,16 e 0,42), e as variáveis altura de planta, teor de lignina no caule e rigidez flexural apresentaram correlação negativa respectivamente de -0,07, -0,67 e -0,90.

Dessa forma, os resultados indicaram que as alterações morfofisiológicas resultantes das flexões caulinares e da aplicação do ácido jasmônico provavelmente estejam relacionadas ao maior desempenho inicial das mudas a campo. Ao analisar os dados seria incoerente inferir a um tratamento a capacidade de externar mudas com melhor desempenho a campo. Entretanto, tais respostas indicam a necessidade de mais estudos e melhor entendimento sobre a utilização das flexões caulinares e a pulverização de ácido jasmônico em plantas apresentarem capacidade de alterar a concentração de lignina, bem como o desempenho das mudas a campo. Porém, é notório que existe a possibilidade de que no futuro a aplicação de ácido jasmônico em mudas florestais poderá ser utilizada em substituição a aplicação das flexões caulinares no viveiro, uma vez que as respostas fisiológicas evidenciadas nos tratamentos podem se assemelhar entre si e é vantajosa do ponto de vista prático.

5.6 CONCLUSÕES

Aplicações de ácido jasmônico até a dose 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ não foram capazes de aumentar o teor de lignina na raiz em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*).

Flexões caulinares e 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido jasmônico aplicadas em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) resultam em menor teor de lignina na raiz.

Teor de lignina no caule foi influenciado por aplicações das doses 6,0 e 8,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido jasmônico, bem como pela imposição de flexões, ao passo que resultaram em maior teor de lignina no caule em relação ao tratamento controle e menores doses de ácido jasmônico.

A aplicação da menor dose de ácido jasmônico (2,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) foi capaz de externar maiores médias em relação ao incremento na altura de plantas e incremento no diâmetro do

coleteo após cento e cinquenta dias do plantio das mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*).

A análise de trilha externou maior efeito direto entre o teor de lignina do caule com o incremento médio em altura e diâmetro das mudas híbridos 1528 de eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*) plantadas a campo.

5.7 REFERÊNCIAS

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. DOS; MANZATTO, C.V.; BOGNOLA, I.; FASOLO, P.J.; CARVALHO, A.P.; POTTER, O.; CURCIO, G. **Mapa de solos do Estado do Paraná:** escala 1:250.000: legenda. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. M.; COUTINHO, P. W. R.; DRANSKI, J. A. L. MALAVASI, M. M. Metil jasmonato e flexões caulinares na rustificação e crescimento inicial de mudas de *Cordia trichotoma*. **CERNE**, v. 21, n. 4, p. 657-664, 2015.

CARNEIRO, J. G. de A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais.** Curitiba: UFPR/UENF/FUPEF, 1995. 415p.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Valorização da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptu surophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 61-76. 2001.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.

CRUZ, C. D. **Programa genes: aplicativo computacional em genética e estatística.** Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

CRUZ, C. D. **Programa genes: estatística experimental e matrizes.** Viçosa: UFV, 2006. 285 p.

DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C.; QUEIROZ, A.C.; BERCHIELLI, T.T.; SALIBA, E.O.S.; CABRAL, L.S.; PINA, D.S.; LADEIRA, M.M.; AZEVEDO, J.A.G. **Métodos para análise de alimentos - INCT - Ciência Animal.** Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

DRANSKI, J.A.L. **Tigmomorfogênese na rustificação e sobrevivência em mudas de *Pinus taeda* L.** 2013. 107p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2013.

DRANSKI, J.A.L.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M.; Relationship between lignin content and quality of *pinus taeda* seedlings. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 905-913, 2015.

FAN, X.; MATHEIS, J. P.; FELLMAN, J.K. A role for jasmonates in climacteric fruitripening. **Planta**, v. 204, p. 444-449, 1998.

FRANK, S.; ROSS, S. **Plant Physiology**, 4 ed. California: Wadsworth, 1991.

HAASE, D.L. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree Planters Notes**, v.52, n.2, p.24-30, 2008.

HUDGINS, J.W.; FRANCESCHI, R.V. Methyl jasmonate-induced ethylene production is responsible for conifer phloem defense responses and reprogramming of stem cambial zone for traumatic resin duct formation. **Plant Physiology**, v. 135, p. 2134-2149, 2004.

JACOBS, D.F.; LANDIS, T.D. Hardening. In: DUMROESE, R.K.; LUNA, T.; LANDIS, T.D. (Eds.). **Nursery manual for native plants: Guide for tribal nurseries**. v.1. Washington: United States Department of Agriculture, Forest Service, 2009. p. 217-228.

JAFFE, M. J. Thigmomorphogenesis: the response of plant growth and development to mechanical stimulation with special reference to *Bryonia dioica*. **Planta**, v.114, n.2, p.143-156, 1973.

KAVALIER, A. **The effects of methyl jasmonate on the anthocyanin content and growth rates of the Wisconsin fast plants *Brassica rapa***. Research performed at the College of Charleston. Charleston: College of Charleston 2000.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

KERN, A.K.; WERS, W.F.; TELEWSKI, W.F.; KOEHLER, L. Mechanical perturbation affects conductivity, mechanical properties and aboveground biomass of hybrid poplars. **Tree Physiology**, v. 25, n. 10, p. 1243-1251, 2005.

MALAVASI, U. C.; DAVIS, A. S.; MALAVAS, M. M. Lignin in Woody Plants under Water Stress: A Review. **FLORAM - Revista Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 589-597, 2016.

MARDANI, H.; BAYAT, H.; SAEIDNEJAD, A. H.; REZAIE, E. E. Assessment of salicylic acid impacts on seedling characteristic of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under water stress. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 4, n. 1, p. 112-115, 2012.

MARTIN, L.; LEBLANC-FOURNIER, N.; JULIEN, J. L.; MOULIA, B.; AND COUTAND, C. Acclimation kinetics of physiological and molecular responses of plants to multiple mechanical loadings. **Journal of Experimental Botany**, v.61, n.1, p.2403-2412, 2010.

MAZZUCHELLI, E.H.L.; SOUZA, G.M.; PACHECO, A.C. Rustificação de mudas de eucalipto via aplicação de ácido salicílico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 443-450, 2014.

MONTEIRO, M.B.O.; PEREIRA, R. P. W.; ABREU, H.S. Compositional analysis of the lignin of *Eucalyptus urophylla* treated with JA e 2,4-D. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v.1, n.2, p. 48-56, 2012.

OLIVEIRA, M.B.; ABREU, H.S.; PEREIRA, R.P.W. Teor de lignina em plantas de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake tratadas com fitoreguladores. **Silva Lusitana**, v.17, n.1, p.51-57, 2009.

ORO, P.; VOLKWEIS, R.C.; NEIVERTH W.; DRANSKI, J.A.L.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. Aplicação de regulador vegetal na aclimação de mudas de *Cariniana estrellensi*. **Cultivando o Saber**, v. 5, n.4, p. 103-112, 2011.

PANDOLFI, F. **Avaliação de parâmetros de rusticidade de mudas clonais de eucalipto e suas influências no crescimento inicial do povoamento**. 2009. 134p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, ALEGRE, 2009.

PORTAL FLORESTAL. **Clone – AEC 1528 – Super Clone**. <<http://www.portalflorestal.com.br/portfolio/mudas-de-eucalipto-clonado-a-venda-clone-aec-1528-super-clone/>>. Acesso em: 08/11/2016.

PORTER, B.W.; ZHU, Y.J.; WEBB, D.T.; CHRISTOPHER, D.A. Novel thigmomorphogenetic responses in *Carica papaya*: touch decreases anthocyanin levels and stimulates petiole cork outgrowths. **Annals of Botany**, v. 103, n.1, p. 847–858, 2009.

RITCHIE, G.A.; LANDIS, T.D.; DUMROESE, R.K.; HAASE, D.L. Assessing plant quality. In: LANDIS TD et al. **The container tree nursery manual: Seedling Processing, Storage, and Outplanting**. Washington, USDA Forest Service 7: 18-81, 2010.

SANCHEZ, F. Jasmonatos: compuestos de alto valor para la agricultura: actividad biológica y ruta biosintética del ácido jasmónico en plantas. **Revista ICIDCA**, La Habana, v. 42, n. 1-3, p. 51-59, 2008.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBREAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TELEWSKI, F.W. Is windswept tree growth negative Thigmotropism? **Plant Science**, n.184, p.20–28, 2012.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, 1992. 496p.

VOLKWEIS, R.C.; DRANSKI, J.A.L.; ORO, P.; MALAVASI, U.C.; MALAVASI, M.M. **Efeito da tigmomorfogênese na morfometria de mudas de *Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch.** *Ciência Florestal*, v. 24, n.2, p. 339- 342, 2014.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Parâmetros como incremento em diâmetro do coleto, potencial de regeneração da raiz e índices relativos de clorofila quantificados durante a rusticificação de mudas do clone 1528 de eucalipto no viveiro não foram preditivas de maior qualidade a campo após noventa dias do plantio.

Mudas do clone 1528 de eucalipto que apresentaram maior incremento em altura e número de folhas no viveiro (grupo I e II) obtiveram maior incremento em altura e diâmetro do coleto a campo aos noventa dias após o plantio.

Pulverização com $8,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido jasmônico aplicada em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) foi insuficiente para alterar as respostas fotossintéticas em relação ao tratamento controle.

Estímulos mecânicos induzidos promoveram incremento da capacidade fotossintética máxima e máxima assimilação de CO_2 . Logo, apresentaram maior taxa de transpiração e menor temperatura foliar em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*).

Estímulos mecânicos induzidos em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*), apesar de externar valores elevados de fotossíntese, resultaram em redução na eficiência do uso da água, ou seja, menor eficiência fotossintética quando comparado aos demais tratamentos.

Mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) submetidas a estímulos mecânicos e ácido jasmônico apresentam maior respiração sob baixo fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

Aplicações de ácido jasmônico até a dose $8,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ não foram capazes de aumentar o teor de lignina na raiz em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*).

Flexões caulinares e doses de $8,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido jasmônico aplicadas em mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) resultam em menor teor de lignina na raiz.

Teor de lignina no caule foi aumentado por aplicações das doses $6,0$ e $8,0 \mu\text{mol L}^{-1}$ de ácido jasmônico, bem como pela imposição de flexões, ao passo que resultaram em maior teor de lignina no caule em relação ao tratamento controle e menores doses de ácido jasmônico.

A aplicação da menor dose de ácido jasmônico ($2,0 \mu\text{mol L}^{-1}$) foi capaz de externar maiores médias em relação ao IAP e IDC após cento e cinquenta dias do plantio das mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*).

A análise de trilha externou maior correlação direta entre o teor de lignina do caule com o incremento médio em altura e diâmetro das mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) plantadas a campo.

7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

- Neste trabalho fica evidente que parâmetros como incremento em diâmetro do coleto, potencial de regeneração da raiz e índices relativos de clorofila quantificados durante a rustificação de mudas de eucalipto não implicaram necessariamente em mudas com maior desempenho a campo após o plantio, conforme indica a literatura especializada.

Portanto, para as condições estudadas, as mudas submetidas a estímulo mecânico através de flexões caulinares não externaram maior qualidade.

- Mudas de eucalipto que apresentaram maior incremento em altura e número de folhas após a rustificação obtiveram maior incremento em altura e diâmetro do coleto após o plantio campo. Demonstrando que, mudas com maior número de folhas são capazes de obterem maiores desempenho a campo após o plantio.
- Os resultados deste trabalho sugerem que estímulos mecânicos através de flexões caulinares e estímulo químico através do ácido jasmônico aplicados nas plantas não se assemelham em sua totalidade, portanto, o uso de um estímulo não substitui o outro nas condições estudadas.
- A quantidade aplicada de ácido jasmônico nas mudas de eucalipto não foi suficiente para que as mesmas manifestassem respostas fotossintéticas divergentes do tratamento controle. Esse resultado denota claramente a necessidade de mais estudos a fim de compreender melhor as respostas fisiológicas das plantas em função da indução de estresse, que se buscou com a aplicação do ácido jasmônico. Além disso, mais estudos são necessários, para melhor entender o papel deste possível indutor de resistência ao estresse no mecanismo de defesa e adaptação das plantas.
- Induzir mecanicamente as mudas de eucalipto com flexões caulinares possibilitaram maior incremento na taxa fotossintética e máxima assimilação de CO₂, porém resultaram na redução da eficiência do uso da água, ficando evidente que o incremento na capacidade fotossintética induzido pelo estímulo mecânico é dependente da disponibilidade de água no ambiente.
- As aplicações de flexões caulinares e ácido jasmônico foram capazes de alterar a concentração de lignina no caule, proporcionando maior rigidez flexural em mudas de eucalipto. Porém, essa menor flexura caulinar não se refletiu em maior qualidade da muda nas condições estudadas.
- Ao analisar os resultados deste trabalho fica notória a dificuldade que o setor florestal encontra em estabelecer uma técnica de rustificação padrão, passível de ser utilizada pelo viveirista na obtenção de mudas com maior qualidade.
- Se considerar “qualidade de mudas”, aquelas mudas que possuem resistência e capacidade de se adaptarem e sobreviverem às condições ambientais do sítio de plantio, pode-se dizer que mudas de eucalipto Cl 1528 (*E. urophylla* x *E. grandis*) externaram qualidade suficiente após a rustificação para serem transplantada a campo,

não ocorrendo perdas por mortalidade no campo até cento e cinquenta dias após o plantio. Porém, houve influência na qualidade, pois o crescimento das mudas foi afetado por parte dos tratamentos.