



## **Parâmetros hidráulicos foliares na caracterização da resistência a seca de genótipos comerciais de *Eucalyptus***

Jhuan Lucas Melo Maciel<sup>1,2</sup>  
Jenickson Rayron da Silva Costa<sup>2</sup>  
Magali Ribeiro da Silva<sup>1,2</sup>  
Otávio Camargo Campoe<sup>2,3</sup>  
Joannès Guillemot<sup>4</sup>  
Clayton Alcarde Alvares<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista (UNESP) / Faculdade de Ciências Agrônômicas (jhuan.lucas@unesp.br),

<sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal - UNESP, <sup>3</sup> Universidade Federal de Lavras (UFLA),

<sup>4</sup>Eco&Sols, Univ. Montpellier, CIRAD, INRAe, Institut Agro, IRD, Montpellier, France

**RESUMO:** *A condução eficiente de água dentro das folhas é essencial para a função foliar, mas o impacto da seca e seus efeitos em povoamentos florestais de Eucalyptus permanece pouco compreendido. Medimos as relações hídricas foliares de 21 genótipos comerciais de Eucalyptus na Região Sudeste do Brasil. O objetivo desse trabalho foi avaliar como as características hidráulicas dos diferentes genótipos são coordenadas e interagem com as demais variáveis. O método referência para obtenção dos parâmetros hidráulicos foliares foi por meio da curva pressão-volume, sendo obtido o ponto de perda de turgor ( $\Psi_{tlp}$ ), conteúdo relativo de água em turgor total ( $RWC_{tlp}$ ), módulo de elasticidade ( $\epsilon$ ), pressão osmótica em turgor total ( $\pi_o$ ), fração apoplástica ( $af$ ), a massa seca foliar por área ( $LMA$ ) e o teor de matéria seca foliar ( $LDMC$ ). As relações hídricas foliares das árvores variaram amplamente para todas as características, sendo que o  $\Psi_{tlp}$  médio variou de -1,93 a -2,57 MPa, apresentando uma forte correlação positiva com  $\pi_o$ . Nossos resultados sugerem que o  $\Psi_{tlp}$  é um ótimo preditor da tolerância a seca para os genótipos de Eucalyptus.*

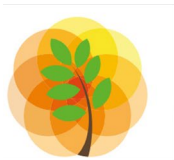
*Palavras-chave: mudanças climáticas, mecanismos fisiológicos, ponto de perda de turgor*

### **Introdução**

Os plantios de eucalipto estão entre as florestas mais produtivas do mundo, sendo que o Brasil ocupa cerca de 7,53 milhões de hectares, cultivadas em diversos ambientes, onde sua produtividade varia de 25 a 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A demanda hídrica das florestas plantadas de eucalipto de rápido crescimento, limita sua expansão em áreas com déficit hídrico (Gonçalves et al., 2013).

Fatores relacionados as mudanças climáticas estão aumentando a temperatura e ocasionando a redução da precipitação, afetando a limitação de água para os povoamentos florestais, onde eventos de seca estão se tornando mais frequentes e severas. Com isso, existe a necessidade de preditores ecofisiológicos que possam ser usados como indicativos do desempenho futuro em relação a tolerância à seca (Choat et al., 2018).

Uma abordagem bem estabelecida para estudar a tolerância à seca das plantas é quantificar suas respostas fisiológicas ao suprimento de água, ou seja, os parâmetros hidráulicos foliares (Johnson et al., 2018). Embora essa abordagem tenha produzido descobertas interessantes, ela é



aceitável, sendo que não é facilmente aplicado a copas de árvores, que representam a maior parte da biomassa.

As plantas exibem uma ampla gama de mecanismos morfológicos, anatômicos e fisiológicos que lhes permitem resistir à seca (Conti Junior et al., 2020). O ponto de perda de turgor ( $\pi_{tlp}$ ) é o potencial hídrico da folha no qual a pressão de turgor das células foliares é igual a zero, sendo um indicador do potencial hídrico em que as células da folha se tornam flácidas (Sun et al., 2020).

O  $\pi_{tlp}$  é a principais características fisiológicas da folha, sendo estimada a partir da relação entre o potencial hídrico da folha e o volume de água da folha, conhecida como curva pressão-volume (PV). Além do  $\pi_{tlp}$ , conseguimos obter outros parâmetros por meio da técnica PV, como o potencial osmótico ( $\pi_o$ ), o conteúdo relativo de água no ponto de perda de turgor (RWC $_{tlp}$ ), o módulo de elasticidade da parede celular ( $\epsilon$ ) e a fração apoplástica (af) conforme descrito por Bartlett et al., (2012).

O entendimento desses parâmetros, bem como as suas interações, é fundamental para o conhecimento de mecanismos que levam as plantas a se adaptarem à disponibilidade hídrica. Com isso, o objetivo desse trabalho é avaliar como as características hidráulicas dos diferentes genótipos são coordenadas e interagem com as demais variáveis obtidas por meio da curva pressão-volume.

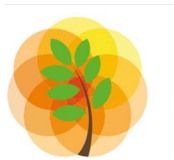
## **Material e métodos**

### *Caracterização da Área de Estudo*

A área experimental localiza-se no município de Itatinga-SP, que se caracteriza por possuir um clima subtropical úmido, com classificação climática de Köppen do tipo Cfa (ALVARES et al., 2013). A área experimental faz parte do Programa Cooperativo Eucflux do Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF, em parceria com universidades, empresas privadas e instituições internacionais de pesquisa.

### *Delineamento Experimental*

O delineamento experimental adotado consistiu em 8 repetições (blocos) de 21 parcelas, sendo cada parcela plantada com um genótipo diferente de *Eucalyptus* (G1–G21) distribuídos aleatoriamente. Cada parcela foi plantada em novembro de 2018 com um único genótipo com espaçamento de árvores de 3 m  $\times$  2 m (1666 árvores ha<sup>-1</sup>). As avaliações das relações hídricas foliares ocorreram após o período chuvoso, em maio de 2021.



### *Avaliações das curvas pressão-volume*

O método referência para obtenção do ponto de perda do turgor foi por meio da curva pressão-volume (PV), para derivar as características da relação água da folha, medindo o declínio do potencial hídrico da folha à medida que a folha desidrata, usadas para determinar as relações hídricas teciduais ou celulares dos diferentes genótipos, conforme descrito por Bartlett et al., (2012).

Para a construção das curvas PV, seis amostras de galhos (uma por árvore de seis árvores) foram coletadas ao final da tarde para cada genótipo, onde foram selecionados de cinco a seis folhas maduras e bem desenvolvidas. As curvas foram criadas plotando o inverso de  $\Psi$  folha contra o conteúdo relativo de água (RWC, %).

As curvas PV foram produzidas e analisadas de acordo com o método de secagem em bancada com uma câmara de pressão, a partir de determinações repetidas de massa fresca e  $\Psi$  folha durante a desidratação da folha na bancada do laboratório até que os valores de  $\Psi$  folha se aproximassem  $-4,0$  MPa (BARTLETT; SCOFFONI; SACK, 2012; JOHNSON et al., 2018).

Os parâmetros obtidos das relações hídricas nos tecidos foliares foram: ponto de perda de turgor ( $\Psi_{tlp}$ , MPa), conteúdo relativo de água em turgor total (RWC<sub>tlp</sub>, %), módulo de elasticidade ( $\epsilon$ , MPa), pressão osmótica em turgor total ( $\pi_0$ , MPa), fração apoplástica (af, %), a massa seca foliar por área (LMA;  $g\ m^{-2}$ ) e o teor de matéria seca foliar (LDMC;  $g\ g^{-1}$ ).

### *Análise de Dados*

A análise de dados foi realizada pelo software R, versão 4.2.1. Para extrair os parâmetros derivadas de curvas PV, foi utilizado o pacote "pvldcurve". Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o teste F ( $p < 0,05$ ) e, nos casos de significância, foi aplicado o teste Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação de médias.

Os testes foram conduzidos separadamente para cada variável, sendo realizado a correlação de Pearson ( $r$ ), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e valor de probabilidade (p-valor) foram utilizados para avaliar a força das relações. O nível de probabilidade utilizado para determinar a significância foi  $p \leq 0,05$ .

### **Resultados e discussão**

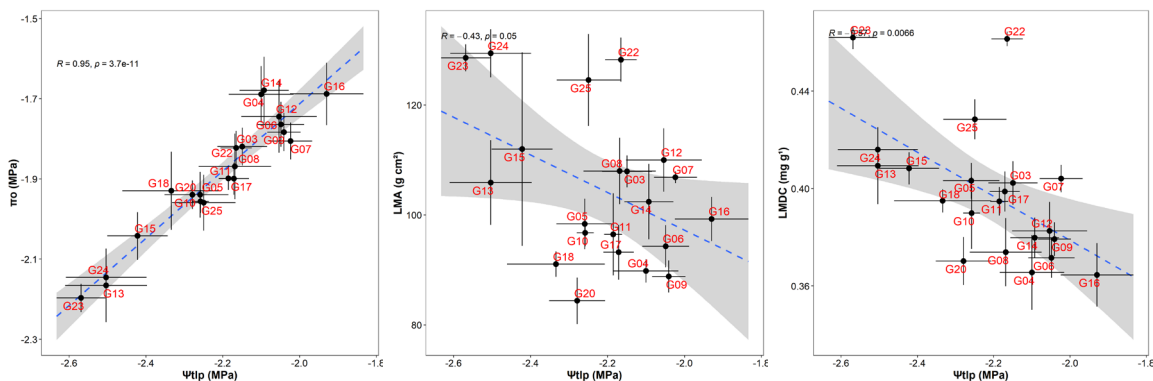
As espécies variaram amplamente para as características da curva PV. As diferenças entre os diferentes genótipos em relação ao  $\Psi_{tlp}$  foram impulsionadas principalmente por diferenças na pressão osmótica ( $\pi_0$ ), sendo o principal responsável por sua variação, em vez de diferenças no módulo de elasticidade ( $\epsilon$ ) e no conteúdo relativo de água em turgor total (RWC<sub>tlp</sub>).

Em resposta ao estresse hídrico enfrentado em condições de campo, os genótipos geralmente



diminuem seu  $\pi_o$  e seu  $\Psi_{tlp}$ . Genótipos com menor  $\Psi_{tlp}$  são capazes de continuar crescendo em potenciais hídricos foliares mais baixos.

Observamos uma forte correlação positiva do  $\Psi_{tlp}$  com  $\pi_o$  ( $r = 0,95$ ,  $p < .05$ ). Houve correlação negativa do  $\Psi_{tlp}$  com o LMA ( $r = -0,43$ ,  $p < .05$ ) e LDMC ( $r = -0,57$ ,  $p < .01$ ). Contraditoriamente, o ponto de perda de turgor ( $\Psi_{tlp}$ ) não se correlacionou com os demais parâmetros (Figura 1).



**Figura 1** - Correlação de Pearson ( $r$ ) entre  $\Psi_{tlp}$  com a pressão osmótica em turgor total ( $\pi_o$ ), a massa foliar por área (LMA), o teor de matéria seca foliar (LDMC) para os 21 genótipos comerciais de *Eucalyptus*. A linha tracejada azul é o modelo linear ajustado e os intervalos de confiança estão em cinza. Os pontos pretos são a média e as barras de erro são os erros padrão. Os números vermelhos são referentes a cada genótipo de eucalipto.

No nosso trabalho, o  $\Psi_{tlp}$  médio variou de -1,93 a -2,57 MPa entre os diferentes genótipos, sendo o G16 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) e G23 (*E. pilularis*) respectivamente. Este ponto corresponde mais ou menos ao potencial hídrico no qual os estômatos estão fechados ou fechados.

Dado que as características obtidas da curva PV são importantes como parte da estratégia de resposta à seca de uma espécie, descobrimos que os traços da curva PV variaram predominantemente entre os diferentes genótipos de eucalipto. Em relação ao parâmetro LMA, este é proposto como um preditor da tolerância à seca em muitos conjuntos de espécies, em parte porque está associada a  $\epsilon$ .

## Conclusões

Os genótipos de *Eucalyptus* apresentam alta variação para o  $\Psi_{tlp}$ , sendo um ótimo preditor da tolerância a seca para *Eucalyptus*.

Potencial osmótico é um ótimo preditor de  $\Psi_{tlp}$  em genótipos de *Eucalyptus*. Essas correlações sugerem que a estrutura foliar é um pré-requisito para que os mecanismos celulares sejam eficazes no ajuste ao déficit hídrico.



## **Referências bibliográficas**

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

BARTLETT, M. K.; SCOFFONI, C.; SACK, L. The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: A global meta-analysis. *Ecology Letters*, v. 15, n. 5, p. 393–405, 1 maio 2012.

CHOAT, B. et al. Triggers of tree mortality under drought. *Nature* 2018 558:7711, v. 558, n. 7711, p. 531–539, 27 jun. 2018.

CONTI JUNIOR, J. L. F. et al. Quantifying turgor loss point and leaf water potential across contrasting Eucalyptus clones and sites within the TECHS research platform. *Forest Ecology and Management*, v. 475, 2020.

GONÇALVES, J. L. DE M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, v. 301, p. 6–27, 1 ago. 2013.

JOHNSON, D. M. et al. Leaf hydraulic parameters are more plastic in species that experience a wider range of leaf water potentials. *Functional Ecology*, v. 32, n. 4, p. 894–903, 1 abr. 2018.

SUN, S. et al. Drought survival is positively associated with high turgor loss points in temperate perennial grassland species. *Functional Ecology*, v. 34, n. 4, p. 788–798, 1 abr. 2020.

