




Estresse hídrico e salino no crescimento inicial de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*

Larissa Campos de Sá¹, Marília Lazarotto², Eduarda Demari Avrella³, Márcio Alberto Hilgert³, Claudimar Sidnei Fior³

¹Tanagro S.A., Rua Torbjorn Weibull, 199, CEP 95780-000, Montenegro, RS, Brasil

²Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Rua Benjamin Constant, 989, Centro, CEP 96010-020, Pelotas, RS, Brasil

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 7712, CEP 91540000, Porto Alegre, RS, Brasil

***Autor correspondente:**

marilia.lazarotto@ufpel.edu.br

Termos para indexação:

Estresse abiótico
Água de irrigação
Viveiros florestais

Index terms:

Abiotic stress
Irrigation water
Forest nurseries

Histórico do artigo:

Recebido em 27/04/2020

Aprovado em 10/03/2022

Publicado em 28/02/2023

Resumo - O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do estresse salino e hídrico no crescimento inicial de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis*). O estresse salino foi avaliado em dois experimentos, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), testando-se cinco potenciais osmóticos (0,0; -0,3; -0,6; -0,9 e -1,2 MPa). Para o estresse hídrico, foram estabelecidos cinco faixas de tensão hídrica, também em DIC (0 a -7; -7,1 a -14,0; -14,1 a -21,0; -21,1 a -28,0 e -28,1 a -35,0 kPa). Ao final dos experimentos, foram avaliados: altura da parte aérea, diâmetro do coleto, massa seca da parte aérea, das raízes e total e sobrevivência das mudas. O uso de soluções salinas provocou redução de todas as variáveis de crescimento das mudas. Até o nível de -21 kPa de estresse hídrico há aumento de altura e relação entre altura da parte aérea e diâmetro do coleto, sendo as outras variáveis reduzidas a partir do primeiro nível testado. A tolerância das mudas aos estresses avaliados permite o ajuste das condições de manejo no viveiro antes da ocorrência de perdas e pode representar também uma tolerância a essas condições adversas em campo.

Water and saline stress on initial growth of *Toona ciliata* var. *australis* seedlings

Abstract - The objective of this study was to evaluate the effects of water and salt stress on initial growth of Australian red cedar (*Toona ciliata* var. *australis*) seedlings. Saline stress was evaluated in two completely randomized design (CRD) experiments, considering five osmotic potentials (0.0; -0.3; -0.6; -0.9 and -1.2 MPa). For water stress, five ranges of water potential were evaluated, using CRD (0 to -7; -7.1 to -14.0; -14.1 to -21.0; -21.1 to -28.0 and -28.1 to -35.0 kPa). At the end of both experiments the plant height, stem diameter, aerial part dry mass, roots dry mass, total dry mass and seedling survival were evaluated. Saline solutions application reduced all seedlings development variables. Up to the level of -21 kPa of water stress, there was an increase in height and the plant height and the stem diameter ratio. The other variables have been reduced since the first tested level. The tolerance of seedlings to the stresses evaluated allows for the adjustment of management conditions in the nursery before occurring losses and may also indicate a tolerance to these adverse conditions in the field.



Introdução

A área florestal cultivada no Brasil, com espécies de gêneros diferentes de *Pinus* e *Eucalyptus*, apresentou crescimento de 27,5% entre os anos de 2010 a 2015, dentre elas o cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*) (IBÁ, 2017). O cultivo dessa espécie tem se expandido no país, com a finalidade principal de produção de madeira nobre para construção civil e indústria moveleira (Vieira et al., 2020). De acordo com Vilela & Stehling (2015), os primeiros plantios de cedro australiano no Brasil ocorreram na década de 1970 e, atualmente, estão localizados no sudeste, centro-oeste e nordeste do Brasil (Andrade et al., 2020).

Toona ciliata é uma espécie pertence à família Meliaceae, constituída por aproximadamente 50 gêneros e 600 espécies (Zappi et al., 2015; Vieira & Meireles, 2020), a qual apresenta algumas espécies de elevada importância econômica. A madeira da espécie é utilizada para fins nobres, e tem como vantagens ciclo de crescimento curto, boa produtividade de madeira e alto valor em ambos mercados interno e externo (Andrade et al., 2020). Não se recomenda seu plantio em solos argilosos compactados e nem em solos arenosos pobres e, quando em solos ácidos, a correção é necessária; apresenta bom crescimento com precipitações entre 800 a 1.800 mm⁻¹ ano (Klein et al., 2016).

Segundo Dordel et al. (2011a, 2011b), o desenvolvimento da espécie está diretamente relacionado à disponibilidade de água, sendo essa apontada como um dos maiores limitantes para o desenvolvimento e estabelecimento inicial da cultura.

Para Silva et al. (2015), a fase de crescimento é quando ocorre o maior consumo hídrico dentre todas as fases de produção de mudas. Logo, a disponibilidade, bem como a qualidade da água para o desenvolvimento de plantas, é fundamental e determinante em viveiros florestais. No que se refere à disponibilidade, as plantas podem sofrer danos tanto por excesso como por falta de água. No entanto, a ocorrência de estresse devido à deficiência hídrica é mais comum, afetando, a produtividade e a sobrevivência das plantas. Quanto à qualidade da água, problemas relacionados à salinização em ambientes protegidos são cada vez mais frequentes, podendo esse estar relacionado tanto ao uso de águas salobras como à aplicação excessiva de fertilizantes (Medeiros et al., 2016).

Considerando o potencial do cedro australiano na indústria florestal e o seu potencial e expansão de

cultivo, nota-se a necessidade de estudos que busquem avaliar os reais efeitos do estresse hídrico e salino no desenvolvimento de mudas dessa espécie, uma vez que já foi demonstrado redução em variáveis morfológicas e fisiológicas sob efeito de estresses abióticos, entretanto com recuperação ao final representando uma possível adaptação ao estresse (Andrade et al., 2020).

Tendo em vista que as limitações quanto à disponibilidade e qualidade de água para irrigação são cada vez maiores, seja pelas características naturais dos mananciais, salinidade dos substratos e/ou manejo da fertirrigação utilizados, a avaliação do comportamento de mudas de cedro australiano quando submetidas ao estresse hídrico e salino é de extrema relevância, pois possibilitam a identificação do nível de tolerância das plantas e auxiliam no manejo da cultura nos viveiros florestais, bem como permitem inferir sobre o desempenho da planta em campo sob condições adversas.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de crescimento e de adaptação da espécie a condições de estresse hídrico e salino, durante a fase de muda.

Material e métodos

A hipótese deste estudo é que haja redução do desenvolvimento de mudas de *Toona ciliata* em níveis mais elevados de estresse, hídrico ou salino, e que níveis máximos de tolerância sejam determinados.

O presente estudo foi conduzido em ambiente pertencente ao Departamento de Horticultura e Silvicultura na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, entre o período de 01 de novembro de 2017 a 26 de maio de 2018. As sementes foram adquiridas de uma empresa credenciada no Registro Nacional de Sementes e Mudanças (RENASSEM). As informações contidas no lote eram de que elas haviam sido coletadas em 2017 e apresentavam 70% de germinação. As sementes permaneceram armazenadas em câmara fria a 5 °C, desde a aquisição até a realização dos experimentos.

Foram instalados dois experimentos em ambiente protegido com cobertura plástica, visando simular o estresse salino e hídrico na fase de mudas, respectivamente. Para ambos, utilizou-se substrato comercial Carolina Soil® a base de turfa de *Sphagnum*, vermiculita expandida, casca de arroz torrefada, calcário dolomítico e gesso agrícola, cujas características físicas

e químicas estão descritas na Tabela 1. Para cada litro de substrato foi adicionado, em dose única, 3 g de fertilizante de liberação controlada (Basacote Plus 9M – 16-8-12 + 2 Mg + 5 S + 0,4 Fe + 0,02 B + 0,02 Zn + 0,05 Cu + 0,06 Mn + 0,015 Mo).

Tabela 1. Caracterização química e física do substrato comercial à base de turfa de *Sphagnum*, vermiculita expandida e casca de arroz torrefada, utilizado na condução dos experimentos de estresse hídrico e salino em mudas de cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis*).

Table 1. Chemical and physical characterization of the commercial substrate based on Sphagnum peat, expanded vermiculite and roasted rice husk, used in conducting the water and salt stress experiments on Australian red cedar seedlings (*Toona ciliata* var. *australis*).

Propriedades químicas	
CE (mS cm ⁻¹)	0,32
pH (H ₂ O)	6,04
Propriedades físicas	
Densidade seca (kg m ⁻³)	142,75
Densidade úmida (kg m ⁻³)	256,29
Umidade atual (%)	44,30
Porosidade total (%)	77,07
Espaço de aeração (%)	31,15
Água facilmente disponível (%)	13,12
Água tamponante (%)	2,80
Água remanescente (%)	30,00
Água disponível (%)	15,92

CE = condutividade elétrica obtida em diluição do substrato: água de 1:5 (v/v); pH = potencial hidrogeniônico. A análise física e química dos substratos foi realizada pelo Laboratório de Análise de Substratos do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia da UFRGS, conforme IN n° 17, de 21 de maio de 2007. Porto Alegre, RS, 2018.

Experimento 1 - estresse salino

Neste experimento a semeadura foi realizada em tubetes cônicos, de polietileno com seis estrias internas e salientes, com capacidade de 55 cm³. Cerca de 22 dias após a semeadura houve estabilização da germinação e após 30 dias da semeadura foi realizado o transplântio das plântulas para vasos com capacidade de 1 L, sendo estabelecido uma plântula por vaso. Quando as mudas atingiram altura média da parte aérea de 5,4 cm, cerca de 60 dias após a semeadura, iniciaram-se as irrigações com diferentes soluções salinas, conforme metodologia

descrita por Lucchese et al. (2018) e Avrella et al. (2019), nos potenciais osmóticos $C_1 = 0,0$; $C_2 = -0,3$; $C_3 = -0,6$; $C_4 = -0,9$ e $C_5 = -1,2$ MPa, obtidas pela adição de NaCl na água de irrigação calculado de acordo com a equação de Van't Hoff (Betoni et al., 2011). As soluções foram aplicadas manualmente duas vezes por semana, e a cada nova irrigação permitia-se um excedente drenado de 10 a 15% do aplicado, a fim de atender à demanda hídrica das mudas nesse período e manter o substrato umedecido.

Após 30 dias da primeira irrigação, com as soluções correspondentes a cada tratamento, foram coletadas as seguintes variáveis: altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca das raízes (MSR), massa de matéria seca total (MST) e sobrevivência. A altura da parte aérea foi obtida com régua milimetrada, medida do coleto da planta (contato com o substrato) até a gema apical, e o diâmetro do coleto com um paquímetro digital. As MSPA, MSR e MST foram obtidas em balança digital, com precisão de 0,0001 g, após todas as mudas da repetição serem secas em estufa a 65 °C até massa constante. A partir desses dados, foram obtidas as variáveis de relação entre H e DC (RHDC), H e MSPA (RHMSPA), MSPA e MSR (RMPAR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD), de acordo com Dickson et al. (1960).

Além disso, com os dados de MST, foi calculado o índice de tolerância à salinidade, comparando-se os dados dos tratamentos salinos com os do tratamento controle (Equação 1), conforme descrito em Araujo et al. (2016).

$$IT(\%) = \frac{\text{Produção de MST}_{\text{salino}}}{\text{Produção de MST}_{\text{controle no tratamento controle}}} \times 100 \quad (1)$$

Onde IT = índice de tolerância à salinidade, MST salino e MST controle = produção de MST no tratamento salino e controle, respectivamente.

A avaliação da condutividade elétrica do substrato ao final do período de experimento, por meio do *pour thru* (Cavins et al., 2008), também foi realizada.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições de cinco vasos para cada nível de salinidade avaliado. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial ao nível de 5% de probabilidade de erro. Os dados de sobrevivência não atenderam aos pressupostos da ANOVA, e por isso foram submetidos à análise não-paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis.

Experimento 2 - estresse hídrico

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com o uso de um controlador autônomo de irrigação (Irrigás – MRI; Hidrosense). Este equipamento funciona a partir de gás pressurizado nos poros de cápsulas cerâmicas. É constituído de uma central de medição digital e sensores instalados na área monitorada, os quais são ligados à central de medição por meio de microtubos, chamados de ramais de medição. A leitura remota dos sensores é feita pneumaticamente, coletando-se uma amostragem média da tensão hídrica do substrato. Desta maneira, fez-se o uso de cinco ramais contendo cinco sensores cada, sendo instalado um sensor em cada vaso contendo uma planta em avaliação.

Os tratamentos consistiram em cinco faixas de tensão hídrica, sendo estes T1 = 0 a -7 kPa; T2 = -7,1 a -14,0 kPa; T3 = -14,1 a -21,0 kPa; T4 = -21,1 a -28,0 kPa

e T5 = -28,1 a -35,0 kPa. A tensão hídrica do substrato foi monitorada por meio do controlador de irrigação, adicionando-se, quando necessário, quantidade de água suficiente para manter a tensão hídrica do substrato dentro do nível correspondente a cada tratamento.

Foram utilizados vasos com capacidade de 1,7 L (20 cm de altura), contendo o mesmo substrato comercial do experimento anterior (Tabela 1) e uma camada em superfície de areia fina peneirada (5 mm), visando a não exposição do coleto das mudas devido ao fornecimento da irrigação localizada e consequente rebaixamento do substrato. Previamente ao início do experimento, realizou-se o transplante de uma única muda oriunda de plantio seminal para cada vaso. Em média, as mudas apresentavam H = 25,48 cm e DC = 4,40 mm no momento do transplante, cerca de 120 dias após a semeadura. Logo após, os sensores foram inseridos a 5 cm de distância das mudas (Figura 1).



Fotos: Larissa Campos de Sá

Figura 1. Avaliação de estresse hídrico em mudas de cedro australiano por meio de controlador autônomo de irrigação. Montagem do experimento (A); controlador de irrigação (B). Porto Alegre, RS, 2018.

Figure 1. Evaluation of water stress in Australian red cedar seedlings using an autonomous irrigation controller. Experiment setup (A); irrigation controller (B). Porto Alegre, RS, 2018.

Após 60 dias, realizaram-se avaliações de H, DC, MSPA, MSR, MST e sobrevivência. A partir desses dados, foram obtidas as variáveis RHDC, RHMSPA, RMPAR e o IQD, de acordo com Dickson et al. (1960).

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com cinco vasos por tratamento, conforme capacidade máxima do equipamento. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial ao nível de 5% de probabilidade de erro, a partir dos softwares Costat 6.4 e SigmaPlot 11.0.

Resultados

Experimento 1 - estresse salino

Não foi verificado efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade entre os níveis de salinidade, aplicados via irrigação no substrato, sobre as variáveis índice de qualidade de Dickson ($p = 0,0695$), relação entre altura da parte aérea e diâmetro do coleto ($p = 0,726$), relação da altura da parte aérea e massa de matéria seca da parte aérea ($p = 0,2531$) e relação entre massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca das raízes ($p = 0,4263$). A variável sobrevivência variou de 52% a 96%, não sendo observadas diferenças significativas entre os tratamentos, pelo teste de Kruskal-Wallis ($p = 0,4497$).

Para a altura das mudas (H), constatou-se o efeito decrescente da variável com o aumento da salinidade, com ajuste linear (Figura 2A), ocorrendo uma redução de, em média, 39,3% entre o tratamento de maior nível (-1,2 MPa) e o controle (0,0 MPa). Comportamento linear semelhante foi observado para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR)

e massa seca total (MST), como pode ser observado nas Figuras 2C, 2D e 2E, respectivamente, porém com decréscimo mais acentuado, em torno de 47,9% para MSR entre o tratamento com 0,0 e o -1,5 MPa.

Foi verificado decréscimo no diâmetro do coleto das mudas (DC), com ajuste linear significativo, à medida que aumentava o potencial osmótico das soluções de irrigação (Figura 2B), sendo verificado uma redução de 22,7% quando as mudas foram submetidas à irrigação em potencial osmótico de -1,2 MPa em relação às mudas do tratamento controle (0,0 MPa).

Em relação ao índice de tolerância à salinidade (IT), observa-se que esse foi superior a 50%, até mesmo nos tratamentos com maiores níveis de salinidade (-0,9 MPa), como pode ser observado na Figura 2F.

Experimento 2 - estresse hídrico

Os dados mostraram não haver diferença significativa entre os níveis de tensão hídrica medidos no substrato para as variáveis MSR ($p = 0,149$), MST ($p = 0,093$), índice de qualidade de Dickson ($p = 0,063$), relação H e MSPA ($p = 0,355$) e relação MSPA e MSR ($p = 0,071$). No entanto, a partir da análise de regressão, verificou-se tendência linear decrescente à medida que a tensão hídrica se tornava mais negativa para as variáveis DC (Figura 3B) e MSPA (Figura 3C), enquanto para H (Figura 3A) e relação H e DC (Figura 3D) houve ajuste quadrático com ponto de máxima na tensão hídrica de -21 kPa de 74,91 cm e 10,56 cm, respectivamente, mas ambos com menores valores observados na tensão hídrica mais negativa testada. Todas as mudas deste experimento sobreviveram.

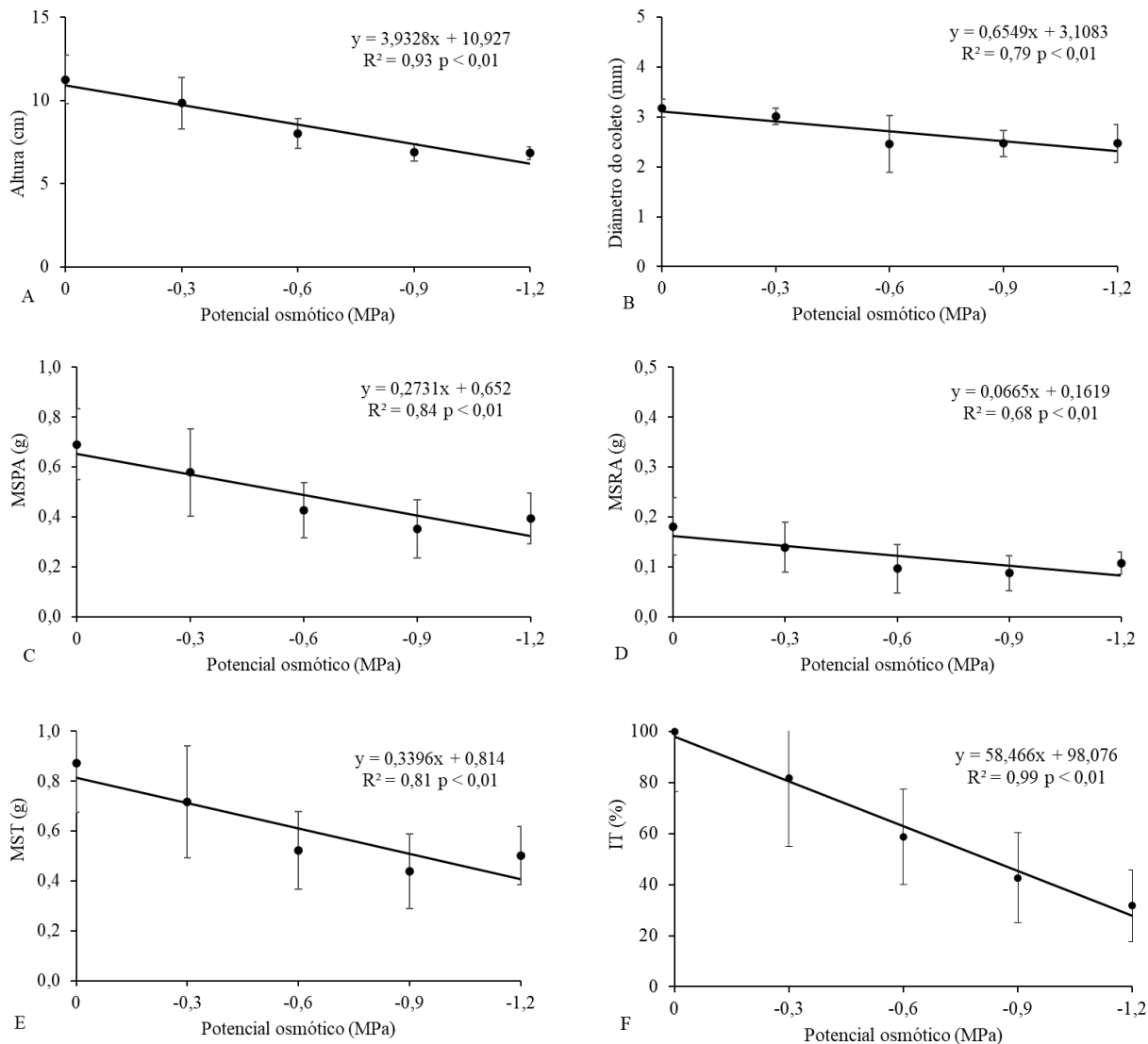


Figura 2. Altura (A), diâmetro do coleto (B), massa de matéria seca da parte aérea - MSPA (C), massa de matéria seca das raízes - MSRA (D), massa de matéria seca total - MST (E) e índice de tolerância à salinidade – IT (F) de mudas de *Toona ciliata* var. *australis* em função de diferentes níveis de potencial osmótico na irrigação do substrato.

Figure 2. Height (A), stem diameter (B), aerial part dry mass - MSPA (C), roots dry mass - MSRA (D), total dry mass - MST (E) and salinity tolerance index - IT (F) of *Toona ciliata* var. *australis* as a function of different levels osmotic potential in substrate irrigation.

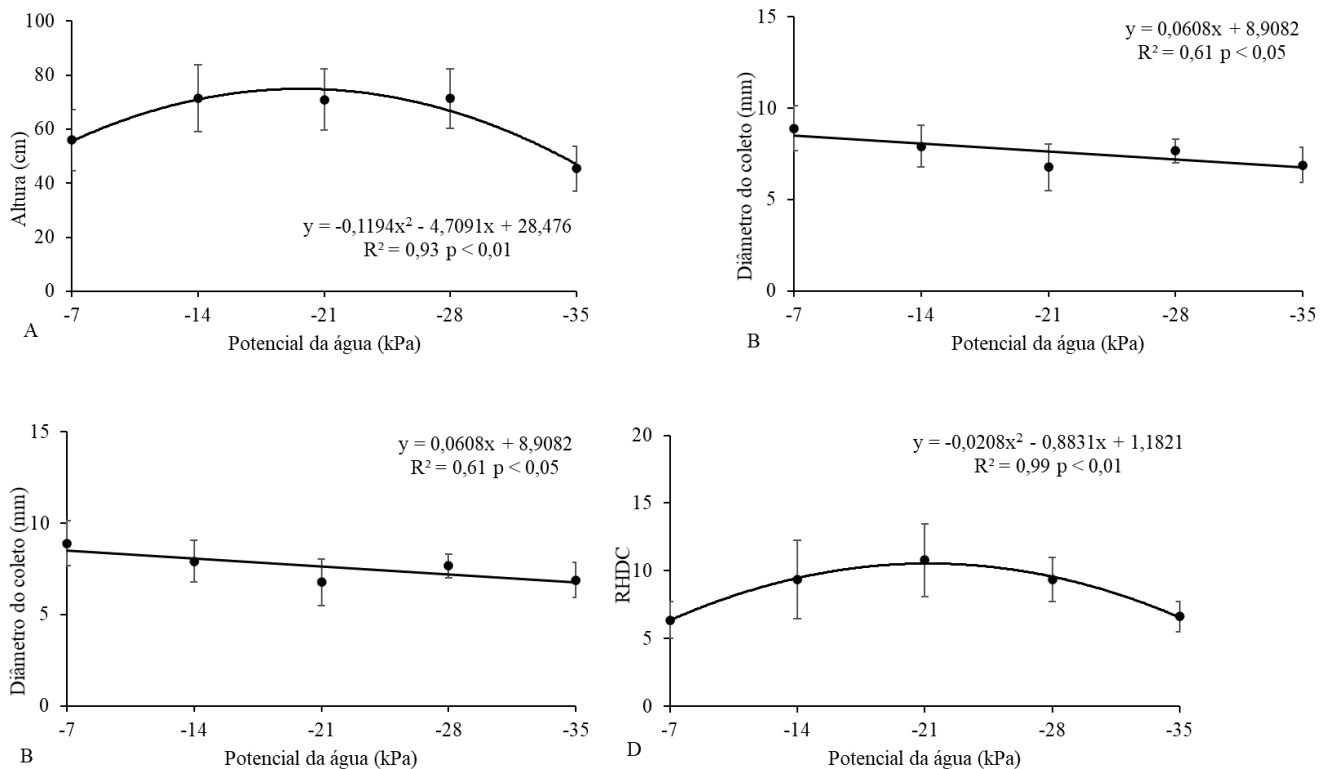


Figura 3. Altura (A), diâmetro do coleto (B), massa de matéria seca da parte aérea – MSPA (C) e relação entre altura e diâmetro do coleto – RHDC (D) de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*, em função de diferentes níveis de tensão hídrica do substrato.

Figure 3. Plants height (A), stem diameter (B), dry matter weight of the aerial part ratio – MSPA (C) and height and diameter of the stem ratio (D) of *Toona ciliata* var. *australis* as a function of different levels of substrate water potential.

Discussão

Algumas variáveis, como altura, matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR), matéria seca total (MST) e diâmetro do coleto (DC) foram reduzidas significativamente com aumento da concentração da solução salina (Figura 1). De acordo com Sixto et al. (2016), o estresse salino acarreta a diminuição da produção de biomassa. Em condições de déficit hídrico ocorre o fechamento estomático das plantas, visando à redução da perda de água por transpiração (Medeiros et al., 2013). Com isso, ocorre a restrição à entrada de CO_2 em função da redução da condutância estomática, resultando na redução das taxas de transpiração e fotossíntese (Brito et al., 2018). Para

Dutra et al. (2017), uma das expressões dos efeitos negativos do estresse salino às plantas é no DC, uma vez que esse promove alterações em funções metabólicas, fisiológicas e anatômica das plantas.

Resultados semelhantes de redução do crescimento vegetativo das plantas em respostas à salinidade da água de irrigação também foram observados por Freitas et al. (2017), ao avaliarem o crescimento de mudas de *Tectona grandis* L. f. (teca), e por Avrella et al. (2019), com mudas de *Mimosa scabrella* Benth (bracatinga). De acordo com Avrella et al. (2019), quando a salinidade excede o nível de tolerância das plantas, distúrbios funcionais e injúrias podem ser observados. A salinidade afeta diversos processos fisiológicos das plantas, dentre eles destaca-se a fotossíntese. A inibição do processo

fotossintético ocorre devido ao acúmulo de íons Na^+ e/ou Cl^- nos cloroplastos, afetando processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos no mesmo. Além disso, o acúmulo de íons reduz a disponibilidade de água para as plantas, fazendo com que elas fechem os estômatos (Taiz et al., 2017).

As atividades de algumas enzimas são alteradas pelos sais, a exemplo do NaCl , o que provoca a redução da produção e translocação de exsudados radiculares necessários ao metabolismo foliar, reduzindo consequentemente a área fotossinteticamente ativa (Munns, 2002). Essa redução da área foliar pode ser vista como um mecanismo de defesa da planta, uma vez que reduz a perda por evapotranspiração em condições adversas de ambiente. Esta ação está diretamente relacionada às trocas gasosas, notadamente ao processo de absorção de CO_2 e perda de água, no intuito de realizar o ajustamento osmótico (Sá et al., 2013).

Guedes et al. (2011) e Lopes et al. (2015) constataram em avaliações realizadas com *Harisia glaziovii* e *Gallesia integrifolia*, respectivamente, que os sais presentes na água de irrigação diminuem o potencial osmótico do substrato e influenciam diretamente fatores relacionados ao estabelecimento dessas espécies. O aumento da concentração de sais de sódio no substrato tem a capacidade de exercer efeito de fitotoxicidade, desencadeando um conjunto de alterações iônicas e hormonais que podem afetar diretamente o crescimento das plantas, como verificado por Ferreira et al. (2015). Logo, a ação da salinidade pode ir além da redução do potencial hídrico, podendo atingir a fertilidade do solo, modificando e tornando indisponíveis alguns nutrientes, o que pode ocasionar desbalanço nutricional nas plantas, principalmente em áreas em que a aplicação de fertilizantes ocorre em excesso, problemática ocorrida comumente em ambientes protegidos (Medeiros et al., 2016), como os viveiros florestais.

Em relação ao índice de tolerância à salinidade, expressa em termos de salinidade limiar é considerado como o ponto a partir do qual a produção da cultura começa a ser influenciada pela salinidade do solo/substrato (Medeiros et al., 2016), observa-se que esse foi superior a 50%, até mesmo nos tratamentos com maiores níveis de salinidade (-0,9 MPa) (Figura 2F).

Lucchese et al. (2018), ao avaliarem estresse salino na germinação e crescimento inicial de plântulas de *Toona ciliata*, observaram que a espécie é afetada por estresse salino nessa fase, sendo que potenciais

osmóticos -1,2 MPa podem acarretar a total inibição da germinação Andrade et al. (2020), em seu estudo de variação morfológica e fisiológica em *Toona ciliata* sob estresse salino e hídrico, observaram que efeitos de estresse também ocorrem em tratamentos de estresse salino, porém em menor quantidade que em tratamentos de estresse hídrico. De modo geral, no presente estudo, os sintomas de estresse hídrico, como murcha, amarelecimento e queda de folhas, demoraram mais tempo para se manifestarem e foram mais brandos.

De acordo com Fatemi et al. (2019), o estresse salino gera menor potencial hídrico, dificultando a absorção de água e levando à desidratação da célula e, finalmente, à ruptura do equilíbrio osmótico. Íons como o Na^+ estão entre os principais envolvidos na transdução de sinais. A restauração do equilíbrio osmótico da célula, reparação e controle de danos pela manutenção da homeostase celular, desintoxicação e sinalização para coordenar a função celular são mecanismos que as plantas usam em resposta à salinidade e estresse de seca (Fahmideh & Fooladvand, 2018). Deste modo, essas respostas podem resultar na expressão de maior tolerância ou sensibilidade da planta ao estresse. O cedro australiano pode ser considerado uma espécie com certa tolerância ao estresse salino, assim como apresentado por Andrade et al. (2020) e Lucchese et al. (2018), ressaltando-se as condições de recipiente, substrato e irrigação neste estudo, o que poderá se refletir em condições de campo, uma vez que, embora tenha ocorrido redução do crescimento das mudas, foi mantido alto índice de tolerância e sobrevivência das mesmas.

O estresse hídrico pode ser classificado como déficit hídrico, quando ocorre falta de água, ou como saturação hídrica (transbordamento), quando ocorre excesso de água (Andrade et al., 2010). Em ambas as situações, o estresse hídrico induz alterações no metabolismo vegetal, dependendo da espécie, genótipo, duração e severidade da condição. A saturação hídrica pode causar a inibição do alongamento de entrenós e da expansão das folhas, bem como pode acelerar a senescência e a abscisão foliar (Scalon et al., 2011). Por sua vez, o déficit hídrico afeta o fechamento e condutância estomática, fotossíntese e transpiração, em ambos os casos reduzindo-as, acarretando a redução do crescimento (Portes et al., 2006).

Andrade et al. (2020) observaram respostas significativas de desenvolvimento das mudas de cedro-australiano por meio de suspensão completa de irrigação

e saturação permanente do solo no vaso, sendo que a cultura se mostrou mais sensível ao déficit hídrico, tendo em vista o rápido aparecimento de sintomas de estresse, bem como pelo baixo incremento em altura, menor massa seca e valor do índice de qualidade de Dickson. Lucchese et al. (2018) também relataram a sensibilidade da espécie ao estresse hídrico em sua fase de germinação e crescimento inicial de plântulas, com inviabilização do desenvolvimento das plântulas com potencial osmótico de -0,4 MPa.

Segundo Von Arx et al. (2012), o estresse hídrico geralmente afeta a área foliar e a massa foliar, sendo esse efeito uma consequência da limitação na assimilação do carbono da fotossíntese. Embora o déficit hídrico tenha promovido menor produção de biomassa em todas as partes da planta no estudo de Andrade et al. (2020), os autores identificaram que nessa condição a espécie apresentou maior eficiência no uso da água, sendo isso relacionado ao fato de que com a redução da área foliar houve menor perda de água. Souza et al. (2018) estudaram a eficiência de uso da água de *Toona ciliata* e observaram que a espécie apresentou os menores valores de evapotranspiração, entre as espécies avaliadas, evidenciando que *T. ciliata* dispõe de mecanismos avançados de economia de água, que vão desde a abscisão das folhas até a alta eficiência na assimilação de N.

O cedro-australiano também apresenta redução do desenvolvimento em condições de estresse hídrico por saturação (Souza et al., 2018; Andrade et al., 2020). Uma das possíveis justificativas para o baixo desempenho das mudas de cedro-australiano em condições de saturação hídrica pode ser pela espécie não se desenvolver bem em ambientes permanentemente encharcados e solos argilosos compactados (Souza et al., 2010). Segundo Basu et al. (2016), ambientes saturados inibem o crescimento das raízes, a expansão da área foliar e a fotossíntese, devido à falta de oxigênio. Logo, a presença de sintomas como folhas amarelas são um indicativo da redução da fotossíntese e consequente retardo de crescimento das plantas. Neste estudo, não foi observado efeito prejudicial ao desenvolvimento das mudas até a tensão hídrica de -21 kPa, inclusive favorecendo algumas variáveis como altura e relação entre altura da parte aérea e diâmetro do coleto. Além disso, não foi observada mortalidade, mesmo em níveis mais elevados de deficiência hídrica (-35 kPa).

Conclusões

O crescimento das mudas de cedro australiano é reduzido com o estresse salino, embora apresente alto índice de tolerância que se traduz em sobrevivência. O déficit hídrico até o nível de -21 kPa favoreceu o crescimento em altura e diâmetro do coleto de mudas de cedro australiano, sendo prejudicial ao seu crescimento em níveis maiores de deficiência hídrica.

A partir de -35 kPa de tensão hídrica, as mudas começam a demonstrar os efeitos negativos do déficit hídrico. Durante a fase de crescimento das mudas de cedro australiano em viveiro, essa maior tolerância ao déficit hídrico permitiria a visualização de possíveis erros no manejo, dando ao técnico responsável a possibilidade da tomada de decisão sobre a diminuição ou não das operações diárias de irrigação em períodos críticos de estiagem e baixa disponibilidade de água.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS pelo financiamento de projeto que possibilitou a realização deste estudo e a Pró-Reitoria de Pesquisa - UFRGS - Brasil pela concessão de bolsa de iniciação científica ao primeiro autor.

Conflito de interesses

Os autores não têm conflito de interesse a declarar.

Contribuição de Autoria

Larissa Campos de Sá: conceituação; curadoria de dados; análise formal; investigação; metodologia; escrita - primeira redação, escrita - revisão e edição.

Marília Lazarotto: investigação; metodologia; supervisão, escrita - revisão e edição.

Eduarda Demari Avrella: curadoria de dados; análise formal; investigação.

Márcio Alberto Hilgert: metodologia; escrita - primeira redação.

Claudimar Sidnei Fior: metodologia; supervisão, escrita - revisão e edição.

Referências

Andrade, R. S. de et al. Morphological and physiological variation in *Toona ciliata* under water and salinity stress. **Ciência Rural**, v. 50, n. 6, 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190581>.

- Araujo, E. B. G. et al. Crescimento inicial e tolerância de cultivares de meloeiro à salinidade da água. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1726>.
- Avrella, E. D. et al. Efeito da salinidade no desenvolvimento inicial de mudas de *Mimosa scabrella* Benth. **Iheringia**. Série Botânica, v. 74, 2019. <https://doi.org/10.21826/2446-82312019v74e2019004>.
- Basu, S. et al. Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, v. 5, 10 p., 2016. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7678.1>.
- Betoni, R. et al. Salinidade e temperatura na germinação e vigor de sementes de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) (Sterculiaceae). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p.605-616, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000400004>.
- Brito, M. E. et al. Emergence and morphophysiology of Sunki mandarin and other citrus genotypes seedlings under saline stress. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 16, n. 1, p. 1-15, 2018. <https://doi.org/10.5424/sjar/2018161-9400>.
- Cavins, T. J. et al. Pourthru: a method for monitoring nutrition in the greenhouse. **Acta Horticulturae**, n. 779, p. 289-298, 2008. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.779.35>.
- Dickson, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.
- Dordel, J. et al. Effects of nurse-tree crop species and density on nutrient and water availability to underplanted *Toona ciliata* in northeastern Argentina. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 41, p. 1754-1768, 2011a. <https://doi.org/10.1139/x11-093>.
- Dordel, J. et al. Relationships between simulated water stress and mortality and growth rates in underplanted *Toona ciliata* Roem. in subtropical Argentinean plantations. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 17, p. 3226-3235, 2011b. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.05.027>.
- Dutra, T. R. et al. Efeito da salinidade na germinação e crescimento inicial de plântulas de três espécies arbóreas florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 91, p. 323-330, 2017. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1447>.
- Fahmideh, L. & Fooladvand Z. Isolation and semi quantitative PCR of Na⁺/H⁺ antiporter (SOS1 and NHX) genes under salinity stress in *Kochia scoparia*. **Biological Procedures Online**, v. 20, n. 11, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12575-018-0076-7>.
- Fatemi, F. et al. Exploiting differential gene expression to discover ionic and osmotic-associated transcripts in the halophyte grass *Aeluropus litoralis*. **Biological Procedures Online**, v. 21, p. 1-16, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12575-019-0103-3>.
- Ferreira, L. L. N. et al. Salinidade da água de irrigação e substratos no crescimento de mudas de maracujazeiro amarelo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35., 2015. Natal. **Anais [...]**. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. p. 1-4.
- Freitas, I. A. S. et al. Crescimento de mudas de *Tectona grandis* irrigadas com água salina. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 961-967, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509828667>.
- Guedes, R. S. et al. Estresse salino e temperaturas na germinação e vigor de sementes de *Chorisia glaziovii* O. Kuntze. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 279-288, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000200010>.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017**: ano base 2016. 2017. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 11 abr. 2020.
- Klein, D. R. et al. Aspectos gerais e silviculturais de *Cordia americana*, *Aspidosperma polyneuron*, *Toona ciliata* e *Khaya* spp. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 155-164, 2016. <https://doi.org/10.5965/223811711522016155>.
- Lopes, J. C. et al. Germinação e vigor de sementes de pau d'álho sob estresse salino. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 169-177, 2015. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.82.631>.
- Lucchese, J. R. et al. Estresse salino e hídrico na germinação e crescimento inicial de plântulas de *Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 141-149, 2018. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831633>.
- Medeiros, D. B. et al. Physiological limitations in two sugarcane varieties under water suppression and after recovering. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 25, n. 3, p. 213-222, 2013.
- Medeiros, P. R. F. de et al. Salinidade em ambiente protegido. In: Gheyi, H. R. et al. (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2016. p. 113-120.
- Munns, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>.
- Portes, M. T. et al. Water deficit affects photosynthetic induction in *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae) and *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae) growing in understorey and gap conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 4, p. 491-502, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000400007>.
- Sá, F. V. da S. et al. Produção de mudas de mamoeiro irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1047-1054, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001000004>.
- Scalon, S. de P. Q. et al. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011. <https://doi.org/10.5902/198050984510>.
- Silva, C. R. A. et al. Desenvolvimento biométrico de mudas de eucalipto sob diferentes lâminas de irrigação na fase de crescimento. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 381-390, 2015. <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.897>.
- Sixto, H. et al. *Eucalyptus* spp. and *Populus* spp. coping with salinity stress: an approach on growth, physiological and molecular features in the context of short rotation coppice (SRC). **Trees**, v. 30, n. 5, p. 1873-1891, 2016.
- Souza, A. F. et al. Desenvolvimento inicial e eficiência de uso de água e nitrogênio por mudas de *Calophyllum brasiliense*, *Eucalyptus urograndis*, *Tabebuia impetiginosa* e *Toona ciliata*. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1465-1477, 2018. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835054>.
- Souza, J. C. A. V. de et al. **Cedro australiano (*Toona ciliata*)**. Niterói: Rio Rural, 2010. 14 p.

- Taiz, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- Vieira, C. T. et al. Morfologia e viabilidade de grãos de pólen de *Toona ciliata* M. Roemer (Meliaceae) em diferentes estádios florais e tempos de armazenamento. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, e3399, 2020. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.02>.
- Vieira, F. C. S. & Meireles, L. D. *Myrceugenia myrtoides*. In: Refflora. **Flora e funga do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, [2020]. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB10649>. Acesso em: 16 abr. 2020.
- Vilela, E. S. & Stehling, E. de C. **Recomendações de plantio para cedro australiano**: versão mudas clonais 3.0. 2015. Disponível em: <https://www.belavistaflorestal.com.br/recomendacoes-mudas-clonais>. Acesso em: 16 abr. 2020.
- Von Arx, G. et al. Long-term functional plasticity in plant hydraulic architecture in response to supplemental moisture. **Annals of Botany**, v. 109, p. 1091-1100, 2012. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs030>.
- Zappi, D. C. et al. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201566411>.