

Avaliação da tolerância à redução hídrica: estudo de alterações morfológicas em plântulas de ipê-amarelo

Assessment of water reduction tolerance: study of morphological changes in ipê-amarelo seedlings

Jasmine Áurea da Silva Campos^{a*}, Bruno Ayrton de Souza Aguiar^a, Bruno Gabriel Mendes Rodrigues^a, Clarissa Gomes Reis Lopes^a, Maria Jaislanny Lacerda e Medeiros^a

^a Universidade Federal do Piauí-UFPI, Laboratório de Ecofisiologia e Biologia da Conservação-LEBCon. Campus Universitário Ministro Petrônio Portella, Ininga, Teresina, Piauí, Brasil. CEP: 64.049-550. E-mail: mineaurea@hotmail.com, bruno_ayron@hotmail.com, mendesbrunog@hotmail.com, clarissa-lobes@hotmail.com, jaislanny@ufpi.edu.br.

ARTICLE INFO

Recebido 19 Set 2023
Aceito 24 Nov 2024
Publicado 24 Dez 2024

ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region features vegetation adapted to water deficit due to irregular rainfall patterns, high temperatures, and intense solar radiation. The lack of water in the soil is one of the main factors determining plant establishment, especially during the initial stages of their development. In this context, the aim was to assess morphological changes in the yellow ipê tree, *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose, and seedlings growing under water deficit conditions, using seeds collected from preserved and anthropized areas. To achieve this, seeds from two areas were collected and germinated to obtain seedlings. Subsequently, the seedlings were subjected to different water regimes based on field capacity (FC), with T100 = 100% FC, T75 = 75% FC, T50 = 50% FC, and T25 = 25% FC, to evaluate morphological changes. The results indicated that yellow ipê tree seedlings from both environments can adapt or adjust to water deficit conditions, with city seedlings capable of adopting more effective strategies against these stressful conditions, accelerating growth, and maintaining significant leaf production. The greatest plasticity was found in leaf production in both environments, with the most significant variation in height and the lowest plasticity in stem and leaf water content and diameter. Therefore, the ability of yellow trumpet trees to adapt to stressful conditions suggests that seeds retain memories of the characteristics of the "mother plant."

Keywords: Arboreal, phenotypic plasticity, plant memory, water deficit.

RESUMO

A região semiárida brasileira apresenta uma vegetação condicionada ao déficit hídrico devido ao regime de chuvas irregular, altas temperaturas e intensa radiação solar. A falta de água no solo é um dos principais fatores que determinam o estabelecimento dos vegetais, principalmente nas fases iniciais do seu desenvolvimento. Nesse contexto, objetivou-se avaliar as alterações morfológicas em plântulas de ipê-amarelo, *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose, crescendo sob déficit hídrico, a partir de sementes coletadas em áreas conservada e antropizada. Para tanto, sementes de duas áreas foram coletadas e germinadas para a obtenção de mudas. Em seguida, as plântulas foram submetidas a diferentes regimes hídricos, conforme a capacidade de campo (CC), sendo T100 = 100% CC, T75 = 75% CC, T50 = 50% CC e T25 = 25% CC, para avaliação das alterações morfológicas. Com isso, os resultados indicaram que as plântulas de ipê-amarelo de ambos os ambientes possuem capacidade de adaptação ou ajuste sob condições de déficit hídrico, sendo as plântulas da cidade capazes de adotar estratégias mais eficazes contra essas condições estressantes, acelerando o crescimento e mantendo



Journal of Environmental Analysis and Progress © 2016.
is licensed under CC BY-NC-SA 4.0.

uma significativa produção foliar. A maior plasticidade encontra-se na produção de folhas nos dois ambientes, a variação mais significativa na altura e as menores plasticidade no teor de água no caule e nas folhas e o diâmetro. Portanto, a capacidade do ipê-amarelo de se ajustar a condições estressantes sugere que as sementes conservam memórias das características da “planta-mãe”.

Palavras-Chave: Arbórea, déficit hídrico, memória vegetal, plasticidade fenotípica.

Introdução

Na região semiárida brasileira, a vegetação está condicionada ao déficit hídrico, decorrente da irregularidade das chuvas, altas temperaturas e intensa radiação solar, o que torna esse ambiente único e, consequentemente, faz com que as espécies vegetais apresentem atributos ajustados e adaptados a esta condição (Trovão et al., 2007). O déficit hídrico é uma situação comum no cultivo de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial para as plantas, alterando as taxas fotossintéticas e, por conseguinte, modificando a produção de fotoassimilados (Peak & Mott, 2011). As plantas dessa região são tolerantes às condições de seca do ambiente e suportam de seis a 10 meses de estiagem, logo, utilizam estratégias ecofisiológicas para permitir a eficiência fotossintética e o uso eficiente da água (Santos et al., 2014). Dessa forma, a água no solo atua como um dos principais fatores determinantes para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, constituindo um importante mecanismo de seleção para a evolução, a sobrevivência e a distribuição dos vegetais (Hanson et al., 1982).

O crescimento das plantas é muito sensível às condições hídricas, sendo a carência de água o fator que produz respostas mais rápidas, quando comparado a qualquer outro fator ambiental capaz de provocar situações de estresse, pois a fase de alongamento celular depende de sua absorção (Taiz et al., 2017). Portanto, os indivíduos necessitam se adaptar à essa condição para aumentar a chance de sobrevivência e perpetuar a espécie. Desse modo, as alterações na disponibilidade de recursos, como a água, podem induz as plantas a responderem por meio de mudanças fenotípicas (Nicotra et al., 2010). A plasticidade fenotípica refere-se à capacidade de um indivíduo, com determinado genótipo, para expressar traços funcionais variados, de acordo com as diferentes condições ambientais às quais está submetido (Forsman, 2015). Essas mudanças podem ser morfofisiológicas e anatômicas, funcionando como resposta adaptativa funcional necessária para a sobrevivência e perpetuação das plantas no ambiente (Valladares et al., 2006; Soares, 2012).

A plasticidade fenotípica não é somente uma resposta da planta inteira, mas individuais ou em conjunto dos módulos, seja esta a propriedade

dos meristemas, folhas, galhos e raízes, desencadeada por condições ambientais locais (Kroon et al. 2005). Tais respostas modulares são plásticas e podem contribuir para que as espécies se estabeleçam e habitem ambientes distintos (Gratani, 2014).

Os efeitos da antropização impõem uma força seletiva adicional sobre a biodiversidade em ambientes urbanos, promovendo respostas adaptativas que se manifestam por meio de características plásticas associadas ao crescimento, à reprodução e à sobrevivência das espécies (Sotillo et al., 2024). Adicional a este fator, os impactos resultantes das mudanças climáticas sobre os padrões irregulares de precipitação e temperaturas extremas, sobretudo a seca, vêm ganhando destaque devido aos efeitos provocados pelos estresses abióticos (Santos et al., 2014). Muitos dos fatores abióticos são, parcialmente ou totalmente, alterados com as mudanças entre áreas urbanas e áreas conservadas, sendo a temperatura um dos fatores que apresenta aumento, dependendo do nível de urbanização (Ziska et al., 2003).

As áreas conservadas, na zona rural, apresentam temperaturas mais baixas e umidade relativa do ar mais alta, quando comparadas às áreas antropizadas, na zona urbana (Alves & Vecchia, 2012), que apresentam temperaturas mais altas e umidade relativa do ar mais baixa. Na Região Nordeste do Brasil existem diversas espécies vegetais nativas que são conhecidas e utilizadas pela população, havendo a necessidade de obter informações básicas sobre o cultivo e a ecologia dessas espécies, considerando seus potenciais usos na recuperação de áreas degradadas e na recomposição da paisagem natural (Araújo Neto, Aguiar & Ferreira, 2003).

À vista disso, o estudo objetiva obter informações sobre as alterações nas características morfológicas em plântulas de *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose (Bignoniaceae), conhecida popularmente como ipê-amarelo em resposta ao déficit hídrico, a fim de avaliar sua tolerância a diferentes regimes hidrológicos. Ademais, mostra-se necessário reforçar os estudos acerca dos efeitos da seca em espécies nativas para melhor compreensão dos processos responsáveis pela persistência das plantas em um regime climático cada vez mais sujeito à

mudança, gerando dados que auxiliem na conservação dessas espécies.

Diante do exposto, a pesquisa avaliou as alterações morfológicas em plântulas de ipê-amarelo crescendo sob déficit hídrico, a partir de sementes coletadas em áreas conservada e antropizada, de forma a responder as seguintes questões: 1. Qual regime hídrico influencia mais negativamente o crescimento das plantas? 2. Qual característica morfológica sofre mais alteração em relação à falta de água? 3. Qual a característica fenotípica mais plástica entre ambientes conservado e antropizado sob déficit hídrico? 4. Plantas provenientes da floresta toleram mais o déficit hídrico quando comparadas às de área antropizada?

Material e Métodos

Coleta das sementes

As sementes de ipê-amarelo foram coletadas entre os meses de setembro a novembro, período de maturação dos frutos, sendo realizada manualmente em duas áreas distintas. Em ambiente conservado, a coleta foi realizada em 10 indivíduos na FLONA - Floresta Nacional de Palmares (05°03'30"S e 42°35'47"W), no município de Altos (PI). A FLONA possui uma área de 170 hectares com uma vegetação de floresta estacional semidecídua (Lopes, 2007). Na área antropizada, a coleta foi realizada em 10 indivíduos na Avenida João XXIII (5°44'1.659"S e 42°45'0.120"W), na cidade de Teresina/Piauí.

Plantio e germinação

O experimento foi conduzido no Laboratório de Ecofisiologia e Biologia da Conservação (LEBCon), localizado no *Campus* Ministro Petrônio Portella, Teresina/PI, latitude 05°05'S; longitude 42°49'O e altitude 75 m. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, a região apresenta clima tropical do tipo quente e úmido (Aw') (Jacomine et al., 1986), com médias anuais de precipitação de 1.393,2 mm e temperatura de 27,7°C, possuindo duas estações bem definidas, uma chuvosa (dezembro a maio) e outra seca (junho a novembro).

Aleatoriamente, escolheu-se 200 sementes por área, as quais foram utilizadas para avaliar a germinabilidade. A sementeira foi realizada a partir da mistura de terra vegetal e vermiculita, na proporção de 1:1. Posteriormente, oito bandejas foram identificadas, de acordo com a região, sendo quatro para a área florestal e quatro para a área antropizada. De um modo geral, após o plantio, as sementes foram regadas todos os dias, ou quando necessário, dependendo da umidade do ambiente e do substrato. Diariamente, a

emergência das plântulas foi analisada, adotando-se como base o surgimento da parte aérea na superfície do substrato. Ademais, foram calculadas as porcentagens de emergência (%E) e de sobrevivência (%S) das plantas para as duas áreas.

Capacidade de campo (CC) e aclimação

A capacidade de campo (CC) foi mensurada a partir da medição da quantidade de água necessária até a percolação em, aproximadamente, 300 g de substrato. Foram utilizados 10 sacos de polipropileno e a administração de água foi realizada durante cinco dias e, ao final, foi calculada a média, em cada dia, para definir esse parâmetro. O cálculo da CC foi realizado, obtendo-se, em média, aproximadamente 60 mL, que representa a capacidade de campo de 100%. Posteriormente, os valores obtidos para os outros tratamentos foram de 45 mL, 30 mL e 15 mL.

O transplântio de 160 mudas foi realizado em, aproximadamente, 70 dias após a sementeira. Plântulas de tamanhos parecidos foram selecionadas e transplantadas para sacos de polipropileno, com a mesma mistura e quantidade de substrato usado para calcular a capacidade de campo. Durante esse período foram calculadas as porcentagens de sobrevivência (%S) e a mortalidade (%M) das plantas das duas áreas.

Tratamento de déficit hídrico

Após o período de aclimação, as plântulas foram submetidas ao déficit hídrico. Iniciou-se o experimento com a diferenciação dos tratamentos de 100%, 75%, 50% e 25% da CC, correspondendo a, respectivamente, T100 = 60 mL, T75 = 45 mL, T50 = 30 mL e T25 = 15 mL, com 20 repetições por tratamento, no qual cada plântula representou uma unidade experimental.

Coleta de atributos e análise de dados

As avaliações ocorreram durante sete semanas, conforme as respostas do vegetal aos tratamentos, totalizando sete observações, iniciadas no primeiro dia do déficit hídrico. As plântulas foram mensuradas quanto à altura da parte aérea e ao diâmetro do colo, com o auxílio de fita métrica e paquímetro, ao número de folhas emitidas, além da taxa de sobrevivência.

Utilizando os atributos mensurados semanalmente, determinou-se a taxa de crescimento absoluto em altura (TCAA, mm. mm. semana⁻¹) e diâmetro (TCAD, mm. mm. semana), usando a fórmula: $TCA = (W2 - W1)/(t2 - t1)$, sendo W2 o valor final e W1 o valor inicial do atributo por planta nos tempos t1 (inicial) e t2

(final), com intervalo semanal (Radford, 1967; Duncan et al., 1968). Seguindo as sugestões de Aguiar et al. (2020), aferimos a produção das folhas com a fórmula do ganho foliar: $GF = NFF - NFi$, GF - ganho foliar, NFF - número final de folhas, NFi - número inicial de folhas.

Ademais, foi medido o teor de água (WC) da parte aérea e radicular, valor dado em percentual, com base na fórmula $WC (\%) = [(FW - DW)/DW] \times 100$, onde FW e DW são, respectivamente, o peso de massa fresca e o peso de massa seca (Turner, 1981). Ao final do experimento, calculou-se a massa fresca e seca da parte aérea (caule e folhas) e radicular das plantas, com o auxílio de balança semianalítica e de estufa de secagem a 60°C, por até 72 h, até o peso constante. Todas as medidas foram determinadas em 10 plantas de cada tratamento. Além disso, 30 folhas por tratamento foram selecionadas para que o comprimento e a largura fossem mensurados.

Considerando as análises da plasticidade fenotípica, utilizou-se os valores máximos do crescimento para calcular o RDPI (“Índice de Plasticidade da Distância Relativa”) a partir da fórmula $RDPI = \sum [d_{ij} - i_j] / (x_i - x_j) + x_j$, onde $d_{ij} - i_j$ é a diferença entre o valor de uma característica de um tratamento e outro, sendo $i \neq j$, onde o valor de “x” representa a característica da planta, “i” o tratamento, “j” representa o indivíduo ou a repetição e, por fim, o “n” simboliza o número de vezes das combinações das distâncias relativas que foram realizadas. Esse índice pode variar de 0 (valor que retrata o mínimo de plasticidade fenotípica) até o máximo de 1, com valores acima de 0,6, descrevendo uma alta plasticidade (Valladares, 2006). A partir disso, realizou-se um comparativo da plasticidade entre os tratamentos de redução de água no solo e entre os ambientes (Floresta e Cidade).

Durante o período de avaliação do experimento de déficit hídrico, com o auxílio de um termo-higrômetro digital (IncoTerm), foi calculado o déficit de pressão de vapor (DPV), utilizando a temperatura e a umidade relativa do ar no ambiente.

Modelos lineares generalizados (GLMs) foram usados para avaliar o poder explicativo das variáveis ambiente e déficit hídrico nos atributos vegetativos das plântulas. Foi aplicado o teste Tukey (F), a *posteriori*, para verificar diferenças entre os tratamentos. Todas as análises foram realizadas por meio do *software* Statistica 7.0.

Resultados e Discussão

A germinação iniciou por volta de sete a 10 dias após o plantio, verificando-se que as sementes coletadas no ambiente urbano

germinaram primeiro que as da floresta. Aproximadamente 90% das plântulas da floresta emergiram com sucesso, com uma taxa de sobrevivência de 95% até o final da aclimação. Em contraste, emergiram apenas 77% das plântulas da cidade e 94% sobreviveram. A menor taxa de emergência das plântulas neste ambiente pode ser resultado da perda da viabilidade das sementes (Souza et al., 2005). Provavelmente, resultante do maior tempo de espera para a instalação do experimento, uma vez que a frutificação dos ipês da cidade é mais rápida que os da floresta. Corroborando essa informação, Garcia et al. (2004) verificaram que, após a maturidade fisiológica e até o momento em que a semente é utilizada na semeadura, pode ocorrer uma perda da qualidade, decorrente de mudanças bioquímicas e fisiológicas. A deterioração, que é menos perceptível na fase inicial, manifesta-se no decorrer do tempo, com uma redução do vigor da semente. Logo, a perda da qualidade das sementes de ipê, após a maturidade fisiológica, é variável conforme a espécie e as condições as quais as sementes são submetidas, após a colheita e nas operações de armazenamento e de beneficiamento (Gonçalves et al., 2015).

Durante o experimento de déficit hídrico nas plantas, o monitoramento da umidade relativa do ar (UR%) e da temperatura (°C) variou de 44 a 70% e de 21,9°C a 30,1°C, respectivamente, sempre apresentando valores contrários. Dentre os fatores que influenciam o desenvolvimento vegetal, a temperatura é um elemento que exerce um controle direto sobre crescimento das plantas, visto que muitos fenômenos fisiológicos ocorrem entre 0°C e 40°C, variando entre as espécies (Delgado, 2007). Em relação ao déficit de pressão de vapor (DPV), obteve-se, em média, 1 kPa, sendo o valor mais baixo registrado na 6ª semana (0,54 kPa) e o mais alto na 7ª semana (1,3 kPa), valores inversamente proporcionais à umidade relativa do ar e diretamente proporcionais à temperatura. A diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor de água existente no ar e a pressão máxima que pode ser alcançada, é denominada de DPV. Essa medida influencia a fotossíntese, pois atua no fechamento dos estômatos e, quanto maior o valor, maior é a tendência da planta perder água. Considerando a taxa de sobrevivência sob a maior restrição hídrica, constatamos que as plântulas da cidade (85%) resistiram melhor às condições que aquelas da floresta (45%).

Identificamos diferenças significativas nas taxas de crescimento absoluto em altura (TCAA) e diâmetro do colo (TCAD), entre as plântulas provenientes da floresta e da cidade (Tabela 1 e

Figura 1ab). Constatamos que, ao final do experimento, as plântulas da floresta apresentaram, aproximadamente, a metade (-45%) do tamanho das plântulas da cidade (Figura 1a). No entanto, não houve diferenças relacionadas nestas taxas de crescimento entre os tratamentos de déficit hídrico, em ambas as áreas

(Tabela 1 e Figura 1ab). Em contrapartida, estudos envolvendo o crescimento de plantas de *Zeyheria tuberculosa* (Vell.) Bureau ex Verl. sob déficit hídrico demonstraram que a maioria das características de crescimento estabilizaram nos regimes com maior disponibilidade de água (Medeiros et al., 2023).

Tabela 1. Modelos lineares generalizados (GLMs) do efeito da redução da disponibilidade de água no solo no crescimento e na produtividade de plântulas de ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius*) de uma floresta preservada e ambiente urbano (cidade). Gl = graus de liberdade; R² = coeficientes de determinação ajustados QM = quadrado médio; QMerro. = quadrado médio residual; SQ = soma dos quadrados; SQerro = soma dos quadrados residual; F = teste de Fisher; P = <0,05 - diferenças significativas; TCAA = Taxa de crescimento absoluto em altura; TCAD = Taxa de crescimento absoluto em diâmetro; FBC = Fração de biomassa do caule; FBF = Fração de biomassa das folhas; FBR = Fração de biomassa das raízes; TAC = Teor de água do caule; TAF = Teor de água das folhas; TAR = Teor de água das raízes. Fonte: Campos et al. (2023).

Variáveis explicativas	Atributos	Gl	R ²	QM	QMerro.	SQ	SQerro.	F	p	
Floresta*Urbano	TCAA	1	0.26	903.3	15.50	903.29	2449.68	58.26	0.00	
	TCRA	1	0.09	0.03	0.0019	0.03	0.31	16.32	0.00	
	TCAD	1	0.09	0.009	0.0005	0.01	0.09	15.92	0.00	
	TCRD	1	0.04	0.005	0.0007	0.01	0.11	7.68	0.01	
	Produção de folhas	1	0.05	39.01	4.02	39.01	635.7	9.69	0.00	
	Fração de água caule (%)	1	-0.006	33.08	63.27	33.08	4935.2	0.52	0.47	
	Fração de água folhas (%)	1	-0.009	24.08	80.62	24.08	6288.0	0.30	0.59	
	Fração de água raiz (%)	1	0.05	545.5	110.37	545.5	8608.7	4.94	0.03	
	FBC (%)	1	0.15	917.4	61.16	917.4	4770.1	15.00	0.00	
	FBF (%)	1	0.05	400.6	79.24	400.6	6180.3	5.06	0.03	
	FBR (%)	1	-0.001	105.5	115.37	105.5	8998.6	0.91	0.34	
	Comprimento foliar	1	0.17	1212.3	47.89	1212.3	5651.0	25.32	0.00	
	Largura foliar	1	0.39	2163.8	28.20	2163.8	3327.3	76.74	0.00	
	Floresta*Tratamentos	TCAA	3	-0.006	14.1	21.22	42.35	3310.6	0.67	0.57
		TCRA	3	-0.002	0.0019	0.0021	0.01	0.33	0.88	0.45
		TCAD	3	0.03	0.0014	0.0006	0.00	0.09	2.41	0.07
TCRD		3	-0.001	0.0007	0.0007	0.00	0.11	0.96	0.41	
Produção de folhas		3	0.08	22.5	3.89	67.47	607.2	5.78	0.00	
Fração de água no caule (%)		3	0.18	180.9	46.29	542.7	1666.4	3.91	0.02	
Fração de água nas folhas (%)		3	0.25	378.4	71.17	1135.2	2562.2	5.32	0.00	
Fração de água na raiz (%)		3	0.32	508.5	70.33	1525.4	2531.8	7.23	0.00	
FBC (%)		3	0.03	90.2	61.90	270.5	2228.5	1.46	0.24	
FBF (%)		3	0.07	160.7	82.36	482.0	2964.8	1.95	0.14	
FBR (%)		3	0.27	416.4	71.30	1249.1	2566.9	5.84	0.00	
Comprimento foliar		3	0.36	486.1	39.64	1458.2	2219.6	12.26	0.00	
Largura foliar		3	0.32	271.1	26.70	813.3	1495.4	10.15	0.00	
Urbano*Tratamentos		TCAA	3	-0.0041	23.9	26.79	71.6	2035.8	0.89	0.45
	TCRA	3	0.00	0.003	0.0032	0.01	0.25	1.01	0.39	
	TCAD	3	0.06	0.001	0.0006	0.00	0.04	2.60	0.06	
	TCRD	3	0.02	0.001	0.0007	0.00	0.06	1.63	0.19	
	Produção de folhas	3	-0.02	2.85	5.57	8.54	423.4	0.51	0.68	
	Fração de água no caule (%)	3	0.21	248.7	55.00	746.1	1980.0	4.52	0.01	
	Fração de água nas folhas (%)	3	0.28	291.5	47.67	874.4	1716.1	6.11	0.00	
	Fração de água na raiz (%)	3	0.30	541.2	81.33	1623.6	2927.9	6.65	0.00	
	FBC (%)	3	0.23	219.8	44.77	659.4	1611.7	4.91	0.01	
	FBR (%)	3	0.09	148.1	63.59	444.4	2289.2	2.33	0.09	
FBR (%)	3	0.10	299.2	119.03	897.6	4285.0	2.51	0.07		

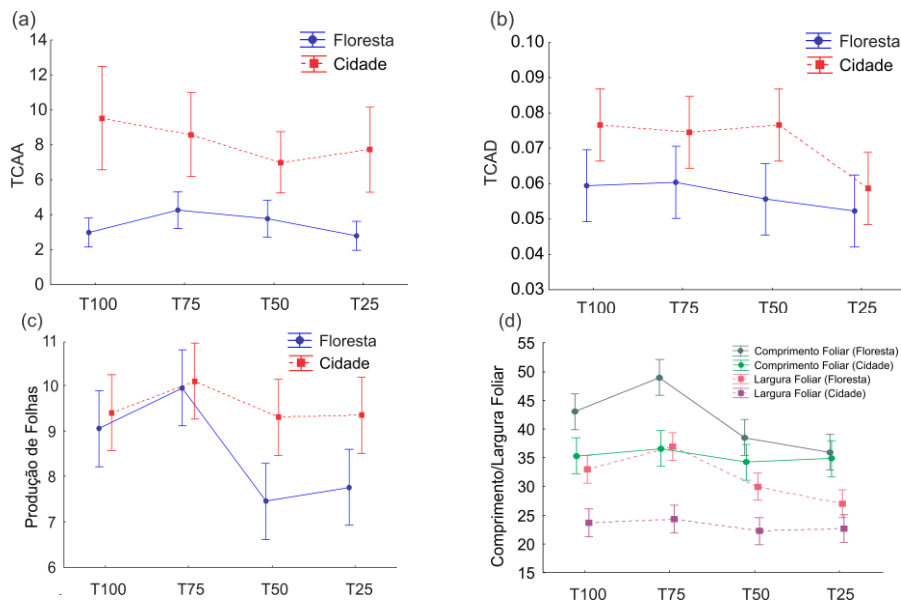


Figura 1. Influência da redução da disponibilidade de água do solo no crescimento de plântulas de ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose) de uma floresta preservada e de um ambiente urbano (cidade). a. TCAA = Taxa de crescimento absoluto em altura; b. TCAD = Taxa de crescimento absoluto em diâmetro; c. produção de folhas; d. comprimento/largura foliar. Fonte: Campos et al. (2023).

Quanto à produção das folhas, verificamos diferenças entre os ambientes (Tabela 1; Figura 1c). A produção de folhas das plântulas da cidade não foi afetada pela redução da quantidade de água. Em contrapartida, apenas as plântulas da floresta do T75 diferiram do T50 e do T25, mostrando redução na produção de folhas conforme a menor disponibilidade hídrica (Tabela 1 e Figura 1c). Encontramos diferenças nas medidas de comprimento e largura das folhas entre os ambientes (Figura 1d). Na floresta, essas médias foram maiores, com um aumento de 15% para o comprimento e 26% para a largura das folhas. Considerando os tratamentos, notamos divergências apenas no comprimento e na largura foliar, na floresta, sem significância estatística na área urbana. O tratamento T25 foi menor, sendo semelhante ao T50, mas diferenciado do T100 e T75 (Figura 1d). A resposta de redução das folhas, em condições de menor disponibilidade hídrica, é indicada como uma importante estratégia para reduzir a demanda e a perda de água, favorecendo a sobrevivência das plantas em períodos críticos de déficit hídrico (Eziz et al., 2017).

Nossos achados para o ambiente urbano contrastam com os resultados de Padilla et al. (2009), nos quais se esperava que os tratamentos mais secos fossem sempre os mais afetados nesses atributos. As plântulas da cidade adotam

estratégias mais eficazes para enfrentar essas condições estressantes. Elas aceleram o crescimento e conseguem manter uma produção significativa de folhas. Esse fenômeno pode ser atribuído ao fato de que sementes provenientes de ambientes urbanos, submetidas a ciclos de secas mais intensas, em comparação às florestais, podem desenvolver uma memória hídrica. Como pode ser herdada, a memória da planta desempenha um papel importante na capacidade de lidar com perturbações ambientais em constante mudança (Farkas et al., 2024).

Considerando o teor de água, não houve diferenças na parte aérea (caule e folhas), comparando os dois ambientes. Apenas nas raízes foram constatadas maiores reservas em plântulas da floresta (Tabela 1 e Figura 2a). Especificamente nas plântulas da floresta, em relação aos tratamentos, não houve diferenças na reserva de água do caule (Figura 2a). Na área urbana, a única disparidade observada nesse aspecto ocorreu entre os tratamentos T100 (com a maior reserva de água) e T25, com uma redução de 12% neste teor (Figura 2a). Analisando o percentual de água nas folhas da floresta, verificamos apenas reduções significativas no T25, em comparação com T100 e T75, indicando uma redução nas reservas de água de 10-12% (Figura 2a). Nas folhas das plântulas da cidade, as

diferenças na reserva de água ocorreram apenas entre o T75 e o T25, com uma redução de 12% (Figura 2a). Em *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P. Lewis, uma espécie típica de ambientes semiáridos, os níveis de água em suas folhas apresentam uma redução mais crítica de até 48% sob condições de seca severa (Santos et al., 2021).

Na floresta, o percentual de água nas raízes do T25 diferiu de T100 e T75, sendo

similar ao T50, com uma redução média de 14-17%. Na cidade, as diferenças ocorreram entre T100 e T25, com uma redução média de 17% no teor de água (Figura 2a). Portanto, as raízes das plântulas de ipê-amarelo não demonstraram tolerância ao déficit hídrico, apresentando redução no teor de água nos tratamentos com menor disponibilidade hídrica.

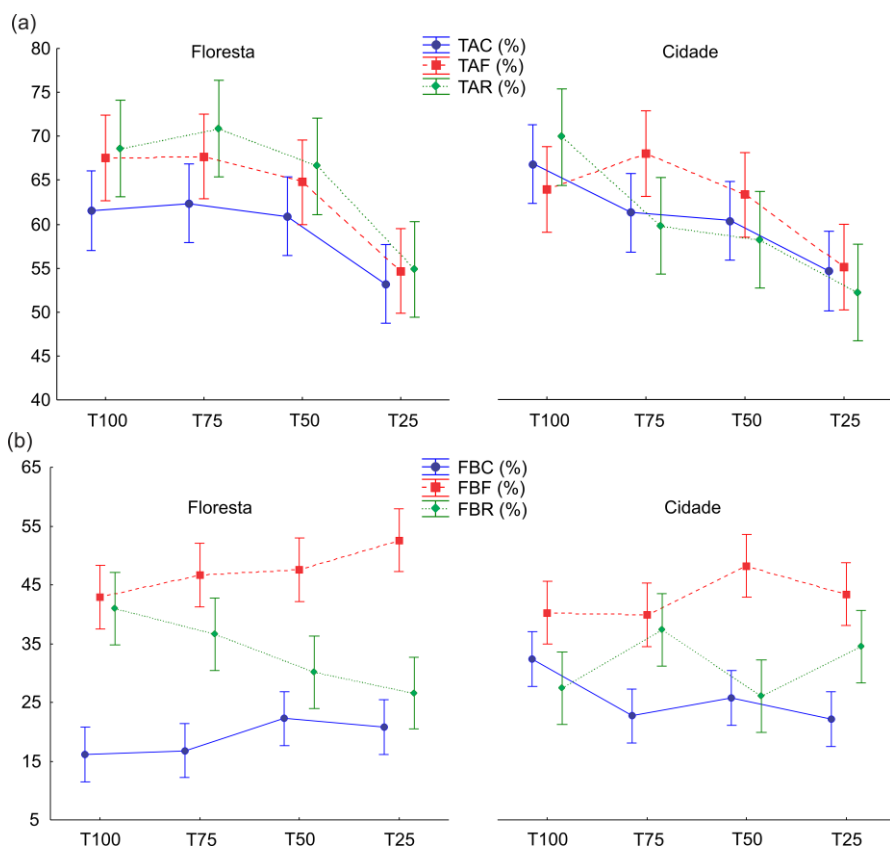


Figura 2. Influência da redução da disponibilidade de água do solo no crescimento de plântulas de ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose) de uma floresta preservada e de um ambiente urbano (cidade): a) no teor de água e b) na alocação de biomassa. TAC = Teor de água do caule; TAF = Teor de água das folhas; TAR = Teor de água das raízes; FBC = Fração de biomassa do caule; FBF = Fração de biomassa das folhas; FBR = Fração de biomassa das raízes. TAC = Teor de água do caule; TAF = Teor de água das folhas; TAR = Teor de água das raízes. Fonte: Campos et al. (2023).

No que diz respeito à biomassa (Figura 2b), em relação aos ambientes, verificamos diferenças na fração de biomassa do caule e das folhas. Observamos um aumento de 7% no acúmulo de fotoassimilados no caule e uma

diminuição de 4% nas folhas das plântulas da cidade. Não se verificaram diferenças entre a fração de biomassa das raízes entre os ambientes. Consequentemente, pode-se constatar que, entre as áreas, a alocação de biomassa para as folhas foi

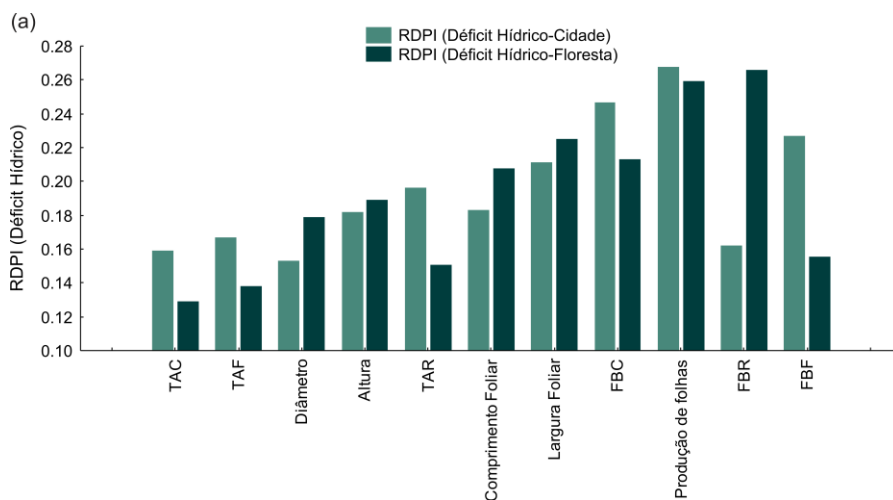
sempre superior à direcionada para os caules e raízes.

Entre os tratamentos de déficit hídrico da floresta (Figura 2b), não observamos diferença na fração de biomassa dos caules. No entanto, na cidade, as diferenças foram somente entre T100 e T25, com uma redução de 10% no acúmulo de biomassa. Entre os tratamentos da floresta e na cidade, não se observaram diferenças na fração de biomassa das folhas. Considerando as raízes, nos tratamentos da floresta, constamos diferenças entre T25 e T100, com redução de 15% (Figura 2b). Essas constatações contrastam com tendências descritas na literatura, que indicam que a alocação de biomassa vegetal das mudas arbóreas em determinados órgãos é frequentemente otimizada para aquisição e conservação de recursos mais limitantes (Doležal et al., 2024). Por exemplo, mudas de áreas secas tendem a investir em raízes profundas para acessar água subterrânea, enquanto mudas submetidas à desfolha frequentemente priorizam o armazenamento de recursos nas raízes (Boonman et al., 2020), mostrando, em ambos os casos, uma tendência de alocação direcionada para as raízes.

Em contraposição, nas plântulas da área urbana analisadas neste estudo, observou-se um equilíbrio na alocação de biomassa sob condições de déficit hídrico, sem variações significativas, sugerindo uma estratégia adaptativa específica voltada à manutenção da sobrevivência em ambientes urbanos. Seguindo esta tendência, em

estudos com *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook.f. (Bignoniaceae) sujeitas a escassez hídrica, a alocação de biomassa nas partes vegetativas não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (Cabral et al., 2004). Similarmente, também não foram encontradas diferenças consideráveis entre a alocação de biomassa nas raízes, caule e folhas nos tratamentos com mudas de *Hymenaea courbaril* (Fabaceae) (Nascimento et al., 2011).

Portanto, esperávamos um aumento na capacidade das plântulas em desenvolver sistemas radiculares mais eficientes para adquirir recursos escassos e limitantes, como a água (Boonman et al., 2020). Isso, por sua vez, manteria ou aumentaria o teor de água, uma condição crucial para evitar a desidratação dos tecidos e assegurar a sobrevivência (Falcão et al., 2022). Nesse contexto, o ambiente desempenha um papel explicativo de 4% nas variações que ocorreram nas frações de água das raízes e na fração de biomassa das folhas, e de 15% nas variações da fração de biomassa do caule. Quanto à altura, esse fator contribuiu com 26%, enquanto no diâmetro observamos 9% e, nas folhas, esse valor aumentou para 57%. Aproximadamente 17% das variações no comprimento foliar e 39% na largura foliar são explicadas pelo ambiente (Tabela 1). As características vegetativas exibiram plasticidade em resposta ao déficit hídrico e ao ambiente (Figura 3ab), porém, com índices abaixo do esperado (<0.6).



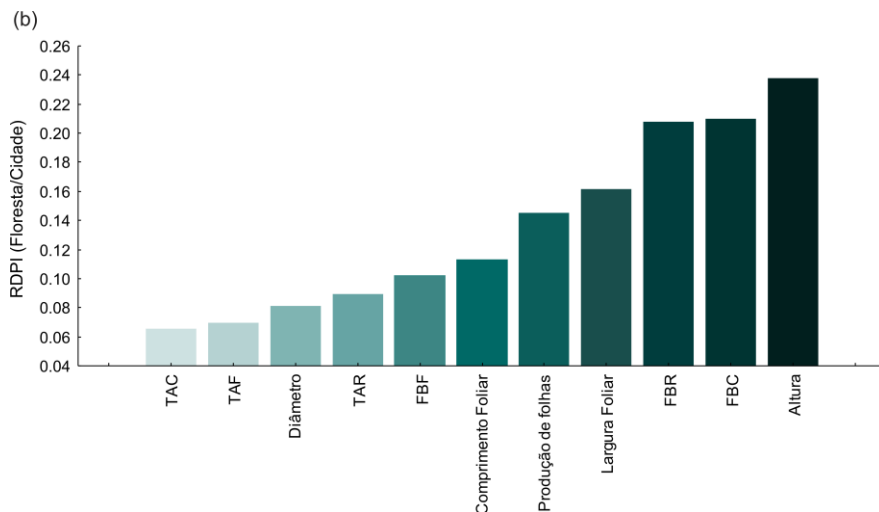


Figura 3. Plasticidade fenotípica (RDPI) em plântulas de ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose): a) respostas das plântulas ao déficit hídrico no solo de uma floresta preservada e de um ambiente urbano (cidade); b) respostas das plântulas comparativamente nos dois ambientes. TAC = Teor de água do caule; TAF = Teor de água das folhas; TAR = Teor de água das raízes; FBC = Fração de biomassa do caule; FBR = Fração de biomassa das raízes; FBF = Fração de biomassa das folhas. Fonte: Campos et al. (2023).

Esses resultados podem indicar um alerta para possíveis limitações ambientais no desenvolvimento da espécie em estudo, mas sugerindo um desempenho menos favorável diante da variabilidade do ambiente (Forsman, 2015).

A produção de folhas foi a característica com maior plasticidade, tanto nas plântulas provenientes da floresta quanto nas provenientes da cidade, mostrando uma variação significativa neste traço funcional. Observamos que na cidade a produção foi mais plástica quando comparada a floresta (Figura 3a). Essas variações na produção e expansão foliar à restrição hídrica são ajustes para reduzir a perda de água e aumentar a fixação de carbono (Dantas, 2014).

O teor de água no caule e nas folhas e o diâmetro apresentaram as menores plasticidades em ambos os ambientes em função do déficit hídrico (Figura 3a). Ao compararmos a plasticidade entre os ambientes, observamos uma variação mais significativa na altura das plântulas (Figura 3b).

Reforçamos que essa plasticidade é comprovada pelas diferenças na taxa de crescimento em altura, como especificado anteriormente, e pode ser uma resposta relacionada ao armazenamento de informações e memórias distintas nas sementes provenientes desses dois ambientes.

Conclusão

A capacidade das plântulas de ipê-amarelo do ambiente urbano em manter um crescimento constante e uma produção foliar significativa, e uma alocação de biomassa proporcional, mesmo sob condições estressantes, evidencia uma maior adaptação ou ajuste ao déficit hídrico nos traços dessa população, que é mais intenso neste ambiente antropogênico. Por outro lado, estrategicamente as plântulas da floresta alocam maior proporção de biomassa para as folhas, acompanhada de variações no seu tamanho, indicando uma estratégia otimizada para a fotossíntese e maior retenção de fotoassimilados neste órgão. Tais respostas evidenciam que as plântulas de cada ambiente possuem estratégias distintas para tolerar reduções no regime hídrico. Todavia, o tratamento com maior déficit hídrico sempre afetou negativamente todos os traços observados, podendo representar um percentual crítico para o desenvolvimento e estabelecimento destas plântulas arbóreas.

Uma maior plasticidade foi observada na altura das plântulas, evidenciada pelas variações nas taxas de crescimento entre ambientes e pela plasticidade na produção de folhas, sob déficit hídrico, sugerindo que as sementes podem conservar e expressar memórias específicas das características da "planta-mãe" em seu ambiente.

Estas respostas das plântulas contribuem para o planejamento de estratégias futuras de

conservação da espécie, principalmente diante do cenário de aumento da frequência de secas severas e perturbações de origem antrópica em seu ambiente de distribuição.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI, CCE-0402019) pelo financiamento da pesquisa de Iniciação Científica (PIBIC) da primeira autora e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (167901/2022-2) pelo financiamento da pesquisa.

Referências

- Aguiar, B. A. de S. et al. 2020. The effect of reducing soil water availability on the growth and reproduction of a drought-tolerant herb. *Acta Oecologica*, 107, 103617. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103617>
- Alves, E. D. L.; Vecchia, F. A. S. 2012. Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental. *Ambiência*, 8, (1), 101-111. <https://doi.org/10.5777/ambiencia.2012.01.08>
- Araújo Neto, J. C.; Aguiar, I. B.; Ferreira, V. M. 2003. Efeito da temperatura e da luz na germinação de sementes de *Acacia polyphylla* DC. *Brazilian Journal of Botany*, 26, 249-256. <https://doi.org/10.1590/S010084042003000200013>
- Boonman, C. C.; Van Langevelde, F.; Oliveras, I.; Couédon, J.; Luijken, N.; Martini, D.; Veenendaal, E. M. 2020. On the importance of root traits in seedlings of tropical tree species. *New Phytologist*, 227, 156-167. <https://doi.org/10.1111/nph.16370>
- Cabral, E. L.; Barbosa, D. C. A.; Simabukuro, E. A. 2004. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. *Acta botânica brasílica*, 18, 241-251. <https://doi.org/10.1590/S010233062004000200004>
- Dantas, S. G. 2014. Crescimento inicial e morfologia foliar em plantas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. e *Erythrina velutina* Mart. ex Benth, sob estresse hídrico. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte, Brasil. 49p.
- Delgado, R. C. 2007. Avaliação de modelos físico-matemáticos para estimativa de umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor a partir de dados de temperatura do ar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 107p.
- Doležal, J. et al. 2024. Contrasting biomass allocations explain adaptations to cold and drought in the world's highest-growing angiosperms. *Annals of Botany*, 134, 401-414. <https://doi.org/10.1093/aob/mcae028>
- Duncan, W. G.; Hesketh, J. D. 1968. Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates, and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures. *Crop Science*, 8, (6), 670-674. <https://doi.org/10.2135/cropsci1968.0011183X000800060009x>
- Eziz, A. et al. 2017. Drought effect on plant biomass allocation: A meta-analysis. 2017. *Ecology and evolution*, 7, (24), 11002-11010. <https://doi.org/10.1002/ece3.3630>
- Falcão, H. M. et al. 2022. Variation in the water use and gas exchange of two Brazilian tropical dry forest phytophysiognomies in response to successional stage. *Journal of Arid Environments*, 206, 104831. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104831>
- Farkas, D.; Dobránszki, J. 2014. Vegetal memory through the lens of transcriptomic changes—recent progress and future practical prospects for exploiting plant transcriptional memory. *Plant Signaling & Behavior*, 19, 2383515. <https://doi.org/10.1080/15592324.2024.2383515>
- Forsman, A. 2015. Rethinking phenotypic plasticity and its consequences for individuals, populations and species. *Heredity*, 115, (4), 276-284. <https://doi.org/10.1038/hdy.2014.92>
- Garcia, D. C.; Souza, A. C.; Barros, A.; Peske, S. T.; Menezes, N. L. A. 2004. A secagem de sementes. *Revista Ciência Rural*, 34, (2), 603-608. <https://doi.org/10.1590/S010384782004000200045>
- Gonçalves, L. H. D. N.; Santos, H. O. D.; Von Pinho, E. V. D. R.; Andrade, T. D.; Von Pinho, I. V.; Pereira, R. W. 2015. Physiological quality and expression of genes in seeds of *Handroanthus serratifolius* subjected to drying. *Journal of Seed Science*, 37, 102-110. <https://doi.org/10.1590/23171545v37n2144303>
- Gratani, L. 2014. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Advances*

- in botany, 2014, 208747. <https://doi.org/10.1155/2014/208747>
- Hanson, A. D.; Hitz, W. D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. Annual Review of Plant Physiology, 33, (1), 163-203. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.06018.2.001115>
- Jacomine, P. K. T.; Cavalcanti, A. C.; Pessoa, S. C. P.; Burgos, N.; Mélo Filho, H. F. R.; Lopes, O. F. 1986. Levantamento exploratório de solos do estado do Piauí. EMBRAPA-SNLCs, boletim de pesquisa, série recursos de solos, 36, (18), 782p.
- Kroon, H. et al. 2005. A modular concept of phenotypic plasticity in plants. New phytologist, 166, 73-82. <https://doi.org/10.1111/j.14698137.2004.01310.x>
- Lopes, J. C. R. 2007. Floresta Nacional: implantação, gestão e estudo de caso – FLONA de Palmares. Teresina. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Piauí. Teresina, Piauí, Brasil. 96p.
- Medeiros, R. L. S. et al. 2023. Abiotic stress on seed germination and plant growth of *Zeyheria tuberculosa*. Journal of Forestry Research, 34, 1511-1522. <https://doi.org/10.1007/s11676-023-01608-3>
- Nascimento, H. H. C. do et al. 2011. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. Revista Árvore, 35, 617-626. <https://doi.org/10.1590/S010067622011000400005>
- Nicotra, A. B. et al. 2010. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. Trends in plant science, 15, (12), 684-692. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.008>
- Padilla, F. M. et al. 2009. Variability in amount and frequency of water supply affects roots but not growth of arid shrubs. Plant Ecology, 204, 261-270. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9589-0>
- Peak, D.; Mott, K. A. 2011. A new, vapour-phase mechanism for stomatal responses to humidity and temperature. Plant, Cell & Environment, 34, 162-178. <https://doi.org/10.1111/j.13653040.2010.02234.x>
- Radford, P. J. 1967. Growth analysis formulae—their use and abuse I. Crop Science, 7, (3), 171-175. <https://doi.org/10.2135/cropsci1967.0011183X000700030001x>
- Santos, M. et al. 2021. Whole plant water status and non-structural carbohydrates under progressive drought in a Caatinga deciduous woody species. Trees, 35, 1257-1266. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02113-y>
- Santos, M. G. et al. 2014. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? Theoretical and Experimental Plant Physiology, 26, (1), 83-99. <https://doi.org/10.1007/s40626-014-0008-0>
- Soares, M. G. 2012. Plasticidade fenotípica de plantas jovens de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) em resposta a radiação solar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo, Brasil. 91p.
- Sotillo, A. et al. 2024. Plant responses to urban gradients: Extinction, plasticity, adaptation. Journal of Ecology, 00, 1-15. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14427>
- Souza, V. C. D.; Bruno, R. D. L. A.; Andrade, L. A. D. 2005. Vigor de sementes armazenadas de ipê-amarelo *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich. Revista árvore, 29, 833-841. <https://doi.org/10.1590/S010067622005000600001>
- Taiz, L.; Zeiger, E.; Möller, I. M.; Murphy, A. 2017. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. Artmed, 6ª edição. 888p.
- Trovão, D. M. B. et al. 2007. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11, (3), 307-311. <https://doi.org/10.1590/S141543662007000300010>
- Turner, N. C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil, 58, (1-3), 339-366. <https://doi.org/10.1007/BF02180062>
- Valladares, F. et al. 2006. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. Journal of Ecology, 94, (6), 1103-1116. <https://doi.org/10.1111/j.13652745.2006.01176.x>
- Ziska, L. H.; Gebhard, D. E.; Frenz, D. A.; Faulkner, S.; Singer, B. D.; Straka, J. G. 2003. Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health. J Allergy Clin Immunol, 111, (2), 290-295. <https://doi.org/10.1067/mai.2003.53>

Código de campo alterado