



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
FLORESTAIS
CAMPUS DE PATOS - PB**



ROSILVAM RAMOS DE SOUSA

**TROCAS GASOSAS E QUALIDADE DE MUDAS DE *Microdesmia rigida* (Benth.)
Sothers & Prance SOB DÉFICIT HÍDRICO E ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

PATOS – PARAÍBA – BRASIL

2021

ROSILVAM RAMOS DE SOUSA

**TROCAS GASOSAS E QUALIDADE DE MUDAS DE *Microdesmia rigida* (Benth.)
Sothers & Prance SOB DÉFICIT HÍDRICO E ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos/PB, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira Freire

PATOS – PARAÍBA – BRASIL

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO CSTR DA UFCG

S725t Sousa, Rosilvam Ramos de.
Trocas gasosas e qualidade de mudas de *Microdesmia rigida* (*Benth.*) *Sothers & Prance* sob déficit hídrico e adubação potássica / Rosilvam Ramos de Sousa. – Patos, 2021.
67 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, 2021.
“Orientação: Prof. Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira Freire”.
Referências.

1. Fisiologia Vegetal. 2. Produção de Mudas. 3. Comportamento Estomático. 4. Caatinga. 5. Nutrição de Plantas. 6. Oitica. 7. Relações Hídricas. 8. Adubação Potássica. I. Freire, Antonio Lucineudo de Oliveira. II. Título.

CDU 581.1(043)

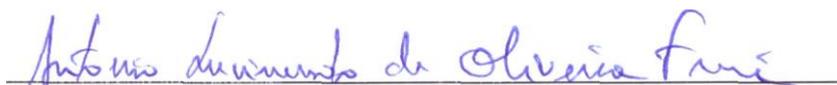
ROSILVAM RAMOS DE SOUSA

**TROCAS GASOSAS E QUALIDADE DE MUDAS DE *Microdesmia rigida* (Benth.)
Sothers & Prance SOB DÉFICIT HÍDRICO E ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, *Campus* de Patos/PB, como parte dos requisitos para obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIAS FLORESTAIS.

APROVADA EM: 31 de agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Antonio Lucineudo de Oliveira Freire

Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR/UFCG)

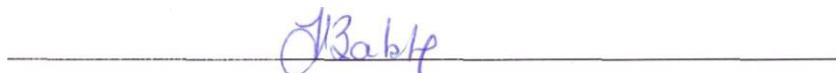
(Orientador)



Prof. Dr. José Lucínio de Oliveira Freire

Instituto Federal da Paraíba (\FPB\Campus Picuí)

(1º Examinador)



Profa. Dra. Ivonete Alves Bakke

Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR/UFCG)

(2ª Examinadora)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me dado força para vencer os obstáculos que foram surgindo no meu caminho e compreensão para entender que nem sempre as coisas são como gostaríamos.

À minha família e meus amigos, que são minha base e minha referência.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio Lucineudo, pelo suporte, apoio, compreensão e incentivo.

À minha noiva, Amélia Lopes, pela ajuda no desenvolvimento do experimento e pelo apoio durante todo esse período.

Ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa e patrocínio desta pesquisa.

A todos que, de alguma forma, tenham ajudado no desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado!

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 – Distribuição da <i>M. rigida</i> no território brasileiro.....	12
Figura 2 – Concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) das folhas de <i>M. rigida</i> aos 120 DAE, em função do turno de rega.	43
Figura 3 – Eficiência de carboxilação (<i>A/C_i</i>) das folhas de <i>M. rigida</i> aos 120 DAE, em função do turno de rega.	44

CAPÍTULO II

Figura 1 – Altura de mudas de <i>M. rigida</i> aos 120 DAE, em função do turno de rega.	59
Figura 2 – Diâmetro de mudas de <i>M. rigida</i> aos 120 DAE, em função do turno de rega.	59
Figura 3 – Taxa de crescimento absoluto (<i>TCA</i>) de mudas de <i>M. rigida</i> aos 120 DAE, em função do turno de rega.	60
Figura 4 – Produção de massa seca de mudas de <i>M. rigida</i> aos 120 DAE, em função do turno de rega.....	62

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Análise química e física do solo utilizado.....	34
Tabela 2 – Teor relativo de água (<i>TRA</i>) (%) de plantas de <i>M. rígida</i> , em função da adubação potássica e do turno de rega.	36
Tabela 3 – Condutância estomática (g_s) ($\text{mmol H}_2\text{O dm}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de <i>M. rígida</i> , em função da adubação potássica e do turno de rega.	38
Tabela 4 – Taxa de transpiração (E) ($\mu\text{mol H}_2\text{O dm}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de <i>M. rígida</i> , em função da adubação potássica e do turno de rega.	39
Tabela 5 – Fotossíntese (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{dm}^{-2} \text{s}^{-1}$) de plantas de <i>M. rígida</i> , em função da adubação potássica e do turno de rega.	40
Tabela 6 – Eficiência intrínseca no uso de água (EUA_i) de plantas de <i>M. rígida</i> , em função da adubação potássica e do turno de rega.	42

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Análise química e física do solo utilizado	57
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	A espécie <i>Microdesmia rigida</i> (Benth.) Sothers & Prance.....	12
2.2	Estresse hídrico e seus efeitos no crescimento e fisiologia de plantas	14
2.3	O potássio e seu papel na fisiologia das plantas.....	17
	REFERÊNCIAS	22
	CAPÍTULO I – TROCAS GASOSAS DE MUDAS DE <i>Microdesmia rigida</i> (Benth.) Sothers & Prance EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO POTÁSSICA E AO TURNO DE REGA.....	28
1	INTRODUÇÃO	31
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1	Local e condições de condução do experimento.....	33
2.2	Delineamento experimental e tratamentos	34
2.3	Parâmetros avaliados	34
2.4	Análise estatística	35
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	45
	CAPÍTULO II – CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE <i>Microdesmia rigida</i> (Benth.) Sothers & Prance EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO POTÁSSICA E AO TURNO DE REGA..	51
1	INTRODUÇÃO	54
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	56
2.1	Considerações gerais	56
2.2	Delineamento experimental e tratamentos	57
2.3	Parâmetros avaliados	57
2.4	Análise estatística	58
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	65

SOUSA, Rosilvam Ramos. **Trocas gasosas e qualidade de mudas de *Microdesmia rigida* (Benth.) Sothers & Prance sob déficit hídrico e adubação potássica.** 2021. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos — PB. 2021. 68f.

RESUMO

As espécies vegetais da caatinga apresentam diversos mecanismos de adaptabilidade à seca, estando essa capacidade atrelada a vários fatores, a exemplo da nutrição mineral. O uso do potássio (K) adicionado ao substrato pode se constituir uma alternativa para potencializar os efeitos da rustificação das mudas e assim diminuir a lâmina de irrigação em todo o processo de produção. Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar os efeitos atenuantes do potássio nas trocas gasosas e na qualidade de mudas de *Microdesmia rigida* sob deficiência hídrica. O experimento foi realizado em ambiente telado, com 50% de interceptação luminosa, no Viveiro Florestal da UAEF/UFCG. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em fatorial 4 x 4, sendo quatro níveis de potássio (K) (0, 50, 100 e 150 mg dm⁻³ K) e quatro turnos de rega (irrigação diária (controle) e a cada 5, 10 e 15 dias). Foram avaliados o teor relativo de água (*TRA*), taxas de transpiração (*E*) e de fotossíntese (*A*), condutância estomática (*gs*), concentração interna de CO₂ (*C_i*), eficiência intrínseca no uso da água (*EUA_i*), eficiência de carboxilação (*A/C_i*), taxa de crescimento absoluto (*TCA*), altura da planta, diâmetro do caule, massa seca, razão altura/diâmetro (*RAD*) e índice de qualidade de Dickson (*IQD*). Não houve efeito significativo dos tratamentos em *IQD* e *RAD*. As variáveis *C_i*, *A/C_i*, altura de plantas, diâmetro do caule, *TCA* e produção de matéria seca foram afetadas, de forma isolada, pelo turno de rega, enquanto que *TRA*, *E*, *gs*, *A* e *EUA_i* foram afetados por ambos os fatores. A irrigação das plantas diariamente ou a cada cinco dias proporcionou a manutenção de maior *status* hídrico e melhor comportamento estomático, sendo que as mesmas se mostraram sensíveis ao estresse hídrico proporcionado pelos maiores turnos de rega (a cada 10 e 15 dias). A adubação potássica mostrou-se eficaz na atenuação dos efeitos negativos causados pela deficiência hídrica sobre as trocas gasosas e *EUA_i* das plantas, destacando-se as doses de 100 e 150 mg dm⁻³ de K. O aumento no turno de rega afetou negativamente o crescimento e a produção de massa seca das plantas.

Palavras-chave: Caatinga. Comportamento estomático. Nutrição de plantas. Oiticica. Relações hídricas.

SOUSA, Rosilvam Ramos. **Gas exchange and quality of seedlings of *Microdesmia rigida* (Benth.) Sothers & Prance under water deficit and potassium fertilization.** 2021. Master's Dissertation in Forest Sciences, CSTR/UFMG, Patos — PB. 2021. 68f.

ABSTRACT

The plant species of the caatinga have several mechanisms of adaptability to drought, and this capacity is linked to various factors, such as mineral nutrition. The use of potassium (*K*) added to the substrate can be an alternative to potentiate the effects of rustification of seedlings and so reducing the irrigation blade throughout the production process. Thus, this study aimed to evaluate the attenuating effects of potassium on gas exchange and seedling quality of *Microdesmia rigida* seedlings under water deficiency. The experiment was conducted in a shaded environment, with 50% light interception, in the Forest Nursery of UAEPF/UFMG. The treatments were distributed in an entirely randomized design (*DIC*), in a 4 x 4 factorial scheme, being four potassium (*K*) levels (0, 50, 100 and 150 mg dm⁻³ K) and four irrigation shifts (daily irrigation (control), and every 5, 10 and 15 days). Relative water content (*RWC*), transpiration (*E*) and photosynthesis (*A*) rates, stomatal conductance (*gs*), internal CO₂ concentration (*Ci*), intrinsic water use efficiency (*WUEi*), carboxylation efficiency (*A/Ci*), absolute growth rate (*AGR*), plant height, stem diameter, dry mass, height/diameter ratio (*HDR*), and Dickson quality index (*DQI*) were evaluated. There was no significant effect of treatments on *DQI* and *HDR*. The variables *Ci*, *A/Ci*, plant height, stem diameter, *AGR* and dry matter production were affected in isolation by irrigation shift, while *TRA*, *E*, *gs*, *A* and *WUEi* were affected by both factors. Irrigating the plants daily or every five days provided the maintenance of higher water status and better stomatal behavior, and the plants were sensitive to water stress provided by longer irrigation shifts (every 10 and 15 days). Potassium fertilization proved to be effective in attenuating the negative effects caused by water deficiency on gas exchange and *WUEi* of the plants, especially the doses of 100 and 150 mg dm⁻³ of *K*. The increase in the irrigation shift negatively affected the growth and dry mass production of the plants.

Keywords: Caatinga. Stomatal behavior. Plant nutrition. Oiticica. Water relations.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas, tem sido crescente a preocupação acerca dos efeitos das atividades antrópicas sobre o meio ambiente, principalmente em áreas mais sensíveis, como as regiões de climas árido e semiárido. Algumas ações vêm sendo realizadas no intuito de mitigar os prejuízos decorrentes dessas atividades, tais como a criação de leis protecionistas e o incentivo a pesquisas que melhorem a convivência nestas áreas.

A pesquisa científica é uma ferramenta muito importante, pois possibilita o desenvolvimento de novas tecnologias e métodos mais eficientes de atuação no sentido de compreender melhor o meio onde o homem está inserido. No entanto, o número de pesquisas não é equivalente em todos os biomas. O semiárido brasileiro é uma das extensões florestais menos estudadas, especialmente devido a alguns pesquisadores classificarem essa região como sendo de baixa riqueza biológica e, conseqüentemente, de menor interesse. Tudo isso torna as pesquisas que visam conhecer e entender o comportamento da fauna e da flora dessa região de fundamental importância, pois é a única forma de derrubar os preconceitos anexados ao semiárido.

As espécies vegetais que ocorrem no semiárido resistem a um ambiente desafiador, com temperaturas elevadas, alta radiação solar, baixa umidade relativa do ar e um período chuvoso de apenas três meses no ano. Estes fatores limitam o crescimento e o estabelecimento das plantas jovens no campo (GONÇALVES et al., 2005; LIBERATO et al., 2006; DOMBROSKI et al., 2014), fazendo com que as mesmas desenvolvam adaptações morfológicas e fisiológicas que as tornem aptas a se desenvolverem em ambientes com baixo nível de água no solo (FREITAS; SILVA, 2018).

Dentre as adaptações morfológicas, podem ser citados a presença de estruturas de reservas nas raízes (xilopódios) e nos caules, arranjos anatômicos específicos nas folhas, como a presença de folhas com limbo recortado em inúmeras espécies, folhas coriáceas, estômatos na face inferior (LARCHER, 2000). Alterações na fisiologia incluem o fechamento estomático, com reflexos diretos na condutância estomática, na transpiração e na fotossíntese (GOMES et al., 2004; PORTES; ALVES; SOUZA, 2006). Além desses aspectos, alterações no metabolismo podem ocorrer, a exemplo do ajustamento osmótico, em que as plantas

acumulam solutos osmoticamente ativos, promovendo assim a redução do potencial osmótico celular e a absorção de água e garantindo a manutenção de atividades vitais, mesmo sob condições de baixos potenciais hídricos. Dentre esses solutos acumulados, estão os aminoácidos totais e os açúcares solúveis (LECHINOSKI et al., 2007; SANTOS; PIMENTEL, 2009). Essas mudanças na morfologia, anatomia e fisiologia das plantas afetam o seu crescimento (SANTOS; CARLESSO, 1998; BEZERRA et al., 2003), porém favorecem a manutenção das atividades essenciais e, dessa forma, que a planta consiga sobreviver sob tais condições adversas do ambiente.

O potássio, mesmo não fazendo parte de nenhum composto orgânico, nem desempenhando função estrutural nos vegetais, é considerado um elemento essencial às plantas (MALAVOLTA, 2006). Uma das razões para as altas exigências potássicas provavelmente é a necessidade de manter elevadas concentrações no citoplasma, para garantir atividade enzimática máxima (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), além de funcionar no equilíbrio de cargas negativas e no pH celular (SILVA et al., 2013). O provável efeito do potássio na atividade das enzimas está relacionado com a mudança na conformação das moléculas, na qual há um aumento na exposição dos sítios ativos para ligação com o substrato (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Atua também na manutenção da turgescência celular por ser o principal íon presente no vacúolo, estando intimamente relacionado com o equilíbrio osmótico (TAIZ et al., 2017).

A oiticica (*Microdesmia rigida* (Benth.) Sothers & Prance) é uma espécie classificada como pioneira ou secundária, de ocorrência em mata ciliar, principalmente no Bioma Caatinga do Nordeste brasileiro. Já foi bastante explorada devido a suas sementes serem ricas em um óleo secativo, excelente para o uso em tintas e vernizes, e por sua madeira apresentar boa trabalhabilidade, sendo utilizada para produção de rodas de carro-de-boi, pilões, tábuas e mourões (LORENZI, 2009). No entanto, apesar da sua importância ecológica e econômica para o semiárido brasileiro, são escassos os estudos relacionados aos aspectos fisiológicos e à sua exigência por potássio, sobretudo, durante o crescimento inicial das plantas.

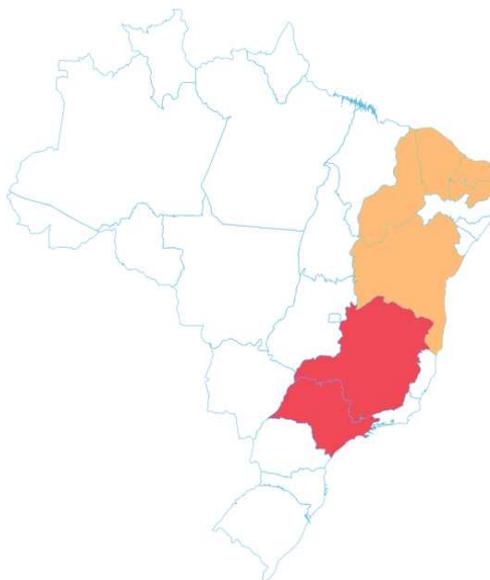
Nesse sentido, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de avaliar os efeitos atenuantes do potássio nas trocas gasosas e na qualidade de mudas de *Microdesmia rigida* sob deficiência hídrica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A espécie *Microdesmia rigida* (Benth.) Sothers & Prance

A *M. rigida*, pertencente à família *Crysoalanaceae*, conhecida popularmente por Oiticica, apresenta grande porte, podendo alcançar cerca de 15 m de altura e uma copa de 15 a 20 m de diâmetro (FLORA DO BRASIL 2020, 2019). Nativa e endêmica do Brasil, ocorre principalmente em mata ciliar ou mata de galeria (Figura 1), sendo encontrada nas margens de rios e riachos do agreste e sertão nordestino, com ocorrência confirmada nos estados da Paraíba, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia, inseridos no bioma Caatinga (*stricto sensu*). No entanto, há registros confirmados da sua presença no Cerrado da região sudeste, nos estados de Minas Gerais e São Paulo (DINIZ NETO et al., 2014; FLORA DO BRASIL 2020, 2019). É uma espécie perene e longeva, encontrada entre 50 e 500 m de altitude. Para sobreviver aos anos de seca, armazena água e substâncias orgânicas e inorgânicas nas raízes e no caule (SILVA et al., 2010).

Figura 1 – Distribuição da *M. rigida* no território brasileiro.



Fonte: Flora do Brasil 2020 (2019).

Suas folhas são simples, alternas, coriáceas e ásperas, com dimensões de 12 cm de comprimento e 6,0 cm de largura, apresentam cutícula densa e são

hipoestomáticas, ou seja, seus estômatos estão protegidos em criptas na sua face abaxial, possuindo também canais resiníferos. A floração ocorre entre os meses de julho e outubro, apresentando flores hermafroditas e agrupadas em centenas, pequenas e amarelas, com 3,0 mm de diâmetro, formando uma inflorescência paniculada situada nas pontas dos ramos. De modo geral, cada flor fica aberta durante quatro dias, e, de madrugada, seus estigmas tornam-se muito úmidos. A floração dura até 100 dias de forma contínua, da primogênita até à última flor. Sua frutificação ocorre no verão, com frutos tipo drupa oblonga, contendo apenas uma semente, rica em óleo (SILVA et al., 2010; FLORA DO BRASIL 2020, 2019).

Em algumas regiões do Nordeste brasileiro, esta espécie é bastante utilizada pela medicina popular, principalmente as folhas, que são usadas no tratamento de inflamações e de diabetes. Entre as décadas de 1930 e 1950, houve uma grande exploração industrial da oiticica, movida principalmente pelo seu múltiplo uso e seu alto valor econômico, pois o óleo de suas sementes é recomendado como matéria-prima para fabricação de sabão e de biodiesel. Além disso, é utilizada também na indústria cosmética e farmacêutica, na produção de lonas de freios, borrachas, tintas, vernizes, biolubrificantes e trabalhos de artes plásticas, devido ao seu alto valor secativo (ALBUQUERQUE et al., 2007; MACEDO et al., 2011; LIMA et al., 2012; SOUZA, 2018).

Para Brandão et al. (2018), são vários os fatores que podem influenciar na qualidade das sementes e das plântulas durante as etapas que envolvem os processos de colheita, beneficiamento, secagem, armazenamento e produção de mudas. Esses fatores precisam ser bem estudados para possibilitar a produção de mudas de qualidade, contribuindo assim para a ampliação dos conhecimentos dos aspectos silviculturais da espécie.

Segundo Santos et al. (2017), a oiticica tem um grande potencial para utilização na arborização urbana, exploração econômica sustentável e recuperação de áreas degradadas, assim como muitas outras espécies arbóreas da Caatinga. Porém, a pouca disponibilidade de informações a respeito da sua propagação e sobre o manejo de suas sementes tem limitado o seu uso. Esses autores recomendam que seja feita a retirada do epicarpo da semente antes da semeadura nos recipientes, durante a produção de mudas. Salientam ainda que sejam utilizadas sementes recém-colhidas, pois a viabilidade das mesmas diminui no decorrer do tempo.

2.2 Estresse hídrico e seus efeitos no crescimento e fisiologia de plantas

Para Salisbury e Ross (2012), o estudo da fisiologia vegetal se confunde, em grande parte, com o da água, pois a maioria das atividades relacionadas à vida das plantas é definida pelas suas características e das substâncias nelas dissolvidas. Estudar as relações hídricas nas plantas é essencial, devido à pluralidade de funções ecológicas e fisiológicas exercidas pela água, uma vez que é um recurso de que a planta necessita em maior quantidade para o seu desenvolvimento, podendo tornar-se o mais limitante (KERBAUY, 2013). Sendo assim, a sua disponibilidade se constitui fator determinante no tipo de vegetação presente no decorrer do gradiente de precipitação (MARENCO, LOPES, 2009; KERBAUY, 2013; TAIZ et al., 2017).

A água pode ser encontrada na célula vegetal de várias formas, como água de hidratação, ligada a íons, macromoléculas e substâncias inorgânicas dissolvidas; constituinte do protoplasma, ou seja, quimicamente fixada; e água de reserva, armazenada nos compartimentos celulares e nos espaços intercelulares. Está também presente nas células condutoras do xilema e do floema, portando-se como meio de transporte de fotoassimilados e sais minerais (MARENCO; LOPES, 2009).

A quantidade de água na planta é variável, sendo que, em tecidos lenhosos, varia de 35 a 75%; já em tecidos metabolicamente ativos, constitui 80 a 90% da massa dos mesmos. Contudo, algumas plantas tolerantes à seca podem sobreviver com um mínimo de 20% de água nas suas células, porém, nessas condições, elas permanecem metabolicamente inativas e retomam a atividade metabólica somente após a absorção de uma quantidade considerável de água (KERBAUY, 2013).

É de suma importância o entendimento dos elementos modificadores do desenvolvimento das espécies para que possam ser traçadas estratégias de manejo, em especial, em regiões onde a precipitação é de difícil previsão, como no semiárido brasileiro (CAMPELO et al., 2018). Um aspecto importante a ser estudado é o tempo de recuperação das plantas após baixa disponibilidade de água, sendo o período de duração do déficit hídrico fundamental para a recuperação do crescimento das plantas (LIMA et al., 2018). Na natureza, as espécies estão sujeitas a sobreviverem de forma natural aos períodos secos e chuvosos, conseqüentemente, precisam retomar o crescimento logo após períodos desfavoráveis, em especial, se o período seco for muito prolongado.

Um das medidas importantes para determinar a quantidade de água na planta é o potencial hídrico, que é uma determinação da energia livre da água. Essa medida pode ser usada para estabelecer as condições hídricas das células, tecidos e órgãos (MARENCO; LOPES, 2009). O potencial hídrico e seus componentes têm uma grande influência no crescimento celular, na fotossíntese e na produtividade de cultivos vegetais, pois, quanto maior este for, melhor é o desenvolvimento da planta e vice-versa (TAIZ et al., 2017).

No interior da folha, o potencial hídrico também exerce um grande efeito sobre a abertura e o fechamento dos estômatos, à medida que o estresse hídrico aumenta, ou seja, com a diminuição do potencial hídrico, ocorre o fechamento dos estômatos. Esse efeito pode superar, inclusive, a luz forte e os baixos níveis de CO₂, evidenciando o seu valor protetor durante o período seco (SALISBURY; ROSS, 2012).

A perda de água para a atmosfera, que ocorre durante o processo de transpiração, corresponde a cerca de 95% de toda água absorvida, impedindo, dessa forma, que as plantas estejam completamente hidratadas (KERBAUY, 2013). Esse efeito é agravado no decorrer do período de seca, pois as plantas sofrem déficits hídricos, levando-as à inibição da fotossíntese e, conseqüentemente, à redução no crescimento (TAIZ et al., 2017).

A desidratação faz com que ocorram algumas mudanças fisiológicas, principalmente o acúmulo de ácido abscísico e de solutos, além da inibição da fotossíntese, da condutância estomática, da síntese proteica, da síntese de parede e da expansão celular (SALISBURY; ROSS, 2012).

Para Melo et al. (2019), o ácido abscísico é reconhecido como um importante hormônio vegetal no que diz respeito ao estabelecimento de processos de tolerância nos vegetais a estresses abióticos. O aumento no nível deste ácido na célula vegetal é desencadeado pelo estresse hídrico sofrido pela planta, dando início a uma série de sinalizações para que se fechem os estômatos e, assim, diminua-se a perda de água por transpiração (MUNEMASA et al., 2015). Estes pesquisadores relatam que estudos mais recentes revelam que as células-guarda exercem o controle da concentração de ácido abscísico no citosol por meio de ações corroboradas da biossíntese, catabolismo e transporte através das membranas. Acrescentam ainda que, nos últimos anos, houve um progresso substancial na compreensão dos processos moleculares de como o módulo central de sinalização deste ácido

controla as atividades dos canais aniônicos e, portanto, o fechamento e a abertura dos estômatos.

O ácido abscísico contribui também para o ajustamento da expressão de genes que codificam proteínas relacionadas aos processos de tolerância à deficiência hídrica, como as *late “embryogenesis abundant proteins”*, as quais podem proteger da desidratação, por exemplo, sistemas de endomembranas e macromoléculas como lipídeos e enzimas (MELO et al., 2019).

O resultado do acúmulo deste ácido abscísico é o fechamento dos estômatos, que tem sido considerado como uma estratégia de redução de perda de água por transpiração, evitando assim a morte dos tecidos por dessecação (CAMPELO et al., 2018). No entanto, este fechamento estomático causa redução de processos essenciais, como a transpiração, condutância estomática e a taxa de fotossíntese (DOMBROSKI et al., 2011; RODRIGUES et al., 2011; SCALON et al., 2014).

Entretanto, a resposta ao estresse hídrico varia de espécie para espécie, sendo que algumas apresentam tolerância ao déficit durante um determinado período, porém outras não resistem quando expostas a estas condições. Em estudo avaliando o estado nutricional e características morfofisiológicas foliares de seis espécies lenhosas (gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott), guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose), ipê-rosa (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos), marupá (*Simarouba amara* Aubl.) e mogno (*Swietenia macrophylla* King.)), durante a estação seca, verificou-se que as espécies ipê-amarelo, ipê-rosa e mogno, sob condições de déficit hídrico, apresentaram menor área foliar específica do que quando sob condições normais de irrigação (CAMPELO et al., 2018). Nascimento et al. (2011), analisando o crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo, constataram que estas plantas, quando sujeitas a estresse hídrico severo, apresentam redução no seu crescimento em altura, em relação àquelas plantas desenvolvidas sem estresse.

No entanto, Lima et al. (2018) observaram que a interrupção da irrigação por até 28 dias não comprometeu de forma significativa o desenvolvimento de mudas de plantas adaptadas a regiões secas, pois as mesmas retomaram o crescimento logo após a reidratação de suas células. Já Scalón et al. (2011), analisando o efeito do estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de plantas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.), constataram que as mudas entram em estresse por volta

dos 35 dias de submissão ao déficit hídrico. Reduções no diâmetro do caule, altura das plantas e na área foliar sob condições de déficit hídrico também foram constatadas por Klippel et al. (2014) em clones de Eucalipto (híbridos *E. grandis* x *E. urophylla*).

Em aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), Costa et al. (2015) verificaram que, à medida que o período de suspensão da irrigação aumentava, ocorria redução progressiva na transpiração, condutância estomática, fotossíntese e eficiência no uso da água. Avaliando o comportamento de plantas jovens de craibeira (*Tabebuia aurea*) sob déficit hídrico, Freire (2016) verificou reduções na área foliar, taxa de transpiração, condutância estomática e na taxa de fotossíntese. Resultados semelhantes foram obtidos por França et al. (2017) em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess), em que o déficit hídrico promoveu diminuição no potencial hídrico foliar, na transpiração e na fotossíntese.

Submetendo plantas de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd) Poiret), jucá (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul)) e aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem.), espécies típicas da caatinga, ao déficit hídrico, Almeida et al. (2020) relataram que este não afetou o teor relativo de água das mudas, porém afetou negativamente a transpiração, a condutância estomática e a fotossíntese das mesmas.

Além do fechamento estomático, outra estratégia que contribui para a tolerância ao déficit hídrico é o acúmulo de substâncias osmoticamente ativas nas raízes, induzindo a redução do potencial osmótico, essencial ao mecanismo de absorção de água, sobretudo, em solos com baixo potencial hídrico (CHAVES FILHO; STACCIARINI-SERAPHIN, 2001; TAIZ et al., 2017). Este processo, conhecido como ajustamento osmótico, tem sido observado em diferentes espécies, sendo considerado como um dos mais eficientes na manutenção da turgescência celular, possibilitando principalmente a continuidade da abertura estomática e fotossíntese em situações de baixo potencial hídrico no solo. Se, por um lado, o ajustamento osmótico, por si só, não impede a redução da taxa fotossintética sob estresse hídrico, por outro, a manutenção da turgescência possibilita que a fotossíntese e outras atividades fisiológicas importantes possam ser mantidas, mesmo que reduzidas, permitindo a redistribuição de nitrogênio e carbono.

2.3 O potássio e seu papel na fisiologia das plantas

O potássio foi descoberto pelo químico britânico Humphry Davy, em 1807, tendo sua essencialidade para as plantas demonstrada pelos alemães Von Sachs e Knop, no ano de 1860 (KERBAUY, 2013). É um elemento químico, cujo nome é oriundo do latim *Kalium* (nome referente à sua base KOH), é um metal alcalino, de número atômico 19 e de massa atômica 39 u, encontrado abundantemente na natureza, principalmente nas águas salgadas e em outros minerais. É muito reativo, especialmente com a água, além de oxidar-se rapidamente com o oxigênio do ar e, quimicamente, é parecido com o sódio (Na) (NUNES, 2016).

O potássio (K) presente no solo é encontrado em equilíbrio em três formas trocáveis entre si ($K_{\text{fixo}} \leftrightarrow K_{\text{trocável}} \leftrightarrow K_{\text{solúvel}}$). O $K_{\text{trocável}}$ fica disponível a partir do momento em que ele é desorvido das partículas do solo (argilas e micelas coloidais), ocorrendo uma permuta de prótons (H^+) da solução do solo (MARENCO; LOPES, 2009).

Segundo Torres e Pereira (2008), o potássio é o cátion encontrado em maior abundância nos tecidos vegetais, sendo absorvido pelas raízes em grandes quantidades a partir da solução do solo na forma de K^+ . Os autores afirmam ainda que este elemento não é constituinte de nenhuma molécula orgânica ou estrutura da planta, encontrando-se como cátion livre ou adsorvido, com alta mobilidade intracelular, tornando-o facilmente trocável entre as células ou tecidos.

A absorção do K ocorre em virtude da atividade de ATPase da membrana celular, ativada pela presença do elemento. Ainda não se sabe ao certo a função da ATPase, se ela é o mesmo carregador de potássio ou se funciona como uma bomba, liberando o H^+ trocado pelo K (MALAVOLTA, 2006). Após a entrada do elemento na célula, o transporte a longa distância ocorre via xilema e floema e, quando o K é absorvido pelas folhas, ocorre via floema.

Para que ocorra o crescimento satisfatório das plantas, são necessárias de 20 a 50g de K para cada kg de massa seca das partes vegetativas da planta, dos tubérculos e dos frutos, no entanto as plantas conseguem absorver uma quantidade de K maior que a sua necessidade, conhecido comumente como consumo de luxo de K (TORRES; PEREIRA, 2008).

O potássio participa de várias atividades bioquímicas, constituindo-se um ativador de uma grande quantidade de enzimas, além de ser responsável por manter o pH entre 7 e 8 nas células e tecidos, participar da turgescência celular e regular a abertura e o fechamento dos estômatos, com reflexos diretos na absorção de água,

regula a translocação de nutrientes na planta e na fotossíntese (LABORSOLO, 2013; ZORB et al., 2014; NUNES, 2016). Estes autores relatam ainda que o potássio exerce influência no armazenamento e transporte de carboidratos, favorece a absorção de nitrogênio e a síntese de proteínas, além de influenciar na formação de frutos e aumentar a resistência das plantas ao frio e às doenças

Na maioria das espécies, o K^+ participa dos gradientes de turgor entre as células-guardas e as outras células epidérmicas foliares, o que está intrinsecamente ligado ao movimento estomático. Neste processo, a acumulação de K^+ no vacúolo das células-guardas é equilibrada por ânions, principalmente o malato²⁻ e o Cl^- (MARENCO; LOPES, 2009).

Plantas que apresentam deficiência em K são menos resistentes ao estresse hídrico, seja pelo excesso ou por déficit hídrico, e também têm menor resistência a enfermidades ou ataques de nematoides, interferindo assim nos aspectos fitossanitários, no crescimento e na qualidade da planta, principalmente o tamanho, a forma, a coloração e o vigor das sementes ou dos grãos (NUTRIÇÃO DE SAFRAS, 2015).

Por ser um íon de alta mobilidade na planta, sendo facilmente translocado das folhas mais velhas para as mais novas e também para as regiões meristemáticas, os sintomas de deficiência aparecem nas folhas mais velhas. De maneira geral, sob deficiência de K, a turgescência celular e a síntese de parede celular são afetadas, deixando as plantas predispostas ao tombamento por vento ou chuva. A absorção de água pela parte aérea, por meio da transpiração e pressão radicular, é restringida, ocasionando o murchamento das plantas com facilidade. Pode ocorrer também a inibição da formação e o crescimento de gemas pelo déficit prolongado deste nutriente (KERBAUY, 2013).

A adubação potássica tem sido usada por alguns pesquisadores na tentativa de melhor compreender os seus reflexos na condução estomática e influência na produção de mudas de algumas espécies. Avaliando o comportamento de cinco genótipos de eucalipto em resposta à restrição hídrica e adubação potássica, Mendes et al. (2013) verificaram diminuição em características biométricas e fisiológicas causadas pelo déficit hídrico e que o fornecimento de potássio proporcionou atenuação destes efeitos prejudiciais da deficiência hídrica.

Em *L. ferrea*, *M. tenuiflora* e *M. urundeuva*, Almeida et al. (2020) verificaram que o fornecimento de K às plantas sob déficit hídrico possibilitou a manutenção de

altas taxas de transpiração e de fotossíntese, concluindo que o mesmo pode ser usado para mitigar os efeitos da deficiência hídrica durante a fase inicial de crescimento destas espécies. Resultados semelhantes foram relatados por Ramos e Freire (2019) em plantas de faveleira (*Cnidoscolus quercifolius* Pohl.) sob déficit hídrico.

Em estudo com goiabeiras (*Psidium guajava* L.) cv Paluma, Cavalcante et al. (2018), ao analisarem a influência de K e Ca na fisiologia das plantas, verificaram que aquelas fertilizadas apenas com potássio apresentaram as maiores taxas fotossintéticas, eficiência no uso da água e eficiência instantânea de carboxilação. Ressaltam ainda que o potássio é um nutriente essencial na resposta fotossintética das plantas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), respondendo positivamente a todas as variáveis analisadas. Cavalcante et al. (2019) também constataram que o aumento das doses de K_2O além do máximo exigido pela planta reduziu a quantidade de frutos produzidos por planta de 182 para 179, nas plantas não adubadas com nitrato de cálcio, e de 140 para 122, nas adubadas com nitrato de cálcio, indicando o comprometimento da produção de frutos da goiabeira na presença de elevadas doses de K_2O .

Alvarenga et al. (2019), estudando a morfofisiologia de aceroleira (*Malpighia emarginata* DC.) irrigada com águas salinas sob combinações de doses de nitrogênio e potássio, verificaram que o K interferiu significativamente no desenvolvimento das mudas e que o aumento das doses desse nutriente afeta de forma negativa o seu crescimento.

Outra função comprovada do potássio é a sua capacidade de atenuar os efeitos do estresse hídrico e salino. Bonifácio et al. (2018), estudando os efeitos da adubação potássica e da irrigação com águas salinas no crescimento de porta-enxerto de goiabeira, constataram uma interferência positiva do potássio no crescimento das mesmas. Carneiro et al. (2018) relataram que o potássio afetou positivamente o peso dos frutos, a produção por planta, a quantidade de vitamina C, o pH, os teores de sólidos solúveis e a relação sólidos solúveis/acidez titulável na manga (*Mangifera indica* L.) cv. *Tommy atkins*.

Para Carneiro et al. (2018), a fertilização com cloreto de potássio em *Mangifera indica* leva à produção de frutos com maior peso, enquanto a fertilização com sulfato de potássio provoca uma maior produção de frutos por planta. Estes

autores ainda reforçam que pequenas doses de sulfato de potássio provocam um aumento nos teores de ácido ascórbico em seus frutos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, U. P.; MONTEIRO, J. M.; RAMOS, M. A.; AMORIM, E. L. C. Medicinal and magic plants from a public market in northeastern Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, Shanon, v. 110, n. 1, p. 76-91, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378874106004594>. Acessado em 13 jun. 2019.
- ALMEIDA E. P.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, I. A.; FERREIRA, C. D.; FRANÇA, G. M.; BATISTA, A. W. Effects of potassium in *Myracrodruon urundeuva*, *Libidibia ferrea* and *Mimosa tenuiflora* seedlings under a short-term water deficit. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 5, p. 1-19, 2020.
- ALVARENGA, C. F. S.; SILVA, E. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; SILVA, L. A. Morfofisiologia de aceroleira irrigada com águas salinas sob combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 1, p. 194-205, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v42n1/v42n1a20.pdf>. Acessado em 04 jun. 2019.
- BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003.
- BONIFÁCIO, B. F.; NOBRE, R. G.; SOUSA, A. S.; GOMES, E. M.; SILVA, E. M.; SOUSA, L. P. Efeitos da adubação potássica e irrigação com águas salinas no crescimento de porta-enxerto de goiabeira. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 4, p. 971-980, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v41n4/v41n4a11.pdf>. Acessado em 04 jun. 2019.
- BRANDÃO, E. D.; DINIZ NETO, M. A.; ARAÚJO, L. R.; SILVA, I. F.; BARBOSA, W. M. C.; MAIOLI, M. G. S. Períodos de secagem na qualidade fisiológica de sementes de *Licania rigida* Benth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1798-1806, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v28n4/1980-5098-cflo-28-04-1798.pdf>. Acessado em 13 jun. 2019.
- CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. Características morfofisiológicas foliares e estado nutricional de seis espécies lenhosas em função da disponibilidade de água no solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 924-936, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v28n3/1980-5098-cflo-28-03-924.pdf>. Acessado em 27 mar. 2019.
- CARNEIRO, M. A.; LIMA, A. M. N.; CAVALCANTE, I. H. L.; SOUSA, K. S. M.; OLDONI, F. C. A.; BARBOSA, K. S. Production and quality of mango fruits cv. Tommy atkins fertigated with potassium in semi-arid region. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 5, p. 1-9, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v40n5/0100-2945-rbf-40-5-e-034.pdf>. Acessado em 4 jun. 2019.

CAVALCANTE, A. C. P.; CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, A. G.; BERTINO, A. M. P.; BERTINO, A. M. P.; FERREIRA, N. M. Physiology of Paluma guava plants fertilized with potassium and calcium. **IDESIA**, Arica, v. 36, n. 2, p. 163-172, 2018. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6596948>. Acessado em 9 jun. 2019.

CAVALCANTE, A. C. P.; CAVALCANTE, L. F.; BERTINO, A. M. P.; CAVALCANTE, A. G.; LIMA NETO, A. J.; FERREIRA, N. M. Adubação com potássio e cálcio na nutrição e produção de goiabeira 'Paluma'. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 66, n.1, p. 054-062, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rceres/v66n1/0034-737X-rceres-66-01-54.pdf>. Acessado em 4 jun. 2019.

CHAVES FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 199-204, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbb/v24n2/a10v24n2.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2019.

COSTA, A. S.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, I. A.; PEREIRA, F. H. F. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 705-717, 2015

DINIZ NETO, M. A.; SILVA, I. F.; CAVALCANTE, L. F.; DINIZ, B. L. M. T.; SILVA, J. C. A.; SILVA, E. C. Mudanças de oiticica irrigadas com águas salinas no solo com biofertilizante bovino e potássio. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 10-18, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n1/v18n1a02.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2019.

DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, R. M. O.; TOMCZAK, V. E.; PINTO, J. R. S.; FARIAS, R. M. Ecophysiology of water stressed *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos seedlings. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 155-163, 2014.

DOMBROSKI, J. L. D.; PRAXEDES, S. C.; FREITAS, R. M. O.; PONTES, F. M. Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, África do Sul, v. 77, n. 2, p. 430-434, 2011.

FLORA DO BRASIL 2020. *Microdesmia* in Flora do Brasil 2020 em construção. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB605408>. Acesso em: 12 jun. 2019.

FRANÇA, P. H. T.; SILVA, E. C. A.; SILVA, T. C.; BRASIL, N. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) submetidas ao déficit hídrico. **Agropecuária Científica no Semi-árido**, Patos, v. 13, n. 4, p. 264-269, 2017. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/886>. Acessado em 23 abr. 2021.

FREIRE, F. C. J. **Características fisiológicas de mudas de craibeira sob condições de deficiência hídrica**. 2016. 64f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas – Rio Largo, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/1340>. Acessado em 23 abr. 2021.

FREITAS, R. S.; SILVA, E. C. Respostas fisiológicas de mudas de *Aspidosperma pyrifolium* (Apocynaceae) à ciclos de suspensão de rega. **Scientia Plena**, Palmas, v. 14, n. 5. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325834696_Respostas_fisiologicas_de_mudas_de_Aspidosperma_pyrifolium_Apocynaceae_a_ciclos_de_suspensao_de_rega. Acessado em 23 abr. 2019.

GOMES, M. M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; MACHADO, M. A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 3, p. 155-161, 2004.

GONÇALVES, J. F. C.; BARRETO, D. C. S.; SANTOS JUNIOR, U. M.; FERNANDES, A. V.; SAMPAIO, P. T. B.; BUCKERIDGE, M. S. Growth, photosynthesis and stress indicators in young rosewood plants (*Aniba rosaeodora* Ducke) under different light intensities. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 17, n. 3, p. 325-334, 2005.

HOLTHUSEN, D.; REEB, D.; HORN, R. Influence of potassium fertilization, water and salt stress, and their interference on rheological soil parameters in planted containers. **Soil & Tillage Research**, v. 125, p. 72-79, 2012.

KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. **Guanabara Koogan**, Rio de Janeiro, 2. ed., 2013, 431 p.

KLIPPEL, V. H.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; TOLEDO, J. V. Impacto da deficiência hídrica no crescimento inicial de eucalipto. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 23, n. 1, p.48-59, 2014. Disponível em: http://www.faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/Kkge4l3bQR5T234_2014-6-13-14-22-19.pdf. Acessado em 4 jun. 2021.

LABORSOLO. Macronutrientes: conhecendo o Potássio. **Laborsolo Laboratórios**, Londrina, 2013. Disponível em: <https://www.laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/macronutrientes-conhecendo-o-potassio/>. Acessado em 4 jun. 2019.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. M. N.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M.; COSTA, R. C. L. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de teca (*Tectona grandis* L. F.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 927-929, 2007.

LIBERATO, M. A. R.; GONÇALVES, J. F. C.; CHEVREUIL, L. R.; NINA JUNIOR, A. R.; FERNANDES, A. V.; SANTOS JUNIOR, U. M. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll a fluorescence in acaricara seedlings (*Minquartia*

guianensis Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 18, n. 2, p. 315-323, 2006.

LIMA, A. F.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; CUNHA, M. V.; MELLO, A. C. L.; FERREIRA, R. L. C.; FERRAZ, A. P. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; MOURA, J. G. Morphology of *Panicum* genotypes submitted to periods of cessation of irrigation. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 789-797, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v41n3/v41n3a22.pdf>. Acessado em 27 mar. 2019.

LIMA, M. J. S. L.; CANDEIA, R. A.; CONCEIÇÃO, M. M.; SILVA, M. C. D.; GONDIM, A. D.; SOUZA, A. G. **Avaliação térmica e espectroscópica do biodiesel de oiticica**. In: BRAZILIAN CONGRESS and PAN-AMERICAN CONGRESS ON THERMAL ANALYSIS AND COLORIMETRY, VIII, III, Campo do Jordão, 2012.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. **Instituto Plantarum**: Nova Odessa, v. 3, 2009.

MACEDO, F. L.; CANDEIA, R. A.; SALES, L. L. M.; DANTAS, M. B.; SOUZA, A. G.; CONCEIÇÃO, M. M. Thermal characterization of oil and biodiesel from oiticica (*Licania rigida* Benth). **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 106 ed. 2, p. 531-534, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10973-011-1580-z.pdf>. Acessado em 13 jun. 2019.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 2006, 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 105 p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Ed. UFV, Viçosa, 3. ed., 2009, 486 p.

MELO, H. C.; RODRIGUES, F. J.; QUEIRÓS, S. F.; PORTES, T. A. A aplicação exógena foliar de ácido abscísico desencadeia mecanismos de tolerância à deficiência hídrica em seringueira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 40-49, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v29n1/1980-5098-cflo-29-01-40.pdf>. Acessado em 13 jun. 2019.

MENDES, H. S. J.; PAULA, N. F.; SCARPINATTI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Revista Cerne**, Lavras, v.19, n. 4, p.603- 611, 2013.

MUNEMASA, S.; HAUSER, F.; PARK, J.; WAADT, R.; BRANDT, B.; SCHROEDER, J. Mechanisms of abscisic acid-mediated control of stomatal aperture. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 28, p. 154-162, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369526615001661>. Acessado em 13 jun. 2019.

NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 617-626, 2011.

Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/488/48819946005.pdf>. Acessado em 04 set. 2019.

NUNES, J. L. S. Potássio. **Agrolink**, Cuiabá, 2016. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/potassio_361446.html. Acessado em 5 jun. 2019.

NUTRIÇÃO DE SAFRAS. Potássio. **Mosaic Fertilizantes do Brasil**. 2015. Disponível em: <https://www.nutricaodesafra.com.br/potassio#overview>. Acessado em: 10 jun. 2019.

PORTES, M. T.; ALVES, T. H.; SOUZA, G. M. Water deficit affects photosynthetic induction in *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae) and *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae) growing in understorey and gap conditions. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 18, p. 491-512, 2006.

RAMOS, F. R.; FREIRE, A. L. O. Growth and gas exchange of *Cnidocolus quercifolius* fertilized with potassium and under water deficit. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 11, n. 11, p. 23-29, 2019.

RODRIGUES, B. M.; ARCOVERDE, G. B.; ANTONIO, A. C. D.; SANTOS, M. G. Water relations in physic nut according to climatic seasonality, in semiarid conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 9, p. 1113 -1115, 2011.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. [tradução: Patrícia Lia Santarosa]. Cengage Learning, São Paulo, 4. ed., 774 p. 2012.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SANTOS, M. G.; PIMENTEL, C. Daily balance of leave sugars and amino acids as indicators of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) metabolic response and drought intensity. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 15, n. 1, p. 23-30, 2009.

SANTOS, R. G.; ALBUQUERQUE, C. C.; CIPRIANO, A. K. A. L.; DANTAS, I. M.; MESQUITA, M. V.; SILVA, K. M. B. Emergência de *Licania rigida* Benth (*Chrysobalanaceae*) em função do tratamento pré-germinativo e do tempo de armazenamento. **Holos**, Natal, a. 33, v. 05, 2017. Disponível em: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/2773/pdf>. Acessado em: 13 jun. 2019.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v21n4/1980-5098-cflo-21-04-00655.pdf>. Acessado em: 04 set. 2019.

SCALON, S. P. Q.; JEROMINI, T. S.; MUSSURY, R. M.; DRESCH, D. M. Photosynthetic metabolism and quality of *Eugenia pyriformis* Cambess. seedlings on substrate function and water levels. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 86, n. 4, p. 2039-2048, 2014.

SILVA, P. M. C.; UCHÔA, S. C. P.; BARBOSA, J. B. F.; BASTOS, V. J.; ALVES, J. M. A.; FARIAS, L. C. Efeito do potássio e do calcário na qualidade de mudas de cedro doce (*Bombacopsis quinata*). **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p. 63-69, 2013.

SILVA, R. A.; FERNANDES, D.; BEZERRA, L. L.; SILVA, W. S. C.; LIMA, A. B. Forrageamento de *Apis mellifera* L. em oiticica (*Licania rigida*). **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 59, n. 227, p. 443-445, 2010. Disponível em: <http://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v59n227/art12.pdf>. Acessado em: 12 jun. 2019.

SOUZA, F. **Oiticica: *Licania rigida* Benth.** Fauna e Flora do RN. 2018. Disponível em: <http://faunaefloradorn.blogspot.com/2018/01/oiticica-licania-rigida-benth.html>. Acessado em: 12 jun. 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre, 6. ed., 2017, 858 p.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 4, p. 1609-1618, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1802/180214233024.pdf>. Acessado em: 29 ago. 2019.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in Agriculture – Status and Perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, p. 656-669. 2014. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0176161713003611?token=71CF7274812D7C4C4367C63A0BE885FF4CCDDFCCF9B38179E08F439581E7E05F21E6C73D934A82540CA31B9E175D22D6>. Acessado em: 10 jun. 2019.

**CAPÍTULO I – TROCAS GASOSAS DE MUDAS DE *Microdesmia rigida* (Benth.)
Sothers & Prance EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO POTÁSSICA E AO TURNO DE
REGA**

Trocas gasosas de mudas de *Microdesmia rigida* (Benth.) Sothers & Prance em resposta à adubação potássica e ao turno de rega

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da deficiência hídrica em aspectos fisiológicos das plantas de oiticica, bem como a capacidade da adubação potássica em atenuar tais efeitos. O experimento foi realizado em ambiente telado, com 50% de interceptação luminosa, no Viveiro Florestal da UAEPF/UFPA. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), constando de um fatorial 4 x 4, sendo quatro níveis de potássio (K) (0, 50, 100 e 150 mg dm⁻³ K) e quatro turnos de rega (irrigação diária (controle) e a cada 5, 10 e 15 dias), com cinco repetições e duas plantas por unidade amostral, totalizando 160 plantas. Foram avaliados o teor relativo de água (*TRA*), taxas de transpiração (*E*) e de fotossíntese (*A*), a condutância estomática (*gs*) e a concentração interna de CO₂ (*Ci*), e, a partir dos valores de *A* e *E*, foi calculada a eficiência intrínseca no uso da água (*EUA_i*) e, com os dados de *A* e *Ci*, a eficiência de carboxilação (*A/Ci*). Houve interação significativa dos tratamentos nos parâmetros *TRA*, *E*, *gs*, *A* e *EUA_i* e efeito isolado do turno de rega em *Ci* e *A/Ci*. A irrigação das plantas diariamente ou a cada cinco dias proporcionou a manutenção de maior *status* hídrico e melhor comportamento estomático, sendo que as mesmas se mostraram sensíveis ao estresse hídrico proporcionado pelos maiores turnos de rega (a cada 10 e 15 dias). A adubação com 100 e 150 mg dm⁻³ de K manteve os valores de *E* e *A* elevados, mesmo sob baixa disponibilidade hídrica. A adubação potássica mostrou-se eficaz na atenuação dos efeitos negativos causados pela deficiência hídrica sobre as trocas gasosas e *EUA_i* das mudas, com destaque para as doses de 100 e 150 mg dm⁻³ de K.

Palavras-chave: Caatinga. Essência florestal. Estresse hídrico. Produção de mudas.

Gas exchange of *Microdesmia rigida* (Benth.) Sothers & Prance seedlings in response to potassium fertilization and watering shift

ABSTRACT

This objective of this work was to evaluate the effects of water deficiency on physiological aspects of oiticica plants, as well as the capacity of potassium fertilization to attenuate such effects. The experiment was conducted in a shaded environment, with 50% light interception, in the Forest Nursery of UAEEF/UFMG. The treatments were distributed in an entirely randomized design (*DIC*), consisting of a 4x4 factorial, with four levels of potassium (*K*) (0, 50, 100 and 150 mg dm⁻³ K) and four irrigation shifts (daily irrigation (control), and every 5, 10 and 15 days), with five repetitions and two plants per sampling unit, totaling 160 plants. The relative water content (*RWC*), transpiration (*E*) and photosynthesis (*A*) rates, stomatal conductance (*gs*), and internal CO₂ concentration (*Ci*) were evaluated, and from the values of *A* and *E*, the intrinsic water use efficiency (*EUAi*) was calculated and, with the data of *A* and *Ci*, the carboxylation efficiency (*A/Ci*). There was significant interaction of treatments in the parameters *RWC*, *E*, *gs*, *A* and *EUAi* and isolated effect of irrigation shift on *Ci* and *A/Ci*. Irrigation daily or every five days provided the maintenance of higher water status and better stomatal behavior, and the plants were sensitive to water stress provided by longer irrigation shifts (every 10 and 15 days). The fertilization with 100 and 150 mg dm⁻³ of *K* kept the values of *E* and *A* high, even under low water availability. Potassium fertilization proved to be effective in attenuating the negative effects caused by water deficiency on gas exchange and *WUEi* of the seedlings, with highlights for the doses of 100 and 150 mg dm⁻³ of *K*.

Keywords: Caatinga; Forest essence; Seedlings production; Water stress..

1 INTRODUÇÃO

O estudo da eficiência do uso da água no crescimento e produtividade das essências florestais, principalmente pelo aumento do risco de secas e também de salinidade, é de fundamental importância (HOLTHUSEN; REEB; HORN, 2012), pois possibilita o uso de mudas de qualidade em povoamentos florestais, capazes de sobreviver às condições adversas após o plantio.

De modo geral, as espécies da Caatinga apresentam modificações morfológicas que garantem a sua sobrevivência sob as condições ambientais severas comuns a este bioma, como a presença de xilopódios nas raízes, folhas recortadas, folhas coriáceas etc. (LARCHER, 2000).

Quando submetidas a condições de deficiência hídrica, as plantas promovem o fechamento estomático, afetando diretamente processos como condutância estomática, transpiração e fotossíntese, afetando o seu crescimento (CHAVES; MAROCO; PEREIRA, 2003; CHAVES; OLIVEIRA, 2004; SOUZA et al., 2015). No entanto, o controle na abertura estomática pode ser intensificado pelo uso do potássio, o qual pode aumentar a condutância estomática (BATTIE-LACLAU et al., 2014), atenuando assim os efeitos adversos do estresse hídrico.

Conhecida popularmente como oiticica, a *Microdesmia rigida* (Benth.) Sothers & Prance, da família *Crysoalanaceae*, é uma espécie de grande porte, nativa e endêmica do Brasil, ocorrendo principalmente em mata ciliar ou de galeria, sendo encontrada nas margens de rios e riachos do agreste e do sertão nordestino (DINIZ NETO et al., 2014). É bastante utilizada pela medicina popular, principalmente as folhas, usadas no tratamento de inflamações e diabetes. Em meados do último século, houve uma grande exploração industrial da oiticica, movida principalmente pelo seu múltiplo uso e seu forte valor econômico, pois o óleo de suas sementes é recomendado como matéria-prima para fabricação de sabão e, mais recentemente, para a produção de biodiesel (SOUZA, 2018).

Apesar da importância econômica da oiticica, existem poucos trabalhos que busquem entender as estratégias fisiológicas utilizadas por esta espécie para sobreviver em um ambiente desafiador, como o semiárido nordestino, que apresenta apenas três meses de chuva, seguidos de nove meses de estiagem, todos os anos.

Por se tratar de uma planta de mata ciliar, acredita-se que sua exigência por água seja grande em relação a outras espécies que não habitam tal ambiente, o que

torna de suma importância o entendimento do seu comportamento sob condições hídricas desfavoráveis. Tais informações podem subsidiar estratégias de manejo desta espécie em áreas degradadas, possibilitando, além da cobertura vegetal, melhor infiltração da água no solo, em virtude do seu sistema radicular profundo, rompendo a camada superior naturalmente compactada, característica dos solos da região semiárida do nordeste brasileiro.

Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da deficiência hídrica em aspectos fisiológicos das plantas de oiticica, bem como a capacidade da adubação potássica em atenuar esses efeitos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e condições de condução do experimento

O experimento foi realizado em ambiente telado, com 50% de interceptação luminosa, no Viveiro Florestal da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, pertencente ao Centro de Saúde e Tecnologia Rural da Universidade Federal de Campina Grande, localizado no município de Patos – PB (07°03'39" S e 37°16'38" W), com altitude média de 250 m. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como BSh, semiárido, com temperaturas médias anuais superiores a 25°C e média anual de pluviosidade em torno de 750 mm, com irregularidade na distribuição das chuvas e umidade relativa do ar média de 65% (ALVARES et al., 2013).

As sementes de oiticica, provenientes de 5 matrizes presentes na comunidade do Distrito de Socorro, na zona rural do município de Olho d'Água – PB, foram colocadas em sementeira contendo areia, e, aos cinco dias após a emergência (DAE), as plântulas foram transferidas para recipientes (sacos plásticos pretos) contendo 5 kg de uma mistura de terra de subsolo e esterco bovino, proporção 2:1. Antes do enchimento dos recipientes, o substrato foi adubado com N, P e K. O nitrogênio e o fósforo foram adicionados segundo recomendação de Furtini Neto et al. (1999), e a adubação com potássio foi feita de acordo com os tratamentos testados.

O solo utilizado no experimento foi coletado na Fazenda Nupeárido, pertencente à UFCG, destorroado e peneirado e submetido à análise física e de fertilidade, no Laboratório de Análise de Solo e Água da UFCG (Tabela 1).

Durante o período experimental, a irrigação dos vasos foi feita procurando-se manter a umidade próxima a 80% da capacidade de retenção do substrato, obtida através de pesagens. Para a determinação desta capacidade de retenção, cinco vasos foram submersos em um balde com água até o completo encharcamento do substrato. Em seguida, os mesmos foram retirados e, após a completa lixiviação, submetidos à pesagem. Esse valor correspondeu ao peso dos mesmos com 100% da capacidade de vaso (cv) e, baseado nele, foi calculado o peso que deveria possuir ao atingir 80% da capacidade de retenção.

Tabela 1 – Análise química e física do solo utilizado.

Característica	Unidade	Valor
Análise química		
pH (CaCl ₂ 0,01 M)	-	5,0
P	µg dm ⁻³	4,5
Ca	cmol _c dm ⁻³	5,1
Mg	cmol _c dm ⁻³	1,9
K	cmol _c dm ⁻³	0,17
Na	cmol _c dm ⁻³	0,57
H + Al	cmol _c dm ⁻³	3,1
CTC	%	10,84
V	%	71,4
Análise física		
Areia	g kg ⁻¹	780
Silte	g kg ⁻¹	100
Argila	g kg ⁻¹	120
Classificação textural	-	Areia franca

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), constando de um fatorial 4 x 4, sendo quatro níveis de potássio (K) (0, 50, 100 e 150 mg dm⁻³ K) e quatro turnos de rega (ID - irrigação diária (controle), e a cada 5 (5D), 10 (10D) e 15 dias (15D)), com cinco repetições e duas plantas por unidade amostral, totalizando 160 plantas.

Os regimes hídricos foram iniciados aos 25 dias após a transferência das plântulas para os vasos (plantas com 30 dias de idade). Nesse dia, foi realizada a medição da altura das plantas (altura inicial). Essa medição também foi realizada ao final do experimento, que ocorreu aos 90 dias após o início dos tratamentos hídricos [120 dias após a emergência (DAE)].

2.3 Parâmetros avaliados

a) Teor relativo de água (*TRA*): no final do experimento, duas folhas por planta foram coletadas, levadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal (CSTR), das quais foram retirados 5 discos de 1 cm² por folha e submetidos à pesagem, obtendo-se a massa fresca (*MF*). Em seguida, estes foram colocados sob duas folhas de papel de

germinação hidratadas, em placas de Petri, e colocados em geladeira (5 °C) até completa hidratação. Ao atingir esse ponto, foram retirados, secos levemente e pesados para determinação da massa túrgida (MT). Posteriormente, foram colocados em estufa para secagem (± 65 °C), até atingirem massa constante, para determinar a massa seca (MS). O teor relativo de água foi calculado através da fórmula de Weatherley (1950):

$$TRA = \left(\frac{MF-MS}{MT-MS} \right) \times 100 \quad (1)$$

b) Avaliações estomáticas: ao final do experimento, foram realizadas leituras das taxas de transpiração (E) e de fotossíntese (A), a condutância estomática (g_s) e a concentração interna de CO_2 (C_i), com o auxílio do analisador portátil de fotossíntese LCpro-SD (ADC BioScientific Ltd.). Essas leituras foram feitas em folhas completamente expandidas, duas por planta, inseridas no terceiro e quarto nós a partir do ápice das plantas, entre 9h e 10h da manhã. A partir dos valores de A e g_s , foi calculada a eficiência intrínseca no uso da água (EUA_i) e, com os dados de A e C_i , a eficiência de carboxilação (A/C_i).

2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância, utilizando o programa estatístico *Assista*[®] (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa dos tratamentos nos parâmetros TRA , g_s , E , A e EUA_i e efeito isolado no turno de rega em C_i e A/C_i .

Comparando-se as doses de K em cada tratamento de turno de rega (Tabela 2), verificou-se não haver efeito significativo da adubação potássica no TRA quando as plantas receberam água diariamente (ID) e a cada 5 dias (5D). No entanto, apesar do intervalo da irrigação aumentar para 10 (10D) e 15 dias (15D), o uso de 100 e 150 mg dm⁻³ de K possibilitou maior TRA , em comparação com 0 e 50 mg dm⁻³ de K.

Na análise do TRA nos regimes hídricos em cada dose de K, verificou-se igualdade estatística entre os tratamentos ID e 5D, os quais foram superiores a 10D e 15D, tanto em 0 como em 50 mg dm⁻³ de K. O fornecimento de 100 e 150 mg dm⁻³ de K proporcionou igualdade estatística entre os turnos de rega.

Tabela 2 – Teor relativo de água (TRA) (%) de plantas de *M. rígida*, em função da adubação potássica e do turno de rega.

Turno de rega	K (mg dm ⁻³)			
	0	50	100	150
ID	77,1 aA	73,3 aA	74,6 aA	78,9 aA
5D	82,1 aA	74,2 aA	76,1 aA	75,5 aA
10D	54,8 bB	65,4 bB	79,6 aA	74,8 aA
15D	46,5 bC	54,8 bB	77,0 aA	77,1 aA

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

Percebe-se, pelos dados contidos na Tabela 2, que, mesmo sob irrigação a cada cinco dias, as plantas de oiticica foram capazes de manter TRA elevado, independente do fornecimento de potássio, evidenciando a resistência da espécie ao déficit hídrico. No entanto, o efeito positivo do provisionamento com este nutriente, especificamente 100 e 150 mg dm⁻³ de K, tornou-se evidente quando as plantas foram irrigadas em intervalos maiores (10D e 15D), os quais possibilitaram a manutenção de alto TRA . De acordo com Prado (2010), valores de TRA abaixo de 50% são considerados críticos e podem levar à morte dos tecidos, com exceção de

algumas espécies xerófilas, que podem suportar este valor sem que ocorra a perda dos tecidos.

Redução no *TRA* em decorrência do déficit hídrico foi relatada em outras pesquisas (WANG, 2014; ATAÍDE et al., 2018; LEITE et al., 2018; ALMEIDA et al., 2020). No entanto, em aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem) e jucá (*Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul) sob déficits hídricos moderado e severo, Almeida et al. (2020) verificaram elevação no *TRA* quando forneceram potássio às plantas. O alto *TRA* apresentado pelas plantas, quando supridas com K, demonstra a capacidade do mesmo em proporcionar tolerância à seca, auxiliando na realização da fotossíntese e no transporte de carboidratos das folhas para as raízes (MARTINEAU et al., 2017), e do efeito osmótico exercido nas raízes, contribuindo para a absorção da água e manutenção de elevado *TRA* (PREMACHANDRA et al., 1992).

O *TRA* baixo causa inúmeros prejuízos a vários processos fisiológicos, desde a paralisação do crescimento celular, o fechamento dos estômatos e a redução na fotossíntese, além de prejudicar processos metabólicos básicos nas plantas, como a produção e degradação das proteínas e carboidratos e acúmulo de solutos, podendo comprometer o crescimento vegetal (KUMAR; SING, 1998; FRANCO et al., 2005).

Valor de *TRA* abaixo do crítico (46,5%) acima referido foi verificado apenas nas plantas do tratamento 15D, que não receberam o suprimento de K, evidenciando mais uma vez o papel deste nutriente na absorção e manutenção de água dos tecidos na espécie aqui estudada. O potássio é o íon encontrado em maior concentração no vacúolo das células, estando intimamente relacionado com o equilíbrio osmótico, atuando assim na manutenção da turgescência celular (KERBAUY, 2013; TAIZ et al., 2017). O acúmulo de solutos osmoticamente ativos na célula é uma importante estratégia desenvolvida pelas plantas que toleram a seca, promovendo redução no potencial hídrico (CHAVES FILHO; STACCIARINI-SERAPHIN, 2001).

À medida que se elevou a dose de K fornecida, ocorreu decréscimo progressivo na condutância estomática (g_s) em todos os turnos de rega avaliados (Tabela 3). Analisando-se os turnos de rega dentro das doses de K fornecidas, verificou-se que, nas plantas não adubadas (0 mg dm⁻³ de K), os maiores valores de g_s foram registrados nas plantas sob 5D e 10D. No entanto, nas plantas adubadas com 50 mg dm⁻³ de K, aquelas mantidas nos turnos 10D e 15D se sobressaíram, e a 100 mg dm⁻³ de K não houve diferença significativa entre os turnos de rega.

Fornecendo-se 150 mg dm⁻³ de K, as plantas sob irrigação diária apresentam menor condutância estomática, diferente estatisticamente das demais turnos de rega.

Tabela 3 – Condutância estomática (g_s) (mmol H₂O dm⁻² s⁻¹) de plantas de *M. rígida*, em função da adubação potássica e do turno de rega.

Turno de rega	K (mg dm ⁻³)			
	0	50	100	150
ID	0,79 bA	0,37 bB	0,26 aB	0,12 bB
5D	1,08 aA	0,43 bB	0,18 aC	0,29 aC
10D	0,95 aA	0,57 aB	0,19 aC	0,24 aC
15D	0,67 bA	0,53 aA	0,21 aB	0,25 aB

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

A adubação potássica não influenciou positivamente a g_s , independente do turno de rega, com redução média de 74% entre o tratamento sem K e o que recebeu a maior dose (150 mg dm⁻³). Resultados semelhantes foram obtidos em *Mimosa tenuiflora*, quando submetidas a 100% e 25% de capacidade de vaso (cv), em que a g_s reduziu com o acréscimo da quantidade de K (ALMEIDA et al., 2020). Contrariamente, Costa, Carvalho e Pinto (2019) relataram que a maior dose de potássio contribuiu para maior condutância estomática, acrescentando que o mesmo proporcionou maior equilíbrio entre a turgescência das células guardas e o controle do potencial osmótico da planta.

Redução na condutância estomática provavelmente está associada ao mecanismo de adaptação da planta quando exposta a condições de déficit hídrico, uma vez que, nessas circunstâncias, as plantas tendem a fechar os seus estômatos, provocando diminuição na transpiração foliar e, conseqüentemente, na perda de água (TAIZ et al., 2017). A redução da g_s é um mecanismo de avaliação do grau de estresse hídrico ao qual a muda está exposta em virtude da sensibilidade dos estômatos a mudanças na disponibilidade hídrica (EKSTEEN et al., 2013). Segundo Pita et al. (2005), este aspecto pode ser usado no melhoramento genético, objetivando o aumento da produtividade, mesmo em condições de seca.

Em relação à taxa de transpiração (E) (Tabela 4), comparando-se os tratamentos de K em cada turno de rega, verificou-se elevação nos valores à medida

que a dose fornecida aumentou, exceto nas plantas mantidas sob irrigação diária (ID), que apresentaram menor E quando receberam 150 mg dm^{-3} de K. Na comparação dos turnos de rega, em cada dose de K, a maior taxa de transpiração ocorreu nas plantas irrigadas a cada cinco dias (5D), quando receberam 0, 50 e 100 mg dm^{-3} de K, superiores aos turnos ID, 10D e 15D.

Tabela 4 – Taxa de transpiração (E) ($\mu\text{mol H}_2\text{O dm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de plantas de *M. rígida*, em função da adubação potássica e do turno de rega.

Turno de rega	K (mg dm^{-3})			
	0	50	100	150
ID	3,82 bA	3,92 bA	4,85 bA	3,27 bB
5D	4,53 aB	5,88 aA	6,36 aA	5,42 aA
10D	3,23 bB	3,11 bB	4,82 bA	5,00 aA
15D	3,08 bB	3,16 bB	4,77 bA	5,75 aA

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

Em um paralelo entre os tratamentos 5D e 10D, percebem-se reduções em E de 29% (0 mg dm^{-3} de K), 47% (50 mg dm^{-3} de K) e 24% (100 mg dm^{-3} de K), enquanto que, no tratamento 15D, as reduções foram, respectivamente, de 32%, 46% e 25%. Nas plantas adubadas com 150 mg dm^{-3} de K, foi verificada igualdade estatística entre os turnos de rega 5D, 10D e 15D, as quais foram superiores estatisticamente ao tratamento ID. Constata-se, então, efeito positivo da adubação potássica na atenuação da deficiência hídrica sobre a transpiração das plantas.

A redução da disponibilidade de água ocorrida nas plantas irrigadas em intervalos maiores de irrigação (10D e 15D) teve consequências diretas no TRA (Tabela 1) e na transpiração das plantas (Tabela 3). Percebe-se que as plantas dos tratamentos 10D e 15D, adubadas com K nas doses 0 e 50 mg dm^{-3} , apresentaram valores inferiores de TRA e, dessa forma, maior fechamento estomático e menor E . Segundo Chaves, Flexas e Pinheiro (2009), este fechamento estomático resultante do déficit hídrico é uma estratégia para diminuir a perda de água por transpiração. Com isso, a planta garante a manutenção de um estado adequado de hidratação e, conseqüentemente, de atividades vitais ao seu crescimento. O fechamento dos estômatos em decorrência do déficit hídrico também foi relatado por Albuquerque et

al. (2013), França et al. (2017), Campelo et al. (2018) e Almeida et al. (2020), dentre outros. O aumento no intervalo das irrigações e consequente diminuição no teor de umidade do solo pode ter resultado na produção do ácido abscísico (ABA) nas raízes e o seu transporte para as folhas, resultando no fechamento dos estômatos (INÁCIO et al., 2011; MORAES, 2011). Este, por sua vez, limita a perda de água por parte da planta, evitando a desidratação dos tecidos e consequente morte do vegetal (CHAVES et al., 2002; CHAVES et al., 2016).

O aumento na transpiração das plantas com a elevação na dose de K fornecida (100 e 150 mg dm⁻³) evidencia o efeito benéfico do potássio para as plantas, principalmente sob condições de déficit hídrico, através de um possível ajustamento osmótico celular, garantindo maior absorção de água e transpiração. Silva et al. (2013) reforçaram o papel do potássio como agente osmótico, garantindo a manutenção da absorção de água pelas plantas. Submetendo plantas de acerola ao estresse salino, Dias et al. (2019) relataram que a baixa transpiração foi um reflexo direto do comportamento estomático e que o uso do potássio nas plantas promoveu ajuste osmótico, garantindo maior absorção de água e aumentos da transpiração e taxa de assimilação de CO₂.

Em relação à taxa de fotossíntese (A) (Tabela 5), ocorreu redução gradativa à proporção que o intervalo das irrigações aumentou, independentemente da quantidade de K fornecida. Este efeito foi mais severo nas plantas que não receberam o potássio, com os valores de A reduzindo de 31,26 μmol.dm⁻².s⁻¹ (ID) para 5,08 μmol.dm⁻².s⁻¹ (15D), equivalente a 84% de decréscimo, enquanto que, nos demais tratamentos de K, ocorreu declínio médio de 60%.

Tabela 5 – Fotossíntese (A) (μmol CO₂ dm⁻² s⁻¹) de plantas de *M. rígida*, em função da adubação potássica e do turno de rega.

Turno de rega	K (mg dm ⁻³)			
	0	50	100	150
ID	31,26 aA	25,68 aA	35,92 aA	37,99 aA
5D	17,74 bB	17,82 bB	20,91 bB	26,82 bA
10D	12,12 bB	10,88 bB	13,50 bA	14,62 cA
15D	5,08 cC	10,80 bB	13,72 bA	14,75 cA

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (Tukey ≤0,05).

Comparando-se as doses de K, em cada turno de rega, nas plantas irrigadas diariamente (ID), não foi detectada diferença significativa entre os tratamentos. No entanto, no turno de rega 5D, ocorreu elevação em A quando receberam 150 mg dm⁻³ de K e, nos turnos de rega 10D e 15D, em que ocorreu elevação em A a partir de 100 mg dm⁻³ de K, sendo o efeito mais pronunciado nas plantas irrigadas a cada 15 dias (15D), com aumento de 66% nesta variável quando se compara às plantas que não receberam K (0 mg dm⁻³) com as que receberam 150 mg dm⁻³ de K.

O aumento no intervalo das irrigações impôs a condição de déficit hídrico às plantas, causando como resposta o fechamento dos estômatos, com consequentes decréscimos nas taxas de transpiração (Tabela 4) e de fotossíntese (Tabela 5). Tal resposta é um fato comum às plantas, e a intensidade desta varia com a espécie e com o grau da condição hídrica imposta.

Para alguns autores, a fotossíntese é diretamente prejudicada pela limitação das trocas gasosas que ocorrem nos estômatos, uma vez que reduz a disponibilidade de CO₂ à enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) (FLEXAS et al., 2004; PITA et al., 2005; SIRCELJ et al., 2007; CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; PINHEIRO; CHAVES, 2011; JACINTO JÚNIOR et al., 2019), o que, consequentemente, afeta a sua atividade (PARRY et al., 2002). Todavia, esse processo pode ter origem em outros fatores não-estomáticos, como o comprometimento do sistema fotossintético, por meio da desestruturação das membranas dos tilacoides (DIAS; BRÜGGERMANN, 2010), diminuição da síntese de ATP, do transporte de elétrons no fotossistema II (PSII), da capacidade e velocidade de regeneração da Rubisco (FLEXAS; MEDRANO, 2002; FLEXAS et al., 2004; CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009) e da regeneração da RuBP (BOUSSADIA et al., 2008).

Ribeiro (2006) salienta que as resistências relacionadas ao fluxo da água no sistema solo-planta-atmosfera causam desarmonia entre a absorção de água e a transpiração. Estes autores ressaltam ainda que o fechamento parcial dos estômatos é uma manobra para prevenir a desidratação excessiva ou um desbalanço hídrico foliar, o que, consequentemente, levaria à redução na taxa fotossintética. Diversos trabalhos relacionam a diminuição da condutância estomática e das taxas de transpiração e de fotossíntese com o déficit hídrico no solo, em espécies arbóreas da caatinga, a exemplo de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) (COSTA et al., 2015), ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*

(Mart. ex DC.) Mattos) (PESSOA; FREIRE; COSTA, 2017) e faveleira (*Cnidocolus quercifolius* Pohl.) (RAMOS; FREIRE, 2019).

Apesar da redução da taxa fotossintética, em função do aumento do turno de rega, percebe-se que este efeito é atenuado pelo uso do potássio, principalmente das doses 100 e 150 mg dm⁻³ de K (Tabela 5). Efeito positivo do potássio na manutenção de alto *TRA* e elevação na condutância estomática, transpiração e fotossíntese também foi obtido por Almeida et al. (2020) em *Myracrodruon urundeuva*, *Libidibia ferrea* e *Mimosa tenuiflora* sob condições de baixa disponibilidade hídrica. Estes autores atribuíram tais resultados à ação osmótica deste nutriente, proporcionando osmorregulação celular e maior absorção de água pelas plantas, corroborando as afirmações de Mendes et al. (2013), Battie-Laclau et al. (2014), Zahoor et al. (2017) e Dias et al. (2019).

Em razão do decréscimo em *g_s* (Tabela 3) e do aumento em *A* (Tabela 5), a eficiência intrínseca no uso da água (*EUA_i*) (Tabela 6) diminuiu à proporção que o intervalo entre as irrigações aumentou, em todos os níveis de K avaliados. Comparando-se os tratamentos ID e 15D, os decréscimos foram de 81%, 71% 53% e 81%, respectivamente, nos níveis de 0, 50, 100 e 150 mg dm⁻³ de K.

Tabela 6 – Eficiência intrínseca no uso de água (*EUA_i*) de plantas de *M. rígida*, em função da adubação potássica e do turno de rega.

Turno de rega	K (mg dm ⁻³)			
	0	50	100	150
ID	39,6 aD	69,7 aC	138,1 aB	316,6 aA
5D	16,4 bD	41,4 bC	116,2 bA	92,5 bB
10D	12,7 bC	19,1 cB	71,0 cA	60,9 cA
15D	7,58 cC	20,4 cB	65,3 dA	59,0 cA

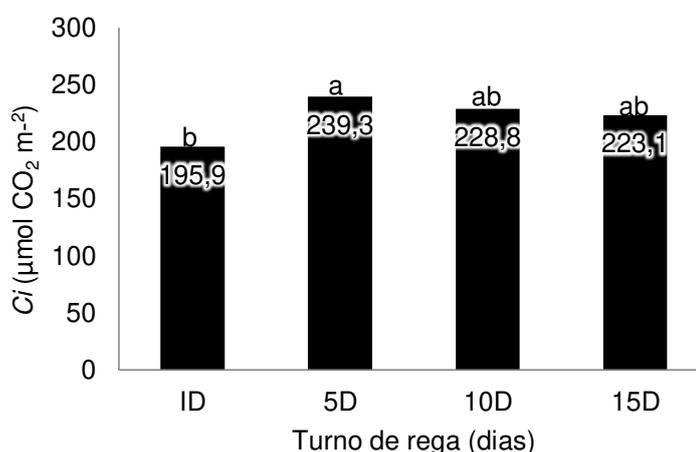
Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

Em cada turno de rega, ocorreu elevação na *EUA_i*, com o aumento na quantidade de K fornecida às plantas (Tabela 6), e entre os tratamentos 0 e 150 mg dm⁻³ de K, os valores obtidos nesta variável foram cerca de 8, 5,6, 4,8 e 7,8 vezes, respectivamente, nos turnos de rega ID, 5D, 10D e 15D.

Verifica-se, então, que a EUA_i foi fortemente afetada pelo estresse hídrico causado pelos ciclos de irrigação, independente da dose de potássio. Além disso, constatou-se que o fornecimento de K (100 e 150 mg dm⁻³) possibilitou a atenuação dos efeitos da eventual deficiência hídrica nas plantas sob os turnos de rega avaliados. Os valores apresentados na Tabela 5 são decorrentes principalmente do efeito positivo exercido pelo K na fotossíntese A (Tabela 5) e negativo na condutância estomática (Tabela 3). Tal afirmativa corrobora os estudos de Tsonev et al. (2011), os quais relataram que a redução em g_s e não em A pode explicar os valores mais elevados de EUA_i das plantas quando submetidas ao déficit hídrico. Isso porque, quando sob estresse hídrico, uma pequena redução na g_s pode ter efeito protetor contra o estresse hídrico, permitindo que as plantas reduzam o consumo de água e assim melhorem a eficiência no seu uso (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009). Efeito negativo do déficit hídrico na eficiência do uso da água e na taxa de fotossíntese também foi relatado por Hommel et al. (2014), ao avaliarem as condutâncias estomática e mesofílica de espécies florestais sob condições de baixa disponibilidade hídrica.

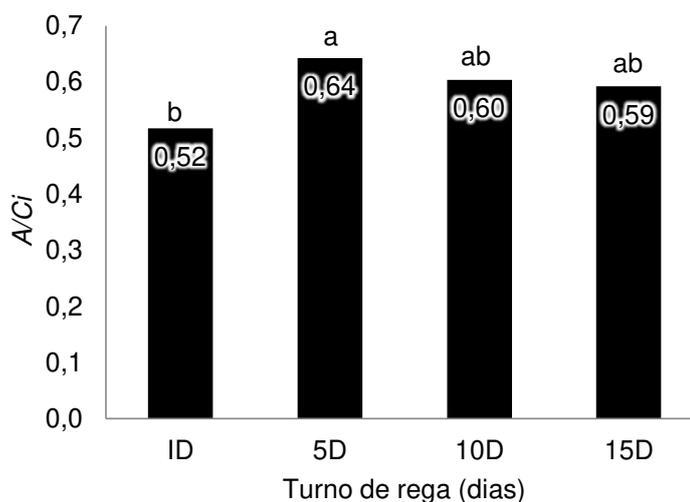
Segundo Dias et al. (2019), o potássio é essencial para a ativação de enzimas, translocação de carboidratos e regulação hídrica. Taiz et al. (2017) enfatizam que, em decorrência das trocas gasosas, durante a absorção de dióxido de carbono do meio externo, a planta perde água para a atmosfera e, para poder reduzir esta perda, ela diminui a entrada de CO₂.

Nas figuras 2 e 3 estão apresentados os dados de C_i e A/C_i , respectivamente. Figura 2 – Concentração interna de CO₂ (C_i) das folhas de *M. rigida* aos 120 DAE, em função do turno de rega.



Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

Figura 3 – Eficiência de carboxilação (A/C_i) das folhas de *M. rigida* aos 120 DAE, em função do turno de rega.



Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

Em relação à concentração interna de CO_2 (C_i), o maior valor foi verificado nas plantas irrigadas a cada 5 dias. No entanto, houve igualdade estatística entre este e os tratamentos 10D e 15D (Figura 2). O mesmo comportamento foi verificado na eficiência de carboxilação (A/C_i) (Figura 3). Fernandes et al. (2011) explicam que, durante as trocas gasosas, como os estômatos são responsáveis pela regulação da concentração subestomática de CO_2 , a C_i se mantém levemente constante, comportamento semelhante constatado nesta pesquisa.

4 CONCLUSÕES

O estresse hídrico prejudica as trocas gasosas em mudas de *M. rigida*.

A irrigação das plantas diariamente ou a cada cinco dias proporcionou a manutenção de maior *status* hídrico e melhor comportamento estomático, sendo que as mesmas se mostraram sensíveis ao estresse hídrico proporcionado pelos maiores turnos de rega (10D e 15D).

A adubação potássica mostrou-se eficaz na atenuação dos efeitos negativos causados pela deficiência hídrica sobre as trocas gasosas e EUA_i das plantas, destacando-se as doses de 100 e 150 mg dm^{-3} de K.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.
- ALMEIDA E. P.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, I. A.; FERREIRA, C. D.; FRANÇA, G. M.; BATISTA, A. W. Effects of potassium in *Myracrodruon urundeuva*, *Libidibia ferrea* and *Mimosa tenuiflora* seedlings under a short-term water deficit. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 5, p. 1-19, 2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf. Acessado em 04 jun. 2019.
- ATAÍDE, W.; CÂNDIDO NETO; SILVA, K.; BRITO, A.; CARDOSO, K.; NOGUEIRA, G.; COSTA, T.; OLIVEIRA, T.; MARTINS, J.; MACHADO, L. Growth and gas exchange of *Tachigali vulgaris* submitted to water deficiency. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 191-200, 2018.
- BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J. P.; BERI, C.; MIETTON, L.; MUNIZ, M. R. A.; ARENQUE, B. C.; PICCOLO, M. C.; JORDAN-MEILLE, L.; BOUILLET, J. P.; NOUVELLON, Y. Photosynthetic and anatomical responses of *Eucalyptus grandis* leaves to potassium and sodium supply in a field experiment. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 1, p. 70-81, 2014.
- BOUSSADIA, O.; MARIEM, F. B.; MECHRI, B.; BOUSSETTA, W.; BRAHAM, M.; EL HADJ, S. B. Response to drought of two olive tree cultivars (cv Koroneki and Meski). **Scientia Horticulturae**, London, v. 116, p. 388-393, 2008.
- CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. Características morfofisiológicas foliares e estado nutricional de seis espécies lenhosas em função da disponibilidade de água no solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 924-936, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v28n3/1980-5098-cflo-28-03-924.pdf>. Acessado em 27 mar. 2019.
- CHAVES FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 199-204, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbb/v24n2/a10v24n2.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2019.
- CHAVES, M. M.; COSTA, J. M.; ZARROUK, O.; PINHEIRO, C.; LOPES, C. M.; PEREIRA, J. S. Controlling stomatal aperture in semi-arid regions—The dilemma of saving water or being cool? **Plant Science**, London, v. 251, p. 54-64, 2016.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, Sydney, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2365–2384, 2004.

COSTA, A. S.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, I. A.; PEREIRA, F. H. F. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 705-717, 2015.

COSTA, W. R. S.; CARVALHO, P. H. M. S.; PINTO, P. A. C. Adubação potássica em cultivo protegido de pimentão sob sistema orgânico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 14, n. 2, p. 224-228, 2019.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A. Trocas gasosas, rendimento quântico e pigmentos fotossintéticos da aceroleira sob estresse salino e adubação potássica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 429-439, 2019.

DIAS, M. C.; BRÜGGERMANN, W. Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: gas exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. **Photosynthetica**, New York, v. 48, p. 96-102, 2010.

DINIZ NETO, M. A.; SILVA, I. F.; CAVALCANTE, L. F.; DINIZ, B. L. M. T.; SILVA, J. C. A.; SILVA, E. C. Mudanças de oiticica irrigadas com águas salinas no solo com biofertilizante bovino e potássio. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 10-18, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n1/v18n1a02.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2019.

EKSTEEN, A. B.; GRZESKOWIAK, V.; JONES, N. B.; PAMMENTER, N. W. Stomatal characteristics of *Eucalyptus grandis* clonal hybrids in response to water stress. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, London, v. 75, n. 3, p. 105-111, 2013.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; SOARES FILHO, W. S.; MELO, A. S.; CARNEIRO, P. T. Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, p.259-267, 2011.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, Berlin, v. 6, p. 269-279, 2008.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, Oxford, v.89, n.2, p.183-189, 2002.

FRANÇA, P. H. T.; SILVA, E. C. A.; SILVA, T. C.; BRASIL, N. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Análise fisiológica em mudas de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) submetidas ao déficit hídrico. **Agropecuária Científica no Semi-árido**, Patos, v. 13, n. 4, p. 264-269, 2017. Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/886>. Acessado em 23 abr. 2021.

FRANCO, A. C.; BUSTAMANTE, M.; CALDAS, L. S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; KOZOVITS, A. R.; RUNDEL, P.; CORADIN, V. T. R. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees**, Berlin, v. 19, n. 1, p. 326- 335, 2005.

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas na fase de muda. **Revista Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 1-12, 1999. Disponível em: <<http://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/download/520/447/>> . Acessado em: 20 de mai. de 2019.

HOLTHUSEN, D. REEB, D; HORN, R. Influence of potassium fertilization, water and salt stress, and their interference on rheological soil parameters in planted containers. **Soil & Tillage Research**, v. 125, p. 72–79, 2012.

HOMMEL, R.; SIEGWOLF, R. SAURER, M.; FARQUHAR, G. D.; KAYLER, Z.; FERRIO, J. P.; GESSLER, A. Drought response of mesophyll conductance in forest understory species – impacts on water-use efficiency and interactions with leaf water movement. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.152, n.1, p. 98-114, 2014.

INÁCIO, M. C.; SILVA, E. S.; SOUZA, M. E.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Mensageiros secundários relacionados à ação dos hormônios vegetais. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 4, p. 438-446, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/140363/ISSN0104-8996-2011-17-04-438-446.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em: 27 fev. 2021.

JACINTO JÚNIOR, G. S.; MORAES, J. G. L.; SILVA, F. D. B.; SILVA, B. N.; SOUSA, G. G.; OLIVEIRA, L. L. B.; MESQUITA, R. O. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 34, n. 3, p. 413-422, 2019.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 2. ed., 2013, 431 p.

- KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p.339-347, 2005.
- KUMAR, A.; SINGH, D. P. Use of physiological indices as a screening technique for drought to tolerance in oilseed Brassica species. **Annals of Botany**, Oxford, v. 81, n. 3, p. 413- 420, 1998.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.
- LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; RAMOS, C. A. S.; GONÇALVES NETO, L. P.; GUIMARÃES, D. S. Physiological responses of *Physalis angulata* plants to water deficit. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 10, n. 10, p. 287-297, 2018.
- MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 75-82, 2008.
- MARTINEAU, E.; DOMEQ, J. C.; BOSCH, A.; DANNOURA, M.; GIBON, Y.; BÉNARD, C.; JORDAN-MEILLE, L. The role of potassium on maize leaf carbon exportation under drought condition. **Acta Physiologie Plantarum**, Kraków, v. 39, n. 10, p. 219, 2017.
- MENDES, H. S. J.; PAULA, N. F.; SCARPINATTI, E. A.; PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Revista Cerne**, Lavras, v.19, n. 4, p.603- 611, 2013.
- MORAES, J. V. **Parâmetros biométricos, fisiológicos e bioquímicos em híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação**. 2011. 72p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102832>. Acessado em: 27 fev. 2021.
- PARRY, M. A.; ANDRALOJC, P. J.; KHAN, S.; LEA, P. J.; KEYS, A. J. Rubisco activity: effects of drought stress. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 833-839, 2002.
- PESSOA, J. L.; FREIRE, A. L. O.; COSTA, A. S. Trocas gasosas de plantas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC) Mattos submetidas ao déficit hídrico e posterior reidratação. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 3, p. 269-276, 2017.
- PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.
- PITA, P.; CAÑAS, I.; SORIA, F.; RUIZ, F.; TOVAL, G. Use of physiological traits in tree breeding for improved yield in drought-prone environments. The case of *Eucalyptus globulus*. **Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales**, Madrid, v. 14, n. 3, p. 383-393, 2005.

PRADO, J. M. Biotechnology of water and salinity stress tolerance. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 21, p. 185-196, 2010.

PREMACHANDRA, G. S.; SANEOKA, H.; FUJITA, K.; OGATA, S. Leaf water relations, osmotic adjustment, cell membrane stability, epicuticular wax load and growth as affected by increasing water deficits in sorghum. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 43, n.12, p. 1569–1576, 1992.

RAMOS, F. R.; FREIRE, A. L. O. Growth and gas exchange of *Cnidioscolus quercifolius* fertilized with potassium and under water deficit. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 11, n. 11, p. 23-29, 2019.

RIBEIRO, R.V. **Variação sazonal da fotossíntese e relações hídricas de laranjeira “Valência”**. Piracicaba, 2006. 157f. Tese (Doutorado em Agronomia / Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, P. M.C.; UCHÔA, S. C. P.; BARBOSA, J. B. F.; BASTOS, V. J.; ALVES, J. M. A.; FARIAS, L. C. Efeito do potássio e do calcário na qualidade de mudas de cedro doce (*Bombacopsis quinata*). **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p. 63-69, 2013.

SIRCELJ, H.; TAUSZ, M.; GRILL, D.; BATIČ, F. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. **Scientia Horticulturae**, London, v. 113, p. 362-369, 2007.

SOUZA, F. **Oiticica: Licania rigida Benth**. Fauna e Flora do RN. 2018. Disponível em: <http://faunaefloradorn.blogspot.com/2018/01/oiticica-licania-rigida-benth.html>. Acessado em: 12 jun. 2019.

SOUZA, B. C.; OLIVEIRA, R. S.; ARAÚJO, F. S.; LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Divergências funcionais e estratégias de resistência à seca entre espécies decíduas e sempre verdes tropicais. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 1, p. 21-32, 2015.

TAIZ, L. ; ZEIGER, E. MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre, 6. ed., 2017, 858 p.

TSONEV, T.; VELIKOVA, V.; YILDIZ-AKTAS, L.; GUREL, A.; EDREVA, A. Effect of water deficit and potassium fertilization on photosynthetic activity in cotton plants. **Plant Biosystems**, London, v. 145, n. 4, p. 841-847, 2011.

WANG, L.F. Physiological and molecular responses to drought stress in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 83, p. 243-249, 2014.

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant I: the field measurements of water deficits in leaves. **New Phytologist**, Manchester, p. 81-97,

1950. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>. Acessado em: 15 mai. 2019.

ZAHOOR, R.; DONG, H.; ABID, M.; ZHAO, W.; WANG, Y.; ZHOU, Z. Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. **Environmental and Experimental Botany**, v. 137, p. 73-83, 2017.

CAPÍTULO II – CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Microdesmia rigida*
(Benth.) Sothers & Prance **EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO POTÁSSICA E AO**
TURNO DE REGA

Crescimento e qualidade de mudas de *Microdesmia rigida* (benth.) Sothers & Prance em resposta à adubação potássica e ao turno de rega

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos da deficiência hídrica nos aspectos de crescimento e qualidade das mudas de *Microdesmia rigida*, bem como a capacidade da adubação potássica em atenuar esses efeitos. O experimento foi realizado em ambiente telado, com 50% de interceptação luminosa, no Viveiro Florestal da UAEF/UFCG. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), constando de um fatorial 4 x 4, sendo quatro níveis de potássio (K) (0, 50, 100 e 150 mg dm⁻³ K) e quatro turnos de rega (ID - irrigação diária (controle) e a cada 5 (5D), 10 (10D) e 15 dias (15D)), com cinco repetições e duas plantas por unidade amostral, totalizando 160 plantas. Foram avaliados a Taxa de crescimento absoluto (*TCA*), altura das plantas, diâmetro do caule, razão altura/diâmetro (*RAD*), massa seca das plantas e Índice de Qualidade de Dickson (*IQD*). Com exceção das variáveis *RAD* e *IQD*, que não foram afetadas pelos tratamentos impostos, as demais variáveis sofreram efeito significativo do turno de rega. Aumento no turno de rega afetou negativamente o crescimento e a produção de massa seca das plantas. A adubação potássica não atenuou os efeitos negativos dos turnos de rega sobre o crescimento e a produção de massa seca das mudas de *M. rigida*. A qualidade de mudas não foi afetada pelos fatores adubação potássica e turno de rega.

Palavras-chave: Caatinga; Estresse hídrico; Oiticica; Semiárido.

**Growth and quality of *Microdesmia rigida* (benth.) Sothers & Prance seedlings
in response to potassium fertilization and watering schedule**

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the effects of water deficiency on growth and quality of *Microdesmia rigida* seedlings, as well as the ability of potassium fertilization to attenuate these effects. The experiment was conducted in a shaded environment, with 50% light interception, in the Forest Nursery of UAEEF/UFCG. The treatments were distributed in an entirely randomized design (*DIC*), consisting of a 4x4 factorial, with four levels of potassium (*K*) (0, 50, 100 and 150 mg dm⁻³ K) and four irrigation shifts (ID - daily irrigation (control), and every 5 (5D), 10 (10D) and 15 days (15D)), with five repetitions and two plants per sampling unit, totaling 160 plants. Absolute growth rate (*TCA*), plant height, stem diameter, height/diameter ratio (*HDR*), plant dry mass and Dickson Quality Index (*DQI*) were evaluated. Except for the *HDR* and *DQI* variables, which were not affected by the imposed treatments, the other variables suffered significant effect of irrigation shift. Increase in irrigation shift negatively affected the growth and dry mass production of plants. Potassium fertilization did not mitigate the negative effects of irrigation shifts on the growth and dry mass production of *M. rigida* seedlings. The quality of seedlings was not affected by the potassium fertilization and irrigation shift factors.

Key words: Caatinga; Oiticica; Semiarid; Water deficit.

1 INTRODUÇÃO

A caatinga é o principal componente vegetacional da região semiárida do Brasil, sendo caracterizada pelas elevadas temperaturas e distribuição irregular das chuvas. Neste bioma, as plantas são completamente adaptadas às suas condições edafoclimáticas, podendo sobreviver a períodos de seca prolongados. A sua vegetação é formada, em sua maioria, por árvores de baixo porte e arbustos, que, no período seco do ano, perdem completamente suas folhas.

Dentre as espécies características deste bioma, merece destaque a oiticica (*Microdesmia rigida* (Benth.) Sothers & Prance), da família *Crysobalanaceae*, árvore de grande porte, nativa e endêmica do Brasil, ocorrendo principalmente em mata ciliar ou de galeria, sendo encontrada nas margens de rios e riachos do agreste e do sertão nordestino (DINIZ NETO et al., 2014). A ausência de caducifolia durante a estação seca nesta espécie a difere das demais, ressaltando ainda mais sua importância, uma vez que suas folhas são utilizadas no tratamento de inflamações e diabetes. Floresce na época seca do ano, entre junho e outubro, tem madeira resistente, a qual é usada na confecção de rodas de carro de boi e de pilões, para tábuas, mourões, lenha e carvão; indicada para restauração de matas ciliares de rios e riachos, fornecendo abrigo para animais silvestres (MAIA, 2004), bovinos e caprinos, proporcionando conforto térmico. Em meados do último século, houve uma grande exploração industrial da oiticica, movida principalmente pelo seu múltiplo uso e seu forte valor econômico, pois o óleo de suas sementes é recomendado como matéria-prima na fabricação de sabão e, mais recentemente, para a produção de biodiesel (SOUZA, 2018).

Uma das características da região semiárida brasileira é a ocorrência de longos períodos de seca, o que compromete seriamente o crescimento das plantas. Tal condição interfere na produção, translocação e utilização dos fotoassimilados necessários a esse crescimento. A redução na assimilação de carbono diminui a síntese de trioses fosfatadas, resultando na redução ou na paralisação do crescimento. Nesse caso, é comum que o crescimento se limite ao sistema radicular, numa estratégia para absorver água em horizontes mais profundos do solo (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997; MOURA et al., 2016).

Todavia, ao longo do tempo, as plantas desenvolveram mecanismos de adaptação para se desenvolver em ambientes áridos e semiáridos, mesmo estando

expostas a longos períodos de déficit de água no sol. Segundo Taiz et al. (2017), a deficiência de água na planta causa redução do turgor nas células, prejudicando, conseqüentemente, todos os processos que dependem diretamente dele, como a expansão foliar e o alongamento de raízes.

Uma alternativa para minimizar os efeitos da deficiência hídrica e conferir maior tolerância é o fornecimento de potássio (K) às mudas, já durante a fase de viveiro, de maneira a potencializar a sua rustificação (D'AVILA et al., 2011). A utilização desta fertilização mineral destaca-se por proporcionar maior resistência durante os períodos secos, aumentando o potencial de absorção (GONÇALVES; SOUSA; VELINI et al., 2015; BATTIE-LACLAU et al., 2016), garantindo assim as trocas gasosas e, conseqüentemente, o crescimento das plantas.

Embora não tenha função estrutural na planta, o potássio é um importante macronutriente, atuando na ativação de cerca de 50 enzimas (TAVARES et al., 2013; MARQUES et al., 2018). Em situações de baixo potencial hídrico, o K destaca-se por ser o principal íon presente nos vacúolos celulares relacionados ao controle osmótico, sendo de extrema importância na manutenção da turgescência celular (D'AVILA et al., 2011; BATTIE-LACLAU et al., 2016).

Apesar da importância econômica da oiticica, são escassas as pesquisas visando compreender as suas estratégias fisiológicas para sobreviver em um ambiente desafiador, como o semiárido nordestino, com cerca de apenas três a quatro meses de chuva, seguidos de um longo período de estiagem, todos os anos. Por se tratar de uma planta de mata ciliar, acredita-se que sua exigência por água seja grande em relação a outras espécies que não habitam tal ambiente, o que torna de suma importância o entendimento do seu comportamento sob condições hídricas desfavoráveis.

Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da deficiência hídrica nos aspectos de crescimento e qualidade das mudas de *Microdesmia rigida*, bem como a capacidade da adubação potássica em atenuar esses efeitos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Considerações gerais

O experimento foi realizado em ambiente telado, com 50% de interceptação luminosa, no Viveiro Florestal da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, pertencente ao Centro de Saúde e Tecnologia Rural da Universidade Federal de Campina Grande, localizado no município de Patos – PB (07°03'39" S e 37°16'38" W), com altitude média de 250 m. O clima da região é classificado, segundo Köppen, como BSh, semiárido, com temperaturas médias anuais superiores a 25°C e média anual de pluviosidade em torno de 750 mm, com irregularidade na distribuição das chuvas e umidade relativa do ar média de 65% (ALVARES et al., 2013).

As sementes de oiticica, provenientes de 5 matrizes presentes na comunidade do Distrito de Socorro, na zona rural do município de Olho d'Água – PB, foram colocadas em sementeira contendo areia, e, aos cinco dias após a emergência (DAE), as plântulas foram transferidas para recipientes (sacos plásticos pretos) contendo 5 kg de uma mistura de terra de subsolo e esterco bovino, proporção 2:1. Antes do enchimento dos recipientes, o substrato foi adubado com N, P e K. O nitrogênio e o fósforo foram adicionados segundo recomendação de Furtini Neto et al. (1999), e a adubação com potássio foi feita de acordo com os tratamentos testados.

O solo utilizado no experimento foi coletado na Fazenda Nupeárido, pertencente à UFCG, sendo destorroado e peneirado e submetido à análise física e de fertilidade, no Laboratório de Análise de Solo e Água da UFCG (Tabela 1).

Durante o período experimental, a irrigação dos vasos foi feita procurando-se manter a umidade próxima a 80% da capacidade de retenção do substrato, obtida através de pesagens. Para a determinação desta capacidade de retenção, cinco vasos foram submersos em um balde com água até o completo encharcamento do substrato. Em seguida, os mesmos foram retirados e, após a completa lixiviação, foram submetidos à pesagem. Esse valor correspondeu ao peso dos mesmos com 100% da capacidade de vaso (cv) e, baseado nele, foi calculado o peso que deveria possuir ao atingir 80% da capacidade de retenção.

Tabela 1 – Análise química e física do solo utilizado

Característica	Unidade	Valor
Análise química		
pH (CaCl ₂ 0,01 M)	-	5,0
P	µg dm ⁻³	4,5
Ca	cmol _c dm ⁻³	5,1
Mg	cmol _c dm ⁻³	1,9
K	cmol _c dm ⁻³	0,17
Na	cmol _c dm ⁻³	0,57
H + Al	cmol _c dm ⁻³	3,1
CTC	%	10,84
V	%	71,4
Análise física		
Areia	g kg ⁻¹	780
Silte	g kg ⁻¹	100
Argila	g kg ⁻¹	120
Classificação textural	-	Areia franca

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), constando de um fatorial 4 x 4, sendo quatro níveis de potássio (K) (0, 50, 100 e 150 mg dm⁻³ K) e quatro turnos de rega (ID - irrigação diária (controle) e a cada 5 (5D), 10 (10D) e 15 dias (15D)), com cinco repetições e duas plantas por unidade amostral, totalizando 160 plantas.

Os regimes hídricos foram iniciados aos 25 dias após a transferência das plântulas para os vasos (plantas com 30 dias de idade). Nesse dia, foi realizada a medição da altura das plantas (altura inicial). Essa medição também foi realizada ao final do experimento, que ocorreu aos 90 dias após o início dos tratamentos hídricos [120 dias após a emergência (DAE)].

2.3 Parâmetros avaliados

a) Taxa de crescimento absoluto (*TCA*) (cm dia⁻¹): foi avaliada segundo equação descrita por Benincasa (2003):

$$TCA = \left(\frac{Af - Ai}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

Sendo: A_i – altura inicial;

A_f – altura final;

Δt – intervalo de tempo entre as amostragens.

b) Altura da planta (cm): foi considerada como a distância do nível do solo até o ápice da planta;

c) Diâmetro do caule (mm): foi considerado o diâmetro do caule tomado a 1,0 cm acima do nível do solo;

d) Massa seca da planta (g): foram coletadas as folhas, o caule e as raízes, acondicionados em sacos de papel, e colocados para secar em estufa (65 °C) durante 48 horas. Em seguida, foram submetidos à pesagem e determinados os pesos das matérias secas de cada componente.

e) Qualidade das mudas: foi avaliada através da razão altura diâmetro (RAD) e do Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

A razão altura diâmetro (RAD) foi calculada usando os dados finais de altura (A_f) e diâmetro do caule (D_f), empregando-se a equação:

$$RAD = \left(\frac{A_f}{D_f} \right) \quad (3)$$

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960) foi calculado por meio da seguinte equação:

$$IQD = \left(\frac{MST}{RAD + RPAR} \right) \quad (4)$$

Sendo: MST: massa seca total final;

RPAR: razão massa seca da parte aérea/massa seca das raízes.

2.4 Análise estatística

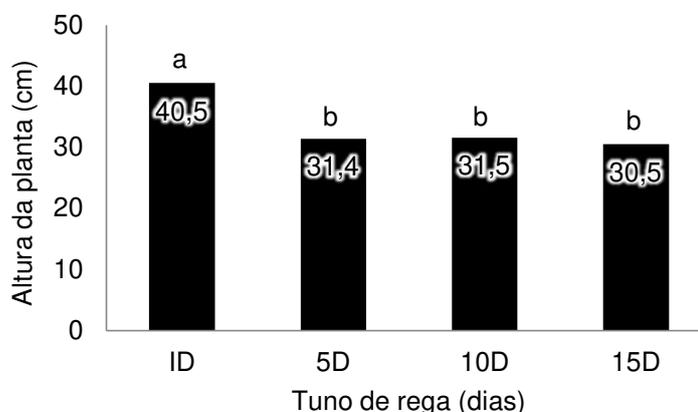
Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância, utilizando o programa estatístico *Assistat*[®] (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com exceção do Índice de Qualidade de Dickson e da Razão Altura/Diâmetro das mudas de *M. rigida*, que não apresentaram diferença significativa para os fatores estudados, as demais variáveis foram afetadas, de forma isolada, pelo turno de rega.

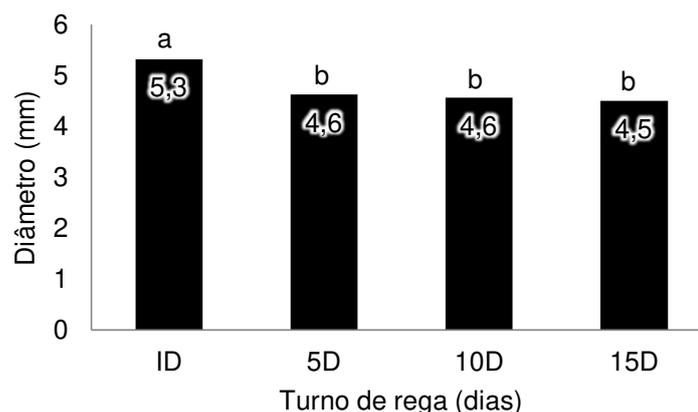
Na **Figura 1**, verifica-se que o estresse hídrico, causado pelos turnos de rega, afetou negativamente na altura das plantas, as quais apresentaram redução média de 23%, para essa variável, quando comparadas às plantas que receberam irrigação diária (ID). Comportamento semelhante foi verificado no diâmetro do caule (Figura 2), em que a suspensão da irrigação provocou uma redução média de 13% no diâmetro do caule das plantas.

Figura 1 – Altura de mudas de *M. rigida* aos 120 DAE, em função do turno de rega.



Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

Figura 2 – Diâmetro de mudas de *M. rigida* aos 120 DAE, em função do turno de rega.



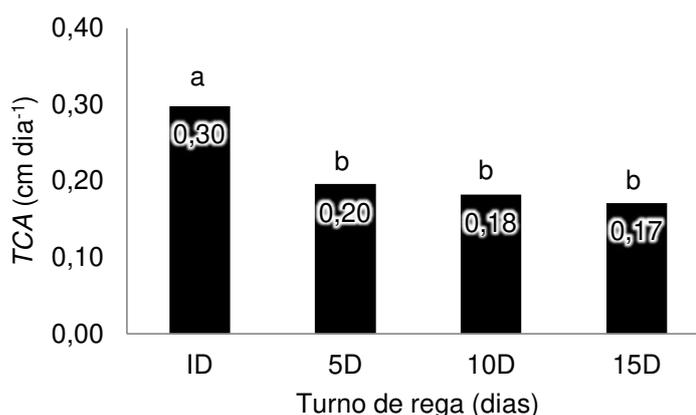
Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

Nascimento et al. (2011), estudando o crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo, constataram que as plantas sob estresse severo (25% CP) apresentaram reduções de 42,17% e 31%, respectivamente, na altura das plantas e no diâmetro do caule, quando comparado com o tratamento controle (100% CP). Efeitos negativos da baixa disponibilidade hídrica na altura e no diâmetro do caule também foram relatados por Silva et al. (2002) e Figueirôa; Alencar; Simabukuro (2004). Em plantas de craibeira (*Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook f. ex S. Moore), o estresse hídrico reduziu o crescimento (cm) da parte aérea das plantas com 25% cv até os 120 dias, em comparação com as plantas mantidas a 100% cv e 50% cv (CABRAL; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004).

A diminuição na altura de plantas pode estar relacionada à redução da assimilação de carbono causada pela difusão limitada de CO₂ da atmosfera para a planta, em decorrência do fechamento dos estômatos. De acordo com Taiz et al. (2017), o gradiente de perda de água é aproximadamente 50 vezes maior do que o gradiente de entrada de CO₂, portanto limitado quando a perda de água da planta limita a entrada de mais CO₂.

Os efeitos negativos do déficit hídrico causados pela redução no turno de rega, em relação às plantas irrigadas diariamente (ID), ficam mais evidentes quando se analisa a TCA (Figura 3), com redução de 43%. Não foi detectada diferença significativa entre os tratamentos 5D, 10D e 15D, tanto neste parâmetro, como na altura das plantas (Figura 1) e no diâmetro do caule (Figura 2).

Figura 3 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) de mudas de *M. rigida* aos 120 DAE, em função do turno de rega.



Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

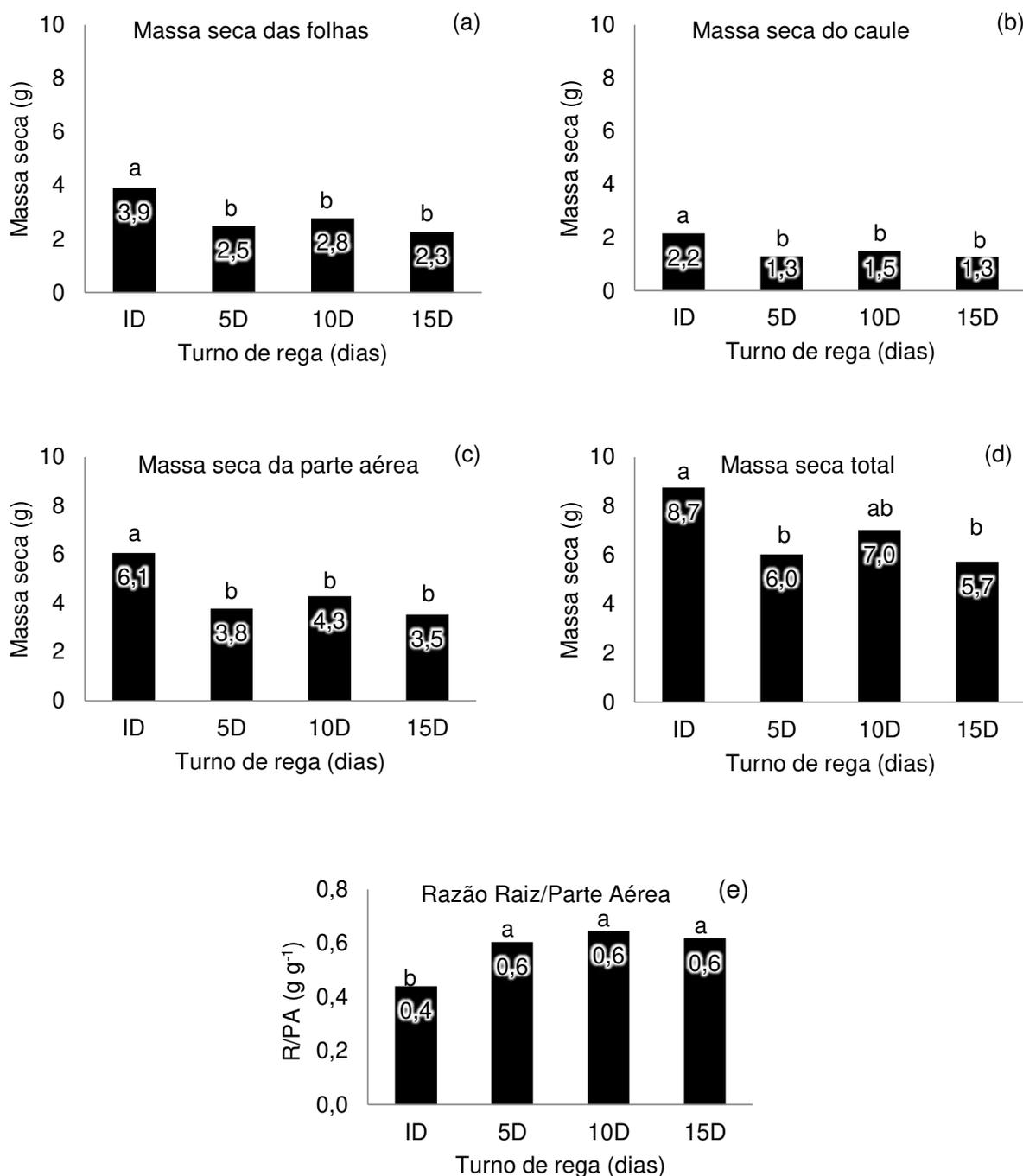
O déficit hídrico é um dos principais fatores ambientais que interferem negativamente no crescimento e no desenvolvimento do vegetal (MARTINS et al., 2008; GOLLDACK; LÜKING; YANG, 2011), causando alterações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas (ZOBAYED; AFREEN; KOZAI, 2007; MARTINS et al., 2008). Dentre tais modificações, está a desidratação do protoplasma, resultando na diminuição do volume celular e aumento da concentração de solutos, afetando negativamente o alongamento celular (CHAVES; OLIVEIRA, 2004). Além disso, ocorre o fechamento dos estômatos e, como consequência, a diminuição da transpiração e da fotossíntese (PORTES; ALVES; SOUZA, 2006; SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, 2007), resultando em prejuízos no crescimento das plantas.

Verificou-se que a restrição hídrica apresentou efeito negativo sobre as mudas, promovendo redução do acúmulo de massa seca em todos os órgãos (Figura 4), com exceção da raiz, que não apresentou diferença significativa. O turno de rega reduziu em 36% o acúmulo da massa seca das folhas, do caule e da parte aérea das plantas (Figura 4a, Figura 4b e Figura 4c). Além disso, houve diminuição na massa seca total em 31 e 34%, nos tratamentos 5D e 15 D, respectivamente, quando comparado ao tratamento controle (ID) (Figura 4d).

A razão R/PA (Figura 4e) aumentou com a suspensão da irrigação, indicando que as mudas de *M. rigida* submetidas ao estresse hídrico apresentaram a habilidade de inverter o padrão de desenvolvimento inicial, uma vez que a garantia de um sistema radicular bem desenvolvido é imprescindível para manutenção da absorção de água em condições de escassez.

Embora todos os parâmetros de crescimento da parte aérea das plantas de oiticica tenham sido afetados pelo turno de rega, a massa seca das raízes não apresentou redução quando submetida a estas condições de estresse.

Figura 4 – Produção de massa seca de mudas de *M. rigida* aos 120 DAE, em função do turno de rega.



Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si (Tukey $\leq 0,05$).

O investimento elevado de fotoassimilados na formação das raízes dessa espécie mostra a importância deste órgão no armazenamento de nutrientes e água, principalmente, no período de escassez. Scalon et al. (2011), avaliando o estresse

hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.), verificaram que a planta investiu maior quantidade de fotoassimilados para o desenvolvimento radicular em detrimento da parte aérea, entretanto, aos 83 dias, as mudas sob o mesmo nível de água, provavelmente, já não conseguiam realizar atividade fotossintética e produzir fotoassimilados necessários para a manutenção do crescimento, sendo 25% cv um nível restritivo para o crescimento da planta.

Essa maior alocação de fotoassimilados para as raízes na muda em condição de déficit hídrico sugere uma priorização do crescimento radicular, o que favorece a absorção de água e menor perda de água por transpiração (FIGUEIRÔA et al., 2004; TAIZ et al., 2017). Os padrões de partição de fotoassimilados podem variar em função da espécie, idade e condições climáticas a que são submetidas. Para Grime e Roderick Hunt (1975), esse padrão de inversão ocorre quando as mudas estão submetidas a uma condição em que a água e/ou os nutrientes estão limitando o seu crescimento, havendo então maior alocação de assimilados para as raízes, proporcionando assim maior crescimento destas.

Observou-se também que adubação potássica e turno de rega não exerceram efeito significativo na qualidade das mudas de *M. rigida*. Apesar de não ter ocorrido diferença significativa entre os tratamentos, a razão altura/diâmetro (*RAD*) das plantas variou de 5,99 a 8,14, valores estes que as caracterizam como mudas de alta qualidade. Segundo José, Davide e Oliveira (2009), mudas de espécies florestais de alta qualidade devem apresentar *RAD* inferior a 10, e, quando essa exigência é atendida, as mudas tendem a apresentar maior sobrevivência em campo. De acordo com Carneiro (1995), a *RAD* demonstra um equilíbrio de crescimento, correlacionando dois parâmetros morfológicos importantes em apenas um, sendo observado que os menores valores desse índice estão relacionados com uma maior capacidade das mudas de se estabelecerem e sobreviverem após o plantio definitivo.

A constatação da alta qualidade das mudas de *M. rigida* fica ainda mais evidente quando observamos o *IQD*, em que, mesmo sem apresentar efeito significativo dos fatores estudados, os valores variaram entre 0,55 e 1,08. Para Hunt (1990), as mudas são consideradas de qualidade elevada quando apresentam valores de *IQD* acima de 0,20. Segundo Fonseca et al. (2002), o *IQD* é um bom indicador da qualidade das mudas, pois seu cálculo leva em consideração a

robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa das mudas e também os resultados de vários parâmetros importantes para avaliação da qualidade.

4 CONCLUSÕES

Aumento no turno de rega afetou negativamente o crescimento e a produção de massa seca das mudas.

A adubação potássica não atenuou os efeitos negativos dos turnos de rega sobre o crescimento e a produção de massa seca das mudas de *M. rigida*.

A qualidade de mudas não foi afetada pelos fatores adubação potássica e turno de rega.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J. P.; BERI, C.; MIETTON, L.; MUNIZ, M. R. A.; ARENQUE, B. C.; PICCOLO, M. C.; JORDAN-MEILLE, L.; BOUILLET, J. P.; NOUVELLON, Y. Photosynthetic and anatomical responses of *Eucalyptus grandis* leaves to potassium and sodium supply in a field experiment. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 1, p. 70-81, 2014.
- BATTIE-LACLAU, P.; DELGADO-ROJAS, J. S.; CHRISTINA, M.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P.; PICCOLO, M. C.; MOREIRA, M. Z.; GONÇALVES, J. L. M.; ROUPSARD, O.; LACLAU, J. P. Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 364, p. 77-89, 2016.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003, 41 p.
- CABRAL, E. L.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 241-251, 2004.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR; FUPEF; Campos: UNEF, 1995, 451 p.
- CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2365–2384, 2004.
- D'AVILA, F. S.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de Eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 13-19, 2011.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v.36, p.10-13, 1960.
- DINIZ NETO, M. A.; SILVA, I. F.; CAVALCANTE, L. F.; DINIZ, B. L. M. T.; SILVA, J. C. A.; SILVA, E. C. Mudanças de oiticica irrigadas com águas salinas no solo com biofertilizante bovino e potássio. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 10-18, 2014.
- FIGUEIRÔA, M. F.; ALENCAR, D. C. B.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 1-14, 2004.

- FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.4, p.515-523, 2002.
- FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas na fase de muda. **Revista Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 1-12, 1999.
- GOLLDACK, D.; LÜKING, I.; YANG, O. Plant tolerance to drought and salinity: stress regulating transcription factors and their functional significance in the cellular transcriptional network. **Plant Cell Rep**, v.30, p.1383-1391; 2011.
- GONÇALVES, K. S.; SOUSA, A. P.; VELINI, E. D. Aplicação de reguladores vegetais e de fosfito de potássio em mudas de eucalipto submetidas à deficiência hídrica. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 273-285, 2015.
- GRIME, J. P.; HUNT, R. Relative Growth-Rate: Its Range and Adaptive Significance in a Local Flora. **Journal of Ecology**, Londres, v. 63, n. 2, p. 393–422, 1975.
- HUNT, G. A. Effect of styroblock design and cooper treatment on morphology of conifer seedlings. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM, MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, GENERAL TECHNICAL REPORT RM-200, 1990. Proceedings... **Fort Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service**, Roseburg, p. 218-222, 1990.
- JOSE, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebenthifolia* Raddi). **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.
- KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY S. G. **Physiology of Woody Plants Biological: techniques series**. Academic Press, 1997, 411 p.
- MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo, Brasil: D&Z, 2004. 413 p.
- MARQUES, D. J.; BIANCHINI, H. C.; LOBATO, A. K. S.; SILVA, W. F. **Potassium fertilization in the production of vegetables and fruits**. In: Potassium-Improvement of quality in fruits and vegetables through hydroponic nutrient management. IntechOpen, p.118, 2018.
- MARTINS, F. B.; STRECK, N. A.; SILVA, J. C.; MORAIS, W. W.; SUSIN, F.; NAVROSKI, M. C.; VIVIAN, M. A. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 1297-1306, 2008.
- MOURA, A. R.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J. A. A.; LIMA, T. V. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 617-626, 2011.

PORTES, M. T.; ALVES, T. H.; SOUZA, G. M. Water deficit affects photosynthetic induction in *Bauhinia forficata* Link (*Fabaceae*) and *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (*Rutaceae*) growing in understorey and gap conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos do Goitacazes, v. 18, p. 491-512, 2006.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SHINOZAKI, K; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 221-227, 2007.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, S. R. S.; DEMUNER, A. J.; BARBOSA, L. C. A.; CASALI, V. W. D.; NASCIMENTO, E. A.; PINHEIRO, A. L. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1363-1368, 2002.

SOUZA, N. S.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; SILVA, M. K. F.; OLIVEIRA, L. J. S.; MAIA, W. J. M. S.; SAUMA FILHO, M. Crescimento e desenvolvimento de plantas jovens de ipê-amarelo submetidas a diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.12, n.7, p.3108-3117, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre, 6. ed., 2017, 858 p.

TAVARES, L. C.; TUNES, L. M.; BRUNES, A. P.; FONSECA, D. A. R.; RUFINO, C. A.; BARROS, A. C. S. A. Potássio via recobrimento de sementes de soja: efeitos na qualidade fisiológica e no rendimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1196-1202, 2013.

ZOBAYED, S. M. A.; AFREEN, F.; KOZAI, T. Phytochemical and physiological changes in the leaves of St. John's wort plants under a water stress condition. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 109-116, 2007.