

Artigos

Características morfofisiológicas de espécies lenhosas rustificadas sob restrição hídrica

Morphophysiological characteristics of hardened woody species under water restriction

Hannah Braz¹ , Ana Carolina Pinguelli Ristau¹ ,
Maria Soraia Fortado Vera Cruz¹ , Deise Cadornin Vitto¹ ,
Ubirajara Contro Malavasi¹ , Marlene de Matos Malavasi¹ 

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR, Brasil

RESUMO

A aplicação de metil jasmonato e estímulos mecânicos parecem modular aspectos morfológicos que asseguram a sobrevivência de mudas de espécies lenhosas sob condições ambientais adversas. O estudo objetivou avaliar características morfofisiológicas de espécies lenhosas rustificadas com metil jasmonato e flexões caulinares sob restrição hídrica. Mudas de *Nectandra grandiflora* e *Inga sessilis* foram submetidas à rustificação com 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de metil jasmonato, 20 flexões diárias e o tratamento controle, durante oito semanas. Em seguida, foram transplantadas em vasos contendo areia e submetidas à restrição hídrica durante um mês, sendo avaliadas quinzenalmente atributos, como incremento em altura de planta (IH) e diâmetro do coleto (IDC), área foliar (AF), massa seca do caule (MSC), raiz (MSR) e folhas (MSF), potencial de regeneração de raízes (PRR) e perda de eletrólitos de raiz (PER). O delineamento utilizado foi inteiramente ao acaso, com três tratamentos e sete repetições de três mudas cada. Em *N. grandiflora*, as flexões caulinares externaram menor emissão de raízes, e quando submetidas à restrição hídrica, reduziram-se AF, MSF e IH, até o final do período avaliado. Para *I. sessilis*, no tempo 0 e ao 15º dia, as flexões caulinares externaram menor MSF em relação ao metil jasmonato, no entanto, ambos não diferiram do controle. Ao 15º dia, a menor AF foi observada nas mudas tratadas com flexões caulinares, bem como a menor PER. Ao 30º dia, ambos tratamentos rustificativos demonstram menor AF e MSF, e o metil jasmonato externou menor MSC e MSR em relação ao tratamento controle. Assim, o método mecânico não é recomendado para rustificação de mudas de *Nectandra grandiflora*, e ambos os métodos, químico – com metil jasmonato – e o mecânico – mediante flexões caulinares – não apresentaram resultados satisfatórios que justifiquem a sua utilização para rustificação de mudas de *Inga sessilis*.

Palavras-chave: Estímulo mecânico; Fitorregulador; Rustificação de mudas

ABSTRACT

The application of methyl jasmonate and mechanical stimuli seem to modulate morphological characteristics that are to ensure survival under adverse environmental conditions. The study aimed to evaluate morphological characteristics of woody species rustified with methyl jasmonate and stem bending under water restriction. Seedlings of *Inga sessilis* and *Nectandra grandiflora* were hardened with pulverization of 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of methyl jasmonate, 20 stem bending daily and the control treatment for eight weeks. Afterwards, they were transplanted in vessels containing sand and submitted to water restriction for a month, being evaluated biweekly parameters such as increments of height (IH), diameter (IDC), leaf area (AF), leaf dry mass (MSF), stem dry mass (MSC) and root dry mass (MSR), root regeneration potential (PRR), electrolytes at the root (PER). The design was completely randomized with seven replicates of three seedlings each. In *N. grandiflora*, stem bending showed lower root emission, and when submitted to water restriction reduced AF, MSF and IH, until the end of the evaluated period. For *I. sessilis*, at time 0 and at day 15, the stem bending expressed lower MSF in relation to jasmonate, however, both did not differ from the control. At 15th the smaller AF was observed in the seedlings treated with stem bending, as well as the lower PER tissue. At the 30th day, both hardening treatments showed lower AF and MSF, and the jasmonate showed lower MSC and MSR in relation to the control treatment. Thus, the mechanical method is not recommended for hardening of *Nectandra grandiflora*, and both methods, chemical – with methyl jasmonate – and the mechanic – through stem bending – did not present satisfactory results that justify its use to hardening of seedlings of *Inga sessilis*.

Keywords: Mechanical stimuli; Phyto regulator; Hardening of seedling

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos madeireiros e seus derivados, bem como nos programas de recuperação de áreas degradadas, evidencia a necessidade de geração de novas tecnologias de produção, com um padrão de qualidade adequado, objetivando o estabelecimento de florestas cada vez mais produtivas (ELOY *et al.*, 2013) e minimizando a oneração da atividade por eventuais replantios ou subutilização da área decorrente da mortalidade de mudas.

A definição de qualidade das mudas baseia-se nas características morfológicas e fisiológicas avaliadas na fase de viveiro. No entanto, em função das adversidades encontradas no campo, é fundamental correlacionar tais atributos com a sobrevivência e o crescimento inicial das mudas após o plantio.

O sucesso do estabelecimento do plantio florestal pode ser comprometido por vários fatores de natureza biótica ou abiótica. Nesse sentido, pesquisadores

evidenciaram que a rustificação de espécies florestais mediante estímulos químicos (com reguladores vegetais) e mecânicos (com flexões caulinares) são capazes de modular características morfofisiológicas do crescimento inicial e estas tendem a se relacionar positivamente com a sobrevivência no campo (CADORIN *et al.*, 2015; DRANSKI *et al.*, 2015; VOLKWEIS *et al.*, 2014).

O ácido jasmônico e seus derivados são reguladores endógenos do crescimento vegetal, oriundos do ácido linolênico, que ocorrem em várias espécies vegetais. São atuantes no mecanismo de defesa, agindo como sinalizadores de estresse, além de estarem relacionados à senescência de plantas, abscisão foliar e desenvolvimento de embriões (COLLI, 2012).

Além disso, diversos fatores naturais acarretam perturbações mecânicas nas plantas, como vento; impacto ou acúmulo da gota da chuva e granizo; declive; obstrução do solo; passagem de animais; sobreposição de galhos, entre outros. Alterações nos padrões de crescimento resultantes destes estímulos mecânicos foram definidos por Jaffe (1973) como tigmomorfogênese.

Estudos relacionando as alterações bioquímicas, fisiológicas, genéticas e morfológicas decorrentes de estímulos mecânicos, com os efeitos observados naturalmente, são desenvolvidos em condições controladas e simulam forças do vento por meio de atrito, vibração, movimentação ou flexão caulinar (DRANSKI *et al.*, 2015).

Popularmente conhecido como canela-amarela, *Nectandra grandiflora* Nees é espécie endêmica do Brasil, com predominância nos biomas Mata Atlântica e Cerrado (LORENZI, 2009). Ainda que os estudos acerca das propriedades medicinais e do óleo essencial das folhas sejam escassos, indicam potencial antimicrobiano, antirreumática, diurético e digestivo (CUNICO *et al.*, 2010).

Além disso, tal espécie destaca-se pelo potencial apícola das flores, que fornecem pólen e néctar; pelo potencial energético e madeireiro; além de, devido ao formato ornamental da copa, ser destinada ao paisagismo (CARVALHO, 2010). Segundo este autor, *N. grandiflora* ainda é conhecida especialmente por ser indicada para plantios com finalidade ambiental, pois seus frutos são atrativos à fauna.

Inga sessilis (Vell.) Mart, também conhecida como ingá-macaco, caracteriza-se como árvore perenifólia, podendo atingir até 25m de altura e 60 cm de DAP. Espécie descrita como colonizadora de clareiras naturais, apresenta grande plasticidade ambiental e ecológica. A madeira pode ser empregada em construção civil e, devido ao seu poder calorífero, ser utilizada como carvão e lenha (CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015).

Trata-se de uma importante espécie para recuperação de áreas degradadas, especialmente matas ciliares, pois suas flores nectaríferas são atrativas a formigas e vespas, e os frutos servem de alimento à fauna silvestre (BACKES; YANG, 2009).

Diante do exposto, a pesquisa objetivou avaliar as características morfofisiológicas de mudas de *N. grandiflora* e *I. sessilis* rustificadas com metil jasmonato e flexões caulinares, submetidas ao déficit hídrico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Descrição das Espécies

Mudas de *Nectandra grandiflora* e *Inga sessilis* foram obtidas em um viveiro comercial localizado em Foz do Iguaçu - PR (altitude 174 m, latitude 25° 32' 49" S, e longitude 54° 35' 18" O).

As mudas foram produzidas em recipientes do tipo tubetes de polipropileno, com 10 cm³ de capacidade preenchidos com substrato comercial com incorporação de fertilizante de liberação lenta (15N-8P2O5-12K₂O) na proporção de 1,44 kg.m⁻³ de substrato.

A característica morfométrica observada inicialmente baseou-se em parâmetros como altura (H) e diâmetro do coleto (DC) em média de 19,03 cm, 3,61 mm e 16,07 cm, 3,04 mm, respectivamente, e foram acomodadas em bandejas suspensas, com capacidade de 96 tubetes.

Durante 30 dias foram aclimatadas ao local do experimento, sob irrigação diária e recebendo fertilização semanal de 2,0 ml de solução nutritiva descrita na Tabela 1. Posteriormente, deu-se início à imposição dos estímulos químico e mecânico.

Tabela 1 – Composição da solução nutritiva para adubação das mudas

Solução nutritiva					
KH_2PO_4	MgSO_4	KNO_3	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Micro completa	Fe-EDTA
MI L-1					
1	2	5	5	1	1

Fonte: Autores (2019)

2.2 Período e Localização do Ensaio

O ensaio ocorreu no período de maio a setembro de 2018 em casa de vegetação recoberta com filme de polietileno de baixa densidade e anti-UV de 150 micra de espessura, resultando em 20% de sombreamento, conforme a informação do fabricante. O ambiente protegido, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, PR, está localizado em área com altitude média de 420 m, latitude de 24° 33' 40" S e longitude de 54° 04' 12" O. O clima caracteriza-se, segundo Köppen, como Cfa, subtropical mesotérmico úmido, com verões quentes, geadas pouco frequentes e com precipitação pluviométrica anual entre 1.600 a 1.800 mm (IAPAR, 2018).

As características morfométricas foram quantificadas pela diferença antes e depois da imposição dos tratamentos, determinando os incrementos em altura e diâmetro do coleto com auxílio de régua graduada e paquímetro digital.

2.3 Tratamentos

- Controle (Cont): água deionizada + tenso-ativo não iônico aplicados semanalmente;
- Jasmonato (Jas): Pulverização com 50 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ de metil jasmonato + água deionizada + tenso-ativo não iônico aplicados semanalmente;

- Tigmomorfogênese (Tig): Vinte flexões caulinares diárias, seguindo a metodologia de Volkweis *et al.* (2014), com auxílio de uma estrutura construída a partir de adaptações de um modelo proposto por Jacobs e Landis (2009);

- O tenso-ativo não iônico utilizado foi Agral - Syngenta®, seguindo as recomendações de dose do fabricante.

A submissão aos tratamentos perdurou por oito semanas, de acordo com a metodologia proposta por Cadorin *et al.* (2015).

2.4 Avaliações e Restrição Hídrica

Após o período de submissão aos tratamentos, calcularam-se os incrementos da morfometria e o Potencial de Regeneração de Raíz, conforme Landis *et al.* (2010).

A restrição hídrica deu-se a partir do transplante para vasos de plástico, volume de 5 L, contendo areia seca peneirada em malha de 2 mm, em ambiente protegido com irrigação suspensa, onde permaneceram por um mês. Durante este período, foram realizadas avaliações quinzenais (T0 = 0 dias de restrição hídrica; T15 = ao 15º dia e 30º dia de restrição hídrica), as quais basearam-se em:

- Determinação das características morfométricas, conforme descrito anteriormente;

- Massa seca dos tecidos radiculares, caule e folhas, conforme a norma da ABNT NBR 14929 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003);

- Área foliar, com auxílio do medidor portátil modelo LI-3000A, Li-Cor, USA;

- Teste de extravasamento de íons dos tecidos radiculares, conforme Wilner (1955).

2.5 Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, compreendendo três tratamentos (controle, metil jasmonato e flexões caulinares), com sete repetição de três unidades experimentais (mudas). As espécies foram analisadas separadamente.

Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett, e em seguida submetidos à análise de variância. Quando as médias dos tratamentos foram significativamente diferentes ($P < 0,05$), utilizou-se o teste de Tukey com auxílio do software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 *N. grandiflora*

No início do período de deficiência hídrica (0 dias), a análise de variância demonstra que não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos para os atributos: incremento em altura (média de 1,37 cm), incremento em diâmetro (0,46 mm), massa seca do caule (1,94 g/muda), massa seca de raiz (4,26 g/muda) e perda de eletrólitos de raiz (32,8%).

Verificou-se que plantas estimuladas mecanicamente externaram menor emissão de novas raízes, e a pulverização com o jasmonato não diferiu do tratamento controle (Tabela 2). Contudo, os resultados encontrados na bibliografia não corroboram o presente estudo.

As flexões caulinares externaram médias expressivamente menor (70,6%) quanto à área foliar em relação ao controle (Tabela 2), que por sua vez se demonstrou semelhante estatisticamente ao tratamento com o metil jasmonato. Desse modo, esses resultados foram refletidos de forma equivalente na análise de massa seca das folhas no momento da suspensão hídrica.

Os testes realizados ao 15º dia de restrição hídrica não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$) para os atributos: massa seca do caule (média de 0,55 g), massa seca de raiz (0,96 g), perda de eletrólitos do tecido radicular (49,74%).

Tabela 2 – Potencial de regeneração da raíz (PRR), área foliar (AF) e massa seca de folhas (MSF), em mudas de *N. grandiflora* submetidas a procedimentos rustificativos sob restrição hídrica

Tratamento	0 dias		
	PRR (g/planta)	AF (cm ² /planta)	MSF (g/planta)
Tig	0,22 b	3,24 b	0,22 b
Com	0,07 a	11,04 a	1,00 a
Jas	0,09 a	15,21 a	1,18 a
CV (%)	24,79	33,05	31,95

Fonte: Autores (2019)

Em que: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares); cont = controle; jas = pulverização com metil jasmonato.

Com relação ao crescimento (Tabela 3), os procedimentos rustificativos não diferiram estatisticamente entre o tratamento controle, no entanto, as flexões caulinares expressaram menor incremento na altura das plantas em relação às mudas pulverizadas com fito regulador. Para o incremento no diâmetro do coleto, os menores valores verificados foram tanto nas mudas flexionadas, quanto naquelas que receberam o metil jasmonato em relação ao controle, contudo, os tratamentos rustificativos não distinguiram entre si.

Semelhante ao observado ao momento da suspensão hídrica (Tabela 2), ao 15º dia, as mudas que receberam os estímulos mecânicos mantiveram médias menores em relação aos demais, tanto na análise de área foliar quanto para massa seca de folhas (Tabela 3), que conferiu às mudas uma redução de 58,9 e 63,6%, em relação ao tratamento controle, respectivamente. Ainda, a aplicação com o jasmonato não demonstrou diferenças do tratamento controle.

Tabela 3 – Incremento em altura de planta (IH) e em diâmetro do coleto (IDC), área foliar (AF), massa seca de folhas (MSF), em mudas de *N. grandiflora* submetidas a procedimentos rustificativos sob déficit hídrico

Tratamento	15 dias			
	IH	IDC	AF	MSF
	(cm/planta)	(mm/planta)	(cm ² /planta)	(g/planta)
Tig	2,29 b	0,30 b	7,78 b	0,12 b
Cont	3,52 ab	0,55 a	16,87 a	0,33 a
Jas	4,01 a	0,31 b	18,93 a	0,32 a
CV (%)	30,61	29,07	33,13	27,61

Fonte: Autores (2019)

Em que: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares); cont = controle; jas = pulverização com metil jasmonato.

O efeito da redução no incremento de altura acarretado pelas flexões caulinares, observado ao 15º dia (Tabela 3), permaneceu na avaliação realizada ao 30º, diminuindo em 37,4% em relação às mudas controle que, por sua vez, não diferiu do jasmonato, como aponta a Tabela 4. No entanto, a diferença no incremento em diâmetro de coleto verificado anteriormente igualou-se ao 30º dia, haja visto que os tratamentos não apresentaram variações para este atributo.

A redução proeminente acerca do tamanho da área foliar, bem como a massa seca de folhas, atribuídas às flexões caulinares, considerando desde o início da suspensão hídrica, permaneceu até o 30º dia. Dessa forma, é possível afirmar que este procedimento, para a espécie referida, favoreceu a abscisão das folhas.

A pulverização com metil jasmonato externou maior massa seca do caule (Tabela 4) em relação ao tratamento tigmomorfogênese, contudo ambos não diferiram do tratamento controle.

Tabela 4 – Incremento em altura da planta (IH), massa seca de folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca do coleto (MSC) em mudas de *N. grandiflora* submetidas a procedimentos rustificativos, sob restrição hídrica

Tratamentos	30 dias			
	IH (cm/planta)	MSF (g/planta)	MSC (g/planta)	PER (%)
Tig	2,10 b	0,18 b	0,46 b	52,08 b
Cont	3,34 a	0,29 a	0,47 ab	94,57 a
Jas	3,72 a	0,25 a	0,55 a	89,34 a
CV (%)	23,97	21,08	12,36	25,9

Fonte: Autores (2019)

Em que: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares); cont = controle; jas = pulverização com metil jasmonato.

3.2 *I. sessilis*

No final do período de imposição dos tratamentos, mudas estimuladas por flexões caulinares apresentaram menor massa seca de folhas em relação ao controle. A aplicação do metil jasmonato não diferenciou dos demais tratamentos (Tabela 5). O impacto físico da estrutura metálica sobre as mudas de *I. sessilis* favoreceu a abscisão foliar, logo após o término da submissão aos tratamentos. Essa relação é observada em todos os períodos das avaliações, refletindo nos menores resultados para área foliar e massa seca de folhas (Tabela 5 e 6).

Os estímulos mecânicos conferiram às mudas de *I. sessilis* perda de eletrólitos radicular significativamente menor em relação ao tratamento controle e metil jasmonato, que por sua vez não diferiram entre si. Esta análise (Tabela 5) pode se considerar um pressuposto que indica a resiliência sob eventual estresse hídrico, fundamentado pela maior integridade da membrana que resultará num menor extravasamento de íons.

Tabela 5 – Massa seca de folhas (MSF), Área foliar (AF) e Perda de eletrólitos de raíz (PER) em mudas de *I. sessilis* submetidas a procedimentos rustificativos, sob restrição hídrica

Tratamento	0 dias		15 dias	
	MSF (g/planta)	AF (cm ² /planta)	MSF (g/planta)	MSR (g/planta)
Tig	3,74 b	68,22 b	0,95 b	1,45 ab
Cont	7,01 a	111,01	1,65 a	1,81 a
Jas	6,19 ab	118,78 ab	1,40 ab	1,22 b
CV (%)	31,93	37,11	32,07	19,45

Fonte: Autores (2019)

Em que: Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares); Cont = Controle; Jas = aplicação de metil jasmonato.

Ao 30º dia de suspensão hídrica, ambos tratamentos rustificativos apresentaram menor área foliar e massa seca de folhas, em relação ao tratamento controle, porém não diferiram entre si (Tabela 5).

Tabela 6 – Área foliar (AF), massa seca do coleto (MSC), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de raíz (MSR) em mudas de *I. sessilis* submetidas a procedimentos rustificativos, sob restrição hídrica

Tratamentos	30 dias		
	AF (cm ² /muda)	MSC (g/planta)	MSF (g/planta)
Tig	66,32 b	1,26 a	1,00 b
Cont	131,87 a	1,48 a	1,94 a
Jas	91,14 b	1,03 b	1,28 b
CV (%)	21,65	21,79	22,05

Fonte: Autores (2019)

Em que: Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; Tig = tigmomorfogênese (flexões caulinares); Cont = Controle; Jas = aplicação de metil jasmonato.

O mecanismo de resistência ao estímulo externo, dado pela ação da força de ventos, chuva e declive, sobre o desenvolvimento do sistema radicular, possivelmente se dá pelo direcionamento da produção de raízes secundárias, promovendo a fixação e a estabilidade da muda (DRANSKI *et al.*, 2015). A capacidade da muda no desenvolvimento e na emissão de novas raízes pode ser estimada pelo potencial de regeneração, considerado um preditivo de qualidade que determina o desempenho no campo.

Novaes *et al.* (2002), ao associar os resultados de PRR com a avaliação a campo, observaram que mudas com maior capacidade de regenerar suas raízes apresentaram também maior sobrevivência, reiterando a importância deste teste para prognosticar o estabelecimento e o crescimento após o plantio.

Lima *et al.* (2014) verificaram que as flexões caulinares estimularam a produção de novas raízes em eucalipto. Um estudo desenvolvido por Fraga (2017) também demonstrou um aumento médio de sete vezes no potencial de regeneração de raiz em relação ao tratamento controle, independentemente do método rustificativo aplicado. Ainda, esta foi a característica com maior influência sob o incremento em altura e na sobrevivência de *Tabebuia roseo-alba*.

Colli (2012) relata que as alterações morfológicas em decorrência da ação do etileno são respaldadas pela redução no transporte de auxinas, e reorganização de microtúbulos e microfibrilas da celulose da parede celular para uma posição longitudinal, de modo a reduzir a altura e aumentar a espessura do caule.

A biossíntese de etileno pode ser fomentada pela pulverização do jasmonato, em virtude da sintase ou oxidase do 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC). A ACC sintase é a enzima catalizadora da conversão da S-adenosilmetionina (AdoMet), a ACC. A ACC oxidase catalisa a conversão do ACC em etileno na última etapa de síntese do hormônio (TAIZ; ZEIGER, 2013; VIEIRA *et al.*, 2010).

A pulverização de metil jasmonato e as perturbações mecânicas têm se demonstrado eficientes ao promover alteração no crescimento primário e

secundário de diversas espécies, de modo a reduzir a altura de planta e aumentar o diâmetro do coleto (CADORIN *et al.*, 2015; MOREL *et al.*, 2012; VOLKWEIS *et al.*, 2014). Entretanto, esse efeito não foi observado no presente estudo, presumindo-se que o período de rustificação e/ou a intensidade de flexões caulinares e/ou concentração do hormônio não foram suficientes para induzir modificações no crescimento morfológico de *N. grandiflora*.

A área foliar representa o aparato de interceptação luminosa para a fotossíntese e é uma característica utilizada em análises do crescimento vegetal. A redução desta variável, bem como a massa seca de folhas, denota que os estímulos mecânicos, em forma de atrito ou ferimento, possivelmente induziram a síntese de etileno, o qual age como principal regulador do processo de abscisão foliar (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Nesse âmbito, Lima *et al.* (2014) correlacionaram maior número de folhas ao maior incremento na altura e diâmetro, indicando que mudas que apresentam maior área fotossintética obtêm maior desenvolvimento e desempenho a campo. Contudo, para *I. sessilis*, não foi observada diferenças significativas nos parâmetros incremento em altura e diâmetro durante o período estudado.

Muitos fatores podem promover modificações nas respostas às aplicações de reguladores vegetais, como a região de cultivo, a espécie utilizada, o estágio fenológico da planta, tipo de equipamento, métodos de aplicação e condição ambiental. Por tratar-se de produtos que agem em concentrações muito baixas, qualquer alteração pode modificar o efeito esperado (CASTRO; VIEIRA, 2003).

As respostas relacionadas à aplicação do jasmonato são similares aos do ácido abscísico e etileno, atuando na senescência, abscisão foliar, biossíntese do etileno e fechamento estomático, promovendo a tuberização e inibindo a germinação de sementes (COSTA, 2010). Presume-se que a diferença entre os resultados reportados na literatura e o exposto pode ser atribuída à concentração utilizada, a qual não foi suficiente para promover efeitos expressivos para esta espécie, visto que não foram observadas alterações nas análises de folha, raiz, altura e diâmetro do coleto logo após a imposição dos tratamentos.

É consolidado na literatura que as alterações fisiológicas e morfológicas estimuladas pelas ações de reguladores vegetais como metil jasmonato e flexões caulinares induzem a rusticidade. Porém, as diferentes respostas reportadas e atribuídas a estes procedimentos estão relacionadas com a espécie e com o estágio fenológico, tornando necessário investigar se de fato o mesmo efeito é observado em campo.

Presume-se que as flexões caulinares induziram estresse de modo a favorecer a abscisão foliar e a redução da área foliar, ou seja, a área fotossintética da muda. Isso possivelmente contribuiu para o menor crescimento posterior, expresso especialmente pelo menor incremento em diâmetro do coleto e menor massa seca de folhas das mudas submetidas a tal condição, refletindo em menores caules.

4 CONCLUSÕES

As flexões caulinares externaram menor área foliar, massa seca de folhas e incremento em altura e potencial de regeneração de raízes em mudas de *N. grandiflora*, ao final do período de déficit hídrico. Assim, o método mecânico não é recomendado para a rustificação de mudas de *N. grandiflora*.

No tocante a *I. sessilis*, os tratamentos rustificativos químico e mecânico expressaram menor área foliar e massa seca de folhas, menor massa seca do caule e de raiz, após o período de restrição hídrica. Portanto, o método químico com metil jasmonato e o mecânico mediante flexões caulinares não são recomendados para rustificação de mudas de *I. sessilis*.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929: Madeira: determinação da umidade da madeira**. Rio de Janeiro, 2003.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul: Guia de identificação e interesse ecológico**, Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2 ed, 2009, 332p.

CADORIN, D. A.; MALAVASI, U. C.; 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 FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R. **Guia de árvores com valor econômico**. São Paulo: Agroicone, Iniciativa INPUT, 139p. 2015.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**: Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2010, 644p.

CASTRO, P. R. E.; VIEIRA, E. L. Ação de bioestimulante na cultura do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, V. **Feijão irrigado**: tecnologia e produtividade. Piracicaba: ESALQ, p. 73-100, 2003.

COLLI, S. Outros Reguladores: brassinosteróides, poliaminas, ácidos jasmônico e salicílico. In: KERBAUY, G. B (ed). **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012, p. 337-338.

COSTA, N. de L. **Bioestimulante como fator de produtividade da cana-de-açúcar**. 2010. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/878849>. Acesso em: 03 jun. 2019

CUNICO, M.M.; VIEIRA, G., LIMA, C.P.; CÔCCO, L.C.; YAMAMOTO, C.I.; AUER, C.G.; SANQUETTA, C.R. Estudo preliminar antimicrobiano e fitoquímico do óleo essencial foliar da *Nectandra grandiflora* Nees (canela amarela). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2010, Curitiba. **Anais**. Curitiba: UFPR, 2010.

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

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHIMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L. ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de eucalyptus grandis utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

FRAGA, D. A. C. **Rustificação de mudas de *Cordia trichotoma* e *Tabebuia roseo-alba* por jasmonatos e flexões caulinares**. 2017. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2017.

IAPAR. INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2018.

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, p.217-228, 2009.

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.** Washington: Department of Agriculture Forest Service, v. 7. 2010.

LIMA, P. R.; MALAVASI, U. C.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M.; BORSOI, A.; ECCO, M. Estímulos químico e mecânico na rustificação de mudas de eucalipto. **Revista Ceres**, v. 65, n. 5, p. 424-432, 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 2. ed. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 2009.

MESQUITA, F. O.; NUNES, J. C.; LIMA NETO, A. J.; SOUTO, A. G. L.; BATISTA, R. O.; CAVALCANTE, L. F. Formação de mudas de nim sob salinidade de água, biofertilizante e drenagem do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 193-203, abr-jun, 2015.

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.

NOVAES, A. B.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D.; LELES, P. S. S. Avaliação do potencial de regeneração de raízes de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em diferentes tipos de recipientes, e o seu desempenho a campo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p.675-681, 2002.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 918p.

VIEIRA, E. L; SOUZA, G. L; SANTOS, A. R; SILVA, J. S. **Manual de fisiologia vegetal.** São Luis: EDUFMA, 2010, 230p.

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.

WILNER, J. Results of laboratory tests for winter hardiness of woody plants by electrolyte methods. **Proceedings American Horticultura Science**, v.66, p.93-99, 195.

Contribuição de Autoria

1 Hannah Braz

Engenheira Agrônoma, Ma.

<https://orcid.org/0000-0001-7270-8989> • hannahbraz@hotmail.com

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Metodologia, Visualização de dados (tabelas), Escrita – primeira redação

2 Ana Carolina Pinguelli Ristau

Engenheira Agrônoma, Ma., Doutoranda

<https://orcid.org/0000-0002-6441-1816> • ana_ristau@hotmail.com

Contribuição: Curadoria de dados, Metodologia, Visualização de dados (tabelas)

3 Maria Soraia Fortado Vera Cruz

Engenheira Agrônoma, Ma., Doutoranda

<https://orcid.org/0000-0003-2039-4644> • soraiaf12@hotmail.com

Contribuição: Curadoria de dados, Metodologia, Visualização de dados (tabelas)

4 Deise Cadorin Vitto

Engenheira Agrônoma, Ma., Doutoranda

<https://orcid.org/0000-0003-1671-4799> • deisevitto@hotmail.com

Contribuição: Curadoria de dados, Metodologia, Visualização de dados (tabelas)

5 Ubirajara Contro Malavasi

Engenheiro Florestal, PhD, Professor

<https://orcid.org/0000-0003-4300-4338> • biramalavasi@yahoo.com.br

Contribuição: Análise Formal, Administração do projeto, Supervisão, Validação, Escrita – revisão e edição

6 Marlene de Matos Malavasi

Engenheira Agrônoma, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0002-6726-6490> • marlenemalavasi@yahoo.com.br

Contribuição: Análise Formal, Administração do projeto, Supervisão, Validação, Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

Braz, H.; Ristau, A. C. P.; Cruz, M. S. F. V.; Vitto, D. C.; Malavasi, U. C.; Malavasi, M. M. Características morfofisiológicas de espécies lenhosas rustificadas sob restrição hídrica. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 1790-1806, 2022. DOI 10.5902/1980509841670. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509841670>.