

Composições de Substratos e Seus Efeitos no Crescimento e Fisiologia de Mudanças de Teca

Compositions of Substrates and Their Effects on Growth and Physiology of Teak Seedlings

Cristiane Ramos Vieira^{*a}; Maicon Marinho Vieira Araújo^b; Joás dos Santos Soares^b; Patrícia Paz da Costa^a; Rosângela Araújo Botelho^a; Rosângela Natalina Zattar da Silva^a

^aUniversidade de Cuiabá, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais. MT, Brasil.

^bUniversidade de Cuiabá, Faculdade de Agronomia. MT, Brasil.

*E-mail: cris00986@hotmail.com

Resumo

Para estabelecer plantios florestais, há que se atentar para a produção de mudas, que também deve ser de qualidade. Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar algumas combinações entre substrato comercial, solo, e diferentes materiais orgânicos, e seus efeitos no crescimento e fisiologia de mudas de teca (*Tectona grandis*). O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com os tratamentos: T1 – 100% solo (solo nativo); T2 – 100% substrato comercial (SC); T3 – 50% solo + 25% resíduo bovino (RB) + 25% resíduo de aves (RA); T4 – 50% solo + 25% RB + 25% resíduo suíno (RS); T5 – 25% SC + 25% solo + 10% RA + 20% RB + 20% RS; T6 – 25% SC + 25% solo + 10% RS + 20% RA + 20% RB; T7 – 25% SC + 25% solo + 25% RS + 25% RB; T8 – 25% SC + 25% solo + 25% RS + 25% RA. Ao final de 90 dias, foram obtidas informações a respeito das características morfológicas e características fisiológicas das mudas, verificando-se que, a condição do tratamento 8 foi a mais favorável porque permitiu a obtenção de mudas de melhor qualidade. Esse resultado foi influenciado pela taxa líquida fotossintética, condutância estomática e concentração intrínseca de CO₂ das plantas, em condições adequadas.

Palavras-chave: *Tectona grandis*. Resíduos Orgânicos. Produção de Mudanças. Adubação.

Abstract

In order to establish forest plantations, it is necessary to pay attention to the production of seedlings, which must also be of quality. Therefore, this study aimed to evaluate combinations between commercial substrate, soil, and different organic materials, and their effects on the growth and physiology of teak (*Tectona grandis*) seedlings. The experiment was carried out in a completely randomized design, with the treatments: T1 – 100% soil (S - native soil); T2 – 100% commercial substrate (SC); T3 – 50% soil + 25% bovine residue (RB) + 25% poultry residue (RA); T4 – 50% solo + 25% RB + 25% swine residue (RS); T5 – 25% SC + 25% solo + 10% RA + 20% RB + 20% RS; T6 – 25% SC + 25% solo + 10% RS + 20% RA + 20% RB; T7 – 25% SC + 25% solo + 25% RS + 25% RB; T8 – 25% SC + 25% solo + 25% RS + 25% RA. At the end of 90 days, information was obtained about the morphological and physiological characteristics of the seedlings, verifying that the condition of treatment 8 was the most favorable because it allowed the obtainment of quality seedlings. This result was influenced by the liquid photosynthetic rate, stomatal conductance and intrinsic CO₂ concentration of the plants, under suitable conditions.

Keywords: *Tectona grandis*. Organic Residues. Seedlings Production. Fertilization.

1 Introdução

A *Tectona grandis* L.f., vulgarmente conhecida como teca, é uma árvore de grande porte, originária das regiões sul e sudeste do continente asiático e tem significativo reconhecimento no setor florestal mundial (LEMOS *et al.*, 2019). Segundo Ibá (2017), no Brasil, as maiores áreas plantadas de teca estão nas regiões Norte e Centro-Oeste, com destaque para Mato Grosso, onde se situa 75% dos plantios. O principal interesse pela espécie está na madeira, muito apreciada pelas suas características de durabilidade, beleza e resistência (DIAS *et al.*, 2018). Trata-se de um produto de exportação que garante retornos financeiros consideráveis.

No entanto, anteriormente à produção madeireira, há que se preocupar com o plantio, que precisa ser realizado com mudas de qualidade. De acordo com Pinho *et al.* (2018), durante a formação de mudas no viveiro, destaca-se

a importância dos recipientes e substratos adequados, que influenciam na qualidade, crescimento e no custo de produção das mudas. Portanto, outro procedimento que influencia no crescimento das mudas e na sua qualidade, é a composição do substrato (CARDOZO; PINHÃO NETO, 2021), cujas características físicas e químicas devem ser compatíveis com aquelas requeridas pela espécie que se pretende produzir.

Nesse sentido, pode-se citar os resíduos orgânicos, cujo emprego como substrato se tornou, ao longo dos últimos anos, uma das alternativas mais viáveis (VIEIRA *et al.*, 2015). Trazzi *et al.* (2013) estudaram a utilização de resíduos orgânicos no crescimento de teca e verificaram que as mudas produzidas em substratos formulados com cama de frango apresentaram os maiores ganhos biométricos. Enquanto, Caldeira *et al.* (2012) testaram doses de biofóssido no crescimento da teca e recomendaram a utilização de 60% de biofóssido associado ao substrato comercial.

O emprego de resíduos orgânicos de fácil aquisição pode ser uma forma de minimizar os custos com a produção de mudas de espécies florestais. Além de garantir uma utilização ambientalmente correta para esses resíduos e evitar que sejam despejados diretamente ao solo provocando contaminações. No entanto, antes da sua utilização, há que se testar doses ou composições mais propícias para o crescimento das mudas, devido à carga nutricional que esses resíduos possuem.

Portanto, é possível afirmar que, o crescimento das mudas pode ser influenciado pelo tipo de substrato. Isso pode ser observado analisando tanto as suas características morfológicas, quanto as suas características fisiológicas. De acordo com Mondini *et al.* (2019), as alterações funcionais nas plantas pela aplicação de diferentes adubos podem ser investigadas por meio de ferramentas não destrutivas envolvidas direta ou indiretamente ao processo fotossintético. Isso se faz necessário, não só pela redução de custos, mas por, possivelmente, contribuir para a diminuição das mortes de mudas nos primeiros dias após o transplante, principalmente em períodos de seca. Segundo Oliveira *et al.* (2021) o conhecimento sobre o comportamento fisiológico e morfológico de muitas outras espécies nativas ainda é incipiente, necessitando de estudos que possam subsidiar a produção de mudas de boa qualidade física e nutricional.

Por isso, alguns pesquisadores têm se dedicado à determinação das melhores composições de substratos para a produção de mudas. Como são os casos de Navroski *et al.* (2016), para a produção de mudas de *Eucalyptus dunnii*; Sousa *et al.* (2016) para o *Enterolobium contortisiliquum*. Cabreira *et al.* (2017) em pesquisas com espécies florestais nativas da Floresta Atlântica; e Pinho *et al.* (2018) para produção de mudas de *Dipteryx alata*. Porém, pouco se observa a respeito de como que esses substratos podem afetar a fisiologia da planta e, dessa forma, o seu crescimento.

Diante disso, a presente pesquisa foi realizada com

o objetivo de avaliar diferentes combinações entre solo, substrato comercial e materiais orgânicos, na formação de substratos capazes de melhorar a qualidade das mudas de teca, tanto em relação às suas características morfológicas quanto às suas características fisiológicas.

2 Material e Métodos

O experimento foi realizado na casa de vegetação da Faculdade de Agronomia da Universidade de Cuiabá (UNIC), situada no campus Beira Rio I, em Cuiabá – MT, nas coordenadas 15°37'28"S e 56°05'11"O. O clima predominante da região é o tropical de savana, segundo classificação de Köppen.

As mudas de teca foram produzidas a partir de sementes, germinadas em solo, em condições naturais, próximos às árvores plantadas, com idade de 10 anos, pertencente à Empaer (Empresa Mato-Grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural) de Cáceres – MT. Para a produção das mudas, apenas o solo foi utilizado, não houve aplicação de adubos. Essas mudas foram doadas pela instituição, já com altura média de 15 cm e, em seguida, transplantadas para os tratamentos que foram testados no presente estudo.

O solo utilizado no experimento foi coletado em área de vegetação nativa, pertencente ao Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT) de São Vicente da Serra. Essa coleta foi realizada na camada de 0-20 cm de profundidade, em seguida, este solo foi colocado em sacolas e transportado para a casa de vegetação da UNIC, Beira Rio I. O solo foi espalhado em superfície e deixado para secar a temperatura ambiente, posteriormente, destorroado e peneirado. Deu-se preferência pela coleta desse solo porque este já está classificado, se trata de um Latossolo Vermelho distrófico com textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2013). Suas características químicas iniciais estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Características químicas do solo

pH	H+Al	Al	Ca+Mg	K	P	SB	T	t	V	m
CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			%	
4,50	6,25	0,25	2,59	70,20	1,43	2,77	9,02	3,02	30,71	8,28

pH em CaCl₂ – relação 1:2,5; H+Al – em acetato de cálcio; Al, Ca, Mg – em KCl 1N; P e K – em Mehlich; SB – soma de bases; T – capacidade total de troca de cátions; t – capacidade efetiva de troca de cátions; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio.

Fonte: Dados da pesquisa.

O resíduo bovino foi coletado em área localizada no Parque de Exposições Jonas Pinheiro, pertencente à Associação dos Criadores de Mato Grosso - ACRIMAT, em Cuiabá - MT. O resíduo foi coletado *in natura* e, posteriormente, foi colocado para secagem, destorroamento, peneiramento e curtimento, por um período de 30 dias, antes de ser utilizado para compor os substratos testados.

O esterco de aves foi adquirido em área de viveiro, de forma comercial. De acordo com o fornecedor, esse produto possui as seguintes garantias: Nitrogênio total – 1%; pH – 5,5; CTC – 20 cmol_c dm⁻³; Carbono orgânico total – 40%,

considerado um fertilizante orgânico simples, de classe “A”.

O substrato comercial utilizado, conforme fabricante, possui a seguinte composição: esterco de aves com calcário, cascas processadas e decompostas e vermiculita expandida.

O dejetos de suíno foi coletado em área didática de criação de suíno do IFMT de São Vicente da Serra, correspondente à uma mistura de todas as fases de criação do animal.

As mudas foram transplantadas para as sacolas plásticas de 30x40 cm, com capacidade para dois quilos, previamente preenchidas com as combinações de materiais a serem testadas no estudo. Os tratamentos testados foram dispostos

em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, a saber: T1 – 100% solo (solo nativo); T2 - 100% substrato comercial; T3 – 50% solo + 25% resíduo bovino + 25% resíduo de aves; T4 – 50% solo + 25% resíduo bovino + 25% resíduo suíno; T5 – 25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo de aves + 20% resíduo bovino + 20% resíduo suíno; T6 – 25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo suíno + 20% resíduo de aves + 20% resíduo bovino; T7 – 25% substrato comercial + 25 % solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo bovino; T8 – 25% substrato comercial + 25 % solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo de aves.

Após transplante, esperou-se por um período de 15 dias para estabelecimento das mudas nas novas condições. Transcorridos esses 15 dias, as mudas foram medidas em altura e diâmetro e, em seguida, iniciou-se a contagem do período de análise dos efeitos dos substratos no crescimento das mudas de teca. Nesse momento, as mudas permaneceram sob irrigação diária pela manhã e tarde, para manter sua capacidade de campo.

Finalizados os 90 dias, as mudas foram medidas em altura (H), com régua graduada, desde a superfície do solo até a última folha e seus valores foram representados em cm; em diâmetro (DC, em mm), com paquímetro digital, cuja medição foi realizada na região do colo de cada muda.

Anteriormente à retirada das mudas para as análises de biomassa da parte aérea, essas foram submetidas às medições para obtenção das informações a respeito de suas características fisiológicas.

As características fisiológicas foram avaliadas em três plantas ainda vivas, de cada tratamento, sendo: a taxa fotossintética líquida (A), a taxa transpiratória (E), a condutância estomática (gs) e a concentração intercelular de CO₂ (Ci). A eficiência intrínseca no uso de água (EIUA) foi obtida pela relação A/gs. Essas características foram medidas com o auxílio de um sistema portátil de medição de fotossíntese, modelo LI-6400 XP (LI-COR, Lincoln, NE, EUA). Para as medições, o aparelho foi ajustado para a temperatura de 28°C, umidade relativa de 60% e densidade de

fluxo fotossinteticamente ativo de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Foram realizadas na primeira ou segunda folha totalmente expandida, a partir do ápice caulinar (geralmente a quarta ou quinta folha), exposta à radiação solar e sem comprometimento fitossanitário. E, ocorreram no período diurno, entre 07:00 e 11:00 h (horário local), registrando-se os valores apenas após a estabilidade da gs.

Em seguida, as mudas foram retiradas do substrato, a parte aérea de cada muda foi retirada e levada para secagem em estufa sob circulação forçada de ar a 65 °C, por 48 horas, quando atingiu peso constante. Com isso, foi possível obter a massa seca da parte aérea (MSPA) que foi determinada em balança semi-analítica. Após obtenção da MSPA, as folhas foram retiradas e moídas, em moinho do tipo Wiley e, o material resultante foi submetido à digestão sulfúrica para a análise do teor de N, utilizando o método de Kjeldahl, segundo recomendação de Malavolta *et al.* (1997). Além dessas características morfológicas foi obtida a relação entre altura e diâmetro (H/DC) das mudas de teca.

Para a análise estatística das características morfológicas altura e diâmetro, obteve-se o incremento, efetuando-se a subtração do crescimento final pelo crescimento inicial das mudas. Os dados foram interpretados por meio da análise de variância e a comparação de médias foi realizada pelo método de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro utilizando o programa estatístico SISVAR, após constatação da normalidade dos dados.

3 Resultados e Discussão

3.1 Características morfológicas e teores de N nas mudas de teca após 90 dias

A altura (H), o diâmetro de colo (DC), a relação H/D, a produção de massa seca na parte aérea (MSPA) e o teor de N nas folhas das mudas de teca, após crescimento em diferentes combinações entre solo, substrato comercial e material orgânico, estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - H (cm), DC (mm), MSPA (g), relação H/D e teor de N em mudas de teca após crescimento em diferentes substratos

Tratamento	H	DC	MSPA	H/D	N
T1	18,75 bc	2,99 cd	10,18 d	6,34 a	9,31 ab
T2	7,50 c	1,00 d	5,24 e	8,03 a	8,82 abc
T3	41,75 a	3,60 bc	15,35 b	14,29 a	8,75 abc
T4	42,50 a	5,33 ab	8,66 de	8,01 a	6,58 d
T5	32,00 ab	3,67 bc	11,84 bcd	10,21 a	10,01 a
T6	37,50 a	5,87 a	15,07 bc	6,46 a	8,05 bcd
T7	34,75 a	4,63 abc	11,25 cd	7,58 a	8,33 bc
T8	37,25 a	4,66 abc	22,07 a	7,94 a	7,35 cd
CV(%)	18,78	22,68	14,05	42,4	7,88

T1 – 100% solo (solo nativo); T2 - 100% substrato comercial; T3 – 50% solo + 25% resíduo bovino + 25% resíduo de aves; T4 – 50% solo + 25% resíduo bovino + 25% resíduo suíno; T5 – 25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo de aves + 20% resíduo bovino + 20% resíduo suíno; T6 – 25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo suíno + 20% resíduo de aves + 20% resíduo bovino; T7 – 25% substrato comercial + 25 % solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo bovino; T8 – 25% substrato comercial + 25 % solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo de aves. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo método de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa.

O incremento em altura foi superior em todos os tratamentos em que se utilizou resíduo orgânico para a composição do substrato, em comparação com os tratamentos 1 (100% solo) e 2 (100% substrato comercial). Esse incremento se destacou em plantas submetidas aos tratamentos 3 (50% solo + 25% resíduo bovino + 25% resíduo de aves), 4 (50% solo + 25% resíduo bovino + 25% resíduo suíno), 6 (25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo suíno + 20% resíduo de aves + 20% resíduo bovino), 7 (25% substrato comercial + 25% solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo bovino) e 8 (25% substrato comercial + 25% solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo de aves); os quais apresentaram-se como semelhantes, de acordo com as análises estatísticas aplicadas. Sendo que, as mudas no substrato comercial apresentaram o menor crescimento em 90 dias. Marques *et al.* (2018) também observaram mudas de menor qualidade quando o substrato foi composto apenas pelo substrato comercial, para a *Eugenia uniflora*.

O incremento em altura foi 55% e 82% superior no tratamento 3; 56% e 83% no tratamento 5; 50% e 80% no tratamento 8; 46% e 78% no tratamento 10 e; 49% e 80% no tratamento 11; em relação aos tratamentos 1 e 2, respectivamente. Comprovando-se, dessa forma, que os resíduos orgânicos favoreceram o crescimento em altura da teca. Isso pode estar relacionado ao fato de os resíduos orgânicos serem fontes potenciais de nutrientes, que são liberados de forma gradativa para as plantas, e ainda, porque estes melhoram as condições físicas como a aeração e porosidade do substrato. Além de aumentar a diversidade dos microrganismos presentes nesses substratos.

Para Marques *et al.* (2018), o crescimento das mudas de *E. uniflora* mais favorável em substratos contendo material orgânico pode ser em função dos teores de nutrientes disponibilizados. Neste caso, os autores constataram que, ao utilizar o resíduo orgânico, seria desnecessário aplicar adubos minerais, corroborando mais uma das vantagens da utilização dos resíduos orgânicos na constituição dos substratos.

Outra característica morfológica é o diâmetro de colo (DC) que, no presente caso, foi superior no tratamento 6 (25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo suíno + 20% resíduo de aves + 20% resíduo bovino). Neste tratamento, a média observada foi 83% superior, em relação ao tratamento 2. Porém, a média no tratamento 4 (50% solo + 25% resíduo bovino + 25% resíduo suíno) também se destacou, ficando em 5,33 mm. Esta foi 43,9% maior que a observada no tratamento 1 e, 81,2% em relação ao tratamento 2. Dados que corroboram que a adição de resíduo orgânico na composição do substrato para a produção de mudas de teca pode ser uma prática vantajosa para a espécie.

De acordo com Abreu *et al.* (2018) os nutrientes presentes na composição do bio-sólido se encontram em grande parte na forma orgânica, a liberação gradativa pode ter contribuído para a maior eficiência de utilização dos nutrientes pelas mudas, refletindo em maior crescimento, quando comparadas com o substrato comercial sob adubação mineral.

Trazzi *et al.* (2014a) estudaram substratos formulados a partir das combinações entre bio-sólido (BIO), casca de arroz carbonizada (CAC) e fibra de coco triturada (FCT) e observaram média de 35,9 cm em altura para mudas de teca produzidas em substrato contendo 60% BIO + 40% CAC, após 90 dias. Para o diâmetro, as maiores médias foram verificadas em substrato com 60% BIO + 40% FCT (7,4 mm) e de 80% BIO + 20% CAC para a produção de massa seca da parte aérea. Consta-se que, as combinações estudadas no presente experimento foram mais eficientes para o crescimento em altura das mudas de teca. Vale lembrar que, nesse experimento, analisou-se o incremento em altura e em diâmetro. O mesmo foi observado ao comparar os resultados da pesquisa com os obtidos por Trazzi *et al.* (2014b) para mudas de teca, testando combinações entre lodo de esgoto, casca de arroz e fibra de coco, em que a maior média para altura foi de 33,4 cm.

Considerando a altura e o diâmetro como as principais características morfológicas utilizadas para recomendar o plantio de uma muda, no campo, de acordo com Xavier *et al.* (2009) as mudas produzidas em qualquer um dos tratamentos em que se utilizou resíduo orgânico, estariam aptas para o plantio, já que estes autores recomendam crescimento em altura entre 20 e 40 cm e, de diâmetro em 2 mm.

A produção de MSPA também foi influenciada positivamente pela adição de resíduo orgânico ao substrato e foi superior no tratamento 8 (25% substrato comercial + 25% solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo de aves), quando atingiu média de 22,07 g. As menores médias foram observadas nos tratamentos com 100% solo (T1) e 100% substrato comercial (T2). Porém, pode-se observar que, em geral, todos os tratamentos em que se utilizou algum resíduo orgânico, apresentaram mudas com produção de massa seca da parte aérea superior a 8 g. Segundo Forrester (2013) a redução da parte aérea das plantas resulta em menor captação de recursos por meio da fotossíntese.

Os maiores teores de N foram observados no tratamento 5 (25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo de aves + 20% resíduo bovino + 20% resíduo suíno), o que não se refletiu em maior crescimento em altura, diâmetro ou, produção de massa seca. Porém, em nenhum tratamento verificou-se teores de N dentro da faixa considerada adequada por Malavolta *et al.* (1997), que é de 12 a 35 g kg⁻¹ de N para espécies florestais. O que não parece ter limitado o crescimento das mudas de teca, porque não se observou sintomas de deficiências de N e as mudas submetidas aos tratamentos com resíduos orgânicos, em geral, apresentaram crescimento e produção de massa seca superiores em relação às que foram submetidas aos tratamentos com 100% solo (T1) e 100% substrato comercial (T2). O que pode ter ocorrido em função de demanda pelo N, no momento da coleta das folhas para análise.

3.2 Análises das características fisiológicas das mudas de teca após 90 dias

Verifica-se que, a composição do substrato também

interferiu nas características fisiológicas das mudas de teca (Quadro 3), o que contribuiu para os efeitos observados no crescimento e na produção de massa seca dessas plantas.

Quadro 3 - Taxa fotossintética líquida (A, em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs, em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração intercelular de CO_2 (Ci, em $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa transpiratória (E, em $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência intrínseca no uso de água (EIUA, em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), em mudas de teca após crescimento em diferentes substratos

Tratamento	A	gs	Ci	E	EIUA
T1	3,35 c	0,029 d	208,78 b	1,59 a	123,59 a
T2	7,23 b	0,103 b	234,95 ab	2,34 a	70,42 b
T3	7,38 b	0,107 b	254,83 ab	2,45 a	69,32 b
T4	4,32 c	0,051 cd	239,76 ab	1,50 a	84,37 ab
T5	10,58 a	0,191 a	277,74 a	3,24 a	55,66 b
T6	11,59 a	0,184 a	264,65 a	3,10 a	63,35 b
T7	5,23 c	0,067 bcd	239,09 ab	2,05 a	81,29 ab
T8	8,43 b	0,095 bc	235,65 ab	2,44 a	89,55 ab
CV (%)	9,6	16,8	7,3	28,9	23,3

T1 – 100% solo (solo nativo); T2 - 100% substrato comercial; T3 – 50% solo + 25% resíduo bovino + 25% resíduo de aves; T4 – 50% solo + 25% resíduo bovino + 25% resíduo suíno; T5 – 25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo de aves + 20% resíduo bovino + 20% resíduo suíno; T6 – 25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo suíno + 20% resíduo de aves + 20% resíduo bovino; T7 – 25% substrato comercial + 25 % solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo bovino; T8 – 25% substrato comercial + 25 % solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo de aves. Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo método de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa.

As maiores taxas líquidas fotossintéticas foram observadas nos tratamentos 5 (25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo de aves + 20% resíduo bovino + 20% resíduo suíno) e 6 (25% substrato comercial + 25% solo + 10% resíduo suíno + 20% resíduo de aves + 20% resíduo bovino), provavelmente, esses resultados tiveram relação com o maior crescimento em altura em T5 e; crescimento em altura e em diâmetro em T6, principalmente, ao comparar com os resultados apresentados pelas mudas em T1 (100% solo) e em T2 (100% substrato comercial). De acordo com Taiz e Zeiger (2013) a fotossíntese é um dos principais drenos de elétrons nos cloroplastos, reduções nesse processo, podem gerar um quadro potencialmente danoso ao metabolismo celular. Isso pode ter ocorrido e comprometido o crescimento e a produção de massa nesses tratamentos.

Os demais tratamentos que se destacaram quanto ao crescimento em altura e em diâmetro, também apresentaram maiores taxas fotossintéticas. Isso porque o processo fotossintético está diretamente relacionado com a capacidade de crescimento das plantas, já que, a partir dele, a planta produz, principalmente, carboidratos, que depois serão utilizados para a produção de energia.

Em T8 (25% substrato comercial + 25 % solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo de aves), em que o crescimento e a produção de massa se destacaram, a média para a taxa líquida fotossintética foi menor que em T5 e em T6, porém, parece ter sido suficiente para que as mudas de teca, nesse tratamento, se destacassem. Demonstrando que, nem sempre, as mudas com as maiores taxas fotossintéticas são aquelas que mais crescem e/ou, produzem massa. Pode-se indicar aqui, a influência do substrato na nutrição dessas mudas como um condicionante para que este tratamento fosse melhor para o

desenvolvimento inicial da teca.

Os tratamentos 5 e 6 também apresentaram as maiores médias para a condutância estomática e para a concentração intercelular de CO_2 , o que já se esperava, pois, essas foram as condições em que ocorreu o aumento na taxa fotossintética. Porém, assim como discutido anteriormente, embora as mudas tenham apresentado as maiores médias, para essas características, nesses tratamentos, isso não indicou maior crescimento e produção de massa seca, dentre todos os tratamentos estudados. De acordo com Jones (2014) o funcionamento dos estômatos é importante tanto para a transpiração quanto para a fotossíntese, uma vez que quando abertos, permitem a assimilação de gás carbônico e a transpiração da água e ao se fecharem conservam água diminuindo o risco de desidratação, porém também reduzem a absorção de CO_2 . Portanto, a abertura dos estômatos é controlada por mecanismos complexos a fim de manter um equilíbrio entre a absorção de CO_2 e o controle da perda de vapor de água (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Dessa forma, o funcionamento dos estômatos constitui um comprometimento fisiológico, pois, quando abertos, permitem a assimilação de CO_2 e a perda de H_2O . Fechando-se, reduz a entrada de CO_2 para os sítios de carboxilação da rubisco no interior dos cloroplastos e conservam H_2O , reduzindo o risco de desidratação (TATAGIBA *et al.*, 2015). Os estômatos estão diretamente relacionados a produtividade das plantas, pois são os locais de trocas gasosas para a respiração e a fotossíntese, além de serem também os locais onde ocorre a difusão de vapores d'água na transpiração (BARBOSA *et al.*, 2019). Esses autores auxiliam, portanto, a entender por que os tratamentos que apresentaram a maior condutância estomática, também apresentaram a maior concentração de CO_2 , para as

condições do presente experimento, em que, outros fatores, como o teor de água, não foram limitantes.

Com relação à essas características, as médias em T8 foram maiores que as apresentadas na testemunha e foram suficientes para garantir maior energia para a absorção de água e dos nutrientes disponibilizados pelo substrato, se destacando, dessa forma, para a produção de mudas de teca. De acordo com Pacheco *et al.* (2021) os movimentos estomáticos regulam a entrada de CO₂ atmosférico para a fotossíntese e a saída de água via transpiração, sendo importantes na regulação da eficiência do uso da água (razão entre a assimilação de CO₂ e a perda de água via transpiração). Desta forma, é responsável pela eficiência do processo fotossintético e consequentemente da produção vegetal.

No presente caso, para os tratamentos citados (T5, T6 e T8), essas características parecem se manter em equilíbrio, já que não se observou comprometimento na condutância estomática, na concentração de CO₂ e na taxa transpiratória, que pudesse reduzir a taxa fotossintética. Indicando que os substratos, nesses casos, apresentaram características físicas que favoreceram, como consequências as características fisiológicas das plantas.

Quanto à taxa transpiratória, não se observou diferença entre as médias, porém, essas apresentam tendência de aumento, principalmente em T5, T6 e T8, sendo este aumento de 50,9%; 48,7%; e 34,8%; respectivamente. Segundo Ronchi *et al.* (2015), à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, os valores da taxa transpiratória decrescem, como resultado do fechamento dos estômatos. Esse é um dos importantes mecanismos de defesa que as plantas apresentam contra as perdas exageradas de água e eventual morte por dessecação (TAIZ; ZEIGER, 2013). No entanto, a transpiração é necessária, por propiciar o transporte ascendente de nutrientes e compostos orgânicos, evitar o aquecimento foliar através da dissipação de calor latente, e possibilitar a absorção de CO₂ (LIMA *et al.*, 2014).

A eficiência intrínseca no uso de água foi maior na testemunha (100% solo), o que se trata de uma forma das mudas de se adaptarem à condição desfavorável nesse tratamento. Nesse caso, ocorre aumento na eficiência no uso em função da menor taxa fotossintética, condutância estomática e concentração de CO₂, para que assim, as plantas percam menos água. A eficiência no uso da água (EUA) relaciona o somatório de biomassa acumulada pela unidade de água utilizada. Fisiologicamente isso pode ser definido como a relação entre a taxa de carbono assimilada pela planta através da fotossíntese (*A*) e a quantidade de água perdida através da transpiração (*E*) (JACINTO *et al.*, 2019).

Para os tratamentos 5 e 6, as médias apresentadas foram, algumas das menores médias observadas. Enquanto, para T8, a média foi maior que na testemunha (embora, menor que as verificadas em T5 e em T6), demonstrando que, nesse caso, as condições desses tratamentos, não afetaram a disponibilização de água do substrato para a planta.

Salienta-se que quanto menor a disponibilidade de água menor também será o grau de abertura estomática para reduzir a perda d'água; consequentemente, a eficiência intrínseca no uso da água é maior, para manter o mínimo de equilíbrio hídrico (SILVA *et al.*, 2015). De acordo com Taiz *et al.* (2017), os estômatos respondem neutralizando as alterações impostas pelo balanço entre o suprimento de água e a demanda evaporativa. Dessa forma, uma redução na umidade atmosférica resulta numa perda de *status* do potencial hídrico; entretanto os estômatos respondem reduzindo a abertura do poro estomático, que restringe a perda de água.

Isso pode ter ocorrido porque, em uma condição em que o substrato é formado apenas pelo solo, sendo este, de característica franco-arenosa, a permeabilidade da água se faz com maior rapidez, dessa forma, o solo seca com mais facilidade que nas condições em que existe material orgânico compondo o substrato. Já que, dentre as vantagens da utilização de matéria orgânica, como um dos componentes do substrato, está a retenção de água.

4 Conclusão

A utilização de materiais orgânicos, oriundos da criação animal, influenciou positivamente, no crescimento das mudas de teca.

A condição do tratamento 8 (25% substrato comercial + 25 % solo + 25% resíduo suíno + 25% resíduo de aves) foi mais favorável para a obtenção de mudas de teca.

Referências

- ABREU, A.H.M. *et al.* Biossólido e substrato comercial na produção de mudas de *Schinus terebinthifolia*. *Pesq. Flor. Bras.*, v.38, p.1-10, 2018. doi: 10.4336/2018.pfb.38e201501066.
- BARBOSA, L.C.; PORTO, S.M.; BERTOLDE, F.Z. Análise estomática de duas espécies arbóreas nativas de Mata Atlântica. *Rev. Pind.*, v.8, n.8, p.1-9, 2019.
- CABREIRA, G.V. *et al.* Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. *Flor.*, v.47, n.2, p.165-176, 2017. doi: 10.5380/rf.v47i2.44291
- CALDEIRA, M.V.W. *et al.* Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. *Flor.*, v.42, n.1, p.77-84, 2012. doi: 10.5380/rf.v42i1.26302
- CARDOZO, L.V.F.; PINHÃO NETO, M.V. Fibra de coco na composição de substrato para produção de mudas de mamoeiro. *Rev. Bras. Agrop. Suste.*, v.11, n.1, p.246-251, 2021. doi: doi.org/10.21206/rbas.v11i1.11588
- DIAS, A.C.C. *et al.* Relação entre a densidade básica e as retrações em madeira de teca. *Cie. Mad.*, v.9, n.1, p.37-44, 2018. doi: 10.12953/2177-6830/rm.v9n1p37-44.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- FORRESTER, D.I. Growth responses to thinning, pruning and fertilizer application in *Eucalyptus* plantations: a review of their production ecology and interactions. *For. Eco. Man.*, v.310, p.336-347, 2013.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. *Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de*

2016. Brasília: Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios, 2017.
- JACINTO JUNIOR, S.G. *et al.* Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. *Rev. Bras. Met.*, v.34, n.3, p.413-422, 2019. doi: 10.1590/0102-7786343047.
- JONES, H.G. *Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology.* United Kingdom: Cambridge University Press, 2014.
- LEMOS, J.A.S. *et al.* Influência do método de propagação na produção e qualidade da madeira de *Tectona grandis*. *Adv. For. Sci.*, v.6, n.3, p.761-765, 2019. doi: 10.34062/afs.v6i3.8183.
- LIMA, P.R. *et al.* Avaliação morfofisiológica em mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos durante a rustificação. *Flor. Amb.*, v.21, n.3, p.316-326, 2014. doi: 10.1590/2179-8087.058813
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.* Piracicaba: Potafos, 1997.
- MARQUES, A.R.F. *et al.* Produção e qualidade de mudas de *Eugenia uniflora* L. em diferentes substratos. *Amb.*, v.14, n.1, p.44-56, 2018.
- MONDINI, D.P.S. *et al.* Características fisiológicas de mudas de *Eucalyptus* sp. sob diferentes concentrações de potássio. *Rev. Agr.*, v.12, n.43, p.40-47, 2019. doi: 10.30612/agrarian.v12i43.4065
- NAVROSKI, M.C. *et al.* Efeito do volume do tubete e doses de fertilizantes no crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Rev. Agr.*, v.9, n.31, p.26-33, 2016.
- OLIVEIRA, V.P. *et al.* Desenvolvimento e qualidade de mudas de *Parkia gigantocarpa* Ducke (Fabaceae) em função de fertilizante de liberação controlada. *Sci. Ple.*, v.17, n.9, p.1-10, 2021. doi: 10.14808/sci.plena.2021.090201.
- PACHECO, F.V. *et al.* Metabolismo relacionado com a fisiologia dos estômatos. *Enc. Biosf.*, v.18, n.36, p.186-206, 2021.
- PINHO, E.K.C. *et al.* Substratos e tamanhos de recipiente na produção de mudas de baruzeiro (*Dipteryx alata* Vog.). *Cienc. Agr.*, v.16, n.1, p.11-19, 2018. doi: 10.28998/rca.v16i1.4303
- RONCHI, C.P. *et al.* Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. *Pesq. Agrop. Bras.*, v. 50, n. 1, p. 24-32, 2015. doi: 10.1590/S0100-204X2015000100003
- SILVA, F.G. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.*, v.19, n.10, p.946-952, 2015. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p946-952
- SOUSA, H.S. *et al.* Substratos no desenvolvimento de *Enterolobium contortisiliquum*. *Rev. Univ. Val. Rio Ver.*, v.14, n.2, p.1093-1100, 2016.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal.* Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TAIZ, L. *et al.* *Fisiologia vegetal e desenvolvimento vegetal.* Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J.E.M.; REIS, E.F. Fotossíntese em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. *Eng. Agr.*, v.23, n.4, p.336-345, 2015. doi: 10.13083/reveng.v23i4.573
- TRAZZI, P.A. *et al.* Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). *Cienc. Flor.*, v.23, n.3, p.401-409, 2013. doi: 10.5902/1980509810551
- TRAZZI, P.A. *et al.* Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com bio-sólido. *Cer.*, v.20, n.2, p.293-302, 2014a. doi: 10.1590/01047760.201420021134
- TRAZZI, P.A. *et al.* Crescimento e nutrição de mudas de *Tectona grandis* produzidas em substratos orgânicos. *Sci. For.*, v.42, n.101, p.49-56, 2014b. doi: 10.18671/scifor.v46n120.16
- VIEIRA, C.R.; WEBER, O.L.S. Avaliação de substratos na produção de mudas de jatobá. *Rev. Cie. Amb.*, v.9, n.1, p. 145-158, 2015. doi: 10.18316/1981-8858.17
- XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. *Silvicultura clonal: princípios e técnicas.* Viçosa: UFV, 2009.