



Inovações em pesquisas agrárias e ambientais

Volume VII

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
Organizadores

Alan Mario Zuffo
Jorge González Aguilera
Bruno Rodrigues de Oliveira
Organizadores

**Inovações em pesquisas agrárias e
ambientais**
Volume VII



Pantanal Editora

2025

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Dr. Jorge González Aguilera e Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Catalogação na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

158

Inovações em pesquisas agrárias e ambientais - Volume VII / Organização de Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera, Bruno Rodrigues de Oliveira. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2025.
124p. ; il.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-60-0

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756600>

1. Ciências agrárias. I. Zuffo, Alan Mario (Organizador). II. Aguilera, Jorge González (Organizador). III. Oliveira, Bruno Rodrigues de (Organizador). IV. Título.

CDD 630

Índice para catálogo sistemático

I. Ciências agrárias



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

O e-book “Inovações em Pesquisas Agrárias e Ambientais – Volume VI” reúne uma coletânea de trabalhos científicos que refletem os avanços e desafios contemporâneos no campo das ciências agrárias e ambientais, abordando aspectos relacionados à conservação de recursos naturais, manejo de ecossistemas, melhoramento genético, fisiologia vegetal e práticas de produção sustentável.

Os estudos aqui compilados abrangem uma diversidade temática que evidencia a complexidade dos sistemas biológicos e produtivos, e demonstram a aplicação de metodologias rigorosas na investigação de questões relevantes à ciência aplicada. Esta publicação resulta do esforço coletivo de diversos pesquisadores, docentes e discentes, cuja atuação nas diferentes linhas de pesquisa confere a este volume um caráter interdisciplinar e de alta relevância científica. O conjunto dos trabalhos apresentados não apenas avança o conhecimento técnico-científico, mas também propicia subsídios aplicáveis ao desenvolvimento de práticas produtivas sustentáveis, à conservação ambiental e ao aprimoramento dos processos de ensino, pesquisa e extensão universitária.

Desejamos aos leitores que este material contribua para o aprofundamento do conhecimento e para o estímulo de novas investigações no âmbito das ciências agrárias e ambientais.

Os organizadores

Sumário

Apresentação	4
Capítulo 1.....	6
Desempenho de modelos hidrológicos semi-distribuídos no Rio Verde, Minas Gerais	6
Capítulo 2.....	20
Frutos de <i>Muntingia calabura</i> e <i>Psidium guajava</i> na alimentação de macacos-prego no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta – MT	20
Capítulo 3.....	28
Produção de mudas de <i>Parkia multijuga</i> (Leguminosae) para restauração ecológica do Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta, Mato Grosso.....	28
Capítulo 4.....	36
Avaliação da capacidade germinativa de genótipos de soja submetidos a níveis de salinidade.....	36
Capítulo 5.....	47
Desempenho de Genótipos de Sorgo Forrageiro quanto à Porcentagem de Massa Seca em Condições de Irrigação e Sequeiro.....	47
Capítulo 6.....	55
Sementes de jurema preta submetidas à diferentes métodos de superação de dormência e posterior ciclo de hidratação – desidratação.....	55
Capítulo 7.....	62
Estabilidade de Genes Endógenos para Análises Moleculares em <i>Eucalyptus</i> sob Condições de Estresse	62
Capítulo 8.....	77
Distúrbios Fisiológicos em <i>Eucalyptus</i> : Genes-Chave para Tolerância Nutricional e Hídrica	77
Capítulo 9.....	95
Desempenho de mudas de eucalipto sob influência competitiva de gramíneas forrageiras	95
Capítulo 10	109
Comportamento inicial do eucalipto em plantio consorciado com leguminosas para cobertura do solo	109
Índice Remissivo	123
Sobre os organizadores.....	124

Desempenho de modelos hidrológicos semi-distribuídos no Rio Verde, Minas Gerais

Recebido em: 31/02/2025

Aceito em: 28/04/2025

 10.46420/9786585756600cap1

Conceição de Maria Marques de Oliveira 

Lívia Alves Alvarenga 

INTRODUÇÃO

Os modelos hidrológicos têm sido ferramentas eficientes utilizadas para melhorar a compreensão dos processos hidrológicos das bacias hidrográficas (Pacheco, 2015). Esses modelos podem ser utilizados em diferentes aplicações, tais como na previsão de vazão, avaliação da disponibilidade hídrica e nos estudos dos impactos das mudanças climáticas ou de uso da terra (Carvalho et al., 2022).

O uso de modelos hidrológicos conceituais distribuídos e semi-distribuídos baseia-se no argumento de que esses tipos de modelos representam melhor os processos físicos dentro de uma bacia hidrográfica, considerando a variabilidade espacial dos parâmetros físicos e meteorológicos (Alvarenga et al., 2020). A escolha do modelo hidrológico deve ser feita com base na aplicação desejada, uma vez que, cada modelo hidrológico apresenta suas suposições, limites e potencialidades. Assim, deve ser considerada a disponibilidade de dados na área, o número de parâmetros necessários e o nível de descrição dos processos hidrológicos.

Os modelos *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) (Neitsch, Arnold, Kiniry; Williams, 2011) e o *Variable Infiltration Capacity* (VIC) (Liang; Xie, 2001) são modelos semi-distribuídos e já foram utilizados na simulação hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais (Carvalho et al., 2022; Alvarenga et al., 2020). Estes modelos apresentaram resultados satisfatórios na avaliação de desempenho no passo de tempo mensal, no qual os resultados sugerem que pesquisas podem ser realizadas para avaliar os impactos de mudanças climáticas e de cobertura do solo (Alvarenga et al., 2020).

O modelo *Lavras Simulation of Hydrology* (LASH) foi testado nas bacias hidrográficas dos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Amazonas e Tocantins, representando diferentes biomas, escalas e condições edafoclimáticas. Também foi avaliado em pesquisas na cabeceira da bacia do Rio Grande por Beskow, Mello e Norton (2011). Embora diferentes aplicações com o LASH possam ser destacadas, a pesquisa utilizando o modelo para uma comparação de desempenho de diferentes modelos hidrológicos (LASH, VIC e MHD), no passo de tempo diário é inédita.

Além dos modelos hidrológicos citados (SWAT, VIC e LASH), o Modelo Hidrológico Distribuído (MHD-INPE) também pode ser utilizado na previsão de vazões. O MHD-INPE (Rodriguez; Tomasella, 2016) é um modelo distribuído desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

(INPE), que consiste numa adaptação do Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH) do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH).

Apesar das diferentes aplicações com o MHD-INPE a análise de desempenho na bacia hidrográfica do Rio Verde é uma novidade nesse estudo. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é avaliar o desempenho de três modelos hidrológicos (LASH, VIC e MHD) em passo de tempo diário na bacia hidrográfica do Rio Verde.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Verde (BHRV) está situada no sul do estado de Minas Gerais, sendo uma importante região para conservação da biodiversidade. A região da Serra da Mantiqueira detém várias regiões de cabeceiras que formam rios importantes para o abastecimento de água, irrigação e geração de energia elétrica a partir de fontes hidroenergéticas. A BHRV possui uma área de drenagem de aproximadamente 4100 km², com uma altitude que varia entre 809 m e 2.742 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima nesta região é predominantemente Cwb e a temperatura média anual é de 18 °C.

Os dados meteorológicos utilizados nesse estudo foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (<https://bdmep.inmet.gov.br/INMET>), sendo utilizadas três estações convencionais: a estação de São Lourenço (SL; 22° 07'48" S e 45° 02' 24,0 O), localizada no interior da BHRV, e as estações Machado (MA; 21° 40'48,0 S; 45° 56'24,0 O) e Lavras (LV; 21° 13' 34,0 S, 44° 58' 47,0 O), localizadas fora dos limites físicos da bacia. Os dados fluviométricos foram obtidos por meio da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para a estação Três Corações (TC; -21° 42' 11" S e 45° 14' 51" O).

As classes de solo que predominam na BHRV são: Argissolo (65,3%), Latossolo (23,3%) e Cambissolo (8,9%), seguidas por afloramento rochoso (1,3%) e Neossolo (1,2%). Os usos e cobertura da terra predominantes na bacia são: pastagem (69,2%), floresta nativa (21,3%), campo de rocha (1,7%), eucalipto (0,2%), agricultura (7%) e urbanização (6%).

MODELOS HIDROLÓGICOS

A Simulação de Hidrologia de Lavras (LASH) é um modelo hidrológico conceitual, determinístico e semi-distribuído baseado no modelo SCS-CN modificado, equação de Brooks e Corey para estimativa de escoamento de base e subsuperfície (Mello et al., 2008) e modelo linear de Muskingum-Cunge para roteamento de fluxo de água (Cunge, 1969). Cada componente de escoamento é associado a um reservatório de armazenamento (superfície, subsuperfície e escoamento de base) para propagação do escoamento. O princípio LASH é baseado na equação do balanço hídrico (Eq. 1):

$$\frac{A_t - A_{t-1}}{\Delta t} = \frac{[(P + D_t - ET_R - D_B - D_{SS} - D_S)]}{\Delta t} \quad (1)$$

em que, A_t é o armazenamento atual de água no solo no tempo t (mm); A_{t-1} é o armazenamento de água no solo (mm) no intervalo de tempo imediatamente anterior à t ; P é a precipitação média (mm), descontada da interceptação (IT, em mm); D_t é a ascensão capilar (mm); ET_R é a evapotranspiração real (mm); D_B é a lâmina de escoamento subterrâneo (mm); D_{SS} é a lâmina de escoamento subsuperficial (mm); D_S é a lâmina de escoamento superficial direto (mm); e Δt é o intervalo de tempo.

O Variable Infiltration Capacity (VIC) consiste de dois módulos: (i) uma transformação chuva-escoamento (Liang; Xie, 2001); e (ii) roteamento do fluxo de água (Lohmann et al., 1998) que propaga o fluxo de água usando as equações de Saint-Venant linearizadas. O princípio VIC é baseado na curva de capacidade de infiltração (Eq. 2):

$$i = i_m * [1 - (1 - A)^{1/b_i}] \quad (2)$$

onde i e i_m são a capacidade de umidade do solo pontual e máxima, respectivamente; A é a fração de uma área para a qual a capacidade de umidade do solo é menor ou igual a i ; e b_i é o parâmetro de forma da capacidade de umidade do solo.

O Modelo Hidrológico Distribuído (MHD-INPE) (Rodriguez; Tomasella, 2016) foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a partir do Modelo de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH), o qual recebeu modificações nas rotinas para estimativa da evaporação e da separação de fluxos.

A separação dos fluxos estimada pelo MHD-INPE combina a formulação do modelo Xinanjiang (Zhao, 1992) e do modelo TopModel (Beven; Kirkby, 1979) para simular a resposta hidrológica. O procedimento de calibração do MHD-INPE é baseado no algoritmo do método de otimização Shuffled Complex Evolution (SCE-UA) (Duan, Sorooshian; Gupta, 1992).

A simulação da perda de água por interceptação ocorre por meio da metodologia proposta por Gash, Lloyd e Lachaud (1995). A extração radicular profunda de captura da água da vegetação desde o solo é resolvida conforme o modelo de distribuição de raízes proposto por Jarvis (1989), de acordo com as estimativas de evaporação, obtidas diretamente no modelo hidrológico por meio do método de Penman-Monteith (Monteith, 1981). A estruturação do MHD-INPE é composta por quatro módulos (balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo; escoamento da rede de drenagem) os quais estão explicitados nas seguintes equações: fluxo de base da camada inferior (Eq. 3) Q_{Sub} ; fluxo subsuperficial (Eq. 4) e Q_{SS} a recarga do aquífero Q_r (Eq. 5).

$$Q_{Sub} = \frac{T_{sub} * \tan\beta}{\lambda_\mu^\mu} \left[1 - \frac{S_{max} - S_t}{S_{max}(1 - \xi)} \right]^\mu = \frac{T_{sub} \tan\beta}{\lambda_\mu^\mu} \left[\frac{S_t - \xi S_{max}}{S_{max}(1 - \xi)} \right]^\mu \quad (3)$$

$$Q_{ss} = \frac{\alpha D_1 K_{ss} \tan \beta}{\lambda_\eta^\eta} \left(\frac{SS_t}{SS_{max}} \right)^\eta \quad (4)$$

$$Q_r = K_{ss} \left(\frac{SR_t}{SR_{max}} \right)^\eta \quad (5)$$

onde T_{sub} é a transmissividade quando o lençol freático atinge a superfície; $\tan \beta$ é a declividade média do lençol freático na célula; S_{max} e S_t são, respectivamente, o valor máximo e o valor médio na célula no tempo t do armazenamento na camada inferior do solo; ξ a razão entre o armazenamento na capacidade de campo e S_{max} ; μ é um parâmetro que determina a variação de transmissividade em relação a profundidade; e λ_μ^μ é a média na grade da área de contribuição à montante por unidade de contorno. O armazenamento máximo S_{max} é dado pelo produto da porosidade do solo ϕ e espessura média da camada saturada D_3 ; onde K_{ss} a condutividade hidráulica da camada superior do solo; D_1 a espessura da camada superior do solo; α o coeficiente que considera a anisotropia do solo; η é o parâmetro de condutividade proposto por Brooks e Corey (1964); SS_{max} é a capacidade máxima de armazenamento da camada superior do solo igual ao produto de D_1 e porosidade do solo; SS_t representa o armazenamento médio na célula no tempo t ; e λ_η^η é a área de contribuição média por unidade de contorno elevada à potência $1/\eta$.

AVALIAÇÃO DOS DADOS

Os modelos hidrológicos requerem dados de precipitação, vazão e meteorológicos, mapas relacionados ao uso e cobertura da terra, e características físicas do solo, além do Modelo Digital de Elevação (MDE). Os dados meteorológicos foram obtidos das séries históricas diárias das estações de Lavras, São Lourenço e Machado, sendo obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A série histórica diária dos dados de vazão foi obtida pela estação de Três Corações da ANA, a qual foi utilizada para a análise de desempenho dos modelos.

Os modelos LASH, VIC e MHD necessitam como dados de entrada a série histórica diária de temperatura, máxima e mínima do ar a 2m ($^{\circ}\text{C}$), velocidade do vento (m s^{-1}) e precipitação (mm), radiação solar global ($\text{MJ}/(\text{dia.m}^{-2})$), umidade relativa, e além desses parâmetros citados, o MDH utiliza temperatura do ponto de orvalho a 2m ($^{\circ}\text{C}$), pressão atmosférica em nível de superfície (mb). Para isso, foi utilizado o período de 1990 a 2005 da série de dados diários das estações meteorológicas e da estação fluviométrica localizadas na região da BHRV.

O MDE foi obtido da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) junto ao *United States Geological Survey* (USGS). Em suma, para o processamento do MDE seguiu-se as etapas: i) o mosaico das cenas que compõem a BHRV (Mosaic); ii) a extração de máscara (*Extrac by Mask*) a partir do arquivo vetorial da bacia; e iii) o preenchimento de depressões espúrias do MDE (*fill sinks*). Assim, as altitudes da BHRV variaram entre 835 e 2742m. A espacialização das classes de solo da bacia hidrográfica foi

desenvolvida com base no novo mapa do Brasil, o qual possui escala 1:5.000.000, atualizado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

Os parâmetros de vegetação que são necessários para o LASH, VIC e MHD são: índice de área de folha, profundidade da raiz, albedo, resistência à superfície e altura. Os parâmetros citados foram obtidos da literatura (Caldeira et al., 2019; Mello et al., 2008; Melo, 2022). Cabe ressaltar que os parâmetros de vegetação não foram alterados durante as calibrações dos modelos.

No caso do LASH, a bacia hidrográfica do estudo foi dividida em sub-bacias, resultando em 57 sub-bacias com áreas de drenagem entre 1,14 km² e 215,65 km². Os limites superior e inferior foram definidos para cada parâmetro na etapa de calibração (Beskow et al., 2011), utilizando o algoritmo SCE-UA (Duan et al., 1992). Na calibração no LASH há sete parâmetros mais sensíveis no modelo, os quais são: (a) o coeficiente de abstração inicial (λ); (b) a condutividade hidráulica do reservatório de zona saturada rasa (K_B); (c) a condutividade hidráulica do reservatório subsuperficial (K_{SS}); (d) o fluxo máximo retornando ao solo por elevação capilar (K_{CR}); (e) O parâmetro de tempo de resposta do reservatório de superfície (C_S); (f) o parâmetro de tempo de resposta do reservatório subsuperficial (C_{SS}); e (g) o tempo de recessão do fluxo de base (C_B). O λ está diretamente associado com a abstração inicial das chuvas, que corresponde à parcela da chuva perdida que ocorre antes do início da geração do escoamento superficial direto (Beskow et al., 2011).

No VIC a superfície da bacia é representada por células de grade, sendo que foi definida uma resolução de 0,01° (3768 células de grade). A calibração do VIC foi realizada manualmente considerando a alteração de cada parâmetro de forma separada de acordo com os estudos de Gao et al. (2010) alterando os valores dos seguintes parâmetros: D_s (fração de D_{smax} para a qual se inicia o escoamento de base não linear), W_s (fração do teor máximo de água da camada inferior do solo, a partir da qual se inicia o escoamento de base não linear), $b_{infiltr}$ (representa a forma da curva variável de infiltração), h_3 (espessura da terceira camada do solo, C (celeridade cinemática da onda que determina a velocidade de propagação da onda no canal de escoamento) e D (coeficiente de difusão de ondas cinemáticas que mostra a diferença de velocidade sobre a área de drenagem).

O procedimento de calibração do MHD foi automático (Duan et al., 1992). O processo de calibração pelo MHD foi utilizado a unidade de resposta hidrológica (URH) advinda da combinação de usos e ocupações dos solos, tipos de solo e vegetação. O modelo determina o balanço hídrico em cada URH e gera o valor de fluxo médio ponderado pela área para cada célula de grade (166) com uma resolução (0,04°). A calibração foi feita na estação fluviométrica Três Corações, utilizando o método *Strength Pareto Evolutionary Algorithm*- SPEA2 (Zitzler, Laumanns; Thiele, 2001).

No processo de calibração foram ajustados dez parâmetros: profundidades da camada de solo (D_1 , D_2 e D_3), o multiplicador da condutividade hidráulica da camada superior, transmissividade horizontal da camada saturada (T_{sub}), coeficiente de decaimento da condutividade hidráulica no solo (μ),

mínimo de armazenamento subterrâneo que se gera escoamento (ξ), anisotropia do solo (α) e os coeficientes do tempo de retardo das camadas superficiais (C_{sup}) e subterrâneas (C_{sub}).

APLICAÇÃO, CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS HIDROLÓGICOS

A simulação hidrológica na BHRV foi realizada entre os anos de 1.990 a 2.005, sendo aplicado o período de 1.993 a 1.999 para a calibração e o de 2.000 a 2.005 para a validação dos modelos hidrológicos LASH, VIC e MHD. Como ocorrem incertezas associadas as condições hidrológicas iniciais, foram considerados os três primeiros anos como período de aquecimento. As vazões simuladas do LASH, VIC e MHD foram comparadas às vazões observadas no exutório da bacia estudada. Neste estudo foram avaliados os índices estatísticos Nash-Sutcliffe (Nash; Sutcliffe, 1970), sua versão logarítmica LNASH, assim como o R^2 (Yapo, Gupta; Sorooshian, 1996) e P_{BIAS} (Gupta, Sorooshian; Yapo, 1999) (Equações 6, 7, 8 e 9, respectivamente).

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (6)$$

$$LNASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\log(Q_{oi}) - \log(Q_{si}))^2}{\sum_{i=1}^n (\log(Q_{oi}) - \log(\bar{Q}_o))^2} \quad (7)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o) (Q_{si} - \bar{Q}_s)}{\sum_{i=1}^n [(Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2]^{0,5} [(Q_{si} - \bar{Q}_s)^2]^{0,5}} \right\}^2 \quad (8)$$

$$P_{BIAS} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{si} - \sum_{i=1}^n Q_{oi}}{\sum_{i=1}^n Q_{oi}} * 100 \quad (9)$$

em que, Q_{si} é a vazão simulada no tempo i ; Q_{oi} é a vazão observada no tempo i , $\bar{Q}_o$ é a vazão observada média, $\bar{Q}_s$ é a vazão simulada média e n é o número total de dados observados.

O $NASH$ determina a habilidade do modelo em reproduzir a série de vazões observadas e possui uma forte influência nas vazões máximas, enquanto o $LNASH$ é mais influenciado pelas vazões mínimas. Já o R^2 informa sobre o grau de correlação entre as simulações e os valores observados, além de relatar a habilidade do modelo em reproduzir a forma e a distribuição do hidrograma (Rodriguez; Tomasella, 2016).

O P_{BIAS} mede a tendência média dos dados estimados pelo modelo hidrológico em super ou subestimar os dados observados de vazão (Yapo et al., 1996). Valores de P_{BIAS} próximos de zero indicam que o modelo não apresentou tendência na estimativa dos valores, sendo que, os valores negativos indicam subestimativas, enquanto que os valores positivos indicam subestimativas nos valores de vazão observados (Gupta et al., 1999). De modo geral, as performances dos modelos hidrológicos podem ser classificadas conforme a Tabela 1, proposta por Moriasi, Gitau, Pai & Daggupati (2015).

Tabela 1. Classificação dos índices estatísticos para avaliação do desempenho dos modelos hidrológicos. Fonte: Adaptado de Moriasi et al. (2015).

Índices estatísticos	Intervalo de variação	Critério de desempenho			
		Muito bom	Bom	Satisfatório	Não satisfatório
NASH e LNASH	$-\infty$ a 1	$>0,80$	0,70 a 0,80	0,50 a 0,70	$\leq 0,50$
R^2	0 a 1	$>0,85$	0,75 a 0,85	0,60 a 0,75	$<0,60$
P_{BIAS}	$-\infty$ a 100	$<\pm 5\%$	± 5 a $\pm 10\%$	± 10 a $\pm 15\%$	$> \pm 15\%$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de calibração usando VIC, LASH e MHD para o Rio Verde. Analisando os parâmetros utilizados na calibração no modelo hidrológico VIC, a curva de infiltração variável (b_i) apresentou um alto valor, o que possibilitou maior escoamento superficial (Xie et al., 2007). Ao contrário do valor do (b_i), os parâmetros de fluxo de base D_s e W_s obtiveram valores baixos.

Esses dois parâmetros de fluxo de base determinam a rapidez com que a água armazenada na terceira camada é deixada como fluxo de base (Liang et al., 1994) e controlam a parte não linear da função de geração do fluxo de base. Provavelmente as camadas dos solos na bacia em estudo são de solos profundos com boa drenagem no caso argilosos e latossolo. Analisando os valores dos parâmetros mais sensíveis do modelo LASH o (coeficiente de abstração de chuva) λ obteve menor valor 0,07 pode estar relacionado com características dos eventos de chuva e também ligado a estimativa da lâmina de escoamento superficial direto (Caletka et al., 2020).

Tabela 2. Parâmetros de calibração dos modelos hidrológicos VIC, LASH e MHD-INPE, bem como seu significado físico e valores finais calibrados.

Parâmetro	Descrição	Unidade	Gama	Valor Final
Modelo VIC				
b_i	Curva de infiltração variável	-	0.001- 0.4	0.35
D_s	Fração da velocidade máxima do escoamento de base em que se inicia o escoamento de base não linear	Fração	0.001-0.99	0.01
W_s	Fração da humidade máxima do solo em caso de escoamento de base não linear	Fração	0.001-0.99	0.05
H_3	Espessura da terceira camada	m	0.05-2	0.5
C	Celeridade de onda cinemática	$m \ s^{-1}$	0.5-3	0.5
D	Coefficiente de difusão de onda cinemática	$S \ m^{-1}$	200-400	2200
Modelo LASH				
λ	Coefficiente de abstração inicial	-	0.01-0.5	0.07

Parâmetro	Descrição	Unidade	Gama	Valor Final
Modelo VIC				
K_B	A condutividade hidráulica do reservatório raso satura da zona	$\text{mm}^{\text{dia-1}}$	0.0-6	3.33
K_{SS}	Condutividade hidráulica do reservatório subterrâneo	$\text{mm}^{\text{dia-1}}$	0-250	245.41
K_{CR}	Fluxo máximo de retumung para o solo por elevação capilar	$\text{mm}^{\text{dia-1}}$	0-5	1.03
C_S	Parâmetro de tempo de resposta do reservatório de superfície	-	-	84.45
C_{SS}	Parâmetro de tempo de resposta do reservatório subterrâneo	-	-	16677.22
C_B	Tempo de recessão do fluxo de base	dia	-	105.46
Modelo MDH-INPE				
D^1	Espessura da camada superior	m	0-10	3.8
D^2	Espessura da camada intermediária	m	0-10	0.35
D_3	Espessura da camada inferior	m	0-30	0.09
K_{SS}	Condutividade hidráulica saturada o	$\text{mm}^{\text{dia-1}}$	0.01-10	0.37
T_{sub}	Transmissividade máxima da camada inferior	$\text{m}^2 \text{dia-1}$	0.01-1000	0.48
μ	Decadência da transmissividade com a espessura da zona saturada	-	0.01-4	0.0005
Venha e suporte	Parâmetro de armazenamento de água de roteamento para escoamentos superficiais e subterrâneos	dia	0.001-10	25.39
C_{sub}	Parâmetro de armazenamento de água de roteamento para fluxo de base	dia	0.001-2000	272.4252
	Relação entre a capacidade de campo e a porosidade	-		
α	Coeficiente de anisotropia	-	1-10000	394.7182

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das estatísticas de precisão aplicadas para avaliar o desempenho dos três modelos hidrológicos. Os resultados indicam um melhor desempenho dos modelos LASH e MHD-INPE quando comparado ao modelo VIC. Em todos os índices estatísticos verificaram-se desempenhos satisfatórios na calibração e validação, conforme a classificação proposta por Moriasi et al. (2015). Na análise de desempenho do VIC, é notória a maior dificuldade de simular vazões no período seco a partir dos valores L_{NASH} inferiores a 0.50.

Os valores de P_{BIAS} foram satisfatórios, mas indicaram subestimativa dos dados observados de vazão na calibração e validação do VIC. No geral, os valores de NASH indicaram um bom desempenho dos três modelos hidrológicos para simular as vazões de pico. No entanto, os melhores valores simulados das vazões de pico foram verificados com a utilização do LASH e do MHD-INPE.

Tabela 3. Índices estatísticos dos modelos LASH, VIC e MHD para vazões diárias.

Índice Estatístico	Calibração			Validação		
	LASH	VIC	MHD	LASH	VIC	MHD
NASH (C_{NS})	0,85	0,79	0,79	0,80	0,77	0,87
LNASH ($\log C_{NS}$)	0,89	0,22	0,84	0,81	0,35	0,86
R^2	0,85	0,85	0,79	0,85	0,85	0,88
P_{BIAS}	0,60	14,85	0,80	6,80	14,48	-7,30

Os resultados obtidos pela simulação dos modelos hidrológicos MHD-INPE e LASH na Tabela 3, são considerados bastante satisfatórios para BHRV. Outros autores também obtiveram resultados semelhante na comparação no desempenho dos modelos hidrológicos na mesma região no Sul de Minas Gerais. Melo et al. (2022) utilizando os modelos hidrológicos MHD-INPE e DHSVM, obtiveram resultados satisfatório na simulação utilizando MHD-INPE a passo diário, quando os índices estatísticos na calibração NASH, LNASH e P_{BIAS} apresentaram 0,80, 0,75, -8,0, respectivamente.

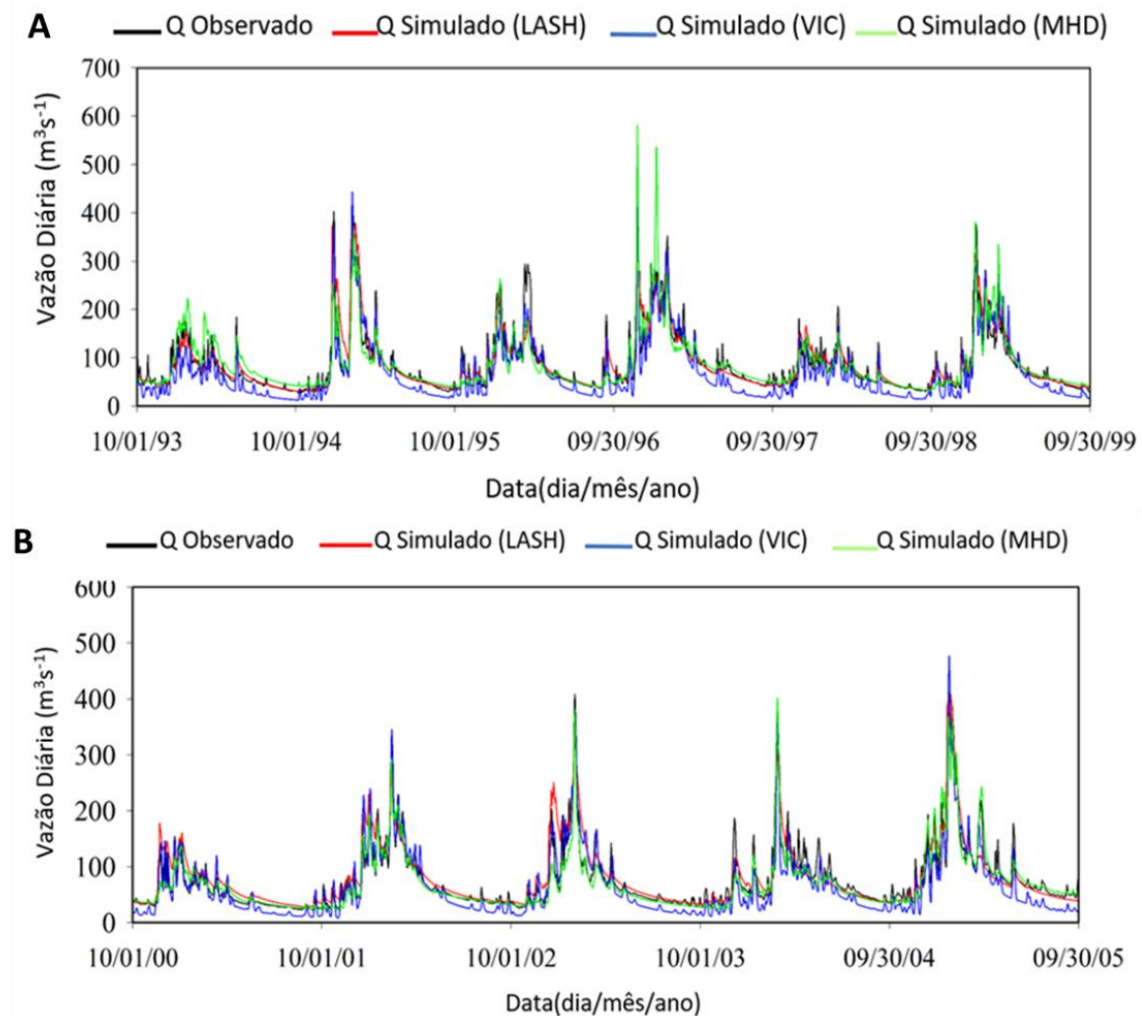


Figura 1. Vazões diárias observadas e simuladas pelo: **A.** LASH, MHD e VIC; **B:** LASH, MHD e VIC durante o período de validação. Fonte: dos autores

Os resultados das vazões diárias simuladas pelo LASH, VIC e MHD, além das vazões observadas, nas etapas de calibração e validação, estão dispostos na Figuras 1. Os resultados obtidos pelo VIC mostraram uma subestima da vazão no período de recessão, já no período chuvoso, em alguns casos a vazão de pico é superestimada.

No geral, quando comparado às vazões diárias observadas, as vazões diárias simuladas pelo LASH e MHD apresentaram melhores resultados em relação àquelas simuladas pelo VIC. O pior desempenho do VIC pode estar relacionado ao processo manual de calibração utilizado, sendo que essa metodologia de calibração exige um alto tempo de processamento para alcançar a melhor combinação de parâmetros que é realizada individualmente. Além disso, a calibração manual exige uma análise inter-parâmetros, normalmente realizada fixando um e alterando os demais, com o intuito de verificar qual parâmetro é mais sensível.

Na Figura 1B, observa-se de maneira geral, uma boa concordância entre os valores estimados pelos modelos LASH, MHD e os observados, porém o MHD apresentou maior dificuldade em simular alguns valores de pico no período de 1996, com picos mais elevados que os observados. Esse tipo de comportamento na simulação, pode estar relacionado à variabilidade espacial e temporal das chuvas, associada ao baixo tempo de concentração do escoamento em bacias.

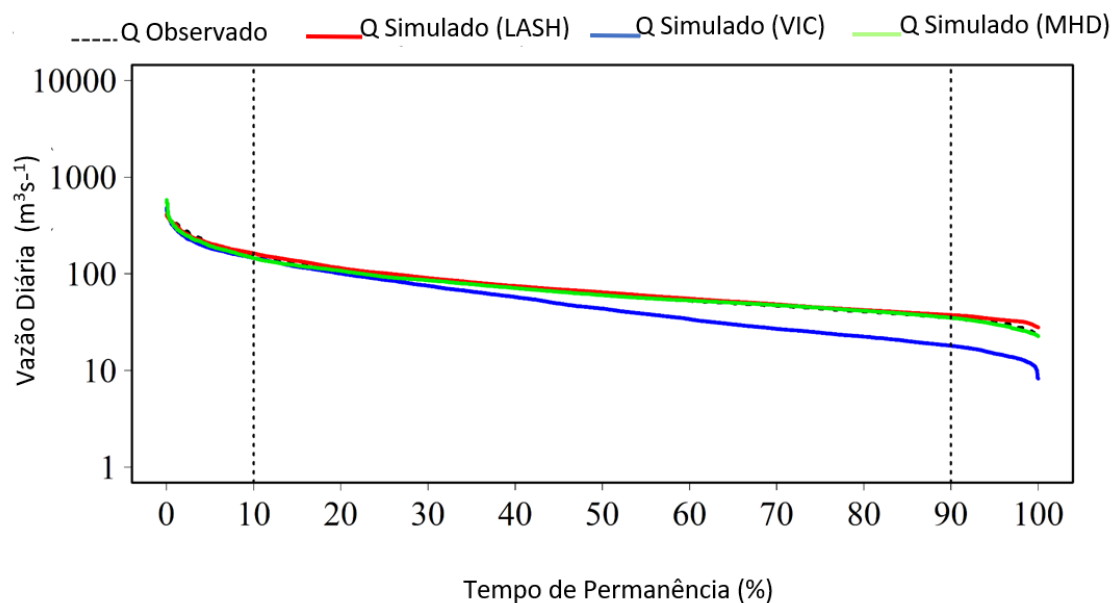


Figura 2. Curva de permanência das vazões observada e simulada pelos modelos LASH, MHD e VIC.
Fonte: dos autores

A Figura 2 mostra o comportamento da curva de permanência das vazões observadas e simuladas pelos três modelos utilizados. A curva de permanência permite uma estimativa da frequência de tempo em que uma determinada vazão é igualada ou excedida. Neste contexto, levando em consideração a gestão dos recursos hídricos, essa é uma importante ferramenta para representar a frequência das vazões

máximas e mínimas de referência simuladas pelos modelos hidrológicos. As vazões mínimas simuladas pelo VIC foram subestimadas quando comparadas às vazões observadas. O valor da Q_{90} observado foi $35,03\text{m}^3/\text{s}^{-1}$ e das vazões Q_{90} simuladas para o modelo LASH, VIC e MHD foram $43,87\text{m}^3/\text{s}^{-1}$, $18,03\text{m}^3/\text{s}^{-1}$ e $35,89\text{m}^3/\text{s}^{-1}$, respectivamente.

O valor da Q_{10} observado foi $151,61\text{m}^3/\text{s}^{-1}$; o Q_{10} simulado LASH, VIC e MHD foram $162,78\text{m}^3/\text{s}^{-1}$, $144,84\text{m}^3/\text{s}^{-1}$ e $147,17\text{m}^3/\text{s}^{-1}$, respectivamente. No geral, fica evidente o melhor ajuste da curva de permanência das vazões diárias simulada pelo LASH e MHD.

Na Figura 3 encontram-se os dados do deflúvio diário acumulado. Os dados simulados pelo LASH e MHD quando comparados aos dados observados evidenciaram uma melhor concordância. Os valores acumulados do escoamento superficial foram de 7.036 mm (observado), 7.252 mm (simulado pelo LASH), 7.016 mm (simulado pelo MHD) e 5.892 mm (simulado pelo VIC). No final do período avaliado, os valores simulados pelo LASH ficaram um pouco acima dos observados. Diferentemente dos dados simulados pelo VIC que em geral, durante todo o período, ficaram abaixo dos dados observados.

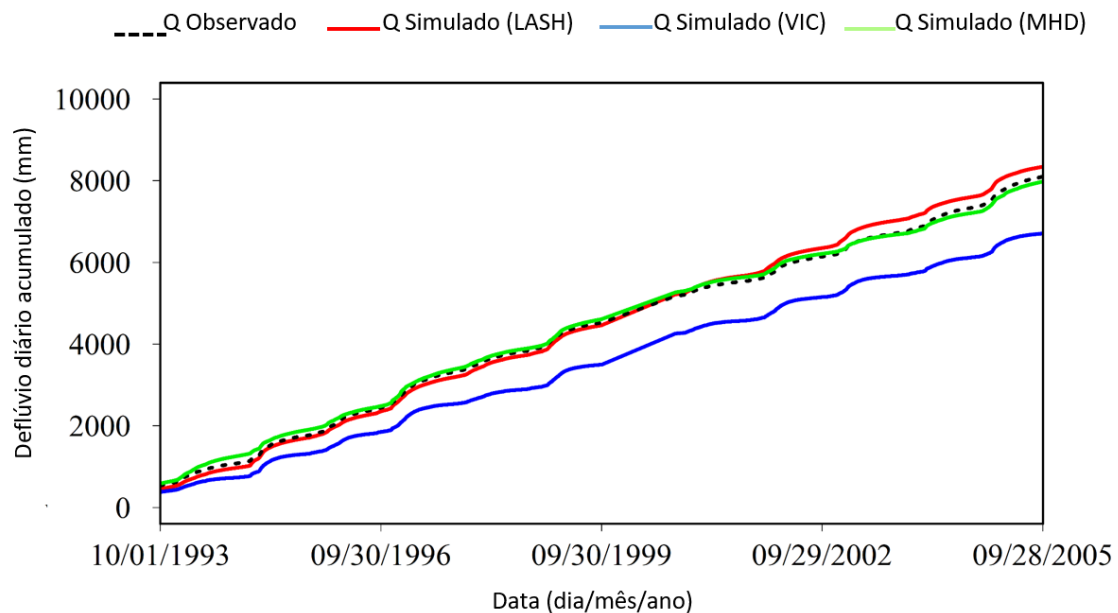


Figura 3. Deflúvio acumulado na BHRV. Fonte: do autor

Os resultados obtidos dos componentes do balanço hídrico vertical anual observados e simulados pelos modelos hidrológicos LASH, VIC e MHD podem ser visualizados na Tabela 4. Nesta pesquisa, os valores médios anuais da evapotranspiração simulada em relação a precipitação variaram de 44 a 57%, 53 a 78%; 37 a 64% com o LASH, VIC e MHD, respectivamente. Os maiores valores médios de evapotranspiração anual simulada pelo VIC são indicativos de subestimativa do deflúvio. Esses resultados estão de acordo com o estudo de Alvarenga et al. (2020) que indicaram performance razoável na simulação da vazão na bacia hidrográfica do rio Verde utilizando o SWAT e VIC. Os autores destacam valores médios anuais de evapotranspiração variando entre 57,9 a 65,7% da precipitação. Na pesquisa

citada verifica-se o melhor desempenho do VIC quando comparado ao SWAT. No presente estudo verificou-se melhor desempenho do LASH e MHD quando comparado ao VIC.

Tabela 4. Componentes do balanço hídrico anual (1993-2005) da BHRV.

ANO	P (mm)	LASH			VIC			MHD		
		ET (mm)	P-ET (mm)	ET/P (mm)	ET (mm)	P-ET (mm)	ET/P (mm)	ET (mm)	P-ET (mm)	ET/P (mm)
1993	1451,60	733,93	717,67	0,51	841,37	610,23	0,58	764,67	686,93	0,53
1994	1348,97	653,72	695,26	0,48	888,92	460,05	0,66	754,17	594,80	0,56
1995	1504,59	744,24	760,35	0,49	995,91	508,67	0,66	772,98	731,61	0,51
1996	1843,76	846,76	997,00	0,46	1081,74	762,02	0,59	844,41	999,36	0,46
1997	1419,88	754,78	665,10	0,53	1009,85	410,03	0,71	825,20	594,68	0,58
1998	1318,14	795,86	522,29	0,60	1033,46	284,68	0,78	842,22	475,92	0,64
1999	1468,56	640,74	827,82	0,44	861,59	606,97	0,59	773,43	695,12	0,53
2000	1672,63	750,00	922,63	0,45	979,26	693,37	0,59	812,50	860,13	0,49
2001	1336,06	757,36	578,70	0,57	998,82	337,25	0,75	820,93	515,14	0,61
2002	1383,37	734,38	648,99	0,53	952,58	430,79	0,69	791,17	592,20	0,57
2003	1295,67	664,15	631,52	0,51	922,92	372,74	0,71	784,95	510,71	0,61
2004	1621,56	795,08	826,48	0,49	1001,45	620,11	0,62	818,89	802,68	0,50
2005	1596,35	753,36	842,99	0,47	847,35	749,00	0,53	591,49	1004,86	0,37

CONCLUSÃO

A análise de desempenho dos modelos hidrológicos LASH, MHD e VIC foi realizada na bacia hidrográfica do Rio Verde. Em geral, os modelos hidrológicos foram capazes de simular as vazões médias diárias na bacia. Na calibração e validação o LASH e MHD apresentaram melhores desempenhos quando comparado ao VIC, que teve uma maior dificuldade para simular as vazões no período seco, sendo evidenciado com os resultados do LNASH menores que 0,5.

Alguns aspectos com relação aos resultados obtidos pelo modelo hidrológico VIC são reflexos do tipo de calibração adotada (manual e com limites definidos), além das incertezas com relação a estrutura do modelo, o que possibilita erros, gerando resultados insatisfatórios. Contudo, o modelo possui potencial para utilização como ferramenta na modelagem hidrológica.

Os resultados encontrados neste estudo demonstraram que os modelos LASH e MHD foram capazes de prever as vazões diárias com melhor precisão, tornando-se uma ferramenta importante para gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas desta região de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, L. A., Carvalho, V. S. O., Oliveira, V. A., Mello, C. R., Colombo, A., Tomasella, J., et al. (2020). Hydrological simulation with SWAT and VIC Models in the Verde River Watershed, Minas Gerais. *Ambiente & Água*, 15, e2492.
- Beskow, S., Mello, C. R., & Norton, L. D. (2011). Development, sensitivity and uncertainty analysis of LASH model. *Scientia Agricola*, 68, 265–274.
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43-69.
- Brooks, R. H., & Corey, A. T. (1964). Hydraulic Properties of Porous Media. *Hydrology Paper*, Vol. 3, Colorado State University: Fort Collins.
- Caldeira, T. L., Mello, C. R., Beskow, S., Timm, L. C., & Viola, M. R. (2019). LASH hydrological model: An analysis focused on spatial discretization. *Catena*, 173, 183-193.
- Caletka, M., Šulc Michalková, M., Karásek, P., & Fučík, P. (2020). Melhoria do coeficiente de captação inicial SCS-CN na República Checa: Um estudo de cinco bacias hidrográficas. *Água*, 12(7), 1-28.
- Carvalho, V. S. O., da Cunha, Z. A., Alvarenga, L. A., Beskow, S., de Mello, C. R., Martins, M. A., et al. (2022). Assessment of land use changes in the Verde River basin using two hydrological models. *Journal of South American Earth Sciences*, 118, 103954.
- Cunge, J. A. (1969). On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). *Journal of Hydraulic Research*, 7(2), 205-230.
- Duan, Q., Sorooshian, S., & Gupta, V. (1992). Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water resources research*, 28, 1015-1031.
- Gao, H., Tang, Q., Shi, X., Zhu, C., Bohn, T., Su, F., et al. (2010). Water budget record from Variable Infiltration Capacity (VIC) model. Algorithm theoretical basis document for terrestrial water cycle data records. Seattle, Estados Unidos: Universidade de Washington, p. 120-173.
- Gash, J. H. C., Lloyd, C. R., & Lachaud, G. (1995). Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 170(1-4), 79-86.
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of hydrologic engineering*, 4, 135-143.
- Jarvis, N. J. (1989). A simple empirical model of root water uptake. *Journal of Hydrology*, 107(1-4), 1-12.
- Liang, X., & Xie, Z. (2001). A new surface runoff parameterization with subgrid-scale soil heterogeneity for land surface models. *Advances in Water Resources*, 24(9–10), 1173–1193.
- Liang, X., Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Burges, S. J. (1994). A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysical Research*, 99(D7), 14415-14428.

- Lohmann, D., Raschke, E., Nijssen, B., & Lettenmaier, D. P. (1998). Regional scale hydrology: II. Application of the VIC-2L model to the Weser River, Germany. *Hydrological sciences journal*, 43, 143-158.
- Mello, C. D., Viola, M. R., Norton, L. D., Silva, A. M., & Weimar, F. A. (2008). Desenvolvimento e aplicação de uma simulação de modelo hidrológico simples para uma bacia hidrográfica de cabeceira brasileira. *Catena*, 75(3), 235-247.
- Melo, P. A., Alvarenga, L. A., Tomasella, J., Santos, A. C., Mello, C. R., & Colombo, A. (2022). On the performance of conceptual and physically based modelling approach to simulate a headwater catchment in Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 114, 103683.
- Monteith, J. L. (1981). Evaporation and surface temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107(451), 1-27.
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763-1785.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas: Texas Water Resources Institute.
- Pacheco, F. A. L. (2015). Regional Groundwater flow in hard rocks. *SCI. Total Environ*, 506-507, 182-195.
- Rodriguez, D. A., & Tomasella, J. (2016). On the ability of largescale hydrological models to simulate land use and land cover change impacts in Amazonian basins. *Hydrological Sciences Journal*, 61(10), 1831-1846.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., et al. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos.
- Xie, Z. H., Yuan, F., Duan, Q. Y., Zheng, J., Liang, M. L., & Chen, F. (2007). Regional parameter estimation of the VIC land surface model: Methodology and application to river basins in China. *Journal of Hydrometeorology*, 8(3), 447-468.
- Yapo, P. O., Gupta, H. V., & Sorooshian, S. (1996). Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: Sensitivity to calibration data. *Journal of Hydrology*, 181(1-4), 23-48.
- Zhao, R. J. (1992). The Xinanjiang model applied in China. *Journal of Hydrology*, 135(1-4), 371-381.
- Zitzler, E., Laumanns, M., Thiele, L. (2001). SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm. *TIK Report*, 103, 1-21.

Frutos de *Muntingia calabura* e *Psidium guajava* na alimentação de macacos-prego no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta – MT

Recebido em: 11/01/2025

Aceito em: 14/04/2025

 10.46420/9786585756600cap2

José Martins Fernandes 

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país diverso e de dimensões continentais, com território coberto por cinco grandes biomas e variados ecossistemas, e abriga cerca de 20% das mais de 600 espécies de primatas existentes no mundo, 10% das espécies na Amazônia (Vidal et al., 2012). A biodiversidade amazônica está representada por cerca de 13.455 espécies de plantas e 1.222 espécies de fungos, proporcionando diferentes recursos alimentares aos primatas, levando em consideração a diversidade, a quantidade e a qualidade, atendendo as necessidades de cada espécie ao longo do ano. Mas além das plantas, outros alimentos também são consumidos pelos primatas.

Na natureza, os primatas consomem grande variedade de alimentos de origem vegetal e animal, mas as proporções relativas dos diferentes tipos de alimento como frutos, folhas, ovos de pássaros e invertebrados podem diferir bastante entre as espécies (Andrade, 2002). Segundo a mesma autora, com base na literatura, cerca de 90% das espécies consomem frutos, 79% consomem gomas, brotos e flores, 69% consomem folhas maduras, 65% consomem invertebrados, 41% consomem sementes e 37% consomem alimentos de origem animal (incluindo ovos), no entanto, é difícil mensurar as proporções dessas dietas, e, consequentemente, torna-se impossível determinar a quantidade ‘normal’ ingerida de fibra, proteína, cálcio, vitamina A e outros nutrientes.

Em fragmentos florestais urbanos com alterações na estrutura e na diversidade da vegetação, as necessidades alimentares e nutricionais dos primatas são fortemente comprometidas, podendo descaracterizar seus hábitos alimentares. Segundo Gonçalves, Lima e Aguiar (2022) em estudo sobre a diversidade da dieta e sazonalidade de macacos-prego (*Sapajus* sp.) em uma pequena floresta urbana do município de Foz do Iguaçu (Paraná), constataram que a dieta consistia principalmente de plantas (69,8%), matéria animal (20,6%) e alimentos processados (9,5%), e que os macacos-prego consumiam mais alimentos do ambiente antrópico (57,5%) do que da floresta (42,4%), enquanto seus alimentos da floresta incluíam mais invertebrados (47,8%) do que frutas (40%). Os dados apresentados são preocupantes e deixam claros que o bem-estar desses animais em florestas urbanas antropizadas está

alterado, exigindo estratégias mitigadoras dos gestores públicos dos órgãos ambientais, instituições parceiras e comunidades próximas.

O Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes está localizado no centro urbano do município de Alta Floresta, Mato Grosso, considerado um importante fragmento florestal amazônico. Segundo Spanga (2004), foi criado informalmente em 1978, com 17,8 hectares da Colonizadora INDECO S/A para abrigar os animais silvestres capturados pelos agricultores em decorrência das derrubadas, tendo como responsável o Sr. Leopoldo Linhares Fernandes, com a área doada à prefeitura do município em 1985, sendo, entre 1991 e 2001, administrado pela Universidade do Estado de Mato Grosso, Câmpus Universitário de Alta Floresta (UNEMAT/AF). Nesse período, a universidade atuou em atividades de pesquisa, ensino e extensão nas áreas de Zoologia, incluindo o Zoológico municipal, Botânica, Ecologia e Educação Ambiental.

Atualmente, a área está sob a gestão da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Alta Floresta, com poucas atividades realizadas no local, como pesquisas e aulas de campo aos acadêmicos de Agronomia, Biologia e Engenharia Floresta, da UNEMAT. O Zoológico não existe mais, desde 2001. Após 46 anos, a área urbana do município foi ampliada gerando diversos problemas a vegetação do parque, que perdeu inúmeras árvores de grande porte, formando clareiras dominadas por espécies de lianas, comprometendo a riqueza vegetal da área e a disponibilidade de alimento para a fauna.

Nesse sentido, o trabalho apresenta a importância das espécies *Muntingia calabura* Linnaeus (mutingia, Muntingiaceae) e *Psidium guajava* Linnaeus (goiaba, Myrtaceae) na alimentação de macacos-prego (*Sapajus apella* Linnaeus, 1758) no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta, Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado entre dezembro de 2024 e janeiro de 2025, mediante a coleta de frutos de mutingia e goiaba em dois locais próximos ao Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, localizado no centro urbano do município de Alta Floresta, Mato Grosso (Figura 1). Alta Floresta está no bioma Amazônia com uma população estimada de 61.291 habitantes, em 2024; o clima na região é classificado como tropical chuvoso, com estações bem definidas - verão chuvoso e inverno seco (PMAF, 2024; IBGE, 2024); predomina a Floresta Ombrófila aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Floresta de Várzea, Campinaranas, Campo Rupestre, Cerrado *sensu lato*, além de áreas de transição (Zappi et al., 2011; PMAF, 2024). No Parque, predomina a vegetação antrópica, com várias espécies de lianas das famílias Leguminosae, Bignoniaceae, Sapindaceae e Convolvulaceae, nas partes mais preservadas, ocorre a Floresta Ombrófila aberta com a presença de árvores de grande porte.

Os frutos das duas espécies foram coletados apenas quando maduros. Os frutos da mutingia foram coletados em uma chácara no bairro Cidade Alta (local 1), o único indivíduo encontrado no local, que foi plantado. Os frutos de goiaba foram coletados em um terreno no bairro Sol Nascente (local 2).

Os frutos foram coletados geralmente no período da tarde e acondicionados em vasilhas de plástico, devidamente limpas para proteger os animais, contados e anotados em caderno. Foram oferecidos aos macacos-prego sempre no período da manhã, com a contagem dos macacos que pegavam os frutos e o tempo gasto durante a entrega. No momento da entrega dos frutos, realizou-se o registro fotográfico, observação da aceitação dos frutos, satisfação no momento da alimentação, as partes ingeridas e a disputa entre eles pelo alimento.



Figura 1. Área de estudo: a) município de Alta Floresta, Mato Grosso; b) Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes – local 1 (bairro Cidade Alta) e local 2 (bairro Sol Nascente).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado que os macacos-prego que ocorrem no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, em Alta Floresta (MT), são de fácil contato em decorrência da localização geográfica do parque, da interação com moradores de residências próximas, das pessoas que caminham nas calçadas construídas no entorno do parque, das pessoas que constantemente oferecem alimentos aos macacos e das lixeiras colocadas para atender a população.

Na busca por maior independência alimentar, com frutos vistosos, saborosos e nativos da Amazônia, foi possível observar que os frutos de muntingia (Figura 2a) e goiaba (Figura 2b) foram fortemente apreciados pelos macacos (Tabela 1), ambos com forte cheiro adocicado, sabor agradável e epicarpo colorido.

Os frutos de muntingia foram oferecidos durante quatro dias e praticamente comeram todos (Tabela 1), em pouquíssimo tempo. O único dia que comeram apenas 91%, foi quando um dos macacos pegou a vasilha, com alguns frutos, mas deixou cair na vegetação! Os macacos pegaram entre três e quatro frutos em uma única vez, cheiravam e depois comiam um por um, jogando foram apenas o fino epicarpo. Os mais jovens geralmente ficavam com medo dos maiores, até gritavam, mas não soltavam os frutos, demonstrando a qualidade do alimento (Figura 2c-f).

A espécie *Muntingia calabura*, popularmente chamada de muntingia, não ocorre naturalmente no parque, nem tem registro de ocorrência no Mato Grosso. Segundo Coutinho (2025), *M. calabura* é a única espécie do gênero e possui distribuição neotropical, nativa no Brasil apenas nos estados do Acre, Amazonas e Rondônia, em Área Antrópica, Floresta Ciliar ou Galeria e Floresta de Terra Firme, no bioma Amazônia, mas é largamente utilizada na arborização urbana em várias partes do país.

Tabela 1. Frutos de muntingia (*Muntingia calabura*) e goiaba (*Psidium guajava*) consumidos por macacos-prego no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta, Mato Grosso.

Espécie de planta	Nº de frutos	% de frutos consumidos	Nº de macaco-prego	Data da observação	Horário da observação
Muntingia calabura	93	100	13	19/12/2024	7:05-7:15
	114	91	10	25/12/2024	6:35-6:41
	82	100	9	31/12/2024	6:08-6:13
	98	100	10	07/01/2025	6:40-6:48
Psidium guajava	52	100	20	19/12/2024	7:31-7:48
	65	56	16	21/12/2024	7:41-8:05
	56	83	22	24/12/2024	7:00-7:25
	67	37	14	25/12/2024	6:54-7:20
	43	100	27	31/12/2024	6:14-6:32

Os frutos da muntingia são do tipo baga, ca. 10 mm comprimento, 8-9 mm largura, levemente globoides, glabros, avermelhados a marrons quando maduros, macios, doces e sem odor perceptível, com centenas de sementes muito pequenas imersas em uma massa gelatinosa (Figueiredo et al., 2008; Coutinho, 2025). Foi observado, no presente estudo, que os frutos possuem forte aroma adocicado, informação que difere do primeiro trabalho citado. O aroma se destaca mais nos frutos avermelhados ou vermelhos que estão com maior taxa de maturação.

Os frutos de goiaba foram oferecidos durante cinco dias (Tabela1), com maior número de macacos que pegaram e comeram, chegando a 27 em um único dia, consumindo primeiro as sementes com o tecido placentário, posteriormente o mesocarpo quando estava bem maduro. Para aqueles frutos que não estavam no auge da maturação, os macacos batiam os frutos em postes e galhos, para acessar a parte interna com mais facilidade, principalmente entre os mais jovens (Figura 2g-o).

Durante três dias sobraram frutos, justamente nos dias em que outros alimentos já estavam no local, provavelmente colocados no dia anterior. Nesses três dias que sobraram, os frutos foram oferecidos entre 6:54 e 8:05 horas, mas os macacos já tinham ou estavam se alimentando. No geral, foi observado que devido os frutos serem grandes, saborosos e polposos, os macacos demoraram mais para comer, possibilitando atender mais indivíduos.

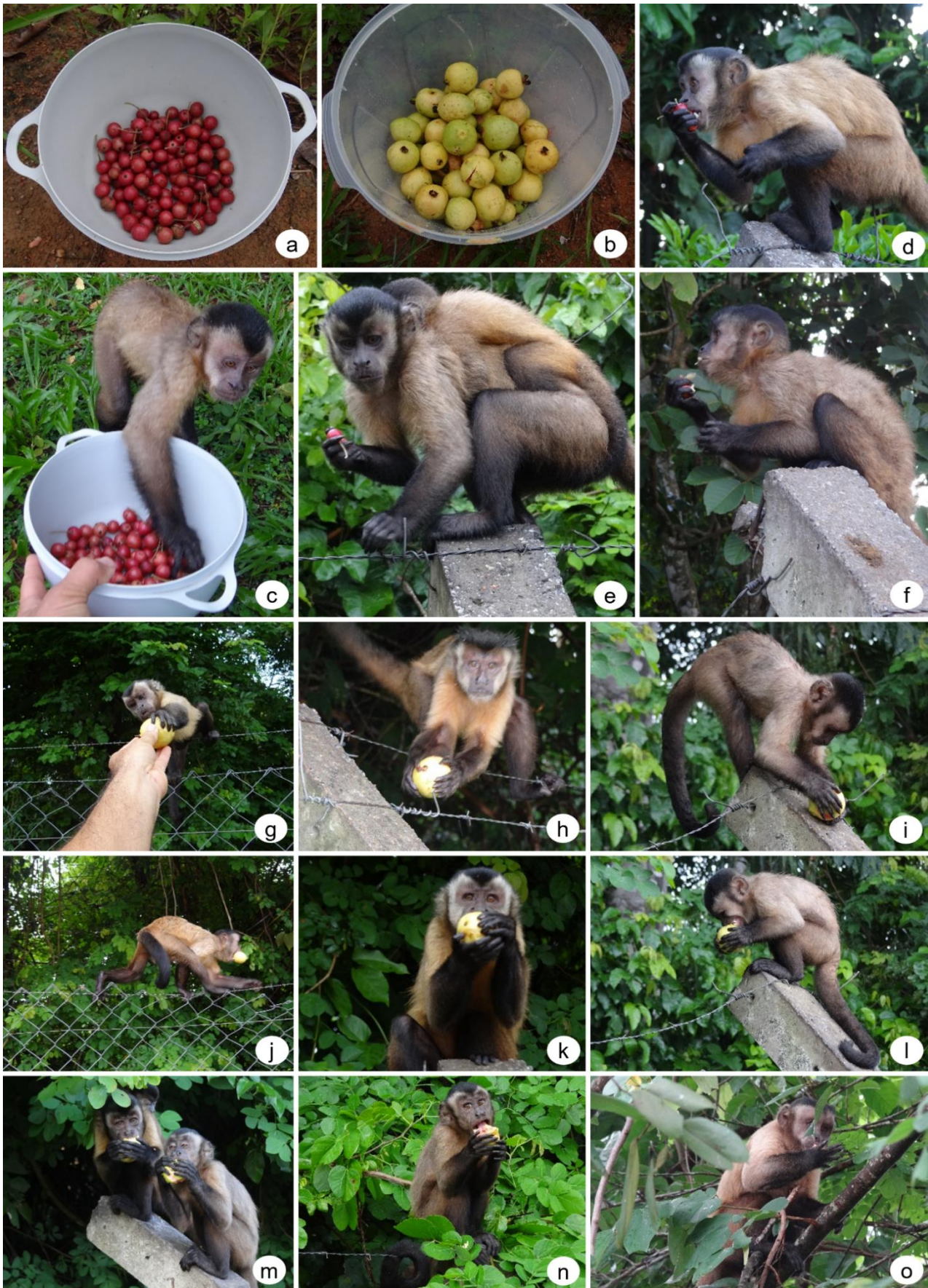


Figura 2. Alimentação de macacos-prego no Parque Zoobotânico, Alta Floresta (MT): a) frutos de *M. calabura*; b) frutos de *P. guajava*; c) obtenção dos frutos de *M. calabura*; d-f) comendo os frutos de *M. calabura*; g-h) obtenção dos frutos de *P. guajava*; i) amolecimento do fruto de *P. guajava*; j) momento de isolamento para alimentação; k-o) comendo frutos de *P. guajava*. Fotos: J. M. Fernandes.

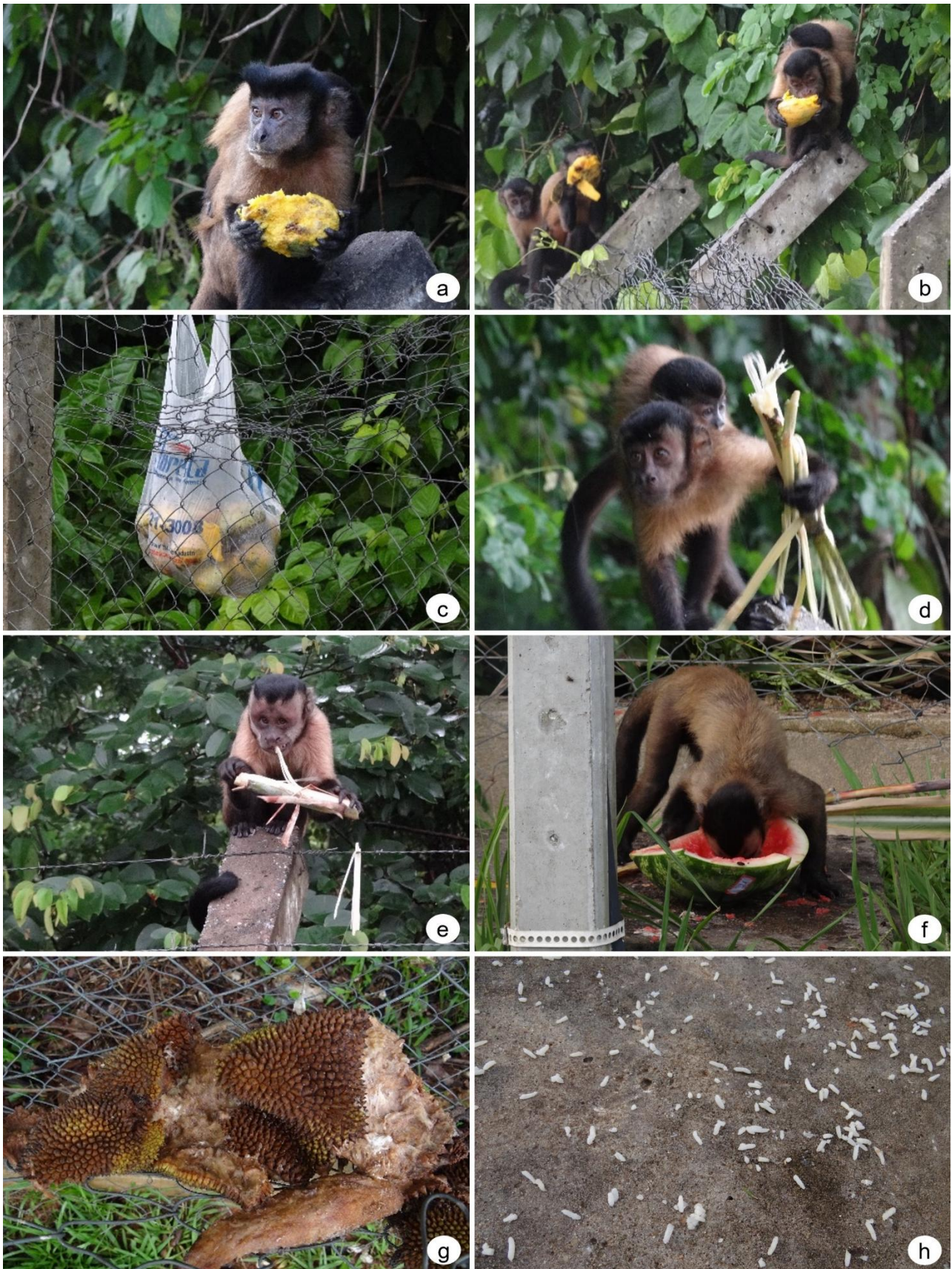


Figura 3. Alimentação colocada por moradores aos macacos-prego no Parque Zoobotânico, Alta Floresta (MT): a-c) manga; d-e) cana-de-açúcar; f) melancia; g) jaca; h) comida – arroz. Fotos: J. M. Fernandes.

A espécie *Psidium guajava* é nativa da América do Sul, desde a Venezuela até o Rio de Janeiro e cultivada em todos os países de clima tropical (Lorenzi & Abreu-Matos, 2021), enquanto na Flora e Funga do Brasil, a espécie é colocada como naturalizada no país (Tuler; Costa; Proença, 2025). Espécies com ampla importância de uso, como a goiaba, o entendimento de origem nativa é bastante complexo.

Os frutos da goiaba são do tipo baga, 5–6,8 cm comprimento e 4–5,5 cm largura, elípticos, epicarpo amarelo a esverdeado, mesocarpo polposo, vermelho ou branco, cálice persistente, muitas sementes, 4,3–5 mm comprimento e 3–3,5 mm largura (Fernandes, 2022).

Durante a realização do trabalho, foi observado que algumas pessoas colocaram ao redor do parque diversos alimentos como manga, melancia, cana-de-açúcar, banana, pão-francês e resto de comida (Figura 3). Constantemente é observado um ou alguns desses alimentos ao mesmo tempo, o que demonstra a preocupação de alguns moradores com a alimentação dos primatas, mas por outro lado deixa os macacos condicionados a esses alimentos, ou a espera de alguma pessoa para levar algo. Mas os macacos ficam nesses pontos estratégicos principalmente nas primeiras horas da manhã, depois vão forragear a vegetação do parque.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou a importância dos frutos de *Muntingia calabura* e *Psidium guajava* na alimentação de macacos-prego no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, localizado no centro urbano do município de Alta Floresta, Mato Grosso. As informações vão contribuir em decisões locais, como o plantio de mudas em pontos estratégicos do parque.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, M. C. R. (2002). Criação e Manejo de Primatas Não-Humanos. In Andrade, A., Pinto, S. C., & Oliveira, R. S. (orgs.). *Animais de Laboratório: criação e experimentação*. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ.
- Coutinho, T. S. (2025). *Muntingiaceae* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB23939>>. Acesso em: 09 jan. 2025
- Fernandes, J. M. (2022). *Morfologia de plantas medicinais utilizadas em Alta Floresta: subsídios ao ensino, pesquisa e extensão em botânica*. Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora.
- Figueiredo, R. A., et al. (2008). Reproductive ecology of the exotic tree *Muntingia calabura* L. (Muntingiaceae) in Southeastern Brazil. *Revista Árvore*, 32(6), 993-999.
- Gonçalves, B. A., Lima, L. C. P., & Aguiar, L. M. (2022). Diet diversity and seasonality of robust capuchins (*Sapajus* sp.) in a tiny urban forest. *American Journal of Primatology*, 84(8), e23396.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. *Mato Grosso*. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/pesquisa/24/76693>. Acesso: 30 out. 2024.

- Lorenzi, H., & Matos, F. J. A. (2021). *Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas*. 3 ed. Nova Odessa: Jardim Botânico Plantarum.
- PMAF - Prefeitura municipal de Alta Floresta. 2024. *Geografia*. Disponível: <https://www.altafloresta.mt.gov.br/O-Municipio/Geografia/>. Acesso: 27 jun. 2024.
- Spanga, M. L. (2004). *Estudo de caso de uma comunidade de primatas em um fragmento florestal urbano: densidade, dieta e outros aspectos ecológicos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, Mato Grosso.
- Tuler, A. C., Costa, I. R., Proença, C. E. B. (2025). *Psidium* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB24034>>. Acesso em: 09 jan. 2025.
- Vidal, M. D., et al. (2012). *Protocolo para coleta de dados sobre primatas em Unidades de Conservação da Amazônia*. Brasília: ICMBio.
- Zappi, D. C., Sasaki, D., Milliken, W., Iva, J., Henicka, G. S., Biggs, N., & Frisby, S. (2011). Plantas vasculares da região do Parque Estadual Cristalino, Norte de Mato Grosso, Brasil. *Acta Amazonica*, 41, 29-38.

Produção de mudas de *Parkia multijuga* (Leguminosae) para restauração ecológica do Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta, Mato Grosso

Recebido em: 10/05/2025

Aceito em: 18/05/2025

 10.46420/9786585756600cap3

José Martins Fernandes 

Bernardo Pereira dos Santos 

Suélen Mara de Lima Garcia 

INTRODUÇÃO

O gênero *Parkia* (Leguminosae) foi descrito pelo botânico britânico Robert Brown em 1826, que nomeou o gênero em homenagem ao explorador Mungo Park (1771-1806), que em seus registros sobre suas viagens pelo oeste da África durante o século 18, relatou sobre algumas árvores de *Parkia* (Hopkins, 1986; Oliveira; Hopkins, 2025). É monofilético, com distribuição pantropical, e compreende 35 espécies, destacando-se a região neotropical, com 19 espécies distribuídas desde Honduras até o sudeste do Brasil, com centro de diversidade na flora brasileira, com 17 espécies, enquanto nos paleotrópicos a sua ocorrência é registrada na África, com 3 espécies endêmicas, Madagascar, com 1 espécie endêmica, e na região Indo-Pacífico, com 12 espécies endêmicas (Carvalho, 2009; Oliveira, 2015; Oliveira; Hopkins, 2025).

O gênero é caracterizado como árvores de 3-50 metros de altura; folhas compostas, bipinadas, nectários extraflorais presentes no pecíolo; inflorescências capituliformes globosas ou claviformes, reunidos em panículas, axilares ou terminais, eretas ou pendentes; flores sésseis, de três tipos funcionais: férteis, nectaríferas e estaminódios; cálice e corola tubulosos, com cinco lobos; androceu monadelfo, estames livres ou parcialmente conados na base, anteras livres, dorsifixas ou basifixas, com glândulas de cheiro caducas, sésseis ou estipitadas; frutos deiscentes e indeiscentes, glabros ou velutinos, coriáceos ou lenhosos, com deiscência tardia ao longo da sutura adaxial ou indeiscentes com endocarpo septado; sementes elípticas com pleurograma e testa negra (Oliveira; Hopkins, 2025).

No estado de Mato Grosso, o gênero está representado por sete espécies, são elas: *Parkia cachimboensis* H.C.Hopkins, *Parkia multijuga* Benth., *Parkia panurensis* Benth. ex H.C.Hopkins, *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp., *Parkia platycephala* Benth., *Parkia ulei* (Harms) Kuhl. e *Parkia velutina* Benoist (Oliveira & Hopkins, 2025). No entanto, esse número pode aumentar, levando em consideração que várias espécies com distribuição na Amazônia brasileira estão sendo ampliadas para a região Noroeste de

Mato Grosso, devido ao esforço de coleta nos últimos anos e pela análise de espécimes em herbário (Fernandes et al., 2025; Fernandes, 2025).

Parkia multijuga é a única espécie do gênero com ocorrência no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, importante unidade de conservação localizada no centro urbano do município de Alta Floresta – MT. De acordo com Fernandes (2025), no Zoobotânico a espécie oferece néctar foliar, néctar floral, pólen e semente como recursos alimentares a fauna, além das árvores mais altas serem usadas como dormitório de macaco-aranha-de-cara-preta (*Ateles chamek*), uma espécie ameaçada de extinção.

A espécie é caracterizada como árvores, 16–35 metros de altura, caducifólias; folhas bipinadas, folíolos 23–28 pares, nectário peciolar basal, embebido, lenticular, foliólulos 39–51 pares, 11–13 × 3,2–4 mm, oblongos; inflorescências capituliformes, globosas; cálice 10–12 mm compr., tubuliforme, corola 15–20 mm compr., tubuliforme, estames 11–17, branco-amarelados, anteras glandulares; frutos tipo legume nucóide, 13–26 cm compr., glabros (Fernandes, 2025).

As sementes de *Parkia multijuga* têm forte dormência tegumentar, sendo a testa extremamente resistente à penetração da água, mas não suportam a imersão em água quente ou fervente, sendo indicado a imersão por 16 minutos em ácido sulfúrico (96 % p.a.) superando a dormência; como método prático, recomenda-se a escarificação mecânica com lixa nos dois lados de maior dimensão, depois dessa operação, imergem-se as sementes em água por período que varia entre 24 e 72 horas (Carvalho, 2009).

Atualmente, o Parque Zoobotânico passa por restauração ecológica devido aos efeitos antrópicos. O parque é antigo, fundado em 1978, com 17,8 hectares e uma vegetação composta por floresta ombrófila aberta submontana, floresta de várzea e principalmente vegetação antrópica. A restauração ecológica está sendo executada entre abril de 2025 e março de 2026, por meio de parceria entre Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do município de Alta Floresta, Universidade do Estado de Mato Grosso, Fundação Ecológica Cristalino e diversos colaboradores, executada em cinco etapas: 1 - mapeamento dos locais prioritários para o manejo de lianas; 2 - construção de trilhas ecológicas para a comunidade; 3 - poda controlada de lianas; 4 - plantio de mudas nativas da Amazônia para restabelecer a qualidade da vegetação; 5 - produção complementar de mudas nativas da Amazônia.

Nesse sentido, o capítulo apresenta a produção de mudas de *Parkia multijuga* (Leguminosae) para a restauração ecológica do Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta, Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos de *Parkia multijuga* foram coletados em 16 de janeiro de 2025, na Reserva Florestal Surucuá, localizada no perímetro urbano do município de Alta Floresta, estado de Mato Grosso (Figura 1). A reserva é uma área de preservação permanente, estabelecida em 1988 com a fundação do “Floresta Amazônica Hotel”, com cerca de 60 hectares de floresta, no bioma Amazônia (FEC, 2019). As coletas

foram realizadas com licenças de pesquisa aos projetos “Coleta de órgãos vegetativos e reprodutivos de angiospermas, na reserva Surucuá, como subsídio a restauração ecológica do Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta, Mato Grosso” e “Levantamento florístico de Leguminosae na reserva Surucuá, município de Alta Floresta, Mato Grosso, Brasil”, emitidas pela Fundação Ecológica Cristalino.

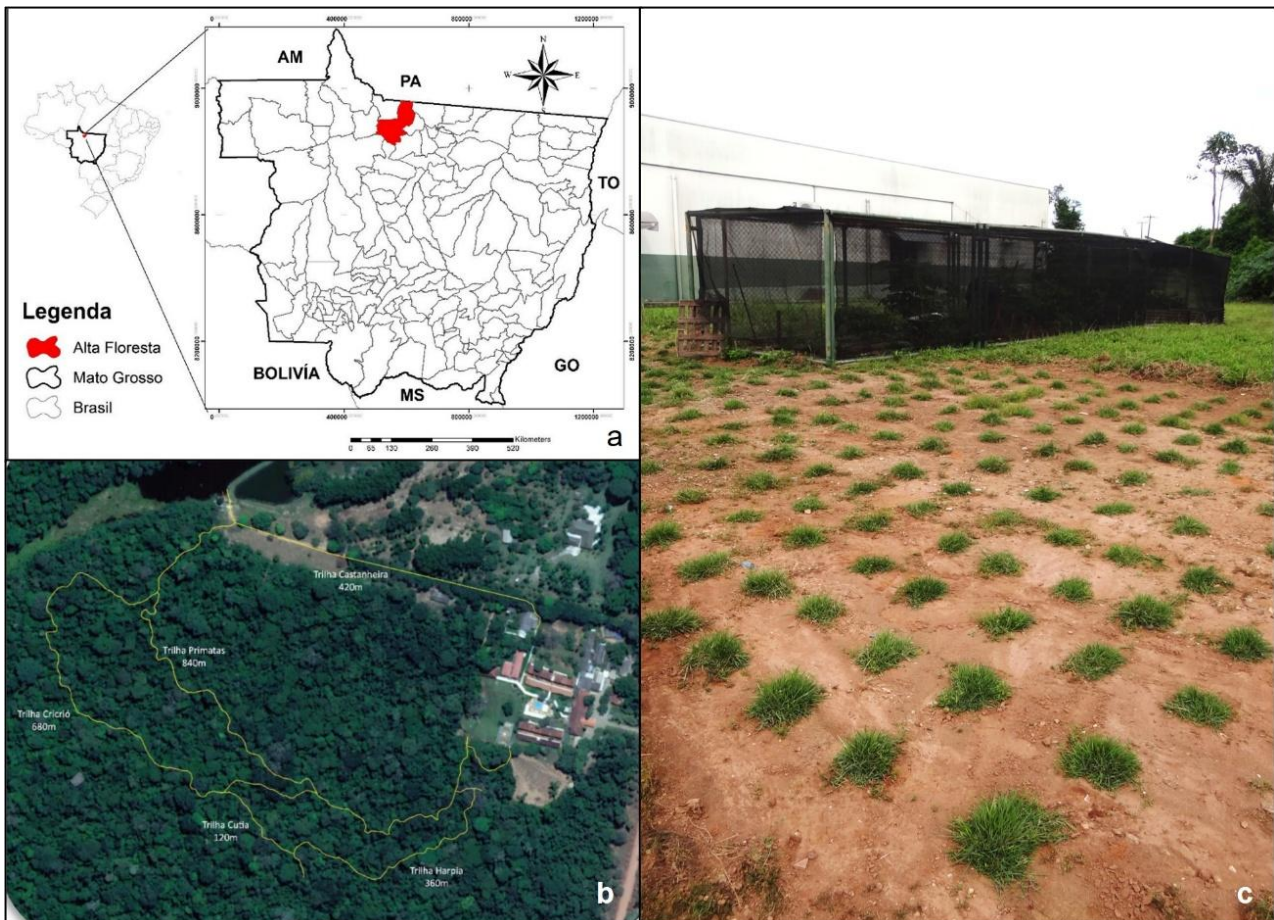


Figura 1. Área de estudo: a) município de Alta Floresta – Mato Grosso; b) Reserva Surucuá – local de coleta dos frutos; c) Horto Medicinal – local em que as mudas foram produzidas. Fonte: J. M. Fernandes (a, c), Fundação Ecológica Cristalino (b).

As mudas foram produzidas no Horto Medicinal, localizado na Unidade I, do Câmpus Universitário de Alta Floresta (UNEMAT). No dia 13 de março de 2025, foi preparada a sementeira em uma “caixa bortifrut?” de madeira, com terra preta, cerca de 8 cm de altura. Na sequência, as sementes foram retiradas dos frutos com auxílio de um facão, posteriormente tiveram a região oposta a micrópila retirada com auxílio de uma tesoura de poda, e colocadas de forma aleatória sob a terra preta, sem sobreposição, com acréscimo de 1 cm de terra preta e finalizando com a irrigação, mantidas até a germinação em temperatura ambiente.

Os saquinhos, que foram doados pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do município de Alta Floresta, são grandes, 26,7 cm de altura por 15 cm de largura, enchidos

com terra preta e colocados em viveiro anexo ao Horto Medicinal. As plântulas foram retiradas e plantadas nos saquinhos, em duas etapas, nos dias 07/04/2025 e 18/04/2025. Na última etapa, após a retirada das plântulas, foi realizada uma caracterização da viabilidade das sementes que sobraram, de forma visual.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parkia multijuga é uma espécie arbórea de grande porte (Figura 2), nativa da Amazônia brasileira, e selecionada para a produção de mudas que serão plantadas no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, no município de Alta Floresta (MT). As sementes da espécie têm forte dormência tegumentar e necessitam de tratamento para quebra de dormência, como imersão em ácido sulfúrico ou escarificação (Carvalho, 2009). Nós optamos pela escarificação devido ser um método mais prático e sem custo. Após a semeadura, as sementes começaram a germinar em menos de 25 dias e finalizando com 37 dias, com taxa de germinação de 91% (Quadro 1; Figura 3).

Quadro 1. Produção de mudas de *Parkia multijuga* para a restauração do Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta, Mato Grosso, Brasil. NSP=número de sementes podres, %G=porcentagem de germinação, NM=número de mudas.

Número de sementes	Primeiro plantio 07/04/2025		Segundo plantio 18/04/2025		NSP	%G	NM
	Número de plântulas viáveis	Número de plântulas deformadas	Número de plântulas viáveis	Número de plântulas deformadas			
94	36	0	50	3	5	91	86

Segundo Carvalho (2009), em comunicado técnico oferecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa - a emergência das plântulas tem início de 20 a 40 dias após a semeadura das sementes submetidas a tratamentos, com poder germinativo geralmente alto, superior a 80 %. Segundo Carvalho (2008), para uma boa germinação os frutos (vagens) devem ser colhidos diretamente da árvore, quando iniciarem a queda espontânea, ou recolhidos do chão, após a queda, em seguida, esses frutos devem ser expostos ao sol, para secar e facilitar a abertura manual e a retirada das sementes.

Em experimento, Carvalho et al. (2017) constataram que a escarificação química com ácido sulfúrico por 16 minutos (68%) e a escarificação mecânica (54%) com lixa d'água nº 80 se mostraram mais eficazes na superação de dormência de sementes de *Parkia multijuga*. Segundo Pires (2024), em experimento com as sementes da espécie, verificaram que o tratamento que proporcionou o maior percentual de germinação foi o de escarificação em lixa, para ambas as temperaturas, sendo que os propágulos mantidos sob 30 °C apresentaram a maior média - 97,2%, e a 25 °C, alcançaram 91,67% nesse parâmetro, seguido do desponte, que atingiu 56% a 25 °C, e 77%, a 30 °C.



Figura 2. *Parkia multijuga*: a) copa de árvore; b) folha; c) ramo terminal com folhas e inflorescências; d-e) frutos. Fotos: Fotos: J. M. Fernandes.



Figura 3. Produção de mudas de *Parkia multijuga*: a) sementes com demonstração das regiões da micrópila (seta 1) e oposta a micrópila (seta 2); b) sementes com a região oposta a micrópila cortada com tesoura de poda; c) plântulas na sementeira; d) plântulas para plantio nos saquinhos; e) mudas em fase de desenvolvimento nos saquinhos. Fotos: J. M. Fernandes.

Entre a coleta dos frutos e a semeadura das sementes, teve um intervalo de 29 dias, período que favoreceu para a alta taxa de germinação. Mostrou também que a germinação não foi padronizada, onde as plântulas foram retiradas da sementeira em duas etapas. Apenas 3,37% das plântulas (3 plântulas) apresentaram alguma deformação, como elevada tortuosidade no epicótilo e na raiz principal, consideradas inviáveis para a produção de muda. No geral, foram produzidas 86 mudas (Figura 3), que serão plantadas no Parque Zoobotânico provavelmente em outubro de 2025, início do período chuvoso na região de Alta Floresta – MT.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método do desponte das sementes de *Parkia multijuga* mostrou-se eficiente para a elevada taxa de germinação, proporcionando a produção de mudas que serão plantadas durante atividades de restauração ecológica no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, localizado no centro urbano do município de Alta Floresta, Mato Grosso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carvalho, J. S. B., Costa, E. N., Pamplona, A. L. C., Chagas, C. T. G., & Quadros, B. R. (2017). Tratamentos pré-germinativos em sementes de *Parkia multijuga* Benth. *Revista Cultivando o Saber*, 10(3), 370-371.
- Carvalho, P. E. R. (2008). Faveira-benguê - *Parkia multijuga*. In Carvalho, P. E. R. *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica / Colombo: Embrapa Florestas.
- Carvalho, P. E. R. (2009). *Faveira-Benguê - Parkia multijuga*. Colombo, PR: Embrapa. Comunicado técnico, nº 227.
- FEC – Fundação Ecológica Cristalino (2019). *Biodiversidade da Reserva do Floresta Amazônica Hotel Resort Fundação Ecológica Cristalino – Alta Floresta, MT*. Alta Floresta: FEC. Cartilha.
- Fernandes, J. M. (2025). Estudo florístico-taxonômico do clado Mimosoide (Caesalpinioideae, Leguminosae) no Parque Zoobotânico Leopoldo Linhares Fernandes, Alta Floresta, Mato Grosso: subsídios à conservação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 18(4), 2502-2524.
- Fernandes, J. M., Soares, C. R. A., Koch, A. K., Duarte, T. G., & Almeida, A. A. S. D. (2025). New records of the mimosoide clade (Caesalpinioideae, Leguminosae) for the state of Mato Grosso, Brazil. *Rodriguésia*, 76, e00312024.
- Hopkins, H. C. F. (1986). *Parkia* (Leguminosae: Mimosoideae). *Flora Neotropica*, 43, 1-123.
- Oliveira, L. C. (2015). *Filogenia de Parkia R.Br. (Leguminosae: Mimosoideae) baseada em sequências de DNA de cloroplasto*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, Amazonas.

- Oliveira, L. C., & Hopkins, M. (2025). *Parkia in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB23107>>. Acesso em: 16 abr. 2025.
- Pires, L. R. (2024). *Germinação e crescimento de plântulas de faveira vermelha (Parkia multijuga Benth.) utilizando rejeito de garimpo (“curimã”) em Itaituba – PA*. Dissertação de Mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia – Campus de Bambuí, Minas Gerais.

Avaliação da capacidade germinativa de genótipos de soja submetidos a níveis de salinidade

Recebido em: 28/05/2025

Aceito em: 30/05/2025

 10.46420/9786585756600cap4

Agda Taynná de Amorim 

Monalisa Alves Diniz da Silva 

Mateus Ferreira Andrade 

Tânia da Silva Siqueira 

Gislaine Crislaine Gomes de Souza 

João Gabriel Barbosa dos Santos 

Carlos Gabriel Quidute de Sá 

Graciane Xavier Leal Ferraz 

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, desempenha um papel essencial na economia global devido seu alto valor nutricional e versatilidade de uso, principalmente na produção de óleo e proteína; isso gera uma grande demanda pelos grãos, o que torna necessário uma alta produção para atingir as demandas do mercado. No entanto, fatores ambientais adversos, como a salinidade do solo, podem comprometer significativamente a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas, afetando a produtividade da cultura (Silva, Ferreira & Costa, 2020).

A salinidade do solo é um dos principais fatores que limitam a produtividade agrícola, afetando diretamente o processo de germinação das sementes. Isso ocorre porque as altas concentrações de sais reduzem a absorção de água pelas sementes, causando estresse osmótico e toxicidade iônica, o que pode comprometer a emergência e o crescimento inicial das plântulas (Munns & Tester, 2008). A soja é uma leguminosa sensível ao sal, o que pode prejudicar não apenas a germinação das sementes, mas também o crescimento das plântulas e o desenvolvimento geral da planta (Rasheed et al., 2022).

O estresse salino perturba o equilíbrio iônico, devido ao acúmulo de Na^+ , que reduz a absorção de minerais e sua translocação para os órgãos da planta. Além disso, esse estresse induz a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), que dificultam o crescimento e o desenvolvimento vegetal (Arif et al., 2020; Sharma et al., 2021). Devido à crescente importância dos rendimentos da soja e aos problemas causados pelo estresse salino, o desenvolvimento de genótipos tolerantes ao sal tem recebido grande atenção nos principais programas de melhoramento da cultura em todo o mundo (Chen et al., 2018).

A germinação das sementes e o crescimento pós-germinativo são estágios críticos para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas. A tolerância à salinidade durante a germinação desempenha um papel vital na sobrevivência e crescimento sob condições adversas (Zhou et al., 2023).

Por isso, avaliar a resposta germinativa de genótipos de soja sob estresse salino é uma etapa fundamental para a identificação e o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes ao sal (Gobade et al., 2024).

Desta forma é crucial avaliar a capacidade germinativa de genótipos de soja sob diferentes níveis de salinidade, a fim de selecionar materiais genéticos que apresentem mais tolerância a esse estresse e possibilite a produção em regiões onde a salinidade do solo representa um desafio para o cultivo da soja (Farias, Neumaier, & Nepomuceno, 2019). Neste contexto, objetivou-se avaliar a capacidade germinativa e o vigor de diferentes genótipos de soja submetidos à diferentes níveis de salinidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Sementes da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Serra Talhada, Pernambuco (PE), durante o período de novembro a dezembro de 2024. Foram utilizadas 11 variedades de soja (*Glycine max* L.), cultivadas em 2024 na área experimental da Unidade Acadêmica de Serra Talhada da UFRPE, sendo estas: Syn 1687; BRS 7981; Nidera 8080; BRS 8182; Dom Mário (82i78); Brasmax Ataque; TMG 2383; M 8644; FT 3190; BRS 9180 e PV Alagoana RR.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 11×4, correspondendo a 11 genótipos e quatro níveis de salinidade (0, -0,2, -0,4 e -0,8 MPa), com quatro repetições de 50 sementes, totalizando 44 unidades experimentais.

As soluções salinas foram preparadas com cloreto de sódio (NaCl), de acordo com o protocolo descrito por Parmar e Moore (1968), e utilizadas como meio umedecedor do substrato, papel mata-borrão, na proporção de 2,5 vezes o seu peso seco.

As sementes foram distribuídas uniformemente sobre duas folhas de papel mata – borrão em placas de Petri, e mantidas em sala climatizada à 25 °C, com umidade relativa de 35%, monitoradas por termo-higrômetro digital. A renovação das soluções foi realizada a cada dois dias após a semeadura, umedecendo-se novas folhas de papel mata borrão a cada troca, visando manter os níveis de salinidade. A avaliação da germinação foi feita diariamente durante nove dias, considerando como critério a emissão da raiz primária com no mínimo 0,3 cm de comprimento, os resultados foram expressos em porcentagem. As variáveis avaliadas foram:

Porcentagem de germinação (G);

Tempo médio de germinação (TMG - dias), calculado segundo Labouriau (1983):

$$TMG = \frac{\sum * Kni * (ti - t)}{\sum kni - 1}$$

em que N representa o número de sementes germinadas no tempo t_1 , e t_1 é o tempo em dias entre a semeadura e a observação.

Índice de velocidade de germinação (IVG), conforme Maguire (1962):

$$IVG = D1N1 + D2N2 + \dots + DnNn$$

em que N é o número de sementes germinadas no dia da contagem e D é o número de dias após a semeadura.

Por fim, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da capacidade germinativa dos genótipos de soja submetidos à diferentes níveis de salinidade foi realizada considerando três características principais: porcentagem de germinação, tempo médio de germinação (TMG) e índice de velocidade de germinação (IVG). Os dados obtidos estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Os resultados da Tabela 1 indicam que, de modo geral, a capacidade germinativa das sementes diminuiu à medida que os níveis de salinidade aumentaram. Esse efeito é amplamente documentado na literatura, uma vez que a salinidade pode reduzir a absorção de água pelas sementes e causar danos celulares devido ao estresse osmótico e à toxidez iônica (Santos et al., 2021). Esse cenário simula condições de seca, comprometendo a capacidade das plantas de resistir à presença de íons salinos tóxicos, bem como de manter o crescimento e a produtividade (Rasheed et al., 2022).

Alves (2019) também destacou o impacto negativo de potenciais hídricos excessivamente negativos sobre o processo germinativo, o que corrobora com os resultados observados. Esses achados estão em conformidade com estudos prévios de Bertagnolli et al. (2004) e Avera et al. (2015), que associaram a redução no vigor germinativo à diminuição do potencial hídrico causada pelo aumento da concentração salina, afetando os genótipos de maneira diferenciada. Tais variações de desempenho entre os genótipos podem ser atribuídas tanto às condições ambientais quanto às características fisiológicas e morfológicas específicas de cada material genético, como sugerido por Acosta-Matos et al. (2017).

Observa-se que os genótipos M 8644, BRS 8680, TMG 2383 e BRS 8383 apresentaram maiores taxas de germinação sob os níveis de salinidade mais elevados (0,4 e 0,8 MPa), indicando maior tolerância ao estresse salino. O genótipo M 8644 manteve 69% de germinação à -0,4 MPa e 78% à -0,8 MPa, demonstrando excelente desempenho sob condições salinas severas.

Já genótipos como Dom Mário (82i78) e BRS 8680 apresentaram desempenho intermediário a alto mesmo sob estresse, indicando potencial para cultivo em regiões com salinidade moderada. Esses dados evidenciam a importância da interação genótipo $\times$ nível de salinidade, a qual foi significativa, reforçando a necessidade de testes específicos para diferentes ambientes.

Vários estudos corroboram com esses resultados, incluindo Lima et al. (2021) que relataram tolerância variável entre cultivares de soja submetidas ao estresse salino. Queiroz et al. (2020), também demonstraram que o acúmulo de Na^+ interfere diretamente na germinação e no crescimento inicial da soja.

Tabela 1. Porcentagem de germinação (%) de 11 genótipos de soja sob diferentes níveis de salinidade, com equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2). Fonte: os autores.

Genótipos	Potenciais osmóticos (MPa)				Equação	R^2
	0	-0,2	-0,4	-0,8		
Syn 1687	77 Aab	69 Aabcde	18 Bb	14 Bde	$y=-23,9x+104$	0,86
BRS 7981	78 Aab	41 Bdef	16 BCb	11Ce	$y=-22,55x+92,75$	0,9
Nidera 8080	49 Ab	63 Aabcdef	22 Bb	21 Bcde	$y=-12,5x+70$	0,61
BRS 8182	65 ABab	74 Aabcd	43 Bab	7 Ce	$y=-20,6x+98,5$	0,79
Dom Mário (82i78)	62 Aab	49 Acdef	44 Aab	49 Aabcd	-	Ns
Brasmax Ataque	88 Aa	67 Aabcdef	31 Bb	17 Bde	$y=-24,9x+111,75$	0,97
TMG 2383	93 Aa	80 Aabc	47 Bab	53 Babc	$y=-15,15x+106$	0,81
M 8644	92 Aa	87 Aab	69 Aa	78 Aa	-	Ns
FT 3190	88 Aa	63 ABabcdef	39 BCab	19 Ccde	$y=-22,95x+109,2$	0,99
BRS 9180	89 Aa	62 Babcdef	19 Cb	16 Cde	$y=-26x+111,2$	0,92
PV Alagoana RR	75 Aab	33 Bf	23 Bb	20 Bcde	$y=-17,65x+81,75$	0,79

CV (%) = 27,39

Nota. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% e probabilidade ($p < 0,05$). CV% = coeficiente de variação, ns = não significativo.

O genótipo M 8644 apresentou boa capacidade de germinação e crescimento mesmo sob condições de estresse salino mais acentuado, demonstrando tolerância ao sal, o que o torna promissor para cultivo em regiões com salinidade do solo (Cabral et al., 2023; Santiago et al., 2020). Estudos indicam que o estresse salino afeta negativamente a germinação e o vigor de sementes de soja, mas certos genótipos, como o M 8644, apresentam mecanismos fisiológicos que mitigam esses efeitos, mantendo maior percentual de germinação e crescimento (Santiago et al., 2020).

Já outros materiais avaliados mostraram sensibilidade ao sal, com redução acentuada na germinação e no desenvolvimento inicial (Cabral et al., 2023). Os genótipos M 8644 e Dom Mário 82i78 são propensos a investigações futuras por programas de melhoramentos genético, pois não houve diferenças estatísticas entre as sementes semeadas em substrato umedecido apenas com água e àquelas expostas ao nível máximo de estresse salino (-0,8 MPa).

O desenvolvimento de cultivares de soja com tolerância genética à salinidade e estabilidade de produtividade em condições edafoclimáticas adversas é considerado uma das estratégias mais eficazes e economicamente viáveis para garantir a sustentabilidade da cultura em ambientes marginais (Zuffo et al., 2020; Cabral et al., 2022). Em algumas situações, observa-se que determinados genótipos apresentam respostas adaptativas incomuns ao estresse salino, como taxas de germinação relativamente elevadas mesmo em níveis mais severos de salinidade. Resultados semelhantes foram verificados por Carvalho et al. (2019), que observaram que algumas cultivares de soja, como TMG 2383, mantiveram desempenho

germinativo superior sob estresse salino acentuado, evidenciando possíveis mecanismos fisiológicos de tolerância, como ajuste osmótico e manutenção da integridade celular.

De forma geral, a presença de sal no meio dificulta a absorção de água pela semente por osmose, comprometendo a embebição, processo essencial para a ativação de enzimas e o início do metabolismo germinativo. Além disso, o excesso de íons Na^+ e Cl^- pode inibir enzimas-chave como a α -amilase e causar toxicidade iônica às células embrionárias (Li et al., 2022). Contudo, em alguns casos, pode ocorrer a ativação de mecanismos de defesa, como uma forma de priming osmótico natural, em que as sementes são beneficiadas por um tipo de condicionamento osmótico herdado das plantas-mãe. Esse comportamento é semelhante ao observado em estudos de condicionamento osmótico (osmopriming), que demonstraram melhorias na germinação e no vigor das plântulas, mesmo sob estresse salino (Nunes et al., 2002). Também é possível que tenha ocorrido uma adaptação bioquímica, com o estímulo de rotas antioxidantes e o acúmulo de osmólitos compatíveis (Hu et al., 2021; Hu et al., 2024).

A Tabela 2 apresenta os valores de tempo médio de germinação (TMG), demonstrando que, em condições de maior salinidade, há um aumento significativo no tempo necessário para a protrusão da raiz primária. Esse atraso pode ser atribuído à dificuldade das sementes em absorverem água suficiente para ativar os processos metabólicos necessários à germinação.

Oliveira et al. (2020) destacam que o aumento do TMG sob condições salinas está relacionado à redução da atividade enzimática e ao comprometimento da integridade celular. De forma semelhante, Lima et al. (2016) observaram em estudos com estresse salino em sementes de milho que o aumento nas concentrações de NaCl compromete negativamente o índice de velocidade de germinação (IVG). Estes resultados também corroboram com os resultados obtidos por Larré; Moraes; Lopes, (2011) ao trabalharem com as cultivares de arroz BRS Bojurú e BRS Querência submetidas a estresse salino.

Estudos com soja também evidenciam sensibilidade à salinidade nas fases iniciais do desenvolvimento. Segundo Santos et al. (2018), o aumento da condutividade elétrica da solução salina reduziu significativamente a porcentagem de germinação e o vigor das plântulas de soja, com efeitos mais pronunciados em genótipos menos tolerantes. De forma semelhante, Silva et al. (2020) constataram que, sob estresse salino, ocorre atraso na protrusão da raiz primária e aumento do tempo médio de germinação, resultado da inibição da atividade da α -amilase e da intensificação do estresse oxidativo.

Além disso, Rasheed et al. (2022) relataram que a salinidade interfere diretamente na homeostase osmótica das células embrionárias, dificultando a absorção de água e retardando os processos metabólicos relacionados à germinação. Hu et al. (2024) destacaram ainda que diferentes genótipos de soja apresentam variações significativas quanto ao tempo médio de germinação, quando submetidos a diferentes níveis de estresse salino, o que reforça o uso deste parâmetro como critério de seleção em programas de melhoramento genético voltados à tolerância à salinidade.

Tabela 2. Tempo médio de germinação (TMG - dias) de 11 genótipos de soja sob diferentes níveis de salinidade, com equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2). Fonte: os autores.

Genótipos	Potenciais osmóticos (MPa)				Equação	R^2
	0	-0,2	-0,4	-0,8		
Syn 1687	4,23 Aab	4,72 Abcde	5,08 Aa	4,51 Acd	-	Ns
BRS 7981	4,9 BCa	6,05 ABabc	4,55 Ca	6,42 Aa	$y = 0,306x + 4,715$	0,19
Nidera 8080	3,8 Bab	4,66 Abcde	4,54 Ba	6,28 Bb	$y = 0,73,2x + 2,99$	0,82
BRS 8182	3,81 Bab	5,29 Aabcde	4,06 ABa	3,76 Ad	$y = -0,445x^2 + 2,087x + 2,35$	0,57
Dom Mário (82i78)	3,19 Bb	5,39 Aabcde	4,3 Aba	4,61Abcd	$y = 0,317x + 3,58$	0,2
Brasmax Ataque	3,27 Cab	5,45 ABabcde	4,33 BCa	6,2 Aab	$y = 0,76x + 2,89$	0,6
TMG 2383	3,85 Bab	4,81 ABbcde	4,24 ABa	5,37 Aabcd	$y = 0,39x + 3,57$	0,6
M 8644	2,9 Bb	3,93 Abe	4,18 Aa	4,96 Aabcd	$y = 0,64x + 2,38$	0,95
FT 3190	2,94 Bb	4,47 Acde	4,31 Aa	4,82 Aabcd	$y = 0,548x + 2,76$	0,74
BRS 9180	3,86 Cab	5,66 ABabcd	4,45 BCa	6,0 Abcd	$y = 0,52x + 3,69$	0,45
PV Alagoana RR	3,64 Bab	6,82 Aa	4,17 Ba	6,23 Aab	$y = 0,512x + 3,935$	0,18

CV % = 14,54

Nota. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% e probabilidade ($p < 0,05$). CV% = coeficiente de variação, ns= não significativo.

O índice de velocidade de germinação (IVG), mostrado na Tabela 3, também foi impactado negativamente pelos níveis elevados de salinidade. O IVG é um parâmetro crucial para entender a adaptação das sementes ao ambiente salino, pois reflete não só a porcentagem de emissão da raiz primária, como a taxa de emergência das plântulas e a eficiência no estabelecimento inicial da cultura. Valores reduzidos do índice de velocidade de germinação (IVG) sob alta salinidade indicam dificuldades na ativação metabólica das sementes, resultando em atraso no crescimento inicial das plântulas. Esse efeito foi observado por Lima (2019), que constatou que o aumento da salinidade compromete o vigor das sementes de soja, afetando diretamente a velocidade e uniformidade da germinação.

Em estudos comparativos entre diferentes genótipos, observou-se variações significativas na tolerância à salinidade durante a germinação, indicando que alguns genótipos mantêm índices de

germinação mais elevados mesmo sob estresse osmótico severo (Djedje et al., 2024). Da mesma forma, Lima (2019) destaca que a resposta fisiológica e bioquímica variável entre cultivares indica mecanismos distintos de tolerância, especialmente na regulação do balanço iônico e no combate ao estresse oxidativo.

O genótipo M 8644 teve destaque significativo quanto ao índice de velocidade de germinação, pois manteve estabilidade mesmo com o aumento do potencial osmótico de -0,4 para -0,8 MPa. Esse comportamento sugere a presença de mecanismos fisiológicos e bioquímicos eficientes de tolerância ao estresse salino, bem como controle homeostático dos íons Na^+ e Cl^- no embrião e maior integridade das membranas celulares (Kesh et al., 2022; Wang et al., 2022). Torres e Rocha (2022) reforçam que a capacidade antioxidante e a manutenção da integridade celular são fundamentais para a sobrevivência da soja em condições salinas, o que pode explicar o desempenho superior do genótipo M 8644.

Tabela 3. Índice de velocidade de germinação (IVG) de 11 genótipos de soja sob diferentes níveis de salinidade, com equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2). Fonte: os autores.

Genótipos	Potenciais osmóticos (MPa)				Equação	R^2
	0	-0,2	-0,4	-0,8		
Syn 1687	9,52 Acd ef	7,54 Aabcd	1,82 Bb	1,95 Bcd ef	$y = -2,84x + 12,31$	0,88
BRS 7981	7,51 Aef	3,56 Bde	1,12 Bb	0,87 Bef	$y = -2,24x + 8,855$	0,88
Nidera 8080	6,74 Af	8,22 Aabcd	2,83 Bb	1,71 Bcd ef	$y = -2,048x + 9,995$	0,73
BRS 8182	8,84 Adef	7,42 Aabcde	5,27 Aab	0,69 Bf	$y = -2,66x + 12,205$	0,93
Dom Mário (82i78)	10,6 Abcd ef	4,93 Bcde	5,21 Bab	5,43 Babcd ef	$y = -1,52x + 10,35$	0,52
Brasmax Ataque	14,35 Aabc	6,76 Bbcde	3,62 BCab	1,48 Ccd ef	$y = -4,17x + 16,99$	0,92
TMG 2383	13,75 Aabcd	8,83 Babc	5,55 Bab	5,37 Babcd ef	$y = -2,84x + 15,48$	0,87
M 8644	16,76 Aa	12,16 Ba	8,4 Ca	8,5 BCa	$y = -2,85x + 18,59$	0,87
FT 3190	16,52 Aa	7,57 Babcd	5,42 Bab	6,33 Babc	$y = -3,27x + 17,14$	0,68
BRS 9180	11,89 Aabcde	5,76 Bcde	2,19 BCB	1,29 Cdef	$y = 3,537x + 14,125$	-
PV Alagoana RR	11,11 Abcd ef	2,54 Be	2,83 Bb	1,64 Bcd ef	$y = -2,812x + 11,56$	0,67

CV % = 30,99

Nota. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% e probabilidade ($p < 0,05$). CV% = coeficiente de variação.

Os dados obtidos contribuem para o entendimento dos efeitos fisiológicos da salinidade sobre a germinação e oferecem subsídios valiosos para a seleção de cultivares mais tolerantes, capazes de manter sua viabilidade em ambientes adversos. O avanço na identificação de genótipos com maior tolerância ao estresse salino é uma estratégia fundamental para ampliar as fronteiras de cultivo da soja, especialmente em solos com problemas de salinização crescente. Dessa forma, conclui-se que a avaliação da capacidade germinativa sob estresse salino é uma ferramenta eficiente e estratégica na triagem de materiais genéticos,

possibilitando avanços significativos na adaptação da cultura da soja a condições ambientais desafiadoras, como o semiárido brasileiro.

CONCLUSÕES

Há variações significativas na tolerância ao estresse salino entre os genótipos de soja avaliados. O genótipo M 8644 destacou-se por manter altas taxas de germinação e maior velocidade do processo germinativo (menor tempo médio de germinação e maior índice de velocidade de germinação), mesmo sob os níveis mais severos de salinidade (-0,4 e -0,8 MPa), demonstrando superior resiliência fisiológica. Esses resultados indicam que esse material genético possui mecanismos adaptativos eficientes frente ao estresse salino, o que o torna altamente promissor para cultivo em regiões afetadas pela salinização dos solos, como o semiárido brasileiro.

A interação significativa entre genótipos e níveis de salinidade reforça a importância de estratégias de seleção em programas de melhoramento genético, voltados à produção sustentável de soja em ambientes com restrição hídrica e salina. Os genótipos Dom Mário (82i78) e TMG 2383, por sua vez, apresentam desempenho intermediário a elevado quanto à porcentagem de germinação e ao índice de velocidade de germinação, mesmo sob condições salinas, indicando tolerância moderada ao estresse e potencial para avaliações complementares em fases posteriores do ciclo, como crescimento vegetativo e produção de biomassa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Díaz-Vivancos, P., Sánchez-Blanco, M. J., & Hernández, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7, 1–18.
- Alves, V. C. D. (2019). *Germinação e crescimento de plântulas de soja em condições de estresse salino*. XIV Semana Agrônômica de Cassilândia e VII Semana de Pesquisa da Pós-Graduação, Cassilândia-MS.
- Arif, Y., Singh, S., Siddiqui, H., Bajguz, A., Hayat, S., & Salih, S. (2020). Salinity stress, its phytotoxic effects, and the defense mechanisms in crop plants. *Journal of Plant Interactions*, 15(1), 93–120. <https://doi.org/10.1080/17429145.2020.1718733>
- Avera, Y. H., Pérez, N. S., Bacallao, M. L., Abad, C. D., Pérez, R. O., & Obregón, G. E. (2015). Avaliação da tolerância à salinidade em condições controladas de nove variedades cubanas de soja (*Glycine max*). *Revista de la Ciencia Agrícola*, 36(4).
- Bertagnolli, C. M., Cunha, S. M., Menezes, S. M., Moraes, D. M., Lopes, N. F., & Abreu, M. (2004). Qualidade fisiológica e composição química de sementes de soja submetidas ao estresse salino. *Revista Brasileira de Agrociência*, 10(3).
- Cabral, R. C., Zuffo, A. M., Maekawa, S. C. E., Silva, K. C., & Steiner, F. (2023). Identificação de genótipos de soja tolerantes a diferentes concentrações de NaCl. *Revista Agrária Acadêmica*. <https://agrariacad.com/2023/07/11/identificacao-de-genotipos-de-soja-tolerantes-a-diferentes-concentracoes-de-nacl/>

- Cabral, R. C., Zuffo, A. M., Silva, K. C., & Carvalho, M. A. C. (2022). Tolerância ao estresse salino em sementes de soja: Avanços e desafios. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 17(1).
- Carvalho, M. M., Oliveira, G. M., & Pereira, O. G. (2019). Desempenho de genótipos de soja sob estresse salino em condições controladas. *Revista Agropecuária Científica no Semiárido*, 15(3), 77–85.
- Chen, H. T., Liu, X. Q., Zhang, H. M., Yuan, X. X., Gu, H. P., Cui, X. Y., & Xin, C. (2018). Advances in salinity tolerance of soybean: Genetic diversity, heredity, and gene identification. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(10), 2215–2221.
- Djedje, I., Tacarindua, C., Nhabinde, C., & Kaunda, J. (2024). Efeito da salinidade na germinação de soja. *Journal of Plant Stress Physiology*, 9(1), 33–45.
- Farias, J. R. B., Neumaier, N., & Nepomuceno, A. L. (2019). *Soja: Fisiologia e biotecnologia*. Embrapa Soja.
- Gobade, A., Arathi, S., Gijare, S., & Kumar, V. (2025). Avaliação da tolerância à salinidade em núcleos de soja: Resposta à germinação sob estresse salino. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 72, 2059–2076. <https://doi.org/10.1007/s10722-024-02081-5>
- Hu, J., Wang, L., Zhang, Y., & Chen, H. (2024). Genotypic variation in soybean germination response to salinity stress. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 27(2), 123–134. <https://doi.org/10.1007/s12892-024-01234-5>
- Kesh, H., Devi, S., Kumar, N., Kumar, A., Dhansu, P., & Mann, A. (2022). Insights sobre as respostas fisiológicas, bioquímicas e moleculares do trigo sob estresse salino. *Trigo – Avanços Recentes*.
- Labouriau, L. G. (1983). *A germinação das sementes*. Organização dos Estados Americanos.
- Larré, C. F., Moraes, D. M., & Lopes, N. F. (2011). Qualidade fisiológica de sementes de arroz tratadas com solução salina e 24-epibrassinolídeo. *Revista Brasileira de Sementes*, 33, 86–94.
- Lima, R. K. O. (2019). *Germinação e vigor de sementes de soja em condições de estresses térmico e salino* [Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Ceará]. Repositório UFC. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/50311>
- Lima, D. S., Sousa, R. O., Oliveira, I. J., & Barreto, A. G. (2021). Tolerância de genótipos de soja ao estresse salino durante a germinação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 15(2), 734–742. <https://doi.org/10.7127/rbai.v15n2001036>
- Lima, J. A. P. N., de Moura Lima, J. F., Mielezrski, F., Reis, S. S., & Sousa Veras, M. de. (2016). Qualidade fisiológica de sementes de milho sob condições de estresse salino. *Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas*, 25(4), 401–408.
- Li, H., Wang, X. H., Li, Q., Xu, P., Liu, Z. N., Xu, M., & Cui, X. Y. (2022). GmCIPK21, a CBL-interacting protein kinase confers salt tolerance in soybean (*Glycine max* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 184, 47–55.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176–177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Nunes, T. C., Moraes, M. F., Carvalho, L. B., & Alves, P. L. C. A. (2002). Efeitos do condicionamento osmótico de sementes de soja na habilidade competitiva com plantas daninhas. In P. L. C. A. Alves & L. B. Carvalho (Orgs.), *Avanços em ciência de sementes* (pp. 145–154). Editora UNESP.
- Oliveira, C. E., Lopes, J. F., & Silva, T. R. (2020). Efeitos da salinidade no metabolismo germinativo da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55(4), 342–351. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55n4.00857>
- Parmar, M. T., & Moore, R. P. (1968). Carbowax 6000, mannitol, and sodium chloride for simulating drought conditions in germination studies of corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal*, 60(2), 192–195. <https://doi.org/10.2134/agronj1968.00021962006000020013x>
- Queiroz, C. M., Silva, C. C., Barros, J. R. A., & Souza, A. C. (2020). Crescimento e desenvolvimento de cultivares de soja sob estresse salino. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50, e59045. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5059045>
- Rasheed, M., Ahmed, S., & Khan, M. N. (2022). Osmotic and ionic effects of salinity on seed germination and early seedling growth of soybean. *Journal of Plant Stress Physiology*, 9(1), 33–45. <https://doi.org/10.1007/s40502-022-00567-8>
- Santiago, P. V. et al. (2020). Desempenho fisiológico de sementes de soja no estresse salino. In *Agronomia: Avanços e Perspectivas* (pp. 51–63). Pantanal Editora.
- Santos, A. B., Costa, M. J., & Almeida, R. F. (2021). Impacto da salinidade na emergência e desenvolvimento inicial da soja. *Ciências Agrárias*, 17(3), 112–124.
- Santos, T. R., Almeida, R. P., & Silva, J. A. (2018). Salinity effects on seed germination and seedling vigor of soybean cultivars. *Agricultural Water Management*, 203, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.019>
- Sharma, A. et al. (2021). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24(13), 2452. <https://doi.org/10.3390/molecules24132452>
- Silva, J. R., Ferreira, R. L., & Costa, R. C. L. (2020). Avaliação da tolerância de genótipos de soja ao estresse salino durante a germinação. *Revista Verde*, 15(2), 259–266. <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i2.7316>
- Torres, E., & Rocha, L. (2022). Capacidade antioxidante em sementes de soja submetidas ao estresse salino. *Journal of Seed Science*, 44, e202244014.
- Wang, W. et al. (2022). Avaliação do mecanismo de tolerância ao sal em variedades de trigo. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 2395568.
- Zhou, X. et al. (2023). Comparação da tolerância à salinidade de diferentes variedades de soja na fase de germinação. *Plants*, 12(15), 2789.

Zuffo, A. M., Oliveira, M. G. A., Zuffo, J. A. M., Silva, T. J., & Carvalho, M. A. C. (2020). Salinity stress in soybean: Physiological, biochemical and productivity responses. *Australian Journal of Crop Science*, 14(3), 408–414. <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.03.p2267>

Desempenho de Genótipos de Sorgo Forrageiro quanto à Porcentagem de Massa Seca em Condições de Irrigação e Sequeiro

Recebido em: 21/05/2025

Aceito em: 24/05/2025

 10.46420/9786585756600cap5

Agda Taynná de Amorim 

Mateus Ferreira Andrade 

Tânia da Silva Siqueira 

João Gabriel Barbosa Santos 

Liliane Maria da Silva 

Jose Geraldo Eugenio de França 

Naiane Beatriz da Silva Souza 

INTRODUÇÃO

O sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) destaca-se como uma das principais alternativas para a alimentação animal em regiões de clima semiárido, devido à sua elevada tolerância ao déficit hídrico, boa produtividade e adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas (Rodrigues, Tabosa & Batista, 2021). Entre as variáveis agronômicas relevantes para a escolha de genótipos com maior potencial produtivo e qualidade forrageira, a porcentagem de massa seca (%MS) é um parâmetro fundamental, pois influencia diretamente o valor nutricional do volumoso oferecido aos animais (Oliveira, Silva & Souza, 2020).

A massa seca representa a fração sólida do material vegetal, excluindo o teor de água, sendo amplamente utilizada na formulação de dietas e na avaliação do desempenho agrônômico das culturas forrageiras (Machado, Tomich, Gonçalves & Rodrigues, 2019). A caracterização dessa variável em diferentes genótipos de sorgo permite selecionar materiais mais adaptados às condições locais, especialmente quando cultivados sob sistemas contrastantes como irrigado e sequeiro, realidade comum no sertão nordestino.

Dessa forma, objetivou-se avaliar a porcentagem de massa seca em genótipos de sorgo forrageiro conduzidos em dois ambientes distintos: um sob irrigação, na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE), e outro sob condições de sequeiro, no campo experimental do Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), ambos situados em Serra Talhada, PE.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido por meio de dois experimentos distintos com genótipos de sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], ambos realizados no município de Serra Talhada, estado de

Pernambuco, em região caracterizada por clima semiárido do tipo BSh, segundo a classificação climática de Köppen.

Experimento 1 – Ambiente Irrigado

O primeiro experimento foi implantado em 16 de junho de 2023, sob condições irrigadas, na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), situada nas coordenadas geográficas 07°57'37.6" S e 38°18'36.5" W. O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico e não recebeu adubação de fundação. A irrigação foi aplicada de forma suplementar, conforme a necessidade da cultura.

Foram avaliados nove genótipos de sorgo forrageiro, organizados em delineamento em blocos casualizados (DBC), com três repetições, totalizando 27 parcelas. Cada parcela foi composta por uma fileira de 3,0 metros de comprimento, com espaçamento de 1,0 m entre fileiras e 0,05 m entre plantas, resultando em uma área experimental total de 81,0 m².

Os genótipos avaliados neste experimento foram: IPA SF15; IPA SF11; IPA 4202 Sudão; UAST 01 – BR007B; TX636A × IPA SF15; Ponta Negra; IPA 4202 Sudão – Segregante 01; 8602583 e BR007A × 8602532. Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizados os seguintes tratamentos culturais: aplicação de formicida granulado em 17/06/2023; replantio em algumas parcelas em 27/06/2023; e capina manual seletiva em 17/07/2023.

Após o primeiro corte, os genótipos foram mantidos na área experimental para avaliação do rebrote (segundo ciclo). O manejo consistiu em irrigação suplementar e capinas conforme a necessidade. A coleta de amostras para determinação da porcentagem de massa seca (%MS) foi realizada no estágio de florescimento pleno do rebrote, utilizando o mesmo procedimento do primeiro ciclo: pesagem da biomassa fresca, secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 24 horas e posterior pesagem do material seco.

Experimento 2 – Ambiente de Sequeiro

O segundo experimento foi conduzido sob manejo de sequeiro no Campo 37S da Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), situado a 07°57'39.3" S e 38°17'53.3" W, também no município de Serra Talhada–PE. O preparo do solo foi realizado com gradeamento em 27 de fevereiro de 2024. O plantio foi realizado em 29 de fevereiro e 1º de março de 2024.

Foram avaliados 25 genótipos de sorgo forrageiro, organizados em delineamento em blocos casualizados (DBC), com três repetições, totalizando 75 parcelas. Cada parcela foi composta por quatro fileiras de 5,0 metros de comprimento, com espaçamento de 0,75 m entre fileiras, totalizando uma área de 15,0 m² por parcela e uma área experimental total de 1.125,0 m².

Os genótipos avaliados neste experimento foram: BRP5BR × CMSA 78; 136 PI-BRP5 × CMS 182; 2564; 2571; (3895-1 × 1158) EP17; BRS 509; Ponta Negra; 8602477; 8602473; 8602592; 8602583;

8602638; IPA SF15; IPA 4202 – Sudão; UAST 02 – BR007; IPA SF11; UAST 03 – BR 509; UAST 04 – P7; BR 509 – Amarelo; 8602532; UAST 05 – (TX 636A × IPA SF11); UAST 06 – (BR007A × IPA SF15); UAST 07 – (BR007A × 2583); IPA SF15 – glumas pretas e UAST 08 – IPA 4202.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizados os seguintes tratos culturais: adubação de cobertura com ureia (50 kg ha⁻¹ de nitrogênio) em 02/04/2024; capinas manuais nos dias 05/04/2024 e 15/04/2024; e aplicação dos inseticidas (metomil) e (dimetoato) em 20/04/2024, para controle de pragas que comumente ocorrem na cultura.

Para a análise da porcentagem de massa seca (%MS), foram coletadas amostras representativas do material vegetal de cada parcela no estágio de florescimento pleno. As amostras foram pesadas ainda frescas com o auxílio de balança de precisão e, em seguida, levadas para estufa com circulação forçada de ar, mantida a 65 °C por um período contínuo de 24 horas. Após esse intervalo, procedeu-se à nova pesagem para obtenção da massa seca. O cálculo da porcentagem de massa seca foi realizado por meio da seguinte equação:

$$\% MS = \left(\frac{\text{Peso seco (g)}}{\text{Peso fresco (g)}} \right) \times 100$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando detectadas diferenças estatisticamente significativas, realizou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R. (R CORE TEAM, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo revelou diferenças importantes entre os genótipos de sorgo forrageiro quanto à porcentagem de massa seca (%MS), com variações influenciadas pelas condições ambientais de cultivo (irrigado e sequeiro).

No experimento 1, conduzido sob irrigação na UAST/UFRPE, foram avaliados nove genótipos. No primeiro ciclo (Figura 1), as médias de %MS variaram entre aproximadamente 32% e 45%. Estes resultados evidenciam o potencial destes genótipos para sistemas irrigados, uma vez que a alta %MS está associada à maior acumulação de biomassa e potencial forrageiro (Almeida et al., 2011; Jahanzad et al., 2013).

Dentre os materiais avaliados, IPA SF 11, UAST-07 BR007, TX636A × IPA SF15 e IPA 4202 × progênie desconhecida também apresentaram médias elevadas, embora estatisticamente semelhantes entre si (Figura 1). Já o genótipo IPA SF 15 mostrou uma das menores médias, sugerindo desempenho inferior nas condições irrigadas avaliadas. Segundo Silva et al. (2015), genótipos de sorgo com baixo acúmulo de massa seca podem apresentar limitações quanto à persistência em sistemas de produção intensiva.

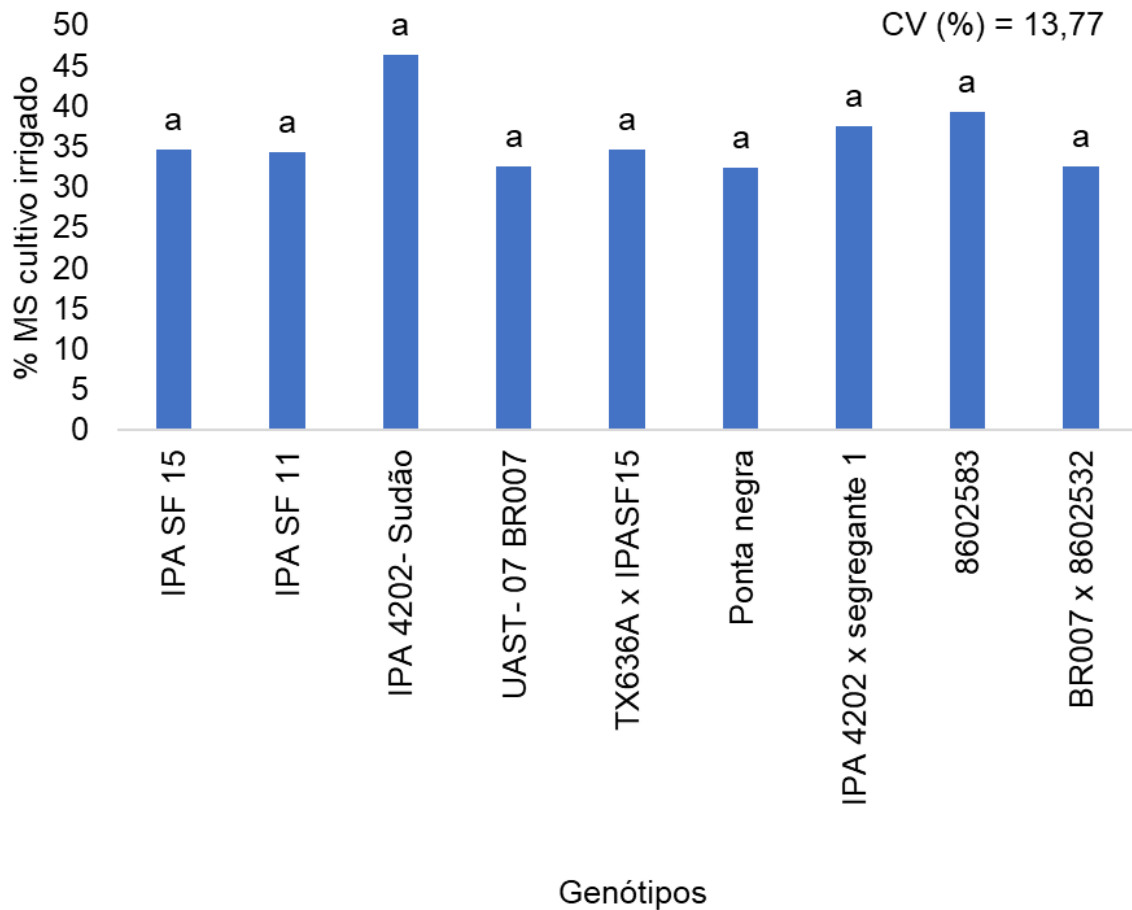


Figura 1. Porcentagem de massa seca (%MS) dos genótipos de sorgo forrageiro no primeiro ciclo sob condições irrigadas em Serra Talhada–PE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Os autores, 2025.

No rebrote (Figura 2), observou-se manutenção do padrão produtivo dos genótipos. A estabilidade de desempenho após o corte inicial é indicativa de bom potencial de rebrota, característica desejável em cultivares destinadas a sistemas de múltiplos cortes (Khazaei et al., 2023). Segundo Tabosa et al. (2007), a persistência e capacidade de rebrota são atributos fundamentais na escolha de materiais para sistemas semiáridos. Todos os genótipos mantiveram médias próximas, evidenciando adaptabilidade ao manejo de corte contínuo.

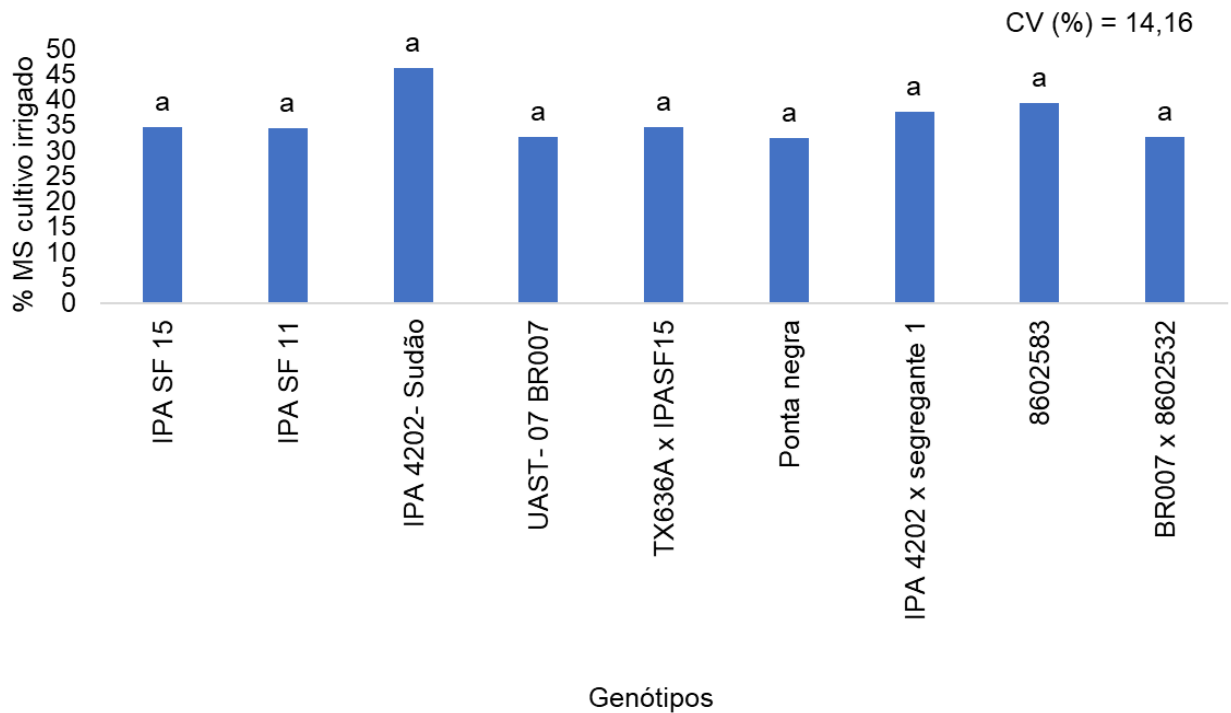


Figura 2. Porcentagem de massa seca (%MS) dos genótipos de sorgo forrageiro no rebrote (segundo ciclo) sob condições irrigadas em Serra Talhada-PE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Os autores, 2025.

No experimento 2, realizado em condições de sequeiro no IPA, foram avaliados 25 genótipos (Figura 3), e obteve-se um CV de 16,10%. Houve maior variação entre as médias, reflexo da influência do estresse hídrico sobre a expressão fenotípica (Bhattarai, Shah & Adhikari, 2020; Rao et al., 2017). O híbrido BRP5BR × CMSA 78 destacou-se com a maior média de %MS (superior a 55%), seguido por 136 PI-BRP5 × CMS 182 e (3895-1 × 1158) EP17. Esses materiais demonstraram bom desempenho mesmo sob restrição hídrica, característica fundamental para a produção forrageira em regiões semiáridas (Zerbato et al., 2021).

Por outro lado, os genótipos IPA SF 15, UAST 08 – IPA 4202 e IPA SF 11 obtiveram os menores valores médios de %MS, evidenciando menor tolerância ao estresse hídrico. De acordo com Marchese et al. (2020) a seleção de genótipos com maior estabilidade sob déficit hídrico é essencial para minimizar perdas na produção forrageira em regiões de clima seco.

De forma geral, os dados evidenciam a superioridade e estabilidade de desempenho do genótipo IPA 4202 – Sudão em ambiente irrigado. Tais materiais se destacam como potenciais candidatos para uso direto ou para inclusão em programas de melhoramento genético visando à produção sustentável de forragem no semiárido nordestino (Tabosa et al., 2007; Borém & Miranda, 2013; Khazaei et al., 2023).

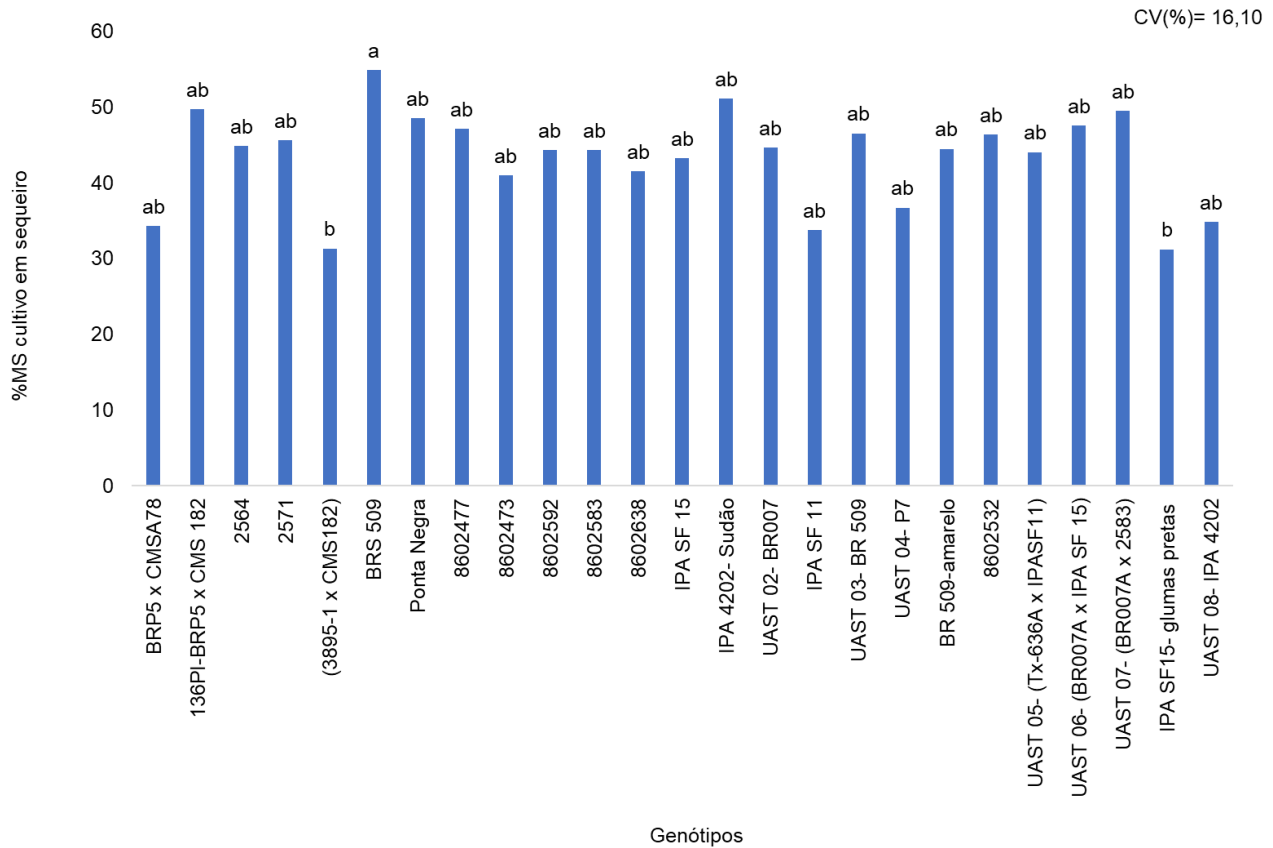


Figura 3. Porcentagem de massa seca (%MS) dos genótipos de sorgo forrageiro sob condições de sequeiro em Serra Talhada-PE. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Os autores, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da porcentagem de massa seca em genótipos de sorgo forrageiro sob condições contrastantes de manejo hídrico permitiu identificar materiais com potencial agrônomo promissor para o semiárido nordestino. No ambiente irrigado, tanto no primeiro ciclo quanto no rebrote, não se observou variação significativa entre os genótipos. Esses materiais demonstraram estabilidade produtiva mesmo após o corte inicial, evidenciando aptidão para sistemas de manejo intensivo com rebrote.

Sob condições de sequeiro, a amplitude de variação entre os genótipos foi ainda mais expressiva, refletindo a influência das restrições hídricas sobre o acúmulo de matéria seca. Nesse contexto, o genótipo IPA 4202 – Sudão se destacou, confirmando sua adaptabilidade a ambientes de baixa disponibilidade hídrica. Outros genótipos, como o BR 509 – Amarelo e o UAST 06 (BR007 A × IPA SF15), também apresentaram desempenho satisfatório, configurando-se como alternativas viáveis para uso em sistemas forrageiros menos dependentes de irrigação.

Esses resultados reforçam a importância da seleção de genótipos adaptados às condições edafoclimáticas do semiárido, contribuindo para o fortalecimento da pecuária regional por meio de estratégias de produção forrageira eficientes, estáveis e de baixo custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. A. C., et al. (2011). Composição bromatológica de híbridos de sorgo cultivados sob diferentes regimes hídricos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(2), 311–318. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200007>
- Bhattarai, R., Shah, S. C., & Adhikari, B. N. (2020). Phenotypic variability and heritability of forage yield and related traits in sorghum genotypes under moisture stress condition. *Journal of Agricultural Science*, 12(6), 1–10. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n6p1>
- Borém, A., & Miranda, G. V. (2013). *Melhoramento de plantas* (6th ed.). UFV.
- Jahanzad, E., et al. (2013). Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management*, 117, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.10.013>
- Khazaei, A., et al. (2023). Performance and stability analysis of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes targeted to arid and semi-arid environments. *Cereal Research Communications*, 51(4), 729–736. <https://doi.org/10.1556/0806.51.2023.039>
- Machado, L. M. P., Tomich, L. M., Gonçalves, A. M. M., & Rodrigues, R. F. (2019). Avaliação agrônômica e bromatológica de genótipos de sorgo forrageiro sob diferentes regimes hídricos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48(3), 112–118. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982019000300007>
- Marchese, A., et al. (2020). Desempenho agrônômico de genótipos de sorgo forrageiro sob déficit hídrico. *Revista de Ciências Agrárias*, 43(3), 1–11. <https://doi.org/10.4322/rca.2750>
- Oliveira, E. S., Silva, J. A. A., & Souza, J. S. (2020). Composição nutricional de forragens utilizadas em sistemas de alimentação animal: O caso do sorgo forrageiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55(8), 1089–1095. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.n8.1089>
- Rao, S. C., Wiedenfeld, R. P., & Maas, S. J. (2017). Soil water extraction and water use efficiency of grain sorghum under different tillage systems. *Agricultural Water Management*, 191, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.022>
- Rodrigues, J. A. S., Tabosa, J. N., & Batista, T. D. P. (2021). Sorgo forrageiro: Características agrônômicas e adaptações ao clima semiárido. In M. A. S. Carvalho, M. A. S. Lima, & F. M. F. Silva (Eds.), *Sistemas de produção e forragem no semiárido brasileiro* (pp. 45–63). Editora UFRPE.
- Silva, M. J., et al. (2015). Avaliação agrônômica de genótipos de sorgo forrageiro em sistema de cortes sucessivos. *Revista Agro@mbiente On-line*, 9(2), 137–145. <https://doi.org/10.18227/1982-8470>
- Tabosa, J. N., et al. (2007). Avaliação agrônômica de genótipos de sorgo forrageiro cultivados no Agreste de Pernambuco. *Boletim Técnico IPA*, 65, 1–20.

Zerbato, C., et al. (2021). Avaliação de genótipos de sorgo forrageiro submetidos a diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 15(2), 287–298. <https://doi.org/10.5935/1676-4262.20210041>

Sementes de jurema preta submetidas à diferentes métodos de superação de dormência e posterior ciclo de hidratação – desidratação

Recebido em: 21/05/2025

Aceito em: 24/05/2025

 10.46420/9786585756600cap6

Carlos Gabriel Quidute de Sá 

Monalisa Alves Diniz da Silva 

Agda Taynná de Amorim 

Gislaine Crislaine Gomes de Souza 

Náthaly Vitória Santos Almeida 

Tânia da Silva Siqueira 

INTRODUÇÃO

A *Mimosa tenuiflora* é uma espécie da família Fabaceae, nativa da Caatinga, conhecida popularmente como jurema-preta, calumbi ou jurema. Pode atingir entre cinco e sete metros de altura, possui espinhos esparsos, caule ereto ou ligeiramente inclinado, casca marrom escura, às vezes acinzentada, rugosa e fendida longitudinalmente, com coloração avermelhada internamente. Suas sementes são pequenas (3-4 mm), ovais e achatadas, de coloração marrom clara (Benedito et al., 2017).

A espécie tem sementes que apresentam dormência física, assim retardando o processo germinativo e consequentemente limitam o seu emprego para o reflorestamento de áreas degradadas, levando a necessidade de encontrar métodos eficientes para a superação de dormência (Lima; Meiado, 2018).

A dormência é um mecanismo natural que impede a germinação imediata das sementes, mesmo quando estão em condições ambientais favoráveis, como presença de água, oxigênio e temperatura adequada. Em diversas espécies da família Fabaceae, a dormência física causada pela impermeabilidade do tegumento impede a absorção de água e oxigênio, dificultando o início do processo germinativo, mesmo em condições ambientais favoráveis (Carvalho & Nakagawa, 2012; Baskin & Baskin, 2014). De acordo com Santos et al. (2014) a superação da dormência física pode ser alcançada utilizando-se diferentes métodos cuja eficiência é determinada de acordo a espécie e a natureza do fenômeno ocorrente.

Diversos métodos vêm sendo utilizados para a superação da dormência física, como a escarificação mecânica com lixa, a escarificação química com ácidos e a imersão em água quente. Tais técnicas têm como objetivo promover a ruptura do tegumento, facilitando a entrada de água e oxigênio (Benedito et al., 2017). No entanto, a eficácia desses métodos varia conforme a espécie, a estrutura das sementes e a intensidade da dormência (Mantoan et al., 2012; Fernandes de Campos et al., 2015; Pereira et al., 2015).

Recentemente, a técnica de hidratação e desidratação (HD) tem se destacado como uma alternativa viável, de baixo custo e ambientalmente adequada. Segundo Hora (2016), além de acelerar a germinação, essa técnica favorece a formação de mudas mais vigorosas e resistentes, aumentando a tolerância ao déficit hídrico, condição frequente em ecossistemas semiáridos como o da Caatinga. O processo simula condições naturais, em que a umidade do solo varia com as chuvas esparsas, promovendo o que se conhece como "memória hídrica" nas sementes (Dos Santos et al., 2021).

A ação descontínua de hidratação ocorre naturalmente em regiões áridas e semiáridas (Pereira et al., 2023). Segundo Lima e Meiado (2018) a ocorrência desse processo de forma gradual permite que a semente atinja, aos poucos, o nível de hidratação necessário para o início das atividades metabólicas essenciais à germinação. Além disso, esses métodos fortalecem as sementes, tornando-as mais tolerantes a condições ambientais adversas, como escassez de água, altos níveis de salinidade e temperaturas extremas, tanto abaixo quanto acima do ideal. A presença dos ciclos de hidratação e desidratação podem contribuir para que sementes nativas de destas regiões semiáridas na taxa de sobrevivência durante os períodos de estiagem e seca, garantindo características fisiológicas decorrentes da hidratação prévia (Nicolau, et al., 2021).

Nesse contexto, o objetivo foi analisar os distintos métodos de superação de dormência, seguidos pelo ciclo de hidratação e desidratação, aplicados às sementes de *Mimosa tenuiflora*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco, na Unidade Acadêmica de Serra Talhada/PE (07°57'01" S e 38°17'53" O), sendo realizados no Laboratório.

As sementes de *Mimosa tenuiflora* utilizadas no estudo foram fornecidas pelo Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA/UNIVASF), no âmbito do Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) e do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR).

As sementes de jurema preta foram submetidas a diferentes métodos de superação de dormência, sendo eles: Tratamentos – (testemunha) testemunha; imersão em Ácido Sulfúrico por 13 min.; imersão em água a 100 °C por 4 minutos; imersão em solução de Soda Cáustica por 1h.; e Imersão em solução de cloro ativo a 2,4% por 1 hora. Após os métodos de superação de dormência, as sementes de *M. tenuiflora* foram submetidas a um ciclo de hidratação-desidratação (3h hidratando/desidratação até retornarem ao peso inicial) segundo Lima e Meiado (2018). Após o término da hidratação, foram retiradas quatro amostras de 25 sementes para cada tratamento, a fim de realizar a avaliação do teor de água, determinada por meio do método da estufa 105 °C $\pm$ 3 °C, conforme Brasil (2009). Simultaneamente, as sementes recém-hidratadas foram submetidas ao processo de desidratação, onde foram dispostas sobre folhas de papel seco, no interior de bandejas, e colocadas em uma incubadora do tipo BOD à 35 °C, procedendo-se com a pesagem a cada uma hora até que retornassem ao peso inicial.

Após cada tratamento de superação de dormência e ciclo de hidratação e desidratação, as sementes foram avaliadas por meio das seguintes características:

Teor de água (TA%): A determinação do teor de água ou grau de umidade das sementes foi realizada conforme o protocolo estabelecido por Brasil (2009). Para o teste, foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes para cada tratamento, submetidas a uma temperatura controlada de $105 \pm 3^\circ\text{C}$, em estufa, durante 24 horas. Após esse período, os pesos foram registrados e utilizados na aplicação da equação 1, a fim de calcular a porcentagem de umidade das sementes.

$$\% \text{Umidade} = \frac{(\text{Peso úmido} - \text{Peso seco}) \times 100}{(\text{Peso úmido} - \text{Peso do recipiente})} \quad \text{Eq (1)}$$

Germinação (G%): Ao longo do teste de germinação, foi realizada uma avaliação diária do número de sementes germinadas, até que se observasse a estabilização do processo, o que ocorreu em 19 dias. Considerou-se germinadas aquelas sementes que apresentaram emissão da raiz primária com cerca de 2 mm de comprimento. As sementes foram acondicionadas em caixas plásticas do tipo gerbox (11 x 11 x 3,5 cm) e mantidas em uma sala climatizada, com temperatura média de 25°C na BOD. Para cada tratamento, foram realizadas quatro repetições, utilizando-se 25 sementes em cada repetição por tratamento. Ao final do período de avaliação, contabilizou-se o total de sementes germinadas para o cálculo da porcentagem de germinação (PG).

Índice de velocidade de germinação (IVG): Foi realizado conjuntamente com o teste de germinação, com contagens diárias da protusão da raiz primária segundo Maguire (2012).

Tempo médio de germinação (TMG): O tempo médio de germinação foi avaliado em conjunto com o teste de germinação. O resultado, expresso em dias será calculado por meio da fórmula:

$$\text{TMG} = (S_1 \times D_1) + \dots + (S_n \times D_n) / \text{Stotal}.$$

Em que: TMG = tempo médio levado para emissão da raiz primária (dias); $S_1, \dots, S_n$ = número de sementes com a protrusão da raiz primária no primeiro, segundo, ..., e último dia; $D_1, \dots, D_n$ = número de dias levados para emissão da raiz primária; Stotal = total de sementes germinadas para cada tratamento (Labouriau, 1983).

Os dados foram analisados por meio de análise de variância, na qual delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5×2 , cinco tratamentos de superação de dormência e ciclo de hidratação desidratação (com e sem). As médias serão comparadas pelo teste Scott-Knott a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância demonstrou efeito significativo ($p < 0,01$) dos fatores “método de superação de dormência” (MSD) e “ciclo de hidratação-desidratação” (CHD) de forma isolada sobre

todas as variáveis analisadas: teor de água (TA%), porcentagem de germinação (G%), tempo médio de germinação (TMG) e índice de velocidade de germinação (IVG) (Tabela 1). No entanto, não houve interação significativa entre os fatores, o que indica que seus efeitos foram independentes.

Tabela 1. Parâmetros fisiológicos de sementes de *Mimosa tenuiflora* submetidas à diferentes métodos de superação de dormência e posterior ciclo de hidratação-desidratação. Serra Talhada, PE, 2024.

Métodos de superação de dormência com ciclo de hidratação	TA (%)	G (%)	TMG (dias)	IVG
T1	8.4700 C	9.0000 B	3.7700 C	0.4625 B
T2	21.4025 B	83.0000 A	7.3450 B	3.5625 A
T3	48.7650 A	23.0000 B	11.8750 A	0.4025 B
T4	18.1700 B	18.0000 B	4.8550 C	1.1775 B
T5	8.3875 C	12.0000 B	6.9775 B	0.6325 B
Métodos de superação de dormência sem ciclo de hidratação	TA (%)	G (%)	TMG (dias)	IVG
T1	6.9750 C	15.0000 B	6.2875 B	0.6725 C
T2	11.2700 C	97.0000 A	5.9800 B	5.4400 A
T3	51.5900 A	22.0000 B	13.0000 A	0.4200 C
T4	18.3550 B	22.0000 B	4.2275 B	1.6450 B
T5	10.7925 C	9.0000 B	8.1250 B	0.2625 C

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. Legenda: Tratamentos – T1: testemunha; T2:imersão em Ácido Sulfúrico por 13 min.; T3 água fervente à 100 °c por 4 minutos; T4: imersão em Soda Cáustica 20% por 1 hora.; T5: solução cloro ativo a 2,4% por 1 hora. Variáveis – TA: (teor de água); G: (germinação); TMG: (tempo médio de germinação); IVG: (índice de velocidade de germinação).

A imersão em ácido sulfúrico por 13 minutos (T2) foi o tratamento mais eficiente, promovendo uma germinação de 83%, associada a um IVG de 3,56 e TMG de 7,35 dias (Tabela 2). Esses resultados confirmam a eficácia da escarificação química com H₂SO₄ para a quebra da dormência tegumentar (Marcos Filho, 2015; Lima et al., 2021).

Tabela 2. Comparação direta entre os tratamentos com e sem ciclo de hidratação nos parâmetros fisiológicos de sementes de *Mimosa tenuiflora*. Serra Talhada, PE, 2024.

TRATAMENTOS	VARIÁVEIS	CCHD	SCHD
Tratamento 1	TA	8.4700 A	6.9750 A
	G (%)	9.0000 A	15.0000 A
	TMG (DIAS)	3.7700 A	6.2875 A
	IVG	0.4625 A	0.6725 A
Tratamento 2	TA	21.4025 A	11.2700 B
	G	97.0000 A	83.0000 B
	TMG	7.3450 A	5.9800 A
	IVG	3.5625 B	5.4400 A
Tratamento 3	TA	48.7650 A	51.5900 A
	G	23.0000 A	22.0000 A
	TMG	11.8750 A	13.0000 A
	IVG	0.4025 A	0.4200 A
Tratamento 4	TA	18.1700 A	18.3550 A
	G	18.0000 A	22.0000 A
	TMG	4.8550 A	4.2275 A
	IVG	1.1755 A	1.6450 A
Tratamento 5	TA	8.3875 A	10.7925 A
	G	12.0000 A	9.0000 A
	TMG	6.9775 A	8.1250 A
	IVG	0.6325 A	0.2625 A

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. Legenda: Tratamentos – T1: testemunha; T2:imersão em Ácido Sulfúrico por 13 min.; T3 imersão água fervente à 100 °c por 4 minutos; T4: imersão em Soda Cáustica 20% por 1 hora.; T5: solução cloro ativo a 2,4% por 1 hora. Variáveis – TA: (teor de água); G:(germinação); TMG: (tempo médio de germinação); IVG: (índice de velocidade de germinação). CCHD – com ciclo de hidratação desidratação; SCHD – sem ciclo de hidratação desidratação.

O tratamento (T3) imersão em água fervente à 100 °C por 4 min, apesar de apresentar o maior teor de água (48,77%), teve desempenho inferior nos parâmetros germinativos, evidenciando que a hidratação excessiva, sem romper a impermeabilidade tegumentar, não favorece a germinação (Baskin; Baskin, 2014). Os demais tratamentos (T4 e T5) e a testemunha (T1) apresentaram baixos índices de germinação (<25%).

Dito isso, o tratamento T2 (imersão em ácido sulfúrico por 13 min) foi o mais eficiente, com germinação de 97%, IVG de 5,44 e TMG de 5,98 dias. A ausência do CHD nesse tratamento contribuiu para uma germinação ainda maior do que na condição com CHD, indicando que o tratamento químico isolado já é suficientemente eficaz.

O tratamento T3 (imersão em água fervente a 100 °C por 4 minutos) manteve altos teores de água (51,59%), mas os piores índices de IVG e TMG, reiterando sua baixa eficiência na quebra da dormência. Já o T4 (imersão em soda cáustica 20% por 1 hora) apresentou redução considerável do

tempo médio de germinação TMG (4,23 dias), o que indica alguma eficiência na indução da germinação, embora com taxa moderada (22%).

De forma geral, os resultados evidenciam que os métodos de superação de dormência influenciam significativamente os parâmetros fisiológicos de sementes de *Mimosa tenuiflora*. A escarificação química com ácido sulfúrico (T2) destacou-se como o tratamento mais eficaz, promovendo elevados índices de germinação e velocidade, especialmente na ausência do ciclo de hidratação-desidratação, demonstrando que sua aplicação isolada já é suficientemente eficiente para a quebra da dormência tegumentar. Por outro lado, tratamentos como imersão em água fervente (T3) e em soluções oxidantes (T4 e T5) apresentaram desempenhos inferiores, reforçando a necessidade de escolha criteriosa da técnica conforme a espécie e suas características fisiológicas. Assim, a escolha do método adequado pode otimizar o processo de germinação, contribuindo para programas de conservação e produção de mudas em ambientes semiáridos.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no experimento indicam que a imersão das sementes de *Mimosa tenuiflora* em ácido sulfúrico por 13 minutos foi o método mais eficiente na superação da dormência tegumentar, promovendo os maiores índices de germinação, velocidade e uniformidade do processo. A aplicação do ciclo de hidratação-desidratação (CHD), embora não tenha apresentado efeito significativo em interação com os tratamentos, contribuiu de forma complementar para a melhoria do desempenho germinativo em alguns parâmetros. Assim, a combinação entre escarificação química e o CHD mostra-se promissora como estratégia pré-germinativa para a espécie, sobretudo em contextos de escassez hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* (2nd ed.). Academic Press.
- Benedito, C. P., Nascimento, J. A. S., & Silva, D. B. (2017). Tratamentos pré-germinativos em sementes de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 12(1), 110–115. <https://doi.org/10.18378/rvads.v12i1.4970>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946regrasanalisesementes.pdf>
- Carvalho, N. M., & Nakagawa, J. (2012). *Sementes: Ciência, tecnologia e produção* (5ª ed.). FUNEP.
- Dos Santos, F. L., Ribeiro, A. C. D., & Monteiro, M. M. S. (2021). Efeitos do ciclo hidratação-desidratação na qualidade fisiológica de sementes de espécies florestais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25(3), 165–172. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n3p165-172>

- Hora, A. B. A. (2016). Ciclo de hidratação e desidratação em sementes florestais: uma abordagem alternativa. *Enciclopédia Biosfera*, 13(24), 504–512.
- Labouriau, L.G. 1983. A germinação das sementes. Secretaria Geral da OEA, Washington.
- Lima, A. T. B., & Meiado, M. V. (2018). Dormência e germinação de sementes de espécies da Caatinga. In L. G. L. P. Silva & M. V. Meiado (Orgs.), *Germinação de sementes da Caatinga: Ecologia, fisiologia e biotecnologia* (pp. 37–52). EDUPE.
- Lima, A. T. B., Silva, F. S., Silva, K. R. M., & Meiado, M. V. (2021). Dormancy-breaking methods in seeds of *Mimosa tenuiflora* from different provenances. *Brazilian Journal of Biology*, 81(3), 583–591. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.232131>
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176–177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Mantoan, L. P. B., Guimarães, S. C., Nogueira, A. P. O., & Alvarenga, A. A. (2012). Métodos para superação de dormência em sementes de espécies florestais nativas. *Revista Árvore*, 36(5), 835–844. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000500017>
- Marcos Filho, J. (2015). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas* (1ª ed.). Abrates.
- Nicolau, D. F. C., Andrade, L. A., Lopes, K. P., & Sousa, J. R. F. (2021). Pré-condicionamento hídrico na qualidade fisiológica de sementes de espécies nativas. *Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 64(1), 23–31. <https://doi.org/10.31413/rca.v64i1.10066>
- Pereira, C. E., Silva, G. Z., & Silva, E. R. (2015). Métodos de superação de dormência em sementes de espécies nativas do Cerrado. *Cerne*, 21(1), 17–22. <https://doi.org/10.1590/01047760201521011913>
- Santos, J. L. et al. Superação da dormência tegumentar de sementes de *Piptadenia viridiflora* (Kunth) Benth pela escarificação química. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1642-1651, nov./dez. 2014.

Estabilidade de Genes Endógenos para Análises Moleculares em *Eucalyptus* sob Condições de Estresse

Recebido em: 24/05/2025

Aceito em: 28/05/2025

 10.46420/9786585756600cap7

Any Caroliny Pinto Rodrigues 

Farley Souza Ribeiro Menezes 

Laís Grazielle Silva 

Janaína Fernandes Gonçalves 

Marcelo Luiz de Laia 

INTRODUÇÃO

O Distúrbio Fisiológico do Eucalipto (DFE) é um dos principais problemas enfrentados em plantios comerciais nas regiões do Maranhão, Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. Desde seus primeiros registros em 2008, essa condição tem causado grande impacto nas florestas e prejuízos significativos ao setor (Câmara et al., 2018; Reis, 2011; Rodrigues, 2013). Os sintomas são caracterizados por uma desordem que compromete o crescimento e a produtividade das árvores, resultando em perdas consideráveis, que podem levar à morte de árvores, tanto isoladas quanto em grandes quantidades.

Acredita-se que a ocorrência dessa doença esteja relacionada a interações entre fatores ambientais adversos (climáticos, nutricionais e edáficos) que, associados ao fator genético da espécie, provocam a perda das características fenotípicas normais da planta, por meio de alterações no metabolismo celular e na expressão gênica. No entanto, a etiologia exata do DFE ainda é desconhecida (Silva et al., 2010; Lourenço, 2016; Mafia, 2017).

A análise da expressão gênica pode ajudar a entender melhor as respostas das plantas a diferentes níveis de estresse. Nesse contexto, uma ferramenta biotecnológica amplamente utilizada para a análise de expressão gênica e quantificação de mRNA é a PCR Quantitativa em Tempo Real de Transcrição Reversa (RT-qPCR). Essa técnica é vantajosa, pois possibilita a quantificação de mRNA de maneira simples, precisa e reprodutível, além de ser útil para a interpretação funcional dos genes e quantificação dos perfis de expressão gênica (Bustin, Benes, Nolan & Pfaffl, 2005; Wong & Medrano, 2005; Oliveira, 2010; Navarro, Serrano-Heras, Castaño & Solera, 2015).

Entretanto, essa ferramenta (RT-qPCR) exige uma série de padronizações para corrigir a variação técnica associada aos diversos passos do processo experimental, como a eficiência na extração de RNA, as diferenças na quantidade inicial da amostra de mRNA, a eficiência enzimática, a integridade e qualidade do RNA, a eficiência na síntese de cDNA e as variações na atividade de transcrição dos tecidos ou células analisados. Essas variações podem ser controladas por meio da normalização dos resultados, utilizando

um conjunto apropriado de genes de referência, também conhecidos como genes endógenos (Ginzinger, 2002; Bustin et al., 2009, 2010).

Genes endógenos são aqueles que apresentam expressão altamente uniforme em uma amostra (célula, tecido, organismo, etc.) durante as várias fases de desenvolvimento e sob diferentes condições ambientais. Um gene de referência ideal deve manter sua expressão constante, independentemente das condições experimentais, dos diferentes tipos de células, estádios de desenvolvimento e/ou tratamentos da amostra. No entanto, nenhum gene exibe uma expressão estável em todos os organismos e em todas as condições experimentais. Assim, a expressão dos genes varia de acordo com a espécie estudada e com as condições experimentais específicas (Dheda et al., 2004; Huggett, Dheda, Bustin & Zumla, 2005; Kozera & Rapacz, 2013).

Diversos estudos sobre a seleção de genes de referência em espécies vegetais para diferentes finalidades já foram realizados para a normalização da expressão gênica por meio da RT-qPCR. Esses estudos incluem pesquisas em coníferas (Granados, Ávila, Cánovas & Cañas, 2016; Wei et al., 2016), teca (Galeano, Vasconcelos, Ramiro, Martín & Carrer, 2014, seringueira (Chao, Yang, Chen & Tian, 2016), eucalipto (Fernández, Villarroel, Balbotín & Valenzuela, 2010; Unnikrishnan, Shankaranarayan & Sharma, 2011; Cassan-Wang et al., 2012; Moura et al., 2012; Sundari & Dasgupta, 2012), café (Goulao, Fortunato & Ramalho, 2012), cana-de-açúcar (Andrade et al., 2017; Huang et al., 2018) e outras espécies (Gutierrez et al., 2011; Ma, He, Wu, Liu & Hu, 2012; Liu et al., 2013; Castonguay, Michaud & Dubé, 2015; He et al., 2017; Liu et al., 2018).

Entretanto, até o momento, não existem relatos sobre a seleção de genes de referência em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob condições abióticas de estresse. Além disso, genes que foram anteriormente descritos como normalizadores adequados para algumas espécies de plantas e/ou condições experimentais nem sempre são válidos para outras espécies ou condições de trabalho.

Dessa forma, a escolha de um gene de referência instável pode resultar em erros imprevisíveis na análise da expressão gênica. Portanto, é essencial selecionar e otimizar genes de referência adequados de acordo com o material experimental e a condição de tratamento a fim de melhorar a precisão da análise e interpretação da técnica RT-qPCR (Nolan, Hands & Bustin, 2006; VanGuilder, Vrana & Freeman, 2008; Bustin et al., 2010, Bustin et al., 2013). Assim, o objetivo deste estudo foi selecionar e analisar a estabilidade de genes normalizadores endógenos em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* afetados pelo Distúrbio Fisiológico do Eucalipto (DFE).

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Genética e Biotecnologia Florestal (LGBF), localizado no Departamento de Engenharia Florestal, em parceria com o Laboratório de Biologia Celular e Molecular, situado no Centro Integrado de Pesquisa e Pós-Graduação em Saúde (CIPq-

Saúde). Ambos se encontram localizados na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), no Campus JK, em Diamantina, MG.

Material Vegetal e Coleta das Amostras

O material vegetal analisado (tecido foliar) foi coletado em uma área de plantio florestal de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* afetados por distúrbios fisiológicos (Figura 1).



Figura 1. Área de ocorrência e sintomatologia ocasionada pelos Distúrbios Fisiológicos do Eucalipto (DFE): deformação de ponteiros, formação de sub-copas, rachaduras na base do tronco, perda de dominância apical e superbrotamento ao longo do tronco. Fonte – Adaptado de: Silva, 2010; Lourenço, 2016; Mafia, 2017.

O tecido foliar das árvores de eucalipto, tanto das que apresentavam quanto das que não apresentavam sintomas da doença, foi coletado das copas e subcopas das plantas. A comparação da expressão gênica foi realizada entre as folhas normais e as anômalas. Para isso, foi feita uma amostragem aleatória simples das árvores, selecionando-se três com sintomas e três sem sintomas. Em cada uma dessas árvores, os tecidos foliares foram coletados em triplicata. Imediatamente após a coleta, as amostras

de tecido foram acondicionadas em recipientes com nitrogênio líquido e, posteriormente, armazenadas em um freezer a -80 °C, onde permaneceram até o momento da extração do RNA total.

Extração de RNA total

O RNA total das folhas de eucalipto foi extraído utilizando um conjunto de reagentes comercial *RNeasy Plant Mini Kit* (QIAGEN), conforme as instruções do fabricante, e seguindo rigorosamente todos os protocolos rigorosos recomendados para a manipulação de RNA e boas práticas para manipulação em ambiente livre de RNases. O tecido foliar foi previamente macerado em nitrogênio líquido com o auxílio de almofariz e pistilo (ambos descontaminados com solução inibidora de RNases, garantindo a integridade do material durante todo o processo), até a obtenção de um pó fino, mantendo-o congelado durante todo o processo. Aproximadamente 100 mg do material macerado foi transferido para um tubo de polipropileno de 1,5 mL, previamente refrigerado, e seguiu-se rigorosamente às instruções do fabricante.

A integridade e qualidade do RNA foram avaliadas por meio de eletroforese em gel de agarose a 1% corado com brometo de etídeo, observando a conservação relativa das frações de RNA ribossômico (28S e 18S). A quantificação e o grau de pureza foram determinados utilizando um espectrofotômetro (ThermoScientific Drop Plate), avaliando amostras por comprimento de onda. Verificou-se se os comprimentos de onda (λ) 260, 280 e 230 nm estavam de acordo com a literatura, bem como se as relações 260/280 e 260/230 eram aceitáveis para amostras de boa qualidade de RNA.

Escolha dos Genes de Referência para Normalização dos Dados

Com base em estudos prévios na literatura, foram selecionados sete candidatos a genes de referência: *EUCONS04*, *EUCONS08*, *EUCONS21*, *IDH*, *SAND*, *EGIDH* e *UBQ* (Boava et al., 2010; Moura et al., 2012; de Oliveira et al., 2012). As sequências, tamanhos e *amplicons* desses *primers* estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1. Genes de referência cuja estabilidade da expressão gênica foi testada para possível utilização na normalização dos genes de interesse (GOI). Os primers diretos (F) e reversos (R), o tamanho de cada primer em bases (b), a temperatura de desnaturação do primer (T_m), o tamanho do amplicon em pares de bases (pb) e o número de acesso do mRNA do respectivo gene depositado no GenBank (GI) estão apresentados. Fonte: os autores.

Genes de Referência	Sequência dos <i>Primers</i>	Tamanho (b)	T_m (°C)	Amplicon (pb)	GI
EUCONS04	F-TACAAGCGCTGTTGATATGTGGGC	24	66,08	195	XM_010027418
					XM_010027420
	R - TGCCAATGAGGCGGATTACAAAG	24	66,26		XM_010027421
					XM_010027422
EUCONS08	F - TCCAATCCGAGTCGCTGTCATTGT	24	66,80	173	XM_010068769
	R - TGATGAGCCTCTCTGGTTTGACCT	24	65,80		
EUCONS21	F-AGAGGTGAAATTCCAGAAGCCCGT	24	66,57	155	XM_010049323
	R - CTTCCTTTTGGCTTCCGCCAATTA	24	66,07		
IDH	F - AGTTTGAGGCTGCTGGAATC	20	60,81	98	XM_010064015
	R - CTTCGATGCCACACATAAC	20	60,30		
SAND	F - TGGGTCACACAGGATTTTGA	20	59,64	130	XM_010045449
	R - CTCCCAGCAAAAAGATCTCG	20	59,09		
EGIDH	F - TGGAAGTGTGAGTCTGG	18	56,48	60	XM_010064015
	R - TTAGGACCATGAATGAGGAG	20	56,47		
UBQ	F - GAGGGACATCTATCTCTATGAC	22	56,89	132	XM_010071338
	R - CAACAGTAAGCACACGAG	18	56,18		

Ensaios de RT-qPCR

Realizaram-se ensaios preliminares de RT-qPCR para aumentar a eficiência das curvas de amplificação. Foram feitos ajustes nas concentrações de *primer* e de RNA, e diluições seriadas das amostras geraram uma curva padrão, cuja inclinação foi utilizada para determinar a eficiência da amplificação dos genes (Pfaffl, 2001). Após esses ajustes, padronizou-se as quantidades de 400 nM de *primer* e 12,5 ng de RNA total para as amplificações em todos os ensaios. Além dessas modificações, foi alterada também a temperatura e o tempo de síntese da primeira fita de cDNA, incluindo uma etapa para o pareamento dos oligonucleotídeos. Reações de controle (sem RNA – NTC) foram realizadas para confirmar a especificidade do procedimento.

As reações de RT-qPCR foram realizadas em um equipamento *StepOne™ Real-Time PCR System* (*Applied Biosystems*). O ensaio incluiu três replicatas biológicas (RNA total extraído de três plantas diferentes) e cada réplica biológica constituiu-se por duas replicatas técnicas. Utilizamos o conjunto de reagentes *EXPRESS One-STEP SYBR GreenER Kit, with premixed ROX* (*Invitrogen*) para as amplificações. Esses reagentes produzem o cDNA e quantificam o transcrito em uma única reação, em um único tubo. Os procedimentos adotados foram os sugeridos pelo fabricante do equipamento e do conjunto de

reagentes, com modificações pontuais. O volume da reação foi de 10 μ L e a quantidade de amostra de RNA total foi de 12,5 ng, previamente ajustados. A etapa de produção de cDNA foi realizada a 45 °C por 30 minutos, seguida por uma etapa de pareamento dos oligonucleotídeos iniciadores a 50 °C por 15 segundos, e, em seguida, a amplificação ocorreu a 60 °C por 1 minuto. Ao final da amplificação, os dados foram pré-analisados pelo software *Step-One Plus* versão 2.3 (*Applied Biosystems*) e exportados para uma planilha eletrônica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade do RNA e dos Primers

A qualidade e a integridade do RNA são fundamentais para análises de expressão gênica. As amostras extraídas foram submetidas à eletroforese em gel de agarose a 1% e coradas com brometo de etídeo para visualização e confirmação da integridade do RNA total isolado. A eletroforese em gel de agarose revelou que as bandas ribossomais de 28S e 18S estavam intactas e bem definidas, indicando que o RNA não estava degradado. Também não foi detectada contaminação por gDNA, o que comprova a alta qualidade do RNA (Figura 2).

Para verificar a qualidade e a temperatura de anelamento (T_a) ideal de cada *primer*, foi realizada uma PCR convencional. Os ensaios de PCR realizados para avaliar a especificidade dos oligonucleotídeos iniciadores apresentaram resultados satisfatórios com a amplificação de todos os *primers*, os quais também apresentaram bandas nítidas e bem definidas, variando entre 75 pb e 300 pb, conforme demonstrado na Figura 2. Esses resultados indicaram que não houve produtos inespecíficos ou contaminação na PCR.

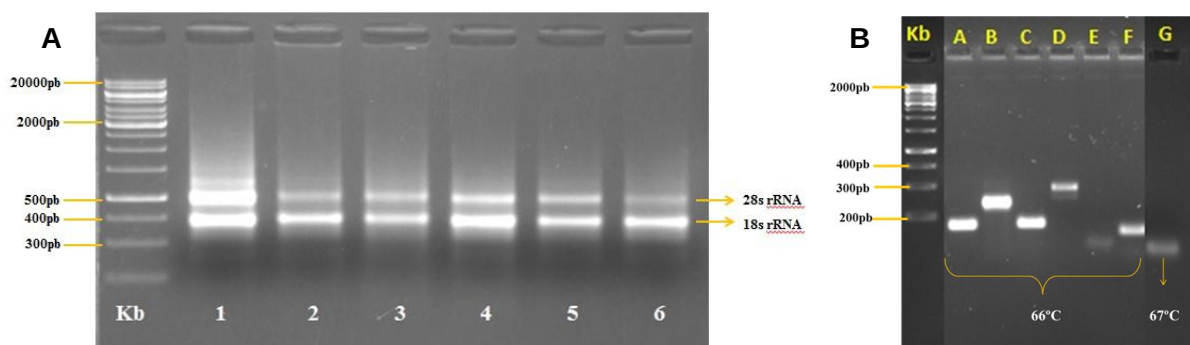


Figura 2. Imagem de gel de agarose a 1% corado com brometo de etídeo contendo a) 06 amostras de RNA total de boa qualidade, apresentando as subunidades 28S e 18S do RNA, extraídas de tecido foliar de eucalipto com distúrbios fisiológicos; e b) indicando a temperatura de pareamento ideal para amplificação por PCR dos genes *EUCONS04* (A), *EUCONS08* (B), *EUCONS21* (C), *IDH* (D), *SAND* (E), *EGIDH* (F) e *UBQ* (G). Na figura, observa-se Kb que indica o uso do marcador de pares de bases (Marcador 1kb DNA Ladder); e pb ao lado de cada número na escada que indica quantos pares de base tem no comprimento do fragmento de DNA. Fonte: os autores.

Com base nos resultados da PCR foi possível determinar a temperatura de pareamento ideal de cada *primer*, sendo de 66 °C para os genes *EUCONS04*, *EUCONS08*, *EUCONS21*, *IDH*, *SAND* e

EGIDH e de 67 °C para o gene *UBQ*. A PCR realizada com essas temperaturas apresentaram resultados satisfatórios para as análises subsequentes.

Eficiência de amplificação na RT-qPCR

Os sete candidatos a genes de referência tiveram suas estabilidades de expressão em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* testadas, com o objetivo de utilizá-los como normalizadores da expressão em indivíduos com e sem sintomas dos distúrbios fisiológicos.

A análise das curvas de amplificação revelou que todos os *primers* endógenos testados foram considerados ideais, apresentando um padrão adequado de amplificação e resultados satisfatórios. Em média, os valores de *C_q* para todos os genes normalizadores testados variaram entre 18 e 24 (Figura 3).

A concentração ideal foi determinada como sendo de 400 nM para os *primers* e 12,5 ng de RNA. A Figura 3 ilustra os resultados de um ensaio, demonstrando um padrão adequado de amplificação do gene endógeno (*UBQ*) nas concentrações ideais e em diferentes amostras de RNA total de folhas de eucalipto.

Além disso, observou-se a presença de picos únicos nas análises da curva de *melting*, indicando a ausência de dímeros e confirmando a especificidade dos *amplicons*, o que mostra que todos os genes testados amplificaram apenas um fragmento específico.

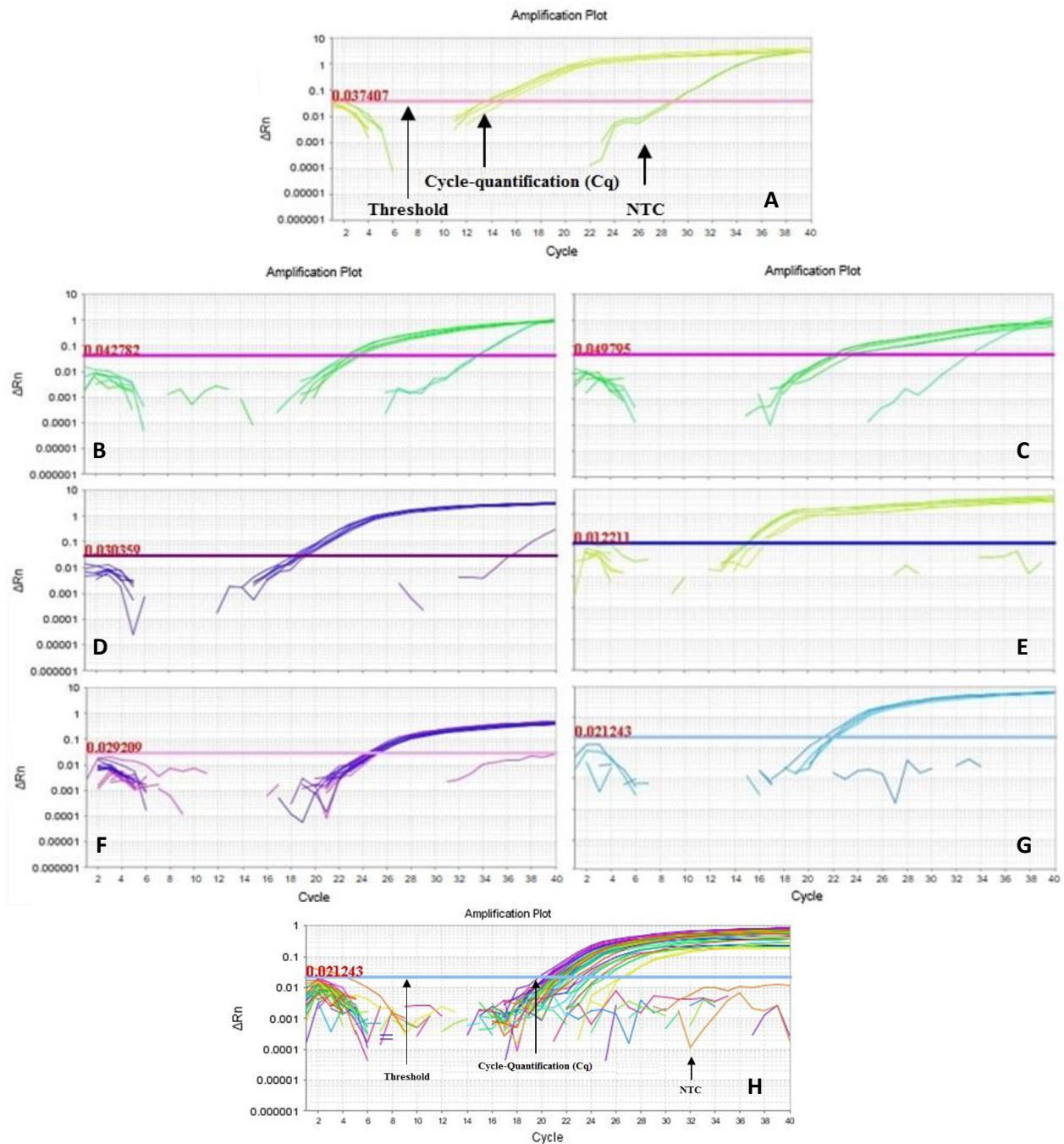


Figura 3. Curvas de amplificação em reações de RT-qPCR, mostrando a eficiência de amplificação dos sete candidatos a genes de referência: A) *EUCONS21*; B) *EUCONS08*; C) *EUCONS04*; D) *IDH*; E) *EGIDH*; F) *SAND*; G) *UBQ*; e H) Padrão de amplificação do gene endógeno *UBQ* em diferentes amostras de RNA total de folhas de eucalipto, evidenciando a eficiência da amplificação. Na figura, observa-se *Threshold*: limiar de detecção da amplificação; *Cycle-quantification (Cq)*: número de ciclos em que a fluorescência ultrapassa o limiar, indicando a detecção da amplificação para uma quantificação precisa e reprodutível; e *NTC*: amostra de controle negativo (sem RNA). Fonte: os autores.

Análise da Estabilidade da Expressão Gênica e Seleção dos Genes de Referência

Os valores do limiar do ciclo Cq (*Cycle-quantification*) foram utilizados para determinar os níveis de expressão dos sete candidatos a genes de referência em todas as amostras. A estabilidade da expressão de todos os genes foi analisada utilizando os algoritmos geNorm (Vandesompele et al., 2002) e NormFinder

(Andersen, Jensen & Orntoft, 2004). Esses algoritmos calcularam a estabilidade de expressão dos genes candidatos e identificaram os genes de referência mais estáveis.

A classificação geral da análise de estabilidade dos genes candidatos a genes de referência pelo algoritmo geNorm indicou que os genes *UBQ* e *IDH* apresentaram a maior estabilidade entre os sete avaliados. Além disso, ao analisar os mesmos dados com o programa geNorm, o NormFinder apontou o gene *UBQ* como tendo a expressão gênica mais estável (Figura 4).

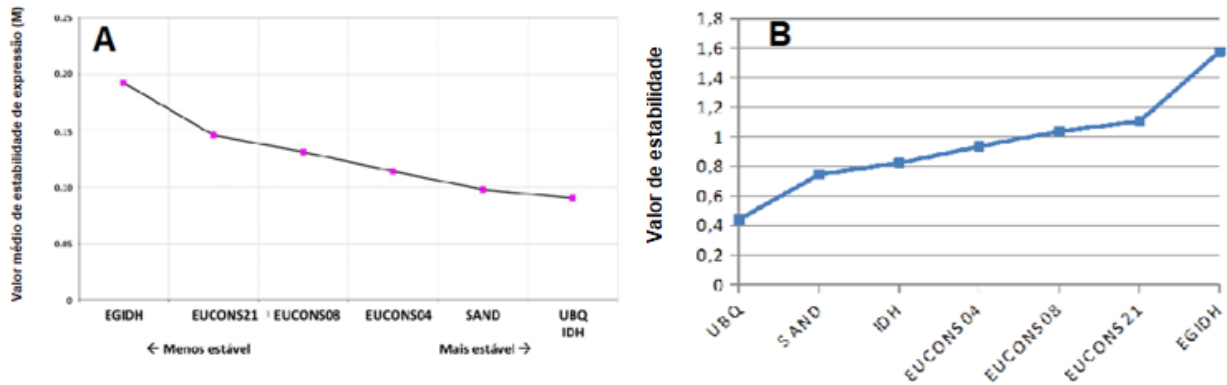


Figura 4. A) Valor médio de estabilidade de expressão (M) calculado pelo programa geNorm para os sete genes candidatos a genes de referência. Os genes *UBQ* e *IDH* foram considerados os mais estáveis, enquanto o gene *EGIDH* foi identificado como o mais variável. B) Estabilidade da expressão gênica (valor de estabilidade) calculado pelo programa NormFinder dos genes de referência *EGIDH*, *EUCONS21*, *EUCONS08*, *EUCONS04*, *SAND*, *UBQ* e *IDH*, conforme avaliação do programa NormFinder. Fonte: os autores.

A utilização de diferentes genes endógenos para a avaliação de dados de expressão gênica é fundamental para aumentar a precisão da análise e fornecer resultados finais confiáveis. Assim, para realizar a análise de expressão gênica por RT-qPCR em tecidos foliares de eucalipto afetados por distúrbios fisiológicos, foram avaliados sete genes de referência comuns a espécies de *Eucalyptus*.

É importante ressaltar que a literatura especializada descreve genes para a normalização da expressão gênica via RT-qPCR. No entanto, a maioria desses estudos se concentra em experimentos bióticos, com poucos relatos voltados para a comparação entre plantas saudáveis e aquelas afetadas por anomalias abióticas.

Para calcular a estabilidade da expressão dos genes candidatos e identificar os genes de referência mais estáveis, foram empregados dois algoritmos estatísticos (geNorm e NormFinder). O geNorm é um programa que indica o gene mais estável, caracterizado por baixa variação entre os genes de referência. O parâmetro utilizado é o valor médio de estabilidade de expressão (*M-value*). Um valor baixo de M indica uma expressão mais estável. Assim, considera-se como gene de maior estabilidade aquele que apresenta o menor valor de M, enquanto o gene com maior valor de M é considerado o mais variável nas condições testadas. Contudo, o geNorm sempre apresentará dois genes como os mais estáveis. A partir dessas

análises, é possível identificar um ou dois genes como mais apropriados para servir como genes de referência (Vandesompele et al., 2002).

Por outro lado, o NormFinder determina o gene mais estável com base no menor valor de estabilidade, calculado a partir da combinação da variação intra e intergrupos. Esse programa gera uma medida de estabilidade em que um valor mais baixo indica maior estabilidade na expressão gênica do respectivo gene; ou seja, quanto mais próximo de zero o valor, maior a estabilidade do gene (Andersen et al., 2004).

De acordo com as análises do geNorm, os genes *UBQ* e *IDH* apresentaram a maior estabilidade entre os sete avaliados. Em contrapartida, os genes *EGIDH*, *EUCONS21*, *EUCONS08*, *EUCONS04* e *SAND* mostraram altos valores de M, indicando que não foram expressos de forma consistente e, portanto, não devem ser utilizados na normalização dos dados (Figura 4).

Ao analisar os mesmos dados com o programa NormFinder foi identificado que o gene *UBQ* possui a expressão gênica mais estável (Figura 4). Além de indicar o gene mais estável, o NormFinder também sugere o par de genes cuja expressão é mais estável em conjunto, neste caso, os genes *UBQ* e *IDH*, conforme indicado pelo geNorm.

Os sete genes candidatos a genes endógenos foram selecionados por terem sido utilizados ou citados como genes de referência em outras abordagens com RT-qPCR (Boava et al., 2010; Moura et al., 2012; Oliveira et al., 2012). Alguns desses estudos também demonstraram que os genes *UBQ* e *IDH* se comportaram como os mais estáveis e foram utilizados como genes de referência, embora em diferentes condições experimentais. Moura et al. (2012), em um estudo com espécies de *Eucalyptus* submetidas a diferentes estresses abióticos, observaram alta estabilidade de expressão para esses mesmos genes. Almeida et al. (2010), ao analisarem a expressão de genes em *E. globulus* durante o enraizamento adventício *in vitro*, detectaram que o gene *IDH* era um dos mais estáveis. Boava et al. (2010), em uma pesquisa com espécies de *Eucalyptus* sob diferentes estresses bióticos e abióticos, verificaram alta estabilidade da transcrição gênica em *UBQ*.

Por outro lado, em um estudo realizado por Martins, Freitas, Máximo e Paiva (2018) com clones de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus urophylla* sob condições de déficit hídrico, o gene *SAND* foi considerado um dos genes de referência mais estáveis. Oliveira et al. (2012) identificaram os genes *EUCONS04*, *EUCONS08* e *EUCONS21* como adequados para a normalização de estudos de expressão no gênero *Eucalyptus*. No entanto, no presente estudo, esses foram os genes com menor estabilidade encontrados. Esse fato corrobora o trabalho de Cassan-Wang et al. (2012), que, ao analisarem a expressão de 21 genes em diversos órgãos e tecidos de *Eucalyptus* em conjuntos experimentais distintos, bem como sob várias condições ambientais e de desenvolvimento, demonstraram que genes frequentemente utilizados como referência podem variar em seu nível de expressão, levando a erros de interpretação nas análises por RT-qPCR. Isso evidencia a necessidade de testar a estabilidade dos genes de referência para cada tipo e condição específica de trabalho.

Assim, com base na integração dos resultados dos dois algoritmos, identificou-se que *UBQ* e *IDH* foram os genes de referência mais estáveis quando todas as amostras foram analisadas em conjunto. Os resultados sugerem que a escolha dos genes de referência ideais deve ser feita de acordo com as diferentes espécies e as condições específicas do experimento. Em suma, não é possível utilizar um gene endógeno apenas com base na literatura; é sempre necessário testar sua estabilidade no experimento em questão. Nesse sentido, é essencial realizar uma normalização adequada para garantir uma quantificação precisa e confiável dos níveis de expressão dos genes alvos (Gutierrez, Giménez, Palomino & Avila, 2011; Guénin et al., 2009; Bustin et al., 2013).

CONCLUSÃO

Neste trabalho, dois programas foram utilizados para investigar a estabilidade de sete genes de referência na normalização da expressão gênica em espécies de *Eucalyptus* sob diversas condições abióticas de estresse. Os dados indicam que *UBQ* e *IDH* são os genes mais estáveis e, portanto, os mais confiáveis para serem utilizados como referência. Uma seleção adequada de genes de referência pode ajudar a minimizar imprecisões na análise da expressão gênica. Assim, os resultados da validação permitirão uma normalização mais precisa e confiável dos resultados de RT-qPCR para futuras análises de transcrição relacionadas ao distúrbio fisiológico desta espécie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. R., Ruedell, C. M., Ricachenevsky, F. K., Sperotto, R. A., Pasquali, G., & Fett-Neto, A. G. (2010). Reference gene selection for quantitative reverse transcription-polymerase chain reaction normalization during in vitro adventitious rooting in *Eucalyptus globulus* Labill. *BMC Molecular Biology*, 11, 1-12.
- Andersen, C. L., Jensen, J. L., & Ørntoft, T. F. (2004). Normalization of real-time quantitative reverse transcription-PCR data: a model-based variance estimation approach to identify genes suited for normalization, applied to bladder and colon cancer data sets. *Cancer research*, 64(15), 5245-5250. DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-04-0496
- Andrade, L. M., dos Santos Brito, M., Fávero Peixoto Junior, R., Marchiori, P. E. R., Nobile, P. M., Martins, A. P. B., ... & Creste, S. (2017). Reference genes for normalization of qPCR assays in sugarcane plants under water deficit. *Plant methods*, 13, 1-9. DOI: 10.1186/s13007-017-0178-2
- Boava, L. P., Laia, M. L., Jacob, T. R., Dabbas, K. M., Gonçalves, J. F., Ferro, J. A., ... & Furtado, E. L. (2010). Selection of endogenous genes for gene expression studies in *Eucalyptus* under biotic (*Puccinia psidii*) and abiotic (acibenzolar-S-methyl) stresses using RT-qPCR. *BMC research notes*, 3, 1-9.

- Bustin, S. A., Benes, V., Garson, J., Hellemans, J., Huggett, J., Kubista, M., ... & Vandesompele, J. (2013). The need for transparency and good practices in the qPCR literature. *Nature methods*, 10(11), 1063-1067.
- Bustin, S. A., Benes, V., Nolan, T., & Pfaffl, M. W. (2005). Quantitative real-time RT-PCR—a perspective. *Journal of molecular endocrinology*, 34(3), 597-601. DOI: 10.1677/jme.1.01755
- Bustin, S. A., Benes, V., Garson, J. A., Hellemans, J., Huggett, J., Kubista, M., ... & Wittwer, C. T. (2009). The MIQE Guidelines: Minimum Information for Publication of Quantitative Real-Time PCR Experiments. DOI: 10.1373/clinchem.2008.112797
- Bustin, S. A., Beaulieu, J. F., Huggett, J., Jaggi, R., Kibenge, F. S., Olsvik, P. A., ... & Toegel, S. (2010). MIQE precis: Practical implementation of minimum standard guidelines for fluorescence-based quantitative real-time PCR experiments. *BMC molecular biology*, 11, 1-5.
- Câmara, A. P., Oliveira, J. T. D. S., Bobadilha, G. D. S., Vidaurre, G. B., Tomazello Filho, M., & Soliman, E. P. (2018). Physiological disorders affecting dendrometric parameters and eucalyptus wood quality for pulping wood. *Cerne*, 24(1), 27-34. DOI: 10.1590/01047760201824012480
- Cassan-Wang, H., Soler, M., Yu, H., Camargo, E. L. O., Carocha, V., Ladouce, N., ... & Grima-Pettenati, J. (2012). Reference genes for high-throughput quantitative reverse transcription–PCR analysis of gene expression in organs and tissues of *Eucalyptus* grown in various environmental conditions. *Plant and Cell Physiology*, 53(12), 2101-2116. DOI: 10.1093/pcp/pcs152
- Castonguay, Y., Michaud, J., & Dubé, M. P. (2015). Reference genes for RT-qPCR analysis of environmentally and developmentally regulated gene expression in alfalfa. *American Journal of Plant Sciences*, 6(1), 132-143. DOI: 10.4236/ajps.2015.61015
- Chao, J., Yang, S., Chen, Y., & Tian, W. M. (2016). Evaluation of reference genes for quantitative real-time PCR analysis of the gene expression in laticifers on the basis of latex flow in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Frontiers in plant science*, 7, 1149. DOI: 10.3389/fpls.2016.01149
- Dheda, K., Huggett, J. F., Bustin, S. A., Johnson, M. A., Rook, G., & Zumla, A. (2004). Validation of housekeeping genes for normalizing RNA expression in real-time PCR. *Biotechniques*, 37(1), 112-119. DOI: 10.2144/04371RR03
- Fernández, M., Villarroel, C., Balbontín, C., & Valenzuela, S. (2010). Validation of reference genes for real-time qRT-PCR normalization during cold acclimation in *Eucalyptus globulus*. *Trees*, 24, 1109-1116. DOI 10.1007/s00468-010-0483-0
- Galeano, E., Vasconcelos, T. S., Ramiro, D. A., De Martin, V. D. F., & Carrer, H. (2014). Identification and validation of quantitative real-time reverse transcription PCR reference genes for gene expression analysis in teak (*Tectona grandis* Lf). *BMC research notes*, 7, 1-13.
- Ginzinger, D. G. (2002). Gene quantification using real-time quantitative PCR: an emerging technology hits the mainstream. *Experimental hematology*, 30(6), 503-512. DOI: S0301-472X(02)00806-8

- Goulao, L. F., Fortunato, A. S., & C. Ramalho, J. (2012). Selection of reference genes for normalizing quantitative real-time PCR gene expression data with multiple variables in *Coffea* spp. *Plant Molecular Biology Reporter*, 30, 741-759. DOI 10.1007/s11105-011-0382-6
- Granados, J. M., Ávila, C., Cánovas, F. M., & Cañas, R. A. (2016). Selection and testing of reference genes for accurate RT-qPCR in adult needles and seedlings of maritime pine. *Tree Genetics & Genomes*, 12, 1-15. DOI 10.1007/s11295-016-1018-7
- Granados, J. M., Ávila, C., Cánovas, F. M., & Cañas, R. A. (2016). Selection and testing of reference genes for accurate RT-qPCR in adult needles and seedlings of maritime pine. *Tree Genetics & Genomes*, 12, 1-15. DOI 10.1007/s11295-016-1018-7
- Guenin, S., Mauriat, M., Pelloux, J., Van Wuytswinkel, O., Bellini, C., & Gutierrez, L. (2009). Normalization of qRT-PCR data: the necessity of adopting a systematic, experimental conditions-specific, validation of references. *Journal of experimental botany*, 60(2), 487-493.
- Gutierrez, N., Giménez, M. J., Palomino, C., & Avila, C. M. (2011). Assessment of candidate reference genes for expression studies in *Vicia faba* L. by real-time quantitative PCR. *Molecular Breeding*, 28, 13-24. DOI: 10.1007/s11032-010-9456-7
- He, M., Cui, S., Yang, X., Mu, G., Chen, H., & Liu, L. (2017). Selection of suitable reference genes for abiotic stress-responsive gene expression studies in peanut by real-time quantitative PCR. *Electronic Journal of Biotechnology*, 28, 76-86. DOI: 10.1016/j.ejbt.2017.05.004
- Huang, N., Ling, H., Liu, F., Su, Y., Su, W., Mao, H., ... & Que, Y. (2018). Identification and evaluation of PCR reference genes for host and pathogen in sugarcane-Sporisorium scitamineum interaction system. *BMC genomics*, 19, 1-13. DOI: 10.1186/s12864-018-4854-z
- Huggett, J., Dheda, K., Bustin, S., & Zumla, A. (2005). Real-time RT-PCR normalisation; strategies and considerations. *Genes & Immunity*, 6(4), 279-284.
- Kozera, B., & Rapacz, M. (2013). Reference genes in real-time PCR. *Journal of applied genetics*, 54, 391-406. DOI: 10.1007/s13353-013-0173-x
- Liu, Z., Cheng, K., Qin, Z., Wu, T., Li, X., Tu, J., ... & Yang, L. (2018). Selection and validation of suitable reference genes for qRT-PCR analysis in pear leaf tissues under distinct training systems. *PloS one*, 13(8), e0202472. DOI: 10.1371/journal.pone.0202472
- Liu, Z., Ge, X. X., Wu, X. M., Kou, S. J., Chai, L. J., & Guo, W. W. (2013). Selection and validation of suitable reference genes for mRNA qRT-PCR analysis using somatic embryogenic cultures, floral and vegetative tissues in citrus. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 113, 469-481. DOI: 10.1007/s11240-013-0288-0
- Lourenço, H. M. (2016). Estresses abióticos e seus efeitos na produtividade florestal. In: Simpósio sobre Tecnologias de Produção Florestal.

- Ma, J., He, Y. H., Wu, C. H., Liu, H. P., & Hu, Z. Y. (2012). Cloning and selection of reference genes for gene expression studies in *Ananas comosus*. African Journal of Biotechnology, 11(29). DOI: 10.5897/AJB12.111
- Mafia, R. G. (2017). Etiologia e Manejo do Distúrbio Fisiológico do Eucalipto (DFE). In: II Seminário sobre Sanidade Florestal. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Martins, G. S., Freitas, N. C., Máximo, W. P. F., & Paiva, L. V. (2018). Gene expression in two contrasting hybrid clones of *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus urophylla* grown under water deficit conditions. Journal of Plant Physiology, 229, 122-131. DOI: 10.1016/j.jplph.2018.07.007
- Moura, J. C. M. S., Araújo, P., Brito, M. D. S., Souza, U. R., Viana, J. O. F., & Mazzafera, P. (2012). Validation of reference genes from *Eucalyptus* spp. under different stress conditions. BMC research notes, 5, 1-10.
- Navarro, E., Serrano-Heras, G., Castaño, M. J., & Solera, J. J. C. C. A. (2015). Real-time PCR detection chemistry. Clinica chimica acta, 439, 231-250. DOI: 10.1016/j.cca.2014.10.017
- Nolan, T., Hands, R. E., & Bustin, S. A. (2006). Quantification of mRNA using real-time RT-PCR. Nature protocols, 1(3), 1559-1582.
- Oliveira, T. M. S. (2010). PCR em Tempo Real: Métodos e Aplicações. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal.
- de Oliveira, L. A., Breton, M. C., Bastolla, F. M., Camargo, S. D. S., Margis, R., Frazzon, J., & Pasquali, G. (2012). Reference genes for the normalization of gene expression in *Eucalyptus* species. Plant and Cell Physiology, 53(2), 405-422. DOI: 10.1093/pcp/pcr187
- Pfaffl, M. W. (2001). A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. Nucleic acids research, 29(9), e45-e45. DOI: 10.1093/nar/29.9.e45
- Reis, M. D. S. (2011). A influência dos distúrbios fisiológicos na produtividade da madeira de eucalipto no extremo sul da Bahia. Monografia, Curitiba, Paraná.
- Rodrigues, B. P. (2013). Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose. Dissertação de Mestrado, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo.
- Silva, S. R.; Bazani, J. H.; Vrechi, A.; Gentil, M. G.; Zamprogno-Ferreira, K. C.; Rosse, L. N. (2010). Distúrbios fisiológicos ocasionados pelo estresse hídrico em clones de eucalipto na Veracel: estudo de caso e hipóteses. In: Workshop de melhoramento, 6.; reunião técnica científica do ptsm: adaptação genotípica ao estresse hídrico e térmico, 41., Botucatu, São Paulo.
- Sundari, B. K. R., & Dasgupta, M. G. (2012). Selection and validation of reference genes for real-time qRT-PCR normalization in different tissues of *Eucalyptus tereticornis*. Silvae Genet, 61, 280-286. DOI: 10.1515/sg-2012-0035

- Unnikrishnan, B., Shankaranarayan, G. D., & Sharma, N. (2011, September). Selection of reference gene in *Eucalyptus camaldulensis* for real-time qRT-PCR. In BMC Proceedings (Vol. 5, No. Suppl 7, p. P125). London: BioMed Central.
- Vandesompele, J., De Preter, K., Pattyn, F., Poppe, B., Van Roy, N., De Paepe, A., & Speleman, F. (2002). Accurate normalization of real-time quantitative RT-PCR data by geometric averaging of multiple internal control genes. *Genome biology*, 3, 1-12.
- VanGuilder, H. D., Vrana, K. E., & Freeman, W. M. (2008). Twenty-five years of quantitative PCR for gene expression analysis. *Biotechniques*, 44(5), 619-626. DOI: 10.2144/000112776
- Wei, Y., Liu, Q., Dong, H., Zhou, Z., Hao, Y., Chen, X., & Xu, L. (2016). Selection of reference genes for real-time quantitative PCR in *Pinus massoniana* post nematode inoculation. *PLoS One*, 11(1), e0147224. DOI: 10.1371/journal.pone.0147224
- Wong, M. L., & Medrano, J. F. (2005). Real-time PCR for mRNA quantitation. *Biotechniques*, 39(1), 75-85. DOI: 10.2144/05391RV01

Distúrbios Fisiológicos em *Eucalyptus*: Genes-Chave para Tolerância Nutricional e Hídrica

Recebido em: 25/05/2025

Aceito em: 28/05/2025

 10.46420/9786585756600cap8

Any Caroliny Pinto Rodrigues 

Farley Souza Ribeiro Menezes 

Laís Grazielle Silva 

Janaína Fernandes Gonçalves 

Marcelo Luiz de Laia 

INTRODUÇÃO

Devido à alta produtividade, ao menor tempo de rotação e à boa adaptabilidade das espécies de *Eucalyptus* sp. às diferentes condições de solo e clima, as empresas florestais têm optado por utilizar materiais genéticos clonais de alta produtividade em seus plantios comerciais (IBÁ, 2024). Entretanto, mesmo com o uso adequado das técnicas silviculturais e os avanços dos programas de melhoramento florestal, existem riscos que não podem ser previstos. Esses riscos estão relacionados a condições ambientais adversas (estresses abióticos), como altas temperaturas, déficit ou excesso hídrico, salinidade, geadas, entre outros.

Quando submetidas a estresses, as plantas podem desencadear uma cascata de sinalizações que resultam em mecanismos específicos de adaptação e resistência às condições adversas. Assim, as alterações ambientais exigem das plantas adaptações rápidas e eficientes para garantir sua sobrevivência. No entanto, nem sempre essa adaptação é alcançada, o que pode levar à perda das características fenotípicas normais da planta e à manifestação de doenças abióticas, genericamente denominadas ‘distúrbios fisiológicos’ (Wang, Vinocur & Altman, 2003; Taiz, Zeiger, Møller & Murphy, 2017).

Distúrbios fisiológicos no eucalipto têm sido relatados desde 2007 em plantios comerciais nas regiões Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia e, mais recentemente, na região do Maranhão, causando danos significativos à floresta e prejuízos ao setor (Silva et al., 2010; Lourenço, 2016; Mafia, 2017). Os sintomas são descritos como uma desordem que compromete o crescimento e a produtividade das árvores, podendo resultar na morte de árvores isoladas ou em grandes quantidades (Câmara et al., 2018; Reis, 2011; Rodrigues, 2013).

Diversas hipóteses foram levantadas como causas dos distúrbios, incluindo fatores bióticos (agentes patogênicos), problemas de desenvolvimento do sistema radicular e deficiência de nutrientes no solo. No entanto, testes de laboratório e de campo descartaram a ação isolada dessas premissas. Assim, até o momento, as causas dessa doença permanecem desconhecidas (Silva et al., 2010).

Sabe-se que os distúrbios fisiológicos ocorrem devido a interações entre fatores ambientais adversos (climáticos, nutricionais e edáficos) e o genoma do indivíduo. Essa interação provoca perdas das características normais da planta por meio de alterações no metabolismo celular e na expressão gênica, resultando em uma expressão gênica diferencial. Em outras palavras, alguns indivíduos podem não tolerar a pressão dos estresses abióticos, o que altera a expressão de seus genes e provoca modificações fisiológicas, morfológicas e moleculares, refletindo diretamente no crescimento e na produtividade (Cordeiro, 2003; Griffiths, Wessler, Lewontin & Carroll, 2008; Taiz et al., 2017; Laia et al., 2013).

Assim, considera-se que, a partir de estudos da expressão gênica, é possível caracterizar genes cujas expressões foram alteradas, fornecendo informações relevantes que possam indicar as causas dos distúrbios fisiológicos (Cordeiro, 2003; Griffiths et al., 2008). Portanto, o conhecimento sobre os mecanismos de resposta ao estresse em nível molecular é de fundamental importância para entender a fisiologia das plantas e para intervir ou melhorar a tolerância dos híbridos de *Eucalyptus* sp. sob condições adversas. Neste contexto, o objetivo deste estudo é identificar genes responsivos ao distúrbio fisiológico em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* por meio da técnica de PCR *Quantitativa em Tempo Real de Transcrição Reversa* (RT-qPCR).

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Genética e Biotecnologia Florestal (LGBF), localizado no Departamento de Engenharia Florestal, em parceria com o Laboratório de Biologia Celular e Molecular, situado no Centro Integrado de Pesquisa e Pós-Graduação em Saúde (CIPq-Saúde), ambos na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Campus JK, Diamantina, MG.

Caracterização do Ambiente

Os ambientes onde foram realizadas as coletas do material para este estudo foram identificados como: A1 (Ambiente 1) – Unidade de Solo do tipo argissolo amarelo (PAd2.1), Município de Porto Seguro, Classe de precipitação entre 1350 e 1400 mm, genótipo híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com sintomas ou sem sintomas; A2 (Ambiente 2) – Unidade de Solo do tipo latossolo amarelo (LAdx2.1), Município de Itabela, Classe de precipitação 1300 mm, genótipo híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sem sintomas.

Material Vegetal e Coleta das Amostras

O material vegetal analisado (tecido foliar) foi coletado nos ambientes acima descritos (A1 e A2) que representam uma área de plantio florestal de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* afetados por distúrbios fisiológicos (Figura 1).



Figura 1. Área de ocorrência e sintomatologia ocasionada pelos Distúrbios Fisiológicos do Eucalipto (DFE): deformação de ponteiros, formação de sub-copas, rachaduras na base do tronco, perda de dominância apical e superbrotamento ao longo do tronco. Fonte – Adaptado de: Silva, 2010; Lourenço, 2016; Mafia, 2017.

As amostras foram coletadas das copas e subcopas das plantas, sendo a comparação da expressão gênica realizada entre as folhas normais e as anômalas. Para isso, foi feita uma amostragem aleatória simples das árvores. Para cada local foram escolhidas, aleatoriamente, seis árvores: três com sintomas e três sem sintomas, e, em cada uma delas, os tecidos foliares foram coletados em triplicata. Imediatamente após a coleta, as amostras de tecido foram acondicionadas em recipientes com nitrogênio líquido e, posteriormente, armazenadas em freezer a -80 °C até o momento da extração do RNA total.

Extração de RNA total

O RNA total das folhas de eucalipto foi extraído utilizando o conjunto de reagentes RNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN), seguindo as instruções do fabricante e todos os cuidados necessários para um ambiente livre de RNAses. O tecido foliar foi macerado em nitrogênio líquido, utilizando almofariz e pistilo (devidamente tratados para uso com RNA), até a obtenção de um pó fino, mantendo-o congelado durante todo o processo. Aproximadamente 100 mg do material macerado foi transferido para um tubo

de polipropileno de 1,5 mL, previamente refrigerado, e seguiu-se rigorosamente às instruções do fabricante.

A integridade e qualidade do RNA foram avaliadas por meio de eletroforese em gel de agarose a 1% corado com brometo de etídeo, observando a conservação relativa das frações de RNA ribossômico (28S e 18S). A quantificação e o grau de pureza foram determinados utilizando um espectrofotômetro (ThermoScientific Drop Plate), avaliando amostras por comprimento de onda. Verificou-se se os comprimentos de onda (λ) 260, 280 e 230 nm estavam de acordo com a literatura, bem como se as relações 260/280 e 260/230 eram aceitáveis para amostras de boa qualidade de RNA.

Genes de Interesse e Genes de Referência

Quatro genes (MAPK, PAE2, BOR2 e Aquaporina) envolvidos em respostas a diversos estresses abióticos em plantas foram previamente selecionados com base na literatura, a fim de verificar se a respectiva expressão está associada à ocorrência da anomalia genético-fisiológica. As sequências de nucleotídeos desses quatro genes foram recuperadas do GenBank (Benson et al., 2012) por meio da ferramenta BLASTn (para verificar se os pares de primers eram específicos para um único gene da espécie estudada) e, em seguida, os respectivos primers foram desenhados com o auxílio do programa Primer3Plus versão 2.3.6 (Untergasser et al., 2012), conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Genes de interesse (GOI) cuja expressão gênica foi analisada. Primers direto (F) e reverso (R), tamanho de cada primer em bases (b), temperatura de desnaturação do primer (T_m), tamanho do amplicon em pares de bases (pb) e número de acesso do mRNA do respectivo gene (GOI) depositado no GenBank (GI). Fonte: os autores.

Genes de Referência	Sequência dos <i>Primers</i>	Tamanho (b)	T_m (°C)	Amplicon (pb)	GI
MAPK	F - GAGCAATCGAATCCCAGAAG	20	58,88	145	XM_010066972
	R - GCACAATCAAAGCCTCAACC	20	60,51		
PAE2	F - CCAGCAAGAACGGACTCTTC	20	61,15	70	XM_010045049
	R - AACCATGTGTCTCCTGCCTCTC	20	62,34		
BOR2	F - CCTTCCAATGGTGTGATTCC	20	59,00	105	XM_010029310
	R - ACTATTCCGGGCTGTTGATG	20	60,30		
Aquaporina	F - CAATCCAGCTGTCACTTTCG	20	59,67	117	XM_010064206
	R - ACTTTGAGGAGCAAGCAAGC	20	61,66		

Adicionalmente, foram selecionados sete genes de referência para a normalização dos dados de expressão gênica: EUCONS04, EUCONS08, EUCONS21, IDH, SAND, EGIDH e UBQ (Boava et al.,

2010; Oliveira et al., 2012; Moura et al., 2012). As sequências, tamanhos e amplicons desses primers estão disponíveis na Tabela 2.

Tabela 2. Genes de referência cuja estabilidade da expressão gênica foi testada para possível utilização na normalização dos genes de interesse (GOI). Os primers diretos (F) e reversos (R), o tamanho de cada primer em bases (b), a temperatura de desnaturação do primer (T_m), o tamanho do amplicon em pares de bases (pb) e o número de acesso do mRNA do respectivo gene depositado no GenBank (GI) estão apresentados. Fonte: os autores.

Genes de Referência	Sequência dos <i>Primers</i>	Tamanho (b)	T_m (°C)	Amplicon (pb)	GI
EUCONS04	F-TACAAGCGCTGTTGATATGTGGGC	24	66,08	195	XM_010027418
					XM_010027420
	R - TGCCAATGAGGCGGATTCACAAG	24	66,26		XM_010027421
					XM_010027422
EUCONS08	F - TCCAATCCGAGTCGCTGTCATTGT	24	66,80	173	XM_010068769
	R - TGATGAGCCTCTCTGGTTTGACCT	24	65,80		
EUCONS21	F-AGAGGTGAAATTCCAGAAGCCCGT	24	66,57	155	XM_010049323
	R - CTTCCTTTGGCTTCCGCCAATTA	24	66,07		
IDH	F - AGTTTGAGGCTGCTGGAATC	20	60,81	98	XM_010064015
	R - CTTCATGCCACACATAAC	20	60,30		
SAND	F - TGGGTCACACAGGATTTTGA	20	59,64	130	XM_010045449
	R - CTCCCAGCAAAAAGATCTCG	20	59,09		
EGIDH	F - TGGAAGTGTGAGTCTGG	18	56,48	60	XM_010064015
	R - TTAGGACCATGAATGAGGAG	20	56,47		
UBQ	F - GAGGGACATCTATCTCTATGAC	22	56,89	132	XM_010071338
	R - CAACAGTAAGCACACGAG	18	56,18		

Ensaios de RT-qPCR

Realizaram-se ensaios preliminares de RT-qPCR para melhorar a eficiência das curvas de amplificação. Ajustes nas concentrações de primer e RNA foram feitos e, a partir de diluições seriadas das amostras, gerou-se uma curva padrão cuja inclinação foi utilizada para determinar a eficiência da amplificação dos genes (Pfaffl, 2001). Depois dos ajustes, padronizou-se 400 nM de primer e 12,5 ng de RNA total para todos os ensaios. Além dessas modificações, alteramos a temperatura e o tempo de síntese da primeira fita de cDNA, incluindo uma etapa para pareamento dos oligonucleotídeos. Para confirmar a especificidade do procedimento, realizamos reações de controle (sem RNA – NTC).

As reações de RT-qPCR foram realizadas em um equipamento StepOne™ Real-Time PCR System (Applied Biosystems). O ensaio incluiu três replicatas biológicas (RNA total extraído de três plantas diferentes), e cada réplica biológica teve duas replicatas técnicas. Utilizamos o conjunto de reagentes EXPRESS One-STEP SYBR GreenER Kit, with premixed ROX (Invitrogen) para as amplificações. Esses reagentes produzem o cDNA e realizam a quantificação do transcrito em uma única

reação, em um único tubo. Os procedimentos seguidos foram os sugeridos pelo fabricante do equipamento e do conjunto de reagentes, com algumas modificações pontuais. O volume da reação foi de 10 µL, com 12,5 ng de RNA total previamente ajustados. A etapa para a produção de cDNA foi realizada a 45 °C por 30 minutos, seguida de uma etapa para pareamento dos oligonucleotídeos iniciadores a 50 °C por 15 segundos, e a amplificação ocorreu a 60 °C por 1 minuto. Ao final da amplificação, os dados foram pré-analisados com o software Step-One Plus versão 2.3 (Applied Biosystems) e exportados para uma planilha eletrônica.

As curvas de amplificação e dissociação geradas pelo sistema foram usadas para análise. Os níveis de expressão foram avaliados com base no número de ciclos de amplificação necessários para atingir um limiar fixo (limiar de ciclo – Cq) na fase exponencial da PCR. A partir dos valores de Cq obtidos, os níveis de expressão gênica das amostras foram mensurados utilizando o cálculo da quantificação relativa (Pfaffl, 2001). As análises estatísticas foram realizadas com o programa GenEX versão 6 da empresa MultiD Analysis. A média das replicatas técnicas foi utilizada nas análises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade do RNA e dos Primers

A qualidade e integridade do RNA são essenciais nas análises de expressão gênica. As amostras extraídas foram submetidas à eletroforese em gel de agarose a 1%, corado com brometo de etídeo para visualização e confirmação da integridade do RNA total isolado. A eletroforese mostrou que as bandas ribossomais de 28S e 18S estavam intactas e nítidas, indicando que o RNA não foi degradado e não foi detectada contaminação por gDNA, o que atesta a alta qualidade do RNA (Figura 2).

A análise espectrofotométrica mostrou que a razão A260/280 das amostras de RNA variou entre 1,8 e 2,2, indicando que o RNA extraído estava livre de contaminantes. Da mesma forma, os valores de A260/230 variaram de 1,6 a 2,1, indicando boa qualidade das amostras de RNA. Assim, as extrações apresentaram boa concentração do RNA total obtido, o que sugere resultados desejáveis.

Para verificar a qualidade e a temperatura de anelamento (Ta) ideal de cada primer, foi realizada uma PCR convencional. Os ensaios de PCR para avaliar a especificidade dos oligonucleotídeos iniciadores apresentaram resultados satisfatórios, onde todos os primers foram amplificados e mostraram bandas nítidas, com faixa variando entre 75 pb a 300 pb (Figura 2), indicando que não foram encontrados produtos inespecíficos ou contaminantes de PCR.

Com os resultados da PCR foi possível determinar a temperatura de pareamento ideal de cada primer, sendo 66 °C para os genes EUCONS04, EUCONS08, EUCONS21, IDH, SAND e EGIDH, e 67 °C para o gene UBQ. A PCR realizada com essas temperaturas apresentou resultados satisfatórios para as análises subsequentes.

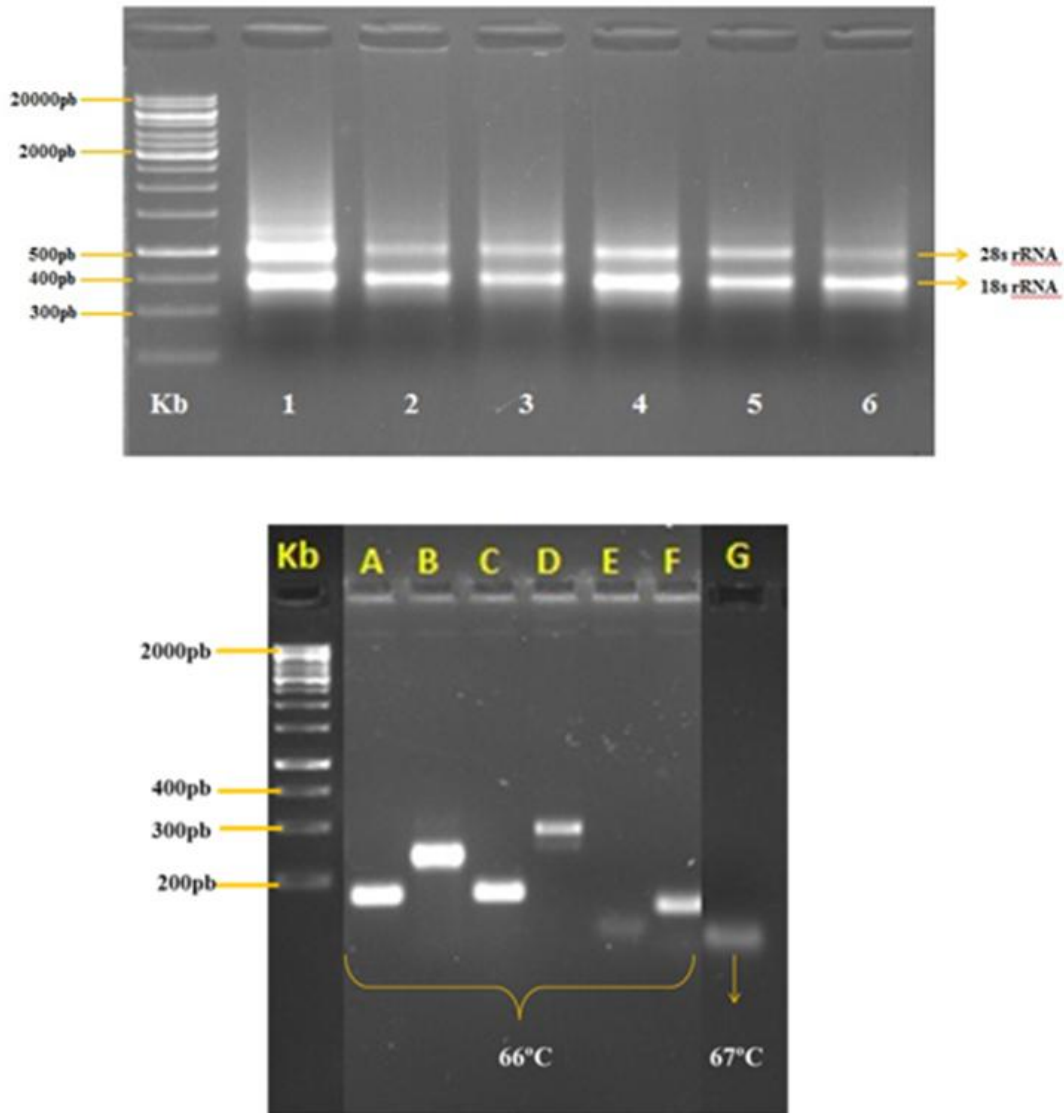


Figura 2. Imagem de gel de agarose a 1% corado com brometo de etídeo contendo a) 06 amostras de RNA total de boa qualidade, apresentando as subunidades 28S e 18S do RNA, extraídas de tecido foliar de eucalipto com distúrbios fisiológicos; e b) indicando a temperatura de pareamento ideal para amplificação por PCR dos genes EUCONS04 (A), EUCONS08 (B), EUCONS21 (C), IDH (D), SAND (E), EGIDH (F) e UBQ (G). Na figura, observa-se Kb que indica o uso do marcador de pares de bases (Marcador 1kb DNA Ladder); e pb ao lado de cada número na escada que indica quantos pares de base tem no comprimento do fragmento de DNA. Fonte: os autores.

Padrão de amplificação dos genes estudados através da RT-qPCR

Antes de quantificar as amostras, as condições de reação para cada gene foram padronizadas para obter amplificações com bom desempenho, utilizando métodos e ajustes previamente descritos. O material analisado apresentou amplificações a partir de 18 ciclos, com um $C_q = 0,030359$, valor desejável. Em média, os valores de C_q para todos os genes normalizadores testados variaram entre 18 e 24. As reações do controle negativo não mostraram amplificação significativa (Figura 3).

A concentração ideal foi de 400 nM para os *primers* e 12,5 ng de RNA. Foi verificada a presença de picos únicos nas análises da curva de *melting*, indicando a ausência de dímeros e confirmando a especificidade dos *amplicons*, demonstrando que todos os genes testados amplificaram apenas um fragmento específico.

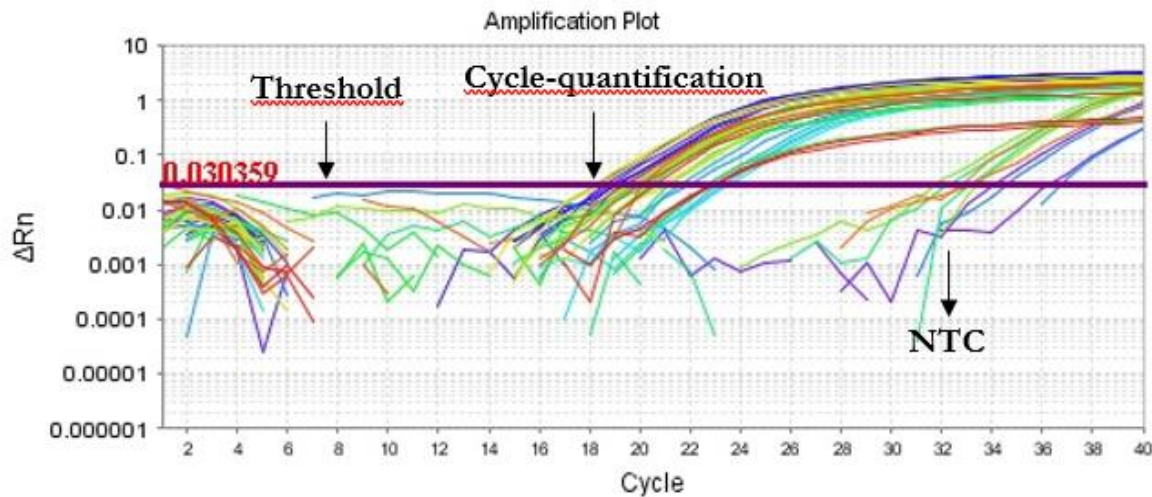


Figura 3. Padrão de amplificação dos genes *BOR2*, *PAE2*, *MAPK* e *Aquaporina* em diversas amostras de RNA total extraídas de tecido foliar de eucalipto, com e sem sintomas do distúrbio. Na figura, observa-se: *Threshold*: limiar de detecção da amplificação; *Cycle-quantification* (Cq): número de ciclos em que a fluorescência ultrapassa o *threshold*, indicando a detecção da amplificação para uma quantificação precisa e reprodutível; e NTC: amostra de controle negativo (sem RNA). Fonte: os autores.

Análise da Expressão Gênica Diferencial

Para verificar se as diferenças de resposta às anomalias são causadas apenas pelo ambiente, exclusivamente pelo genótipo ou por uma interação entre eles, foram realizadas análises cujos resultados estão ilustrados na Figura 4.



Figura 4. Comparação relativa da expressão gênica de quatro genes de interesse (*BOR2*, *PAE2*, *AQUAPORIN* e *MAPK*). O gráfico representa o nível de expressão dos transcritos dos genótipos: C01_A1_CS (genótipo com sintomas no Ambiente 1); C02_A1_SS (genótipo sem sintomas no Ambiente 1); C03_A1_CS (genótipo com sintomas no Ambiente 1); C03_A1_SS (genótipo sem sintomas no Ambiente 1); C03_A2_SS (genótipo sem sintomas no Ambiente 2). Fonte: os autores.

A condição C03_A1_SS foi utilizada como padrão de comparação. Os mesmos clones (C03) foram observados com e sem sintomas em duas condições experimentais, tanto no mesmo ambiente (A1) quanto em um segundo ambiente (A2). Além disso, dois clones distintos foram comparados em um mesmo ambiente (A1). Os resultados da RT-qPCR são apresentados como média e desvio-padrão dos valores do ciclo de quantificação (Cq). Assim, os genes testados mostraram diferentes níveis de expressão nas amostras analisadas, conforme determinado pelo Cq.

Conforme os resultados de expressão gênica obtidos (Figura 4), ao comparar plantas do mesmo genótipo em um mesmo ambiente (C03_A1_CS e C03_A1_SS), observa-se que o gene *BOR2* (*Eucalyptus grandis* boron transporter 1) apresenta expressão similar entre os materiais sadio e doente. O mesmo ocorre com a análise dos demais genótipos (C02_A1_SS e C01_A1_CS), que apresentam poucas diferenças de expressão. No entanto, ao comparar o mesmo genótipo com e sem sintomas em ambientes diferentes (C03_A1_CS e C03_A2_SS), verifica-se que no ambiente A1 o gene foi expressado em níveis significativamente mais altos no material doente. A mesma tendência é observada ao comparar os

genótipos sadios em ambientes diferentes (C03_A1_SS e C03_A2_SS). Isso sugere que o ambiente A1 pode ter características desfavoráveis para este genótipo, comprometendo seu desenvolvimento, enquanto o ambiente A2 pode apresentar condições mais adequadas.

BOR2 é caracterizado como um tipo de transportador de boro (B) localizado na membrana plasmática. Sua função está relacionada com a captação eficiente de B pelas raízes, carregamento e distribuição de B nos órgãos em desenvolvimento das plantas. A expressão de genes que codifica esses transportadores é regulada em resposta à disponibilidade de B no ambiente e eles são requeridos sob limitação de B para uma aquisição e utilização eficiente deste elemento (Takano, Miwa & Fujiwara, 2008; Tanaka et al., 2008; Miwa et al., 2013).

Normalmente, a baixa disponibilidade de água no solo diminui a aquisição de B pelo sistema radicular da planta (Mattiello et al., 2009). Segundo Sgarbi, Silveira, Takahashi e Camargo (1999), a deficiência de B é uma das principais limitações ao crescimento do eucalipto na fase jovem. Estudos realizados por Hodecker et al. (2014) indicam que a ocorrência simultânea da deficiência de B e do déficit hídrico potencializa os sintomas na planta. Em *Eucalyptus urophylla*, observou-se que a expressão do gene *BOR2* foi induzida pela deficiência de B em condições de déficit hídrico, tanto nas folhas quanto nas raízes.

Dessa forma, conclui-se que o transportador *BOR2* é necessário em situações de baixa disponibilidade de B na solução do solo. Esse fato é corroborado por estudos de diversos autores. Reis (2011) avaliou a contribuição do B na transcrição diferencial de genes em um genótipo de eucalipto submetido ao estresse hídrico e verificou que, na ausência de B, a expressão do transportador *BOR2* aumentou. Nunes (2010), ao estudar a expressão gênica em clones de eucalipto influenciados pelo boro e pelo déficit hídrico, constatou maior expressão diferencial dos genes relacionados ao transporte de B (*BOR1* e *BOR2*) em clones cultivados sob restrição hídrica. Nakagawa et al. (2007), em um estudo com espécies de arroz, sugeriram que houve maior expressão de *BOR1* e *BOR2* em condições de deficiência de B. Camacho-Cristóbal et al. (2015) demonstraram que a exposição de mudas de *Arabidopsis* à deficiência de B por quatro horas resultou em uma drástica diminuição na elongação das células das raízes, o que pode potencializar os sintomas do déficit hídrico nas plantas. Essas informações indicam a participação desse gene na tolerância ao déficit hídrico.

O ambiente é um fator importante. Dados sobre os locais (A1 e A2) revelam uma alternância na intensidade de precipitação (Silva et al., 2010) e sugerem um possível déficit hídrico. Assim, a baixa disponibilidade de água no solo diminui a aquisição de B pelo sistema radicular da planta e, se muito intensa, pode ocasionar sintomas em resposta ao estresse, uma vez que a planta ativa os genes necessários para sua sobrevivência em tentativa de adaptação.

Um dos principais sintomas da deficiência de B em eucalipto é a seca dos ponteiros. Como consequência, ocorrem sintomas de superbrotção lateral, dessecação e amarelecimento das folhas, bifurcação do tronco, caules e ramos retorcidos, além de rachaduras na casca (Silveira, Casarin, Paula &

Silveira, 2007). A maioria desses sintomas está presente nas plantas analisadas neste estudo. Portanto, o fato de o gene *BOR2* ter mostrado maior expressão diferencial ao se estudar o mesmo clone em ambientes diferentes e a ativação de expressão em clones do mesmo ambiente sugere que esse gene pode estar relacionado às respostas adaptativas dos genótipos ao estresse ambiental.

Enquanto isso, a Aquaporina (*Eucalyptus grandis* aquaporin TIP2-1) apresentou maior expressão nas plantas com sintomas ao comparar o mesmo genótipo tanto em um mesmo ambiente (C03_A1_CS e C03_A1_SS) quanto em ambientes diferentes (C03_A1_CS e C03_A2_SS), além de quando foram avaliados genótipos diferentes no mesmo ambiente (C02_A1_SS e C01_A1_CS). Isso indica uma maior expressão gênica deste gene nas plantas que apresentaram os sintomas da doença. Ao comparar o mesmo genótipo sadio em ambientes diferentes (C03_A1_SS e C03_A2_SS), observa-se uma expressão diferencial entre os clones, sendo mais baixa no clone inserido no ambiente A2. Isso pode indicar que esse gene é menos necessário nessa condição (A2), sugerindo que esse ambiente pode ser mais adequado para o desenvolvimento desse genótipo (Figura 4).

Aquaporinas (AQPs) são canais proteicos que facilitam o transporte de água, pequenos solutos e gases pelos tecidos internos das folhas durante a transpiração. Além disso, atuam regulando o sistema de transporte de água nas raízes para proteger contra diversos estresses ambientais (Maurel, Verdoucq, Luu & Santoni, 2008; Chaumont & Tyerman, 2014; Groszmann, Osborn & Evans, 2017). Estudos têm mostrado que as AQPs estão presentes em todos os órgãos/tecidos das plantas, com sua expressão regulada por diversos estímulos (Zhang, Wang, Chai, Wen & Zhang, 2008; Heinen, Ye & Chaumont, 2009). O fato de a AQP ter apresentado, em todas as análises, uma maior expressão gênica nas folhas das plantas com sintomas está relacionado à sua tentativa de adaptação. Sob condições normais, os canais de AQPs permanecem abertos. Durante a seca e/ou inundação, sua expressão é induzida, levando ao fechamento dos canais como um mecanismo de proteção contra variações ambientais (Tornroth-Horsefield et al., 2006).

Em situações de déficit hídrico, observa-se nas plantas uma redução na abertura estomática e na transpiração, com o objetivo de diminuir a perda de água (Larcher, 2006; Taiz et al., 2017). Diversos estudos demonstraram um aumento nos níveis de transcritos dos genes AQPs durante o estresse hídrico em várias espécies de plantas, como café (Santos, 2013), milho (Ruiz-Lozano, Alguacil, Bárzana, Vernieri & Aroca, 2009), tabaco (Mahdiah, Mostajeran, Horie & Katsuhara, 2008), arroz (Lian et al., 2004) e *Arabidopsis* (Jang, Kim, Kim, Kim & Kang, 2004), evidenciando que a superexpressão da AQP influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas em condições de estresse hídrico.

Diante disso, a análise do perfil de expressão da AQP revelou um acúmulo diferencial desse gene nas folhas de eucalipto com sintomas. Isso destaca a importância das AQPs na manutenção do fluxo coordenado de água durante o crescimento e desenvolvimento de órgãos da planta, reforçando o papel do transporte de água mediado por essas proteínas em resposta a estresses ambientais.

Além disso, pode-se associar que o desequilíbrio hídrico afetou o transporte de boro para as plantas, dificultando a translocação de sais minerais e nutrientes do solo, o que interferiu nos processos fisiológicos. Isso pode ter ocasionado sintomas como superbrotamento, seca de ponteiros, bifurcações, rachaduras no tronco e perda de dominância apical. Considerando a possível deficiência hídrica na área de estudo e o fato de que as AQP's têm sua expressão regulada em condições desfavoráveis, supõe-se que a ativação da expressão dos genes dessa proteína no material doente pode ter sido uma resposta aos estresses abióticos ocorridos no local, combinada com uma possível deficiência de boro e, conseqüentemente, ativação do BOR2.

O gene PAE2 (*Eucalyptus grandis* pectin acetylesterase 10) apresentou um padrão de expressão semelhante em todas as análises. Ao comparar o mesmo genótipo em ambientes iguais (C03_A1_CS e C03_A1_SS) e diferentes (C03_A1_CS e C03_A2_SS), bem como genótipos diferentes no mesmo ambiente (C02_A1_SS e C01_A1_CS), nota-se uma expressão menor no material com sintomas em comparação aos genótipos sem sintomas. A ativação desse gene, mesmo que reprimida, pode ser considerada uma resposta do PAE2 aos estresses.

Neste estudo, observou-se que as plantas sem sintomas apresentaram uma expressão do gene PAE superior à das plantas com sintomas (estressadas). É importante ressaltar que os primers PAE utilizados são específicos para PAE10 (*Eucalyptus grandis* pectin acetylesterase 10), que é a isoforma encontrada no genoma de *E. grandis*. Alguns autores afirmam que a auxina regula a expressão de PAE durante vários eventos de desenvolvimento, como emergência de raízes, formação de raízes adventícias, desenvolvimento de frutos e ramos (Quesada et al., 2009; Osorio et al., 2011; Savatin, Ferrari, Sicilia & Lorenzo, 2011).

Paralelamente, estudos mostram que a pectina desempenha uma função importante na modulação da estrutura da parede celular em resposta ao estresse hídrico, corroborando a ideia de que a pectina é essencial no desenvolvimento e crescimento das plantas (Peaceulle et al., 2008; Wolf & Greiner, 2012). Ao comparar duas variedades de trigo, uma tolerante e outra sensível ao déficit hídrico, constatou-se que a variedade tolerante apresentava um aumento de pectinas em relação à sensível (Piro, Leucci, Waldron & Dalessandro, 2003; Leucci, Lenucci, Piro & Dalessandro, 2008).

Contrastando esses resultados com os observados em eucalipto, supõe-se que as plantas com sintomas, que apresentavam folhas escassas e raízes possivelmente afetadas, teriam uma baixa produção de auxina, resultando em uma menor expressão do gene *PAE10* em condições de déficit hídrico.

O calor também impacta a produção de pectina, com o gene *PAE10* diretamente envolvido em espécies de café (Lima et al., 2013). Temperaturas de 37 °C reduziram a quantidade de pectina na célula em 50% nesta espécie. Assim, infere-se que o déficit hídrico e a temperatura elevada inibem a expressão de *PAE10* em plantas com sintomas da doença em eucalipto.

A expressão gênica do gene *MAPK* (*Eucalyptus grandis* probable serine/threonine-protein kinase) foi maior nas plantas com sintomas ao se avaliar o mesmo genótipo com e sem sintomas, tanto no mesmo

ambiente (C03_A1_CS e C03_A1_SS) quanto em ambientes diferentes (C03_A1_CS e C03_A2_SS). O mesmo padrão de expressão foi observado ao comparar genótipos sadios em ambientes diferentes (C03_A1_SS e C03_A2_SS), indicando uma maior expressão gênica diferencial no material que apresenta sintomas da doença no ambiente A1, sugerindo que esse ambiente apresenta características desfavoráveis para o genótipo, comprometendo seu desenvolvimento. Ao avaliar genótipos diferentes (clones C02 e C01) no mesmo ambiente, observa-se sinalização do *MAPK* em ambos no ambiente A1, corroborando as justificativas anteriores.

As MAPKs são proteínas envolvidas nas vias de sinalização ativadas por diversos estresses bióticos e abióticos em vegetais (Teige et al., 2004; Samajová, Plíhal, Al-yousif, Hirt & Samaj, 2013). A expressão de MAPK sob estresse já foi detectada em diversas espécies. Em milho, os genes da proteína MAPK são induzidos em resposta à falta de água (Shou, Bordallo & Wang, 2004). Jonak, Ökrész, Bögre & Hirt (2002) demonstraram que a sinalização por MAPK é rapidamente ativada em plantas de alfafa com baixa disponibilidade hídrica. Da mesma forma, o déficit hídrico resultou na ativação dos genes *MAPK* em plantas de arroz (Xiong & Yang, 2003; Ning, Li, Hicks & Xiong, 2010). Assim, é possível perceber que as MAPKs interagem com fatores de transcrição de genes envolvidos na regulação da tolerância ao estresse hídrico.

Além do período de déficit hídrico, Silva et al. (2010) relataram elevada incidência de radiação solar na área entre janeiro e maio de 2007, quando ocorreram os sintomas, elevando a temperatura. O aumento acentuado da temperatura gera estresse térmico nas plantas, levando ao fechamento dos estômatos, o que inibe a fotossíntese e prejudica a função das membranas e a estabilidade de proteínas (Taiz et al., 2017). Em estudo recente, Evrard et al. (2013) demonstraram que genes *MAPK* em *Arabidopsis* são ativados em resposta ao estresse térmico. Sangwan & Dhindsa (2002) identificaram a ativação de genes *MAPK* em plantas de alfafa em resposta ao choque térmico. Também na cultura do tomate foi observada a indução de genes dessa proteína devido à alta temperatura (Link et al., 2002).

Portanto, a ativação da cascata de MAPK resulta da expressão de conjuntos específicos de genes em resposta a diversos estímulos ambientais. Essas proteínas desempenham um papel central na resposta das plantas aos diferentes estresses e, por isso, são alvos ideais para o melhoramento e seleção de genótipos superiores tolerantes a esses estresses (Smékalová, Dosckocilová, Komis & Samaj, 2014; Samajová et al., 2013).

CONCLUSÃO

As respostas das plantas às alterações ambientais estão relacionadas à regulação de genes por meio de um processo de sinalização celular, que gera proteínas que protegem a planta contra os efeitos deletérios dos estresses. Essas respostas são complexas e envolvem vários genes que produzem reações ao nível bioquímico, fisiológico e molecular. Nesse sentido, a identificação de genes com papéis nas

respostas aos diferentes estresses abióticos que ocasionaram distúrbios fisiológicos é fundamental para elucidar mecanismos específicos de adaptação e resistência em futuros genótipos.

O presente estudo buscou detectar alterações na expressão gênica em clones híbridos de *Eucalyptus* afetados por distúrbios genético-fisiológicos. Os resultados indicaram que a expressão gênica diferencial observada pode ser decorrente das alterações edafoclimáticas na área. Os dados sugerem que todos os genes estudados (BOR2, PAE2, MAPK e Aquaporina) podem ser indicativos da ocorrência de estresse nas plantas com sintomas. Portanto, pesquisas adicionais são necessárias para melhorar a compreensão dos mecanismos exatos da ação gênica, e outros genes devem ser investigados para isolar completamente as causas dessa doença.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benson, D. A., Cavanaugh, M., Clark, K., Karsch-Mizrachi, I., Lipman, D. J., Ostell, J., & Sayers, E. W. (2012). GenBank. Nucleic acids research, 41(D1), D36-D42.
- Boava, L. P., Laia, M. L., Jacob, T. R., Dabbas, K. M., Gonçalves, J. F., Ferro, J. A., ... & Furtado, E. L. (2010). Selection of endogenous genes for gene expression studies in *Eucalyptus* under biotic (*Puccinia psidii*) and abiotic (acibenzolar-S-methyl) stresses using RT-qPCR. BMC research notes, 3, 1-9.
- Camacho-Cristóbal, J. J., Martín-Rejano, E. M., Herrera-Rodríguez, M. B., Navarro-Gochicoa, M. T., Rexach, J., & González-Fontes, A. (2015). Boron deficiency inhibits root cell elongation via an ethylene/auxin/ROS-dependent pathway in *Arabidopsis* seedlings. Journal of experimental botany, 66(13), 3831-3840.
- Câmara, A. P., Oliveira, J. T. D. S., Bobadilha, G. D. S., Vidaurre, G. B., Tomazello Filho, M., & Soliman, E. P. (2018). Physiological disorders affecting dendrometric parameters and *Eucalyptus* wood quality for pulping wood. Cerne, 24(1), 27-34.
- Chaumont, F., & Tyerman, S. D. (2014). Aquaporins: highly regulated channels controlling plant water relations. Plant physiology, 164(4), 1600-1618.
- Cordeiro, M. C. R., (2003). Engenharia genética: conceitos básicos, ferramentas e aplicações. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.
- Evrard, A., Kumar, M., Lecourieux, D., Lucks, J., von Koskull-Döring, P., & Hirt, H. (2013). Regulation of the heat stress response in *Arabidopsis* by MPK6-targeted phosphorylation of the heat stress factor HsfA2. PeerJ, 1, e59.
- Griffiths, A. J., Wessler, S. R., Lewontin, R. C., & Carroll, S. B. (2008). Introdução à genética. In Introdução à genética (pp. 712-712).
- Groszmann, M., Osborn, H. L., & Evans, J. R. (2017). Carbon dioxide and water transport through plant aquaporins. Plant, Cell & Environment, 40(6), 938-961.

- Heinen, R. B., Ye, Q., & Chaumont, F. (2009). Role of aquaporins in leaf physiology. *Journal of experimental botany*, 60(11), 2971-2985.
- Hodecker, B. E. R., De Barros, N. F., Da Silva, I. R., Diola, V., Sarkis, J. E. S., & Loureiro, M. E. (2014). Boron delays dehydration and stimulates root growth in *Eucalyptus urophylla* (Blake, ST) under osmotic stress. *Plant and soil*, 384, 185-199.
- IBÁ: Indústria Brasileira de Árvores. (2024). Relatório Anual 2024.
- Jang, J. Y., Kim, D. G., Kim, Y. O., Kim, J. S., & Kang, H. (2004). An expression analysis of a gene family encoding plasma membrane aquaporins in response to abiotic stresses in *Arabidopsis thaliana*. *Plant molecular biology*, 54, 713-725.
- Jonak, C., Ökrész, L., Bögre, L., & Hirt, H. (2002). Complexity, cross talk and integration of plant MAP kinase signalling. *Current opinion in plant biology*, 5(5), 415-424.
- Laia, M. L.; Gerhardt, I. R.; Abad, J. I. M.; Degenhardt-goldback, J.; Gonçalves, J. F.; Missiaggia, A. A. (2013). A Biotecnologia e o Eucalipto do Futuro. In: Vale, A. B., Machado, C. C., Pires, J. M. M., Vilar, M. B., Costa, C. B., & Nacif, A. P. (Eds). *Eucaliptocultura no Brasil: Silvicultura, manejo e ambiência*. Viçosa: SIF.
- Larcher, W. (2006) *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RIMA.
- Leucci, M. R., Lenucci, M. S., Piro, G., & Dalessandro, G. (2008). Water stress and cell wall polysaccharides in the apical root zone of wheat cultivars varying in drought tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 165(11), 1168-1180.
- Lian, H. L., Yu, X., Ye, Q., Ding, X. S., Kitagawa, Y., Kwak, S. S., ... & Tang, Z. C. (2004). The role of aquaporin RWC3 in drought avoidance in rice. *Plant and Cell Physiology*, 45(4), 481-489.
- Lima, R. B., dos Santos, T. B., Vieira, L. G. E., Ferrarese, M. D. L. L., Ferrarese-Filho, O., Donatti, L., ... & de Oliveira Petkowicz, C. L. (2013). Heat stress causes alterations in the cell-wall polymers and anatomy of coffee leaves (*Coffea arabica* L.). *Carbohydrate polymers*, 93(1), 135-143.
- Link, V., Sinha, A. K., Vashista, P., Hofmann, M. G., Proels, R. K., Ehness, R., & Roitsch, T. (2002). A heat-activated MAP kinase in tomato: a possible regulator of the heat stress response. *FEBS letters*, 531(2), 179-183.
- Lourenço, H. M. (2016). Estresses abióticos e seus efeitos na produtividade florestal. In: *Simpósio sobre Tecnologias de Produção Florestal*.
- Mafia, R. G. (2017). Etiologia e Manejo do Distúrbio Fisiológico do Eucalipto (DFE). In: *II Seminário sobre Sanidade Florestal*. Belo Horizonte, Minas Gerais.
- Mahdich, M., Mostajeran, A., Horie, T., & Katsuhara, M. (2008). Drought stress alters water relations and expression of PIP-type aquaporin genes in *Nicotiana tabacum* plants. *Plant and Cell Physiology*, 49(5), 801-813.

- Mattiello, E. M., Ruiz, H. A., Silva, I. R. D., Barros, N. F. D., Neves, J. C. L., & Behling, M. (2009). Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33, 1281-1290.
- Maurel, C., Verdoucq, L., Luu, D. T., & Santoni, V. (2008). Plant aquaporins: membrane channels with multiple integrated functions. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59(1), 595-624.
- Miwa, K., Wakuta, S., Takada, S., Ide, K., Takano, J., Naito, S., ... & Fujiwara, T. (2013). Roles of BOR2, a boron exporter, in cross linking of rhamnogalacturonan II and root elongation under boron limitation in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 163(4), 1699-1709.
- Moura, J. C. M. S., Araújo, P., Brito, M. D. S., Souza, U. R., Viana, J. O. F., & Mazzafera, P. (2012). Validation of reference genes from *Eucalyptus* spp. under different stress conditions. *BMC research notes*, 5, 1-10.
- Nakagawa, Y., Hanaoka, H., Kobayashi, M., Miyoshi, K., Miwa, K., & Fujiwara, T. (2007). Cell-type specificity of the expression of Os BOR1, a rice efflux boron transporter gene, is regulated in response to boron availability for efficient boron uptake and xylem loading. *The Plant Cell*, 19(8), 2624-2635.
- Ning, J., Li, X., Hicks, L. M., & Xiong, L. (2010). A Raf-like MAPKKK gene DSM1 mediates drought resistance through reactive oxygen species scavenging in rice. *Plant physiology*, 152(2), 876-890.
- Nunes, F. N. (2010). Crescimento e expressão gênica em clones de eucalipto influenciados pelo boro e déficit hídrico. Tese, UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- de Oliveira, L. A., Breton, M. C., Bastolla, F. M., Camargo, S. D. S., Margis, R., Frazzon, J., & Pasquali, G. (2012). Reference genes for the normalization of gene expression in *Eucalyptus* species. *Plant and Cell Physiology*, 53(2), 405-422.
- Osorio, S., Alba, R., Damasceno, C. M., Lopez-Casado, G., Lohse, M., Zanor, M. I., ... & Fernie, A. R. (2011). Systems biology of tomato fruit development: combined transcript, protein, and metabolite analysis of tomato transcription factor (nor, rin) and ethylene receptor (Nr) mutants reveals novel regulatory interactions. *Plant Physiology*, 157(1), 405-425.
- Peaucelle, A., Louvet, R., Johansen, J. N., Höfte, H., Laufs, P., Pelloux, J., & Mouille, G. (2008). *Arabidopsis phyllotaxis* is controlled by the methyl-esterification status of cell-wall pectins. *Current Biology*, 18(24), 1943-1948.
- Pfaffl, M. W. (2001). A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. *Nucleic acids research*, 29(9), e45-e45. DOI: [10.1093/nar/29.9.e45](https://doi.org/10.1093/nar/29.9.e45)
- Piro, G., Leucci, M. R., Waldron, K., & Dalessandro, G. (2003). Exposure to water stress causes changes in the biosynthesis of cell wall polysaccharides in roots of wheat cultivars varying in drought tolerance. *Plant Science*, 165(3), 559-569.
- Quesada, M. A., Blanco-Portales, R., Posé, S., García-Gago, J. A., Jiménez-Bermudez, S., Muñoz-Serrano, A., ... & Muñoz-Blanco, J. (2009). Antisense down-regulation of the FaPG1 gene reveals an

- unexpected central role for polygalacturonase in strawberry fruit softening. *Plant Physiology*, 150(2), 1022-1032.
- Reis, B. E. (2011a). Expressão de genes associados à tolerância do eucalipto à seca influenciada pelo Boro. Dissertação, UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Reis, M. D. S. (2011b). A influência dos distúrbios fisiológicos na produtividade da madeira de eucalipto no extremo sul da Bahia. Monografia, UFPR, Curitiba, Paraná, Brasil.
- Rodrigues, B. P. (2013). Qualidade do lenho de árvores de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob estresse abiótico e o impacto na produção de celulose. Dissertação de Mestrado, UFES, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil.
- Ruiz-Lozano, J. M., del Mar Alguacil, M., Bárzana, G., Vernieri, P., & Aroca, R. (2009). Exogenous ABA accentuates the differences in root hydraulic properties between mycorrhizal and non mycorrhizal maize plants through regulation of PIP aquaporins. *Plant Molecular Biology*, 70, 565-579.
- Samajová, O., Plíhal, O., Al-Yousif, M., Hirt, H., & Samaj, J. (2013). Improvement of stress tolerance in plants by genetic manipulation of mitogen-activated protein kinases. *Biotechnology Advances*, 31(1), 118-128.
- Sangwan, V., & Dhindsa, R. S. (2002). In vivo and in vitro activation of temperature-responsive plant map kinases. *FEBS letters*, 531(3), 561-564.
- Santos, A. B. D., & Mazzafera, P. (2013). Aquaporins and the control of the water status in coffee plants. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25, 79-93.
- Savatin, D. V., Ferrari, S., Sicilia, F., & De Lorenzo, G. (2011). Oligogalacturonide-auxin antagonism does not require posttranscriptional gene silencing or stabilization of auxin response repressors in *Arabidopsis*. *Plant physiology*, 157(3), 1163-1174.
- Sgarbi, F., Silveira, R. L. V. A., Takahashi, E. N., & Camargo, M. D. (1999). Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B e Zn. *Scientia Forestalis*, 56(1), 69-82.
- Silva, S. R.; Bazani, J. H.; Vrechi, A.; Gentil, M. G.; Zamprogno-Ferreira, K. C.; Rosse, L. N. (2010). Distúrbios fisiológicos ocasionados pelo estresse hídrico em clones de eucalipto na Veracel: estudo de caso e hipóteses. In: Workshop de melhoramento, 6.; reunião técnica científica do ptsm: adaptação genotípica ao estresse hídrico e térmico, 41., Botucatu, São Paulo.
- Silveira, R. D. A., Casarin, V., Paula, T. D. A., & Silveira, R. I. (2007). Nutrição e adubação com Boro em *Eucalyptus*. Boletim Técnico). Piracicaba: Agroflorestal.
- Sangwan, V., & Dhindsa, R. S. (2002). In vivo and in vitro activation of temperature-responsive plant map kinases. *FEBS letters*, 531(3), 561-564.
- Shou, H., Bordallo, P., & Wang, K. (2004). Expression of the Nicotiana protein kinase (NPK1) enhanced drought tolerance in transgenic maize. *Journal of experimental Botany*, 55(399), 1013-1019.

- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.
- Takano, J., Miwa, K., & Fujiwara, T. (2008). Boron transport mechanisms: collaboration of channels and transporters. *Trends in plant science*, 13(8), 451-457.
- Tanaka, M., Wallace, I. S., Takano, J., Roberts, D. M., & Fujiwara, T. (2008). NIP6; 1 is a boric acid channel for preferential transport of boron to growing shoot tissues in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 20(10), 2860-2875.
- Teige, M., Scheikl, E., Eulgem, T., Doczi, R., Ichimura, K., Shinozaki, K., ... & Hirt, H. (2004). The MKK2 pathway mediates cold and salt stress signaling in *Arabidopsis*. *Molecular cell*, 15(1), 141-152.
- Törnroth-Horsefield, S., Wang, Y., Hedfalk, K., Johanson, U., Karlsson, M., Tajkhorshid, E., ... & Kjellbom, P. (2006). Structural mechanism of plant aquaporin gating. *Nature*, 439(7077), 688-694.
- Untergrasser, A., Cutcutache, I., Koressaar, T., Ye, J., Faircloth, B. C., Remm, M., & Rozen, S. G. (2012). Primer3—new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Research*.
- Xiong, L., & Yang, Y. (2003). Disease resistance and abiotic stress tolerance in rice are inversely modulated by an abscisic acid-inducible mitogen-activated protein kinase. *The Plant Cell*, 15(3), 745-759.
- Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218, 1-14.
- Wolf, S., & Greiner, S. (2012). Growth control by cell wall pectins. *Protoplasma*, 249 (Suppl 2), S169–S175.
- Zhang, Y., Wang, Z., Chai, T., Wen, Z., & Zhang, H. (2008). Indian mustard aquaporin improves drought and heavy-metal resistance in tobacco. *Molecular Biotechnology*, 40, 280-292.

Desempenho de mudas de eucalipto sob influência competitiva de gramíneas forrageiras

Recebido em: 28/05/2025

Aceito em: 30/05/2025

 10.46420/9786585756600cap9

Any Caroliny Pinto Rodrigues 

Laís Grazielle Silva 

Janaína Fernandes Gonçalves 

Luiz Paulo de Sousa Correia 

Ana Carolina da Silva Cardoso Araujo 

Gleica Cândido Santos 

Israel Marinho Pereira 

Reynaldo Campos Santana 

INTRODUÇÃO

O setor de árvores plantadas tem grande importância comercial na economia brasileira. Segundo relatório e dados mais recentes da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), a área total dedicada às árvores cultivadas no Brasil ultrapassa os 10 milhões de hectares, os quais 76% são ocupados pela espécie do gênero *Eucalyptus*. A alta produtividade (média nacional de 41 m³ ha⁻¹ ano⁻¹) aliada ao rápido crescimento, à capacidade de adaptação às diversas condições edafoclimáticas do país, juntamente com a utilização diversificada da madeira do eucalipto e o seu potencial econômico conferem grande atratividade ao cultivo dessa espécie no país (IBÁ, 2024).

No entanto, segundo Cruz (2007), as culturas florestais estão sujeitas a fatores ecológicos que podem interferir negativamente em sua produção final. Um destes fatores é a presença das plantas daninhas. As espécies florestais apresentam uma alta sensibilidade à competição estabelecida por estas espécies de plantas que surgem nos plantios.

Em povoamentos, principalmente de eucalipto, em que esta espécie apresenta crescimento lento na fase inicial (comparativamente às espécies daninhas), as plantas de rápido crescimento se não manejadas interferem negativamente sobre as plantas cultivadas. Esta interferência dificulta o crescimento e o desenvolvimento da espécie cultivada, podendo implicar em intensas perdas na produtividade florestal, causando grandes prejuízos qualitativos e quantitativos de sua produção. Assim, até que a cultura cresça e possa sombrear o solo, e, com isso, dificultar o desenvolvimento das plantas infestantes, é de extrema importância o controle das invasoras nos estádios iniciais de crescimento da cultura do eucalipto (Pitelli, 1997; Silva, Sedyama & Silva, 2001; Tarouco et al., 2009; Caron et al., 2012).

A interferência das plantas daninhas nas culturas florestais é mais expressiva nos primeiros anos de implantação da cultura e deve-se, principalmente, à competição imposta pelos recursos do meio que

são essenciais ao crescimento das plantas, podendo destacar a competição por água, nutrientes, espaço e luz (Toledo, Filho, Alves, Pitelli & Lopes, 2003; Ferreira et al., 2012; Medeiros et al., 2016). Assim, o correto manejo das plantas daninhas é considerado fundamental, pois visa o bom desenvolvimento e a máxima produtividade da cultura. Dentre as várias técnicas utilizadas no controle de plantas infestantes, podem-se destacar o controle cultural, químico, físico, mecânico e biológico, pois possibilitam reduzir a comunidade infestante nos plantios florestais (Tuffi Santos et al., 2012).

Outras alternativas de controle das espécies invasoras incluem a utilização de plantios consorciados com forrageiras, tais como as gramíneas. Sendo assim, o uso de gramíneas que melhor se adaptem ao ambiente de sub-bosque de eucalipto, além de evitarem a presença de plantas invasoras, promovem a redução de capinas, a diminuição do uso de herbicidas e a melhoria da produtividade da floresta (Macedo, Vale & Venturin, 2010).

Diante do exposto, observa-se que é de grande interesse econômico e ambiental o estudo acerca de assuntos relacionados ao consórcio entre culturas florestais e espécies de gramíneas. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o consórcio de eucalipto com forrageiras em fase inicial de crescimento. O intuito deste consórcio é identificar as melhores espécies que possam conviver com o eucalipto em fase inicial de crescimento, com o propósito de obter uma espécie com alta eficiência na cobertura do solo e que apresente baixa interferência na cultura principal evitando, assim, a emergência de plantas invasoras nos plantios.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), localizada em Diamantina/MG. O experimento foi instalado em casa-de-vegetação (Figura 1) a qual possuía cobertura de filme plástico (150 microns de espessura), tela de sombreamento de 50% e sistema automático de irrigação por microaspersão, estando situada nas coordenadas 18°12'744" de latitude Sul e 43°34'20 02" de longitude oeste de Greenwich.

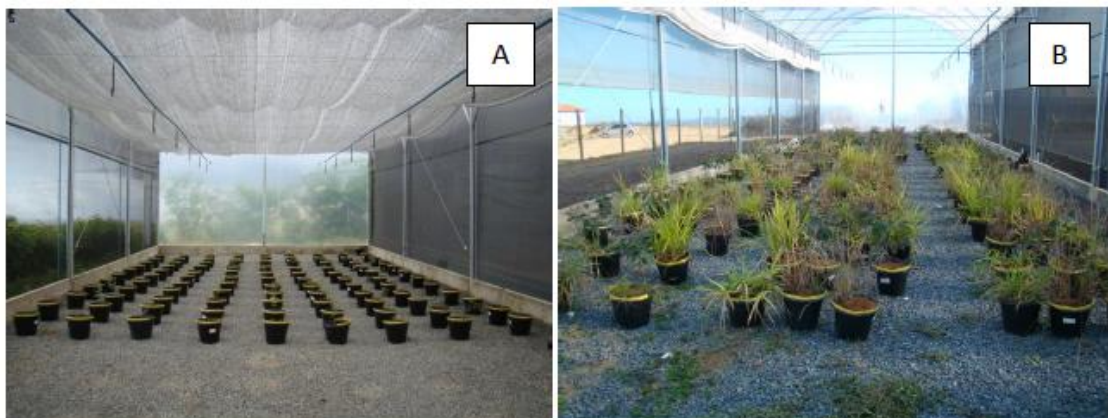


Figura 1. Experimento em casa de vegetação. A) Experimento um dia após ser montado; B) Experimento um dia antes da desmontagem.

Para o plantio, foram utilizadas mudas de um clone de eucalipto (de 90 dias de idade as quais foram selecionadas quanto ao tamanho e vigor) e 5 espécies diferentes de gramíneas forrageiras: Capim-Aruana – *Panicum maximum* cv. Aruana; Capim-Tanzânia – *Panicum maximum* cv. Tanzânia; Capim-Massai – *Panicum maximum* x *Panicum infestum* cv. Massai; Capim-Xaraés – *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés; Azevém anual – *Lolium multiflorum* sp.

As forrageiras foram semeadas previamente à instalação do experimento em bandejas preenchidas com areia e mantidas em câmaras climatizadas do tipo B.O.D. a $26 \pm 10^\circ\text{C}$. Ao atingirem aproximadamente cinco centímetros de altura, seis plântulas de cada uma das cinco espécies de gramíneas forrageiras foram transplantadas para vasos com capacidade de 12 kg e área de $0,07 \text{ m}^2$ contendo Latossolo Vermelho de Textura Argilosa. As propriedades físico-químicas do solo e a fertilização estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do solo e fertilização aplicada. Fonte: os autores

Análise Química								
p.H	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	M.O
	mg dm ⁻³		cmol dm ⁻³					dag kg ⁻¹
4,8	1,08	3,1	0,2	0,2	0,02	4,2	0,41	0,9
Análise Granulométrica								
Areia (%)			Silte (%)			Argila (%)		
38			6			56		
Fertilização								
Calcário	P2O5	KCL		NH4SO4		Hydrokcoitail		
0,8 g L ⁻¹	351 g kg ⁻¹	59,8 mg kg ⁻¹		143,68 mg kg ⁻¹		23,68 mg kg ⁻¹		

pH em água - Relação 1:2,5; P e K - Extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al - Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; M.O. - Matéria orgânica = C. org x 1,724. Amostra analisada no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFVJM.

O solo utilizado (Latossolo Vermelho de Textura Argilosa) foi submetido à peneiração em malha de 2 mm para padronização granulométrica e corrigido com calcário dolomítico (PRNT = 100%) a fim de atingir 60% de saturação de bases. Para a adubação, todos os fertilizantes foram dissolvidos em um recipiente com água com capacidade de 50 L, onde foram retiradas amostras de 500 mL para cada vaso, de modo que fosse aplicada a concentração necessária, conforme indicado na Tabela 1. A adubação com nitrogênio (NH₄SO₄) foi parcelada em duas vezes, sendo a segunda fertilização feita em cobertura, onde aplicou-se 143,68 mg kg⁻¹.

A adubação foi realizada no dia anterior ao transplantio das gramíneas e, durante o experimento, a umidade do solo foi mantida em aproximadamente 60% da sua capacidade de campo. Posteriormente ao preenchimento dos vasos com o solo e sua adubação, as forrageiras foram transplantadas. Passados 68 dias, mudas de eucalipto com 90 dias de idade foram plantadas a fim de avaliar a competição do

eucalipto com as espécies consortes já estabelecidas. Ao longo do experimento, as irrigações foram realizadas diariamente (pela manhã e tarde) e em tempos alternados, totalizando 20 min de irrigação em um dia e 30 min no dia posterior.

Utilizou-se um delineamento experimental de blocos ao acaso composto por onze tratamentos, três blocos e três replicatas por bloco. Os tratamentos foram resultantes do cultivo isolado do eucalipto e de cada espécie forrageira, além da combinação de mudas de eucalipto em competição com cada uma das cinco espécies de gramíneas forrageiras, os quais foram respectivamente: Euc (Eucalipto – *Eucalyptus sp.*); C.A. (Capim-Aruana); C.T. (Capim-Tanzânia); C.M. (Capim-Massai); C.X. (Capim-Xaraés); A.A. (Azevém anual); C.A. + Euc (Capim-Aruana + Eucalipto); C.T. + Euc (Capim-Tanzânia + Eucalipto); C.M. + Euc (Capim-Massai + Eucalipto); C.X. + Euc (Capim-Xaraés + Eucalipto); A.A. + Euc (Azevém anual + Eucalipto).

O crescimento das espécies foi acompanhado até os 108 dias após plantio (DApl) do eucalipto. Foram avaliados todos os tratamentos a fim de quantificar a influência das gramíneas sobre o desenvolvimento das mudas de eucalipto e a influência destas no desenvolvimento das cinco espécies consortes. Nos tratamentos que possuíam mudas de eucalipto, foram mensuradas as variáveis Altura – H (por meio de uma régua graduada) e Diâmetro do Coletor – DC (através de um paquímetro digital) aos 12, 44, 76 e 107 DApl. Passados os 108 dias de crescimento também foram mensurados o Teor de Clorofila – TC (por meio do aparelho ClorofiLog, onde mediu-se o primeiro par de folhas que antecede os folíolos do ápice) e o Diâmetro de Copa (por meio de uma régua graduada).

Nessa mesma idade, foram destacadas cinco folhas de seis mudas de eucalipto obtidas aleatoriamente para determinação da Área Foliar – AF, sendo essas escaneadas e digitalizadas pelo software Determinador Digital de Áreas (DAA). As cinco folhas foram secas em estufa a 65 °C por 72 h até apresentarem peso constante e, logo após, foram pesadas. Com os resultados de AF e massa seca das folhas foi ajustada uma equação de regressão linear de AF em função do peso para estimar a área foliar total do eucalipto de todos os tratamentos.

Ainda, ao final do experimento (aos 108 DApl), eucalipto e gramíneas forrageiras foram coletadas, sendo cortadas rente ao solo para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR). Para a MSPA do eucalipto, suas folhas e galhos foram coletados separadamente e, para as gramíneas, foi realizada a coleta da sua parte aérea total. Para a determinação da MSR, as raízes foram separadas do solo utilizando-se um conjunto de duas peneiras sobrepostas; a superior com malha de 2 mm e a inferior de 1 mm. O solo foi depositado na peneira superior e, mediante jatos d'água, este foi se desprendendo das raízes, possibilitando, desta maneira, a separação das raízes das forrageiras com a raiz do eucalipto. Após isso, folhas, galhos e raízes foram secos em estufa de circulação forçada de ar por 72 h a 65 °C até atingirem peso constante. Posteriormente, foram pesadas com auxílio de uma balança (0,5 de precisão).

Os dados obtidos através da última data de mensuração foram submetidos à análise de variância em nível de 5% de significância ($p < 0,05$) cujas médias foram comparadas por meio de contrastes

ortogonais (Alvarez V. e Alvarez, 2006), no intuito de avaliar o efeito das gramíneas sobre o crescimento do eucalipto, comparando-se o tratamento testemunha (eucalipto cultivado isoladamente) com os tratamentos em que o eucalipto foi cultivado em consórcio com as gramíneas. O mesmo procedimento foi adotado tanto nos tratamentos com gramíneas cultivadas isoladamente quanto naqueles em consórcio com o eucalipto, com o objetivo de comparar o efeito do eucalipto sobre o desenvolvimento das gramíneas. Todas as análises foram feitas pelo programa Statistica 7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indicou efeito significativo ($p < 0,05$) para todas as variáveis analisadas tanto no eucalipto (H, DC, DCP, TC, AG, MSPA e MSR) quanto nas gramíneas (MSPA e MST), aos 108 dias de consórcio. Os resultados demonstraram reduções significativas ($p < 0,05$) em todos os contrastes e para todas as variáveis mensuradas, refletindo o efeito inibitório por parte de todas as espécies de gramíneas testadas (Tabela 2).

As plantas de eucalipto que conviveram com as forrageiras ao longo dos 108 dias apresentaram altura e diâmetro médios inferiores aos valores encontrados pela testemunha, variando entre 8% a 20% a redução em altura do eucalipto, e 14% a 38% a redução em diâmetro do coleto desta espécie (Tabela 2). Essas diferenças foram, provavelmente, devido à alta pressão de interferência exercida pelas gramíneas, especialmente pelas espécies Capim-Xaraés e Azevém anual.

Essas duas espécies (Capim-Xaraés e Azevém anual) foram as que interferiram com a maior redução em crescimento do eucalipto. Verifica-se uma diminuição de 20% em altura e 38% em diâmetro do coleto do eucalipto quando em consórcio com o Capim-Xaraés, e, redução de 18% em altura e 38% em diâmetro do coleto do eucalipto consorciado com o Azevém anual.

As espécies que ocuparam o menor nível de competição com o eucalipto para as variáveis altura e diâmetro foram as do gênero *Panicum*, especialmente o Capim-Tanzânia e o Capim-Massai. Houve redução da altura do eucalipto em 8% e 9% para os consórcios com o Capim-Tanzânia e Capim-Massai, respectivamente. Já para a variável diâmetro do coleto do eucalipto, a redução foi de 16% (Capim-Tanzânia) e 14% (Capim-Massai).

O crescimento em H e DC das plantas de eucalipto obtidos para os tratamentos consorciados e para a testemunha (eucalipto isolado) aos 12, 44, 76 e 108 DApl podem ser visualizados nos gráficos da Figura 2.

Tabela 2. Resultados do p-valor, aos 108 DApI por meio de contrastes ortogonais dos tratamentos em consórcio (média) em comparação com a testemunha de eucalipto solteira (não consorciada); além dos valores médios de H, DC, DCP, TC, AF, MSPA e MSR obtidos para os tratamentos de consorciação e da testemunha do eucalipto. Fonte: os autores.

Contrastes Ortogonais	Variáveis					Massa Eucalipto (g)		Seca
	H	DC	DCP	TC	AF			
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	Folha	Galho	Raiz
(Euc + C.A) x T	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
(Euc + C.T) x T	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(Euc + C.M) x T	0,02	0,05	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
(Euc + C.X) x T	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(Euc + A.A) x T	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tratamentos	Valores médios					Massa Eucalipto (g)		Seca
	H	DC	DCP	TC	AF			
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	Folha	Galho	Raiz
Euc + C.A	48,83	6,72	30,44	41,69	602,82	6,46	3,55	3,96
Euc + C.T	53,56	7,74	38,94	38,63	972,04	10,41	5,23	5,23
Euc + C.M	52,56	7,93	40,78	41,82	1135,86	12,17	5,91	6,23
Euc + C.X	46,50	5,76	21,28	37,42	378,24	4,05	2,16	2,81
Euc + A.A	47,44	5,75	20,83	39,64	367,45	3,94	1,98	2,24
Testemunha (T)	58,22	9,31	51,06	48,14	1823,60	19,54	10,55	11,26

H: altura; DC: diâmetro do coleto; DCP: diâmetro de copa; TC: teor de clorofila; AF: área foliar; C.A: Capim-Aruana; C.T: Capim-Tanzânia; C.M: Capim-Massai; C.X: Capim-Xaraés; A.A: Azevém anual; Euc: Eucalipto; T: Testemunha.

A partir da análise desses gráficos fica evidente a diferença entre os tratamentos, podendo notar que tanto a altura como o diâmetro do coleto das plantas de eucalipto foram bastante reduzidos pela presença das gramíneas. Percebe-se também que o diâmetro de coleto foi o mais afetado pela competição das espécies quando se compara o sistema consorte com o eucalipto crescendo isoladamente.

Resultados semelhantes em relação à redução da altura e do diâmetro de coleto do eucalipto em consórcio, foi encontrado por Dinardo, Toledo, Alves e Pitelli (2003). Em seu trabalho foi verificado que *Panicum maximum* interferiu negativamente sobre o crescimento inicial de mudas de eucalipto, reduzindo o seu desenvolvimento em altura e diâmetro. Cruz (2007), ao analisar os efeitos da convivência de *P. maximum* sobre o crescimento inicial de eucalipto, também apresentou resultado similar. Em seu trabalho ficou demonstrado que as médias de altura e diâmetro do coleto apresentaram reduções significativas.

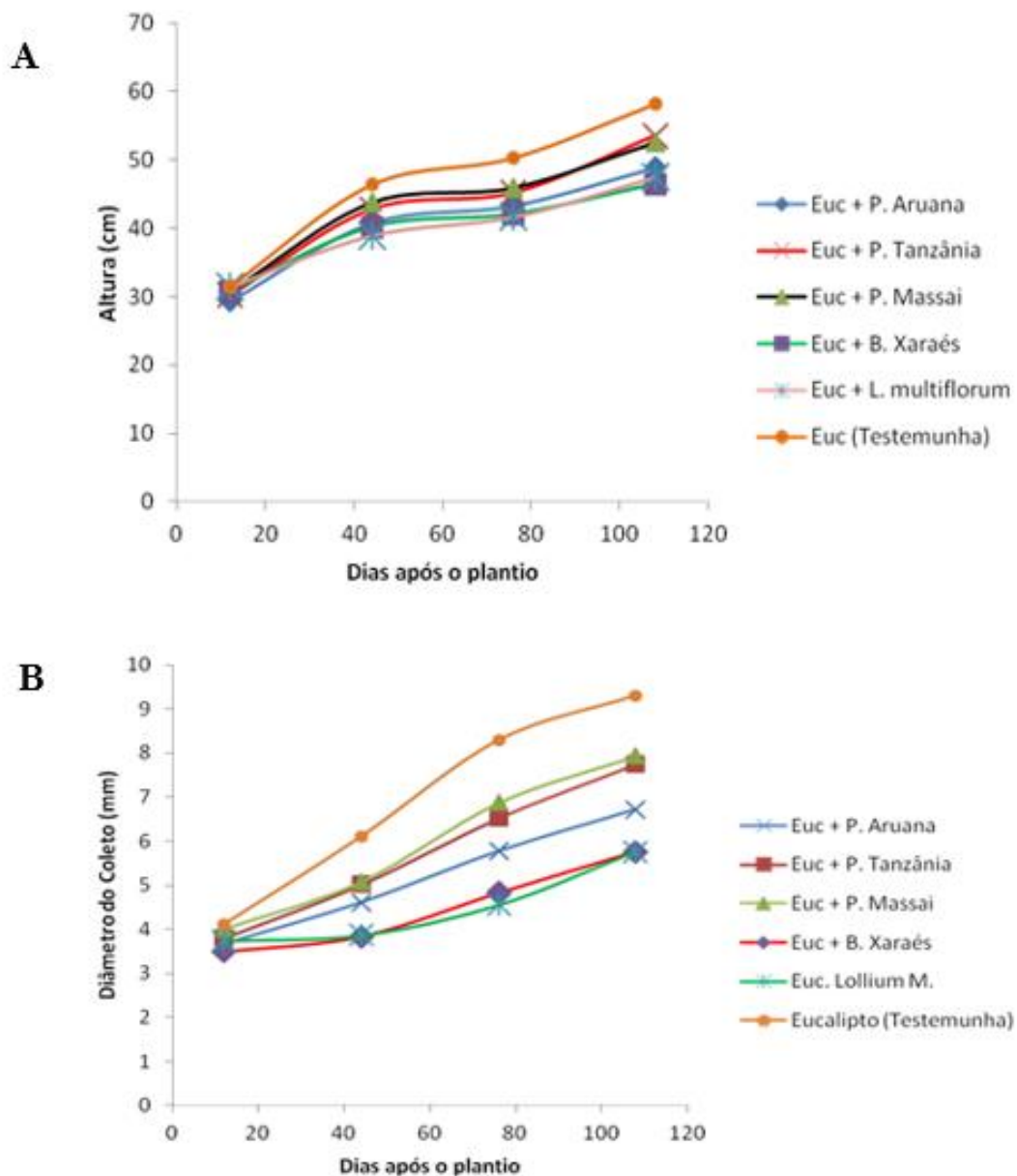


Figura 2. Desenvolvimento em H e DC das mudas de eucalipto atingidos para os tratamentos consorciados e para a testemunha (eucalipto isolado) aos 12, 44, 76 e 108 dias após o plantio, onde temos a) crescimento em H; e b) crescimento em DC. Fonte: os autores.

As reduções evidenciadas na altura e diâmetro de coleto do eucalipto podem ser justificadas ao inferir que o crescimento de uma plantação ocorre em função dos recursos disponíveis, da capacidade da espécie em capturá-los e da sua eficácia sobre a utilização dos mesmos para absorver e fixar CO_2 (Forrester, Bauhus, Cowie & Vanclay, 2006). Possivelmente, as espécies em estudo competiram pelos recursos existentes, diminuindo, desta forma a eficácia em sua utilização e, consequentemente, ocasionando a dificuldade de crescimento e desenvolvimento da espécie.

As gramíneas também promoveram diminuição no diâmetro de copa do eucalipto em todos os contrastes analisados. Nos contrastes com o Capim-Xaraés e o Azevém anual, a redução foi mais acentuada. O diâmetro de copa do eucalipto reduziu 58% quando em consórcio com o Capim-Xaraés e 59% quando em consórcio com o Azevém anual, em relação ao eucalipto crescendo isoladamente. Novamente, as gramíneas que apresentaram menor competição ao eucalipto foram Capim-Tanzânia e Capim-Massai, que, neste caso, ambas as espécies reduziram em torno de 20% o diâmetro de copa do eucalipto (Tabela 2).

Provavelmente, as espécies de gramíneas estudadas tiveram uma maior habilidade competitiva pelos recursos disponíveis e, com isso, sobressaíram-se em relação ao eucalipto, dificultando o crescimento do seu diâmetro de copa. Resultado semelhante é apresentado por Neto (1994), ao analisar o comportamento inicial do eucalipto em plantio consorciado com forrageiras, em que verificou redução no diâmetro de copa do eucalipto nos tratamentos consorciados com a espécie estudada.

Os resultados encontrados de massa seca parte aérea (MSPA), massa seca raiz (MSR) e área foliar (AF) do eucalipto foram os mais sensíveis à competição com as gramíneas. Todas estas variáveis apresentaram reduções bastante significativas variando entre 35% a 82%, quando comparadas aos resultados do eucalipto que cresceu livre do consórcio com as gramíneas (Tabela 2).

A massa seca parte aérea do eucalipto em consórcio com o Capim-Xaraés e com o Azevém anual sofreu redução de 79% e 80%, respectivamente, quando comparada à parte aérea da planta de eucalipto que cresceu livre das gramíneas. Já para a massa seca raiz, esses valores foram de 75% para o consórcio com Capim-Xaraés e 80% para o consórcio com Azevém anual. Para as espécies de menor competição deste trabalho, a redução da massa seca parte aérea foi de 48% e 40% para os consórcios com Capim-Tanzânia e Capim-Massai, respectivamente. Da mesma forma, a massa seca raiz foi reduzida em 53% e 44% para ambos os consórcios, respectivamente (Tabela 2).

Em relação à área foliar, os tratamentos em competição com as espécies do gênero *Panicum* foram os que apresentaram os maiores valores médios. As espécies mais agressivas (Capim-Xaraés e Azevém anual), quando em competição, reduziram a área foliar do eucalipto em torno de 79%. Um fator a ser observado é que para os tratamentos consorciados com Capim-Massai (espécie que menos afetou o eucalipto), foi demonstrada a maior área foliar ($1.135,86 \text{ cm}^2$) para a muda de eucalipto em relação aos outros consórcios, o que, provavelmente contribuiu para o maior acúmulo de fitomassa pelo eucalipto, cujos valores representativos foram 18,8 g (MSPA) e 6,23 g (MSR) (Tabela 2).

O resultado da análise de regressão para estimar a área foliar total das mudas de eucalipto foi significativo ($p < 0,05$), indicando uma tendência linear entre o peso e a área foliar, conforme mostrado abaixo (Figura 3).

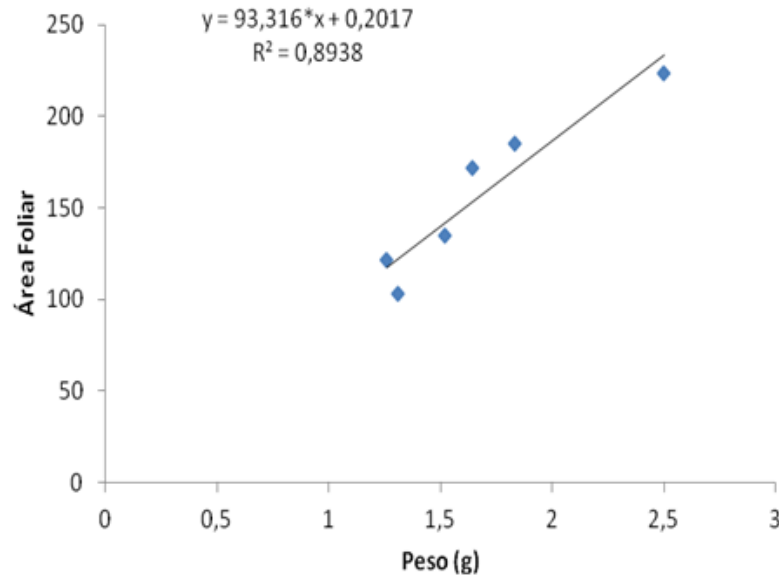


Figura 3. Distribuição da área foliar em função do peso de seis mudas de eucalipto. Fonte: os autores.

Os resultados encontrados referentes à MSPA, MSR e AF do eucalipto, são semelhantes aos encontrados por Dinardo et al. (2003), onde foi observado que o peso da biomassa seca de folhas, caule, raízes e área foliar foram reduzidos pela interferência de *Panicum maximum* em crescimento inicial de mudas de eucalipto. Resultado similar também foi apresentado por Cruz (2007), ao analisar os efeitos da convivência da gramínea estudada (*P. maximum*) sobre o crescimento inicial de eucalipto. Seus resultados apresentaram reduções significativas para produção da massa seca parte aérea e área foliar total, sendo estas as características mais sensíveis.

Segundo Souza, Velini e Maiomoni-Rodella (2003) há uma correlação positiva entre massa seca da planta e área foliar. Por serem as folhas o local primário da fotossíntese, e, responsáveis pela interceptação de luz e captação de CO₂, a redução na área foliar e no teor de clorofila desfavorece o crescimento do eucalipto, levando à redução na massa seca total. Desta forma, a redução na acumulação de massa seca na planta pode estar relacionada com a redução na área foliar (AF) e no teor de clorofila (TC), o que é confirmado pelos resultados demonstrados pelos contrastes e valores médios da Tabela 2. Assim, como a clorofila total está relacionada com a massa seca total, os dados mostram que pode ter havido inibição de fotossíntese das plantas, sendo uma possível justificativa da redução do desenvolvimento do eucalipto.

O efeito da competição do eucalipto sobre as gramíneas está representado na Tabela 3. A análise por meio de contrastes apresentou diferenças para as variáveis MSPA e MSR das gramíneas. Os tratamentos foram significativos ($p < 0,05$) para a maioria dos consórcios analisados em relação a estas duas variáveis (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados do p-valor, aos 108 DApl da análise por meio de contrastes ortogonais dos tratamentos de consórcio do eucalipto com gramíneas e das gramíneas em crescimento isolado e os seus respectivos valores médios em relação à MSPA e MSR. Fonte: os autores.

Contrastes Ortogonais	Variáveis	
	MSPA Gramíneas (g)	MSR Gramíneas (g)
(C.A) x (Euc + C.A)	0,00	0,02
(C.T) x (Euc + C.T)	0,02	0,13
(C.M) x (Euc + C.M)	0,00	0,06
(C.X) x (Euc + C.X)	0,03	0,74
(A.A) x (Euc + A.A)	0,20	0,59
Tratamentos	Valores Médios	
	MSPA Gramíneas (g)	MSR Gramíneas (g)
C.A	30,44	39,9
C.T	27,15	30,04
C.M	30,14	29,62
C.X	41,42	47,87
A.A	33,68	13,05
Euc + C.A	17,39	28,67
Euc + C.T	18,24	23,42
Euc + C.M	12,55	21,15
Euc + C.X	33,18	49,27
Euc + A.A	28,93	15,40

C.A: Capim-Aruana; C.T: Capim-Tanzânia; C.M: Capim-Massai; C.X: Capim-Xaraés; A.A: Azevém anual; Euc: Eucalipto; Euc: Eucalipto; MSPA: Massa Seca Parte Aérea; MRS: Massa Seca Raiz.

Pelos resultados demonstrados na tabela 3 é possível perceber que o consórcio das espécies afetou também o desenvolvimento das gramíneas. Este fato indica que houve forte interação e competição por parte de todas as espécies envolvidas no estudo.

A produção de MSPA e MSR das gramíneas pode ser visualizada na Figura 4. Através dos gráficos percebe-se o maior desenvolvimento das gramíneas quando cultivadas sem a presença do eucalipto. O gráfico mostra, ainda, que as espécies gramíneas mais agressivas foram aquelas que, quando consorciadas com o eucalipto apresentaram, em sua maioria, os maiores valores de MSPA e MSR.

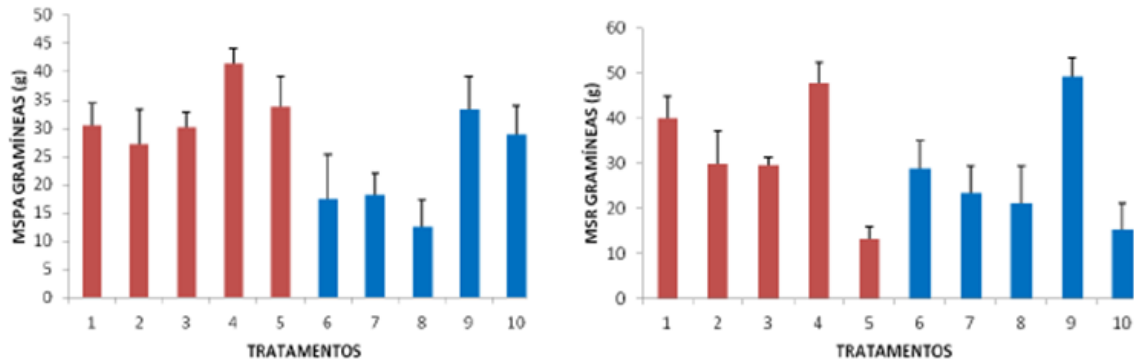


Figura 4. Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) das gramíneas em crescimento isolado e em crescimento consorciado com o eucalipto, após 108 DApI. Tratamentos: 1 – Capim-Aruana; 2 – Capim-Tanzânia; 3 – Capim-Massai; 4 – Capim-Xaraés; 5 – Azevém Anual; 6 – Capim-Aruana + Eucalipto; 7 – Capim-Tanzânia + Eucalipto; 8 – Capim-Massai + Eucalipto; 9 – Capim-Xaraés + Eucalipto; 10 – Azevém Anual + Eucalipto. Fonte: os autores.

O crescimento acelerado do sistema radicial das espécies forrageiras pode proporcionar significativa vantagem competitiva em casos em que predominarem interações abaixo do solo (Rizzardi, Fleck, Vidal, Merotto & Agostinetto, 2001; Zanine & Santos, 2004). Esta pode ser uma provável justificativa acerca dos resultados encontrados para os tratamentos em que houve maior competição.

De modo geral, pode-se observar pelos resultados obtidos, que todos os tratamentos produziram reduções nos parâmetros investigados, havendo, contudo, influência mais negativa em alguns casos. Destes, podem-se destacar o Capim-Xaraés e o Azevém anual como as espécies consorciadas que provocaram as maiores reduções de crescimento das mudas de eucalipto. Ambas as espécies são bastante tolerantes ao sombreamento denso, apresentam crescimento inicial rápido e elevada agressividade (Balbinot Jr, Nesi, de Moraes & Backes, 2007; Martuscello, Jank, Gontijo, Laura & Cunha, 2009). Possivelmente, estas características podem ter influenciado no consórcio das espécies, conferindo a alta competição destas gramíneas sobre o eucalipto.

De acordo com Balbinot Jr et al. (2001), plantas com elevada velocidade de emergência e de crescimento inicial possuem prioridade na utilização dos recursos do meio, por isso, geralmente levam vantagem na utilização destes e, conseqüentemente, maior habilidade competitiva por se desenvolver mais rapidamente uma arquitetura para interceptar luz. Em seus estudos, o referido autor verificou que a época de emergência das plantas daninhas em relação à planta consorciada pode ter afetado fortemente as relações de interferência que ocorrem entre plantas cultivadas e daninhas.

Dessa forma, o fato de o eucalipto ter sido implantado dias após o transplante das gramíneas na unidade experimental já pode ter gerado o enorme efeito de competição entre as espécies visto que alguns estudos indicam que plantas que se estabelecem primeiro no ambiente possuem vantagens na competição pelos recursos do meio sugerindo que diferenças na época de emergência podem influenciar as habilidades competitivas de duas espécies (Balbinot Jr et al., 2007; Firbank & Watkinson, 1985).

Além disso, é importante enfatizar o fato de que as espécies de eucalipto (comparativamente às espécies invasoras) apresentam crescimento lento na fase inicial de estabelecimento, manifestando alta sensibilidade à interferência de outras plantas (Silva et al., 2001). As condições climáticas e de irrigação favoráveis podem também ter proporcionado o rápido estabelecimento das forrageiras, com maior desenvolvimento, dificultando a absorção de água, luz e nutrientes do eucalipto.

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado, todas as gramíneas estudadas apresentaram elevada habilidade competitiva com o eucalipto. As condições climáticas e de irrigação favoráveis, além do plantio antecipado das gramíneas, podem ter proporcionado o rápido estabelecimento das forrageiras, e, desta forma, favorecido a interferência destas espécies na cultura do eucalipto. Portanto, os resultados deste estudo não permitem recomendar o consórcio entre o eucalipto e as espécies de gramíneas estudadas a não ser que minimize a competição entre elas (através de métodos como a capina e coroamento na projeção de copa e linha de plantio do eucalipto), já que todas as gramíneas afetaram intensa e negativamente o desenvolvimento das plantas de eucalipto.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pela estrutura e suporte financeiro. Às empresas Br seeds e Wolf seeds pelo fornecimento das sementes de gramíneas. Ao viveiro da Plantar pela doação das mudas de eucalipto. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, V. V. H., & Alvarez, G. A. M. (2006). Comparações de médias ou testes de hipóteses? Contrastes! Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 31, 24-34.
- Balbinot Jr, A. A., Fleck, N. G., Agostinetto, D., Rizzardi, M. A., Merotto Jr, A., & Vidal, R. A. (2001). Velocidade de emergência e crescimento inicial de cultivares de arroz irrigado influenciando a competitividade com as plantas daninhas. Planta Daninha, 19, 305-316. DOI: 10.1590/S0100-83582001000300001
- Balbinot Jr, A. A. B., Nesi, C. N., de Moraes, A., & Backes, R. L. (2007). Infestação de plantas daninhas e produtividade de milho afetadas por épocas de dessecação de coberturas de inverno. Revista de Ciências Agroveterinárias, 6(2), 134-142.
- Caron, B. O., Lamego, F. P., Souza, V. Q. D., Costa, E. C., Eloy, E., Behling, A., & Trevisan, R. (2012). Interceptação da radiação luminosa pelo dossel de espécies florestais e sua relação com o manejo das plantas daninhas. Ciência Rural, 42, 75-82. DOI: 10.1590/S0103-84782012000100013

- Cruz, M. B. (2007). Efeitos do capim-colonião sobre o crescimento inicial de clones de eucalipto. Dissertação, UNESP, Jaboticabal, São Paulo, Brasil.
- Dinardo, W., De Toledo, R. E. B., Da Costa Aguiar Alves, P. L., & Pitelli, R. A. (2003). Efeito da densidade de plantas de *Panicum maximum* Jacq. sobre o crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.
- Ferreira, L., Machado, M., Oliveira, S. N., Freitas, F., Ferreira, G., & Tuffi Santos, L. D. (2012). Manejo de plantas daninhas em sistemas de ILPF. Tuffi Santos, LD Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: potencialidades e técnicas de produção, 131-143.
- Firbank, L. G., & Watkinson, A. R. (1985). On the analysis of competition within two-species mixtures of plants. *Journal of Applied Ecology*, 503-517. DOI: 10.2307/2403181
- Forrester, D. I., Bauhus, J., Cowie, A. L., & Vanclay, J. K. (2006). Mixed-species plantations of *Eucalyptus* with nitrogen-fixing trees: a review. *Forest Ecology and Management*, 233(2-3), 211-230. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.05.012
- IBÁ: Indústria Brasileira de Árvores. (2024). Relatório Anual 2024.
- Macedo, R., Vale, A., & Venturin, N. (2010). Eucalipto em sistemas agroflorestais: Lavras. Editora da UFLA.
- Martuscello, J. A., Jank, L., Gontijo Neto, M. M., Laura, V. A., & Cunha, D. D. N. F. V. D. (2009). Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 1183-1190. DOI: 10.1590/S1516-35982009000700004
- Medeiros, W. N., Melo, C. A. D., Tiburcio, R. A. S., Silva, G. S. D., Machado, A. F. L., Santos, L. D. T., & Ferreira, F. A. (2016). Crescimento inicial e concentração de nutrientes em clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob interferência de plantas daninhas. *Ciência Florestal*, 26, 147-157. DOI: 10.5902/1980509821099
- Neto, P. S. F. (1994). Comportamento inicial do *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden em plantio consorciado com leguminosas na região do médio Rio Doce, Minas Gerais. Dissertação, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.
- Pittelli, R. A. (1987). Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. Série técnica IPEF, 4(12), 1-24.
- Rizzardi, M. A., Fleck, N. G., Vidal, R. A., Merotto Jr, A., & Agostinetto, D. (2001). Competição por recursos do solo entre ervas daninhas e culturas. *Ciência Rural*. DOI: 10.1590/S0103-84782001000400026
- Silva, W., Sediyaama, T., & da Silva, A. A. (2001). Taxa fotossintética líquida de *Eucalyptus citriodora* Hook e *E. grandis* W. Hill em resposta à diferentes níveis de água no solo e associação com *Brachiaria brizantha* Stapf. *Acta Scientiarum Maringá*, 23(5), 1205-1209.

- Souza, L. S., Velini, E. D., & Maiomoni-Rodella, R. C. S. (2003). Efeito alelopático de plantas daninhas e concentrações de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). *Planta daninha*, 21, 343-354. DOI: 10.1590/S0100-83582003000300001
- Tarouco, C. P., Agostinetto, D., Panozzo, L. E., Santos, L. S. D., Vignolo, G. K., & Ramos, L. O. D. O. (2009). Períodos de interferência de plantas daninhas na fase inicial de crescimento do eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 1131-1137. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000900010
- Toledo, R. E. B., Victoria Filho, R., Da Costa Aguiar Alves, P. L., Pitelli, R. A., & Lopes, M. A. F. (2003). Faixas de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento de plantas de eucalipto.
- Tuffi Santos, L. D. (2012) Manejo de plantas daninhas em áreas florestais. In: II 486 Simpósio de Integração Lavoura–Pecuária–Floresta, Montes Claros – MG, 2012. *Anais*, 487 p. 157 – 167.
- Zanine, A. D. M., & Santos, E. M. (2004). Competição entre espécies de plantas - Uma revisão. *Revista da FZVA*, 11(1), 10-30.

Comportamento inicial do eucalipto em plantio consorciado com leguminosas para cobertura do solo

Recebido em: 28/05/2025

Aceito em: 30/05/2025

 10.46420/9786585756600cap10

Laís Grazielle Silva 

Any Carolyn Pinto Rodrigues 

Janaína Fernandes Gonçalves 

Luiz Paulo de Sousa Correia 

Ana Carolina da Silva Cardoso Araujo 

Gleica Cândido Santos 

Israel Marinho Pereira 

Reynaldo Campos Santana 

INTRODUÇÃO

As atividades do setor florestal brasileiro vêm crescendo cada vez mais devido à sua importante contribuição para o setor econômico, social e ambiental do país. O aumento da procura por produtos florestais tem elevado o plantio com povoamentos monoespecíficos como os de eucalipto em função do rápido crescimento da espécie, além da boa adaptação às condições edafoclimáticas e por fornecer matéria prima de qualidade para os diversos seguimentos do setor (Coelho et al., 2007; Torres et al., 2010). Nesse sentido, atualmente, os plantios florestais com eucalipto no Brasil ocupam uma área de 7,8 milhões de hectares, o que corresponde a 76% da área total de reflorestamento no país (IBÁ, 2024).

A implantação e condução de uma floresta de eucalipto requerem a aplicação de técnicas silviculturais adequadas, capazes de minimizar ou eliminar os desafios enfrentados ao longo de todas as etapas do ciclo produtivo, desde o plantio até a colheita. Dentro desse contexto, a ocorrência de plantas daninhas é comum em florestas, especialmente na cultura do eucalipto. Essas são encontradas em todas as fases de produção e, como consequência, provocam inúmeros distúrbios ecológicos (Alves, 1992). De acordo com Tuffi Santos et al. (2005), a presença de plantas daninhas em povoamentos monoespecíficos de eucalipto é um fator preocupante, pois essas promovem o decréscimo quantitativo e qualitativo da produção da cultura, devido à competição que elas promovem, além de ser um grande problema para a implantação e manutenção dessas florestas.

Assim, o manejo destas ervas em povoamentos florestais deverá ser realizado nas diversas etapas do processo produtivo, principalmente por métodos mecânicos e químicos, isolados ou combinados (Toledo et al., 2003). De fato, diante da elevada extensão das florestas e da alta produtividade, os problemas ocasionados pela matocompetição tornaram-se proporcionais, o que tem forçado as empresas

do setor utilizarem cada vez mais o método químico como alternativa para a redução dos custos de produção.

O herbicida mais utilizado em plantios florestais para o controle de plantas daninhas é o glyphosate, devido à sua alta eficiência no controle de um amplo espectro de espécies e ao seu baixo impacto ambiental (Galli et al., 2005). Entretanto o glyphosate é um herbicida não seletivo e pode causar sérios danos à cultura pela ocorrência acidental da deriva, comprometendo as mudas e brotações de eucalipto e proporcionando sintomas de intoxicação da parte aérea, além de prejudicar e tornar ineficiente o controle dessas plantas (Tuffi Santos et. al., 2005).

Uma das alternativas para controlar a presença de espécies invasoras nos reflorestamentos com eucalipto é a utilização de plantios consorciados com leguminosas de rápido crescimento e que promovam a cobertura do solo, atuando dessa forma, como uma barreira física e/ou química, reduzindo a população de espécies infestantes. De acordo com dados publicados por Macedo, Vale & Venturin (2010), o uso de eucalipto consorciado com leguminosas no Brasil é um sistema recente. Os autores destacam a importância da utilização dessas espécies em ações conservacionistas as quais têm contribuído para minimizar os impactos deletérios dos processos erosivos do solo originados pelas atividades de reflorestamentos.

O uso de espécies da família Fabaceae, também chamadas de leguminosas, em cultivos consorciados pode provocar a melhora na capacidade de cobertura do solo, quando se trata de leguminosas forrageiras, além, promover maior disponibilização de nitrogênio ao sistema, através da fixação simbiótica, especialmente se essas forem capazes de associarem a micro-organismos que fixem o nitrogênio do ar (Garcia & Couto, 1991), como por exemplo as bactérias do gênero *Rhizobium*, que podem adicionar quantidades expressivas de nitrogênio ao sistema solo-planta (Gonçalves et al., 1994).

A presença dessas espécies em plantios florestais pode ser proveitosa principalmente pela capacidade de adubação verde que apresentam, dentre outras funções, a capacidade de proteger o solo, elevar a taxa de infiltração, promover grande e contínuo aporte de fitomassa, recuperar solos degradados, possibilitar uma reciclagem mais eficiente de nutrientes, criar condições ambientais favoráveis a microbiota e contribuir no controle de nematóides (Macedo et al., 2010). Viera, Schumacher e Liberalesso (2011), estudaram o consórcio de eucalipto com acácia negra, e verificaram uma tendência no aumento do diâmetro a altura do peito (DAP - diâmetro a 1,30 m do solo) nos tratamentos consorciados com ambas as espécies.

Logo o estudo do consórcio de espécies florestais e adubos verdes apresenta grande importância pois, ao identificar as melhores espécies consorte com alta eficiência em cobertura do solo, de forma a evitar a regeneração de plantas daninhas, apresenta vantagens uma vez que a consequência poderá reduzir ou mesmo eliminar a utilização de herbicidas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o consórcio de eucalipto com leguminosas forrageiras em fase inicial de crescimento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no viveiro do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, em Diamantina-MG sob condições de casa de vegetação. A estrutura da casa de vegetação é coberta com filme plástico com 150 microns de espessura e equipada com sistema de irrigação automático por microaspersores, com uma vazão de 7 litros por hora, e está situada nas coordenadas 18°12'7 44" de latitude Sul e 43°34'20.02" de longitude oeste de Greenwich, na cidade de Diamantina – MG.

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com três blocos e três repetições por bloco. Os tratamentos foram assim estabelecidos: AMF - (amendoim forrageiro – *Arachis pintoi*); P - (puerária – *Pueraria phaseoloides*); E – (estilosantes – *Stylosantes guianensis*); SP - (soja perene – *Glycine wightii*); C – (calopogônio – *Calopogonium mucunoides*); AMF + Euc - (amendoim forrageiro + eucalipto); P + Euc – (puerária + eucalipto); E + Euc – (estilosantes + eucalipto); SP + Euc - (soja perene + eucalipto); C + Euc – (calopogônio + eucalipto); Euc - (eucalipto - *Eucalyptus sp.*).

As leguminosas foram semeadas previamente à instalação do experimento em bandejas preenchidas com areia, lavada e esterelizada em estufa a 65 °C por 72 horas, e mantidas em câmaras climatizadas do tipo B.O.D. a $26 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Ao atingirem cinco centímetros de altura, seis plântulas de cada uma das cinco espécies de leguminosas foram transplantadas para os vasos com capacidade de 12 kg e com área de 0,07 m², contendo Latossolo Vermelho de textura argilosa. As características físico-químicas do solo e a fertilização utilizada encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Características físico-químicas e fertilização aplicada. Fonte: os autores.

Análise Química								
p.H.	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	M.O.
	mg dm ⁻³		cmol dm ⁻³					dag kg ⁻¹
4,8	1,08	3,1	0,2	0,2	0,02	4,2	0,41	0,9
Análise Granulométrica								
Areia (%)			Silte (%)			Argila (%)		
38			6			56		
Fertilização								
Calcário	P ₂ O ₅		KCl		NH ₄ S0 ₄		Hydrokcoitail	
1,2 g L ⁻¹	351 mg kg ⁻¹		60 mg kg ⁻¹		144 mg kg ⁻¹		23mg kg ⁻¹	

pH em água - Relação 1:2,5; P e K - Extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al - Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹; M.O. - Matéria orgânica = C. org x 1,724. Amostra analisada no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFVJM.

O solo utilizado (Latosolo Vermelho de Textura Argilosa) foi submetido à peneiração em peneira com malha de 2 mm para padronização granulométrica e corrigido com calcário dolomítico (PRNT =

100%) a fim de atingir 60% de saturação de bases. A adubação foi realizada no dia anterior ao transplântio das leguminosas. Todos os fertilizantes foram dissolvidos em um recipiente com água, com capacidade de 50 L, onde foram retiradas amostras de 500 mL para cada vaso, de modo que fosse aplicada a concentração necessária conforme indicado na Tabela 1. A adubação com nitrogênio (NH_4SO_4) foi parcelada em duas vezes, sendo a segunda fertilização em cobertura, aplicando-se 144 mg kg^{-1} em solução, sendo realizada 60 dias após o transplântio das leguminosas.



Figura 1. Experimento em casa de vegetação. A) Experimento um dia após ser montado; B) Experimento um dia antes da desmontagem.

Ao longo do experimento, as irrigações foram realizadas diariamente (pela manhã e tarde) em tempos alternados, totalizando 20 minutos de irrigação em um dia e 30 minutos no dia posterior.

Para a realização do experimento as leguminosas foram transplantadas para os vasos 78 dias antes do plantio do eucalipto. Após esse período, mudas de eucalipto com 90 dias de idade foram plantadas a fim de avaliar a competição do eucalipto com as espécies consortes já estabelecidas (Figura 1).

O experimento após o plantio do eucalipto foi conduzido por 107 dias. Foram avaliados todos os tratamentos a fim de quantificar a influência das leguminosas sobre o desenvolvimento das mudas de eucalipto e a influência destas no desenvolvimento das cinco espécies consortes. Nos tratamentos com mudas de eucalipto, foram mensuradas as variáveis altura - H (por meio de uma régua graduada) e diâmetro do coleto - DC (através de um paquímetro digital) aos 12, 44, 76, e 107 dias após plantio do eucalipto (DApl).

Decorridos os 107 dias de crescimento, o teor de clorofila - TC do primeiro par de folhas que antecede os folíolos do ápice (por meio do aparelho clorofilog) e o diâmetro de copa (por meio de régua graduada) também foram mensurados. Nessa mesma idade foram destacadas cinco folhas de seis mudas de eucalipto obtidas aleatoriamente, para determinação da área foliar (AF), sendo essas escaneadas e digitalizadas para o software Determinador Digital de Áreas (DAA). As cinco folhas foram secas em estufa 65°C por 72 h até apresentarem peso constante e, logo após, foram pesadas. Com os resultados

de AF e massa seca das folhas foi ajustada uma equação de regressão linear de AF em função do peso para estimar a área foliar total do eucalipto de todos os tratamentos.

Ao final do período de crescimento, cada planta, eucalipto e leguminosas, foi cortada rente ao solo e seca em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas até apresentarem peso constante, para determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA). Para o eucalipto as folhas e os galhos foram pesados separadamente e para as leguminosas o peso obtido foi o peso total da parte aérea.

Para a quantificação da massa seca das raízes (MSR), as mesmas foram separadas do solo utilizando-se um conjunto de duas peneiras sobrepostas; a superior com malha de 2 mm e a inferior de 1 mm. O solo foi depositado na peneira superior e mediante jatos d'água, o qual foi se desprendendo das raízes, possibilitando, dessa maneira, a separação das raízes das leguminosas com a raiz do eucalipto. Essas foram secas em estufa com circulação forçada a 65 °C por 72 h até atingirem peso constante e logo após foram pesadas.

Os dados obtidos através da última data de mensuração foram submetidos à análise de variância em nível de 5% de significância ($p < 0,05$) cujas médias foram comparadas por meio de contrastes ortogonais (Alvarez & Alvarez, 2006) no intuito de avaliar o efeito das leguminosas sobre o crescimento do eucalipto, comparando-se o tratamento testemunha (eucalipto cultivado isoladamente) com os tratamentos em que o eucalipto foi cultivado em consórcio com as leguminosas. O mesmo procedimento foi adotado tanto nos tratamentos com as leguminosas cultivadas isoladamente quanto naqueles em consórcio com o eucalipto, com o objetivo de comparar o efeito do eucalipto sobre o desenvolvimento das leguminosas. Todas as análises foram feitas pelo programa Statistica 7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Implicações das leguminosas no eucalipto

A análise de variância teve efeito não significativo ($p > 0,05$) para as variáveis H, DC e TC na idade de 107 dias do eucalipto, porém, para esse mesmo período, os tratamentos foram diferentes ($p < 0,05$) em relação ao DCP, AF, MSPA (folhas e galhos) e MSR.

Por meio da análise dos contrastes pôde-se observar diferença apenas no tratamento consorciado com amendoim forrageiro em relação a todas as variáveis mensuradas nos 107 dias após plantio, mesmo com a análise de variância sendo não significativa em relação a H, DC e TC. Entretanto essa diferença para a H e TC foi significativa a 10% ($p < 0,10$) enquanto que para as outras variáveis as diferenças encontradas foram significativas a 5% ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Resultados de p_valor da análise por meio de contrastes ortogonais dos tratamentos de consórcio do eucalipto com leguminosas e do eucalipto isolado e valores médios da H, DC, DCP, TC, AF e MSPA (folhas e galhos) e MSR. Fonte: os autores.

Tratamentos	Contraste Ortogonal							
	H	DC	DCP	TC	AF	Massa Seca (g)		
	(cm)	(mm)	(cm)		(cm ²)	Folha	Galho	Raiz
(AMF + Euc) x Euc	0,09	0,02	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,02
(P + Euc) x Euc	0,59	0,80	0,26	0,15	0,22	0,22	0,28	0,90
(E + Euc) x Euc	0,68	1,00	0,67	0,75	0,64	0,64	0,83	0,39
(SP + Euc) x Euc	0,65	0,86	0,21	0,96	0,15	0,15	0,15	0,87
(C + Euc) x Euc	0,39	0,69	0,25	0,13	0,42	0,42	0,22	0,63
Tratamentos	Valores Médios							
(AMF + Euc)	51,5	7,6	43,1	39,7	1008,0	13,2	6,0	7,1
(P + Euc)	57,9	8,9	53,8	40,9	1474,2	19,6	8,9	11,7
(E + Euc)	57,5	9,0	56,3	43,6	1612,0	21,4	9,8	10,5
(SP + Euc)	55,1	9,1	53,3	44,3	1435,0	19,0	8,5	11,7
(C + Euc)	58,8	8,8	53,6	40,6	1553,0	20,6	8,8	11,1
Euc	56,4	9,0	57,8	42,2	1692,4	22,5	10,0	11,9

H (altura); DC (diâmetro do coleto); DCP (diâmetro de copa); TC (teor de clorofila); AF (área foliar); AMF (amendoim forrageiro); P (puerária); E (estilosantes); SP (soja perene); C (calopogônio) e Euc (eucalipto).

Ao analisar a capacidade de crescimento do eucalipto com leguminosas forrageiras por 107 dias, pôde-se observar, para a maioria dos tratamentos que, não houve interações que influenciaram no crescimento em H e no DC do clone avaliado. Entretanto, o tratamento consorciado com amendoim forrageiro diferiu da testemunha em relação a essas duas variáveis. O crescimento em H e DC obtido no período de estudo para os tratamentos consorciados e para a testemunha podem ser visualizados na Figura 2.

As mudas de eucalipto em consórcio com o amendoim forrageiro apresentaram crescimento em H em média de 9,0% menor que as mudas do eucalipto em crescimento isolado. Já o DC foi mais prejudicado sofrendo uma redução de 16,0% em relação à testemunha.

As outras espécies puerária, estilosantes, soja perene e calopogônio não influenciaram significativamente no desenvolvimento do eucalipto tanto em H quanto em DC, porém, no consórcio do eucalipto com calopogônio e com puerária há tendência de serem obtidos valores percentuais maiores para a altura.

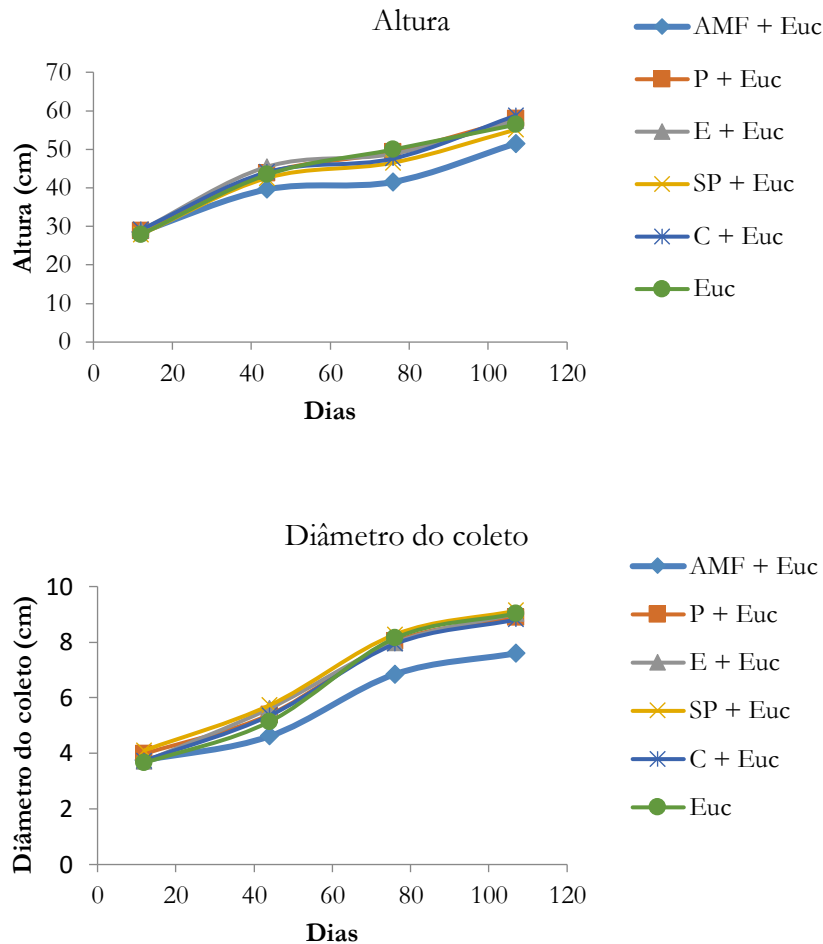


Figura 2. Crescimento em H e DC das mudas de eucalipto consorciadas e em crescimento isolado ao longo do período de estudo. AMF + Euc (amendoim forrageiro + eucalipto); P + Euc (puerária + eucalipto); E + Euc (estilosantes + eucalipto); SP + Euc (soja perene + eucalipto); C + Euc (calopogônio + eucalipto); Euc (eucalipto). Fonte: os autores.

O consórcio com o amendoim forrageiro provavelmente promoveu uma competição pelos recursos necessários ao desenvolvimento do eucalipto, resultando em uma interação negativa no seu crescimento em H e DC. Segundo Forrester et al. (2006), o crescimento de uma plantação resulta dos recursos disponíveis, da capacidade da espécie em capturá-los e da sua eficácia sobre a utilização dos mesmos para absorver e fixar CO₂.

Balbinot et al. (2010) verificaram que a altura e o diâmetro da base do eucalipto no consórcio com *Mimosa pilulifera*, em condições de campo, resultou em valores inferiores aos demais sistemas de plantio. Porém, Schreiner (1988), ao avaliar a viabilidade de emprego de quatro leguminosas tropicais em crescimento com eucalipto, concluiu que não houve diferença dos consórcios em relação à altura do eucalipto, o que corrobora com os resultados encontrados no presente estudo em relação às leguminosas estudadas, exceto para o amendoim forrageiro.

As plantas de eucalipto consorciadas com amendoim forrageiro no período de estudo sofreram reduções nas médias em relação ao TC total de 8,0%. Para os tratamentos em consórcio com puerária e calopogônio não foi verificado efeito significativo, porém os valores de teor de clorofila para ambos apresentaram uma tendência de valores percentuais menores.

No presente estudo a competição exercida pelo amendoim forrageiro pode ter ocasionado redução do teor de clorofila, com consequências no crescimento do eucalipto. Isso vai ao encontro do verificado por Cruz (2007), que ao estudar o efeito do capim-colonião sobre o crescimento inicial de clones de eucalipto, observou que o teor de clorofila relativa total nos plantios consorciados com a gramínea sofreu uma redução em relação ao monocultivo. Esse fato pode proporcionar uma baixa taxa fotossintética que provavelmente influenciará o crescimento e o desenvolvimento da espécie (Rêgo & Possamai, 2004).

O menor valor de diâmetro de copa (25,0%) no eucalipto, em crescimento consorciado com o amendoim forrageiro, também evidencia a existência de competição entre as espécies. Neto (1994), estudando o comportamento inicial do *Eucalyptus urograndis* consorciado com cinco espécies de leguminosas, constatou redução no diâmetro de copa nos tratamentos em consórcio com o calopogônio e com o guandu.

O resultado da análise de regressão para estimar a área foliar total das mudas de eucalipto foi significativo ($p < 0,05$), indicando tendência linear entre o peso e a área foliar (Figura 3).

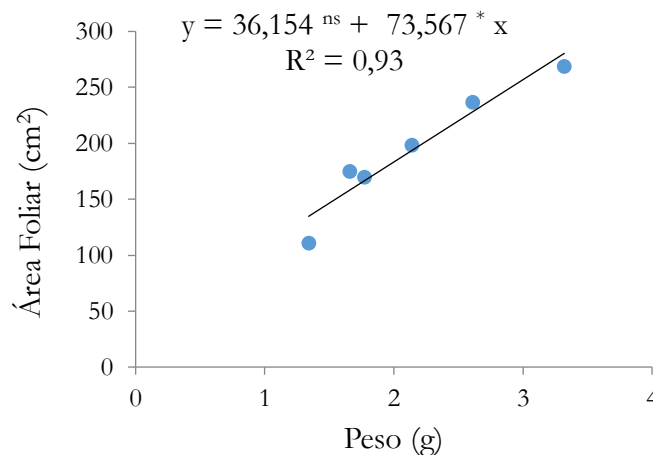


Figura 3. Distribuição da área foliar em função do peso de seis mudas de eucalipto. Fonte: os autores.

De acordo com os resultados obtidos neste estudo a área foliar do eucalipto em consórcio com o amendoim forrageiro sofreu redução significativa de 41,0%, em relação à testemunha, evidenciando forte competição interespecífica em relação a essa variável. Viera et al. (2011) encontraram resultados contrários em que o plantio do eucalipto consorciado com acácia obteve maiores valores significativos de índice de área foliar indicando efeito positivo interespecífico.

Além da área foliar, a produção MSPA total (folhas e galhos) e MSR foram sensivelmente afetadas pela competição em consórcio com o amendoim forrageiro obtendo valores inferiores de 41,0% e 40,0%, respectivamente. A produção de MSPA e MSR no período de estudo pode ser visualizada na Figura 4.

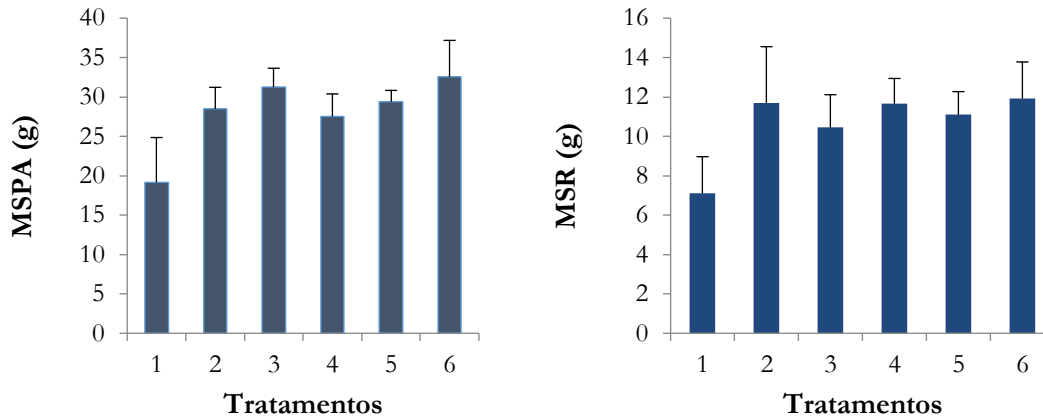


Figura 4. Produção de matéria seca parte aérea e raiz das leguminosas em crescimento isolado e em crescimento consorciado com o eucalipto. Tratamentos: 1 - amendoim forrageiro + eucalipto; 2 - puerária + eucalipto; 3 – estilosantes + eucalipto; 4 - soja perene + eucalipto; 5 - calopogônio + eucalipto; 6 – eucalipto. Fonte: os autores.

Perin, Guerra & Teixeira (2003), evidencia que uma cobertura mais rápida do amendoim forrageiro, reduz a competição pelas ervas daninhas invasoras o que pode diminuir os gastos com o controle da matocompetição. Porém, essa competição também pode ocorrer com a cultura principal dependendo das condições de déficit hídrico do local.

Resultados semelhantes ao presente estudo em relação às leguminosas puerária, estilosantes, soja perene e calopogônio, foram encontrados por Vezzani, Tedesco & Barros et al. (2001) que, ao avaliarem o consórcio do eucalipto com acácia negra, concluíram que a acácia não proporcionou alteração na produção de folhas e galhos para o eucalipto em crescimento consorciado.

A redução na massa de raiz do eucalipto em consórcio com o amendoim forrageiro possivelmente influenciou na sua taxa de crescimento, em consequência da interação entre competições abaixo e acima do solo. Coelho et al. (2007), estudaram o consórcio de eucalipto com leguminosas arbóreas em condições de campo e concluíram que a densidade de raízes finas no eucalipto foi maior que a densidade de raízes finas das leguminosas. Zanine & Santos (2004) revisando a competição de espécies relata que a competição interespecífica abaixo do solo se dá pelas diferenças na habilidade competitivas dos sistemas radiculares das espécies em competição.

A forte influência do amendoim forrageiro em todas as variáveis analisadas pode estar relacionada com as características dessa espécie como bom estabelecimento e boa taxa de crescimento. O amendoim forrageiro é uma das espécies de leguminosas indicada para a cobertura do solo devido ao seu crescimento

rasteiro e pela sua eficiência na competição com as ervas daninhas. Diante disso, a sua habilidade competitiva com o eucalipto dentro do período de estudo, pode ser explicada pela alta densidade de plantas utilizada para essa espécie, 6 plantas em uma área de 0,07 m², em relação à recomendada (8 a 12 plantas por metro quadrado), que pode ter favorecido a competição.

De um modo geral, a redução na área foliar e no teor de clorofila ocorridos no consórcio com amendoim forrageiro desfavorece o crescimento do eucalipto, levando a uma redução na produção de massa seca total do mesmo. Esse fato, de acordo com Souza, Velini & Maiomoni-Rodella (2003) pode ser explicado pela correlação positiva que há entre a área foliar e a matéria seca da planta. Sendo assim, a redução na produção de matéria seca na planta pode estar relacionada com a redução na área foliar (AF) e no teor de clorofila (TC), mostrando que houve possível redução na sua taxa fotossintética.

Por outro lado, a puerária e o calopogônio apresentaram um resultado considerado satisfatório em relação ao consórcio, pois essas obtiveram um bom desenvolvimento e não competiram significativamente com a espécie florestal. Entretanto, isso pode ser explicado pela baixa densidade de plantas que foi utilizada no experimento para ambas as leguminosas. Nos tratamentos com essas espécies as mudas de eucalipto não diferiram em relação à testemunha como pode ser observado na Tabela 2. Ao estudar a influência da puerária e do calopogônio, com uma densidade de 20 plantas por metro linear, para ambas as espécies sobre o eucalipto, Neto (1994) verificou que a primeira não influenciou no crescimento em altura e diâmetro do coleto, porém o calopogônio apresentou diferenças para essas variáveis em relação ao monocultivo.

Implicações do eucalipto nas leguminosas

Os tratamentos foram significativos ($p < 0,05$) em relação à MSPA e MSR das leguminosas. A análise por meio de contraste apresentou diferenças para ambas as variáveis em todos os tratamentos, exceto para os tratamentos com estilosantes em relação à MSR provavelmente pelo fato dessa espécie não ter apresentado um bom desenvolvimento tanto no tratamento em crescimento isolado quanto consorciado com o eucalipto (Tabela 3).

A produção de massa seca da parte aérea das leguminosas apresentou uma redução de 60,0%, 76,5%, 77,7%, 88,9% e 79,9% para os tratamentos em consórcio com eucalipto para as espécies amendoim forrageiro, puerária, estilosantes, soja perene e calopogônio, respectivamente. O resultado para a produção de massa seca da raiz não foi diferente, encontrando valores médios inferiores de 45,7%, 79,2%, 1,2%, 88,0 %, e 70%. O que demonstra que o amendoim forrageiro foi a espécie menos afetada pela competição em relação às outras espécies.

Tabela 3. Resultados de p_valor da análise por meio de contrastes ortogonais dos tratamentos de consórcio do eucalipto com leguminosas e das leguminosas em crescimento isolado e valores médios da MSPA e MSR. Fonte: os autores.

Contrastes Ortogonais	Variáveis	
	MSPA (g)	MSR (g)
(AMF) x (Euc + AMF)	0,00	0,00
(P) x (Euc + P)	0,00	0,01
(E) x (Euc + E)	0,02	0,99
(SP) x (Euc + SP)	0,00	0,00
(C) x (Euc + C)	0,00	0,07
Tratamentos	Valores Médios	
AMF	25,21	35,39
P	28,14	14,42
E	8,39	2,04
SP	16,94	28,11
C	27,42	9,93
Euc + AMF	10,07	19,21
Euc + P	6,60	3,01
Euc + E	1,87	2,06
Euc + SP	1,87	3,37
Euc + C	5,50	2,97

MSPA (massa seca parte aérea); MSR (massa seca raiz); AMF (amendoim forrageiro); P (puerária); E (estilosantes); SP (soja perene); C (calopogônio) e Euc (eucalipto).

As leguminosas foram sensíveis à competição com o eucalipto, indicando uma maior influência destas naquelas espécies. Essa competição pode ser atribuída possivelmente à redução do desenvolvimento radicular das leguminosas que pode ter influenciado na sua capacidade de utilização dos recursos, fato que pode explicar também a redução na produção de biomassa da parte aérea.

O amendoim forrageiro, contrário às outras espécies, continua a produzir raízes no consórcio, o que pode explicar a causa de todos os efeitos negativos no eucalipto juntamente com a densidade de plantas, já que essa foi considerada alta para essa espécie.

As árvores de eucalipto com idades avançadas promovem o tocar de copas, reduzindo assim a taxa de luminosidade adequada para o desenvolvimento da leguminosa (Neto, 1994). Sendo assim, a radiação que chega às folhas das espécies consortes é insuficiente para que estas realizem a fotossíntese líquida. Esse fato pode ocasionar a morte dessa espécie em consórcio, contribuindo dessa forma, para uma maior concentração de matéria orgânica no solo. Isso implicará numa influência positiva no desempenho da cultura, já que as espécies da família Fabaceae caracterizam-se por uma rápida decomposição e liberação de nutrientes para o sistema.

Implicações do consórcio

Ao avaliar a capacidade de convivência do eucalipto com as leguminosas, pôde-se verificar que o consórcio com o estilosantes não apresentou um bom desenvolvimento tanto isolado quanto consorciado, não influenciando dessa forma no crescimento do eucalipto. Esse fato, provavelmente, está relacionado com as condições externas que não foram adequadas para essa leguminosa. Resultado semelhante foi encontrado para o consórcio com a soja perene que também não sofreu influência, entretanto, essa espécie foi a mais sensível sob condições de competição, apresentando um desenvolvimento bem reduzido em relação ao seu tratamento em crescimento isolado.

O uso das leguminosas calopogônio e puerária em plantio consorciado com o eucalipto pode ser uma alternativa para a cobertura do solo, devido às características que essas apresentam tal como o calopogônio, que tem uma capacidade de formar um emaranhado de folhagem e de ser um ótimo adubo verde melhorando as características do solo e, a puerária, que possui sistema radicular amplo e profundo, com boa fixação de nitrogênio, além de se desenvolver bem em ambientes sombreados (Macedo et al., 2010; Neto, 1994). Essas espécies podem promover também um maior estoque de nitrogênio que possa ser disponibilizado em longo prazo para a cultura.

Diante disso, e de acordo com o objetivo da pesquisa, o amendoim forrageiro foi a espécie de leguminosa que teve influência negativa no desenvolvimento do eucalipto em relação às variáveis estudadas. Porém, essa influência pode ser minimizada ao se considerar a densidade de plantas. O estilosantes e a soja perene não apresentaram desenvolvimento que possibilitou uma comparação de competição dessas duas espécies em relação ao eucalipto. As leguminosas puerária e calopogônio não influenciaram no desenvolvimento do eucalipto, porém os consórcios com a puerária e com o calopogônio, apresentaram uma tendência de maiores valores de altura para o eucalipto.

Nesse sentido, conclui-se que a avaliação de períodos de interferência superiores a 107 dias, bem como da densidade de plantas, pode ser relevante para comprovar a capacidade competitiva do eucalipto em relação às leguminosas estudadas. Isso possibilita uma melhor compreensão da influência das características de ambas as espécies na cobertura do solo, especialmente no que diz respeito ao seu papel como barreira física e/ou química à regeneração de plantas daninhas, sem comprometer o desenvolvimento da cultura principal.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pela estrutura e suporte financeiro. Às empresas Br seeds e Wolf seeds pelo fornecimento das sementes de leguminosas. Ao viveiro da Plantar pela doação das mudas de eucalipto. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio

da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, V. V. H., & Alvarez, G. A. M. (2006). Comparações de médias ou testes de hipóteses? Contrastes! Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 31, 24-34.
- Alves, P. L. C. A. (1992). Estudo das propriedades alelopáticas de espécies de *Eucalyptus* spp e sua potencialidade no manejo de plantas daninhas. Jaboticabal: FCAV, Relatório FINEP.
- Balbinot, E., Carneiro, J. G. D. A., Baroso, D. G., & Paes, H. M. F. (2010). Crescimento inicial de *Eucalyptus tereticornis* em plantios puro e consorciado com *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Mimosa pilulifera*, em Campos dos Goytacazes-RJ. Revista Árvore, 34, 1-11. DOI: 10.1590/S0100-67622010000100001
- Coelho, S. R. D. F., Gonçalves, J. L. D. M., Mello, S. L. D. M., Moreira, R. M., Silva, E. V. D., & Laclau, J. P. (2007). Crescimento, nutrição e fixação biológica de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42, 759-768. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000600001
- Cruz, M. B. (2007). Efeitos do capim-colonião sobre o crescimento inicial de clones de eucalipto. Dissertação, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.
- Forrester, D. I., Bauhus, J., Cowie, A. L., & Vanclay, J. K. (2006). Mixed-species plantations of *Eucalyptus* with nitrogen-fixing trees: a review. Forest Ecology and Management, 233(2-3), 211-230. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.05.012
- Galli, A. J., Montezuma, M. C., Rodrigues, J. D., Guaggio, J. A., & Christoffoleti, P. J. (2005). Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura. Santo André: ACADCOM Gráfica e Editora.
- Garcia, R., & Couto, L. (1991). Sistemas silvipastoris: Experiências no estado de Minas Gerais. In Congresso Brasileiro de Economia e Planejamento Florestal (Vol. 2).
- Gonçalves, C. A., Costa, N. D. L., Costa, N. D., Oliveira, J. D. C., Costa, N. D. L., Oliveira, J. D. C., ... & Costa, N. D. L. (1994). Avaliação agronômica de *Brachiaria humidicola* em consorciação com leguminosas forrageiras tropicais em Rondônia. Revista Brasileira de Zootecnia, 23(5), 699-708.
- IBÁ: Indústria Brasileira de Árvores. (2024). Relatório Anual 2024.
- Macedo, R., Vale, A., & Venturin, N. (2010). Eucalipto em sistemas agroflorestais. Lavras. Editora da UFLA.
- Neto, P. S. F. (1994). Comportamento inicial do *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden em plantio consorciado com leguminosas na região do médio Rio Doce, Minas Gerais. Dissertação, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

- Perin, A., Guerra, J. G. M., & Teixeira, M. G. (2003). Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38, 791-796. DOI: 10.1590/S0100-204X2003000700002
- Rêgo, G. M., & Possamai, E. (2004). Avaliação de teores de clorofila no crescimento de mudas do jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*). Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 128.
- Schreiner, H. G. (1988). Associação de leguminosas com plantios florestais para cobertura e melhoramento do solo. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 17, 1-12.
- Souza, L. S., Velini, E. D., & Maiomoni-Rodella, R. C. S. (2003). Efeito alelopático de plantas daninhas e concentrações de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). *Planta daninha*, 21, 343-354. DOI: 10.1590/S0100-83582003000300001
- Toledo, R. E. B., Victoria Filho, R., Da Costa Aguiar Alves, P. L., Pitelli, R. A., & Lopes, M. A. F. (2003). Faixas de controle de plantas daninhas e seus reflexos no crescimento de plantas de eucalipto. *Scientia Florestalis*.
- Torres, L. G., Faria, A. T., Felipe, R. S., Benevenuto, S. S., Medeiros, W. N., & Ferreira, F. A. (2010). Interferência de plantas daninhas sobre o crescimento inicial de mudas de clones de eucalipto. In *Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas*, Campo Grande: SBPCPD.
- Tuffi Santos, L. D., Ferreira, F. A., Meira, R. M. S. A., Barros, N. D., Ferreira, L. R., & Machado, A. F. L. (2005). Crescimento e morfoanatomia foliar de eucalipto sob efeito de deriva do glyphosate. *Planta daninha*, 23, 133-142. DOI: 10.1590/S0100-83582005000100016
- Vezzani, F. M., Tedesco, M. J., & Barros, N. F. D. (2001). Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, 225-231. DOI: 10.1590/S0100-06832001000100024
- Viera, M., Schumacher, M. V., & Liberalesso, E. (2011). Crescimento e produtividade de povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41, 415-421. DOI: 10.5216/pat.v41i3.10760
- Zanine, A. D. M., & Santos, E. M. (2004). Competição entre espécies de plantas – uma revisão. *Revista da FZVA*, 11(1), 10-30.

Índice Remissivo

A

Amazônia, 20, 21, 22, 23, 28, 29, 31

C

Competição vegetal, 121

D

Distúrbios fisiológicos, 76

E

Eucalyptus, 61, 62, 63, 67, 69, 70, 71

Eucalyptus sp, 76, 77

Expressão Gênica, 83

G

Genes endógenos, 62

Genótipos, 39, 41, 42, 46

Germinação, 56

M

Muntingia, 20, 21, 23, 26

N

Normalização, 64

P

Parkia multijuga, 28, 29, 31, 32, 33, 34

Parque, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 34

Plantio consorciado, 107

Porcentagem de massa seca, 49, 50, 51

R

RT-qPCR, 77, 80, 81, 83, 84

S

Semiárido, 53

Soil and Water Assessment Tool (SWAT), 6

V

Variable Infiltration Capacity (VIC), 6, 8

Sobre os organizadores



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós-Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 237 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 131 resumos simples/expandidos, 86 organizações de e-books, 53 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 23 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto II na UEMA em Balsas. Contato: alan_zuffo@hotmail.com.



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante (2018-2022) na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Professor substituto (2023-Atual) na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia, MS, Brasil. Atualmente, possui 159 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 64 organizações de e-books, 46 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora, e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: j51173@yahoo.com



  **Bruno Rodrigues de Oliveira**

Graduado em Matemática pela UEMS/Cassilândia (2008). Mestrado (2015) e Doutorado (2020) em Engenharia Elétrica pela UNESP/Ilha Solteira. Pós-doutorado pela UFMS/Chapadão do Sul na área de Inteligência Artificial aplicada na Engenharia Florestar/Agronômica. É editor da Pantanal Editora e da Revista Trends in Agricultural and Environmental Sciences e Analista no Tribunal de Justiça de Mato Grosso do Sul. Tem experiência nos temas: Matemática, Processamento de Sinais via Transformada Wavelet, Análise Hierárquica de Processos, Teoria de Aprendizagem de Máquina e Inteligência Artificial, com ênfase em aplicações nas áreas de Engenharia Biomédica, Ciências Agrárias e Organizações Públicas. Contato: bruno@editorapantanal.com.br



Pantanal Editora
Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br