

# Alterações morfométricas em mudas de eucalipto causadas pela frequência de flexões caulinares

## *Morphometry in eucalyptus seedlings as result of stem bending frequency*

Cátia Raquel Volkweis<sup>1</sup>  
João Alexandre Lopes Dranski<sup>2</sup>  
Maria Eunice Lima Rocha<sup>3</sup>  
Ubirajara Contro Malavasi<sup>4</sup>  
Marlene de Matos Malavasi<sup>5</sup>

## Resumo

Técnicas de rustificação caracterizam-se por imporem estresse controlado em mudas de espécies lenhosas com a finalidade de aumentar a sobrevivência pós plantio que induzem a alteração no crescimento vegetal. O ensaio objetivou avaliar as alterações morfométricas em mudas de eucalipto submetidas a flexões caulinares ao final do período de produção. O ensaio foi conduzido em ambiente protegido com 50% de sombreamento em delineamento inteiramente ao acaso em arranjo fatorial formado por mudas de *Eucalyptus pellita* F. Muell e *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e cinco frequências de flexões caulinares (0, 5, 10, 20 e 40 flexões) por trinta dias em quatro repetições de dez mudas. Ao final da imposição dos tratamentos, quantificou-se a altura, o diâmetro do coleto, a massa seca aérea e radicular, e o extravasamento de eletrólitos de tecidos radiculares. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando da existência de diferenças, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 95% de probabilidade. Mudas de *E. pellita* externaram redução no crescimento primário gerando mudas com qualidade inferior enquanto mudas de *E. grandis* tiveram sua qualidade aumentada com 20 flexões diárias.

**Palavras-chave:** Estímulo mecânico; qualidade de mudas; integridade da membrana celular.

## Abstract

Hardening techniques are characterized by imposing controlled stress on seedlings of wood plant species in order to increase post-plantation survival which induces changes in plant growth. The experiment had as objective to evaluate morphometric changes of eucalyptus seedlings as a result of stem bendings applied during production. The experiment was conducted under a structure with 50% shading in a completely

- 
- 1 Mestra em Agronomia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE); E-mail: ctvolkweis@hotmail.com
  - 2 Biólogo, Dr., Professor da Faculdade Educacional de Medianeira (UDC FACEMED), Rua Rio Branco, 1820, CEP 85884-000, Medianeira (PR), Brasil. E-mail: joaodranski@yahoo.com.br
  - 3 Doutoranda em Agronomia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE); E-mail: eunice\_agronomia@yahoo.com.br
  - 4 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon (PR), Brasil. E-mail: biramalavasi@yahoo.com.br
  - 5 Engenheira Agrônoma, Dra., Professora Associada do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Rua Pernambuco, 1777, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon (PR), Brasil. E-mail: marlenemalavasi@yahoo.com.br

Recebido para publicação em 25/05/2019 e aceito em 02/06/2021

randomized design in a factorial arrangement formed by two species (*Eucalyptus pellita* F. Muell and *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) and five frequencies of stem bending (0, 5, 10, 20 and 40 bends) for thirty days in four replicates of ten seedlings. After the experiment, we measured seedling height and stem diameter as well as above- and belowground dry biomass and electrolyte conductivity from root tissues. The data was submitted to analysis of variance and in case of differences, the average treatments were compared with Tukey test at 95% of probability. Seedlings of *E. pellita* showed a reduction in primary growth resulting in low-quality seedlings while seedlings of *E. grandis* had their quality increased with 20 daily bends.

**Keywords:** Mechanical stimuli; seedling quality; cell membrane integrity.

## Introdução

O gênero *Eucalyptus* é o mais plantado no Brasil devido às características silviculturais desejáveis de crescimento rápido, adaptabilidade ecológica, e aplicabilidade da madeira para diversos fins, aliadas à grande variabilidade genética e à facilidade de aquisição de sementes e mudas clonais (XAVIER; SILVA, 2010).

A produção de mudas do *Eucalyptus* sp deve ser considerada como atividade estratégica do setor florestal brasileiro (LEITE et al., 2005) o que permite maior controle sobre a qualidade do material propagado, com efeitos diretos na sobrevivência das mudas a campo (GOMES et al., 2002; ORO et al., 2016).

O investimento econômico de um empreendimento florestal é de grande risco (SOUZA et al., 2004) o que justifica o rigor na produção de mudas com elevada qualidade (LIMA et al., 2014), assim como, com os custos no controle de qualidade do processo de produção no viveiro. Problemas na produção de mudas são as principais causas da mortalidade pós-plantio (DIAS et al., 2011).

As alterações morfológicas em mudas de espécies lenhosas induzidas pela imposição de perturbação mecânica ao final do ciclo de produção compreendem práticas que objetivam adaptar as mudas aos estresses provocados pelo transporte, plantio e ambiente pós-plantio. Estímulos mecânicos resultantes de toques, flexões, ou vibrações resultam em alterações morfológicas de plantas terrestres (GARDINER et al., 2016). Na natureza, esses estímulos resultam da ação do vento, do atrito com animais, ou ainda da fricção com outras plantas (BADEL et al., 2015).

A indução de maior rusticidade em mudas de espécies lenhosas por meio de estímulos mecânicos objetiva alterar os padrões de crescimento (SAMPATHKUMAR et al., 2014). Algumas dessas alterações podem causar tanto o fortalecimento como o relaxamento do tecido perturbado, os quais auxiliam a resistir aos estímulos mecânicos (TELEWSKI, 2012).

Adicionalmente, alterações no conteúdo de clorofila, nos níveis hormonais, no tempo de floração, na senescência e na abertura estomática (ONODA; ANTEN, 2011), na biossíntese de lignina (DRANSKI et al., 2015), na alocação de biomassa e carbono entre órgãos (COLEMAN et al., 2008; RAMOS et al., 2012), na morfologia dos limbos foliares (WU et al., 2016), na redução do alongamento do caule e uma estimulação do crescimento radial são reportadas como respostas fisiológicas comumente observadas em vegetais expostos a perturbação mecânica (ISHIHARA et al., 2017).

O estímulo mecânico aplicado ao final do ciclo de produção de mudas de *Pinus taeda* L. induziu o incremento no teor de lignina nos tecidos radiculares e aéreos, que correlacionaram

positivamente com a sobrevivência, e nas taxas de crescimento em altura e no volume do caule após 90 dias no plantio, respectivamente (DRANSKI et al., 2015).

A aplicação da frequência de 20 flexões caulinares por 8 semanas promoveu o aumento de até 5 vezes na formação de novas raízes em mudas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud que resultaram no maior desempenho a campo, medido pelas taxas de incremento em altura e diâmetro após 180 dias do plantio (CADORIN et al., 2015). Portanto alterações na morfo-fisiologia das mudas induzidas no viveiro podem contribuir para a obtenção de mudas com maior qualidade.

O ensaio objetivou quantificar os efeitos da frequência de flexões caulinares na morfometria em mudas de *Eucalyptus pellita* F. Muell e *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.

## Material e Métodos

O ensaio foi conduzido de abril a agosto em ambiente protegido com 50% de sombreamento localizado a 24° 33' 24" S and 54° 05' 67" W com altitude de 420 m. O clima local é caracterizado como subtropical úmido (Cfa), com precipitação média anual de 1.500 mm.

Mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita* foram produzidas via semeadura direta em tubetes de 120 cm<sup>3</sup> mantidos em bandejas plásticas com capacidade para 96 tubetes, preenchidos com substrato comercial fertilizado com 4 kg.m<sup>-3</sup> da formulação N<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (10-10-10) incorporado ao substrato. As mudas receberam irrigação diária até saturação antes e durante o ensaio. As sementes foram adquiridas junto ao Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF), provenientes de uma área de produção de sementes, com geração F1 de melhoramento.

As flexões caulinares foram efetuadas diariamente ao final do período vespertino, por trinta dias, em mudas que apresentaram em média 25,0 cm de altura e 3,0 mm de diâmetro do coleto, por meio da passagem em sentido único de uma estrutura composta por uma barra de cano tipo PVC com 25 mm de diâmetro, disposta horizontalmente e fixada em uma estrutura metálica com rolamentos, que possibilitou o deslocamento da barra sobre a bancada (VOLKWEIS et al., 2014).

As mudas foram flexionadas verticalmente não mais do que 45°, mediante a passagem da barra no terço superior, colidindo nas mudas a 5,0 cm da gema apical para cada espécie, com movimentos realizados a uma velocidade média de 0,10 m.seg<sup>-1</sup>.

Ao final do período de imposição dos tratamentos, os incrementos na altura, no diâmetro do coleto, bem como a massa seca aérea e radicular pelo método de secagem em estufa a 65 °C até massa constante foram quantificados.

As variáveis retro descritas foram posteriormente utilizadas para o cálculo da taxa de crescimento absoluto (mg.dia<sup>-1</sup>) e da taxa de crescimento absoluto do sistema radicular (mg.dia<sup>-1</sup>) em seis mudas por repetição de ambas as espécies. Adicionalmente, quantificou-se a integridade de membranas de tecidos radiculares em quatro repetições de seis mudas por tratamento.

O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso em arranjo fatorial formado por mudas de duas espécies (*Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus grandis*) e cinco frequências de flexões caulinares (0, 5, 10, 20 e 40) em quatro repetições de dez mudas.

Os dados foram averiguados quanto à normalidade da distribuição dos resíduos pelo teste de Lilliefors, de homogeneidade das variâncias pelo teste de Cochran e submetidos à análise de variância com o *Software* SAEG ver. 9.1. Quando da existência de diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

## Resultados e Discussão

A imposição de todas as frequências de flexões caulinares em mudas de *E. pellita* e *E. grandis* reduziram a taxa de crescimento em altura (Figura 1a). Em mudas de *E. pellita* a taxa de redução no incremento não diferiu entre as diferentes frequências de flexões caulinares, com redução média de 55% em relação ao tratamento controle, ao passo em mudas de *E. grandis* a redução foi gradual com o aumento da frequência de flexões, com uma redução de 44%.

A taxa de incremento no diâmetro no coleto aumentou com as diferentes frequências de flexões caulinares em mudas de *E. pellita* (Figura 1b). A máxima resposta foi alcançada com a frequência de 10 flexões diárias, resultando em um aumento de 100% sobre o tratamento controle. Em mudas de *E. grandis*, o aumento no diâmetro respondeu com a imposição de até 20 flexões diárias, cuja taxa de incremento sobre o controle foi de 67%.

As alterações na membrana celular vegetal em resposta a estímulos mecânicos resultam de sinais emitidos por proteínas receptoras que induzem o influxo de  $Ca^{2+}$  apoplástico, a produção de formas reativas de oxigênio (ROS) e a expressão gênica para síntese de mensageiros secundários como a Ca-calmudolina, induzindo a síntese de enzimas-chave para hormônios e outros mensageiros secundários que promoverão alterações bioquímicas e morfofisiológicas em resposta a perturbação mecânica (COUTAND; MITCHELL, 2016; KURUSU et al., 2013).

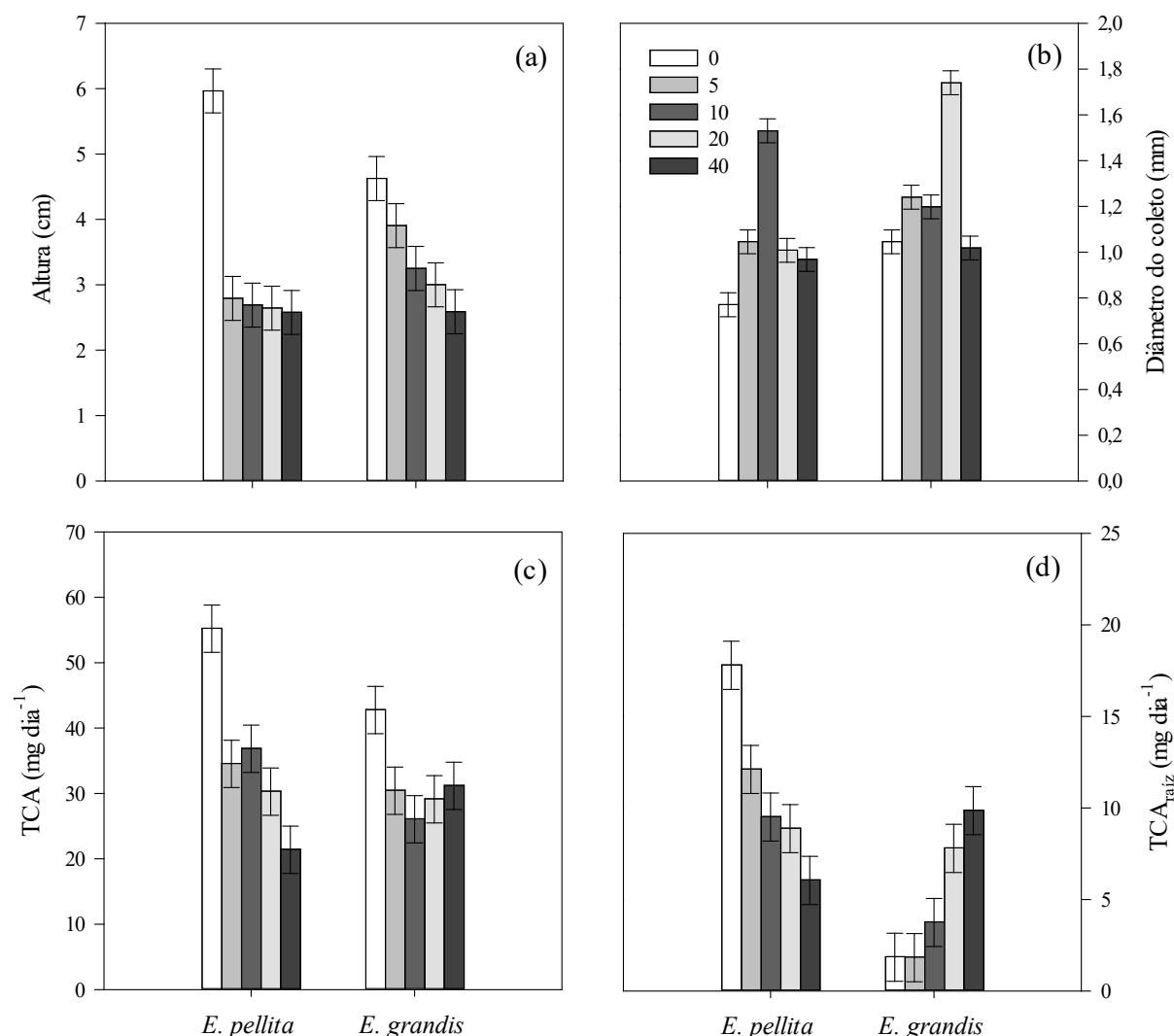
Perturbações mecânicas no caule podem estimular a produção de etileno e alterar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, modificando sua estatura e forma. A regulação transcrição gênica do ácido 1 – aminociclopropano 1 – carboxílico sintase (ACC sintase) é regulada por estímulos mecânicos. Essa enzima é responsável pela conversão do S – adenosil – metionina (AdoMet) resultante do ciclo de Yang em ácido 1 – aminociclopropano 1 – carboxílico (COLLI; PURGATTO, 2013). Os mesmos autores acrescentaram que a inibição do crescimento resultante da divisão e do alongamento celular é um efeito marcante do etileno em caules e raízes, porém, reversível.

A perturbação mecânica provoca alterações de membrana que induzem a síntese de etileno, o qual bloqueia o transporte de auxina, fazendo com que os níveis endógenos elevados levem a produção de mais etileno resultando na redução do alongamento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2017), visto que o etileno promove pressão de turgor na direção longitudinal, resultando no crescimento radial ao invés do alongamento, pois altera a orientação transversal para longitudinal dos microtúbulos e microfibrilas de celulose da parede celular primária e do citoplasma (LOPEZ et al., 2014).

A flexão caulinar em mudas reduz significativamente a altura e aumenta o diâmetro do caule quando comparado com o controle conforme reportado em mudas de *Cordia trichotoma* por Cadorin et al. (2015) e por Volkweis et al. (2014) em mudas de *Maytenus ilicifolia* (Schrad.) Planch. As referências acima constataram uma redução na taxa de crescimento em altura e aumento na taxa de incremento no diâmetro do coleto em mudas submetidas com 20 flexões diárias por 8 e 4 semanas, respectivamente.

O diâmetro do coleto é uma variável facilmente mensurável, sendo considerado um importante parâmetro para prever a sobrevivência de mudas de espécies lenhosas após plantio a campo sob condições de déficit hídrico (GOMES; PAIVA, 2011). Adicionalmente, o diâmetro do coleto isolado ou combinado com a altura é uma das melhores características morfológicas para prever a qualidade das mudas de espécies florestais (DELARMELINA et al., 2013) e que apresentam maior sobrevivência.

**Figura 1- (a) Incremento na altura, (b) no diâmetro do coleto, e taxas de crescimento absoluto (c) e do sistema radicular (d) em mudas de *E. pellita* e *E. grandis* em função das frequências de flexões caulinares por 30 dias.**



Fonte: dados da autora Barras de erros representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. TCA = taxa de crescimento absoluto; TCA<sub>raiz</sub> = taxa de crescimento radicular

A taxa de crescimento absoluto (TCA), que representa a velocidade no acúmulo de biomassa em função do tempo indicou que o aumento da frequência de flexões caulinares, resultou na menor velocidade de acúmulo de biomassa em mudas de *E. pellita* (Figura 1c) cuja redução na velocidade no acúmulo de biomassa foi de até 61% quando da aplicação de 40 flexões caulinares. Em mudas de *E. grandis*, a redução na TCA foi significativamente inferior ao tratamento controle, indiferente da frequência dos estímulos impostos, com uma redução média 32%.

Com relação à taxa de crescimento radicular (TCA<sub>raiz</sub>), mudas de *E. grandis* externaram um aumento significativo com aumento da frequência dos estímulos caulinares (Figura 1d). A taxa de crescimento radicular refere-se à contribuição desse órgão sobre a taxa de crescimento absoluto. Nessa espécie, não houve evidências de diferenças significativas entre as frequências de flexões caulinares sobre a TCA, porém, isso se deve à contribuição na



velocidade de crescimento do sistema radicular, que contribuiu de 6 a 32% sobre a TCA com as frequências de 5 a 40 flexões diárias.

Logo, mudas submetidas a maiores frequências alocaram maiores quantidades de carbono para sustentar o crescimento radicular em detrimento aos órgãos aéreos. Para mudas de *E. pellita*, o comportamento foi o oposto, visto que externaram uma redução proporcional na TCA<sub>raiz</sub> ao aumento da frequência das flexões caulinares (em média 30%, independentemente da frequência aplicada).

A partição da matéria seca de plantas submetidas a perturbações mecânicas levam ao menor acúmulo de massa seca na parte aérea, favorecendo a redistribuição de assimilados para o sistema radicular, uma vez que o efeito da tigmomorfogênese resultou em menor produtividade dos organismos vegetais, pela redução da área foliar (WANG et al., 2010; MOREL et al., 2012) e a proporção de carbono assimilado pelas folhas é direcionado para regiões de crescimento como na divisão de células xilemáticas, na formação da parede celular secundária e no crescimento do sistema radicular (EPON et al., 2012; TRUPIANO et al., 2012; WU et al., 2016).

A imposição de frequências acima de 10 flexões diárias reduziu significativamente a área foliar em mudas de *E. pellita* (Figura 2a) sem, contudo, ocorrer proporcional ao número de folhas (Figura 2b), visto que a frequência de 5 flexões resultou na abscisão de 20% do número de folhas.

Em mudas de *E. grandis* a área foliar foi reduzida, porém o número de folhas permaneceu estatisticamente inalterado com até 20 flexões caulinares. Logo, frequências com menor intensidade em mudas de *E. pellita* e independente da intensidade em mudas de *E. grandis*, resultaram em uma redução nos limbos foliares, como uma estratégia compensatória ao estímulo mecânico, visando à manutenção do fluxo positivo de carbono.

Mudas de *E. pellita* teriam externado maior sensibilidade ao etileno endógeno resultante dos estímulos mecânicos impostos os quais seriam responsáveis por sensibilizar a camada de abscisão em pecíolos de folhas dos vegetais, além de ser um sinalizador para a síntese de enzimas hidrolíticas como as celulases que degradam os polissacarídeos de parede celular naquela região (TAIZ; ZEIGER, 2017).

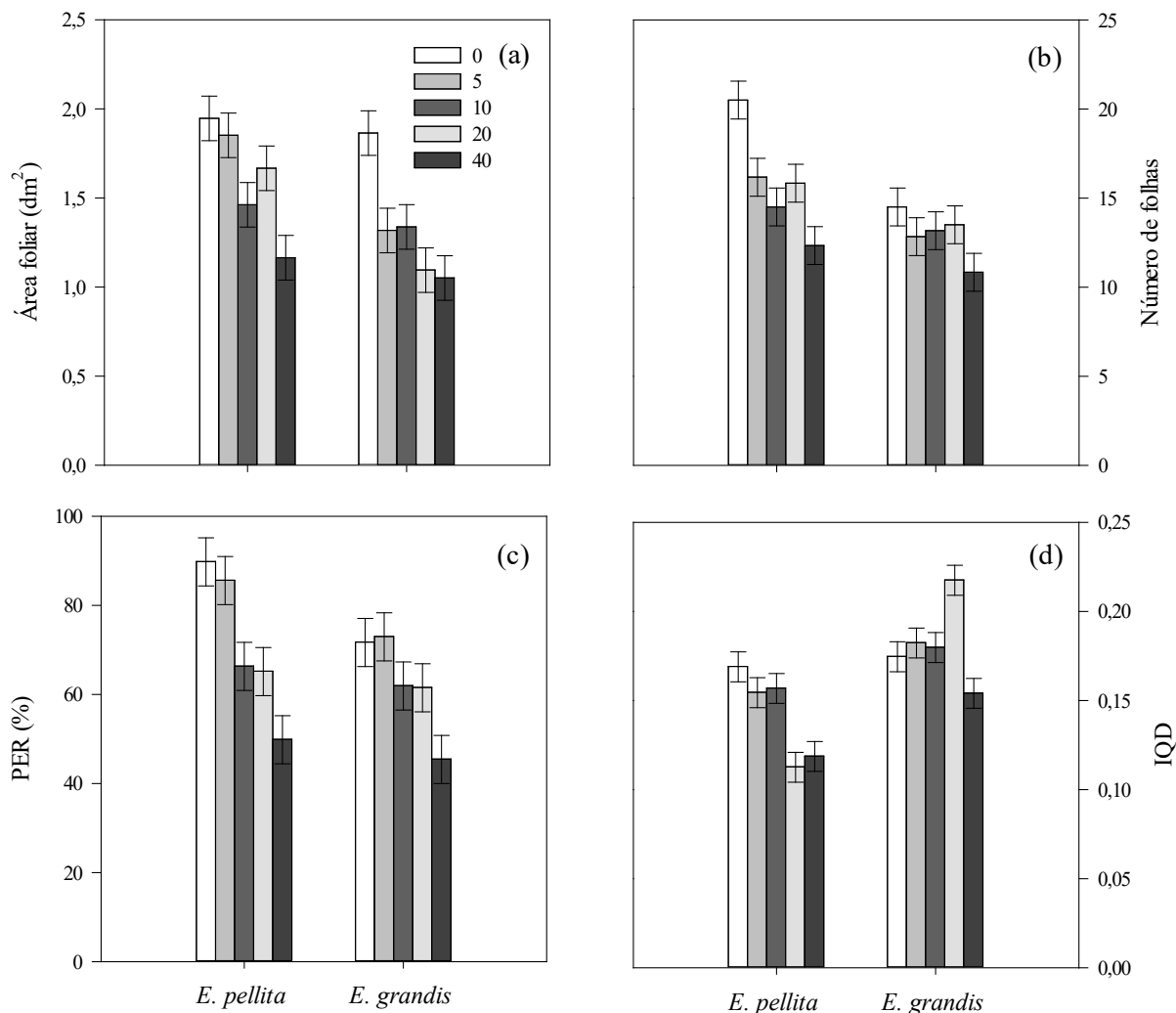
Portanto, a diminuição da área foliar, em resposta ao aumento da frequência das perturbações caulinares, pode resultar em menor disponibilidade de fotoassimilados resultando em uma planta de menor estatura em relação às expostas a menor carga mecânica (NZUNDA et al., 2014) como o observado nas Figuras 1c e 1d.

Mudas de *E. pellita* e *E. grandis* apresentaram redução no extravasamento de eletrólitos de tecidos radiculares com o aumento do número de flexões caulinares acima de 10 e 20 flexões diárias, respectivamente (Figura 2c), indicando alta integridade celular acima daquelas frequências.

A redução no extravasamento de eletrólitos decorrente de perturbações mecânicas está associada ao aumento de formas reativas de oxigênio (DEMIDCHIK et al., 2014) e menor atividade de ATPases de membranas plasmáticas que reduzem o efluxo de K<sup>+</sup> (SHABALA et al., 2016) resultando, portanto, na menor condutividade elétrica da solução.

O teste da integridade celular avalia indiretamente a qualidade fisiológica das mudas. Mensurações do teste da integridade celular tem mostrado boa correlação com diversos parâmetros fisiológicos e bioquímicos condicionados por respostas a estresses ambientais tais como refletância espectral, síntese de enzimas anti-oxidativas, concentrações membranáceas de acil-lipídios, eficiência do uso da água, tempo de relaxamento da água na folha, resistência estomatal, potencial osmótico e índice de enrolamento da folha (KOCHEVA et al., 2014).

**Figura 2-** (a) Área foliar, (b) número de folhas, (c) perda de eletrólitos de raízes (PER) e (d) índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de *E. pellita* e *E. grandis* em função das frequências de flexões caulinares por 30 dias.



Fonte: dados da autora Barras de erros representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. PER = perda de eletrólitos de raízes; IQD = índice de qualidade de Dickson

O índice de qualidade de Dickson (IQD) indicou que até 10 flexões diárias não alteram a qualidade em mudas de *E. pellita* (Figura 2d), enquanto 20 flexões diárias geram mudas com maior qualidade de *E. grandis*. Frequências maiores que as retro mencionadas comprometeram a qualidade em mudas de ambas as espécies.

A alteração do IQD pode estar relacionada com a taxa de crescimento (TCA). Mudas de *E. pellita* com maior taxa de crescimento responderam com redução no IQD em resposta ao aumento na frequência de flexões, enquanto em mudas de *E. grandis* (menor TCA comparativamente as mudas de *E. pellita*), a imposição dos tratamentos (20 e 40 flexões) de maior frequência, ou seja, maiores estresses resultaram em valores diferentes daqueles calculados para o IQD das mudas controle.

O IQD é um dos mais completos parâmetros para avaliação da qualidade de mudas florestais, pois em seu cálculo são considerados a robustez (relação entre altura e diâmetro do coleto) e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda (biomassa total e partição da biomassa dos tecidos aéreos e radiculares), ponderando os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade (GROSSNICKLE, 2012).

## Conclusões

Mudas de *E. pellita* não toleram perturbações mecânicas, visto que houve redução no crescimento primário, comprometendo a velocidade de crescimento aéreo e radicular como resultado da redução de área fotossinteticamente ativa, gerando mudas com qualidade inferior, apesar de haver menor taxa de extravasamento de eletrólitos. Mudas de *E. grandis* tiveram sua qualidade aumentada com a frequência de 20 flexões diárias, que refletiu na redistribuição de carbono entre tecidos aéreos e radiculares, menor taxa de abscisão foliar e promoção do crescimento secundário em relação ao primário, indicando maior robustez do caule.

## Agradecimentos

A CAPES e ao CNPq pelo suporte e apoio financeiro aos autores.

## Referências Bibliográficas

BADEL, E.; EWERS, F. W.; COCHARD, H.; TELEWSKI, F. W. Acclimation of mechanical and hydraulic functions in trees: Impact of the thigmomorphogenetic process. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, p. 1-12, 2015. DOI: [10.3389/fpls.2015.00266](https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00266).

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**, Lavras, v. 21, n. 4, p. 657-664. 2015. DOI: [10.1590/01047760201521042029](https://doi.org/10.1590/01047760201521042029).

COLEMAN, H. D.; PARK, J. Y.; NAIR, R.; CHAPPLE, C.; MANSFIELD, S. D. RNAi-mediated suppression of p-coumaroyl-CoA 3'hydroxylase in hybrid poplar impacts on lignin deposition and soluble secondary metabolism. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v.105, n.11, p. 4501-4506, 2008. DOI: [10.1073/pnas.0706537105](https://doi.org/10.1073/pnas.0706537105).

COLLI, S.; PURGATTO, E. Etileno. In: KERBAUY, G. B. (Coord.) **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. cap. 13, p. 271-295.

COUTAND, C.; MITCHELL, S. J. Mechanical signaling in plants: from perception to consequences for growth and morphogenesis (thigmomorphogenesis) and ecological significance. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, p. 1-2, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01441>.



DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 184-192, 2013. DOI: <https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/888/1148>.

DEMIDCHIK, V.; STRALTSOVA, D.; MEDVEDEV, S. S.; POZHVANOV, G. A.; SOKOLIK, A.; YURIN, W. Stress-induced electrolyte leakage: the role of K<sup>+</sup>-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 5, p. 1259-1270, 2014. DOI: [10.1093/jxb/eru004](https://doi.org/10.1093/jxb/eru004).

DIAS, B. A. S.; MARQUES, G. M.; SILVA, M. L.; COSTA, J. M. F. N. Análise econômica de dois sistemas de produção de mudas de eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 2, p. 171-177, 2011. DOI: [10.4322/foram.2011.035](https://doi.org/10.4322/foram.2011.035).

DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Relationship between lignin content and quality of *Pinus taeda* seedlings. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.5, p.905-913, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500013>

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; RYAN, M. G. Introduction to the invited issue on carbon allocation of trees and forests. **Tree Physiology**, Victoria, v. 32, n. 6, p. 639-643, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tps055>.

GARDINER, B.; BERRY, P.; MOULIA, B. Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. **Plant Science**, Limerick, v. 245, p. 94-118, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.01.006>

GOMES, J.M.; PAIVA, H. N. **Viveiros Florestais (propagação sexuada)**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, Sydney, v. 43, n. 5, p 711-718, 2012. DOI: [10.1007/s11056-017-9606-4](https://doi.org/10.1007/s11056-017-9606-4).

ISHIHARA, K. L.; LEE, E. K. W.; BORTHAKUR, D. Thigmomorphogenesis: changes in morphology, biochemistry, and levels of transcription in response to mechanical stress in *Acacia koa*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 47, n. 5, p. 583-593, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0356>.

KOCHEVA, K. V.; GEORGIEV, G. I.; KOCHEV, V.K. An improvement of the diffusion model for assessment of drought stress in plant tissues. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 150, n. 1, p. 88-94, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.12074>.

KURUSU, T.; KUCHITSU, K.; NAKANO, M.; NAKAYAMA, Y.; IIDA, H. Plant mechanosensing and Ca<sup>2+</sup> transport. **Trends in Plant Science**, Oxford, v.18, n.4, p.227-233, 2013. DOI: [10.1016/j.tplants.2012.12.002](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.12.002).

LEITE, H. G.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, C. A. B.; PAULA, R. A.; PIRES, I. E.; SILVA, M. L. Determinação dos custos da qualidade em produção de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.6, p.955-964, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622005000600015>.

LIMA, P. R.; HORBACH, M. A.; DRANSKI, J. A. L.; ECCO, M.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Avaliação morfofisiológica em mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos durante a rustificação. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.3, p.316-326, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.058813>.

LOPEZ, D.; TOCQUARD, K.; VENISSE, J-S.; LEGUÉ, V.; ROECKEL-DREVET, P. Gravity sensing, a largely misunderstood trigger of plant orientated growth. **Frontiers of Plant Science**, Lausanne, v.5, p.1-6, 2014. DOI: [10.3389/fpls.2014.00610](https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00610).

MOREL, P.; CRESPEL, L.; GALOPIN, G.; MOULIA, B. Effect of mechanical stimulation on the growth and branching of garden rose. **Scientia Horticulturae**, Geneva, v. 135, p. 59-64, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.007>.

NZUNDA, E. F.; GRIFFITHS, M. E.; LAWES, M. J. Resource allocation and storage relative to resprouting ability in wind disturbed coastal forest trees. **Evolutionary Ecology**, Nungambakkam, v. 28, n. 4, p. 735-749, 2014. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10682-014-9698-7>.

ONODA, Y.; ANTEN, N. P. R. Challenges to understand plant responses to wind. **Plant Signaling & Behavior**, Bethesda, v. 6, n. 7, p. 1057-1059, 2011. DOI: [10.4161/psb.6.7.15635](https://doi.org/10.4161/psb.6.7.15635).

ORO, P.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Frequência da irrigação ao final da produção em mudas de espécies lenhosas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 15, n. 2, p. 94-102, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5965/223811711522016094>.

RAMOS, P.; LE PROVOST, G.; GANTZ, C.; PLOMION, C.; HERRERA, R. Transcriptional analysis of differentially expressed genes in response to stem inclination in young seedlings of pine. **Plant Biology**, London, v. 14, n. 6, p. 923-933, 2012. DOI: [10.1111/j.1438-8677.2012.00572](https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00572).

SAMPATHKUMAR, A.; KRUPINSKI, P.; MEYEROWITZ, E. M. Physical forces regulate plant development and morphogenesis. **Current Biology**, Lane, v. 24, n. 10, p. 475-483, 2014. DOI: [10.1016/j.cub.2014.03.014](https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.014).

SHABALA, S.; BOSE, J.; FUGLSANG, A. T.; POTTOSIN, I. On a Quest for Stress Tolerance Genes: Membrane Transporters in Sensing and Adapting to Hostile Soils. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, n. 4, p. 1015-1031, 2016. DOI: [doi: 10.1093/jxb/erv465](https://doi.org/10.1093/jxb/erv465).

SOUZA, A.; KREUZ, C. L.; MOTA, C. S. Análise de empreendimentos florestais (Pínus) como alternativa de renda para o produtor rural na região dos Campos de Palmas. **Revista de Administração da UFLA**, Lavras, v. 6, n. 1, p.8-21, 2004. DOI: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/8961>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Transporte de solutos. In:\_\_\_\_\_. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017, 6 ed., cap. 6, p.143-164.

TELEWSKI, F. W. Is windswept tree growth negative thigmotropism? **Plant Science**, Limerick, v. 184, p. 20-28, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.12.001>.

TRUPIANO, D.; DI IORIO, A.; MONTAGNOLI, A.; LASSERRE, B.; ROCCO, M.; GROSSO, A.; SCALONI, A.; MARRA, M.; CHIATANTE, D.; SCIPPA, G. S. Involvement of lignin and hormones in the response of woody poplar taproots to mechanical stress. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 146, n. 1, p. 39-52, 2012. DOI: [doi: 10.1111/j.1399-3054.2012.01601](https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01601).

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**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p.339-342, 2014. DOI: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/14571/pdf>.

WANG, L.; WANG, D.; HE, Z.; LIU, G.; HODGKINSON, K.C. Mechanisms linking plant species richness to foraging of a large herbivore. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 47, n.4, p.868-875, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01837.x>.

WU, T.; ZHANG, P.; ZHANG, L.; WANG, G. G.; YU, M. Morphological response of eight *Quercus* species to simulated wind load. **Plos One**, San Francisco, v. 11, n. 19, p. 1-14, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163613>

XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, San Pedro de Montes de Oca, v. 34, n. 1, p. 93-98, 2010. DOI: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v34n1/a09v34n1.pdf>.