

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

DISSERTAÇÃO

**AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DE MUDAS DE PIMENTA DO REINO
(*Piper Nigrum* L.), SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E
DOSES DE ADUBO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA**

CLODOALDO SPADETO AMBROZIM

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DE MUDAS DE PIMENTA DO REINO
(*Piper Nigrum* L.), SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E
DOSES DE ADUBO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA**

CLODOALDO SPADETO AMBROZIM

Sob a Orientação do Professor
Daniel Fonseca de Carvalho

Co-orientação do Professor
Leonardo Oliveira Medici

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Fitotecnia**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Ecofisiologia.

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A496a Ambrozim, Clodoaldo Spadeto, 1989-
 AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DE MUDAS DE PIMENTA DO REINO
 (Piper Nigrum L.), SOB DIFERENTES LÂMINAS DE
 IRRIGAÇÃO E DOSES DE ADUBO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA /
 Clodoaldo Spadeto Ambrozim. - Seropédica, 2019.
 53 f.

 Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.
 Coorientador: Leonardo Oliveira Medici.
 Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
 Rural do Rio de Janeiro, Fitotecnia, 2019.

 1. Irrigação automatizada. 2. Desenvolvimento de
 plantas. 3. Nutrição de plantas. 4. Déficit hídrico. 5.
 Comportamentos fisiológicos. I. de Carvalho, Daniel
 Fonseca, 1968-, orient. II. Medici, Leonardo
 Oliveira, 1967-, coorient. III Universidade Federal
 Rural do Rio de Janeiro. Fitotecnia. IV. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

CLODOALDO SPADETO AMBROZIM

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Fitotecnia,
do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRRJ, área de concentração Fisiologia da
Produção.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/02/2019.



Daniel Fonseca de Carvalho, Dr. UFRRJ (Orientador)



Robson Bonomo Dr. (UFES)



Junior Borella Dr. (UFRRJ)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Laurentino Ambrozim e Zélina Spadeto Ambrozim, aos meus irmãos Wilson, Geovani e Janny pelo amor, carinho, confiança, educação e apoio durante toda minha caminhada.

À Franciéli de Paula Dela Costa pelo apoio e companheirismo nos bons e principalmente nos maus momentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela capacidade de aprender que me foi dado, que junto com as oportunidades criadas, me permitiu chegar até aqui.

Aos meus pais Laurentino Ambrozim e Zélina Spadeto Ambrozim e aos meus irmãos Wilson, Geovani e Janny pela compreensão e incentivo, sempre apoiando minhas decisões, possibilitando que pudesse alcançar meus objetivos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelo suporte para o desenvolvimento das atividades de pesquisa.

Ao orientador Daniel Fonseca de Carvalho que proporcionou todas as condições para a execução dos experimentos e muito contribuiu com seu conhecimento e experiência para o meu desenvolvimento acadêmico.

Ao Leonardo Oliveira Medici, pela coorientação e pela colaboração no decorrer dos experimentos e pela transferência de conhecimento durante todo o tempo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos os membros do Grupo de Pesquisa Água e Solo em Sistemas Agrícolas (GPASSA), pelo companheirismo e troca de conhecimento durante os dois anos no qual participei. Agradecendo em especial ao Eleandro Silva da Cruz, quem muito me ajudou na execução e condução dos experimentos.

Ao Laboratório de Estudo das Relações Solo - Planta (LSP), pelo apoio na realização de análises experimentais.

A Família dBonomo pelo fornecimento das mudas para a realização desse trabalho.

A todos àqueles que direta e indiretamente contribuíram com este trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO GERAL

AMBROZIM, Clodoaldo Spadeto. **Avaliação fisiológica de mudas de pimenta do reino (*Piper nigrum* L.), sob diferentes lâminas de irrigação e doses de adubo de liberação controlada.** 2019. 53p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

A pimenta do reino é uma planta cultivada principalmente em países de climas tropicais, e no Brasil apresenta grande importância econômica nos estados do Espírito Santo e Pará. Embora, poucas informações são disponíveis na literatura, sobretudo com relação às necessidades hídrica e nutricional da cultura. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de mudas de pimenta do reino sob diferentes doses de nutrientes, bem como o status fisiológico da cultura quando submetida a estresse hídrico. Para isso foram conduzidos dois experimentos no setor de Horticultura do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. No primeiro, estacas de pimenta do reino (*cv* Bragantina) foram pré enraizadas por 60 dias em areia lavada, e em seguida transplantadas em tubetes de polietileno, com capacidade de 280 cm³. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema uni fatorial, com 4 doses de adubo de liberação controlada com formulação de NPK 14-14-14 (concentrações de 0,0; 2,5; 5,0 e 10,0 kg m⁻³) (osmocote®), com 10 repetições. Após 30 dias da repicagem, a altura das plantas foi periodicamente mensurada até os 120 dias. Ao final do experimento foram realizadas análises para avaliação de massas fresca e seca da parte aérea e de raízes, número de folha e área foliar, além de análises químicas da parte aérea das plantas e raízes, e dos substratos. No segundo experimento, plantas de pimenta do reino (*cv* Bragantina) com aproximadamente 120 dias foram cultivadas em vasos de 5,0 L e submetidas a diferentes suprimentos de água, relativos a 100, 78, 58 e 32% do volume aplicado por meio de um acionador automático de irrigação. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com 4 tratamentos e 6 repetições. Quando detectado fechamento estomático em cerca de 50% das plantas de um tratamento, o mesmo foi reidratado e submetido novamente ao tratamento correspondente. Os teores de clorofila e condutância estomática (*gs*) foram mensurados periodicamente durante os 33 dias de avaliação, enquanto leituras de potencial osmótico foliar (Ψ_f) e conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas, foram realizadas aos 22, 28 e 31 dias de restrição hídrica (DRH). Com relação ao primeiro experimento, maiores alturas de plantas e massas seca e fresca da parte aérea foram verificadas em mudas produzidas com maiores doses de adubo, assim como maiores taxas de área foliar e índices de clorofila *a* e *b*. Variações nos teores de macro e micronutrientes foram verificados entre a parte aérea e radicular das plantas de acordo com doses aplicadas. Os diferentes níveis de irrigação (segundo experimento) influenciaram os valores de Ψ_f e CRA em plantas de pimenta do reino. Naquelas submetidas ao menor nível de irrigação foi constatado fechamento total de estômatos aos 28 DRH, demonstrando pequena recuperação após a reidratação. Valores de clorofila *a*, *b* e clorofila total foram afetados negativamente pelos níveis de irrigação. Mudas de pimenta do reino produzidas com doses de 10,0 kg m⁻³ de adubo de liberação controlada apresentam maior altura e massas fresca e seca de raiz; houve variações nos teores de nutrientes em relação à parte aérea e raiz em plantas de pimenta do reino; plantas de pimenta do reino são sensíveis a estresse hídrico mais rigoroso, com recuperação parcial de Ψ_f , CRA e condutância estomática no tratamento com 32% de reposição de água.

Palavras chave: irrigação automatizada, desenvolvimento de plantas, nutrição de plantas, déficit hídrico, comportamentos fisiológicos.

ABSTRACT

AMBROZIM, Clodoaldo Spadeto. **Physiological evaluation of black pepper (*Piper nigrum* L.), under different irrigation levels and controlled release fertilizer doses.** 2019. 53p. Dissertation (Master in Plant Science) Institute of Agronomy, Department of Plant Science, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

Black Pepper is a plant cultivated mainly in countries of tropical climates; in Brazil, it presents great economic importance in the states of Espírito Santo and Pará. However, there are little information available in the literature, especially in relation to the water and nutritional needs of the crop. Therefore, the main objective of this work was to evaluate the production of black pepper seedlings under different nutrient doses, as well as the physiological status of the crop when submitted to water stress. For this purpose, two experiments were going conducted in the horticulture sector of the Institute of Agronomy of the Federal Rural University of Rio de Janeiro. In the first, pepper stakes (*cv Bragantina*) were pre-rooted for 60 days in wet sand, and then transplanted in polyethylene tubes with a capacity of 280 cm³. The experimental design was completely randomized in a unit-factorial scheme with 4 doses of controlled release fertilizer (concentrations of 0,0, 2,5, 5,0 and 10,0 kg m⁻³) (osmocote®), with 10 replications for each one. After 30 days of replication, the height of the plants was going periodically measured up to 120 days. After this time, destructive analyzes were carried out to evaluate fresh and dry masses of shoot and roots, leaf number and leaf area, as well as chemical analysis of shoots, roots and substrates. In the second experiment, pepper plants (*cv Bragantina*) with approximately 120 days were cultivated in flower pot (5.0 L) and submitted to different water supplies, corresponding to 100, 78, 58 and 32% of the volume applied by means of an automatic irrigation actuator. The experimental design was in randomized blocks, with 4 treatments and 6 replicates. When wilt symptom was detected in about 50% of the plants of a treatment, it was rehydrated and subjected to the corresponding treatment again. Chlorophyll content and stomatal conductance (*g_s*) were measured periodically during the 33 days of evaluation, while leaf osmotic potential (Ψ_f) and relative water content (CRA) were measured at 22, 28 and 31 days of restriction (HRD). The first experiment results show that higher plant height and dry and fresh root mass were going verified in seedlings produced with higher doses of fertilizer, as well as higher leaf area rates and chlorophyll a and b indexes. Variations in the macro and micronutrients contents appear between the aerial part and the root of the plants according to the applied doses. The different levels of irrigation (second experiment) influenced the values of Ψ_f and CRA in black pepper plants. In those plants submitted to the lowest irrigation level (32%), total stomata closure performed at 28 HRD, showing a small recovery after rehydration. Values of chlorophyll *a*, *b* and Total were also affected by irrigation levels. Thus, allowing to conclude that black pepper seedlings, produced with doses of 10.0 kg m⁻³ of controlled release fertilizer, present higher height and fresh and dry root masses; there were variations in the contents of nutrients in relation to the aerial part and root in black pepper; pepper plants are sensitive to more stringent water stress, with partial recovery of Ψ_f , CRA and stomatal conductance in 32% water replenishment treatment.

Keywords: automated irrigation, plant development, plant nutrition, abiotic stress, physiological behavior.

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Cultura da Pimenta do Reino.....	2
2.2 Características Botânicas da Pimenta do Reino	3
2.3 Condições Edafoclimáticas e Necessidade Hídrica da Pimenteira.....	4
2.4 Nutrição de Pimenteira	4
2.5 Déficit Hídrico e seus Efeitos na Fisiologia das Plantas	5
3. REFERÊNCIAS	7

CAPITULO I

Avaliação morfológica e fisiológica em mudas de pimenta do reino produzidas com diferentes doses de adubo de liberação controlada

11	12	13	14	15	17	25	26
1.RESUMO	2. ABSTRACT	3. INTRODUÇÃO.....	4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	6. CONCLUSÕES	7. REFERÊNCIAS	

CAPITULO II

Aspectos fisiológicos da pimenta do reino (*piper nigrum* l.) sob diferentes níveis de irrigação

28	29	30	31	32	35	35	38
1. RESUMO	2. ABSTRACT	3. INTRODUÇÃO.....	4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	5.1 Experimento 01	5.2 Experimento 02	

6. CONCLUSÕES	49
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
8. REFERENCIAS	51

1. INTRODUÇÃO GERAL

A pimenta do reino (*Piper nigrum* L), também conhecida como pimenta preta, é uma espécie adaptada a clima tropical e subtropical pertencente à família *Piperaceae*, tendo como local origem o sul da Índia. Atualmente é muito cultivada em países como Vietnã, Malásia, Indonésia e Brasil. No Brasil foi introduzida no século XVII pelo estado da Bahia, sendo disseminada para a região Norte, onde encontrou clima adequado ao seu desenvolvimento e, posteriormente para outras regiões do país. Atualmente, os estados do Espírito Santo e Pará são os maiores produtores, sendo responsáveis por mais de 90% da produção nacional, sendo grande parte da produção exportada para países da Europa e Estados Unidos.

A propagação da pimenteira é realizada principalmente por via vegetativa, utilizando estacas com um ou dois nós, que devem ser coletadas dos ramos ortotrópicos de plantas matrizes bem manejadas e livres de doenças. No estado do Espírito Santo, o tempo aproximado de formação das mudas é de 120 dias, sendo utilizado como fonte de substrato uma mistura composta de terra, areia e uma fonte de matéria orgânica (SERRANO *et al.*, 2013).

Os frutos da pimenteira são amplamente utilizados como condimento alimentar e é considerada a especiaria mais importante do mundo, possuindo no mercado grande valor econômico. A faixa ideal de temperatura média para o seu desenvolvimento é de 23 a 32 °C e sua necessidade hídrica pode ultrapassar os 2000 mm ao ano (KRISHNAMURTHY *et al.*, 2016).

Em campo, normalmente as culturas estão sujeitas a intemperes, expondo as plantas a condições impróprias ao cultivo. Entre os tipos de estresses que as plantas podem ser expostas, o déficit hídrico é considerado o mais prejudicial para o desenvolvimento e produtividade das plantas, podendo reduzir severamente sua produtividade, isso ocorre quando a redução na disponibilidade de água no solo, esta redução tem implicações para a transpiração, fotossíntese, temperatura foliar e abertura estomática, que afetam a produção agrícola (ANDRADE., *et al* 2018).

Outro fator que pode comprometer o desenvolvimento e crescimento dos vegetais interferindo na produtividade é a desordem nutricional, caracterizada como deficiência excessos ou desequilíbrio de nutrientes (VELOSO & MURAOKA. 1993), entre estes a deficiência nutricional em plantas é a mais comum de ser encontradas, e é expressa por distúrbios metabólicos causada pela deficiência de um elemento essencial que atuam na estruturação dos tecidos vegetais (TAIZ & ZEIGER. 2017). No entanto, a dinâmica dos nutrientes nas plantas varia em função da espécie, idade e das condições edafoclimáticas, podendo ser variáveis as concentrações dos nutrientes em diferentes partes das plantas (VELOSO & MURAOKA. 1993).

Apesar disso, ainda são raras na literatura as informações relacionadas à resposta da cultura aos déficits hídrico e nutricional. Diante do exposto, desenvolveu-se este trabalho tendo como objetivos: 1) avaliar o comportamento fisiológico e o desenvolvimento morfológico de mudas de pimenta do reino produzidas em substrato com diferentes doses de adubo de liberação controlada; e 2) avaliar comportamento fisiológicos em mudas de pimenta do reino submetidas a diferentes níveis de irrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da Pimenta do Reino

Popularmente conhecida como pimenta preta, a pimenta do reino (*Piper nigrum* L.) é amplamente cultivada em regiões tropicais como Vietnã, Indonésia, Brasil, Índia e China. Originária das regiões tropicais da Índia, a pimenta do reino é uma espécie perene, arbustiva e trepadeira (QUARTEZANI *et al.*, 2013). Foi introduzida no século XVII na Bahia, sendo levada em seguida para os estados da Paraíba, Maranhão e Pará, onde foi introduzida pelos japoneses, por volta de 1933, sendo as primeiras estacas plantadas em Tomé Açu - PA (MILANEZ; VENTURA; FANTON. 1987). No estado do Pará, a cultura encontrou condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento ganhando importância econômica, o que favoreceu sua disseminação para outros municípios da região (ALBUQUERQUE, 1964).

O Brasil está entre os maiores produtores de pimenta do reino do mundo (MORAES *et al.*, 2018) sendo exportada grande parte da produção para países europeus e Estados Unidos (LIMA *et al.*, 2010). Os estados com maior destaque na produção ainda são o Espírito Santo, que em 2017 alcançou a maior produção nacional (37,6 mil toneladas) e o Pará, com 35,5 mil toneladas, respondendo, respectivamente, por 48 e 45% da produção nacional, que alcançou 78,7 mil toneladas no mesmo ano (IBGE, 2018).

Em cultivos convencionais, a pimenteira adulta pode atingir mais de 3,0 m de altura e por serem plantas de hábito trepador necessitam de suportes (tutores) para terem melhor desenvolvimento (GARCIA *et al.*, 2000). Geralmente o tipo de tutor mais utilizado é o tipo morto, utilizando estacas de madeira medindo em torno de 2,5 a 3,0 m. Porém, são também utilizados tutores vivos, sendo empregadas espécies arbóreas como a gliricídia, mas que necessitam de poda para evitar o sombreamento da pimenteira (ALVES *et al.*, 2014).

Seus frutos, também chamados de grãos de pimenta, são drupas com diâmetro em torno de 4 a 5 mm que apresentam a cor verde no estado imaturo, tornando-se amareladas e vermelhas quando maduros. Os grãos de pimenta são amplamente usados como tempero em todo o mundo, podendo também serem utilizados na medicina (SOUSA *et al.*, 2019). Por isso, são altamente valorizados, podendo ser comercializados como pimenta-preta, pimenta-branca e pimenta-verde, dependendo do ponto de colheita e tipo de beneficiamento, sendo muito utilizadas como condimento alimentar e perfumaria (QUARTEZANI *et al.*, 2013).

Para produção de pimenta branca é recomendado que a colheita dos frutos ocorra quando, aproximadamente, 75% dos frutos apresentarem a maturação fisiológica. Após a imersão em água por um período de aproximadamente 8 dias, faz-se a retirada da casca e em seguida os grãos são submetidos a secagem ao sol. Também é possível se produzir a pimenta verde, e para isso, a colheita e secagem é realizada com os frutos ainda verdes, sendo conservados em ácido cítrico ou vinagre (ABDULAZEEZ *et al.*, 2016).

Por ser um produto de exportação de grande valor econômico é considerada pelos produtores como um “banco verde”, além de expressar grande valor social por ser uma cultura geradora de empregos no campo (ALVES *et al.*, 2014).

As variedades com maior destaque produtivo no Brasil, segundo Lemos (2011), são:

- Cingapura: introduzida em 1933 por imigrantes japoneses tem como principal característica: plantas com formato cilíndrico, folhas pequenas com espigas curtas e de comprimento médio em torno de 7,0 cm com frutos médios.

- Guajarina: tem como origem a cultivar Arkulam munda, introduzidas no Brasil por volta de 1970 possui arquitetura cilíndrica, com folhas alongadas e de tamanho médio, espigas longas com tamanho médio de 12,0 cm, suas flores são mais de 90% hermafroditas, seus frutos são graúdos e com bom enchimento de espigas.

- Bragantina: introduzida na década de 1980 essa variedade é um híbrido obtido no sul da Índia na estação experimental de Panniyur, estado de Kerala, e também é conhecida nacionalmente como Panniyur ou verdinha do Para. Possui folhas largas e cordiformes, espigas longas com comprimento médio de 14,0 cm, superando o tamanho das demais variedades, suas flores são 100% hermafroditas favorecendo o bom enchimento de espigas e seus frutos são graúdos. Uma característica bem definida desta espécie é a coloração verde claro de seus brotos novos. Para o bom desenvolvimento desta variedade são necessários climas com maior índice de precipitação, solos ricos e com boa retenção de umidade.

- Apar: também introduzida no Brasil na década de 1980 essa cultivar apresenta folhas largas e compridas, espigas longas com tamanho médio de 12,0 cm. Sua maturação é considerada tardia e ocorre no período de setembro a novembro.

- Kuthiravally: apresenta como principais características folhas com largura média de 10,0 a 12,0 cm e comprimento médio de 15,75 cm, espigas longas de tamanho médio aproximado de 12,0 cm com extremidade recurvada.

- Kottanadan: introduzida no Brasil nos municípios paraenses de Tomé Açu e Capitão Poço no período de 1988 a 1990 com material proveniente do estado de Kerala - Índia. Suas características principais são: bom desenvolvimento produtivo a pleno sol, plantas adultas apresentam formato cilíndrico com ramos vigorosos com folhas largas. Suas espigas possuem comprimento médio entre 10,0 a 13,0 cm com boa formação de frutos.

- Iaçará: introduzida no estado do Para em 1981 possui como característica produção a pleno sol, formato cilíndrico das plantas adultas com folhas estreitas e tamanho médio, suas espigas possuem comprimento médio de 9,0 cm.

Entre as variedades citadas nenhuma delas apresenta resistência ao fungo *Fusarium solani* f. sp. *Piperis*, sendo este um fungo de solo de difícil controle. É causador da fusariose, também conhecida como podridão do pé ou podridão do colo, e vem causando grandes danos aos plantios de pimenta do reino tanto no estado do Para quanto no Espírito Santo, pois não existem clones resistentes. Uma das principais maneiras de evitar a disseminação desse patógeno é a produção de mudas livres da doença e para isso é preciso que tanto o material propagativo quanto o substrato utilizado estejam livres de contaminação (DUARTE, 2004).

2.2 Características Botânicas da Pimenta do Reino

A família *Piperaceae* é originária da palavra latina *Piper* e é composta por várias espécies, dentre elas a *Piper nigrum* (L.) de origem indiana (SANTOS; GONTIJO; NICOLE, 2012). É uma planta trepadeira que naturalmente pode chegar a 9,0 metros de comprimento e suas raízes, que crescem de seus nós (raízes grampiformes), também conhecida empiricamente como gavinhas (EMBRAPA, 2005), adere aos tutores (ABDULAZEEZ *et al.*, 2016).

Na Índia eram cultivados dois tipos de pimenta morfologicamente diferentes, chamados de “pimenta do mato”, quando os propágulos vegetativos utilizados na produção de mudas eram coletados de ramos plagiotrópicos, e o mais predominante “pimenta videira”, quando propagados por ramos ortotrópicos (THANKAMANI, 2000).

A pimenta do reino possui folhas lustrosas, ovadas com coloração verde escuro na parte abaxial e verde pálido na adaxial e podem medir até 25 cm de comprimento. Suas flores são brancas e ocorrem na parte opostas às folhas, sendo assim o rendimento da produtividade diretamente associada ao número de folhas (ABDULAZEEZ *et al.*, 2016).

A maioria das flores emitidas pela pimenteira é hermafrodita, facilitando desta forma a autofecundação, no entanto, a variedade Bragantina apresenta flores 100% hermafroditas (EMBRAPA, 2005).

Característico da família *Piperaceae*, a pimenta do reino apresenta inflorescência em forma de espiga, chamada amentilho, que é composta de pequenas flores desprovidas de cálice

e corola as quais são formadas nos ramos plagiotrópicos ou ramos de produção, dando origem à frutificação do tipo baga. Os frutos são globosos, pequenos e indeiscentes, de coloração verde quando estão imaturos adquirindo coloração vermelha quando maduros (EMBRAPA, 2005).

2.3 Condições Edafoclimáticas e Necessidade Hídrica da Pimenteira

Por se tratar de uma espécie de regiões tropicais a pimenta do reino necessita de clima quente e úmido, que associados a outros componentes climáticos como brilho solar, umidade relativa do ar, evapotranspiração e ocorrência de deficiência hídrica influenciam diretamente na produtividade desta cultura. Umidades do ar abaixo de 60% pode ser prejudicial por aumentar a taxa de transpiração e acima de 90%, além de reduzir a absorção de nutrientes por diminuir a transpiração, favorece a propagação de doenças fúngicas (DUARTE, 2004).

Segundo Krishnamurthy *et al.* (2016) na Índia a precipitação total requerida pela pimenta do reino assim como sua distribuição desempenham papel importante na produtividade, o requerimento total de água varia entre 2000 a 3000 mm/ano. A cultura tolera temperaturas entre 10 a 40 °C, no entanto, a faixa ótima para o desenvolvimento é de 23 a 32 °C. A temperatura ideal do solo para o crescimento radicular é de 26 a 28 °C, não tolerando períodos longos de seca excessiva (KRISHNAMURTHY *et al.*, 2016).

Apesar da sua importância na produção vegetal, não foram encontradas na literatura informações sobre necessidade hídrica da pimenta do reino na fase de desenvolvimento de mudas.

2.4 Nutrição de Pimenteira

No Espírito Santo, o cultivo da pimenta do reino é realizado geralmente em solos de baixa fertilidade natural, caracterizados por apresentar baixa saturação por bases e, frequentemente, possuir alumínio trocável em altas quantidades limitando o crescimento de raízes de muitas espécies cultivadas (QUARTEZANI *et al.*, 2013).

Segundo Srinivasan *et al.* (2007), a retirada de macronutrientes por planta de pimenta com três meses de idade e com quatro a cinco folhas segue a ordem: N > K > Ca > Mg > P > S, e os micronutrientes mais requeridos são Zn, Fe, Cu e Mn. Dessa forma, a adição de adubo nos substratos constitui um importante fator no desenvolvimento de mudas, tornando o processo mais rápido e, conseqüentemente, diminuindo o custo de produção nos viveiros (MENDONÇA *et al.*, 2007; NAVROSKI *et al.*, 2015). Neste sentido, o uso de adubo de liberação controlada se destaca como uma boa alternativa de nutrição das plantas durante o período de viveiro. Segundo Navroski *et al.* (2016), a utilização desse tipo de fertilizante para a produção de mudas pode substituir a adubação de cobertura uma vez que a adição é feita no preparo do substrato e a liberação dos nutrientes ocorre de forma gradual por um período mais longo de tempo. Outro ponto positivo na utilização de adubos de liberação lenta é a conservação da integridade das mudas (MACHADO & SOUZA, 2012), uma vez que a liberação dos nutrientes ocorre de forma gradativa devido à camada de polímeros que forma um revestimento em torno dos nutrientes.

Doses de adubos para formação de mudas de várias espécies e cultivares tem sido amplamente estudada e os resultados variam de acordo com espécie e doses de fertilizante aplicado (NAVROSKI *et al.*, 2016; HAWERROTH *et al.*, 2013; DUARTE *et al.*, 2015). Durante muitas décadas, a exigência nutricional da pimenta do reino era pouco conhecida, e por isso os distúrbios ocasionados pela deficiência ou toxidez dos nutrientes não eram adequadamente avaliados (VELOSO; MUROAKA., 1993; LIMA *et al.*, 2010). Somente na década de 60, os primeiros sintomas de deficiência nutricional na pimenteira do reino foram descritos por Waard (1963), dos quais:

- deficiência de nitrogênio: folhas jovens e velhas apresentam leve amarelecimento uniforme pelo limbo, pecíolo e nervuras foliares, sendo mais visível em folhas velhas. Em casos

mais graves, o sintoma torna-se amarelo intenso, geralmente em períodos chuvosos os sintomas se tornam mais intensos (WAARD, 1969; VELOSO; MUROAKA, 1993);

- deficiência de fósforo: plantas com sintomas podem ter caules finos, as folhas jovens tornam-se recurvadas para cima e posteriormente as folhas mais velhas apresentam o mesmo sintoma. As folhas põem ter crescimento limitado tornando-se estreitas e pequenas (VELOSO; MUROAKA, 1993);

- deficiência de potássio: é caracterizada por princípio de necrose nas pontas das folhas velhas e em casos mais avançados esse sintoma também surge em folhas jovens tornando-as quebradiças (WAARD, 1969; VELOSO; MUROAKA, 1993);

- deficiência de cálcio: leve amarelecimento de folhas jovens com pequenas manchas pardas necróticas na face superior das folhas mais velhas, deficiências mais severas sintomas de necrose também são observados nas margens das folhas (WAARD, 1969; VELOSO; MUROAKA, 1993);

- deficiência de magnésio: inicialmente as folhas mais velhas apresentam amarelecimento e clorose internerval permanecendo com as nervuras verdes, estágios de deficiência mais avançado necrose podem aparecer também nas margens das folhas. Sintomas desde nutriente aparecem inicialmente em folhas velhas e em seguida pode aparecer também em folhas jovens (VELOSO; MUROAKA, 1993). Em estágio avançado de deficiência ocorre abscisão foliar, ocorrendo geralmente na última fase de desenvolvimento dos frutos (WAARD, 1969);

- deficiência de enxofre: plantas com deficiência de enxofre possuem folhas jovens apresentam-se pequenas e com coloração verde claro (VELOSO; MUROAKA, 1993).

Avaliando diferentes genótipos de pimenta do reino (Guajarina, Iaçará e Cingapura) com aplicação de diferentes doses de adubo de liberação lenta, Serrano *et al.* (2012), constataram diferentes respostas no desenvolvimento de mudas produzidas em substratos comercial.

2.5 Déficit Hídrico e seus Efeitos na Fisiologia das Plantas

O constante crescimento populacional aumentará a demanda por alimentos, e como consequência disso, a produção agrícola terá que aumentar significativamente para atender essa demanda (DIALLO *et al.*, 2016). Vários fatores de estresse afetam negativamente o crescimento e a produtividade das plantas cultivadas. Os tipos de estresse são classificados como estresse abiótico e biótico. Sendo os estresses abióticos contribuintes com 50% das perdas na produtividade agrícola em todo o mundo (KUMAR, A & VERMA. 2018)

As condições ideais de crescimento para as plantas proporcionam máxima produção seja essa quantificada pela massa, altura ou número de sementes. Quando o potencial produtivo máximo é restringido por algum fator ambiental ou não, é possível inferir que as plantas estão ou já estiveram em alguma fase do seu desenvolvimento sob estresse (TAIZ & ZEIGER. 2017). A restrição no crescimento e desenvolvimento das plantas ocorre pela limitação da fotossíntese e, conseqüentemente, pela redução da capacidade de converter energia luminosa em energia química (MANTRI *et al.*, 2012).

Dentre os tipos de estresses causados por fatores ambientais, o déficit hídrico é o mais prejudicial para as culturas (PINHEIRO *et al.*, 2005). Segundo Kavroulakis *et al.* (2018), o estresse hídrico ocorre devido ao desequilíbrio do suprimento de água pelas raízes e a perda de água pela transpiração das plantas.

Plantas submetidas ao estresse hídrico expressam respostas complexas que envolvem mudanças adaptativas ou até mesmo efeitos deletérios, e um dos principais efeitos é a redução de turgência, ocasionando o fechamento estomático para que haja diminuição de perda de água pela transpiração (SERRANO *et al.*, 2017), no entanto, o fechamento dos estômatos provoca a redução da fotossíntese, e conseqüentemente, a taxa de assimilação de dióxido de carbono (GHANNOUM, 2009). Além disso, outros efeitos negativos podem ocorrer, como a diminuição

da área foliar e alteração da partição de assimilação entre os órgãos (ABDEL-RAHMAN *et al.*, 2018).

As mudanças climáticas trazem alguns desafios para a produção agrícola nos próximos anos (CERQUEIRA *et al.*, 2015), podendo afetar várias atividades humanas e principalmente a agricultura, com efeitos econômicos e sociais (EMBRAPA, 2017). Para minimizar os possíveis efeitos das mudanças climáticas, estudos visando compreender um pouco mais sobre o comportamento fisiológico de plantas submetida a déficit hídrico ou a rega deficitária já vem sendo estudados, evidenciando variações fisiológicas entre variedades (SANTESTEBAN *et al.*, 2009; CHAVES *et al.*, 2007; CERQUEIRA *et al.*, 2015).

Plantas submetidas a seca podem passar por uma série de mudanças fisiológicas, morfológicas, bioquímicas e moleculares. Segundo Kavroulakis (2018), as primeiras alterações ocorridas em plantas submetidas a estresse hídrico são: processo fotossintético, crescimento celular e a regulação hormonal. Além disso, a seca está frequentemente relacionada com alterações no volume celular causando a perda de turgência, ruptura de gradiente de potencial hídrico, limitações na difusão de gases e desnaturação de proteínas. Segundo Chaves *et al.* (2007), entender o comportamento fisiológico de plantas sobre estresse hídrico, severo ou moderado, torna-se de grande importância para modular o equilíbrio no desenvolvimento tanto vegetativo como reprodutivo dos vegetais visando melhorar o uso da água.

3. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. R.; DA SILVA, G. N.; GUIMARÃES, K. C.; BARRETO, H. B. F.; DE SOUZA, K. R. D.; GUILHERME, L. R. G.; DOS REIS, A. R. Selenium protects rice plants from water deficit stress. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 164, p. 562-570, 2018.
- ABDEL-RAHMAN M.A. MERWAD, EL-SAYED M. DESOKY, MOSTAFA M. RADY. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**. v. 228, p. 132-144, 2018.
- ABDULAZEEZ, M.A.; SANI, I.; JAMES, B.D.; ABDULLAHI, A.S. Black Pepper (*Piper nigrum* L.) Oils. In: Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 277–285.
- ALBUQUERQUE, F. C. Podridão das raízes e do pé da pimenta-do-reino. **Embrapa Amazônia Oriental-Séries anteriores (INFOTECA-E)**, 1964.
- ALVES, J.D.N.; DE, S.F.C.A.; JOSUÉ, V.; LIMA; SILVA, C. A. S. DA; SHIGUERU, O. R. Crescimento da Produção de Mandioca e Pimenta-do-Reino na Microrregião do Guamá, Estado do Pará, no período de 2000-2011. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 10, n. 18, p. 1792–1799, 2014.
- BALLINAS, M.; BARRADAS, V. Transpiration and stomatal conductance as potential mechanisms to mitigate the heat load in Mexico City. **Urban Forestry & Urban Greening**. v. 20, p. 152-159, aug. 2016.
- BUI, T. T.; PIAO, C. H.; HYEON, E.; FAN, Y.; VAN NGUYEN, T.; JUNG, S. Y.; CHOI, D. W.; LEE, S.; SHIN, H. S.; SONG, C. H.; CHAI, O. H. The protective role of *Piper nigrum* fruit extract in an ovalbumin-induced allergic rhinitis by targeting of NFκBp65 and STAT3 signalings. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 109, p. 1915-1923, 2019.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. D.; FOLEGATTI, M.V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v.14, p.97-105. 2006.
- CERQUEIRA, R. C.; COSTA, J. M.; CHAVES, M. M.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia e metabolismo foliar em duas variedades de videira sujeitas a um ciclo de déficit hídrico e reidratação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 2, p.211-217, abr. 2015.
- CHAVES, M. M.; ZARROUK, O.; FRANCISCO, R.; COSTA, J. M.; SANTOS, T.; REGALADO, A. P.; RODRIGUES, M. L.; LOPES, C. M. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. **Annals of Botany**, v.105, n.5, p.1-16, 2010.
- DIALLO. L.; QING-JUN. C; ZHEN-MING. Y; JIN-HU. C.; DAFAALLA, T. I. M; Effects of Various Doses of Mineral Fertilizers (NPKS and Urea) on Yield and Economic Profitability of New Varieties of *Zea mays* L. in Faranah,Guinea. **Journal of Northeast Agricultural University**. [s.l.] Elsevier, v. 23, n. 1, p. 1-8, 2016.
- DUARTE, L. D.; PAIVA, H. N.; ALVES, M. O.; FREITAS, A. F.; MAIA, F. F.; GOULART, L. M. L. Crescimento e qualidade de mudas de vinhático (*platymenia foliolosa* benth.) em resposta à adubação com potássio e enxofre. **Ciência florestal**, v. 25, n.1, p. 221-229, 2015.
- DUARTE, M. L. R. Sistemas de Produção: Cultivo da Pimenteira-do-reino na Região Norte. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2004. 8 p.
- EMBRAPA. **Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários: Efeito do aquecimento global sobre as pragas da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, 2017. p. 489

EMBRAPA. Sistema de Produção da Pimenteira-do-reino: Importância Econômica. 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/PimenteiradoReino/paginas/importancia.htm>. Acesso em: 28 Abr. 2017.

GARCIA, J.; KAMADA, T.; JACOBSON, T. K. B.; CURADO, M. A.; OLIVEIRA, S. M. Superação de Dormência em Sementes de Pimenta do Reino (*Piper nigrum* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.30, n. 2, p. 51-54, 2000.

GHANNOUM, O. C4 photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**. v. 103, p 635-644, 2009.

HAWERROTH, F. J.; SERRANO, L. A. L.; MARTINS, M. V. T. O.; OLIVEIRA, M. M. T. Doses de adubo de liberação lenta na produção de mudas de pinheira em tubetes. **Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2013. P. 24.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil> Acesso em: 22 janeiro 2019.

KAVROULAKIS, N.; DOUPIS, G.; PAPADAKIS, I. E.; EHALIOTIS, C.; PAPADOPOULOU, K. K. Tolerance of tomato plants to water stress is improved by the root endophyte *Fusarium solani* FsK. **Rhizosphere**, v. 6, n. March, p. 77–85, 2018.

KRISHNAMURTHY, K.S.; ANKEGOWDA, S.J.; UMADEVI,; GEORGE, J. K. P.. **Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops: Black Pepper and Water Stress**. Índia: Springer, 2016. 369 p.

KUMAR, A. & VERMA, J. P. Does plant - Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review. **Microbiological research**, v. 207, p. 41-52, 2018.

LEMOS, O. F.; POLTRONIERI, M. C; MENEZES, I. C.; MONDIM, M. Conservação e melhoramento genético da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.) em associação com as técnicas de biotecnologia. **Embrapa Amazônia Oriental - Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; ROCHA, W.; OLIVEIRA, P. C.; QUARTEZANI, W. Z. Análise Espacial de Atributos Químicos do Solo e da Produção da Cultura Pimenta-do-Reino (*piper nigrum*, l.) **Idesia**, v.28, n. 2, p.31-39, 2010.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H, E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, v. 28, N. 2, p. 1-7. 2012.

MANTRI, N.; PATADE, V.; PENNA, S.; FORD, R.; PANG, E. Abiotic stress responses in plants: present and future. In: **Abiotic stress responses in plants**. Springer, New York, NY, 2012. p. 1-19.

MEDICI, L.O.; ROCHA, H.S.; CARVALHO, D.F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R.A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.6, p.727-730, 2010.

MENDONÇA, V.; TOSTA, M, S.; MACHADO, J, R.; JÚNIOR, S, A, R, G.; TOSTA, J, S.; BISCARO, G, A. Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro 'amarelo'. **Ciência agrotecnologia**. V. 31, n. 2, Apr.2007.

MILANEZ, D.; VENTURA, J. A.; FANTON, C. J. Cultura da pimenta do reino. Empresa capixaba de Pesquisa Agropecuária. p, 94. 1987.

- MORAES, A. J. G.; SILVA, E. S. A.; ALMEIA, E. N. MENEZES, A. J. E. A. Avaliação dos impactos econômico, social e ambiental do cultivo da pimenteira do reino com tutor vivo de gliricídia no estado do Pará. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 4, n. 7, Edição Especial, p. 3696-3715, nov. 2018.
- NAVROSKI, M. C.; NICOLLETTI, M. F.; LOVATEL, Q. C.; PEREIRA, M. O.; TONETT, E. L.; MAZZO, M. V.; MENEGUZZI, A.; FELIPPE, D. Efeito do volume do tubete e doses de fertilizantes no crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Agrarian**. v.9, n.31, p.26-33. 2016.
- PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v. 96, n. 1, p. 101–108, 2005.
- QUARTEZANI, W. Z.; SOARES, J.; LIMA, D. S.; ZUCOLOTO, M.; XAVIER, A. C. Correlação E Mapeamento Da Quantidade De Calagem Por Dois Métodos Distintos Para a Cultura Da Pimenta-Do- Reino. **Energia na Agricultura**, v. 28, n. 2, p. 90–94, 2013.
- SANTESTEBAN, L. G.; MIRANDA, C.; ROYO, J. B. Effect of water deficit and rewatering on leaf gas exchange and transpiration decline of excised leaves of four grapevine (*Vitis vinífera* L.) cultivars. **Scientia Horticulturae**, v.121, n.4, p.434-439, 2009.
- SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I.; NICOLE, L. R. Variabilidade espacial de cálcio, magnésio, fósforo, potássio no solo e produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 10. P. 1062-1068, 2012.
- SERRANO, L. A. L.; MARINATO, F. A.; MAGIERO, M.; STUEM, G. M. Produção de mudas de pimenteira-do-reino em substrato comercial fertilizado com adubo de liberação lenta. **Ceres**. v. 59, n. 4, p. 512-517. Ago. 2012.
- SERRANO, L. L.; PENELLA, C.; BAUTISTA, A. S.; GALAZAR, S. L.; CALATAYUD, A. Physiological changes of pepper accessions in response to salinity and water stress. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v. 15, n. 3, p. 15, 2017.
- SOUSA, A. I.; ISABEL, M. P.; FERREIRA, L. V. O.; FARIA, M. A. Sensitive detection of *Piper nigrum* L. adulterants by a novel screening approach based on qPCR. **Food Chemistry**, 2019.
- SRINIVASAN, V.; HAMZA, S.; DINESH, R.; PARTHASARATHY, V. A. Manager (Ed.). **Black pepper: *Piper nigrum***, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal: Balanço Hídrico das Plantas. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 888.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal: Nutrição Mineral. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 107.
- THANKAMANI, C. K. **Influence of soil moisture regimes on growth and yield in bush pepper**. 2000. 249 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Department Of Agiitonomy, Faculty Of Agriculture Kerala Agricultural University, Kerala, 2000.
- WAARD, P. W F. Foliar diagnosis, nutrition and yield stability of black pepper (*piper nigr um* l.) in sarawak. 1969. P. 162. Tese (Doutorado) Koninklijk Instituut Voor de Tropen, arawak, 1969.
- WANG, Y., LIU, X., REN, G., YANG, G., & FENG, Y. Analysis of the spatiotemporal variability of droughts and the effects of drought on potato production in northern China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 264, p. 334-342, 2019.

VELOSO, C. A. C.; MUROAKA, T. Diagnóstico de sintomas de deficiência de macronutrientes em pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.). **Science agrícola**, v. 50, n. 2. P. 232-236, 1993.

ZHU, F.; MOJEL, R.; LI, G. Physicochemical properties of black pepper (*Piper nigrum*) starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 181, p. 986–993, 2018.

CAPITULO I

AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA E FISIOLÓGICA EM MUDAS DE PIMENTA DO REINO PRODUZIDAS COM DIFERENTES DOSES DE ADUBO DE LIBERAÇÃO CONTROLADA

1.RESUMO

A pimenta do reino é uma espécie perene, arbustiva e trepadeira, originada de regiões tropicais da Índia. Pertencente à família *piperaceae* também é conhecida como pimenta preta, e ocupa posição de destaque entre as mais de 1000 espécies, sendo reconhecida como “Rei das Especiarias. A exigência nutricional da pimenta do reino durante décadas foi bastante incipiente, não sendo conhecidos os distúrbios ocasionados pela deficiência ou toxidez dos nutrientes. Atualmente ainda são poucos os trabalhos que visam estudar a parte nutricional desta cultura, ainda mais raros são os trabalhos com esse propósito para mudas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a melhor dose de adubo de liberação controlada para a produção de mudas de pimenta do reino (*Piper nigrum*, L.) variedade Bragantina, assim como os teores de nutrientes da parte aérea e radicular das plantas. O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, entre 22/03/2018 à 19/07/2018. Os materiais vegetativos utilizados na propagação foram coletados de ramos ortotrópicos em matrizeiro de pimenta do reino da variedade Bragantina, município de São Mateus - ES. As estacas foram pré enraizadas em areia lavada e após 60 dias foram transplantadas para tubetes de polietileno, com capacidade de 280 cm³, preenchidos com substrato composto por solo proveniente de um horizonte B e fibra de coco moída, na proporção 3:1, em base de volume. O delineamento utilizado no experimento foi inteiramente casualizado em esquema uni fatorial com 4 doses e 10 repetições. O adubo utilizado foi o osmocote[®] com formulação de 14-14-14 de NPK, adicionadas nas concentrações de: 0,0; 2,5; 5,0 e 10,0 kg m⁻³, de forma homogênea ao substrato antes do preenchimento dos tubetes. A irrigação foi realizada de forma localizada, acionada automaticamente pelo Acionador Simplificado para Irrigação. A partir dos 30 dias da repicagem a altura de planta foi monitorada quinzenalmente até os 120 dias, quando, foram realizadas análises de massa fresca e seca da parte aérea, massa seca e fresca das raízes e área foliar. Após as referidas avaliações foram realizadas análise química da parte aérea das plantas assim como das raízes e do substrato ao final do experimento. Verificou-se maiores alturas de plantas, assim como massa seca e fresca da parte aérea em mudas produzidas com maiores doses de adubo, além disso, maior área foliar e índice de clorofila *a* e *b*, foram obtidos quando acrescentado 10,0 kg m⁻³ de adubo ao substrato. Já para massa seca e fresca da raiz, foi verificado melhor desenvolvimento quando adicionado doses de 5,0 kg m⁻³. A condutância estomática das mudas indica que a abertura estomática não é afetada pelo nível nutricional das mudas. Dos nutrientes fornecidos, o K apresentou maiores teores tanto nas raízes quanto na parte aérea.

Palavras-chave: *Piper nigrum* L., nutrição de plantas, crescimento, teor de nutriente.

2. ABSTRACT

Pepper of the kingdom is a perennial species, shrub and climbing, originated from tropical regions of India. Pertaining to the *piperaceae* family, also called as black pepper and occupies prominent position among more than 1000 species, recognized like as "King of Spices". For decades, the nutritional requirement of black pepper was incipient, but the disturbances caused by the deficiency or toxicity of the nutrients are not known. Currently there are still few studies that aim to evaluated the nutritional part of this crop, even more rare are the works with this purpose for seedlings. Therefore, the objective of this work was to evaluate the best dose of controlled release fertilizer for the production of black pepper plants (*Piper nigrum*, L.), Bragantina variety, as well as nutrient content of aerial and root plants. The experimental area is located at Horticulture Sector of the Institute of Agronomy of the Federal Rural University of Rio de Janeiro, between 03/22/2018 to 07/19/2018. The vegetative materials, used in the propagation, were collected from plagiotropic branches in black pepper matrix in the municipality of São Mateus. The cuttings were pre-rooted in wet sand and after 60 days were transplanted into polyethylene tubes, with a capacity of 280 cm³, filled with substrate composed of soil from a B horizon and ground coconut fiber, in a ratio of 3: 1, on a base of volume. The experimental design used was the completely randomized, in a unit-factorial scheme with 4 doses and 10 replicates. The fertilizer used was osmocote® with formulation of 14-14-14 NPK, added at concentrations of: 0,0; 2.5; 5.0 and 10.0 kg m⁻³, homogeneously to the substrate prior to filling the tubes. The water supply is by the irrigation localized way activated automatically by the Simplified Irrigation System. Plant height measurements biweekly, from 30 up to 120 days of planting. After this time, destructive analysis of fresh and dry mass of aerial plant, dry and fresh mass of roots and leaf area. Besides this, was carried out chemical analysis of the aerial part of the plants, as well as the roots and the substrate. Higher plant height, as well as dry and fresh mass of aerial plants were going observed in seedlings produced with higher doses of fertilizer. In addition, higher leaf area and chlorophyll index A and B were obtained when 10.0 kg m⁻³ of fertilizer to the substrate. As for dry and fresh root mass, a better development was observed when 5.0 kg m⁻³ was added. The stomatal conductance of the seedlings indicates that the stomatal opening is not affected by the nutritional level of the seedlings. Of the nutrients supplied, K presented higher levels both in roots and shoot. Pepper seedlings produced with addition of 10.0 kg m⁻³ of fertilizer showed higher height, dry and fresh aerial mass and leaf area, but larger dry and fresh root masses were found in plants grown with 5.0 kg m⁻³.

Key words: *Piper nigrum*, L., nutrition, growth, nutrient content.

3. INTRODUÇÃO

Pertencente à família *piperaceae*, a pimenta do reino (*Piper nigrum* L.), também conhecida como pimenta preta, ocupa posição de destaque entre as mais de 1000 espécies, e é reconhecida como “Rei das Especiarias” (BUI *et al.*, 2019). É uma espécie perene, arbustiva e trepadeira, originada de regiões tropicais da Índia. Além do país de origem essa cultura é amplamente cultivada em países como: Vietnã, Indonésia, Brasil e China (QUARTEZANI *et al.*, 2013). Trazida ao Brasil em 1933 pelos japoneses encontrou no estado do Para clima propício para seu desenvolvimento, tornando o Brasil em um dos maiores produtores mundiais de pimenta do reino (SERRANO *et al.*, 2012). Seus frutos são utilizados como condimento alimentar e perfumaria sendo altamente valorizado principalmente no mercado internacional (QUARTEZANI *et al.*, 2013).

Os maiores produtores nacionais de pimenta do reino são os estados do Espírito Santo e Pará, que juntos são responsáveis por mais de 90% da produção nacional (SERRANO *et al.*, 2012). No ano de 2017 a produção Brasileira alcançou aproximadamente 78,7 mil toneladas. Desse total, o estado do Pará, que até o ano de 2016 era o maior produtor nacional foi responsável por 45% do total produzido (35,5 mil toneladas), apresentando pelo primeiro ano produção inferior à do estado do Espírito Santo que alcançou 48% da produção nacional (37,6 mil toneladas) (IBGE, 2018).

Entre os nutrientes essenciais para às plantas, destacam-se o N, P e K e a deficiência de um desses elementos pode afeta severamente o desenvolvimento e a produção das culturas (OUSTRIC *et al.*, 2018). Segundo Galindo *et al.* (2018) O nitrogênio é importante constituinte das proteínas e aminoácidos, sendo o principal nutriente para a manutenção da produtividade das mesmas. O fósforo é um componente integral de compostos importantes das células vegetais, como os fosfatos-açúcares, fosfolipídios e nucleotídeos que são utilizados no metabolismo energético, já o potássio desempenha importante papel osmóticos nas plantas além de ativar algumas enzimas (TAIZ & ZEIGER. 2017).

Para que não ocorra danos aos processos de metabolismos vegetal faz-se necessário a constante aplicação de fertilizantes, principalmente para a produção de mudas. Segundo Pagliarini *et al.* (2014), essa prática promove aumento significativo no custo operacional da atividade e, desta forma, a utilização de adubos de liberação controlada se torna uma boa opção para fornecimento de nutrientes às mudas, além de possibilitar a redução nas perdas de nutrientes por lixiviação.

A maioria dos produtores de muda de pimenta do reino no estado do Espírito Santo utilizam, como substrato, mistura de solo com areia e uma fonte de matéria orgânica (SERRANO *et al.*, 2012). Devido ao pequeno volume do recipiente e conseqüentemente de substrato utilizado para a produção de mudas é necessário a adição de adubos como forma de complementação para a nutrição das plantas. Desta forma, a utilização de adubo de liberação lenta, ou controlada, no preparo do substrato para o plantio vem se mostrando uma boa opção para a nutrição adequada de mudas. O fornecimento dos nutrientes por estes fertilizantes ocorre por difusão controlada, em função da diferença de concentração causada nos espaços próximos das raízes devido à absorção de nutrientes pelas raízes (TOMASZEWSKA; JAROSIEWICZ; KARAKULSKI, 2002).

Diante do exposto, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de avaliar a melhor dose de adubo de liberação controlada para a produção de mudas de pimenta do reino (*Piper nigrum* L.), variedade Bragantina, assim como a dinâmica de concentração de macronutrientes e micronutrientes presentes nas raízes e parte aérea de mudas produzidas com diferentes disponibilidades de NPK.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Horticultura do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, localizada no município de Seropédica, entre o período de 22/03/2018 a 19/07/2018. As coordenadas geográficas da área experimental são 22°45'48" Sul e 43° 41' 50" Norte, com altitude aproximada de 33 metros.

Os materiais vegetativos utilizados na propagação da pimenta do reino foram coletados de ramos ortotrópicos em matrizeiro de pimenta do reino da variedade Bragantina, no município de São Mateus - ES. As estacas foram padronizadas com um nó e uma folha, sendo em seguida acondicionadas em caixa isolada termicamente e transportadas até o local do experimento.

Antes do plantio as folhas das estacas foram cortadas ao meio e em seguida passaram por processo de sanitização sendo imersas em solução contendo 5,0 g de fungicida (Cercobim 700 WP) do grupo químico benzimidazóis em 10 litros de água. Após esse processo, os propágulos permaneceram por 30 minutos secando em local sombreado. Após este procedimento, a parte basal das estacas foram imersas em uma mistura de talco inerte e ácido indol-3-butírico na concentração de 3,5 mg kg⁻¹, sendo em seguida plantadas em bandejas preenchidas com areia lavada, onde permaneceram por 70 dias para o pré enraizamento. Essa etapa foi realizada em estufa agrícola com sistema automático de nebulização, programado para manter a umidade relativa do ar entre 70 a 80%, e de resfriamento por exaustão e cascata de água programada para manter faixa de temperatura entre 28 e 30 °C. No interior da casa de vegetação, dados meteorológicos foram coletados e registrados a cada 10 minutos em uma estação meteorológica WatchDog.

Após o período de pré enraizamento foram selecionadas estacas com presença de raízes e então estas foram transplantadas para tubetes de polietileno, com capacidade de 280 cm³, preenchidos com substrato composto por solo proveniente de um horizonte B e, fibra de coco moída na proporção 3:1, em base de volume, cuja as características químicas estão apresentados na Tabela 1. Os tubetes foram acondicionados em bandejas, dispostas sobre uma bancada, a uma altura de 0,8 m em relação ao piso da estufa, distanciados entre si de 0,2 m.

O delineamento utilizado no experimento foi inteiramente casualizado em esquema unifatorial com 4 doses e 10 repetições. O adubo utilizado foi o osmocote[®] com formulação de 14-14-14 de NPK, nas concentrações de: 0,0; 2,5; 5,0 e 10,0 kg m⁻³ de substrato, misturadas aos substratos antes do enchimento dos potes.

Tabela 1. Análise química do solo utilizado no experimento

pH em água	cmol _c /dm ³								%		mg/dm ³	
	Al	(H+Al)	Ca	Mg	Na	SB	t	T	V	m	P	K
5,1	0,1	3,2	4,0	1,6	0,09	5,8	5,9	9	64	2	26	57

O sistema de irrigação foi composto por uma caixa de armazenamento de água de 1.000 litros, uma bomba de 12 volts abastecida por uma bateria ligada a um módulo solar de 130 W, fornecendo pressão de serviço de 50 kPa. A irrigação foi realizada de forma localizada, manejada automaticamente pelo Acionador Simplificado para Irrigação (ASI) (MEDICI *et al.*, 2010). Foram instalados dois acionadores interligados em paralelo, operando com desnível entre o centro da cápsula porosa e o pressostato de 0,4 metros, indicando um manejo de irrigação com manutenção da tensão de água no substrato em torno de 4,0 kPa.

Após a montagem do sistema de irrigação foram realizados testes para verificar as vazões médias do sistema, possibilitando o cálculo dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de uniformidade de distribuição (CUD), sendo obtidos valores superiores a 95 %.

A condutância estomática foi mensurada aos 34, 48, 63 e 97 dias após repicagem (DAR) utilizando porômetro (Leaf Porometer Model sc-1, Decagon). Essas medidas foram realizadas na última folha completamente expandida expostas à radiação solar, e nas horas mais quentes do dia (entre 12:00 a 14:00 horas), em dias sem a presença de nuvens.

Aos 120 DAR foi realizada a avaliação: altura das plantas (distância da base da brotação até a inserção da última folha), massa fresca da parte aérea, massa fresca das raízes e área foliar. A área foliar foi avaliada por meio do integrador de área foliar (modelo Li-Cor 3100) após separação das folhas das demais partes das plantas. Posteriormente, foram avaliadas as massas secas de raiz e parte aérea.

A determinação da massa fresca da parte aérea de cada planta foi realizada por meio de pesagem das folhas juntamente com o caule, para isso utilizou-se balança com 0,01g de precisão. Após a pesagem do material fresco o mesmo foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificado e levados a estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 60 °C até atingirem massa constante, determinando desta forma a massa seca da parte aérea.

As raízes das mudas foram separadas, com um estilete, das estacas e em seguida pesadas em balança com 0,01g de precisão, determinando, desta forma, a massa fresca do material. Após aferir a massa, as raízes foram imersas em proveta com água e o volume das raízes foi determinado em função do volume de água deslocado da proveta. As raízes foram, então, acondicionadas em sacos de papel devidamente identificado e levados a estufa com circulação forçada de ar com temperatura de 60 °C até atingirem massa constante e assim determinado a massa seca das raízes.

As amostras com aproximadamente 1,0 g de solo foram digeridas adotando-se o método 3050B postulado pela USEPA (1996) para a determinação dos teores pseudototais dos elementos Ca, Mg, Na, K e P, Mn, Fe, Cu e Zn.

Para a determinação dos teores totais dos elementos Ca, Mg, Na, K, P, Mn, Fe, Cu, e Zn nas plantas, foi utilizado aproximadamente 0,5 g de cada amostra, o material vegetal foi digerido adotando o método 3050, postulado pela USEPA (2008). A determinação do teor de P nos extratos, tanto do solo quanto das plantas foram realizadas utilizando-se espectrofotômetro de luz visível em comprimento de onda ajustado a 420 nm. A determinação do teor de Na e K nos extratos foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Teixeira *et al.* (2017), na qual o Na e o K do extrato digerido são aspirados na chama ar-GPL do fotômetro de chama sendo as energias emitidas por esses elementos proporcionais às concentrações de Na e K.

Todas as análises estatísticas foram realizadas em software estatístico R, versão 3.5.1 (R Core Team, 2018). Para atender as pressuposições da análise estatística, a normalidade e a homogeneidade dos resíduos foram verificadas, respectivamente pelos testes de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965) e de Bartlett (Bartlett, 1937). Houve necessidade de transformação dos dados, sendo utilizado transformação logarítmica para os parâmetros, altura de plantas, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca de raiz, massa seca das raízes, área foliar e número de folhas. Desta forma, os dados atenderam às pressuposições da análise estatística, a normalidade e a homogeneidade dos resíduos, sendo analisadas a existência de diferenças entre tratamentos por meio de análise de variância, considerando o delineamento inteiramente casualizado. Quando constatada diferença significativa entre os tratamentos, os dados foram submetidos à análise de regressão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados meteorológicos monitorados no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento estão apresentados Figura 1. O controle automático de temperatura e umidade relativa do ar na casa de vegetação manteve a temperatura média entre 20 e 25 °C durante a maior parte do período experimental, com exceção do período inicial até o 15º dia após a repicagem (DAR), quando as temperaturas médias permaneceram próximas aos 28 °C.

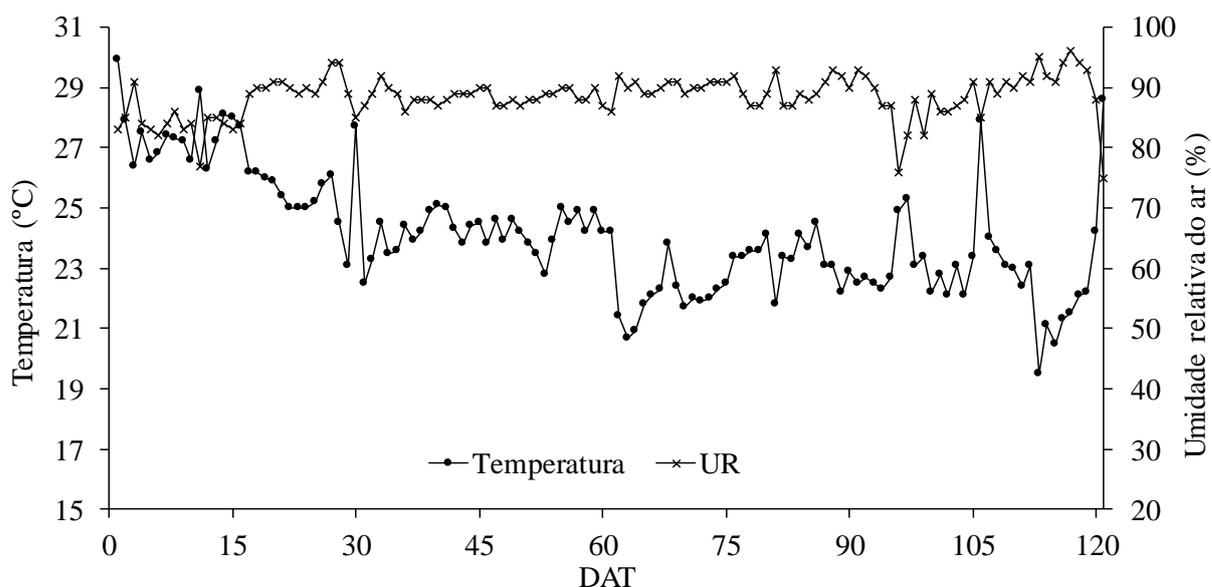


Figura 1. Médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação durante 120 dias após repicagem (DAR).

Aos 30 dias após a repicagem, mudas de pimenta do reino submetidas aos tratamentos de 10,0 e 5,0 kg m⁻³ apresentavam pequena diferença de altura quando comparadas com plantas produzidas em substratos com 2,5 kg m⁻³, sendo esta similar ao tratamento testemunha (0,0 kg m⁻³) (Figura 2).

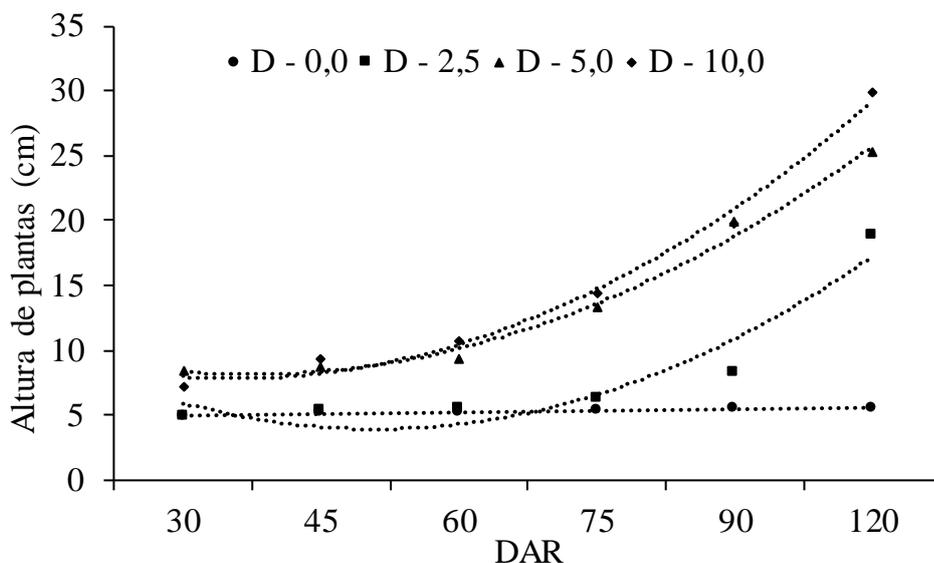


Figura 2. Altura de mudas de pimenta do reino produzidas em casa de vegetação com diferentes doses de NPK durante 120 dias após repicagem (DAR).

Avaliando mudas de *Cariniana legalis* e de *Tamarindus indica* L., Pagliarini *et al.* (2014) e Santos *et al.* (2018), respectivamente, relataram que altura das plantas submetidas a diferentes tipos de fertilizantes e doses de adubo de liberação lenta, não se diferiam inicialmente entres os tratamentos, no entanto ao final do período de produção foi possível verificar diferenças significativa.

As mudas produzidas com maiores doses de adubo (10,0 e 5,0 kg m⁻³) apresentaram crescimento acentuado a partir dos 60 DAR, enquanto plantas com acréscimo de 2,5 kg m⁻³ apresentaram tendência semelhante a partir dos 75 DAR. Esses resultados indicam que o retardo do crescimento da parte aérea se deve ao investimento inicial do crescimento radicular como tentativa de aumentando a taxa de absorção dos nutrientes, e posteriormente, a produção da parte aérea. Figura 2. Resultados similares forma encontrados em arroz tratados com diferentes concentrações de nitrogênio (SOUZA & FERNADES).

Doses crescentes de adubo de liberação controlada proporcionaram aumento significativo para a altura de plantas. Aos 120 dias alturas de 30 e 26 cm foram encontradas nos tratamentos com 10,0 e 5,0 kg m⁻³, respectivamente, enquanto plantas produzidas em substratos sem adição de adubo apresentaram crescimento aproximadamente cinco vezes menor (6 cm) (Figura 3).

Tabela 2. Equações da curva de crescimento de mudas de pimenta do reino produzidas com diferentes doses de adubo de liberação controlada

Dose (kg m ⁻³)	Modelo ajustado	R ²	Nível de significância
0,0	0,0078x + 4,6501	0,91	p < 0,22
2,5	0,0028x ² - 0,27x + 11,112	0,98	p < 0,01
5,0	0,0014x ² - 0,0071x + 6,4476	0,98	p < 0,01
10,0	0,0019x ² - 0,0363x + 6,5876	0,99	p < 0,01

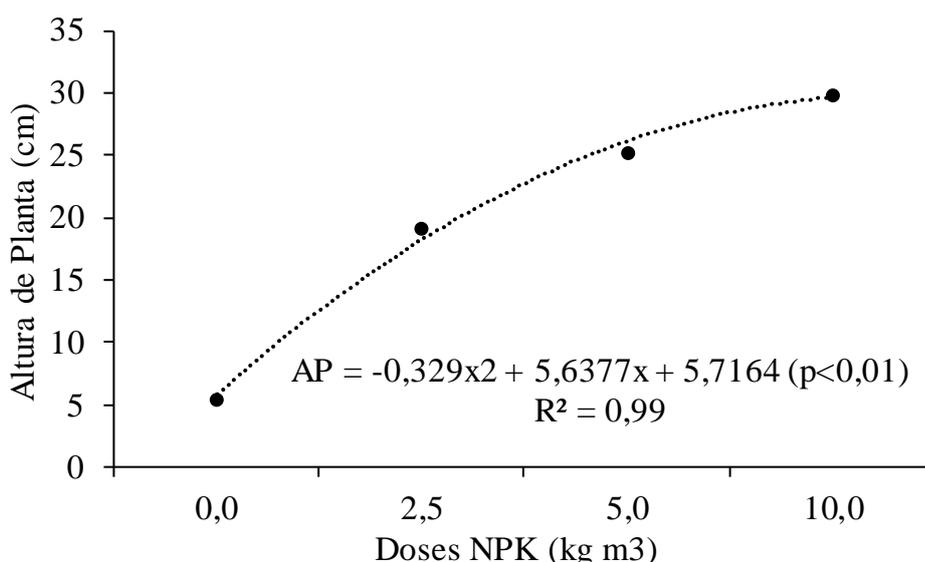


Figura 3. Altura de mudas de pimenta do reino produzidas com diferentes doses de adubo de liberação controlada aos 120 dias após a repicagem.

Avaliando três genótipos de pimenta do reino (Guajarina, Iaçará e Cingapura), Serrano *et al.* (2012) encontraram valores de alturas de plantas superiores a 30 cm adicionando dose inferior à utilizada no presente estudo, porém utilizando recipientes com volume cerca de 8

vezes maior (2,4 L). De acordo com Zaccheo *et al.* (2013) tamanho de recipiente pode desempenhar influência significativa no desenvolvimento da parte aérea das plantas. A altura de mudas de *Eucalyptus dunnii*. foi afetada significativa quando produzidas em recipientes com volume reduzidos, apresentando menores tamanhos de parte aérea mesmo quando adicionado mesma dose de adubo (NAVROSKI *et al.*, 2016).

Doses crescentes de adubo influenciaram positivamente também a produção de massa fresca da parte aérea. As mudas produzidas em substrato com adição de 10,0 kg m⁻³ apresentaram maior massa fresca da parte aérea, enquanto plantas produzidas em substrato sem adição complementar de nutrientes apresentaram massa fresca 9,0 vezes menor (Figura 4A). Como a altura de plantas pode ser influenciada por diferentes fatores, dentre eles a quantidade de nutrientes, a massa seca das plantas torna-se um parâmetro importante a ser considerado na produção de mudas (SERRANO; CATTANEO & FERREGUETTI, 2010). Foi constatado que as maiores doses de adubo de liberação controlada proporcionaram maiores massas secas da parte aérea, enquanto o menor valor foi obtido no tratamento sem adição de adubo (Figura 4B).

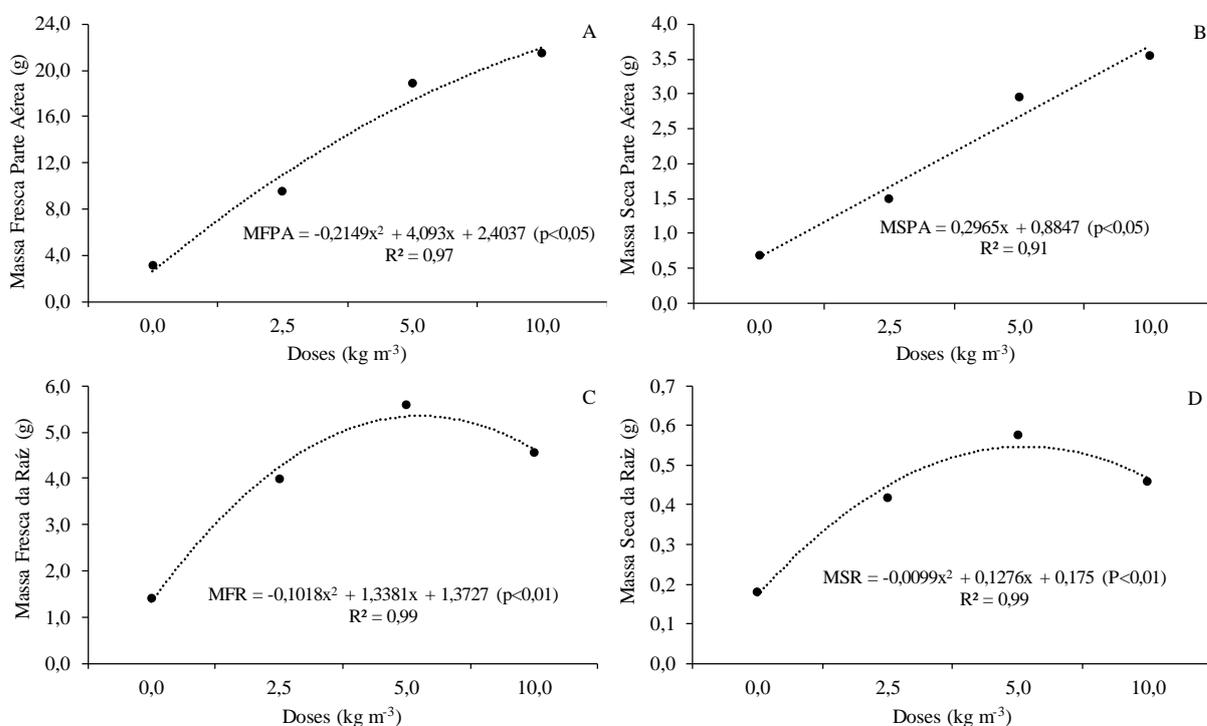


Figura 4. Massas fresca (A) e seca da parte aérea (B), e fresca (C) e seca da raiz (D) de mudas de pimenta do reino produzidas com diferentes doses de adubo de liberação controlada aos 120 dias após repicagem.

Os parâmetros massas fresca e seca das raízes aos 120 DAR são apresentados, respectivamente, nas Figura 4C e 4D, que apresentaram tendência quadrática sendo os maiores valores encontrados na dose de 5,0 kg m⁻³ para ambos parâmetros. Os maiores valores de massa de raiz para a dose de 5,0 kg m⁻³ se devem à disponibilidade dos nutrientes. Segundo Campos *et al.* (2000), plantas cultivadas em com alguma restrição de nutrientes investem maior parte da energia no crescimento radicular, aumentando desta forma o volume de solo explorado na tentativa de suprir alguma deficiência nutricional, o que não acontece com aquelas cultivadas em ambientes com maior disponibilidade de nutrientes.

Doses crescentes de adubo também proporcionaram maiores taxas de área foliar e número médio de folhas em mudas de pimenta do reino. Ou seja, plantas cultivadas em substrato com adição de 10,0 e 5,0 kg m⁻³ apresentaram, respectivamente, 390,2 e 233,6 cm²

(Figura 5A) e 8,8 e 5,5 folhas (Figura 5B), enquanto as cultivadas sem adubo apresentaram área foliar aproximadamente 5 vezes menor (77,1 cm²) quando comparados com a maior dosagem utilizada.

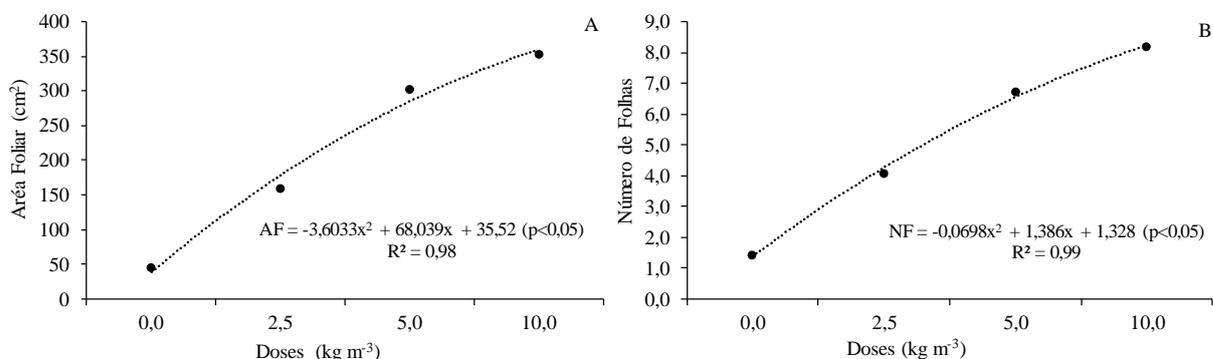


Figura 5. Área foliar (A), e número de folhas (B) em mudas de pimenta do reino produzidas com diferentes doses de adubo de liberação controlada aos 120 dias após repicagem.

Além das menores taxas de área foliar e número de folhas encontrados em plantas cultivadas sem adição de adubo (testemunha), verificou-se também que a restrição de adubo causou redução nos teores de clorofila *a* e *b* (Figura 6A e 6B).

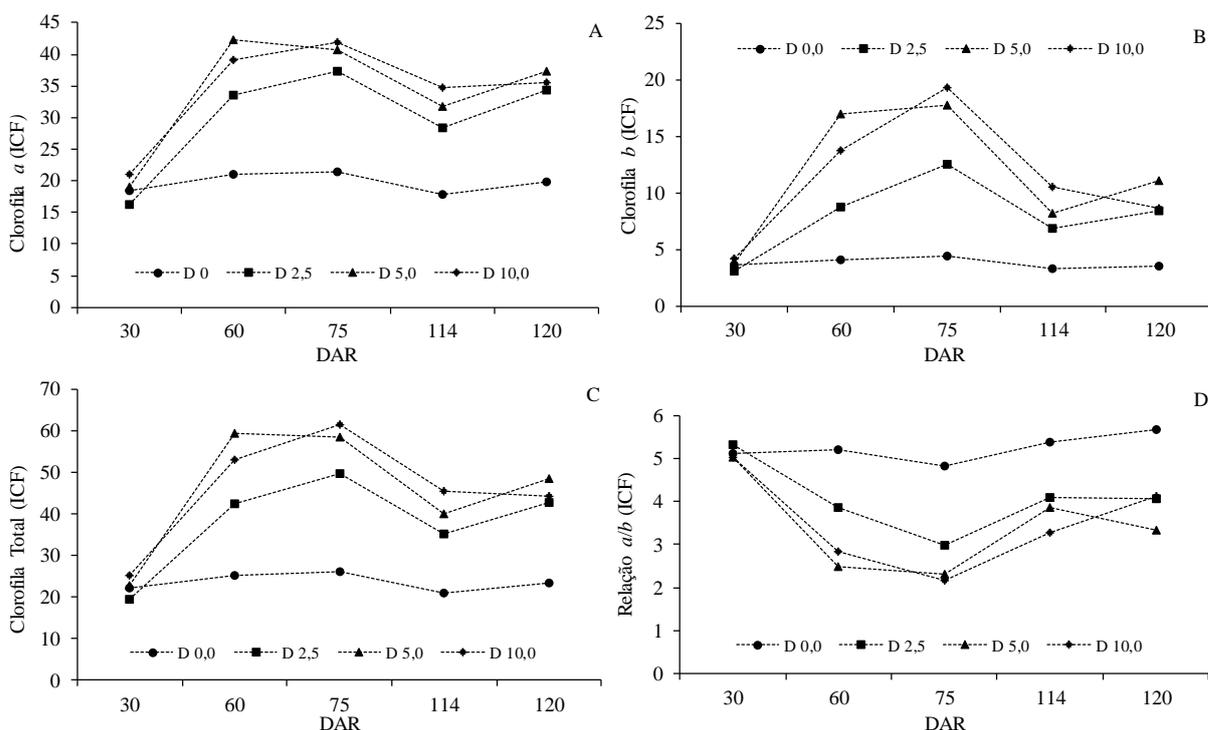


Figura 6. Teores de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e clorofila total (C), e relação de clorofila *a/b* (D) em função de dias após a repicagem (DAR) em mudas de pimenta do reino com 120 dias produzidas com diferentes doses de adubo (D) de liberação controlada.

Mudas produzidas com doses de 10,0, 5,0 e 2,5 kg m⁻³ apresentaram diferenças expressivas em teores de clorofila a partir dos 60 DAR, sendo os tratamentos de 10,0 e 5,0 kg m⁻³ aqueles com maior pigmentação nas folhas (39,1 e 42,3 ICF para clorofila *a*; e 13,8 e 17,0

ICF para clorofila *b*). Esses valores são superiores aos observados para o tratamento com 2,5 kg m⁻³, que apresentou teores de clorofila *a* e *b* de 33,6 e 8,7, respectivamente.

A diferença de índice de clorofila entre os tratamentos se deve provavelmente à disponibilidade de N fornecida pela adição de adubo. Avaliando o efeito de N no crescimento de duas cultivares de oliveira, Boussadia *et al.* (2010) verificaram quedas significativas de capacidade fotossintética em virtude de redução de clorofila nos tratamentos com restrição na suplementação de N. O elevado teor de clorofila em plantas tratadas com maiores doses de adubo em relação à plantas com menores doses se deve a função desse nutriente na composição de vários compostos no tecido vegetal, incluindo as clorofilas.

A partir do 75º DAR foi verificada redução nos teores de clorofila em todos os tratamentos que receberam adubação. Neste período a maior quantidade de pigmento fotossintetizantes foi observado no tratamento de maior dose de adubo, alcançando 42,0 ICF para clorofila *a* e 19,3 ICF para clorofila *b*.

A redução de teores de clorofila *a* e *b* na medida que foi imposta a restrição de adubo influenciou diretamente nos teores de clorofila total (Figura 6C). Os menores teores de pigmento foram observados no tratamento sem adição complementar de adubo, enquanto as crescentes doses proporcionaram aumento significativo de clorofila total em mudas de pimenta do reino (SINGH, 2011). De acordo como Li *et al.* (2019) teores de clorofila aumentaram em *Freesia hybrida*, quando produzidas com diferentes tipos de adubo de liberação controlada.

Comportamento oposto ao encontrado para teores de clorofila *a*, *b* e total foram observados na relação de clorofila *a* e *b*. No tratamento sem adição de adubo, foram observadas os maiores valores a partir do 60º DAR, variando de 5,20 a 5,66 (Figura 6D), ao contrário do observado nos tratamentos com adição crescente de adubo, cujos valores foram de 2,17; 2,30 e 2,97, respectivamente, para os tratamentos de 10,0, 5,0 e 2,5 kg m⁻³.

Não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos ($p < 0,05$) para os valores de condutância estomática mensuradas em quatro diferentes períodos (Figura 7). Esses resultados diferem dos encontrados por Oustric *et al.* (2018), que verificaram diminuição das taxas de g_s em mudas de citros causada pela limitação do funcionamento estomático em função da deficiência de P.

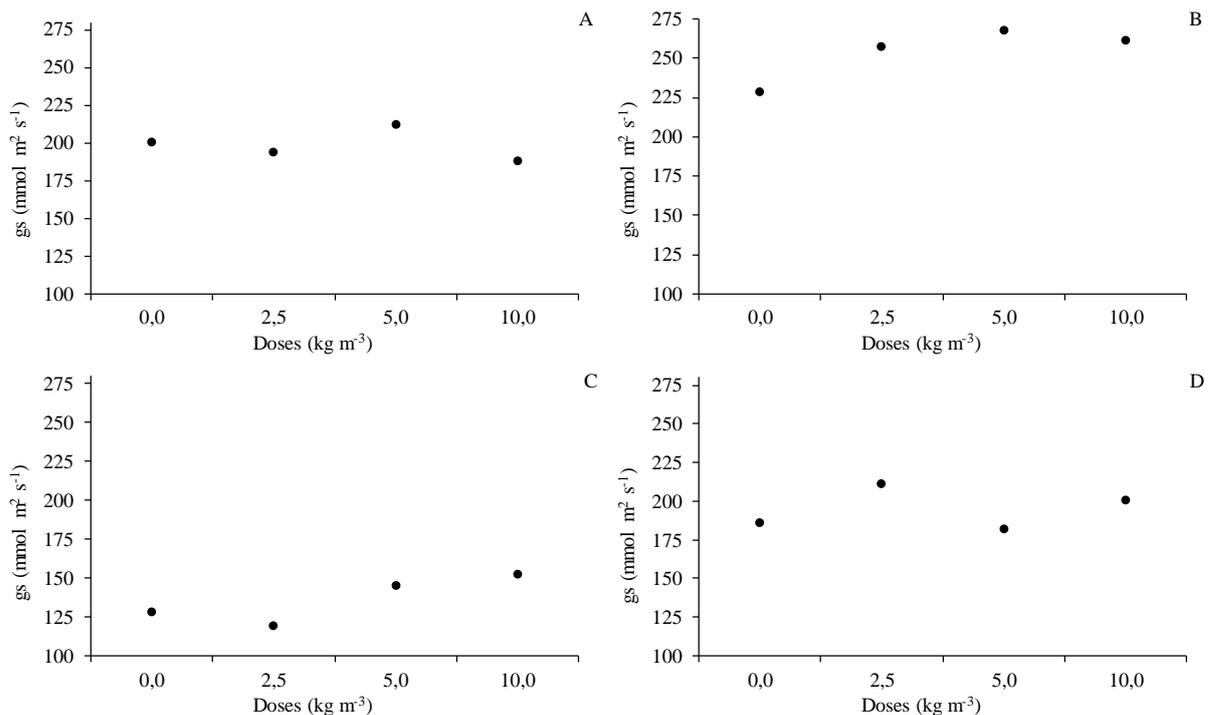


Figura 7. Condutância estomática em plantas de pimenta do reino produzidas com diferentes doses de adubo NPK, com 34 (A), 48 (B), 63 (C) e 97 dias após a repicagem (D).

As plantas produzidas em substratos sem adição de nutrientes apresentaram maiores teores de P nas raízes, enquanto plantas produzidas em substrato com adição de adubo, independente das doses aplicadas, não apresentaram diferenças significativa entre a parte aérea e raiz. No entanto, os teores de P na planta aumentaram com as doses aplicadas (Tabela 3). Esses resultados corroboram com Veloso & Carvalho (1999), que encontraram menores percentagem de P nas raízes e maiores nas folhas e frutos, em plantas adultas de pimenta do reino variedade Guajarina.

Não foram verificadas variações nos teores de K entre a parte aérea e raízes das plantas de pimenta do reino em nenhum dos tratamentos aplicados. No entanto, houve redução significativa no teor de K no solo, antes e após os 120 dias de cultivo, não sendo.

Tabela 3. Teores totais de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e Na) e micronutrientes (Fe, Zn, Cu e Mn) na parte aérea e nas raízes de mudas de pimenta do reino produzidas com diferentes doses de adubo aos 120 dias.

Doses (kg m ⁻³)	Macronutrientes (mg kg ⁻¹)									
	P		K		Ca		Mg		Na	
	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz
0	7985,2 Bd	11986,5Aa	30437,6Aa	26394,4Aa	17575,0Aa	9172,0Ba	6602,7Aa	7209,4Aa	1362,5Aa	1072,3Ba
2,5	14401,5 Ac	14631,2Aa	33221,0Aa	26790,7Aa	18916,9Aa	9149,5Ba	6832,0Aa	6528,1Aa	1038,6Ab	910,6Aa
5,0	17420,8Ab	18594,9Aa	29165,2Aa	30884,4Aa	15340,8Ab	8442,5Bb	6585,5Aa	6696,5Aa	763,4Ac	723,1Ab
10,0	22811,1Aa	24061,4Aa	25992,0Aa	28305,0Aa	12995,8Ab	6606,6Bc	6190,1Aa	3300,4Bb	783,4Ac	717,2Ab

Doses (kg m ⁻³)	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)							
	Fe		Zn		Cu		Mn	
	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz
0	274,1Ba	4737,3Aa	39,7Ba	126,6Aa	8,2Ba	29,3Ab	303,4Aa	259,6Bd
2,5	134,8Bb	4970,9Aa	39,5Ba	106,4Aa	9,0Ba	43,1Aa	395,1Aa	396,7Ac
5,0	100,8Bb	4959,1Aa	36,9Ba	112,8Aa	7,6Ba	29,6Ab	336,1Ba	755,4Aa
10,0	141,8Bb	4136,3Aa	34,0Ba	172,1Ab	5,4Bb	18,0Ac	435,3Ba	518,7Ab

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha (parte aérea e raiz) e minúscula coluna (tratamentos), não se diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

observado, no entanto, diferenças de teor no solo apesar das maiores doses aplicadas (Tabela 3). Esse resultado indica que o teor de K pode ter sido um dos fatores limitantes para o aumento de massa das plantas, uma vez que praticamente todo o nutriente presente no substrato foi utilizado pelas plantas durante a produção das mudas. Segundo Srinivasan *et al.* (2007), depois do N, o K é o nutriente mais requerido pela pimenta do reino, e sua baixa disponibilidade pode afetar o desenvolvimento dessa cultura.

Maiores concentrações de Ca foram encontradas na parte aérea das plantas de pimenta do reino quando comparadas aos teores encontrados nas raízes (Tabela 3). No entanto, para menores doses de adubo, maiores teores do nutriente foram encontrados tanto na parte aérea quanto nas raízes das plantas. Teores de Mg na parte aérea e nas raízes não apresentaram diferenças significativa entre as doses de 0,0; 2,5 e 5,0 kg m⁻³, mas apresentaram redução significativa nas plantas produzidas com dosagem de 10,0 kg m⁻³. Maiores teores de Na foram verificados em plantas que não receberam adubação, apresentando queda gradual em relação as maiores doses adubo aplicadas.

Os teores de Fe, Zn e Cu foram superiores nas raízes das plantas independente do tratamento aplicado. Entre os micronutrientes, a única variação observada entre as partes das plantas analisadas ocorreu nos teores de Mn. O fertilizante utilizado não apresentava em sua formulação os macronutrientes Ca, Mg e Na e nenhum dos micronutrientes avaliados (Fe, Zn, Cu e Mn). Desta forma, a nutrição por estes elementos ocorreu apenas pela disponibilidade já presente no substrato, que era constituído em sua maioria por solo, assim como pelas reservas contidas no material utilizado para a propagação das plantas (estacas).

Todos os teores de nutrientes avaliados apresentaram redução entre o substrato inicial, e o sem adição de adubo após os 120 dias de cultivo. Isso se deve à absorção de nutrientes pelas raízes durante o período de formação das mudas (Tabela 4). Entre os substratos que foram adicionados pela adubação, houve aumento significativo nos teores de P a medida que a dose de fertilizante foi aumentada, uma vez que os teores de K não se diferem estatisticamente entre as crescentes doses aplicadas (Tabela 4).

Tabela 4. Teores pseudototais de nutrientes nos substratos antes do plantio (Inicial) e após os 120 dias de cultivo de mudas de pimenta do reino com diferentes doses de adubo.

Doses	Nutrientes (mg kg ⁻¹)								
	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Cu	Mn
Inicial	1766,7b	796,8a	2393,4a	210,4a	324,0a	20138,4a	26,5a	11,4a	105,3a
D 0	1606,4b	170,5b	2140,2a	164,3a	284,7b	18567,6a	20,6b	8,7b	98,6a
D 2,5	2364,0b	124,7b	1707,6b	130,9a	265,3b	18978,8a	18,5b	7,9b	102,9a
D 5,0	4365,4a	221,5b	1485,4b	118,5a	269,6b	19752,3a	19,5b	8,8b	88,0b
D 10,0	4927,6a	265,6b	1155,8b	37,9b	264,3b	21295,0a	19,0b	9,5b	75,0b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não se diferem pelo teste de Scott Knott a 5% de significância.

Os teores dos macronutrientes Ca e Na, assim como os micronutrientes Fe, Zn e Cu não apresentaram variações significativas entre as diferentes doses aplicadas. No entanto teores de Mg e de Mn foram reduzidos quando maiores doses de adubo foram aplicadas, sendo a menores teores de Mg encontrado na dose de 10,0 kg m⁻³, e Mn nas doses de 5,0 e 10,0 kg m⁻³ (Tabela 4).

6. CONCLUSÕES

Doses de $10,0 \text{ kg m}^{-3}$ de adubo de liberação lenta contendo NPK, na formulação de 14-14-14, são mais efetivas na produção de massas fresca e seca da parte aérea, assim como número de folhas e área foliar. No entanto maiores massas fresca e seca das raízes foram verificadas quando aplicado dosagem de $5,0 \text{ kg m}^{-3}$.

Os teores de clorofila *a*, *b* e total sofreram redução devido à restrição de nutrientes durante os 120 dias avaliados, já a condutância estomática em plantas jovens de pimenta do reino não foi influenciada pelo status nutricional das plantas.

Teores de nutrientes encontrados na parte aérea e radicular das plantas são afetados pela sua disponibilidade, assim como pela demanda da cultura. Entre os nutrientes avaliados, o K foi encontrado em maiores teores nas plantas, não diferindo entre as partes aéreas e radicular das plantas, enquanto para o P verificou-se maior teor nas raízes quando não realizada adubação.

7. REFERÊNCIAS

- BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proc. R. Soc. Lond. A**, v. 160, n. 901, p. 268-282, 1937.
- BOUSSADIA, O.; STEPPE, K.; ZGALLAI, H.; EL HADJ, S. B.; BRAHAM, M.; LEMEURE, R.; VAN LABEKE, M. C. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars 'Meski' and 'Koroneiki'. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 3, p. 336-342, 2010.
- BUI, T. T.; PIAO, C. H.; HYEON, E.; FAN, Y.; VAN NGUYEN, T.; JUNG, S. Y.; CHOI, D. W.; LEE, S.; SHIN, H. S.; SONG, C. H.; CHAI, O. H. The protective role of *Piper nigrum* fruit extract in an ovalbumin-induced allergic rhinitis by targeting of NFκBp65 and STAT3 signalings. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 109, p. 1915-1923, 2019.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. D.; FOLEGATTI, M. V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F. A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v.14, p. 97-105, 2006.
- CAMPOS BERNARDI, Alberto Carlos; DE CAMARGO CARMELLO, Quirino Augusto; ALVES, Sérgio. Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK1. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 733-738, 2000.
- GALINDO, F. S.; BELONI, T.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Technical and economic viability and nutritional quality of mombasa guinea grass silage production. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, 2018.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil> Acesso em: 22 janeiro 2019.
- KRISHNAMURTHY, K. S.; ANKEGOWDA, S. J.; P. UMADEVI; GEORGE, J. K. **Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops: Black Pepper and Water Stress**. Índia: Springer. P. 369, 2016.
- LI, X.; Khalid, M.; Yan, Z.; Sun, Y.; Shi, Y.; Tang, D. Controlled-release compound fertilizers improve the Growth and flowering of potted Freesia hybrida. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 2019.
- MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S.; CARVALHO, D. F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R.A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.6, p.727-730, 2010.
- NAVROSKI, M. C.; NICOLLETTI, M. F.; LOVATEL, Q. C.; PEREIRA, M. O.; TONETT, E. L.; MAZZO, M. V.; MENEGUZZI, A.; FELIPPE, D. Efeito do volume do tubete e doses de fertilizantes no crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Agrarian**. v.9, n.31, p. 26-33, 2016.
- OUSTRIC, J.; QUILICHINI, Y.; MORILLON, R.; HERBETTE, S.; LURO, F.; GIANNETTINI, J.; BERTI, L.; SANTINI, J. Tetraploid citrus seedlings subjected to long-term nutrient deficiency are less affected at the ultrastructural, physiological and biochemical levels than diploid ones. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 135, p. 372-384, 2018.
- PAGLIARINI, M. K.; CASTILHO, R. M. M.; ALVES, M. C. Influência de fertilizantes convencional e de liberação lenta no desenvolvimento de mudas de jequitibá (*Cariniana legalis*). **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.8, n.1, p.23-27, 2014.

- PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; VIANA, A. P. Estimative of Black Pepper leaf area with basis on the leaf blade linear dimension. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.5, p.1458-1461, 2007.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- SANTOS, P. L. F.; PAIXÃO, A. P.; SILVA, O. N. M.; CASTILHO, R. M. M.; FARIA, R. C.; SOUZA VIEIRA, N. C. Doses de adubo de liberação lenta no crescimento inicial de mudas de tamarindo. **Nucleus**, v. 15, n. 1, p. 137-146, 2018.
- SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F.; FERREGUETTI, G. A. Adubo de liberação lenta na produção de mudas de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 874-883, 2010.
- SERRANO, L. A. L.; MARINATO, F. A.; MAGIERO, M.; STUEM, G. M. Produção de mudas de pimenteira-do-reino em substrato comercial fertilizado com adubo de liberação lenta. **Ceres**. v. 59, n. 4, p. 512-517, 2012.
- SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.
- SINGH, S.; KUMARI, R.; AGRAWAL, M.; AGRAWAL, S. B. Modification in growth, biomass and yield of radish under supplemental UV-B at different NPK levels. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 74, n. 4, p. 897-903, 2011.
- SOUZA, S. R.; FERNADES, M. S. Nutrição Mineral de plantas: Nitrogênio. Viçosa, 2006, p. 432.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal: Nutrição Mineral. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 135.
- TOMASZEWSKA, M.; JAROSIEWICZ, A.; KARAKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. **Desalination**, v.146, p. 319-323, 2002.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. Acid digestion of sediments, sludges, and soils. EPA method 3050B. 12p. 1996.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. Acid extraction of sediments, sludges, and soils. EPA method 3050. 14p. 2008.
- VELOSO, C. A. C., & CARVALHO, E. J. M. Absorção e extração de alguns nutrientes pela cultivar 'Guajarina' de pimenta-do-reino. **Scientia Agricola**, v. 56, 1999.
- ZACCHEO, P. V. C.; AGUIAR, R. D.; STENZEL, N. M. C.; Neves, C. S. V. J. Tamanho de recipientes e tempo de formação de mudas no desenvolvimento e produção de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 603-607, 2013.

CAPITULO II

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA PIMENTA DO REINO (*Piper nigrum* L.) SOB DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO

1. RESUMO

A água é um elemento indispensável para o desenvolvimento e para a produção vegetal, desempenhando diversos papéis fisiológicos e morfológicos das plantas. Com o constante aumento populacional e conseqüentemente a maior demanda de alimentos, é de fundamental importância entender o comportamento vegetal sobre diferentes níveis de umidade do solo. Com isso o objetivo deste trabalho foi avaliar a condutância estomática da pimenta do reino (*Piper nigrum* L.) ao longo do dia sem restrição hídrica, assim como o comportamento fisiológico desta espécie quando submetida a longo período de restrições hídrica. Para isso foram desenvolvidos dois experimentos, ambos executados em casa de vegetação no setor de horticultura do departamento de fitotecnia pertencente a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, localizada no município de Seropédica. Para o primeiro experimento foram avaliadas a condutância estomática (g_s) no período das 7:00 às 17:00 horas, em dia sem nebulosidade com intervalo de leitura de uma hora, em mudas de duas variedades de pimenta do reino (Kottanadan e Bragantina). No segundo experimento plantas de pimenta do reino com aproximadamente 120 dias foram submetidas a diferentes níveis de irrigação (100, 78, 58 e 32%) a qual era acionada automaticamente por um acionador simplificado de baixo custo (ASI), durante 33 dias, com reidratação quando cerca de 50% das plantas do tratamento apresentaram sintomas de murcha, sendo a reidratação realizada individualmente por tratamento. As leituras de potencial osmótico foliar (Ψ_f) e conteúdo relativo de água (CRA) foram mensurados aos 22, 28 e 31 dias de restrição hídrica (DRH) em folhas totalmente expandidas e preferencialmente expostas a radiação solar. As condutâncias estomáticas foram mensuradas em dias de sol pleno nos períodos da manhã e tarde. Os pigmentos fotossintéticos foram quantificados com aparelho clorofilômetro Falker-CRL 1030. Os diferentes níveis de irrigação influenciaram negativamente nos valores de Ψ_f , assim como nos valores de CRA, observando valores de -2,39 MPa para Ψ_f e 60% para CRA ao 28º dia de restrição hídrica. Neste mesmo período plantas submetidas a 32% da irrigação plena indicaram através da condutância estomática o fechamento total de estômatos, demonstrando ligeira recuperação após a reidratação. Valores de clorofila *a*, *b* e clorofila total, também sofreram efeitos dos níveis de irrigação recebidos, sendo menores em plantas com maiores restrições hídricas. Plantas de pimenta do reino mostram ser susceptíveis a restrições hídricas, com recuperação parcial de Ψ_f , CRA e porometria, não tolerando temperaturas superiores a 40 °C mesmo quando irrigadas plenamente.

Palavras-chave: Potencial osmótico, estômatos, condutância estomática, estresse hídrico.

2. ABSTRACT

Water is an indispensable element for the development and production of plants, physiological and morphological roles of plants. With the increase in popularity and, consequently, a greater demand for food, it is fundamental to understand the vegetal behavior on the different levels of soil moisture. For this purpose, the work was evaluator and adapted to a health plan of the kingdom, once this has been considered as an easing of a period of water restrictions. Water is an indispensable element for the development and the vegetal production, playing diverse physiological and morphological papers of the plants. With the constant increase in population and consequently the greater demand for food, it is of fundamental importance to understand the vegetal behavior on different levels of soil moisture. The objective of this work was to evaluate the stomatal conductance of *Piper nigrum* L. throughout the day without water restriction, as well as the physiological behavior of this species when submitted to a long period of water restrictions. For this, two experiments were carried out, both executed in a greenhouse in the horticulture sector of the plant engineering department belonging to the Federal Rural University of Rio de Janeiro - UFRRJ, located in the municipality of Seropédica. During the experimental period the climatic conditions inside the greenhouse were monitored with weather station model watchDog. For the first experiment, stomatal conductance (g_s) was evaluated in the period from 7:00 am to 5:00 p.m., without cloud cover with a reading interval of one hour in two pepper varieties (Kottanadan and Bragantina). In the second experiment, pepper plants of approximately 120 days were submitted to different levels of irrigation (100, 78, 58 and 32%), which was automatically triggered by a simplified low cost trigger (ASI) for 33 days with rehydration when about 50% of the treatment plants had wilt symptoms, and rehydration was performed individually by treatment. The foliar osmotic potential (Ψ_f) and relative water content (RWC) readings were measured at 22, 28 and 31 days of water restriction (DWR) in leaves totally expanded and preferably exposed to solar radiation. Stomatal conductances were measured on sunny days in the morning and afternoon. The photosynthetic pigments were quantified with Falker-CRL 1030 chlorophyllometer apparatus. The different levels of irrigation had a negative influence on the values of Ψ_f , as well as the values of RWC, observing values of -2,39 MPa for Ψ_f and 60% for RWC on the 28th day of water restriction. In this same period plants submitted to 32% of the full irrigation indicated through porometry total closure of stomata, showing a slight recovery after rehydration. Chlorophyll a, b and total chlorophyll values also showed effects of irrigation levels received, being lower in plants with higher water restrictions. Peppercorn plants show to be susceptible to water restrictions, with partial recovery of Ψ_f , RWC and porometry, not tolerating temperatures higher than 40 °C even when fully irrigated.

Key words: Osmotic potential, stomata, stomatal conductance, water stress.

3. INTRODUÇÃO

A ocorrência de estresses ambientais representa uma ameaça para a produção de alimentos, e por isso, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias a fim de se produzir com maior eficiência e economia dos recursos naturais, face à demanda crescente por alimentos, ocasionada pelo aumento da população mundial, que está estimada em 8,9 bilhões em 2050 (KUMAR & VERNA, 2018).

A água é um elemento indispensável ao crescimento e produtividade das plantas, e caso o fornecimento for realizado de forma limitada alguns atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos da planta podem ser adversamente afetados (IQBAL *et al.*, 2018). Com o aumento populacional torna-se necessário aumentar a produção agrícola, que pode ser limitada ou afetada pela ocorrência de estresse abiótico, como déficits hídricos e da atmosfera (GHANNOUM, 2009).

Dentre os fatores abióticos, a seca é o maior limitante na produtividade de diversas culturas e ocorre quando a baixa disponibilidade de água no solo e o suprimento de água pelas raízes não é suficiente para repor a água perdida pela transpiração das plantas (KAVROULAKIS *et al.*, 2018). No entanto, alguns estudos mostram que diferentes variedades de uma mesma espécie podem expressar diferenças fisiológicas ou morfológicas quando submetidas a déficit hídrico. Algumas espécies tolerantes à seca desenvolvem mecanismos, como sistemas radiculares mais profundos, controle de fechamento de estômatos e redução da área foliar maximizando o uso da água para a produção de biomassa (Pinheiro *et al.*, 2005).

De acordo com Tonello & Teixeira Filho (2013) plantas que crescem em condições de estresse hídrico moderado ou mesmo em condições de seca modificam a taxa de condutância estomática durante diferentes períodos do dia. Outra consequência que a restrição de água disponível para as plantas pode causar é a redução do potencial de água da folha, levando à perda da turgescência e ao fechamento estomático (Mansur e Barbosa 2000).

Estudos realizados por Krishnamurthy *et al.* 2016 na Índia demonstram que a pimenta do reino em fase reprodutiva apresenta necessidade hídrica entre 2.000 a .3000 mm por ano e é uma cultura sensível ao estresse hídrico. No entanto são poucos (raros) os estudos sobre o seu comportamento fisiológico sob condições de estresse hídrico. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as condições fisiológicas em plantas de pimenta do reino submetidas a diferentes níveis de irrigação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos foram realizados dois experimentos, ambos desenvolvidos em casa de vegetação no Setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, localizada no município de Seropédica. As coordenadas geográficas da área experimental são 22°45'48" Sul e 43° 41' 50" Oeste com altitude aproximada de 33 metros em relação ao nível do mar. A casa de vegetação utilizada é coberta por filme plástico transparente de 150 micras, tem 2,5 metros de pé direito e dimensões de 8 metros de largura por 30 de comprimento.

O clima da região é classificado como Aw, segundo Köppen, com temperatura média anual de 24,5°C e precipitação média de 1.213 mm, sendo considerado tropical, apresentando estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e estação seca no inverno, de maio a outubro, sendo julho o mês mais seco (CARVALHO *et al.*, 2006).

Para o primeiro experimento foram obtidas em viveiro, mudas de pimenta do reino (*Piper nigrum* L.), variedades Bragantina e Kottanadan com aproximadamente 180 dias. As mudas foram transplantadas para vasos de 8,0 L, preenchidos com solo proveniente de um horizonte A coletado em uma área experimental próxima ao local do experimento. Antes do transplante, o solo coletado foi peneirado para retirada de torrões e de restos de material vegetal, sendo realizada análise química no laboratório de fertilidade do solo da PESAGRO, cujo resultado está apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Análise química do solo utilizado no experimento.

Textura	pH em água	AL	H+Al	Ca	Mg	Na	SB	t	T	V	M	P	K
		cmol _c dm ⁻³								%		mg dm ⁻³	
Argilosa	6,2	0	1,7	4,5	1,9	0,13	6,7	6,7	8,4	80	0	122	83

Após o transplante, as mudas permaneceram em estufa agrícola com controle automático de temperatura e umidade por um período de 30 dias para aclimatização. A temperatura foi controlada por um exaustor e cascata de água acionados sempre que a temperatura atingia 30 °C e desligados quando a temperatura chegava a 28 °C. A umidade foi controlada por nebulizadores, que eram acionados quando a umidade relativa do ar atingia 60% e desligado sempre que atingia 70%. As plantas foram então transferidas para casa de vegetação, onde o experimento foi conduzido.

Antes de iniciarem as avaliações, as plantas permaneceram em processo de rustificação por 10 dias. Neste período o manejo de irrigação foi realizado pelo Acionador Simplificado para Irrigação (ASI), desenvolvido por Medici *et al.*, (2010), mantendo a tensão de água no solo igual para todos os tratamentos, em aproximadamente, 4 kPa.

O primeiro experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial de 2 x 11, com 3 parcelas constituídas por 3 plantas. O primeiro fator consistiu das variedades (Bragantina e Kottanadan) e o segundo dos horários de avaliação, 7:00 h às 17:00 h, com intervalo de 1 h, com variações de mais ou menos 10 min ao longo de todas as leituras. As medidas foram feitas no dia 14/08/2018 e a cada hora foram avaliadas a temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), e radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol S}^{-1} \text{m}^2$), monitoradas com estação meteorológica watchDog, além de condutância estomática ($\text{mmol s}^{-1} \text{m}^2$), realizada com porômetro SC-1 Leaf Porometer Decagon, e temperatura do substrato dentro dos vasos, com auxílio de sondas Decagon modelo 5TE. As coletas foram feitas em um dia sem nebulosidade e com a umidade de água no solo mantida próxima à capacidade de recipiente.

O segundo experimento foi desenvolvido entre os dias 13 de novembro a 16 de dezembro 2018, sendo avaliadas mudas de pimenta do reino (*Piper nigrum* L) variedade

Bragantina, com aproximadamente 120 dias, produzidas a partir de estacas com dois nós, adquiridas em viveiros de mudas no município de São Mateus – ES, no dia 18 de outubro de 2018. Após o transporte até o local do experimento, as mudas tiveram suas raízes lavadas retirando todo substrato (solo) em que foram produzidas, foram identificadas e pesadas em balança analítica com 0,01 g de precisão, determinando assim a massa fresca das plantas antes do plantio.

O solo utilizado no preenchimento dos potes utilizado no transplântio das mudas foi coletado em uma área experimental no próprio setor da Horticultura da UFRRJ. Após a coleta, o material foi colocado para secar a pleno sol e em seguida, peneirado em peneira com furos de 0,4 centímetros de diâmetro para retirada de torrões e restos vegetais.

Para os preenchimentos dos potes foram utilizadas massa de solo de 7.240 ± 5 g, pesado em balança com precisão de 5,0 g. No momento do preenchimento dos potes uma amostra de solo foi coletada para determinação da umidade, constatando umidade gravimétrica de $0,034 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Após o transplântio, as mudas permaneceram em estufa agrícola com controle automático de temperatura e umidade por um período de 15 dias para aclimação. Transferidas para o local do experimento (casa de vegetação sem controle de temperatura e umidade do ar), as plantas permaneceram em processo de rustificação e aclimação por 10 dias, quando a irrigação ocorreu de forma manual, com aplicação de mesmo volume de água em todas as unidades experimentais. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial de 8×4 , sendo o primeiro fator blocos e o segundo níveis de irrigação, definidos como: 100% (controle), 78%, 52% e 32% em relação ao tratamento controle. Antes do início da aplicação dos tratamentos a massa de cada pote foi igualada até atingirem 8.555,0 g, correspondendo a umidade do solo de $0,26 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$.

O abastecimento do sistema de irrigação ocorreu por conjunto motobomba. As diferentes lâminas de irrigação foram aplicadas com gotejadores Netafim (mod. PCJ-HCNL) submetidos à pressão de 50 kPa. Foram realizados testes de vazão dos emissores e calculados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), sendo obtidos valores acima de 95%. O monitoramento da quantidade de água aplicada pela irrigação foi realizado por meio de leituras periódicas de um hidrômetro instalado na linha principal da irrigação.

O crescimento das plantas foi determinado pela diferença de altura mensurada do início ao final dos tratamentos com estresse hídrico. No decorrer do experimento a temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%) foram monitoradas por estação meteorológica WatchDog instalada no interior da casa de vegetação e programada para armazenar os dados a cada cinco minutos.

O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado pela equação de Tetens (1930), determinando-se a pressão de saturação de vapor da água no ar (es) e a pressão parcial de vapor de água no ar (ea), calculadas, respectivamente, pela temperatura e umidade relativa do ar.

A condutância estomática foi mensurada por porômetro (SC-1 Leaf Porometer Decagon) e os índices de clorofila *a*, *b* e clorofila total foram quantificados utilizando clorofilômetro (Falker-CRL 1030). As leituras de clorofila e porometria foram realizadas na última folha da planta totalmente expandida e preferencialmente exposta à radiação solar. Foram realizadas aos 0, 9, 15, 22, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33 dias de restrição hídrica na parte da manhã (de 09:00 as 10:00 horas) e na parte de tarde (13:00 as 14:00 horas), não sendo possível realizar as leituras matinais nos dias 28 e 29 devido à alta nebulosidade neste período. Entre os horários de avaliação o sistema automático foi desligado para que não houvesse irrigações entre os momentos de coleta das informações, influenciando assim a umidade do solo.

A fim de monitorar as condições ambientais durante as leituras de condutância estomática, a estação meteorológica foi configurada para registrar a temperatura e a umidade a cada minuto.

A umidade gravimétrica (g.g^{-1}) dos vasos foi monitorada por pesagem em balança com capacidade de 30,0 kg e precisão de 0,5 g, sempre nos horários de avaliação de porometria e potencial osmótico, obtendo desta forma as condições de umidade de solo em cada avaliação fisiológica das plantas.

As leituras de potencial osmótico foliar (Ψ_f) foram realizadas aos 23, 28 e 31 dias de condução do experimento. Para isso foram coletadas uma amostra de folhas totalmente expandidas de cada planta, contendo 40 mm de diâmetro. Após a coleta as amostras foram acondicionadas em recipiente de leitura do aparelho WP4C, devidamente identificadas e armazenadas em caixa térmica. Em laboratório, tais amostras permaneceram sob temperatura de aproximadamente $-10\text{ }^\circ\text{C}$ em aparelho refrigerador até o dia seguinte, quando então foram realizadas as leituras do potencial osmótico das folhas.

Simultaneamente às coletas das amostras de folhas para análise de potencial osmótico, e nas mesmas folhas, foram coletados cinco discos de 0,6 centímetros de diâmetro com furador de papel para obtenção de conteúdo relativo de água na folha (CRA). Após a coleta os discos foliares foram acomodados em recipientes devidamente identificados e em laboratório foram pesados para obtenção da massa fresca (MF), em seguida foram colocadas em contato com água deionizada por 24 horas, após esse período, as amostras foram retiradas e secas em papel toalha, para então determinar a massa fresca turgida (MFT). A massa seca (MS) foi obtida após período de 72 horas em estufa com circulação forçada de ar a $60\text{ }^\circ\text{C}$. As respectivas massas foram obtidas em balança analítica com 0,001 g de precisão. A determinação do conteúdo relativo de água na folha (CRA) foi determinada pela equação 1.

$$\text{CRA} = \frac{\text{MF}-\text{MS}}{\text{MFT}-\text{MS}} \times 100 \quad (1)$$

Quando pelo menos 50% das plantas referente a um tratamento apresentasse condutância estomática próximo de zero $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, realizou-se a reidratação do substrato elevando a umidade à capacidade de recipiente. Esse procedimento foi realizado aos 28 DRH para o tratamento de 32% e aos 30 DRH para o tratamento de 52%. A partir desse momento, os gotejadores utilizados para a irrigação foram substituídos passando a fornecer a mesma quantidade de irrigação que a recebida no tratamento controle (100%).

Todas as análises estatísticas foram feitas em software estatístico R versão 3.5.1 (R Core Team, 2018). Para atender as pressuposições da análise estatística, a normalidade e a homogeneidade dos resíduos foram verificadas, respectivamente pelos testes de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965) e de Bartlett (Bartlett, 1937). Não houve necessidade de transformação dos dados para atender às pressuposições. Assim, as diferenças entre tratamentos foram verificadas por meio de análise de variância considerando o delineamento inteiramente casualizado para o experimento 1, e o delineamento em casualização por blocos para o experimento 2. Quando constatada diferença significativa entre os tratamentos, os dados foram submetidos à análise de regressão. Os dados climáticos e as análises fisiológicas referentes ao experimento 1 foram submetidas a análises de correlação de Pearson utilizando o mesmo software estatístico (R versão 3.5.1), para verificar as correlações entre as mesmas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento 01

Os dados meteorológicos no interior da casa de vegetação estão apresentados na Figura 8A. O período mais quente do dia foi registrado entre os horários de 12:00 a 14:00 h, quando as temperaturas permaneceram próximas aos 30 °C. Nestes mesmos horários foram registradas as menores médias de umidade relativa do ar, que variaram entre 32 a 34 %. O aumento das temperaturas associados à queda da umidade do ar fizeram com que o déficit de pressão de vapor nos horários de 12, 13 e 14 horas ficassem em 2,7, 2,9 e 2,9 kPa, respectivamente, sendo estes os maiores valores desta variável registrados durante o dia (Figura 8B).

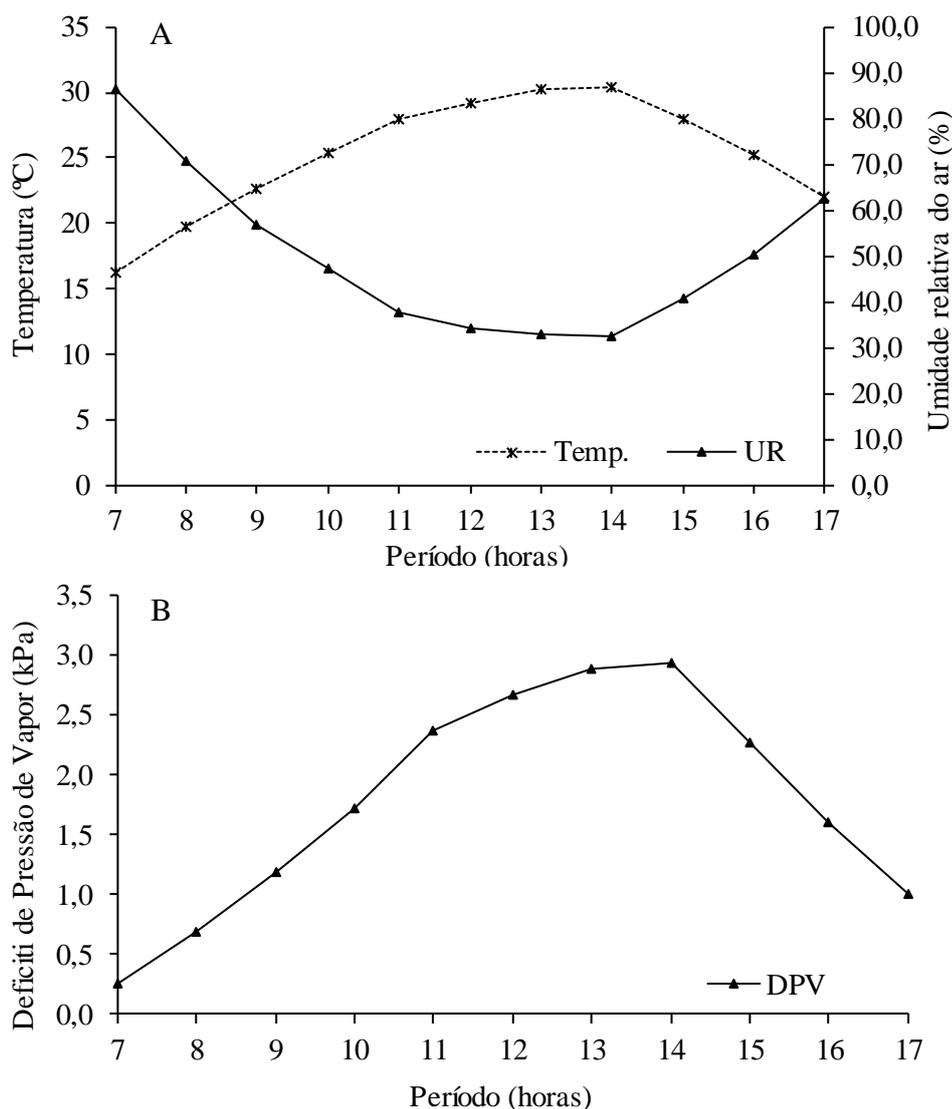


Figura 8. Temperatura (°C) e Umidade Relativa do Ar (%) no interior da casa de vegetação (A) e déficit de pressão de vapor (B) no período de 7:00 horas às 17:00 h do dia 14/08/2018.

A condutância estomática (gs) em ambas as variedades de pimenta do reino foi influenciada pela variação das condições climáticas. Verificou-se que as maiores taxas de gs ocorreram no período da manhã, entre os horários de 8:00 e 11:00 h, sendo estes valores de $171,4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a variedade Kottanadan, no período de 8:00 horas (Figura 9A), e de $151,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a variedade Bragantina as 10:00 horas (Figura 9B).

Em plantas jovens de *Carapa guianensis*, Costa & Marenco (2007) observaram valores de g_s variando ao longo do dia sendo maiores na parte da manhã, quando valores de DPV eram menores. Segundo esses mesmos autores, a redução da condutância estomática nas horas mais quentes do dia reduz a de fotossíntese das plantas. Segundo Cadorin *et al.* diferentes espécies podem fechar seus estômatos quando expostas a temperaturas acima de 25 °C, sendo esse o principal motivo pelo qual os estômatos se fecham ao meio dia. ainda segundo os autores, quando a planta está perdendo mais água na transpiração do que é capaz de absorver, o fechamento estomático independe de luz, temperatura ou concentração de CO².

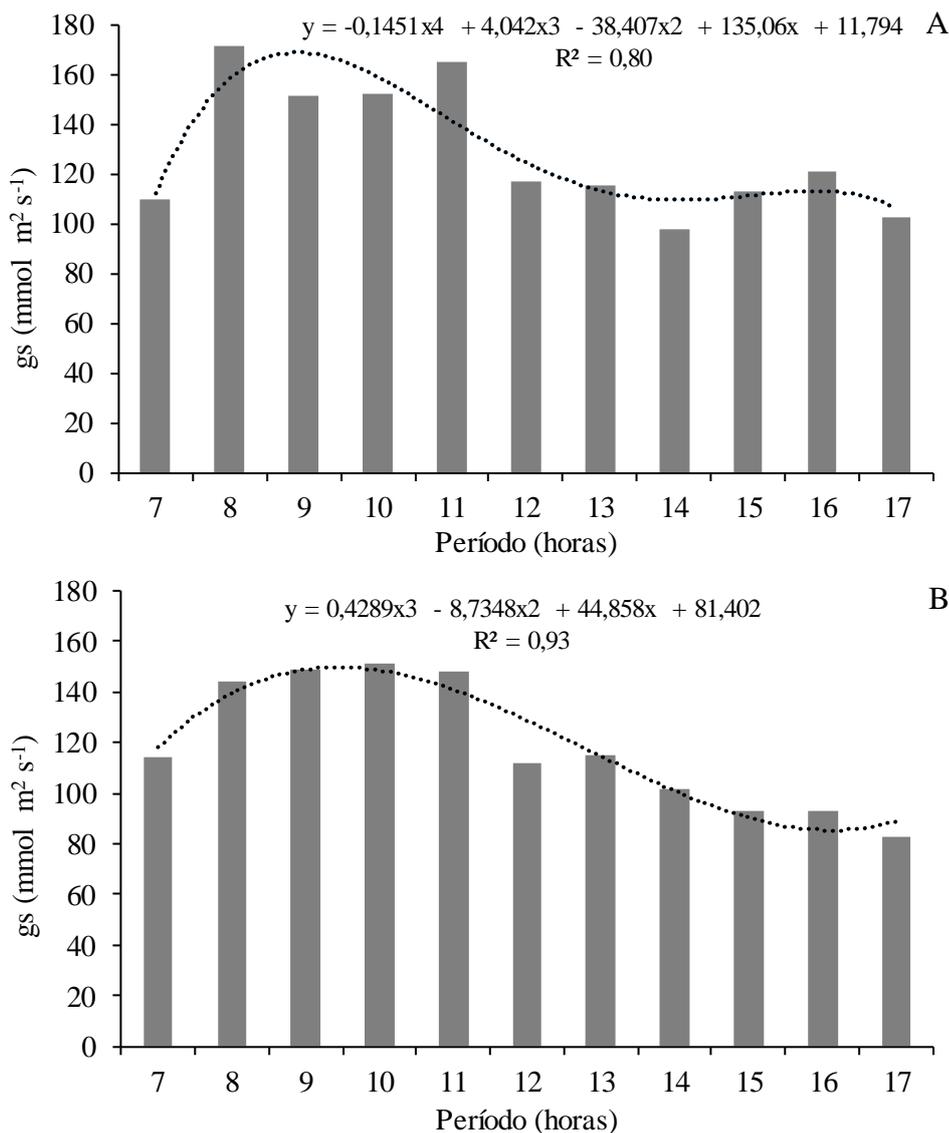


Figura 9. Modelos de condutância estomática com significância a 5% ($p < 0,05$), nas variedades Kottanadan (A) e Bragantina (B) em função das horas do dia 14/08/2018.

Em dias de sol pleno, a máxima incidência de radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) (Figura 10), coincide com os horários de maior temperatura do ar, que consequentemente, também são os horários de menor umidade relativa do ar (Figura 8A). A associação desses fatores proporciona maior déficit de pressão de vapor, do qual o mecanismo de abertura e fechamento estomático da pimenteira demonstra ser sensível, por apresentar

maiores taxas de condutância estomática no período da manhã, quando valores de DPV são menores (Figura 8B).

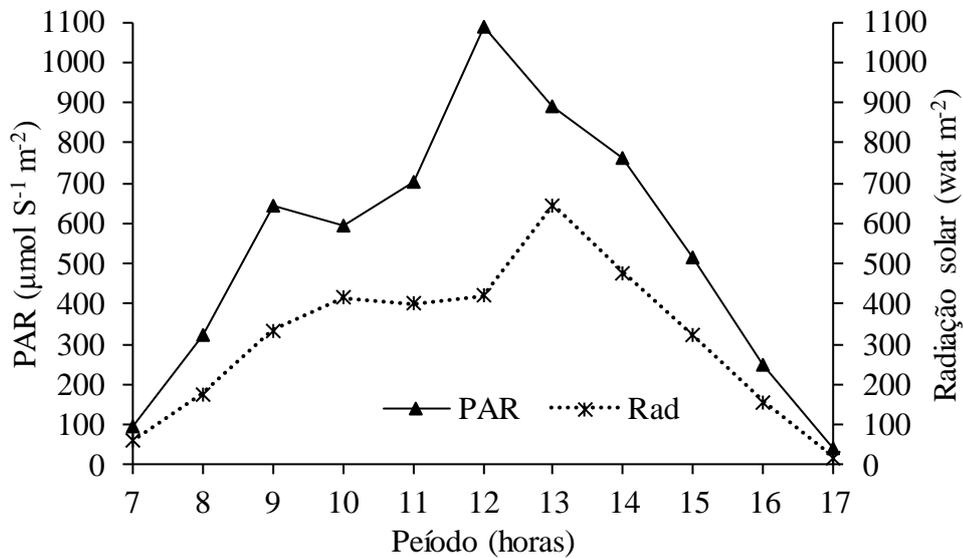


Figura 10. Valores de radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) ($\mu\text{mol S}^{-1} \text{m}^{-2}$) e radiação solar (Rad) (W m^{-2}) no interior da casa de vegetação no período da 7:00 às 17:00 horas do dia 14/08/2018.

Após o período mais quente do dia (de 15:00 às 16:00 h) (Figura 8A), quando valores de DPV voltaram a cair, a variedade Kottanadan demonstrou ligeiro aumento de g_s , reduzindo novamente às 17:00 horas quando o DPV era baixo. No entanto, a radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) reduzida pelo pôr do sol torna-se o fator limitante para a abertura estomática (Figura 9). Este comportamento não foi observado para a variedade Bragantina, que após as horas mais quentes do dia, mesmo com a redução de DPV, não apresentou acréscimo acentuado de abertura estomática. Caron *et al.* (2017) também não observaram maiores taxas de transpiração em mudas de *Aleurites fordii* Hemsl nos momentos de maior incidência de radiação fotossinteticamente ativa.

Não houve relação significativa entre g_s das duas variedades estudadas com as variáveis climáticas (radiação solar, radiação fotossinteticamente ativa e umidade relativa do ar) (Tabela 6). No entanto, correlações negativas e não significativas ocorreram entre a g_s e o déficit de pressão de vapor, temperatura do ar e temperatura do solo, para ambas variedades. Foram observadas correlações negativas entre umidade relativa do ar e DPV, Rad, PAR, T_{ar} e T_{solo} nas duas variedades entre as condições climáticas dentro da casa de vegetação.

Tabela 6. Coeficientes de correlação existentes entre dados climáticos e variáveis fisiológicas em duas variedades de mudas de pimenta do reino *Piper nigrum* L.

Variáveis	Coeficientes de correlação								
	gsK	gsB	DPV	Rad	PAR	RH	T _{Ar}	T _{SoloK}	T _{SoloB}
gsK	1,00	0,89*	-0,24ns	0,06ns	0,08ns	0,13ns	-0,21ns	-0,15ns	-0,16ns
gsB		1,00	-0,14ns	0,29ns	0,28ns	0,08ns	-0,16ns	-0,09ns	-0,09ns
DPV			1,00	0,85*	0,82*	-0,98*	0,99*	0,98*	0,97*
Rad				1,00	0,90*	-0,82*	0,82*	0,82*	0,83*
PAR					1,00	-0,81*	0,79*	0,80*	0,79*
RH						1,00	-0,99*	-0,99*	-0,99*
T _{Ar}							1,00	0,99*	0,99*
T _{SoloK}								1,00	1,00*
T _{SoloB}									1,00

gsK - condutância estomática na variedade Kottanadan ($\text{mmol s}^{-1} \text{m}^{-2}$); gsB - condutância estomática na variedade Bragantina ($\text{mmol s}^{-1} \text{m}^{-2}$); DPV - déficit de pressão de vapor (kPa); Rad - Radiação solar (W m^{-2}); PAR - radiação solar fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol S}^{-1} \text{m}^{-2}$); RH - umidade relativa (%); T_{Ar} - temperatura do ar no interior da casa de vegetação (°C); T_{SoloK} - temperatura do solo na variedade Kottanadan (°C); T_{SoloB} - temperatura do solo na variedade Bragantina (°C).

* Significativo a 5% de probabilidade de acordo com teste t. ns Não significativo a 5% de probabilidade.

5.2 Experimento 02

Os dados de temperatura e umidade relativa monitorados no interior da casa de vegetação entre o período de 13/11/2018 a 16/12/2018, correspondendo de 0 aos 33 dias de restrição hídrica (DRH) são apresentados na Figura 11. Períodos com maiores temperaturas foram registrados entre o 29^o e 33^o DRH, com a máxima registrada de 43 °C. Neste período também foram registradas as menores médias de umidade relativa do ar (23%).

Os maiores valores de temperatura registrados no interior da casa de vegetação estão acima da temperatura considerada ideal para a cultura de pimenta do reino, que segundo Krishnamurthy *et al.* (2016) é de 23 a 32 °C, não tolerando temperaturas acima dos 40 °C.

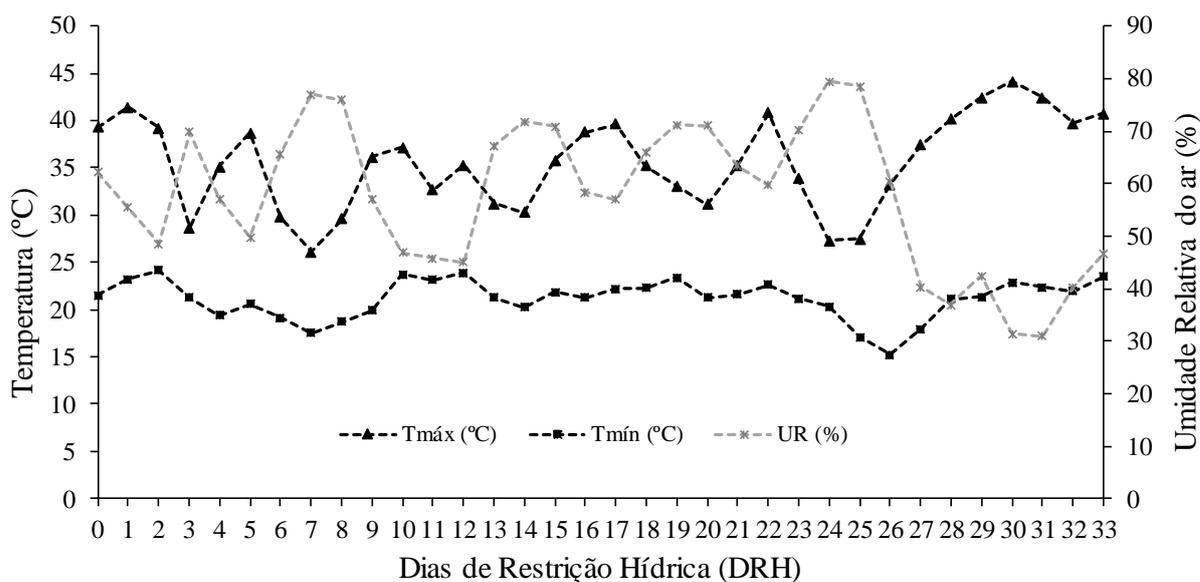


Figura 11. Médias horárias de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da casa de vegetação durante o período experimental.

Períodos com temperaturas amenas e alta umidade relativa do ar, acarretando baixa demanda de vapor de água pela atmosfera, foram verificados entre os dias 7 a 9 DRH e 25 a 26 DRH (Figura 12).

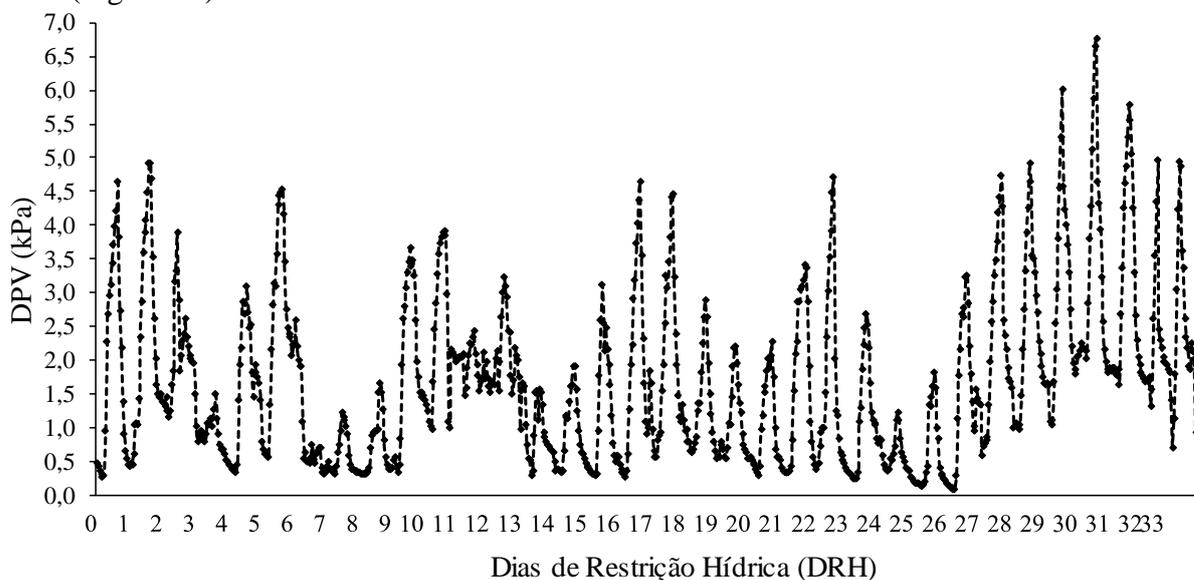


Figura 12. Médias horárias de déficit de pressão de vapor (DPV) no interior da casa de vegetação durante o período experimental.

Altos valores de DPV foram verificados em curtos intervalos durante todo o período, com exceção do período entre o 28º e o 33º DRH, quando dias sequenciados apresentaram valores de DPV acima de 5,0 kPa. O máximo déficit de pressão de vapor foi registrado no 31º DRH (6,8 kPa).

O volume médio de água aplicado por planta durante os 33 dias de avaliação foram de 4,02; 3,16; 2,09 e 1,29 L planta⁻¹, respectivamente, para os tratamentos 100, 78, 52 e 32% (Figura 13). Maior frequência de acionamento, totalizando maiores volumes de água aplicado, ocorreram entre os 27 e 33 DRH em função da maior demanda hídrica da cultura influenciada justamente pela maior demanda atmosférica por vapor. Por outro lado, períodos sem registros de irrigação foram verificados entre os dias 14 a 16 e 24 a 26, indicando a ocorrência de menor evapotranspiração.

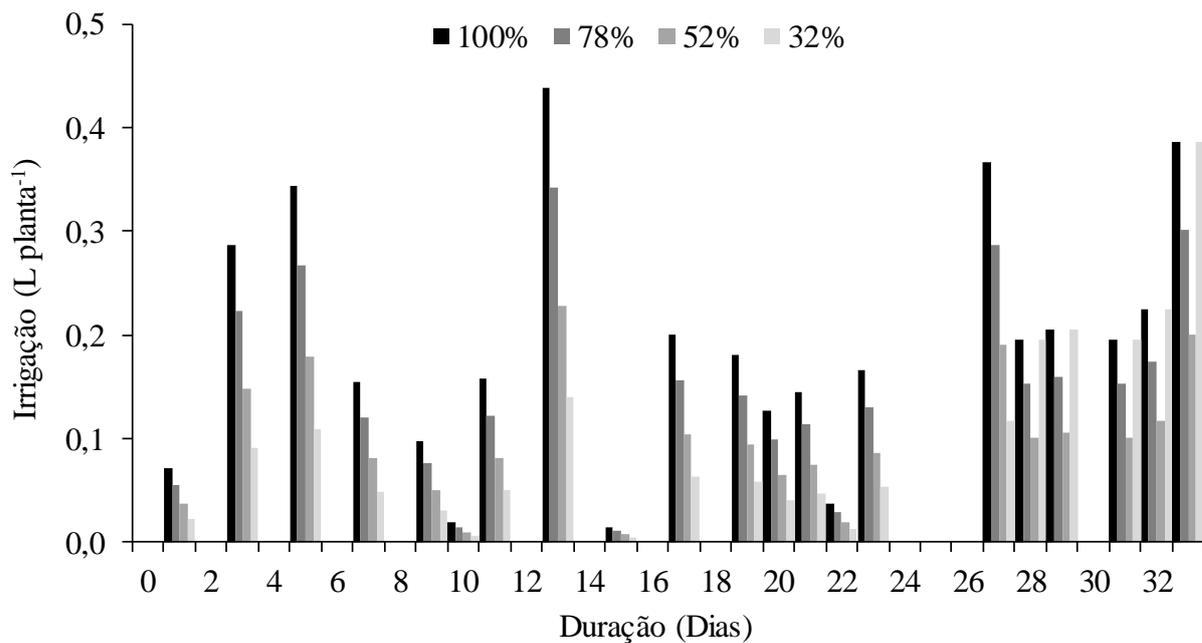


Figura 13. Volume de água fornecido às plantas de pimenta do reino em cada tratamento durante o período experimental (13/11/2018 à 16/12/2018).

No início do experimento (0 DRH), todos os tratamentos apresentavam umidade do substrato equivalente à capacidade de retenção do recipiente ($0,26 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) (Tabela 7). Porém, redução de umidade nos substratos foi verificada no período de 0 a 9 DRH, inclusive no tratamento plenamente irrigado (100%), fato observado em função do ressecamento da camada superficial do substrato, uma vez que a vela do acionador automático (sensor de solo) estava localizada a 5,0 cm da superfície.

Valores de temperatura do ar no 31 DRH passaram dos 40°C , com umidade relativa do ar de 26,7% fazendo com que o valor de DPV momentâneo atingisse 5,6 kPa (Tabela 8).

Tabela 7. Média e desvio padrão das umidades volumétricas (θ), em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, nos substratos de acordo com os níveis de irrigação

DRH	Níveis de irrigação (%)			
	100	78	52	32
0	$0,26 \pm 0,00$	$0,26 \pm 0,00$	$0,26 \pm 0,00$	$0,26 \pm 0,00$
9	$0,16 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,01$	$0,14 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,02$
15	$0,16 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,03$	$0,09 \pm 0,02$
22	$0,10 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,01$	$0,06 \pm 0,01$
23	$0,13 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,02$	$0,11 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,02$
27	$0,13 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,01$
28	$0,15 \pm 0,03$	$0,14 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,02$	$0,08 \pm 0,02$
30	$0,13 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,02$	$0,14^* \pm 0,01$
31	$0,15 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,02$	$0,19^* \pm 0,01$
32	$0,13 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,03$	$0,17^* \pm 0,03$	$0,19^* \pm 0,02$
33	$0,17 \pm 0,04$	$0,14 \pm 0,03$	$0,17^* \pm 0,03$	$0,18^* \pm 0,02$

*Tratamentos reidratados após o período de déficit hídrico.

Tabela 8. Déficit de pressão de vapor (DPV), Temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior da casa de vegetação no momento das coletas de folhas para potencial osmótico e CRA.

DRH	DPV (kPa)	Temperatura (°C)	UR (%)
23	2,7	32,8	46,2
28	4,6	38,4	32,2
31	5,6	40,7	26,7

O potencial osmótico foliar foi afetado significativamente pelos diferentes níveis de irrigação aplicados. Aos 23 DRH foram verificados Ψ_f de -0,80 e de -1,44 MPa, respectivamente, em plantas plenamente irrigadas (100%) e com máxima restrição hídrica, 32% (Figura 14A). Após 28 DRH, quando registrado a menor umidade do substrato ($0,08 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), plantas de pimenta do reino apresentaram aumento significativa do Ψ_f alcançando valores de -2,69 MPa, no tratamento com maior restrição hídrica (32%) (Figura 14B). Foi observada também aumento de Ψ_f nos demais tratamentos, incluindo o que recebia 100 % da irrigação, onde o Ψ_f foi de -0,70 MPa. Essa redução pode ter sido ocasionada pelo maior DPV observado neste dia (Tabela 8).

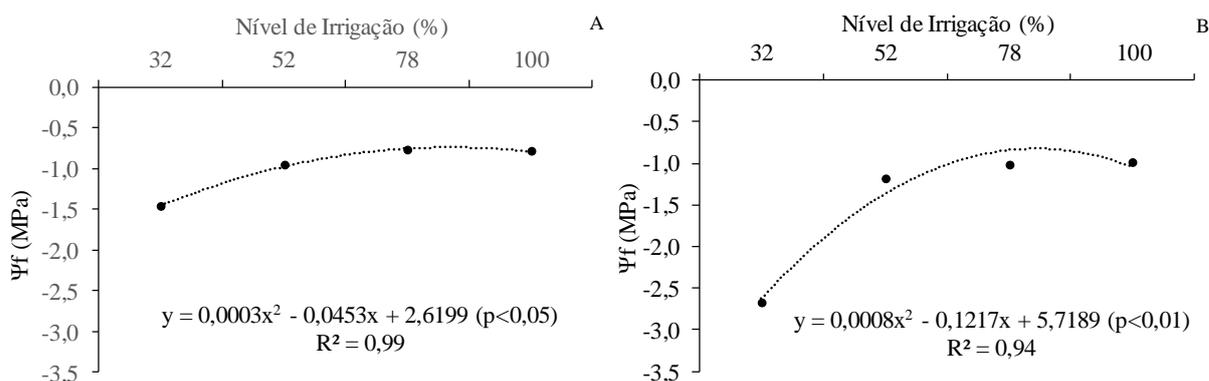


Figura 14. Potencial osmótico foliar (Ψ_f) em folhas de pimenta do reino variedade Bragantina com 23 (A) e 28 dias de restrição hídrica (B).

Ao terceiro dia após reidratação valores de Ψ_f não se ajustaram a nenhum modelo de regressão a nível de 5% ($p < 0,05$). Neste período, plantas que antes foram submetidas à restrição mais severa apresentavam maiores valores de Ψ_f (-1,18 MPa), enquanto que em plantas plenamente irrigada, o Ψ_f no mesmo período era 44% maior (-0,79 MPa) (Figura 15). Os valores de Ψ_f indicam que plantas de pimenta do reino possuem baixa capacidade de recuperação total do potencial osmótico foliar após sofrerem período de seca. Rivas *et al.* (2016) relatam que o potencial hídrico em feijão-caupi alcançou valor máximo aos 10 dias de estresse hídrico (-1,5 MPa) mostrando total recuperação após 5 dias de reidratação. Trabalho realizado com cupuaçu constatou que o potencial hídrico foliar apresentou recuperação total no terceiro dia de reidratação (CUNHA *et al.*, 2018). Segundo os autores, a rápida recuperação se deve ao fato da capacidade desta espécie realizar ajuste osmótico.

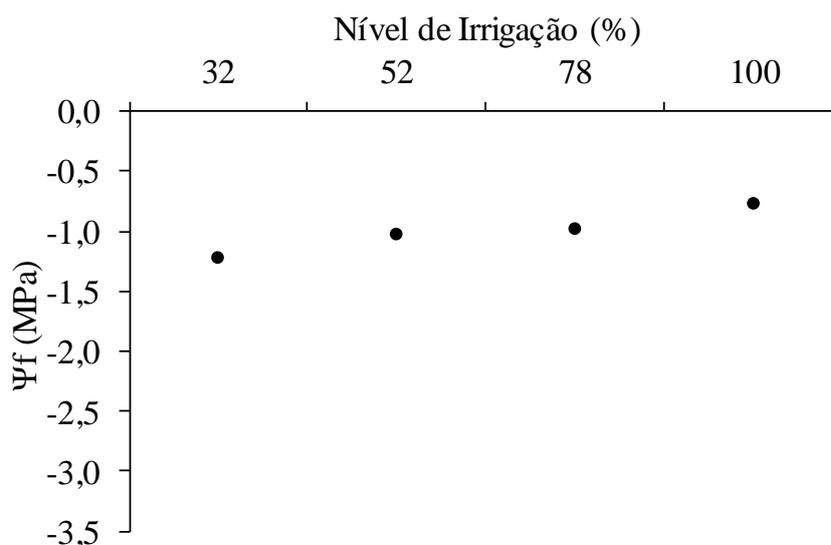


Figura 15. Potencial osmótico em folhas de pimenta do reino variedade bragantina aos 31 DRH, com reidratação do tratamento 32%.

Os valores de Ψ_f verificados aos 28 DRH (Figura 14B) associados aos baixos valores de CRA nessa data (Figura 16B) indicam que as plantas de pimenta do reino não realizam ajuste osmótico como forma de proteção à desidratação excessiva, quando submetidas a ambientes com baixa disponibilidade hídrica.

Plantas que realizam ajuste osmótico possuem a capacidade de acumular uma série de compostos inorgânicos (Na^+ , K^+ , Cl^-) ou íons orgânicos (prolina, açúcar solúvel, glicina betaína) que contribuem no ajuste osmótico das células (BLUM, 2017). Segundo Abdel-Rahman *et al.* (2018), o ajuste osmótico, considerado um mecanismo utilizado pela planta para retardar a desidratação de seus tecidos, avaliado em feijão de corda em resposta em condições de estresse hídrico favoreceu o crescimento e desenvolvimento dessa planta.

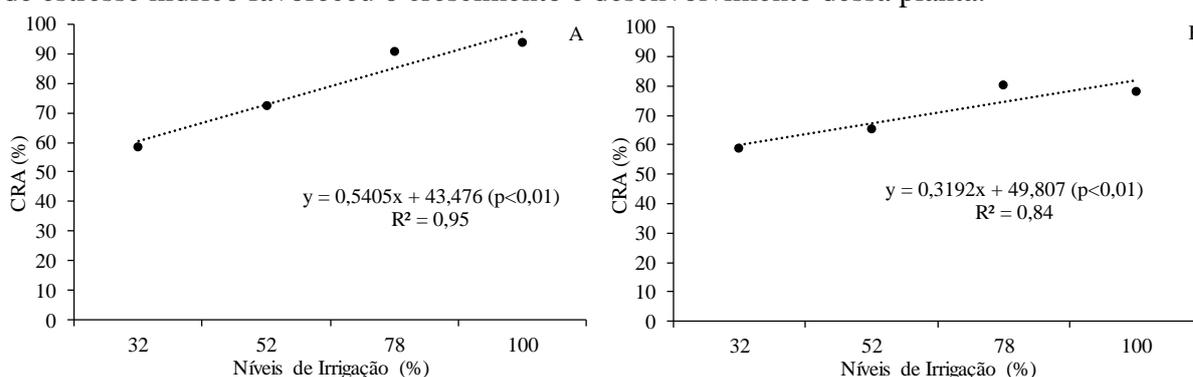


Figura 16. Conteúdo relativo de água (CRA) em mudas de pimenta do reino (*cv* Bragantina) com 23 dias de restrição hídrica (A) e 28 dias de restrição hídrica (B).

Aos 23 DRH foi verificada redução do conteúdo relativo de água conforme o nível de água aplicado (Figura 16A). Maiores valores de CRA foram verificados no tratamento de 100 e 78% permanecendo com 97% e 0,85%, enquanto os tratamentos em que foram aplicados 52 e 32% do volume máximo de água apresentaram valores de CRA de 76 e 67%, respectivamente. Segundo Cockerham & Leinauer (2011), plantas bem hidratadas permanecem, em geral, com valores de CRA entre 85 a 95%. Aos 28 DRH a redução de CRA foi verificada em todos os

tratamentos em relação aos 23 DRH. Neste período, os respectivos valores de CRA para os tratamentos de 100, 78, 52 e 32% foram de 78, 72, 65 e 60% (Figura 16B), sendo que neste último as plantas apresentavam valores de condutância estomática próximo de zero. As reduções de CRA nos tratamentos que recebiam níveis com déficit podem ser explicadas pela menor disponibilidade hídrica de água no solo, associado à maior demanda atmosférica. No entanto, a redução de valores de CRA para o tratamento plenamente irrigado pode ter sido afetada pela maior taxa de abertura estomática acarretando maiores perdas de água para a atmosfera, favorecendo a desidratação momentânea das folhas. Na cultura da soja, o potencial de água na folha, assim como a condutância são influenciados pela mudança de condições climática ao longo do dia, sendo menores em momentos de maior déficit de pressão de vapor (Locke & Ort, 2015).

Aos 31 DRH, os valores de CRA para os tratamentos de 100 e 78% não apresentaram variações consideráveis em relação à avaliação anterior (77 e 71%, respectivamente) (Figura 17). Nessa data, plantas que recebiam 52% do valor da máxima irrigação apresentaram CRA de 65%, enquanto no tratamento reidratado, os valores de CRA estavam próximos de 60% ao terceiro dia de reidratação. Vale ressaltar que no período de coletas de conteúdo relativo de água e potencial osmótico, as condições climáticas para este dia eram as mais desfavoráveis, sendo que o DPV momentâneo alcançou 5,6 kPa (Tabela 8)

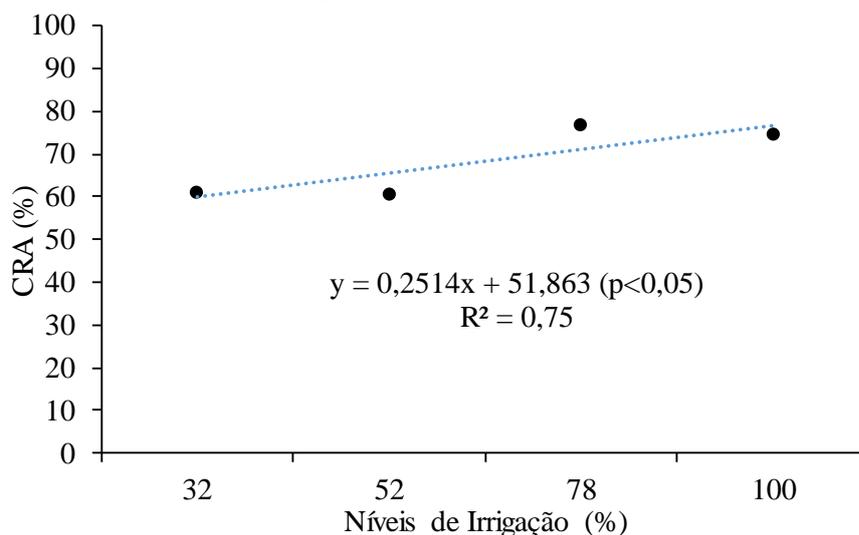


Figura 17. Conteúdo relativo de água em mudas de pimenta do reino (*cv* Bragantina) com 31 dias de restrição hídrica e terceiro dia de reidratação do tratamento 32%.

Avaliando duas variedades de feijão-caupi submetidas a estresse hídrico, Rivas *et al.* (2016) verificaram que o potencial de água nas folhas apresentava recuperação total, sendo similar ao tratamento não irrigado, após dois dias e reidratação.

No início do ensaio (0 DRH) quando as condições de umidade do substrato eram similares para todos os tratamentos (Tabela 7), os valores de condutância estomática (*gs*) variaram de 171,6 a 231,2 mmol m² s⁻¹ no período da manhã, e de 172,8 a 221,6 mmol m² s⁻¹ no período da tarde não havendo ajuste de modelos para a série de dados (Figura 18A).

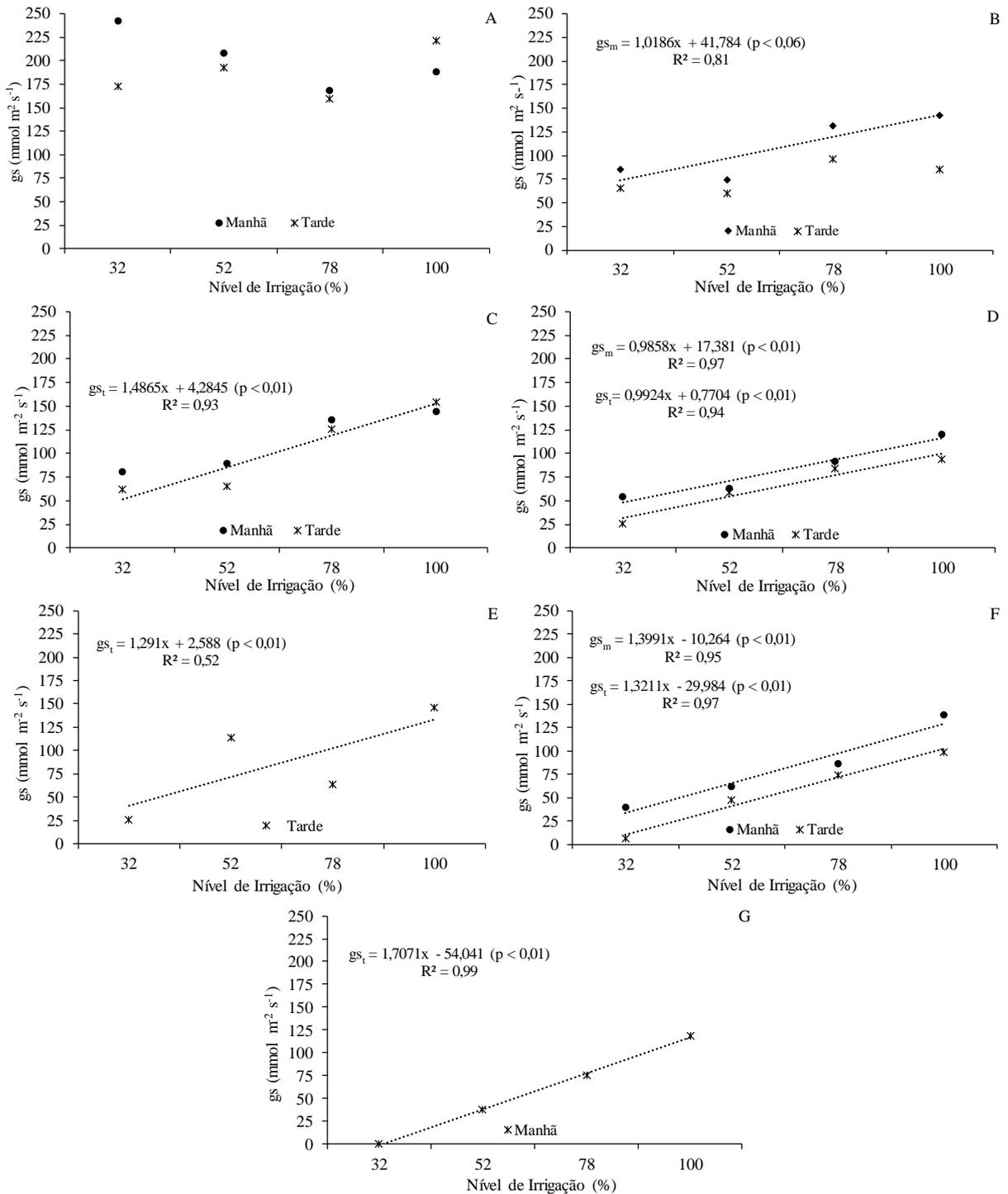


Figura 18. Condutância estomática em mudas de pimenta do reino aos 0 (A), 9 (B), 15 (C), 22 (D), 23* (E), 27 (F) e 28 dias de restrição hídrica* (G), nos períodos da manhã (9:00 às 10:00 horas) e tarde (13:00 às 14:00 horas) em dias de pleno sol.

* Condutância estomática realizada apenas no período da tarde.

Dos 9 aos 28 DRH valores de g_s foram influenciados significativamente pelos níveis de irrigação aplicados, sendo maiores em plantas que recebiam 100% da irrigação, devido à maior disponibilidade de água no solo e, conseqüentemente, a maior taxa de abertura estomática. Os resultados corroboram com Akhtar *et al.* (2014) e Gavilli *et al.* (2018), que avaliando plantas de tomate e soja, respectivamente, encontraram redução de condutância estomática quando aplicada irrigação deficitária. Neste período, valores de g_s pela manhã normalmente foram

maiores que o mensurado à tarde, evidenciando que o fechamento estomático ocorre parcialmente em plantas com menor nível de irrigação, sendo considerado um mecanismo de defesa da planta a fim de evitar o déficit hídrico (YANG *et al.*, 2018) (Figura 18).

As taxas de condutância estomática aos 28 DRH indicam que plantas submetidas à maior restrição hídrica (32%) apresentaram fechamento total dos estômatos nos horários mais quentes do dia, enquanto em plantas com irrigação plena, g_s foi de $116,7 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Figura 18G). De acordo com Gadi *et al.* (2019), grandes perdas de água pelos estômatos associadas à menor quantidade de água disponível podem ocasionar danos nas células guardas resultando em baixos valores de condutância estomática. O baixo valor de g_s encontrado no tratamento de maior restrição hídrica aos 28 DRH associados ao baixo CRA evidencia que o fechamento dos estomático se deu pela perda de turgidez das células folhares.

Os valores de g_s , um dia após a reidratação do tratamento que recebia 32% do volume total de água (29 DRH), atingiu $57 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ no período da tarde, enquanto os tratamentos de 52 e 78% apresentaram valores de 77 e $103,0 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$, respectivamente, sendo que estes eram mantidos em seus respectivos valores de restrição hídrica (Figura 19A). O aumento da g_s após a elevação da umidade do solo ocorreu pela maior abertura estomática. Tendência similar ao encontrado no 29º DRH foi observado aos 30 DRH, com pequeno aumento de g_s no tratamento reidratado e maiores taxas de g_s nos tratamentos de 100 e 78% no período da manhã (Figura 19B). No período da tarde, os valores de g_s em todos os tratamentos não sofreram variação significativa, sendo de 102,8, 82,4, 58,2 e $39,6 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ para os respectivos tratamentos 100, 78, 52 e 32%. Isso se deve ao aumento do déficit de pressão de vapor ocorrido no dia sendo a análise da tarde realizada nos horários de maiores temperaturas.

Aos 31 (Figura 19C) e 32 DRH (Figura 19D) foi observada pequena variação entre as leituras de g_s realizadas nos períodos da manhã e tarde. Mesmo no tratamento com irrigação plena (100%), houve redução da abertura estomática quando comparada aos dias anteriores, por este ser o período mais quente e seco entre a duração experimental (Figura 8A), provocando, conseqüentemente, um fechamento dos estômatos. O fechamento estomático em plantas plenamente irrigadas se deve ao aumento da perda de água pelas folhas e a inabilidade de absorção de água pelas raízes em quantidade suficiente para suprir a demanda da parte aérea.

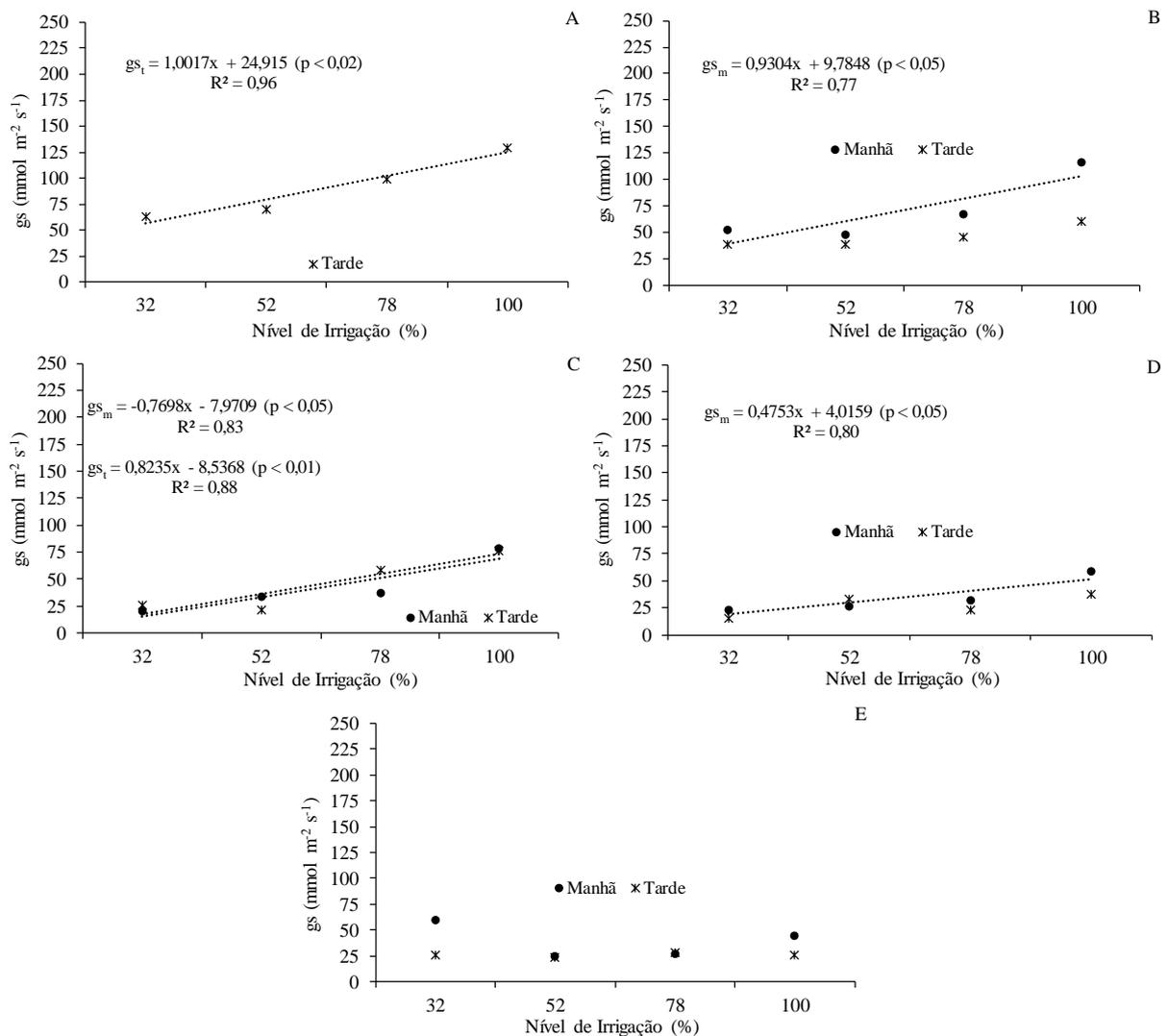


Figura 19. Condutância estomática em mudas de pimenta do reino aos, 29* (A), 30 (B), 31 (C), 32 (D) e 33 dias de restrição hídrica (E), nos períodos da manhã (9:00 às 10:00 horas) e tarde (13:00 às 14:00 horas) em dias de pleno sol com reidratação do tratamento 32%.

* Condutância estomática realizada apenas no período da tarde.

Aos 33 DRH, valores de gs não se ajustaram a nenhum modelo de regressão devido à baixa variância entre os tratamentos (Figura 19E). No entanto, nota-se que no período da manhã valores de gs máximo foram observados no tratamento reidratado ($60 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), enquanto os demais tratamentos apresentaram gs de 44,7, 26,8 e 24,3, respectivamente, para os tratamentos 100, 78 e 52%. Esses resultados corroboram com Ghannoum (2009) que verificou recuperação fotossintética, após a reidratação das plantas. Plantas que apresentam maiores taxas fotossintéticas, e como consequência maior consumo de CO_2 , também apresentam maiores valores de condutância estomática (Santos *et al.*, 2018).

Variações significativas também foram verificadas nos teores de clorofila *a*, *b* e clorofila total das plantas de pimenta do reino submetidas ao déficit hídrico. Do início da aplicação dos tratamentos ao 15º DRH não houve variações significativas em nenhum pigmento fotossintético (Figura 20). Inicialmente, apenas redução nos teores de pigmentos foi observada no período de 0 a 15 DRH, ocorrendo de forma similar para todos os tratamentos, devido ao processo de

rustificação das plantas ao ambiente sem controle de temperatura e umidade, apesar de terem permanecido por 10 dias neste processo antes do início avaliativo.

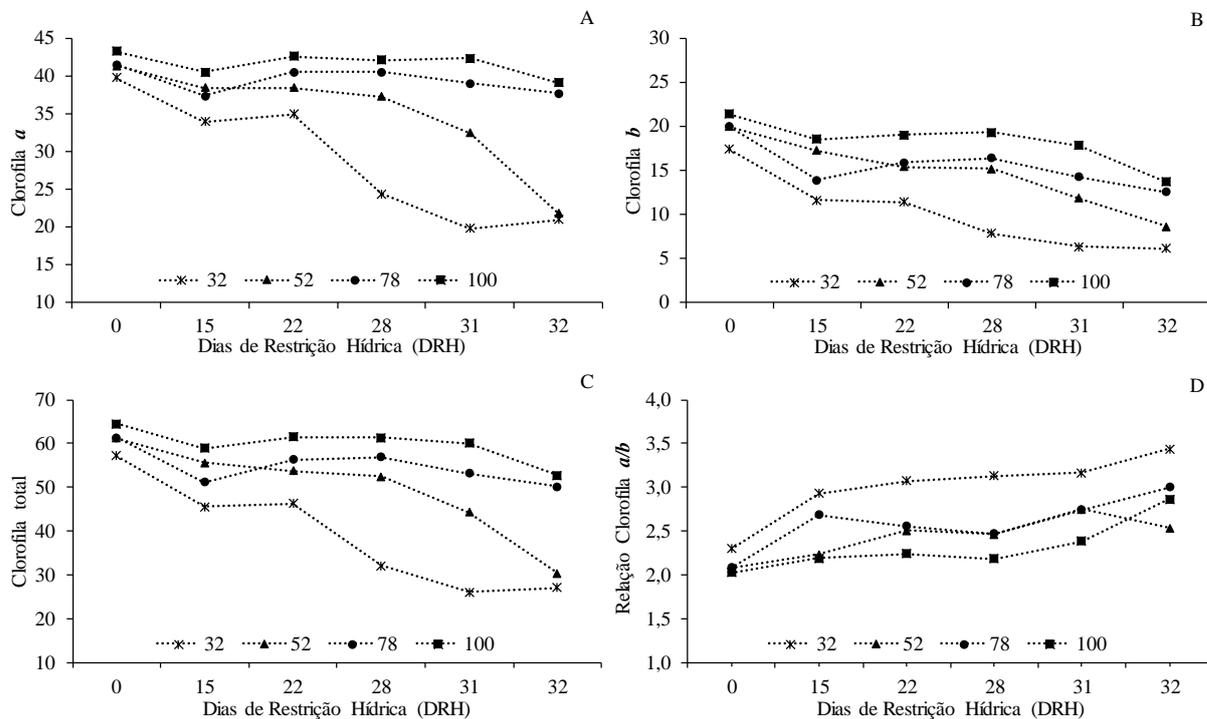


Figura 20. Índices de clorofila *a* (A), *b* (B), clorofila total (C) e relação *a/b* (D) em mudas de pimenta do reino submetidas a 32 dias de restrição hídrica.

Após 22 DRH, diferenças significativas foram encontradas nos teores de clorofila *a*, *b* e, conseqüentemente, no teor de clorofila total. Maiores teores de clorofila *a* foram verificados no tratamento plenamente irrigado, variando de 40,5 (15 DRH) a 39,0 (32 DRH) (Figura 20A). As maiores variações foram verificadas nos tratamentos 52 e 32% oscilando, respectivamente, de 38,4 e 40,0 para 20,9 e 21,8 no período de 15 a 32 DRH. Comportamento similar ocorreu para o teor de clorofila *b*, sendo os maiores teores mensurados no tratamento plenamente irrigado, variando de 18,5 (15 DRH) a 13,6 (32 DRH) (Figura 20B). Da mesma forma, as maiores variações foram verificadas nos tratamentos 52 (17,2 a 8,6) e 32% (11,6 a 6,1).

Plantas de alface submetidas a secas leves podem ter diminuição da área foliar e aumento no teor de clorofila, e em secas rigorosas podem apresentar redução no teor de clorofila devido a degradação das mesmas (VALENÇA *et al.*, 2018). No presente estudo, os tratamentos de 100 e 78% apresentavam teores de clorofila *a* e *b* próximos entre si, assim como os tratamentos de 32 e 52%. Vale ressaltar que ao final do experimento o tratamento 32% já havia sido reidratado, não apresentando oscilações consideráveis no teor de clorofilas no período de 31 e 32 DRH, enquanto para o tratamento de 52%, neste mesmo intervalo, foi verificada oscilação de 67% para clorofila *a* e de 88% para clorofila *b*.

A oscilação dos pigmentos totais de clorofila, dado pelo somatório das clorofilas *a* e *b*, seguiu comportamento similar durante o período de avaliação (Figura 20C). Houve variação de 11% para o tratamento plenamente irrigado no período de 15 a 32 DRH, e para os tratamentos de 78, 52 e 32% foram verificadas variações, respectivamente, de 2, 46 e 41%, sendo encontrada a menor percentagem de variação no tratamento de 78%. Estudando quatro diferentes genótipos de quinoa, Iqbal *et al.* (2018) encontraram maiores teores de clorofila *a*, *b* e carotenoides em plantas irrigadas e menores teores desses pigmentos em plantas submetidas à seca. Segundo os autores, plantas submetidas à seca sofrem maiores danos oxidativos. Após o 28º DRH houve

declínio no conteúdo total de pigmentos fotossintetizantes, em função do período de alta irradiação solar e altas temperaturas, que pode causar danos aos pigmentos foliares.

Antes do início da aplicação dos diferentes níveis de irrigação, as relações de clorofila *a/b* eram de 2,0, 2,1, 2,1 e 2,3, respectivamente, para os tratamentos de 100, 78, 52 e 32% (Figura 20D). Após a submissão das plantas aos respectivos tratamentos, durante 32 dias, as relações de clorofila *a/b* passaram a 2,86 (100%), 3,0 (78%), 2,54 (52%) e 1,14 (32%), sendo observado também que o aumento da relação clorofila *a/b* ocorreu após o 28º dia de avaliação, com exceção do tratamento de 52%.

O crescimento das plantas de pimenta do reino foi afetado significativo quando submetido a níveis de estresse hídrico mais severos, não sendo verificado crescimento de plantas submetidas a 32% da irrigação plena (Figura 21). Porém, mesmo sob restrição hídrica menos severa (78% da irrigação total) houve redução de, aproximadamente, 50% no crescimento das plantas quando comparado com plantas bem irrigadas.

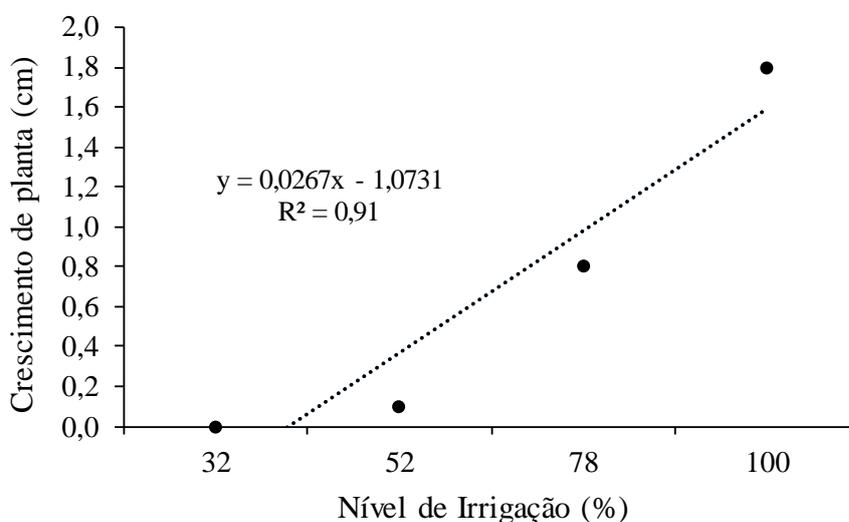


Figura 21. Crescimento médio de plantas de pimenta do reino, determinado através da diferença de altura das plantas no início e ao final dos tratamentos em plantas submetidas a diferentes níveis de irrigação.

Ao final do experimento verificou-se morte de plantas independente do tratamento aplicado, sendo causada pelas altas temperaturas registradas a partir do 25º DRH. As temperaturas superiores a 40°C e os altos valores de DPV podem ter agravado as condições para a sobrevivência das plantas, fazendo com que houvesse grandes perdas de água para a atmosfera. Segundo Krishnamurthy *et al.* (2016), a temperatura do ar máxima suportada por essa cultura é de 40 °C, e a faixa ideal para temperatura do solo é de 26 a 28 °C, para que o desenvolvimento das raízes seja satisfatório. Considerando a forte correlação entre as temperaturas do ar e do substrato registradas no interior da estufa (Tabela 6), pode-se inferir que as temperaturas dos substratos tenham alcançado valores elevados, ocasionando danos ao sistema radicular das plantas.

6. CONCLUSÕES

As maiores taxas de condutância estomática nas variedades de pimenta do reino estudadas ocorrem no período da manhã, quando as condições ambientais (temperatura e umidade do ar) são favoráveis a abertura estomática.

O efeito da deficiência hídrica induzida pelos níveis de restrição reduz a condutância estomática devido à redução do potencial de água na folha, que provoca o fechamento dos estômatos.

Os valores de Ψ_f associados com os valores de CRA encontrados na pimenteira do reino quando submetidas a baixos níveis de irrigação, evidenciam que essa cultura não é capaz de realizar ajuste osmótico como forma de evitar a desidratação excessiva.

O fechamento estomático total da pimenta do reino foi verificado no horário de maior demanda atmosférica, quando valores de condutância estomática permaneceram próximos de zero.

Temperatura do ar acima dos 40 °C, associadas com a baixa umidade relativa do ar ocasionou morte de plantas de pimenta do reino mesmo quando irrigação ao nível de 100%.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do maior desenvolvimento da parte aérea das mudas (massa fresca, massa seca e altura de plantas) ser obtido quanto utilizado a dosagem de $10,0 \text{ kg m}^{-3}$ de adubo de liberação lenta, recomenda-se a aplicação da dose de $5,0 \text{ kg m}^{-3}$ por apresentar desenvolvimento similar dos parâmetros referentes a desenvolvimento da parte aérea, além de ter obtido maior desenvolvimento radicular das mudas. Além disso minimizaria o custo de produção das mudas devido ao alto valor de fertilizantes de liberação lenta quando comparados com fertilizantes convencionais.

Plantas de pimenta do reino demonstraram ser sensíveis ao déficit hídrico não demonstrando plena recuperação após serem submetidas à período de restrição hídrica. Além disso demonstram que não realizam regulação osmótica como mecanismo de defesa a seca, no entanto é necessário o desenvolvimento de novas pesquisas com avaliações mais específicas para que confirmem essas evidências.

8. REFERENCIAS

- ABDEL-RAHMAN M.A. MERWAD, EL-SAYED M. DESOKY, MOSTAFA M. RADY. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**. v. 228, p. 132-144, 2018.
- AKHTAR, S. S.; LI, G.; ANDERSEN, M. N.; LIU, F. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 138, p. 37-44, 2014.
- BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proc. R. Soc. Lond. A**, v. 160, n. 901, p. 268-282, 1937.
- BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant Cell Environ**. v. 40, p. 4–10, 2017.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. D.; FOLEGATTI, M.V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v.14, p.97-105. 2006.
- CADORIN, D. A.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C. Efeito de antitranspirante na condutância estomática em mudas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 2, p. 115-120, 2016.
- CARON, B. O.; SCHNEIDER, J. R.; ELLI, E. F.; ELOY, E.; SOUZA, V. Q. D. PHYSIOLOGICAL RELATIONSHIPS IN *Aleurites fordii* Hemsl. SEEDLINGS. **Revista Árvore**, v. 41, n. 1, 2017.
- COCKERHAM, S.T., LEINAUER, B. Turfgrass Water Conservation, University of California. **Agriculture and Natural Resources**, Davis, Calif, USA, 2011.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**. v, 37, P. 229 – 234. 2007.
- CUNHA, R. L. M.; GALVÃO, J. R.; ALVES, R. M.; GOMES, V. A.; OLIVIRA, F. C.; FERREIRA, I. V. L. Ecofisiologia de progênie de cupuaçuzeiro submetida a déficit hídrico e reidratação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 12, n. 2, p. 2500 – 2509, 2018.
- DOUPIS, G.; PAPADAKIS, I. E.; EHALIOTIS, C.; PAPADOPOULOU, K. K. Tolerance of tomato plants to water stress is improved by the root endophyte *Fusarium solani* FsK. **Rhizosphere**, v. 6, p. 77–85, March, 2018.
- GADI, V. K.; HUSSAIN. R, BORDOLOI, S.; HOSSAIN, S.; SINGH, S. R.; GARG, A.; SEKHARAN, S.; KARANGAT, R.; LINGARAJ, S. Relating stomatal conductance and surface area with evapotranspiration induced suction in a heterogeneous grass cover. **Journal of Hydrology**. v. 568, p. 867- 876, 2019.
- GAVILLI, E.; MOOSAVI, A. A.; HAGHIGHI, A. A. K. Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean. **Industrial Crops and Products**, v. 128, p. 445-454, 2019.
- GHANNOUM, O. C4 photosynthesis and wanner stress. **Annals of Botany**. v. 103, p 635-644, 2009.
- IQBAL, H.; YANING, C.; WAQAS, M SHAREEF, M.; RAZA, S. T. Differential response of quinoa genotypes to drought and foliage-applied H₂O₂ in relation to oxidative damage, osmotic

adjustment and antioxidante capacity. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 164, p. 344–354, 2018.

KAVROULAKIS, N.; DOUPIS, G.; PAPADAKIS, I. E.; EHALIOTIS, C.; PAPADOPOULOU, K. K. Tolerance of tomato plants to water stress is improved by the root endophyte *Fusarium solani* FsK. **Rhizosphere**, v. 6, p. 77–85, March, 2018.

KRISHNAMURTHY, K.S.; ANKEGOWDA, S. J.; P. UMADEVI; GEORGE, J. K. **Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops: Black Pepper and Water Stress**. Índia: Springer, 2016, p. 369.

KUMAR, A., & VERMA, J. P. Does plant—Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review. **Microbiological research**, v. 207, p. 41-52, 2018.

LOCKE, A. M.; ORT, D. R. Diurnal depression in leaf hydraulic conductance at ambient and elevated [CO₂] reveals anisohydric water management in field grown soybean and possible involvement of aquaporins. **Environmental and Experimental Botany**. v.116. p. 39-46, 2015.

MANSUR, R. J., NOGUEIRA, C., & CARVALHO DE ALENCAR BARBOSA, D. Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. **Phyton**, v. 68, p. 97-106, 2000.

MEDICI, L. O.; ROCHA, H.S.; CARVALHO, D.F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R.A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.6, p.727-730, 2010.

PINHEIRO, H. A.; DaMATTa, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Tolerance is Associated with Rooting Depth and Stomatal Control of Water Use in Clones of *Coffea canéfora*, **Annals of Botany**. V. 9, p. 101–108, 2005.

SANTOS, A. L.; MECCHI, I. A.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Eficiência fotossintética e produtiva de milho safrinha em função de épocas de semeadura e populações de plantas. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 4, p. 52-60, out./dez. 2018.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RIVAS, R.; FALCÃO, H. M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C.; Santos, M. G. Drought tolerance in cowpea species is driven by less sensitivity of leaf gas exchange to water deficit and rapid recovery of photosynthesis after rehydration. **South African Journal of Botany**, v. 103, p. 101-107, 2016.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

TETENS, V. O. Über einige meteorologische Begriffe, **Zeitschrift Geophysic**, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Transpiração. condutância estomática de *Eucalyptus* sp em resposta à radiação global e diferentes condições hídricas. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 607-23, 2013.

TURNER, Neil C. Adaptation to water deficits: a changing perspective. **Functional Plant Biology**, v. 13, n. 1, p. 175-190, 1986.

VALENÇA, D. C.; CARVALHO, D. F.; REINERT, F.; AZEVEDO, R. A.; PINHO, C. F.; MEDICI, O. M. Automatically controlled deficit irrigation of lettuce in “organic potponics”. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 1, p. 52-59, 2018.

VAN GENUCHTEN, M. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 44, pg. 892-898. 1980

YANG, J.; ZHAO, S.; ZHAO, B.; LI, C. Overexpression of *TaLEA3* induces rapid stomatal closure under drought stress in *Phellodendron amurense* Rupr. **Plant Science.** v, 277, p. 100–109, 2018.