



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**HELANE CRISTINA AGUIAR SANTOS**

**MECANISMOS FISIOLÓGICOS DE RESPOSTA A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E  
SUAS RELAÇÕES COM O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE  
CULTIVARES DE PIMENTEIRA-DO-REINO EM AMBIENTE AMAZÔNICO**

**BELÉM  
2023**

**HELANE CRISTINA AGUIAR SANTOS**

**MECANISMOS FISIOLÓGICOS DE RESPOSTA A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E  
SUAS RELAÇÕES COM O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE  
CULTIVARES DE PIMENTEIRA-DO-REINO EM AMBIENTE AMAZÔNICO**

Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Agronomia: área de concentração Agronomia, para obtenção do título de Doutor (a).

**Orientador: Prof. Dr. Joaquim Alves de Lima Júnior**

**BELÉM  
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S237m Santos, Helane Cristina Aguiar  
MECANISMOS FISIOLÓGICOS DE RESPOSTA A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E SUAS  
RELAÇÕES COM O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE PIMENTEIRA-DO-  
REINO EM AMBIENTE AMAZÔNICO / Helane Cristina Aguiar Santos. - 2023.  
185 f. : il. color.
- Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de  
Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2023.  
Orientador: Prof. Dr. Joaquim Alves de Lima Junior
1. Biblioteca Lourenço José Tavares Vieira da Silva - UFRA/Campus Belém. I. de Lima Junior,  
Joaquim Alves , *orient.* II. Título
- 

CDD 631.709811

**HELANE CRISTINA AGUIAR SANTOS**

**MECANISMOS FISIOLÓGICOS DE RESPOSTA A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E  
SUAS RELAÇÕES COM O CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE  
CULTIVARES DE PIMENTEIRA-DO-REINO EM AMBIENTE AMAZÔNICO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: área de concentração Agronomia, para obtenção do título de Doutor (a).

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Joaquim Alves de Lima Júnior  
Orientador

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Dr. Eduardo César Medeiros Saldanha

ESPECIALISTA DE DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO – RIO TINTO

---

Prof. Dr. Jannaylton Everton Oliveira Santos

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Prof. Dr. Lucas Cavalcante da Costa

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

---

Dr. ORIEL FILGUEIRA DE LEMOS

PESQUISADOR EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL – EMBRAPA

*Minha avó*  
*Maria Valdomira dos Santos Aguiar*

*Minha mãe*  
*Maria Raimunda Aguiar Santos*

*Minha tia*  
*Maria Eliete dos Santos Aguiar*

As **MARIAS** da minha vida

**A elas dedico!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir a concretização deste trabalho.

À toda minha família, principalmente a minha mãe, meus avós maternos, Tia Eliete Aguiar, Tia Elizabeth Aguiar e minha irmã Karla Helaene, que sempre estiveram dispostos a me ajudar no que fosse possível.

À minha filha Helisa Maria pela compreensão de minhas ausências em uma fase tão especial da sua vida.

Aos meus primos Caio Aguiar e Gustavo Aguiar, por me acolherem e me fazerem sentir em casa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de auxílio.

À Empresa TROPOC – Produtos Tropicais de Castanhal Ltda., por toda ajuda financeira para a realização dessa pesquisa.

À Embrapa Amazônia Oriental por toda cooperação na realização da Unidade experimental na Empresa Tropoc – URT Pimental Experimental, com suporte ao manejo e na troca de conhecimento em relação as cultivares analisadas neste trabalho.

Ao viveiro de mudas - ProMudas - por doar as mudas de pimenta-do-reino para a área experimental.

À Emater-PA por cooperar com a assistência técnica, quando necessário, na área experimental.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Joaquim Alves de Lima Júnior pela confiança depositada em mim, pelo apoio e dedicação prestados neste trabalho.

Aos Professores Drs. Luana Luz e Lucas Cavalcante pelo ensino, colaboração e auxílio na condução do experimento, e mais ainda ao conhecimento transmitido ao longo deste trabalho e pela amizade construída.

Ao amigo e coorientador Olavo Pimentel, pelo apoio e dedicação na execução desta pesquisa, por ser meu “braço direito” até ao final, por não permitir desistir.

Ao Grupo de Estudos em Engenharia de Água e Solo da Amazônia - GEEASA, representados pelos alunos Mariele Alves, Olavo Pimentel, Rafaela Guerino, Igor Costa e Markus Wíbero por toda a ajuda em campo e pela amizade construída.

À turma de pós-graduação do departamento de solos da UFRA que sempre prestaram informações relevantes na construção dessa tese e por toda amizade construída ao longo desses anos, em destaque aos amigos e parceiros Deiviane Barral, Valdeides de Lima, Vandêilson Belfort e William Aviz.

Ao técnico Ricardo Vieira, por se disponibilizar em ajudar nas avaliações em campo.

A toda equipe de campo pela ajuda, desde o preparo do solo até a colheita, sem vocês não seria possível.

Ao meu tio Roberto Aguiar, primo Gustavo Aguiar e amiga Kelly Suzy pelas correções necessárias na escrita deste trabalho.

*“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita do que as outras, enquanto o imenso oceano continua misterioso diante dos meus olhos.”*

*Isaac Newton*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>11</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>12</b>
<b>1 CONTEXTUALIZAÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 Referencial teórico.....	15
1.1.1 Aspectos gerais .....	15
1.1.2 Cultivares: Clonada e Uthirankotta .....	16
1.1.3 Aspectos econômicos .....	18
1.1.4 Necessidade hídrica .....	19
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>21</b>
<b>2 CRESCIMENTO, ANATOMIA, FISIOLOGIA E STATUS HÍDRICO DE CULTIVARES DE PIMENTA-DO-REINO</b> .....	<b>29</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>29</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1 Introdução</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2 Material e Métodos</b> .....	<b>32</b>
2.2.1 Caracterização da área experimental .....	32
2.2.2 Delineamento experimental.....	34
2.2.3 Produção e transplântio das mudas.....	35
2.2.4 Instalação e condução do experimento.....	35
2.2.5 Instalação do sistema e manejo da irrigação .....	39
2.2.6 Tratos culturais e manejo fitossanitário.....	45
2.2.7 Características avaliadas.....	46
<b>2.3 Método estatístico</b> .....	<b>53</b>
<b>2.4 Resultados e discussão</b> .....	<b>53</b>
2.4.1 Características climáticas .....	53
2.4.2 Características das cultivares.....	55
<b>2.5 Conclusões</b> .....	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>74</b>
<b>3 TROCAS GASOSAS E POTENCIAL HÍDRICO EM CULTIVARES DE PIMENTA-DO-REINO SOB TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO</b> .....	<b>86</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>86</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>87</b>
<b>3.1 Introdução</b> .....	<b>88</b>
<b>3.2 Material e Métodos</b> .....	<b>89</b>
<b>3.3 Resultados e discussão</b> .....	<b>90</b>
<b>3.4 Conclusões</b> .....	<b>120</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>120</b>

<b>4 PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA EM CULTIVARES DE PIMENTA-DO-REINO SOB TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO.....</b>	<b>131</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>131</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>131</b>
<b>4.1 Introdução .....</b>	<b>132</b>
<b>4.2 Material e Métodos.....</b>	<b>134</b>
<b>4.3 Resultados e discussão.....</b>	<b>137</b>
<b>4.4 Conclusões .....</b>	<b>151</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>151</b>
<b>5 CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>157</b>
<b>REFERÊNCIA FINAL .....</b>	<b>157</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>186</b>

## RESUMO

A pimenta-do-reino é a mais importante especiaria comercializada no mundo e é utilizada em larga escala como condimento. O Brasil está entre os maiores produtores mundiais, sendo os estados do Pará e do Espírito Santo os principais responsáveis pelo cultivo e produção. Em vista da importância econômica e social da pimenteira-do-reino para o Nordeste Paraense e a escassez de estudos na Amazônia sobre o uso da água no cultivo, é necessário conhecer o desempenho nessas condições edafoclimáticas, o efeito potencializador e limitador da água no solo por meio das variáveis agronômicas, definindo a quantidade de água necessária, o monitoramento e a relação no sistema solo-planta-atmosfera. O experimento foi conduzido na área da Empresa de Produtos Tropicais de Castanhal LTDA (TROPOC) localizada no município de Castanhal – PA. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial em parcelas subdivididas, 5 x 2, sendo utilizado 10 tratamentos e três repetições. Cada parcela foi constituída por 16 plantas, em fileira dupla, com espaçamento de 4,0 x 2,20 x 2,20 m entre plantas. Os tratamentos foram constituídos por cinco tensões de água no solo (15, 25, 35, 45 e 55 kPa) como indicativo do momento de irrigar – tensão crítica, e duas cultivares de pimenta-do-reino (Clonada e Uthirankotta). As características avaliadas foram de caracterização das cultivares como área foliar, anatomia, trocas gasosas e *status* hídrico. Para verificação do efeito dos tratamentos, foi realizada avaliação de trocas gasosas e relação hídrica. Além disso, avaliou-se também produção, produtividade e eficiência no uso da água. Para a caracterização das cultivares verificou-se diferença significativa para a anatomia e trocas gasosas entre as cultivares foi diferente com maior eficiência para a ‘Clonada’. Enquanto que para as variáveis de crescimento e *status* hídrico a ‘Uthirankotta’ foi mais eficiente do que a ‘Clonada’. Ocorreu interação entre as tensões de água no solo e cultivares para a relação  $A/E$  e potencial hídrico antemanhã. Para as variáveis condutância estomática, concentração interna de carbono, relação  $C_i/C_a$  houve interação entre tensões de água no solo e período de avaliação. Transpiração foi significativo para tensões de água no solo, cultivares e período de avaliação. Nas variáveis produtivas houve interação entre tensões de água no solo e período de avaliação e de cultivares e período de avaliação. Com exceção da produção de pimenta preta e produtividade que foi significativo para tensões de água no solo, cultivares e período de avaliação. A cultivar Uthirankotta foi a que apresentou, nestes dois anos de ciclo produtivo, maior produção de pimenta verde e seca (6,55 e 3,05 kg planta<sup>-1</sup>, respectivamente).

**Palavras-chave:** *Piper nigrum* L., fisiologia, *status* hídrico, tensiometria.

## ABSTRACT

Black pepper is a globally valuable spice widely used as a condiment. Brazil is one of the world's largest producers of black pepper, with the states of Pará and Espírito Santo as major contributors to both plantings areas and production. Given the economic and social importance of black pepper to the Northeast of Pará coupled with the lack of such studies concerning the Amazon region, it is crucial to understand the behavior of this crop under different edaphoclimatic conditions, as well as the effects of water availability on its agronomic traits and the amount of water required for optimal growth and yield. Additionally, monitoring water use efficiency is pivotal to understanding the soil-plant-atmosphere system and choosing the best water management practice. The experiment was conducted at the Tropical Products Company of Castanhal Ltda (TROPOC) area, located in the municipality of Castanhal, PA. The experiment was set up in a randomized complete blocks design (RCBD), with split plots, arranged in a 5 x 2 factorial scheme, using 10 treatments and three replications. Each plot had 16 plants, in a double row, with a spacing of 4.0 x 2.2 x 2.2 m between plants. The treatments comprised five soil water tensions (15, 25, 35, 45, and 55 kPa) - as a limit to open and close irrigation system, and two black pepper cultivars ('Cloned' and 'Uthirankotta'). The cultivars were previously characterized for leaf area, anatomy, gas exchange and water status. Subsequently, to examine treatment effects, gas exchanges, water potential, production, yield and water use efficiency were also evaluated. Regarding cultivars characterization, a significant difference in both anatomy parameters and gas exchanges was observed, with the 'Cloned' presenting a higher efficiency as compared to 'Uthirankotta'. On the other hand, for variables corresponding to growth and water status, 'Uthirankotta' was more efficient than 'Cloned'. In this sense, there was an interaction between factors of water potential in the soil and cultivars for the  $A_N/E$  and predawn water potential. In addition, the stomatal conductance, internal carbon concentration,  $C_i/C_a$  ratio showed interaction between soil water tensions and the evaluation period. Transpiration significantly changed for soil water tensions, cultivars and evaluation period. Finally, the productive variables presented an interaction between both soil water tensions, as well as evaluation period and cultivars and evaluation period, except for black pepper production and yield, which was significant for soil water tensions, cultivars and evaluation period. 'Uthirankotta' showed the biggest production of both green and dry pepper (6.55 and 3.05 kg plant<sup>-1</sup>, respectively) within two years of the production cycle.

**Keywords:** *Piper nigrum* L., physiology, water status, tensiometry

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) é uma das especiarias mais valorizadas do mundo (RAVIDRAN; KALLUPURACKAL, 2012; PEREIRA LOURINHO *et al.* 2014; D'ADDAZIO *et al.* 2016; SILVA; LIMA, 2016; TELES, 2020), sendo o Brasil o segundo maior produtor e exportador mundial e juntamente com o Vietnã e Indonésia detém 65% do mercado global do produto (VIDAL, 2020).

A pimenteira-do-reino é originária da Índia (AHMAD *et al.* 2012; SANTOS, GONTIJO; NICOLE, 2012; PEREIRA LOURINHO *et al.* 2014; D'ADDAZIO *et al.* 2016; SILVA; LIMA, 2016; TELES, 2020) e foi introduzida no Brasil na década de 1930 por imigrantes japoneses na Região Amazônica (FILGUEIRAS; HOMMA; SANTOS, 2009; RIBEIRO *et al.* 2019). Atualmente, os principais Estados produtores no País são o Pará, o Espírito Santo e em menor escala, o sul da Bahia (VIDAL, 2020).

O cultivo de pimenteira-do-reino no Brasil é feito especialmente por produtores familiares. De acordo com Censo Agropecuário do IBGE, em 2017 existiam 32.799 estabelecimentos agropecuários com pimenta-do-reino no Brasil; desse total, 83% pertencem à agricultura familiar. O Pará contava com 17.477 estabelecimentos com a cultura, dos quais 88,75% eram familiares e no Espírito Santo, dos 11.725 estabelecimentos que cultivavam a especiaria, 76,13% eram administrados por produtores familiares (IBGE, 2022). Estes dados reforçam que a pimenteira-do-reino é uma cultura que pode ser cultivada em pequenas áreas, sendo também importante na diversificação das atividades na propriedade.

O Pará e o Espírito Santo respondem por quase 90% da área plantada com pimenteira-do-reino no Brasil. O Pará apresenta 36.156 toneladas, cerca de 32% da produção brasileira e o Espírito Santo aproximadamente 59% (67.594 toneladas) dessa produção, sendo este o maior produtor nacional, com rendimento médio de produção de 3.953 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE/PAM, 2021). Possivelmente, essa diferença de produtividade, se dá em decorrência ao baixo grau de adoção de tecnologias, falta de informações técnicas da cultura e baixo índice de assistência técnica.

É uma cultura que exige elevada temperatura, umidade do ar e precipitação (EMBRAPA, 2004; DUARTE *et al.* 2006; ANDRADE; SILVA; SALLES, 2017; TELES, 2020), por isso a baixa disseminação dos cultivos no País. Além disso, desenvolve-se bem em solos com camada arável húmica e boa condição de drenagem, devendo-se evitar solos mal drenados, que podem contribuir para a ocorrência da podridão das raízes (RODRIGUES; ATAÍDE, 2001; EMBRAPA; 2004; DUARTE *et al.* 2006; BRASIL, 2011).

Um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento de qualquer espécie vegetal é a água, cuja falta caracteriza uma das principais restrições ao crescimento e desenvolvimento

da mesma (LOPES *et al.* 2011), fazendo com que os agricultores pratiquem a agricultura irrigada com intuito de evitar perdas ou aumentar a produção. Mas, para isso, reconhece-se que, ao agricultor, devem ser fornecidas técnicas com precisão suficiente para possibilitarem a determinação criteriosa do momento e da quantidade de água a ser aplicada (FLUMIGNAN *et al.* 2015; SILVA JUNIOR, 2017).

As relações entre os componentes do sistema solo-água-planta-atmosfera são complexas e dinâmicas, o que torna o manejo da irrigação uma tomada de decisão criteriosa (TERRA, 2010). Por esse motivo, é interessante entender a resposta da pimenteira-do-reino ao déficit hídrico para que se possa avaliar a atuação da prática da irrigação na produção desta cultura, a qual é muito sensível ao déficit hídrico em função da sua alta evapotranspiração, o que exige um fornecimento contínuo de água ao solo durante o período mais seco (SIVARAMAN *et al.* 1999).

Partelli (2009) relata que mesmo tendo uma crescente expansão das áreas de cultivo de pimenta-do-reino no Brasil — de acordo com Censo Agropecuário do IBGE 2017, 98% dos estabelecimentos, com 50 plantas ou mais de pimenteira-do-reino no Pará encontram-se, ainda, cultivados em condições de sequeiro (IBGE, 2022) — faz-se necessário conhecer a morfologia e fisiologia desta espécie; estudar e investigar as melhores condições para o uso correto da água; e entender como o déficit hídrico afeta o seu desenvolvimento (TELES, 2020).

É sabido que em algum estágio de desenvolvimento, a baixa disponibilidade de água no solo faz com que as plantas reduzam sua perda de água ao limitar a condutância estomática, afetando a fotossíntese e a transpiração, o que reduz, conseqüentemente, a taxa fotossintética (SILVA *et al.* 2010). Neste sentido, diferentes metodologias têm sido adotadas em campo para estimar o requerimento hídrico das culturas, estes incluem métodos meteorológicos e do balanço de água no solo por meio da tensiometria e que servem de índices a serem utilizados no manejo da irrigação (POSSE *et al.* 2008; SILVA *et al.* 2012).

Tendo em vista a importância econômica e social da pimenteira-do-reino para o Nordeste Paraense e a escassez de estudos na Amazônia, é necessário conhecer seu desempenho nessas condições edafoclimáticas, o efeito potencializador e limitador da água no solo em suas variáveis agronômicas e os fatores de resposta da planta ao déficit hídrico, definindo a quantidade de água necessária, bem como o monitoramento da água, compreendendo-se e modelando sua relação no sistema solo-planta-atmosfera, possibilitando ao produtor a informação do efeito das tensões de água no solo e a definição de sua utilização em termos de rendimento e produtividade.

## 1.1 Referencial teórico

### 1.1.1 Aspectos gerais

A pimenteira-do-reino pertence à classe das Eudicotiledôneas, ordem *Piperales*, gênero *Piper* e família *Piperaceae* (EMBRAPA, 2004; AGBOR *et al.* 2012), que abrange cerca de 1000 espécies de regiões tropicais (NAIR, 2011). O gênero *Piper* é o maior dessa família, com cerca de 700 espécies, sendo que 170 crescem de forma nativa no Brasil (SOUZA; LORENZI, 2012).

Originária de regiões tropicais da Índia (AHMAD *et al.* 2012; SANTOS, GONTIJO; NICOLE, 2012; PEREIRA LOURINHO *et al.* 2014; D'ADDAZIO *et al.* 2016; TELES, 2020) é uma planta perene, semi-lenhosa, arbustiva e trepadeira, que cresce aderida a tutores de madeira ou troncos de árvores (LIMA *et al.* 2010; QUARTEZANI *et al.* 2013; PEREIRA LOURINHO *et al.* 2014; RASANJALI; SILVA; PRIYADARSHANI, 2019), com caule formado por duas partes distintas: a haste central que possui raízes adventícias, grampiformes, que se originam nos nós e aderem livremente no suporte (ramo ortotrópico) e as hastas laterais que são desprovidas de raízes aderentes e cujas gemas originam as flores e frutos (são chamados ramos de frutificação ou plagiotrópicos) (EMBRAPA, 2004; SERRANO *et al.* 2012; MARTINS, 2018).

As folhas são pecioladas e localizadas à altura dos nós, com formatos variados conforme a cultivar (CHEN; TAWAN, 2020). A inflorescência é uma espiga que pode atingir de 10 a 12 cm. A fecundação normalmente se dá entre flores diferentes de uma mesma espiga (geitonogamia). O fruto é uma drupa séssil, indeiscente, proveniente de um único óvulo. Quando maduro, o fruto possui de 4 a 6 mm de diâmetro e a casca adquire coloração avermelhada (EMBRAPA, 2004; DUARTE; ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2005; MARTINS, 2018), com período de florescimento à maturação de, aproximadamente, 6 meses (SERRANO *et al.* 2012).

É propagada por meio de estacas, retiradas de um terço médio da planta, com dois nós (PEREIRA LOURINHO *et al.* 2014). Além disso segundo Magevski *et al.* (2011) quando se usa o regulador vegetal, torna-se ainda maior a probabilidade de emissão de raízes adventícias nos ramos, de tal forma que a utilização de ácido indol butírico propicia maior precocidade de enraizamento e de formação de raízes. No Brasil, particularmente, para fins comerciais, são usadas mudas de estacas de plantas com dois a quatro anos de plantio.

Em condições de cultivo intensivo, a pleno sol e com água e adubação balanceada chega a produzir 3 a 4 toneladas de pimenta seca por hectare (FERREIRA *et al.* 2004). Contudo, a produção comercial de forma mais expressiva ocorre a partir do segundo ano (EMBRAPA, 2004).

As temperaturas consideradas ótimas para o cultivo da pimenteira-do-reino situam-se entre 23 °C e 28 °C, umidade relativa do ar entre 80 a 90%, com luz solar acima de 2.000 horas/ano. Para o seu desenvolvimento, necessita de clima quente e úmido, com precipitação total anual acima de 1.500 mm e disponibilidade hídrica durante o período de floração e frutificação (EMBRAPA; 2004; DUARTE *et al.* 2006; ANDRADE; SILVA; SALLES, 2017). Além disso, exige solos com boas características físicas e ricos em matéria orgânica, devendo-se evitar solos mal drenados, que podem contribuir para a ocorrência da podridão das raízes (EMBRAPA; 2004; DUARTE *et al.* 2006; BRASIL, 2011).

É considerada a mais importante e mais antiga especiaria que se conhece no mundo (LIMA *et al.* 2010; RAVIDRAN; KALLUPURACKAL, 2012; PEREIRA LOURINHO *et al.* 2014; D'ADDAZIO *et al.* 2016; TELES, 2020), sendo a única cujos frutos podem ser comercializados em 4 diferentes opções de grãos; a pimenta preta, que apresenta grãos em sua maioria maduros, debulhados e secos; a pimenta branca, proveniente de grãos debulhados, descascados e secos; a pimenta verde, que são os grãos debulhados ainda imaturos; e a pimenta vermelha, que são os grãos maduros e desbulhados, ainda que a sua forma mais comum de comercialização seja a preta (EMBRAPA, 2004; BALASUBRAMANIAN *et al.* 2016; AMBROZIM *et al.* 2018).

O principal uso da pimenta-do-reino é como tempero no preparo de alimentos industrializados; na indústria farmacêutica, de cosméticos e perfumaria e como inseticida natural (MAGEVSKI *et al.* 2011; NAIR, 2011; NELSON; CANNON-EGGER, 2011; RAVIDRAN; KALLUPURACKAL, 2012; LEMOS; POLTRONIERI, 2014; ASSIS *et al.* 2015), o que proporciona alta rentabilidade para os pipecultores.

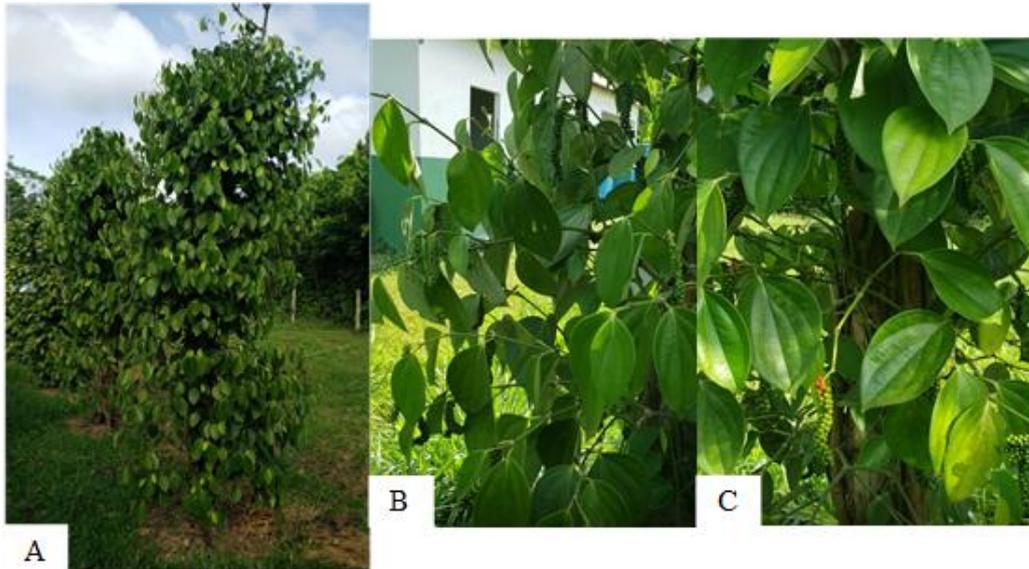
### **1.1.2 Cultivares: Clonada e Uthirankotta**

A clonada é uma cultivar obtida a partir da germinação de sementes e clonagem das plantas *in vitro* da cultivar Kuthiravally. Genótipo de ciclo de maturação do fruto precoce, normalmente o início da sua floração ocorre a partir de dezembro até fevereiro, e durante seis meses tem-se a fase da polinização à maturação dos frutos. Por isso, a colheita pode ocorrer desde o fim de junho a agosto. Apresenta folhagem de tamanho médio, espigas longas com bom enchimento, com frutos de tamanho médio, apresentando em média uma produção de 3 kg planta<sup>-1</sup>. O broto apresenta cor levemente púrpura<sup>1</sup> (Figura 5).

---

<sup>1</sup> Informação fornecida pelo pesquisador Dr. Oriel Filgueira de Lemos na Exposição e Feira Agropecuária de Castanhal – EXPOFAC, DIA DE CAMPO, em setembro de 2021

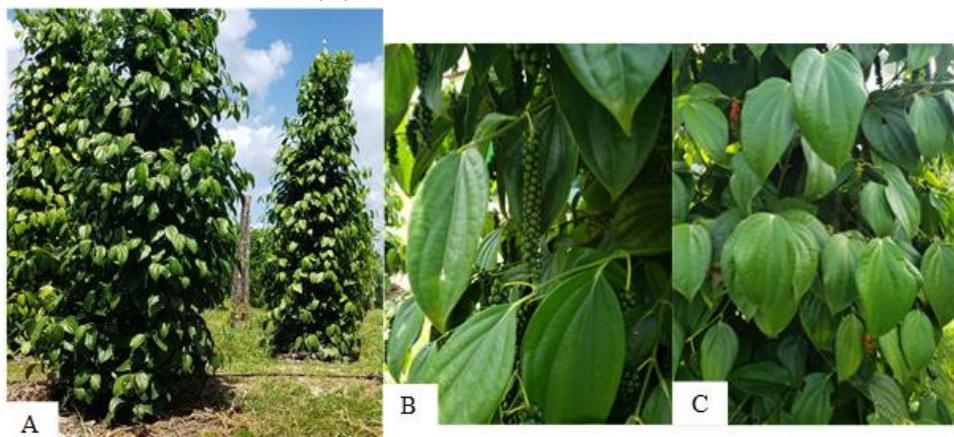
Figura 5. Cultivar clonada (A), ramos plagiotrópicos com folhas de tamanho médio (B) e espigas longas e com bom enchimento (C)



Fonte: Santos (2021)

A Uthirankotta é uma cultivar obtida a partir da sua introdução no estado do Pará. Genótipo de ciclo de maturação do fruto tardio, normalmente o início da sua floração ocorre a partir de janeiro até março, e durante seis meses tem-se a fase da polinização à maturação dos frutos. Por isso, a colheita pode ocorrer de setembro a novembro. Possui folhas largas, espigas longas contendo várias fileiras de frutos, com frutos de tamanho médio, apresentando em média uma produção de  $3 \text{ kg planta}^{-1}$ . O broto apresenta cor de roxo escuro<sup>2</sup> (Figura 6).

Figura 6. Cultivar uthirankotta (A), ramos plagiotrópicos com folhas largas (B) e espigas longas e com bom enchimento (C)



Fonte: Santos (2021)

<sup>2</sup> Informação fornecida pelo pesquisador Dr. Oriel Filgueira de Lemos na Exposição e Feira Agropecuária de Castanhal – EXPOFAC, DIA DE CAMPO, em setembro de 2021

### 1.1.3 Aspectos econômicos

Tradicionalmente usada como aromatizante de alimentos, conservante, medicamentos e agentes bioquímicos desde os tempos antigos, a pimenta-do-reino chegou a ser usada como moeda até mesmo no pagamento de impostos em função de sua procura pela nobreza europeia (ABUKAWSAR *et al.* 2018), além de estar presente na culinária de uma forma muito abrangente (RAVINDRAN; KALLUPURACKAL 2012; REGO; FERNANDES, 2019).

A introdução da pimenteira-do-reino no Brasil ocorreu no estado da Bahia, no século XVII, e de lá se espalhou para outros estados, todavia só se estabeleceu como cultivo agrícola a partir de 1933 no estado do Pará, com a introdução do cultivar cingapura, pelos imigrantes japoneses no município de Tomé Açu. O Brasil, até a década de 40, embora produzisse pimenta-do-reino, importava parte do que consumia, tornando-se autossuficiente apenas em 1950 (DESER, 2008; FILGUEIRAS; HOMMA; SANTOS, 2009). Na década de 80, o Brasil se tornou o país que mais produziu pimenta-do-reino em todo o mundo e nos anos de 1980 a 1982 e em 1984, alcançou a posição de maior exportador mundial de pimenta-do-reino, em função da produção paraense, porém a queda do valor da pimenta-do-reino na década de 90 e problemas com doenças como a fusariose, fizeram com que caísse dessa posição (DUARTE; ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE 2005; FILGUEIRAS; HOMMA; SANTOS, 2009).

Dentre os produtos mais relevantes exportados pela região Amazônica está a pimenta-do-reino, colocando o Brasil entre segunda e quarta posição no ranking mundial de exportadores da cultura, principalmente de pimenta preta, o principal produto de comercialização (LIMA *et al.* 2010; SANTOS; GONTIJO; NICOLE, 2012; PEREIRA LOURINHO *et al.* 2014; ANDRADE; SILVA; SALLES, 2017), que segundo Nelson e Cannon-Eger, (2011) e Assis *et al.* (2015) gera 30 mil empregos diretos e indiretos durante o ano, chegando a 80 mil na época da colheita, correspondendo 85% da produção nacional realizada pela agricultura familiar.

Segundo dados do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), a atividade da pipericultura emprega cerca de 50 mil pessoas no período da safra e gera divisas em torno de US\$ 50 milhões ao ano por meio das exportações, mostrando grande importância social e econômica ao gerar trabalho e renda para as famílias rurais (GONTIJO *et al.* 2012).

Os principais estados brasileiros produtores são o Pará e o Espírito Santo, nos quais em 2020 a atividade correspondeu, respectivamente a 48,5 e 45,8% do total de pimenta-do-reino produzido no país. O Pará apresenta 36.156 toneladas, cerca de 32% da produção brasileira e o Espírito Santo aproximadamente 59% (67.594 toneladas) dessa produção, sendo este o maior produtor nacional, com rendimento médio de produção de 3.953 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE/PAM, 2021).

O Pará, ao longo dos últimos anos, vem perdendo a posição de maior produtor de pimenta-do-reino nacional, apresentando um rendimento muito baixo quando comparado a Espírito Santo. Possivelmente, essa diferença de produtividade se dá em decorrência do distanciamento de pesquisas oficiais à realidade dos agricultores, que têm baixo grau de adoção de tecnologias, falta de informações técnicas da cultura e baixo índice de assistência técnica.

Os maiores consumidores mundiais de pimenta-do-reino são Índia e Indonésia, com 65% do consumo mundial. Entretanto, os maiores mercados importadores da pimenta brasileira são os Estados Unidos (em média 40% do total exportado), México, Holanda, Alemanha, Espanha e França (EMBRAPA, 2004; DESER, 2008; SABU; KURUVILA, 2016; FAO, 2021). Porém, uma das grandes características do comércio da pimenta-do-reino é a instabilidade de preços junto ao mercado internacional que depende fortemente da lei econômica básica “Lei da oferta e demanda/procura” (FAO, 2021).

Para D’addazio *et al.* (2016), apesar da importância da pipericultura no cenário regional, nacional e internacional, a atividade frequentemente é relegada ao esquecimento. A falta de pesquisas para melhoramento, manejo de água e nutrientes, e combate às doenças revelam a falta de conhecimento científico sobre a cultura.

#### **1.1.4 Necessidade hídrica**

Os estudos que visam o monitoramento do manejo da água são essenciais para maiores produções, sendo auxiliada por tecnologias como irrigação nas áreas que constituem plantios de pimenteira-do-reino (MAIA *et al.* 2020). O manejo desse recurso hídrico, interligado ao uso de tecnologias, assegura maiores índices de produtividade, já que a pimenta-do-reino é exigente em suprimento de água principalmente no período produtivo (ANKEGOWDA *et al.* 2011).

O Pará tem grande destaque em termos de produção da cultura no cenário nacional, contribuindo para que o Brasil seja um dos maiores exportadores do grão (LIMA *et al.* 2010; SANTOS; GONTIJO; NICOLE, 2012; LEMOS; POLTRONIERI, 2014; PEREIRA LOURINHO *et al.* 2014; ANDRADE; SILVA; SALLES, 2017). No entanto, para que o país ocupe uma posição mais competitiva no mercado internacional, é necessário o adequado manejo da cultura, assegurando sua demanda hídrica. Pois, Sivaraman *et al.* (1999) salientam que a pimenteira-do-reino é muito sensível ao déficit hídrico em função da alta evapotranspiração da cultura, o que exige um fornecimento contínuo de água ao solo durante o período mais seco.

Em situação de baixa disponibilidade de água no solo, em algum estágio de desenvolvimento, as plantas atenuam a perda de água ao reduzirem a condutância estomática

afetando um dos seus principais mecanismos, a fotossíntese (PAIVA; FERNANDES; RODRIGUES, 2005; COSTA; MARENCO, 2007; CAVATTE *et al.* 2012), que segundo Rousseau *et al.* (2013) e Peloso *et al.* (2017) é sensível, seja por meio do efeito fotoquímico, com a deficiência do funcionamento do fotossistema II ou pela degradação dos tilacóides, ou por problemas bioquímicos como a desativação da rubisco ou de outras enzimas do ciclo de Calvin.

Segundo Duarte *et al.* (2006) e Duarte; Albuquerque e Kato (2008) a irrigação em plantas de pimenteira-do-reino melhora o desenvolvimento vegetativo, aumenta a longevidade da cultura e reduz em 40% as perdas de produção. Em Paragominas-PA, lavouras com 13 anos de idade, irrigadas continuam com produção elevada, mesmo em uma região que apresenta 5 meses de período seco (BASTOS *et al.* 2005).

Para Partelli (2009) e Ferrão *et al.* (2016) as maiores produtividades de pimenta-do-reino têm sido obtidas em cultivos intensivos a pleno sol, como os encontrados na região norte do Espírito Santo, onde cerca de 95% das lavouras são irrigadas, uma vez que as precipitações médias anuais são, ligeiramente superiores a 1.000 mm, com ocorrência frequente de períodos secos. Portanto, as lavouras irrigadas tendem a ser mais lucrativas, pois podem apresentar maior período de enchimento de grãos (floração até a maturação) e área foliar verde para realizar fotossíntese e remobilizar as reservas, proporcionando um maior suprimento de grãos assimilados (MAEHLER *et al.* 2003; GOMES, 2016).

A necessidade hídrica de uma cultura é representada pelo coeficiente de cultivo, e varia com o estágio de desenvolvimento da planta (CARVALHO *et al.* 2013; SILVA; TAVARES; SOUSA, 2013; PIRES; LIMA, 2018). Essa exigência por água é influenciada pela demanda atmosférica por vapor, sendo a temperatura do ar um dos principais fatores que influenciam o crescimento vegetal (PIRES; LIMA, 2018).

De acordo com Silva *et al.* (2010) e Bonomo *et al.* (2013), o manejo da irrigação é uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental em uma atividade agrícola irrigada, visto que o manejo adequado da irrigação, pode-se economizar água, energia, aumentar a produtividade da cultura e melhorar a qualidade do produto.

Mesmo o cultivo da pimenteira-do-reino ser uma importante fonte de renda e emprego, sobretudo nos estados do Pará e Espírito Santo, a necessidade hídrica da cultura em diferentes condições edafoclimáticas ainda é pouco estudada, principalmente em regiões com precipitações irregulares ou insuficientes para atender a sua demanda (TELES, 2020).

Pesquisas realizadas pela Embrapa contribuem para mudar este cenário, com foco no desenvolvimento de tecnologias e boas práticas, que fazem da produção brasileira de pimenta uma das mais sustentáveis do mundo.

No Pará, a Embrapa Amazônia Oriental é a grande responsável por esse processo. Por meio de projetos relacionados às boas práticas baseadas nos principais desafios do pipericultor, leva tecnologias que aumentam a produção, a longevidade e a sustentabilidade dos pimentais, como preparo da área, produção de mudas de qualidade, plantio, manejo, colheita e armazenamento dos grãos, o que torna a atividade mais rentável e competitiva no mercado internacional.

Contudo, mesmo diante de todas essas informações e tecnologias que a Embrapa Amazônia Oriental disponibiliza aos pipericultores paraenses, a falta de um manejo de irrigação adequado e o fato de muitos dos pimentais serem cultivados em condição de sequeiro principalmente no estado do Pará (PARTELLI, 2009), sujeitos a ocorrência de déficit hídrico, é necessário conhecer a morfologia e a fisiologia da pimenteira-do-reino, estudar e investigar as melhores condições para o uso correto da água e entender como o déficit hídrico afeta o desenvolvimento dessa cultura (TELES, 2020), ainda são empíricas sem muita investigação e comprovação científica.

## REFERÊNCIAS

ABUKAWSAR, Mirza *et al.* Chemical, pharmacological and nutritional quality assessment of black pepper (*Piper nigrum* L.) seed cultivars. **Journal of Food Biochemistry**, v. 42, n. 7, p. 1-21, 2018.

AGBOR, Gabriel Agbor *et al.* Antioxidant and anti-atherogenic activities of three Piper species on atherogenic diet fed hamsters. **Experimental and toxicologic pathology**, v. 64, n. 4, p. 387-391, 2012.

AHMAD, Nisar *et al.* Biological role of *Piper nigrum* L. (Black pepper): A review. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 3, p. 1945-1953, 2012.

AMBROZIM, Clodoaldo Spadeto *et al.* Área foliar e índice de clorofila em mudas de pimenta-do-reino produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e composição de substrato. *In: XI ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS*, 2018. Canela, RS. **Anais...** Canela: UFRGS, 2018. n. 11, p.1.

ANDRADE, C. G. C.; SILVA, M. L.; SALLES, T. T. Fatores impactantes no valor bruto da produção de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.) no Pará. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 1-8, 2017.

ANKEGOWDA, S. J. *et al.* Impact of basic irrigation on black pepper production in coffee based cropping systems in high altitude regions of Kodagu, Karnataka. **Indian Journal of Horticulture**, v. 68, n.1, p. 71-74, 2011.

ASSIS, Beatriz V. R. *et al.* Efeito inibitório do extrato de *Piper nigrum* L. sobre a corrosão do aço carbono em meio ácido. **Revista Virtual de Química**, v.5, n.7, p. 1830-1840, 2015.

BALASUBRAMANIAN, Shancar *et al.* Postharvest Processing and Benefits of Black Pepper, Coriander, Cinnamon, Fenugreek, and Turmeric Spices, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 10, p. 1585-1607, 2016.

BASTOS, Terezinha Xavier *et al.* **Características agroclimáticas do município de Paragominas**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, Documentos 228, p. 21, 2005.

BONOMO, Diego Zancanella *et al.* Vegetative development of the Conilon coffee plant submitted to different irrigation depths. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 2, p. 157-169, 2013.

BRASIL. Secretaria de Política Agrícola. Portaria nº 379, de 18 de outubro de 2011. Aprova o zoneamento agrícola de risco climático para a cultura de pimenta do reino no Estado da Bahia. Diário Oficial da União, Brasília, p. 4. Seção I, 2011.

CARVALHO, Ivan Ricardo *et al.* Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n.17, p. 969-985, 2013.

CAVATTE, Paulo Cezar. *et al.* Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee?: a morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 144, n. 2, p. 111-122, 2012.

CHEN, C. Y. S.; TAWAN, C. Botany, diversity, and distribution of black pepper (*Piper nigrum* L.) Cultivars in Malaysia. **Borneo Journal of Resource Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 10-23, 2020.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta. Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

D'ADDAZIO, Verônia *et al.* Evaluation of in vitro inhibition of mycelial growth of *Fusarium solani* f. sp. *piperis* by diferente products in Brazil. **African Journal of Microbiology Research**, v. 10, n. 47, p.1992-1998, 2016.

DESER. **Departamento de estudos sócio-econômicos**. Secretaria de Agricultura Familiar. Curitiba, novembro, 2008.

DUARTE, Maria de Lourdes Reis *et al.* **Pimenta-do-reino**. Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 82p.

DUARTE, M. L. R.; ALBUQUERQUE, F. C.; ALBUQUERQUE, P. S. B. Doenças da Pimenteira-do-Reino (*Piper nigrum*). In: KIMATI, Hiroshi *et al.* (Eds.). **Manual de Fitopatologia**. 4ª ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v. 2, cap. 58, p. 507-516, 2005.

DUARTE, M. de L. R.; ALBUQUERQUE, F. C. de; KATO, A. K. **Sistema de produção da pimenteira-do-reino: produção de mudas**, documento 321, 2008. Disponível em: <<http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/PimenteiradoReino/paginas/producao.htm>>. Acesso em: jul. 2021.

EMBRAPA - EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Manual Segurança e Qualidade para a Cultura da Pimenta-do-Reino**. Brasília: EMBRAPA/SEDE, 65 p. (Qualidade e Segurança dos Alimentos). Projeto PAS Campo. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE/EMBRAPA, 2004.

FAO – Food and Agriculture of the United Nations. **Statistical Databases**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>> Acesso em: 28 nov. 2021.

FERRÃO, Romário Gava *et al.* Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo, **Incaper em Revista**, v. 6 e 7, n. 4, p. 51-71, 2016.

FERREIRA, Célio Armando Palheta *et al.* Coeficiente técnicos, custos, rendimentos e rentabilidade. In: DUARTE, M. L. E. (Ed.). **Sistema de produção: Cultivo da pimenta-do-reino na Região Norte**. 1ª ed. Belém. p. 283-286, 2004.

FILGUEIRAS, G. C.; HOMMA, A. K. O.; SANTOS, M. A. S. Conjuntura do mercado da pimenta-do-reino no Brasil e no mundo. **In: Workshop da pimenta-do-reino do Estado do Pará**. Belém, PA. Situação atual e alternativa para a produção sustentável. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

FLUMIGNAN, D. L.; ALMEIDA, A. C. S; GARCIA, R. A. **Necessidade de irrigação complementar da soja na região sul de Mato Grosso do Sul**. Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. 8p.

GOMES, D. G. **Crescimento e produção do amendoim Runner IAC 886 sob diferentes lâminas de irrigação**. [s.l. ] Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2016.

GONTIJO, Ivoney *et al.* Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1093-1102, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento da Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 5, p. 1-83, 2019. Acesso em: julho de 2021.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. **Censo Agropecuário, 2017**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6955>>. Acesso em: 13/01/2022.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. **Produção Agrícola Municipal, 2020**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12/07/2021.

LEMOS; O. F.; POLTRONIERI, M. C. Colheita e beneficiamento. *In*: LEMOS, O. F.; TREMACOLDI, C. T.; POLTRONIERI, M. C. (Eds.). **Boas práticas agrícolas para aumento da produtividade e qualidade da pimenta-do-reino no Estado do Pará**. Brasília, DF: Embrapa Amazônia Oriental, 2014, 1ª ed. 52 p.

LIMA, Julião Soares de Souza *et al.* 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.

LOPES, Otávio D. *et al.* Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p. 548-553, 2011.

MAEHLER, André Roberto *et al.* Grain quality of two soybean cultivars as a function of soil water availability and plant arrangement. **Ciência rural**, v. 33, n 2, p. 13-218, 2003.

MAGEVSKI, Gizele Cristina *et al.* Propagação vegetativa de espécies silvestres do gênero *Piper*, com potencial para uso como porta enxertos em pimenta-do-reino (*Piper nigrum*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.13, (spe), p. 559-563, 2011.

MAIA, Gicelly da Silva *et al.* Coeficiente de cultura de pimenta-do-reino estimado por Sentinel 2A e FAO 56 para cálculo de ETc em região Amazônica. *In*: XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, 2020. Online. **Anais...**, 2020. n. 49, p. 1-7.

MARTINS, J. S. **Custo de implantação de lavoura de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) em diferentes sistemas de produção no norte do Espírito Santo**. [s.1. ] Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

NAIR, K. P. P. **Agronomy and economy of black pepper and cardamom the "king" and "queen" of spices**. 1ª ed. Ed. Elsevier, 2011, 380p.

NELSON, S.; CANNON-EGGER, K. T. Black pepper (*Piper nigrum*). *In*: ELEVITCH, C. R. (Ed.) **Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Black Pepper (*Piper nigrum*)**. Holualoua: Permanent Agriculture Resources (PAR), 2011, 14p.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 01, p. 161-169, 2005.

PARTELLI, F. L. Nutrition of black pepper (*Piper nigrum* L.) a Brazilian experience. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 18, n. 2, p. 73-83, 2009.

PELOSO, Anelisa Figueiredo *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, v. 12, n.3, p.389-399, 2017.

PEREIRA LOURINHO, Marcela *et al.* Conjuntura da pimenta-do-reino no mercado nacional e na Região Norte do Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 1016-1031, 2014.

PIRES, A.; LIMA, C. S. M. Fenologia e exigência térmica de videiras “Niágara Rosada” e “Branca” na região de Laranjeiras do Sul, PR. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 3, p.336-343, 2018.

POSSE, Robson Prucoli. *et al.* Evapotranspiração e coeficiente de cultura do mamoeiro. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 681-690, 2008.

QUARTEZANI, Waylson Zancanella *et al.* 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.

RASANJALI, K. G. A. I.; SILVA, C. S.; PRIYADARSHANI, K. D. N. Influence of super absorbent polymers (Saps) on irrigation interval and growth of black pepper (*Piper Nigrum* L.) in nursery management. **Ousl Journal**, v. 14, n. 1, p. 7-25, 2019.

RAVIDRAN, P. N.; KALLUPURACKAL, J.A. Black Pepper. In: PETER, K. V. (Ed.). **Handbook of herbs and spices**. Indian Institute of Spices Research, cap. 6, p. 86-115, 2012.

REGO, L. S.; FERNANDES, P. O. Atividade funcional da pimenta vermelha (*Capsicum sp-solanacea*) e pimenta-do-reino (*Piper nigrum-piperaceae*). **Revista da FAESF**, v. 3, n. 3, 2019.

RIBEIRO, Luane Laíse Oliveira *et al.* Produção e produtividade da pimenta-do-reino no Município de Capitão Poço, Pará, Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 36, n. 2, p. 1-7, 2019.

RODRIGUES, W.; ATAÍDE, I. T. **Sistema Agroflorestal: “Agricultura em andares”**. Belém: UFPA, NUMA, POEMA, 2001. 31p.

ROUSSEAU, Céline *et al.* High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods**, v. 9, n. 17, p. 1-13, 2013.

SABU, S. S.; KURUVILA, A. Instabilidade dos preços da pimenta-do-reino: uma análise comparativa dos períodos pré-liberalização e pós-liberalização. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 54, n. 1, p. 41, 2016.

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, Luiz Augusto Lopez *et al.* Produção de mudas de pimenteira-do-reino em substrato comercial fertilizado com adubo de liberação lenta. **Revista Ceres**, v. 59, n. 4, p. 512-517, 2012.

SILVA, A. C. A.; LIMA, M. S. A. **Cultivo da pimenta-do-reino no município de Nova Esperança de Piriá-PA: Um levantamento elaborado pelas turmas da educação de jovens e adultos**. [s.l. ] Universidade Federal Rural da Amazônia, 2016.

SILVA, Carlos Davi Santos e *et al.* Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v.23, n. 4, p.7-13, 2010.

SILVA JUNIOR, J. F. **Evapotranspiração de referência como base para o manejo sustentável da irrigação no Noroeste Paulista**. [s.l. ] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2017.

SILVA, Thieres George Freire da *et al.* Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

SILVA, V. de. P. R. da.; TAVARES, A. L.; SOUSA, I. F. de. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo simples e dual do coentro. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 255-259, 2013.

SIVARAMAN, K. *et al.* Agronomy of black pepper (*Piper nigrum* L.) – a review. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v.8, n.1, p. 1-18, 1999.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III. [S.I: s.n.], 2012.

TELES, G. C. **Avaliação fisiológica e crescimento de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.) com diferentes lâminas de irrigação**. [s.1. ] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2020.

TERRA, V. S. S. **Avaliação e quantificação dos componentes do balanço hídrico em pomar de pessegueiro, cv. Maciel, em plantas irrigadas e não irrigadas**. [s.1.] Universidade Federal de Pelotas, 2010.

VIDAL, F. **Evolução do cultivo de pimenta-do-reino na área de atuação do BNB**. Caderno setorial do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. Ano 5, nº 146, 2020.

## 2 CRESCIMENTO, ANATOMIA, FISIOLOGIA E *STATUS* HÍDRICO DE CULTIVARES DE PIMENTA-DO-REINO

**RESUMO:** O Estado do Pará possui uma grande diversidade de produção agrícola, e entre as culturas de grande importância econômica encontra-se a pimenteira-do-reino. Por ser um produto de exportação, é importante avaliar, na mesma condição hídrica, o crescimento, as trocas gasosas e relações hídricas para fundamentar respostas produtivas da cultura em campo, como a capacidade fotossintética já que a água é responsável pela manutenção da transpiração, essencial para a permeabilidade do gás carbônico no mesófilo foliar. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi caracterizar por área foliar, anatomia, trocas gasosas e *status* hídrico as cultivares Clonada e Uthirankotta na mesma condição hídrica. O experimento foi conduzido na área da Empresa de Produtos Tropicais de Castanhal LTDA (TROPOC) localizada no município de Castanhal – PA. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC). Onde, cada parcela foi constituída por quatro plantas, por cultivar – Clonada e Uthirankotta - em fileira dupla, com espaçamento de 4,0 x 2,20 x 2,20 m entre plantas. As características avaliadas foram: curvas luz (A-RFA), parâmetros das curvas pressão-volume (PV), perda de massa fresca, densidade e índice estomático, diâmetros estomáticos, área foliar específica e total, trocas gasosas, potencial hídrico antemanhã e ao meio-dia, e condutância hidráulica da planta. Em relação às variáveis de fisiologia das plantas, a ‘Clonada’ foi a que melhor se expressou quando comparada à ‘Uthirankotta’. Contudo, as variáveis relacionadas à área e ao *status* hídrico das plantas, a ‘Uthirankotta’ se sobressaiu em relação à ‘Clonada’. Os relatos disponíveis na literatura referentes a mecanismos fisiológicos de resposta à disponibilidade hídrica nesta cultura são ainda bastante restritos; logo, pelo fato de estarem os aspectos fisiológicos e de desenvolvimento da planta intimamente relacionado ao estado hídrico do vegetal, estes resultados nos ajudarão a entender como as cultivares se comportarão diante de restrições hídricas no solo.

**Palavras-chave:** *Piper nigrum*, L., caracterização, potencial hídrico, trocas gasosas.

**ABSTRACT:** The state of Pará is known for its diverse agricultural production, and black pepper is one of its most economically important crops. As a valuable export product, it is crucial to evaluate the growth, gas exchange, and water relations of this crop in the same water condition to determine morpho-physiological parameters, especially the photosynthetic capacity, which is influenced by water availability that affects carbon dioxide uptake through

foliar mesophyll. Thus, this study aimed to compare leaf area, anatomy, gas exchange, and water status of 'Cloned' and 'Uthirankotta' under the same water condition. The experiment was conducted at the Tropical Products Company of Castanhal Ltda (TROPOC) area, located in the municipality of Castanhal, PA. The experiment was set up in a randomized complete blocks design (RCBD), in a manner that each plot comprised four plants of 'Cloned' and 'Uthirankotta' growing in a double row with a spacing of 2.2 x 2.2 m between plants. The evaluated characteristics included light curves (A-PAR), pressure-volume curves parameters (PV), leaf fresh weight loss, density, stomatal index, stomatal diameters, both specific and total leaf area, gas exchange, water potential at predawn and midday, and specific hydraulic conductance. Regarding the variables related to plant physiology, 'Cloned' showed a better performance than 'Uthirankotta'. However, concerning leaf area and water status, 'Uthirankotta' outperformed the 'Cloned'. Given that the information on the physiological mechanisms of response to water availability in black pepper is quite limited, these results are valuable for understanding how different cultivars behave under water restrictions. The findings will be useful for farmers in selecting the best cultivars for their specific soil and water system management.

**Keywords:** *Piper nigrum*, L., characterization, water potential, gas exchange.

## 2.1 Introdução

O Estado do Pará possui uma grande diversidade de produção agrícola, e entre as culturas de grande importância econômica encontra-se a pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*, L.), na qual foi introduzida na década de 1930 pelos imigrantes japoneses, tornando o país, no ano de 1982, o maior produtor e exportador do mundo (DUARTE, 2004).

Em 2020 a produção brasileira de pimenta-do-reino foi de 114.749 toneladas, onde o Pará apresentou 36.156 toneladas, cerca de 32% da produção brasileira, sendo o 2º maior produtor nacional, com rendimento médio de produção de 2.209 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE/PAM, 2021), apresentando um rendimento muito baixo quando comparado a Espírito Santo (3.953 kg ha<sup>-1</sup>), o maior produtor nacional. Possivelmente, essa diferença de produtividade se dá em decorrência do distanciamento de pesquisas oficiais à realidade dos agricultores, que são o baixo grau de adoção de tecnologias, falta de informações técnicas da cultura e baixo índice de assistência técnica.

Isso reforça a importância em estudar e entender o desempenho dessa cultura nas condições edafoclimáticas no Estado. Área foliar, trocas gasosas, anatomia e relações hídricas

são características que interferem diretamente na produção e produtividade de qualquer espécie vegetal, e para a pimenteira-do-reino são desconhecidas.

Vale ressaltar que plantas com maior área foliar têm maior superfície de interceptação de luz que resulta em maior taxa fotossintética (MAEHLER *et al.* 2003; GOMES, 2016), no entanto também pode ocorrer maior transpiração foliar (VILLA NOVA *et al.* 2002). Esse fato, entre outros, mostra que a medição da área foliar é importante para ajudar na avaliação do estado fisiológico e no manejo das plantas (PARTELLI; VIEIRA; VIANA, 2007), pois segundo Anjum *et al.* (2011), Gomes (2016) e Teles (2020), a redução da área foliar em plantas sob estresse pode se traduzir em uma estratégia de sobrevivência, com o intuito de diminuir a área disponível a transpiração, essas ações defensivas favorecem uma conservação de água no solo por um período mais prolongado de tempo (TAIZ *et al.* 2017).

Essa resposta fisiológica é relevante, pois promove uma diminuição na interface planta/atmosfera com a redução da transpiração, com consequente queda na assimilação fotossintética (aspecto negativo para a produção) (JACINTO JUNIOR *et al.* 2019).

De acordo com Marengo e Lopes (2005), Costa e Marengo (2007), Guarda e Campos (2014) e Bianchi, Germino e Silva (2016), a intensidade luminosa, a temperatura, a concentração de CO<sub>2</sub> e minerais na folha e a umidade do solo são fatores que afetam a atividade fotossintética dos vegetais, pois o processo de abertura e fechamento dos estômatos está relacionado principalmente com a intensidade de luz e o estado de hidratação da folha. Dessa forma, o funcionamento dos estômatos e a área foliar influenciam a produtividade do vegetal (COSTA; MARENCO, 2007), o primeiro por controlar a absorção de CO<sub>2</sub> e o segundo por determinar a interceptação de luz. Por este motivo, para Machado *et al.* (2010) a condutância estomática é proporcional à transpiração, à fotossíntese e ao potencial da água na folha.

Esses parâmetros são importantes, pois permitem identificar se a fotossíntese está sendo limitada por meio de restrições estomáticas ou por alterações quanto à morfologia dos estômatos e do mesófilo que podem atingir, inclusive, os cloroplastos. Essas alterações denotam que há pouca disponibilidade de gás carbônico para o processo fotossintético, havendo limitação bioquímica da fotossíntese (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009).

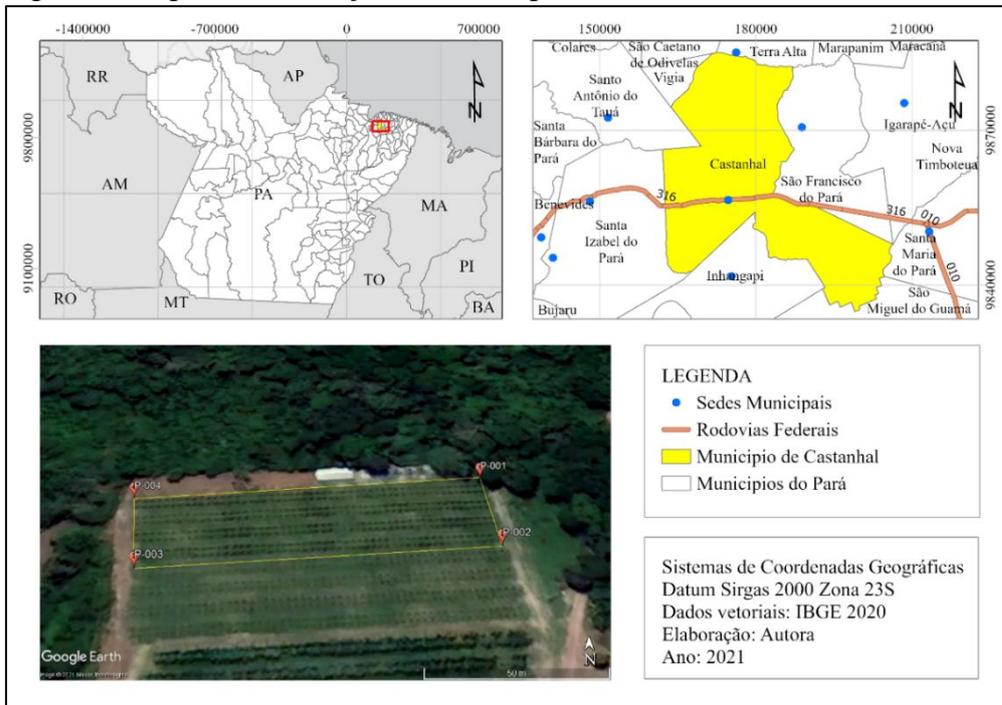
Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi caracterizar por área foliar, anatomia, trocas gasosas e *status* hídrico as cultivares Clonada e Uthirankotta sob mesma condição hídrica.

## 2.2 Material e Métodos

### 2.2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na área da Empresa de Produtos Tropicais de Castanhal LTDA (TROPOC), associada ao Grupo de Estudos em Engenharia de Água e Solo na Amazônia (GEEASA) da Universidade Federal Rural da Amazônia, UFRA, localizada no município de Castanhal – PA, que está situada 40 m de altitude e com coordenadas geográficas de 01° 17' 50" Sul e 47° 55' 20" Oeste (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da área experimental



Fonte: IBGE (2020)

Elaboração: Santos (2021)

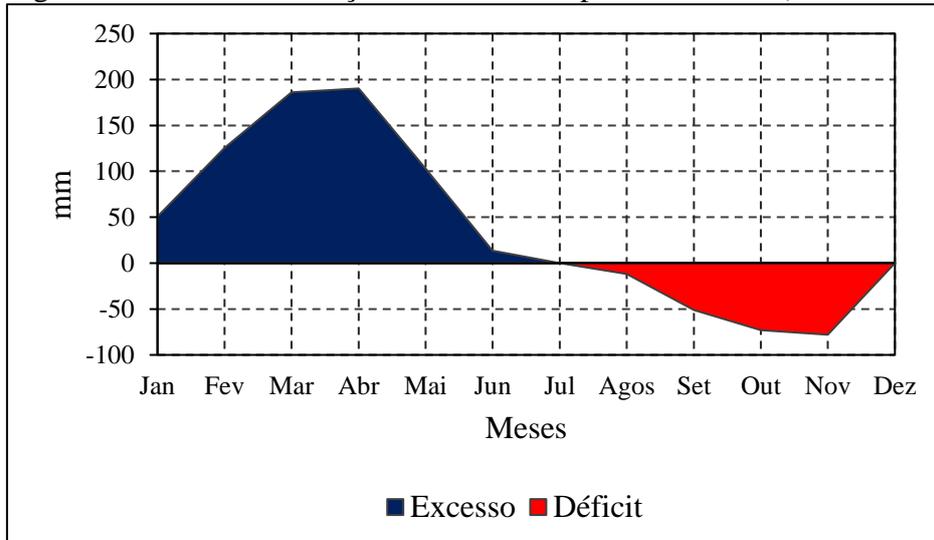
A classificação do solo da região consiste em um Argissolo Amarelo distrófico de textura arenosa/média, havendo também a predominância de vegetação secundária (capoeira), resultante da ação antrópica (CARDOSO JÚNIOR *et al.* 2007).

O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Af, com precipitação média anual de 2.432 mm e temperatura média anual de 26,5 °C. Porém, Marengo *et al.* (2011) relatam que a sazonalidade da precipitação, em determinada região, é um dos fatores que mais impactam a agricultura, no qual seu desempenho final depende inteiramente da distribuição do total de chuva. De forma particular o regime pluviométrico na Amazônia concentra seu maior volume durante os meses de dezembro a maio e apresenta os menores volumes durante o período seco, correspondente aos meses de junho a novembro (SOUZA *et al.* 2017). Desse modo, por

demonstrar características semelhantes do supracitado, os tratamentos na área experimental, sempre foram diferenciados a partir do mês em que a precipitação diminui (junho) e até o mês em que se observa as voltas das mesmas (novembro).

O resultado do balanço hídrico do município de Castanhal durante o período de 2003 a 2022, pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), usando dados climatológicos da estação automática A202 do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Figura 2 e 3).

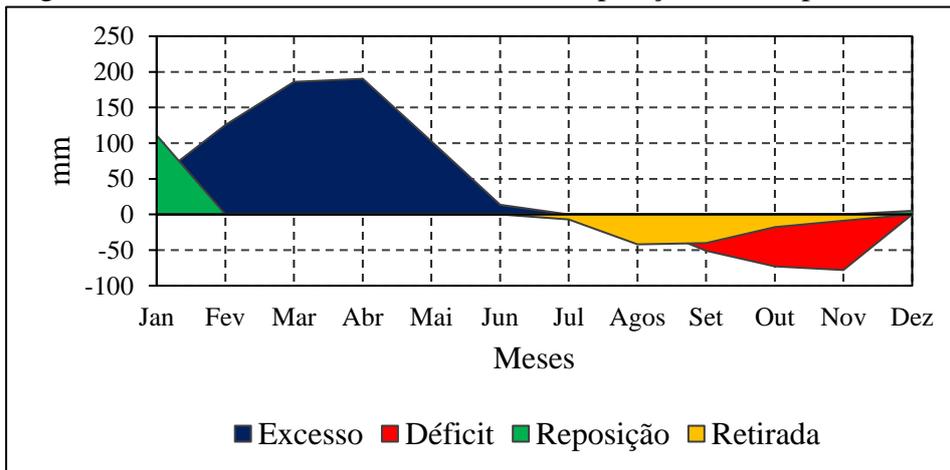
Figura 2. Extrato do balanço hídrico mensal para Castanhal (2003 – 2022)



Fonte: INMET (2022)

Elaboração: Santos (2022)

Figura 3. Excedente, deficiência, retirada e reposição hídrica para Castanhal (2003 – 2022)



Fonte: INMET (2022)

Elaborador (a): Santos (2022)

No balanço hídrico climatológico para Castanhal verificou-se que o período de maior excedente hídrico, estende-se entre fevereiro a maio, com máxima nos meses de março (186 mm) e abril (190 mm).

Percebeu-se, ainda, que os meses de dezembro e janeiro são os meses de frequente reposição. Pois, nota-se no começo da estação chuvosa, que as chuvas iniciais são empregadas na reposição da água do solo e na evapotranspiração real, para que o solo seja plenamente abastecido, para então assim, aparecer o excedente hídrico. Tal período foi observado nos meses de dezembro (de forma suave) e janeiro (mais intenso), sendo considerado o período mais adequado para o plantio da pimenteira-do-reino. No início do período de estiagem, constata-se a retirada de água do solo, época em que começa a ocorrência de deficiência hídrica na região, estendendo-se de julho a novembro com máxima deficiência hídrica entre os meses de agosto e setembro.

Essa retirada de água do solo, devido às condições de déficit hídrico resultante da má distribuição das chuvas, afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, necessitando de estratégias como a irrigação para suprir a demanda de água da planta (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2018).

### 2.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial em parcelas subdivididas 5 x 2, sendo utilizado 10 tratamentos e três blocos. Os tratamentos foram constituídos por cinco tensões de água no solo (15, 25, 35, 45 e 55 kPa) como indicativo do momento de irrigar – tensão crítica, e duas cultivares de pimenteira-do-reino (Clonada e Uthirankotta) (Figura 4).

Figura 4. Delineamento experimental



Fonte: Google Earth

Elaboração: Empresa Amazônia Irrigação (2021)

### 2.2.3 Produção e transplântio das mudas

As mudas de pimenteira-do-reino foram produzidas pelo viveiro Promudas, conforme metodologia de Lemos e Poltronieri (2014). Considerado pela Embrapa Amazônia Oriental, o viveiro referência em produção de mudas de pimenteira-do-reino em Castanhal e região.

Em março de 2020, dois meses após a preparação das mudas, apresentando quatro folhas, foram transplantadas 240 plantas (120 de cada cultivar). Nesta etapa, todas as estacas foram identificadas com placas correspondentes às suas respectivas cultivares e tensão de água no solo (Figura 5).

Figura 5. Identificação das estacas com seus respectivos tratamentos



Fonte: Santos (2020)

### 2.2.4 Instalação e condução do experimento

O solo da área experimental foi preparado ao final do ano 2019, utilizando uma grade aradora e niveladora, onde foram levantados leirões de 4 m de largura com 71 m de comprimento. Onde, cada parcela foi constituída por oito plantas, em fileira dupla, com espaçamento de 4,0 x 2,20 x 2,20 m entre plantas, obtendo um total de 64 plantas por leirão (Figura 6).

Figura 6. Grade aradora e niveladora (A), leirões (B) e espaçamento da cultura (C)



Fonte: Santos (2020)

Foi realizada coleta de amostras de solo para caracterização química e física do solo. As amostras foram realizadas em ziguezague usando o trato holandês. Coletou-se 20 amostras simples, na profundidade de 0-20 e 20-40 cm, para obtenção de uma amostra composta em toda área experimental. De posse da análise química, foi efetuada calagem ( $3,7 \text{ t ha}^{-1}$ ) em área total e as adubações orgânica e mineral de plantio (início de 2020) de acordo com as recomendações de Oliveira e Nakayama (2007) (Figura 7) (Tabela 1). Com os dados granulométricos, o solo da área experimental foi classificado como franco arenoso (Tabela 1).

Figura 7. Calagem (A) e adubação mineral do 1º plantio (B)



Fonte: Santos (2020)

A calagem foi calculada pelo método da saturação por bases (V%). O cálculo foi realizado pela equação abaixo (Equação 1):

$$NC = \frac{(V2-V1).CTC}{PRNT} \quad (1)$$

Em que:

NC – Necessidade de calcário ( $\text{t ha}^{-1}$ );

V2 – Saturação por bases desejada (60%);

V1 – Saturação por base atual (análise de solo) (%);

CTC – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0 –  $CTC = SB + (H + Al)$  ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ );

SB – Soma de bases trocáveis –  $SB = (K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+)$  ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ );

PRNT – Poder relativo de neutralização total do calcário a ser aplicado (90%)

Tabela 1. Caracterização química e física do solo

Análise química														
Prof.	Macronutrientes						Reação	Acidez			Outros			
cm	N	P	K	Na	Ca	Ca+Mg	Mg	pH	Al	H+Al	CTC	M.O	Saturação	
	%	mg dm <sup>-3</sup>			cmolc dm <sup>-3</sup>			H <sub>2</sub> O	cmolc dm <sup>-3</sup>		cmolc dm <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> O	Base V%	Al m%
0-20	0,06	9	12	3	0,38	0,68	0,30	4,16	1,24	6,06	6,79	7,44	10,69	63,09
20-40	0,03	12	6	2	0,27	0,47	0,20	4,39	0,97	5,12	5,62	2,07	8,76	66,34
Análise física														
Granulometria					Prof.	Densidade			Porosidade					
Areia		Silte		Argila	cm	Solo		Partícula	Macro	Micro	Total			
grossa	Fina	g kg <sup>-1</sup>				g cm <sup>-3</sup>			cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>					
					0-20	1,54			0,078	0,286	0,364			
0-20	291	442		127	140	20-40	1,69	2,6	0,062	0,246	0,308			
20-40	166	539		135	160	40-60	1,71		0,072	0,249	0,321			

Fonte: Laboratório de análise de solo da Embrapa Amazônia Oriental

Ano: 2019

Usando as recomendações dos autores supracitados, para a adubação de plantio, foi aplicado 5 litros de cama de aviário (Tabela 2) e a dose total de fósforo (Superfosfato triplo – 41% de  $P_2O_5$  e 10% de Ca) ( $100 \text{ g planta}^{-1}$ ). Foi misturado bem com a terra preta da camada superficial e preenchido na cova. Após isso, esperou-se 30 dias para realizar o plantio das mudas. Juntamente com essa adubação, 30 g de FTE BR 12 foi aplicado por cova como fonte de micronutrientes (S – 3,9%, B – 1,8%, Cu – 0,85%, Mn – 2% e Zn – 9%).

Tabela 2. Caracterização química do material orgânico

Material	Análise química											
	Macronutrientes						Micronutrientes				Reação	
	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	pH	
g $\text{kg}^{-1}$						mg $\text{kg}^{-1}$				H <sub>2</sub> O	KCl	
Cama de aviário	37,21	6,21	0,64	0,25	33,1	8,6	967,2	523,8	1073,4	544,7	7,57	7,37

Fonte: Laboratório de análise de solo da Embrapa Amazônia Oriental  
Ano: 2019

A adubação de formação para o 1º ano de plantio realizou-se da seguinte maneira:

- Foram divididas em três parcelas iguais as doses de nitrogênio (Uréia – 45% de N) e potássio (Cloreto de potássio – 60% de  $K_2O$ ) e aplicadas, respectivamente ao, 30, 60 e 90 dias após o plantio das mudas. Os fertilizantes foram aplicados em meio círculo e 25 cm em frente do tronco da planta, cobrindo-se a mistura dos adubos com terra.

A partir do 2º ano de plantio, as adubações orgânica e mineral foram aplicadas de acordo com as recomendações de Oliveira *et al.* (2020). A análise química, para cada ano de plantio, foi realizada pela Embrapa Amazônia Oriental. A tabela 3 e 4, correspondem a análise de solo do 2º e 3º ano de plantio.

Tabela 3. Caracterização química para adubação do 2º ano de plantio

Prof.	Análise química											
	Macronutrientes						Reação	Acidez		Outros		
	P	K	Na	Ca	Mg	Ca+Mg	pH	Al	H+Al	CTC	Saturação	
cm	mg $\text{dm}^{-3}$			- cmolc $\text{dm}^{-3}$ --			H <sub>2</sub> O	cmolc $\text{dm}^{-3}$		cmolc $\text{dm}^{-3}$	Base V%	Al m%
0-20	12	28	6	1,66	0,86	2,52	5,16	0,16	3,53	6,14	42,59	5,76
20-40	12	32	7	1,54	0,87	2,41	5,78	0,05	3,19	5,71	44,17	1,94

Fonte: Laboratório de análise de solo da Embrapa Amazônia Oriental  
Ano: 2020

Tabela 4. Caracterização química para adubação do 3º ano de plantio

Prof.	Análise química											
	Macronutrientes						Reação	Acidez		Outros		
	P	K	Na	Ca	Mg	Ca+Mg	pH	Al	H+Al	CTC	Saturação	
cm	mg dm <sup>-3</sup>			- cmolc dm <sup>-3</sup> --			H <sub>2</sub> O	cmolc dm <sup>-3</sup>		cmolc dm <sup>-3</sup>	Base V%	Al m%
0-20	34	35	7	2,68	0,73	3,41	5,72	0,00	2,59	6,12	57,72	0,00

Fonte: Laboratório de análise de solo da Embrapa Amazônia Oriental  
Ano: 2021

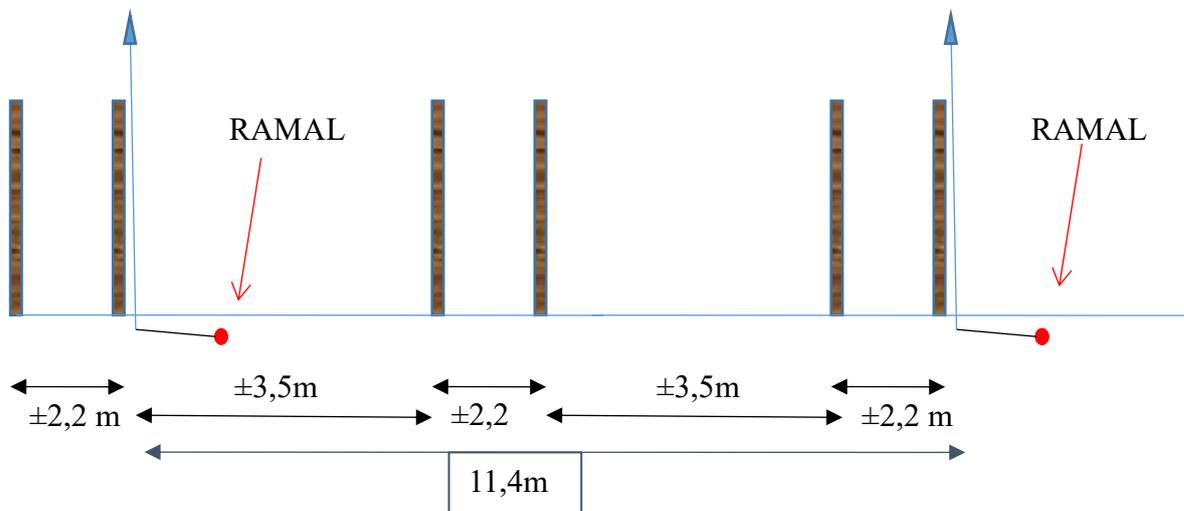
A adubação de formação para o 2º ano de plantio realizou-se com a mesma procedência do 1º ano. Contudo, acrescentou-se aplicação de sulfato de magnésio (9% de MgO e 12% S). Aplicou-se ¼ da recomendação da dose de cloreto de potássio, pois pela análise de solo o nutriente não se encontrava abaixo de 0,7 cmolc dm<sup>-3</sup>, todavia as plantas apresentavam, visualmente, deficiência de magnésio. Foi aplicado, via foliar, durante um mês semanalmente o complex 151 (N – 5%, P – 11%, K – 16%, Ca – 2%, Mg – 2%, S – 5%, B – 1,5%, Cu – 0,5, Fe – 0,1%, Mn – 0,5%, Mo – 0,2% e Zn – 4%), uma solução de 20 g para cada 20 litros de água, como forma de complemento nutricional as plantas.

Na adubação de produção, a partir do 3º ano de plantio, anualmente, 30 dias depois da aplicação da segunda dose dos adubos, foi efetuada uma amostragem foliar, para análise química de macro e micronutrientes, com correção realizada imediatamente, quando necessário. A amostragem de solo foi efetuada, anualmente, logo após o período de colheita.

### 2.2.5 Instalação do sistema e manejo da irrigação

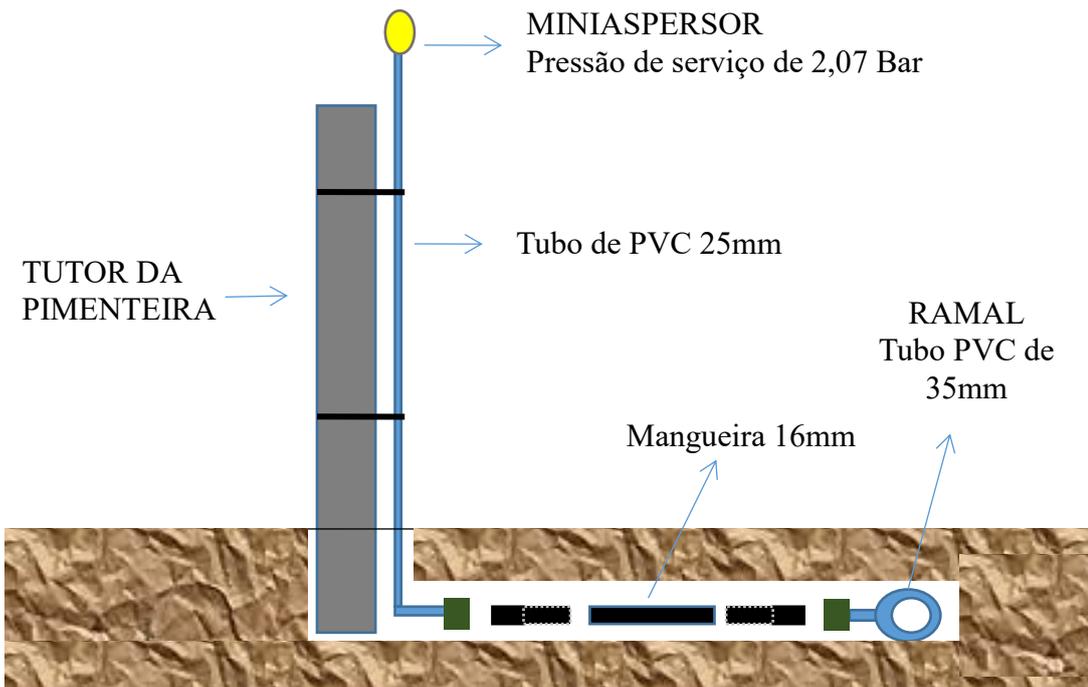
O sistema de irrigação utilizado para usar na época da floração foi a mini-aspersão. Foi formado por um conjunto motobomba possuindo uma bomba de 14 cv, acionada pelo controlador e um filtro de disco diretamente do poço artesiano, com vazão de 320 a 380 L h<sup>-1</sup> por emissor, e espaçados de 11,4 m entre os ramais e 10 m entre plantas, possuindo um mini aspersor rain Bird LFX 600 de bocal amarelo e defletor dourado (Figura 8 e 9). A automação consistiu de um programador de 24 volts tempo/setor e uma caixa padrão com 5 solenóides. Foram usados 1.020 m de fio de comando de polietileno linear 8 x 4 mm e conexões necessárias.

Figura 8. Disposição dos ramais e posição frontal dos mini aspersores



Elaboração: Empresa Amazônia Irrigação (2021)

Figura 9. Disposição dos ramais e posição frontal dos mini aspersores



Elaboração: Empresa Amazônia Irrigação (2021)

Devido futuras mudanças no deslocamento da disposição dos mini aspersores, para esse sistema ainda não foi realizada a avaliação hidráulica que determina o desempenho do mesmo, através do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). Contudo, a Empresa Amazônia Irrigação – empresa responsável pela instalação do sistema – enviou para a empresa fabricante do mini aspersor os dados de espaçamento e pressão de serviço, para obter o desempenho do mesmo.

Com base nessas informações, acima ilustradas, o desempenho esperado pelo mini-aspersão, de acordo com a empresa fabricante (Rain Bird Agricultural Products) foi de:

- Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD): 78,95 %
- Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC): 86,84 %
- Vazão do emissor ( $Q_e$ ):  $372,6 \text{ l h}^{-1}$

O sistema utilizado para o manejo da irrigação foi o gotejamento, com vazão de  $3,55 \text{ L h}^{-1}$ , e emissores espaçados 30 cm entre si. A mangueira gotejadora foi disposta superficialmente com tubos autocompensantes de emissor plano drip-tech PC/AS para a irrigação, com DN 16 mm, com pressão de serviço de 10 m.c.a no final da mangueira. As mangueiras gotejadoras foram posicionadas dentro da parcela em linha dupla, ou seja, foram colocadas duas mangueiras para atender o espaçamento duplo das plantas (7 gotejadores por planta) (Figura 10).

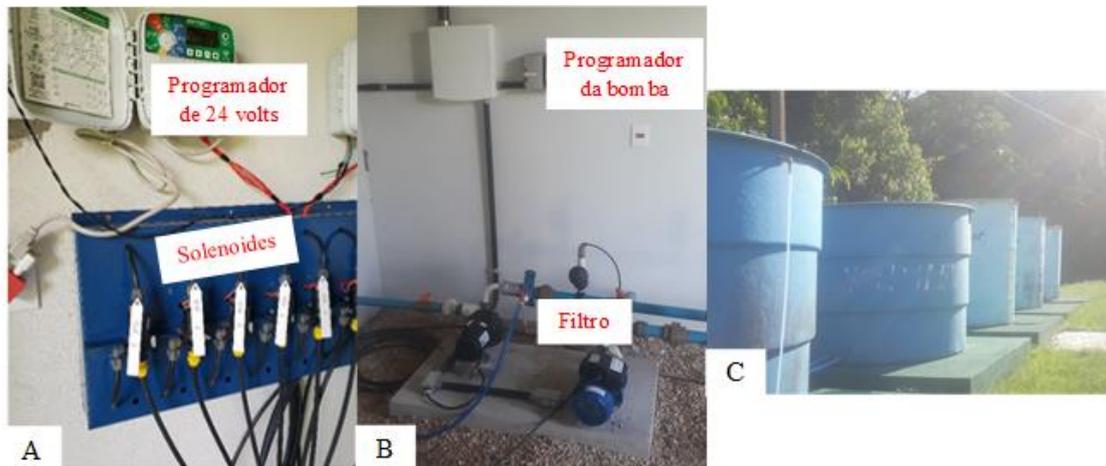
Figura 10. Mensuração da pressão de serviço no final ao final da linha gotejadora (A) e linhas gotejadoras duplas em cada parcela (B)



Fonte: Santos (2021)

A automação consistiu de um programador de 24 volts tempo/setor e uma caixa padrão com cinco solenóides. Foram usados 1.250 m de comando de polietileno linear 8 x 4 mm e conexões necessárias. Foi utilizada para o sistema de irrigação cinco caixas d'água, de 10000 L cada, uma bomba elétrica de 1 cv (vazão de  $8,44 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ), acionada pelo controlador e um filtro de disco (Figura 11).

Figura 11. Automação: Programador e solenoides (A), bomba elétrica (B) e caixa d'águas (C)



Fonte: Santos (2021)

Após a instalação do sistema de irrigação, foi realizada avaliação hidráulica para a determinação do desempenho do mesmo, através do Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). A análise de uniformidade foi realizada em 3 parcelas, colocados recipientes coletores de 250 ml em baixo de oito emissores, fazendo a coleta de água por um período de 1 min., sendo três repetições. De posse das médias das lâminas coletadas foi calculado o CUD (Figura 12). O sistema apresentou classificação excelente (97%) segundo classificação de Vieira *et al.* (2020) (Equação 2).

Figura 12. Avaliação hidráulica do sistema de irrigação



Fonte: Santos (2021)

$$CUD = \frac{q_{25}}{q_m} \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

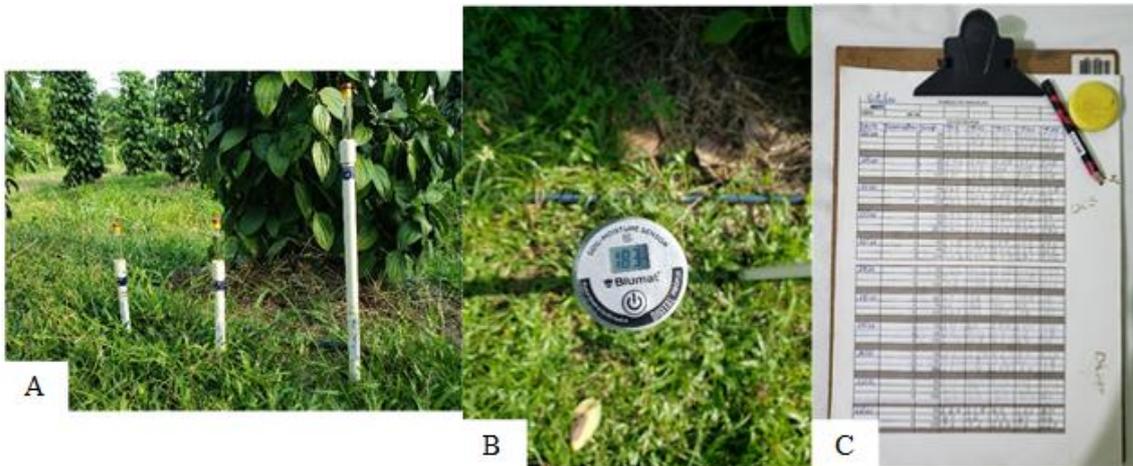
CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição (%)

$q_{25}$  – Média de 25 % das vazões com menores valores

$q_m$  – Média de todas as vazões em  $L h^{-1}$ .

Para determinação da tensão crítica, foi instalado uma bateria de três tensiômetros de punção, dois instalados a 20 cm de profundidade, indicando o momento de irrigar, e um a 30 cm de profundidade para verificar se estava ocorrendo perda de água. Os tensiômetros ficaram posicionados no alinhamento da cultura, a 15 cm dos gotejadores. As leituras nos tensiômetros foram realizadas uma vez ao dia, por volta das 08:30 h, utilizando-se um tensímetro digital de punção, o sistema foi acionado após a realização das leituras matutinas (Figura 13).

Figura 13. Tensiômetros (A), tensímetro (B) e planilha de anotações (C) utilizados para o monitoramento da frequência de irrigação



Fonte: Santos (2021)

As irrigações foram realizadas quando a média dos tensiômetros (na mesma profundidade) alcançavam a tensão crítica de cada tratamento, e sempre buscando elevar o solo a sua umidade na capacidade de campo, correspondendo a tensão de 10 kPa ( $0,312 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ). Para tensiômetros de punção, o valor de  $\Psi_m$  foi determinado pela equação 3 (FRANCO, 2015).

$$\psi_m = -L + 0,098 * c \quad (3)$$

Em que:

$\Psi_m$  – Potencial mátrico de água no solo (kPa)

L – Leitura do visor do aparelho (kPa)

0,098 – Fator de ajuste de unidades

c – Comprimento do tensiômetro (distância do meio da cápsula porosa até o centro do tubo de acrílico na parte superior do instrumento) (cm)

A lâmina líquida foi calculada a partir da equação 4.

$$LL = (\theta_c - \theta_{atual}) * Z \quad (4)$$

Em que:

LL – Lâmina líquida de irrigação (mm)

$\theta_c$  - Umidade do solo na capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

$\theta_{atual}$  – Umidade do solo no momento de irrigar ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )

Z – Profundidade efetiva do sistema radicular (mm)

A partir de então, foi determinada a lâmina bruta, conforme a equação 5.

$$LB = \frac{LL}{(1-k)*CUD} \quad (5)$$

Em que:

LB – Lâmina bruta de irrigação (mm)

CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição (mm)

k – Constante que considera a eficiência de aplicação de água (Equação 6)

$$k = 1 - Ea \quad (6)$$

Em que:

Ea – Eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação por gotejamento (0,95)

E por fim, foi realizado o cálculo para determinar o tempo de funcionamento do sistema de irrigação (Equação 7).

$$Ti = \frac{LB*A}{e*qa} \quad (7)$$

Em que:

Ti – Tempo de funcionamento do sistema (h)

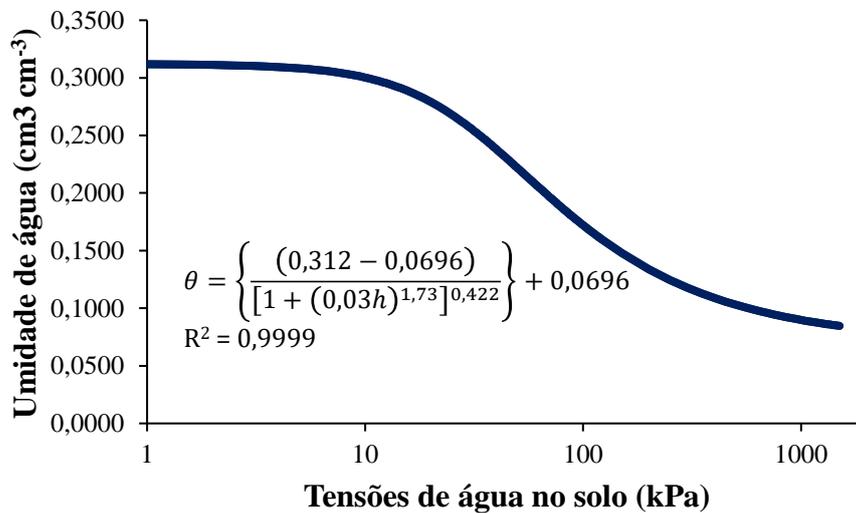
A – Área de ocupação por parcela ( $\text{m}^2$ )

e – Número de emissores por parcela (un)

qa – Vazão média dos emissores (L h<sup>-1</sup>)

O manejo da irrigação foi baseado na curva característica da água no solo obtida na camada de 0 – 20 cm de profundidade. Os resultados de retenção de água no solo foram obtidos por meio da câmara de pressão de Richards nos potenciais de 0, 6, 10, 30, 100, 500 e 1500 kPa (RICHARDS, 1941). Os dados obtidos foram ajustados através do modelo proposto por Van Genuchten (1980), com o auxílio do software R, obtiveram-se os parâmetros da equação de ajuste da curva característica de retenção de água no solo (Figura 14).

Figura 14. Curva de retenção de água no solo para o manejo da irrigação



As lâminas de água aplicadas na diferenciação dos tratamentos e o tempo de funcionamento do sistema de irrigação foram calculados segundo Franco (2015), considerando-se a profundidade efetiva do sistema radicular, igual a 20 cm, pois é nessa profundidade que se concentra cerca de 80 % das raízes da cultura (MAROUELLI, 2008).

### 2.2.6 Tratos culturais e manejo fitossanitário

Os principais tratos culturais realizados na área experimental foram: amarrão, poda, roçagem, coroamento, cobertura viva e morta.

O amarrão foi realizado para auxiliar na condução das pimenteiras nos tutores, para facilitar a fixação das raízes de sustentação da planta jovem ao tutor, evitando assim seu tombamento. A poda foi realizada aos seis meses das mudas em campo (poda de 1 metro de altura) e após a realização foi aplicado oxiclreto de cobre (40 g para 20 litros de água), pois o

ferimento ocasionado durante a poda serve como porta de entrada de fungos causando doenças nas plantas.

As roçagens nas linhas de plantio foram realizadas com roçadeiras e nas entrelinhas com roçadeiras rotativas acopladas em tratores. O coroamento foi realizado manualmente com o auxílio da enxada, tomando cuidado para não provocar corte nas raízes a fim de evitar a penetração de agentes patogênicos. Como cobertura viva utilizou-se o capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) nas entrelinhas de plantio, após a realização de roçagens periódicas de modo a fornecer constantemente biomassa para a cobertura morta do solo.

Durante 2 anos de experimento, houve incidência de mosca branca e lagarta. Para controle de pragas foi aplicado periodicamente o óleo de nim. Aplicou-se 20 ml de óleo de nim para cada 1 litro de água. A lagarta foi controlada pelo produto, contudo, na mosca branca, precisou ser aplicado o inseticida decis, 2 mL para 1 litro de água para controlá-la.

### 2.2.7 Características avaliadas

- Curvas de luz (ou curva A-RFA)

Curvas de resposta da fotossíntese líquida (A) à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) consistiram na medição da taxa fotossintética líquida potencial, através do analisador de gases por infravermelho (IRGA) - LCpro-SD, ADC BioScientific Ltd, Reino Unido. As análises foram realizadas na terceira a quarta folha totalmente expandida do décimo segundo ramo a partir da base, em três folhas por cultivar e por bloco. As folhas, foram submetidas a 12 pontos de intensidade luminosa, as quais foram até 1670  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , com redução gradativa até 0  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (1670, 1478, 1217, 1000, 695, 608, 522, 261, 104, 52, 26 e 0  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), na concentração fixa de 400  $\mu\text{mol mol}^{-1} \text{ar}$  ( $C_a$ ) de  $\text{CO}_2$  no interior da câmara, obtendo assim os dados de fotossíntese necessários para a construção da curva de cada cultivar. Em cada ponto foi utilizado dois minutos por medição, pois este é o tempo que o sistema aguarda em cada ponto para checar a estabilidade antes de registrar as medidas (YIN *et al.* 2009).

O Ajuste das curvas para as duas cultivares foi realizado por meio do modelo da hipérbole não retangular, através de uma planilha desenvolvida em excel por Lobo *et al.* (2013), usando o modelo abaixo (Equação 8):

$$A + R_d = \left\{ \frac{I \cdot \phi + A_{sat} - [(I \cdot \phi + A_{sat})^2 - 4 \cdot \phi \cdot A_{sat} \cdot C]^{0,5}}{2 \cdot C} \right\} \quad (8)$$

Em que:

$A$  – Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$\phi$  – Rendimento quântico aparente (adimensional)

$I$  – Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$A_{\text{sat}}$  – Taxa fotossintética bruta em condições de saturação de luz ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

$C$  – Convexidade da curva (adimensional)

$R_d$  – Taxa de respiração no escuro ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

A partir do ajuste das curvas foram analisados os seguintes parâmetros: Ponto de compensação de luz (PCL), ponto de saturação de luz (PSL), taxa de fotossíntese bruta em luz saturante ( $A_{\text{sat}}$ ) e a taxa máxima de fotossíntese bruta ( $A_{\text{max}}$ ) de acordo com Lobo *et al.* 2013.

- Parâmetros da curva pressão-volume (ou curva *PV*)

A curva *PV* foi determinada na terceira a quarta folha totalmente expandida do décimo segundo ramo a partir da base. Foram coletadas duas folhas por parcela e por bloco, totalizando 6 folhas por cultivar (denominada "folha 1", "folha 2", "folha 3", "folha 4", "folha 5" e "folha 6"), cortando-se o pecíolo a 1 cm da inserção com o ramo. As folhas foram colocadas em plástico ziploc contendo papel toalha umedecido até chegar ao laboratório. Chegando ao laboratório, o pecíolo foi submerso em água por 2 horas.

Após o período de reidratação, a "folha 1", de uma das cultivares, foi removida do frasco e teve o pecíolo cuidadosamente seco, realizou-se um novo corte, 2 cm acima da incisão inicial. Procedeu-se, então, à pesagem, com precisão de 0,001 g, para obtenção da massa túrgida (MT), e em seguida à avaliação do  $Y_a$  desta folha utilizando-se a câmara de pressão de acordo com Scholander *et al.* (1965). A folha, ainda introduzida no disco de borracha foi retirada da câmara e deixada sobre a bancada para desidratação natural, sob iluminação ambiente do laboratório. O mesmo procedimento foi aplicado à "folha 1" da outra cultivar. Em seguida, a mesma sequência foi aplicada nas demais folhas, até que os valores do potencial da água estivessem próximos de -2,5 MPa. Excetuando-se a primeira pesagem de cada folha por cultivar, as demais foram consideradas como massa fresca (MF) (Figura 15). Ao final, as folhas foram secas em estufa a 65 °C, registrando-se a massa seca (MS).

Figura 15. Coleta dos parâmetros de massa túrgida, massa fresca e potencial hídrico para obtenção das curvas de pressão-volume das cultivares de pimenta-do-reino



Fonte: Santos (2022)

Os valores do teor relativo de água no ponto de turgescência máxima e no ponto da plasmólise incipiente ( $TRA_{pt}$  e  $TRA_{ppt}$ ) (BARRS; WHEATERLEY, 1962), foram calculados através da equação 8:

$$TRA = \frac{(MF-MS)}{(MT-MS)} \cdot 100 \quad (8)$$

Em que:

TRA – Teor relativo de água (%)

MF – Massa fresca (g)

MS – Massa seca (g)

MT – Massa túrgida (g)

As curvas pressão-volume foram obtidas relacionando-se o inverso do potencial da água em função do TRA, o que possibilitou a avaliação dos seguintes parâmetros:

- i)  $Y_s^{100}$ , estimado pelo prolongamento da reta ajustada aos pontos da porção linear da curva pressão-volume e interceptando a ordenada;
- ii)  $Y_s^0$ , representado pelo ponto inicial desta porção linear, e
- iii)  $\epsilon_v$ , módulo volumétrico de elasticidade (TYREE; JARVIS, 1982), estimado através da equação 9:

$$\epsilon_v = \left( \frac{\Delta Y}{\Delta TRA} \right) \cdot TRA \quad (9)$$

Em que:

$\epsilon_v$  – Módulo volumétrico de elasticidade (MPa)

$\Delta Y$  – variação de pressão de turgor (MPa)

$\Delta \text{TRA}$  – variação de teor relativo de água (%)

TRA – teor relativo de água (%)

A comparação das linhas de regressão das cultivares e dos parâmetros obtidos acima, foram realizadas pela metodologia de Ding *et al.* (2014).

- Perda de massa fresca (PMF)

Para a determinação da perda de água foi retirada uma folha da região mediana totalmente expandida do décimo segundo ramo, a partir da base, de plantas com 1 ano e 8 meses de idade, foi destacada e imediatamente teve sua massa determinada. Em seguida o folíolo foi mantido com o lado abaxial voltado para cima nas mesmas condições de crescimento das plantas. Durante um período de 2 h foi determinada a massa da folha em intervalos de 5 min. Posteriormente, a perda de água foi calculada como a percentagem de perda da massa fresca, relativa à massa fresca inicial (ARAÚJO *et al.* 2011).

- Análises morfo-anatômicas

As análises foram realizadas na região mediana da quarta folha totalmente expandida do décimo segundo ramo, a partir da base, de plantas com 2 anos e 10 meses de idade. Essas amostras foram imediatamente fixadas em FAA<sub>70</sub> (ácido formaldeído-acético-etanol 70%) na proporção de 1:1:18 (JOHANSEN, 1940) por 24 horas e posteriormente armazenado em álcool a 70%. Este material foi incluído no metacrilato (Historesina-Leica), de acordo com as recomendações do fabricante e transversalmente seccionado (5  $\mu\text{m}$  de espessura) em um micrótomo rotativo de alimentação automática (modelo RM2155, Leica Microsystems Inc., Heidelberg, Alemanha) e corados com azul de toluidina (O'BRIEN; FEDER; MCCULLY 1964).

Cada amostra foi representada pela média de quatro repetições, sendo cada amostra composta de medições em três pontos distintos do corte. O material foi fotografado sob um microscópio óptico (modelo Motic) acoplado a uma câmera fotográfica digital e a um tablet com o programa MotiConnect de captura de imagem.

Para determinação da espessura da folha (EF), densidade estomática (DE), índice estomático (IE), diâmetro polar dos estômatos (DPE), diâmetro equatorial dos estômatos (DEE)

e funcionalidade estomática (FUN), os fragmentos da região mediana das folhas foram imergidos em hidróxido de sódio a 5% por 48h e em seguida em água sanitária comercial. Após 24h foram lavadas com água e transferidas para o ácido láctico em banho maria a 95°C até ficarem translúcidas. As imagens foram registradas com auxílio de uma câmera digital (Motic) acoplada ao microscópio, modelo Motic. As imagens foram analisadas usando o software ImageJ, em pelo menos 10 campos diferentes de 0,053 mm<sup>2</sup> por folha. A EF, DPE, DEE e FUN (relação DPE/DEE) foram analisadas segundo metodologia de Castro, Pereira e Paiva (2009). A DE e o IE foram calculados pelas seguintes equações 10 e 11, respectivamente (CUTTER, 1986):

$$DE = \frac{NE}{A_f} \quad (10)$$

Em que:

DE – Densidade estomática (Nº de estômatos mm<sup>-2</sup>)

NE – Nº de estômatos (unidades)

A<sub>f</sub> – Área da foto (0,053 mm<sup>2</sup>)

$$IE = \frac{NE}{(CE+NE)} \cdot 100 \quad (11)$$

Em que:

IE – Índice estomático (%)

NE – Nº de estômatos (unidades)

CE – Nº de células epidérmicas (unidades)

- Área foliar específica (AFE) e área foliar total (AFT)

Para a determinação da área foliar específica (AFE) foi usado o método de discos, que consistiu na retirada de discos foliares com um vazador com área de 0,78 cm<sup>2</sup>. Em cada folha fresca, retiraram-se três discos, com nervuras finas, sendo um na posição basal, um na apical e um na parte mediana da folha, obtendo-se 15 discos foliares por cultivar e por bloco. Os discos foram acondicionados em sacos de papel, levados à estufa a 65° C, por 48 horas, e depois pesados separadamente, em balança analítica. A AFE foi determinada segundo Hunt (1980), de acordo com a equação 12:

$$AFE = \frac{(MSF+MSD).AD}{MSD} \quad (12)$$

Em que:

AFE – Área foliar média de uma planta obtida pelo método dos discos ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ );

AD – Área conhecida do disco retirado da folha ( $\text{cm}^2$ );

MSF – Massa seca das folhas (g);

MSD – Massa seca dos discos (g).

A determinação da área foliar total (AFT) foi baseada pelo método da massa de matéria seca das folhas e área foliar específica (AFE), conforme descrito por Rhoads e Bloodworth (1964). Para isso, folhas foram coletadas na porção correspondente a  $\frac{1}{4}$  da altura da planta para cada cultivar e em cada bloco. O  $\frac{1}{4}$  de altura correspondeu aos quatro pontos de referência de localização em relação à posição do sol. As folhas foram acondicionadas em sacos de papel, levados à estufa a  $65^\circ \text{C}$ , por 72 horas, e depois pesados separadamente em balança analítica. A AFT foi estimada de acordo com Reddy *et al.* (1989), com algumas modificações, conforme a equação 13:

$$AFT = MSF . AFE . 4 \quad (13)$$

Em que:

AFT – Área foliar média total de uma planta ( $\text{m}^2$ );

MSF – Massa seca das folhas correspondente a  $\frac{1}{4}$  da altura da planta (kg);

AFE – Área foliar média de uma planta obtida pelo método dos discos ( $\text{m}^2$ );

4 – Constante da equação.

- Parâmetros de trocas gasosas

Os parâmetros de trocas gasosas foram determinados através do analisador de gases por infravermelho (IRGA) - LCpro-SD, ADC BioScientific Ltd, Alemanha. As análises foram realizadas na terceira a quarta folha totalmente expandida do décimo segundo ramo a partir da base. As análises pontuais de trocas gasosas, incluindo a taxa líquida de assimilação de carbono ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ) e concentração interna de dióxido de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ), foram medidas após 2 h de iluminação durante o período de luz sob radiação

fotossinteticamente ativa (RFA) de  $1000 \mu\text{mol}$  (fótons)  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 400 ppm de  $\text{CO}_2$  a nível foliar (YIN *et al.* 2009) (Figura 16).

Figura 16. Análise de trocas gasosas com uso do IRGA



Fonte: Santos (2021)

- Potencial hídrico de antemanhã ( $\Psi_{am}$ ), potencial hídrico ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) e condutância hidráulica da planta ( $K_p$ )

Foi realizada medidas de potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) e ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) utilizando-se a câmara de pressão de Scholander (SCHOLANDER *et al.* 1965), modelo M 1505D (Pressure Chamber Instruments, PMS) em folhas saudáveis totalmente expandidas (SANTOS *et al.* 2020), selecionando-se duas plantas de cada cultivar e por repetição, totalizando 60 folhas analisadas, nas quais foram escolhidas e padronizadas entre 3ª a 4ª folha com limbo totalmente expandido, correspondente ao 12º ramo plagiotrópico da cultura. O  $\Psi_{am}$  foi realizado entre as 2:30 até as 5:30 h, enquanto que o  $\Psi_{md}$  foi realizado entre as 12:00 as 15:00 h. A transpiração ( $E$ ) foi determinada através do analisador de gases por infravermelho (IRGA) - LCpro-SD, ADC BioScientific Ltd, Alemanha. E assim, estimou-se a condutância hidráulica da planta ( $K_p$ ) utilizando a metodologia de Ribeiro *et al.* (2009), através das equações 14:

$$K_p = \frac{E}{[-(\Psi_{md} - \Psi_{am})]} \quad (14)$$

Em que:

$K_p$  – Condutância hidráulica da planta ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{MPa}^{-1}$ );

$E$  – Transpiração foliar da planta ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );

$\Psi_{\text{md}}$  – Potencial hídrico ao meio-dia (MPa);

$\Psi_{\text{am}}$  – Potencial hídrico antemanhã (MPa).

## 2.3 Método estatístico

Foi verificada a homocedasticidade e normalidade dos dados. Em seguida submetidos à análise de variância e quando significativo, foi aplicado o teste Tukey, ao nível de 5% de significância. Para a estatística dos dados, foi utilizado o programa AgroEstat 1.1.0.712.

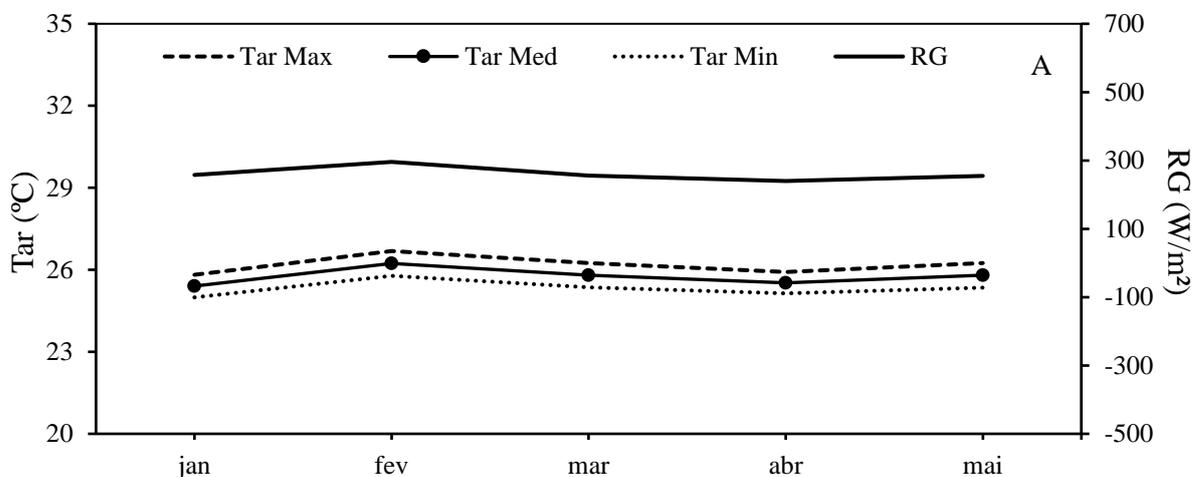
## 2.4 Resultados e discussão

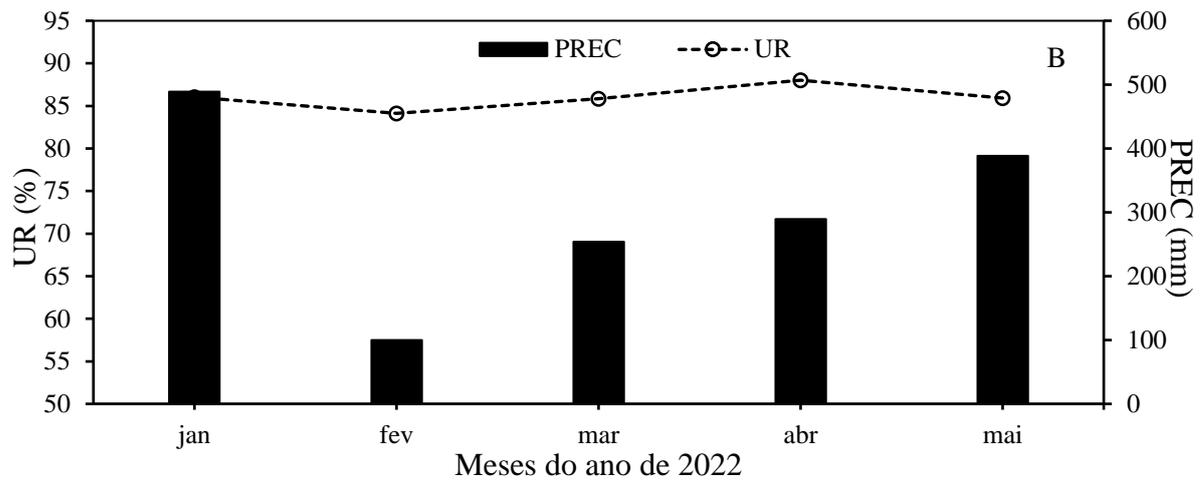
### 2.4.1 Características climáticas

Para acompanhamento das variáveis meteorológicas e para entender o desempenho das cultivares de pimenta-do-reino, foram utilizados os dados na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET da estação automática A202, localizada no município de Castanhal, PA, aproximadamente a 30 km de distância da área experimental.

As variações observadas de temperatura ( $T_{\text{ar}}$ ), radiação global (RG), umidade relativa (UR) e precipitação (PREC) durante os cinco primeiros meses do ano de 2022, em que as cultivares não sofreram restrição hídrica, e que ocorreu as coletas foliares, das cultivares de pimenteira-do-reino, para a realização das análises de caracterização morfo-anatômicas, fisiológicas e de relações hídricas, são apresentadas na Figura 17A e B.

Figura 17. Médias de temperatura ( $T_{\text{ar}}$  – A), radiação global (RG – A), umidade relativa (UR – B) e precipitação (PREC – B) obtidas durante os cinco primeiros meses do ano de 2022





Nesses cinco meses, verificou-se que a média da temperatura mínima e máxima observada foi de 25,32 e 26,18 °C respectivamente (Figura 17A), dentro dos valores considerados ideais para o desenvolvimento e a produção da cultura da pimenta-do-reino que, de acordo com Duarte (2004) e Duarte *et al.* (2006), as temperaturas ótimas devem estar entre 23 e 28°C, pois temperaturas elevadas tornam o pólen inviável.

Ainda, segundo esses autores, a insolação, como reflexo da radiação solar, é considerada elemento climático de extrema importância na produção agrícola, visto que insolação e radiação solar estão associadas a produtividade das plantas pelo processo da fotossíntese, transpiração, floração e maturação dos frutos. No presente trabalho, verificou nos seis primeiros meses de 2022 uma radiação solar de 1303 W/m<sup>2</sup> (Figura 17A).

A média da umidade relativa do ar para os cinco meses do ano de 2022 foi de 85,98 % (Figura 17B). Observou-se aumento da umidade sempre que a temperatura diminuía. Os valores médios de umidade analisados nesse período, situaram-se dentro da faixa considerada ideal para a cultura. Segundo Duarte (2004) e Duarte *et al.* (2006), a umidade relativa do ar abaixo de 60% pode ser prejudicial à maioria das plantas, por aumentar a taxa de transpiração. Acima de 90%, reduz a absorção de nutrientes, por causa da redução da transpiração, além de favorecer a propagação de doenças fúngicas. No entanto, no caso específico da pimenta-do-reino, a umidade relativa do ar abaixo de 80% causa desidratação e morte dos grãos de pólen, reduzindo a produção.

Em relação a precipitação ocorrida durante esses meses de 2022, observou-se que houve uma precipitação total de 1.520 mm. Contudo, as maiores precipitações ocorreram nos meses de janeiro (489 mm) e maio (388 mm) e a menor no mês de fevereiro (99,8 mm) (Figura 17B). Elemento climático de fundamental importância para as plantas, pois a água da chuva é essencial para o crescimento e desempenha importante papel na fotossíntese e, portanto, na

produção. Essa importância se torna maior nas regiões tropicais úmidas e na Amazônia porque, o elemento regulador da agricultura é a chuva, dada a sua função na disponibilidade de água durante o ano (DUARTE, 2004).

#### 2.4.2 Características das cultivares

A Tabela 5 apresenta o resumo da análise de variância em relação aos níveis de fótons de luz entre as cultivares de pimenteira-do-reino. Os níveis 695, 1000, 1217, 1478 e 1670  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  não obtiveram diferença estatística ao nível de 5% de significância entre as cultivares Clonada e Uthirankotta.

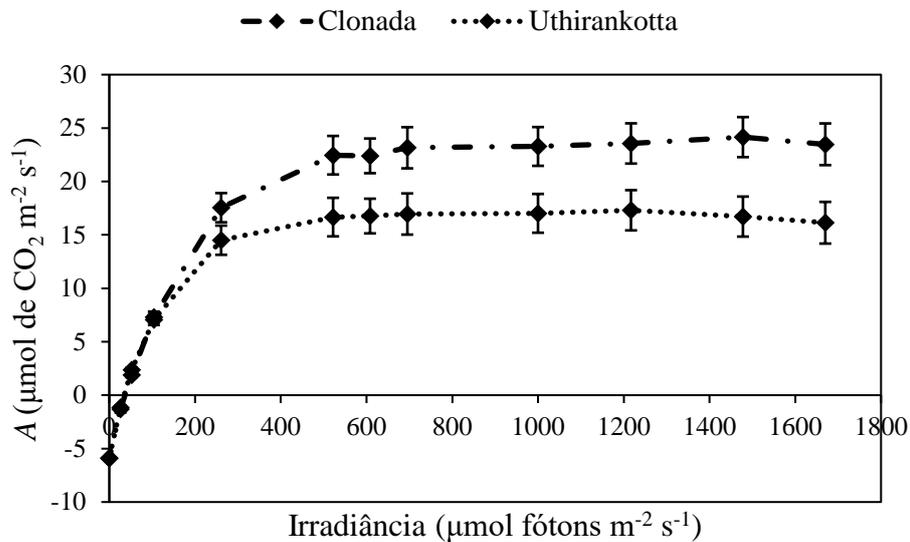
Tabela 5. Resumo da análise de variância dos níveis de fótons de luz em cultivares de pimenteira-do-reino, Castanhal-PA, 2022

Fonte de variação	Valores de F					
	A					
	$\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$					
	0	26	52	104	261	522
Blocos (B)	2,83 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	3,18 <sup>ns</sup>	0,63 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	2,33 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>ns</sup>
CV (%)	- 4,34	- 72,65	17,54	21,16	28,01	23,26
	A					
	$\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$					
	608	695	1000	1217	1478	1670
Blocos (B)	0,27 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	3,83 <sup>ns</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	3,85 <sup>ns</sup>	3,28 <sup>ns</sup>	13,09 <sup>ns</sup>	7,57 <sup>ns</sup>
CV (%)	17,99	25,54	19,40	20,70	12,33	16,51

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; não significativo.

Adicionalmente, espera-se que a aclimação fotossintética possa definir o desempenho de plantas em condições de alteração das taxas de luminosidade (GONÇALVES *et al.* 2012). Assim sendo, curva resposta a intensidade luminosa (curva A-RFA) de cultivares de pimenteira-do-reino foram realizadas, sob mesma condição hídrica, e verificou-se que os níveis de fótons de luz na ‘Clonada’ mostraram-se mais eficiente do que a ‘Uthirankotta’, porém não diferiram entre si a 5% de significância (Figura 18).

Figura 18. Curva de luz para as cultivares Clonada e Uthirankotta



\*Médias seguidas de asterísticos, diferiram entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Entender a curva de luz é importante para identificar em qual intensidade luminosa as cultivares de pimenteira-do-reino atingiriam o ponto máximo de fotossíntese e a partir desse ponto compreender o desenvolvimento das mesmas sob restrição hídrica, já que a água é um fator que limita indiretamente a fotossíntese. Esta é um processo biológico no qual as plantas convertem energia luminosa em energia química (LI *et al.* 2019), em que a relação quantitativa entre a taxa fotossintética líquida ( $A$ ) e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é a base para revelar a resposta do processo fisiológico fotossintético da planta ao meio ambiente (XIA *et al.* 2014; WANG *et al.* 2017).

A medição e a simulação da curva de resposta à luz da fotossíntese ( $A$ -RFA) é um dos métodos importantes no estudo da ecologia fisiológica fotossintética de plantas (LOBO *et al.* 2013; WANG *et al.* 2017; LI *et al.* 2019). Os principais parâmetros fisiológicos, como ponto de compensação da luz (PCL), ponto de saturação da luz (PSL), taxa de fotossíntese bruta em luz saturante ( $A_{\text{sat}}$ ) e taxa fotossintética líquida máxima ( $A_{\text{max}}$ ) podem ser obtidos a partir da curva para determinar o estado de operação do aparelho fotossintético da planta, capacidade e eficiência fotossintética, bem como mudanças ambientais que os influenciam (YE; YU, 2008; XIA *et al.* 2014; LI *et al.* 2019)

Ao estimar as curvas de luz, verificou-se que taxa de fotossíntese bruta em luz saturante ( $A_{\text{sat}}$ ) e a taxa máxima de fotossíntese bruta ( $A_{\text{max}}$ ) diferiram entre as cultivares de pimenteira-do-reino a 5% de significância (Tabela 6).

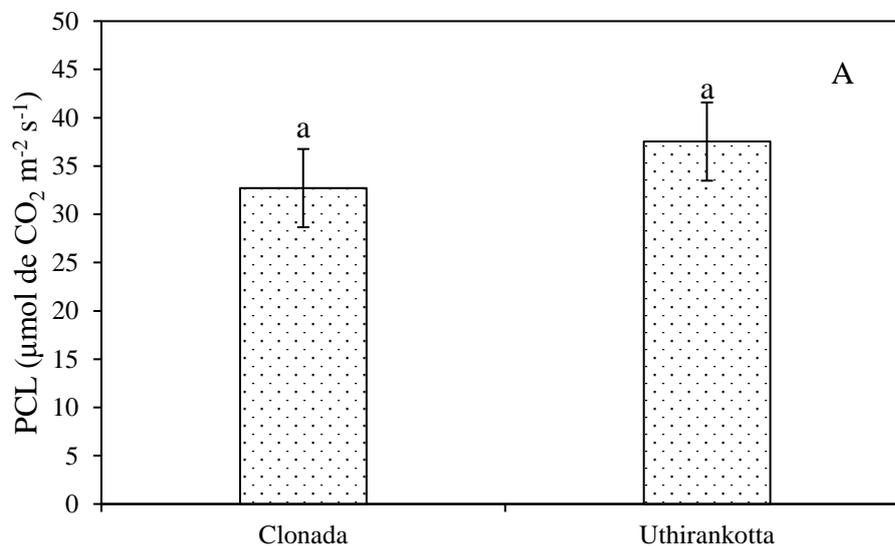
Tabela 6. Resumo da análise de variância do ponto de compensação de luz (PCL), ponto de saturação de luz (PSL), taxa de fotossíntese bruta em luz saturante ( $A_{sat}$ ) e a taxa máxima de fotossíntese bruta ( $A_{max}$ ) em cultivares de pimenteira-do-reino, Castanhal-PA, 2022

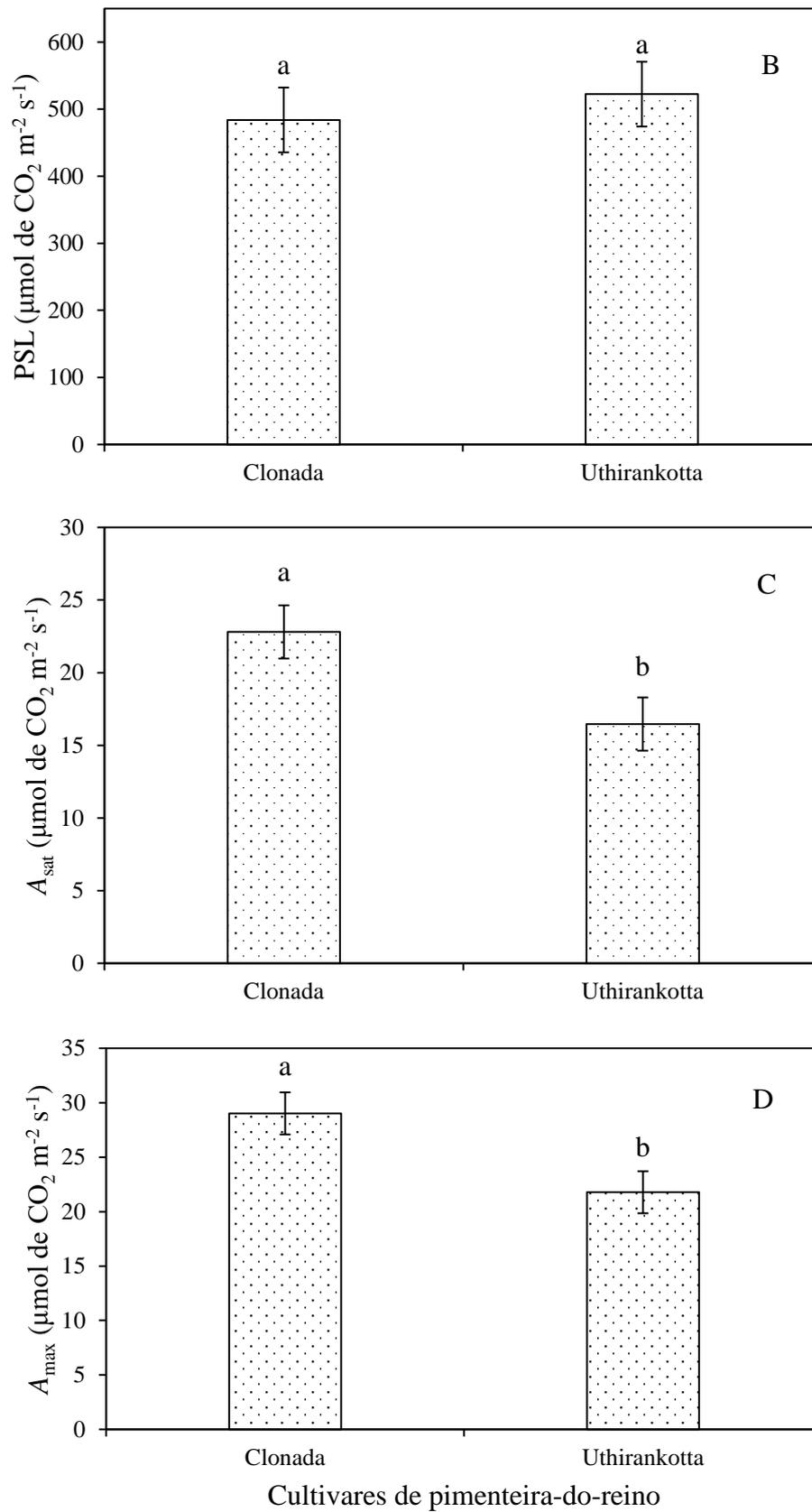
Fonte de variação	Valores de F			
	PCL	PSL	$A_{sat}$	$A_{max}$
	----- $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -----			
Blocos (B)	2,72 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	2,35 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	0,86 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	7,00*	7,94*
CV (%)	31,45	31,70	25,88	21,47

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo.

Observou-se que o aumento da intensidade luminosa influenciou nos valores de PCL e PSL nas duas cultivares de pimenteira-do-reino. A ‘Uthirankotta’ (32,71 e 484,04  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente) apresentou valores maiores do que a ‘Clonada’ (37,53 e 522,46  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente), porém não foi significativo (Figura 21A e B). Por outro lado, as cultivares (‘Clonada’ e ‘Uthirankotta’) obtiveram diferença significativa em relação a  $A_{sat}$  (22,80 e 16,46  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente) e a  $A_{max}$  (29,02 e 21,78  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente), mostrando maiores valores para a ‘Clonada’ (Figura 19C e D).

Figura 19. Média do ponto de compensação de luz (PCL – A), ponto de saturação de luz (PSL – B), taxa de fotossíntese bruta em luz saturante ( $A_{sat}$ ) e a taxa máxima de fotossíntese bruta ( $A_{max}$ ) em cultivares de pimenteira-do-reino das cultivares Clonada e Uthirankotta





\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O PSL, apesar de não ter sido significativo entre as duas cultivares de pimenteira-do-reino, é importante saber esse ponto por indicar o ponto máximo em que a ‘Clonada’ e a ‘Uthirankotta’ consegue aumentar seu potencial fotossintético (Figura 19B), representando a capacidade fotossintética máxima e a capacidade máxima de assimilação sob certas condições ambientais (DUAN; YANG; MAO, 2018), pois quando a energia luminosa absorvida pelas plantas excede suas necessidades, a energia de excitação excessiva pode causar fotoinibição e reduzir a eficiência fotossintética (LANG *et al.* 2013; LI *et al.* 2019).

Já a  $A_{sat}$  e a  $A_{max}$  foram significativas para a ‘Clonada’, mostrando que os maiores valores destes parâmetros para esta cultivar, nas mesmas condições hídricas que a ‘Uthirankotta’, tem maior ganho de  $CO_2$  nas folhas. Podendo estar relacionado com as diferenças quanto à plasticidade morfológica e fisiológica quando expostas a diferentes intensidades de irradiância (GONÇALVES *et al.* 2012) que a ‘Clonada’ e ‘Uthirankotta’ podem suportar.

Para Lima *et al.* (2008) e Gazolla-Neto *et al.* (2013) as plantas têm habilidade para modificar seu modelo de desenvolvimento em resposta ao ambiente luminoso, todavia, a natureza dessa resposta morfogênica pode variar consideravelmente entre espécies de acordo com a capacidade de aclimação e a dependência da quantidade ou qualidade da luz (YIN *et al.* 2009; GONÇALVES *et al.* 2012), atribuído à capacidade de a espécie ajustar rapidamente seu modelo de alocação de biomassa e comportamento fisiológico (LIMA *et al.* 2008; GAZOLLA-NETO *et al.* 2013).

A Tabela 7 apresenta o resumo da análise de variância em relação aos parâmetros analisados da curva pressão-volume (ou curva PV) nas cultivares pimenteira-do-reino sob mesma condição hídrica. O potencial osmótico na turgescência máxima ( $\Psi_{pt}$ ), módulo de elasticidade ( $\epsilon_v$ ) e teor relativo de água na plasmólise incipiente ( $TRA_{ppt}$ ) obtiveram diferença significativa ao nível de 5% de significância entre ‘Clonada’ e ‘Uthirankotta’.

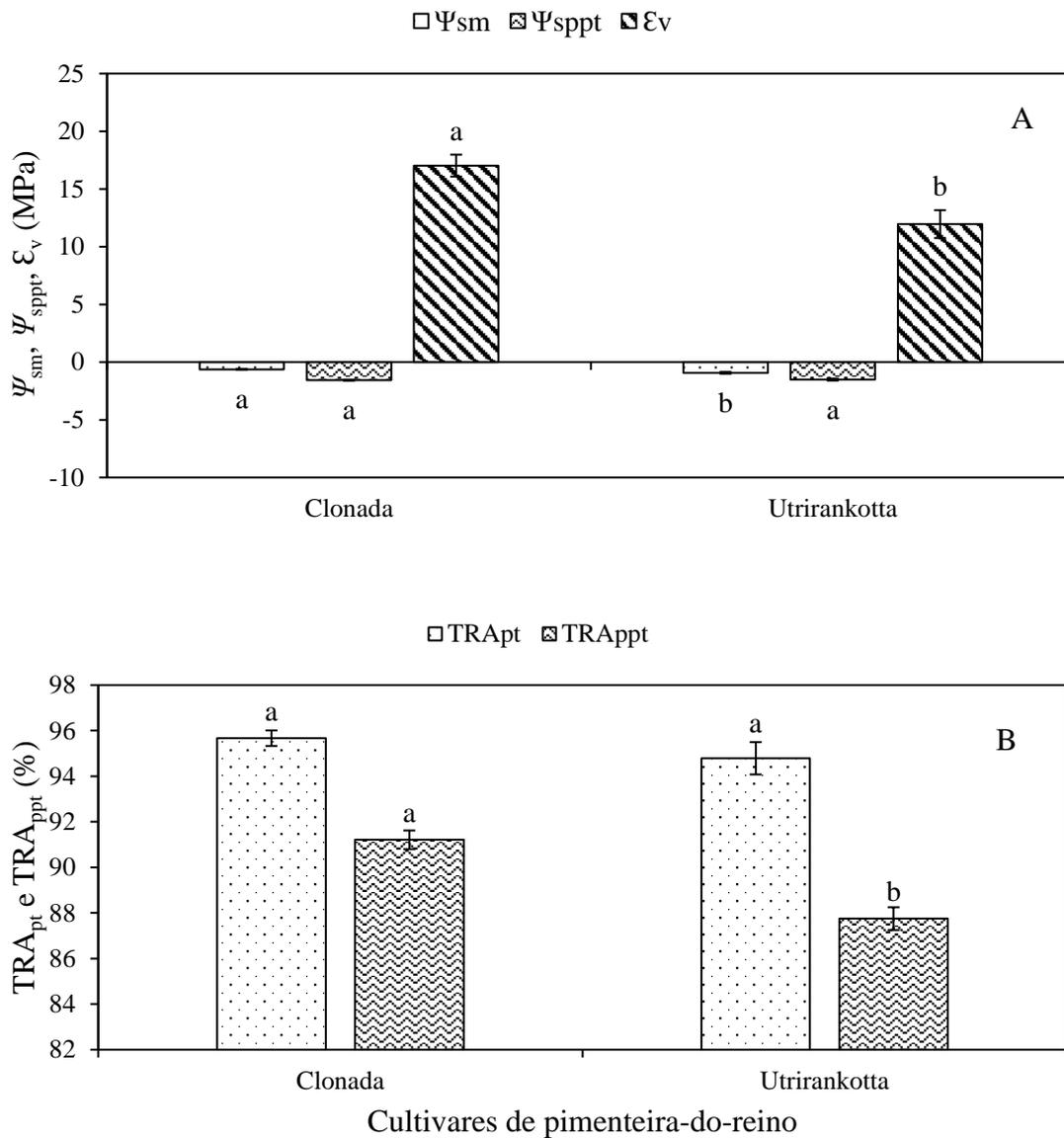
Tabela 7. Resumo da análise de variância dos parâmetros de potencial osmótico na turgescência máxima ( $\Psi_{pt}$ ), potencial osmótico no ponto de perda de turgor (ou plasmólise incipiente –  $\Psi_{ppt}$ ), módulo de elasticidade ( $\epsilon_v$ ) e teor relativo de água na plasmólise incipiente ( $TRA_{ppt}$ ) das curvas pressão-volume das cultivares de pimenteira-do-reino, Castanhal-PA, 2022

Fonte de variação	Valores de F				
	$\Psi_{pt}$	$\Psi_{ppt}$	$\epsilon_v$	$TRA_{pt}$	$TRA_{ppt}$
	MPa			%	
Blocos (B)	1,88 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	1,92 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	15,69*	0,37 <sup>ns</sup>	9,46*	1,15 <sup>ns</sup>	33,00*
CV (%)	13,96	11,30	19,71	1,23	0,95

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; não significativo.

Os parâmetros das curvas pressão-volume da ‘Clonada’ e ‘Uthirankotta’ foram obtidos por meio da relação do inverso do potencial da água em função do TRA, o que possibilitou a avaliação estatística dos mesmos:  $\Psi_{pt}$ ,  $\Psi_{ppt}$  e  $\epsilon_v$ , (Figura 20A) e  $TRA_{pt}$ ,  $TRA_{ppt}$  (Figura 20B).

Figura 20. Média do potencial na turgescência máxima ( $\Psi_{pt}$  – A), potencial osmótico no ponto de perda de turgor (ou plasmólise incipiente –  $\Psi_{ppt}$  – A), módulo de elasticidade ( $\epsilon_v$  – A), teor relativo no ponto de turgor ( $TRA_{pt}$  – B) e teor relativo de água na plasmólise incipiente ( $TRA_{ppt}$  – B) das curvas pressão-volume das cultivares Clonada e Uthirankotta



\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na figura 20A observou-se que a ‘Uthirankotta’ demonstrou um menor potencial na turgescência máxima ( $\Psi_{pt}$ ) (-0,93 MPa) em relação ao da ‘Clonada’ (-0,63 MPa). Confirmando que a ‘Uthirankotta’ apresenta mecanismo mais tolerante a seca do que a ‘Clonada’. Ou seja,

plantas com  $\Psi_{pt}$  mais negativo permanecem túrgidas em potenciais de água mais negativos e tendem a manter processos críticos, como condutância hidráulica, condutância estomática, troca gasosa fotossintética (BRODRIBB *et al.* 2003; BLACKMAN; BRODRIBB; JORDAN, 2010; BARTLETT; SCOFFONI; SACK, 2012; BARTLETT *et al.* 2014; CONTI JUNIOR, 2019) e acúmulo de solutos orgânicos como a prolina (MAFAKHERI *et al.* 2010; MOURA *et al.* 2016) sob condições mais secas.

Segundo Bartlett *et al.* (2012), este mecanismo é também denominado de ajustamento osmótico e tem sido estudado em várias espécies (CONTI JUNIOR, 2019) e é considerado um dos mais eficazes para a manutenção da turgescência celular, permitindo a abertura estomática e fotossíntese sob condições de baixo potencial hídrico no solo (BLACKMAN; BRODRIBB; JORDAN, 2010; BARTLETT *et al.* 2012; BARTLETT; SCOFFONI; SACK, 2012; BARTLETT *et al.* 2014).

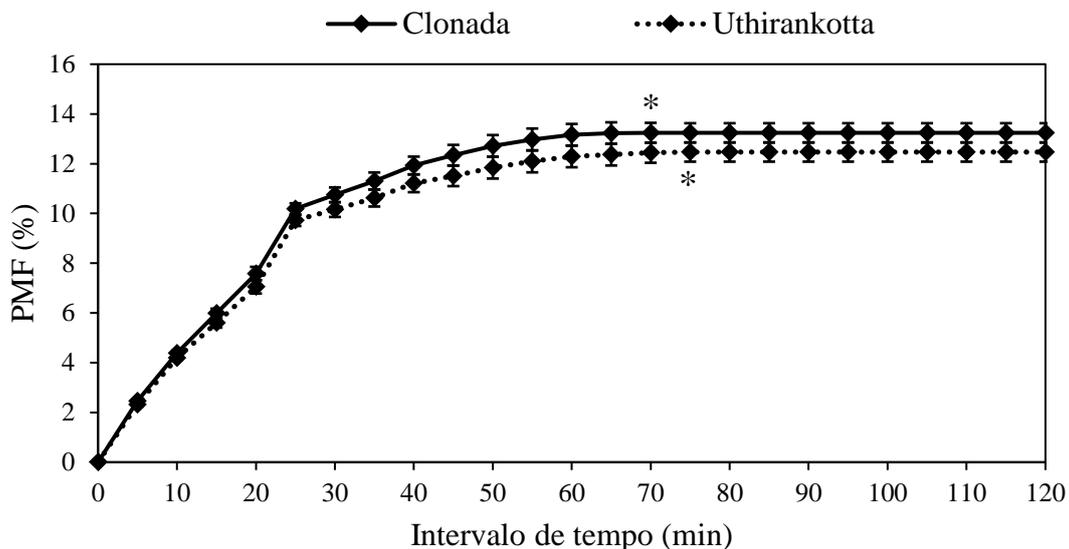
O potencial osmótico no ponto de perda de turgor (ou plasmólise incipiente –  $\Psi_{ppt}$ ) não deu diferença significativa entre as duas cultivares, visto que ambas se encontravam na mesma condição hídrica. O que confirma a argumentação de Bartlett, Scoffoni e Sack (2012) de que a plasmólise incipiente está fortemente relacionada ao suprimento de água. Entretanto, verificou-se diferença significativa no módulo de elasticidade ( $\epsilon_v$ ) entre as cultivares: ‘Clonada’ (17,03 MPa) apresenta parede celular mais rígida do que a ‘Uthirankotta’ (11,96 MPa), ou seja, a ‘Uthirankotta’ possui uma parede celular mais elástica do que a ‘Clonada’. Pois,  $\epsilon_v$  refere-se às alterações no coeficiente de proporcionalidade entre o volume da célula e sua pressão de turgescência (BLACKMAN; BRODRIBB; JORDAN, 2010; BARTLETT *et al.* 2012; BARTLETT *et al.* 2014).

Os valores de  $TRA_{pt}$  e  $TRA_{ppt}$  nas cultivares de pimenteira-do-reino de 95,67 e 91,21 e 94,79 e 87,75% (clonada e uthirankotta, respectivamente) demonstraram diferença estatística, apenas para  $TRA_{ppt}$ . Isto pode estar relacionado com a estrutura da parede celular das cultivares, já que a ‘Uthirankotta’ por ser mais elástica consegue manter pressão positiva na parede e perde pressão de turgor com um  $TRA_{ppt}$  mais baixo. Abade *et al.* (2014) estudando duas cultivares de girassol, ao avaliá-las isoladamente, não encontraram diferença significativa no conteúdo relativo de água. Contudo, Hecker (2002) relata que as diferentes cultivares de uma cultura podem expressar um desempenho desigual, uma em relação à outra, no crescimento, na produtividade e em outras características de interesse agrônomo. Isso se dá por alterações no seu metabolismo devido às condições edafoclimáticas de cada região, fato verificado neste trabalho.

Para Sobrado (2009), esses parâmetros permitem caracterizar plantas com capacidade de prosperar em ambientes contrastantes, bem como avaliar o efeito das condições ambientais sobre as relações hídricas foliares.

A figura 21 representa a avaliação de perda de água, em folhas destacadas, nas duas cultivares de pimenteira-do-reino em condições iguais de manejo. Observa-se que as cultivares atuam de forma distinta em perda de massa fresca, apresentando estabilidade na massa fresca em 13,24 e 12,47 % para ‘Clonada’ e ‘Uthirankotta’ após 70 e 75 min, respectivamente. Essa diferença na perda de massa fresca está relacionada à regulação do fechamento estomático, uma vez que a ‘Uthirankotta’ consegue manter os estômatos abertos por mais tempo.

Figura 21. Perda de massa fresca (PMF) nas cultivares de pimenteira-do-reino: Clonada e Uthirankotta



Esses mecanismos de resistência podem estar relacionados na melhor exploração de volume de solo pelo sistema radicular da planta, diminuindo o tamanho das células e aumentando o espessamento das paredes celulares e a cerosidade da cutícula (CAMARGO; MARENGO, 2012; OLIVEIRA; PASIN, 2017; BIREAHL; FERMINO JUNIOR, 2020;). O que pode a ‘Uthirankotta’ ter utilizado mecanismos de resistência mesofílica e cuticular diferente da ‘Clonada’, uma vez que os poros existentes nas cutículas impermeabilizam as folhas evitando a perda de água de forma excessiva.

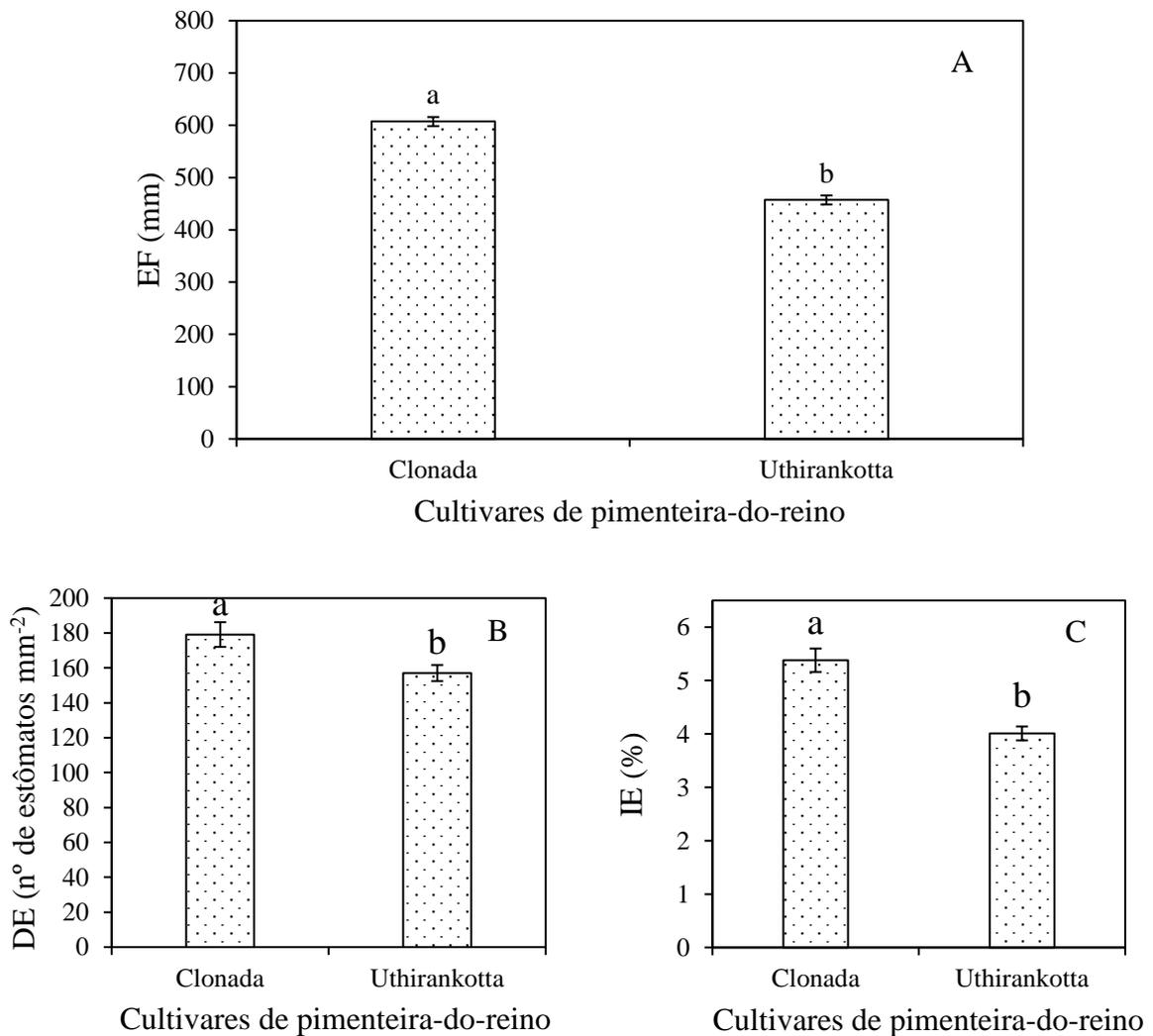
A espessura da folha, densidade estomática, índice estomático e diâmetro polar dos estômatos apresentaram diferença significativa a 5% de significância entre as cultivares de pimenteira-do-reino (Tabela 8). Verificou-se que a ‘Clonada’ demonstrou maiores médias, nas quatro variáveis, do que a ‘Uthirankotta’ (Figura 22A, B, C e D).

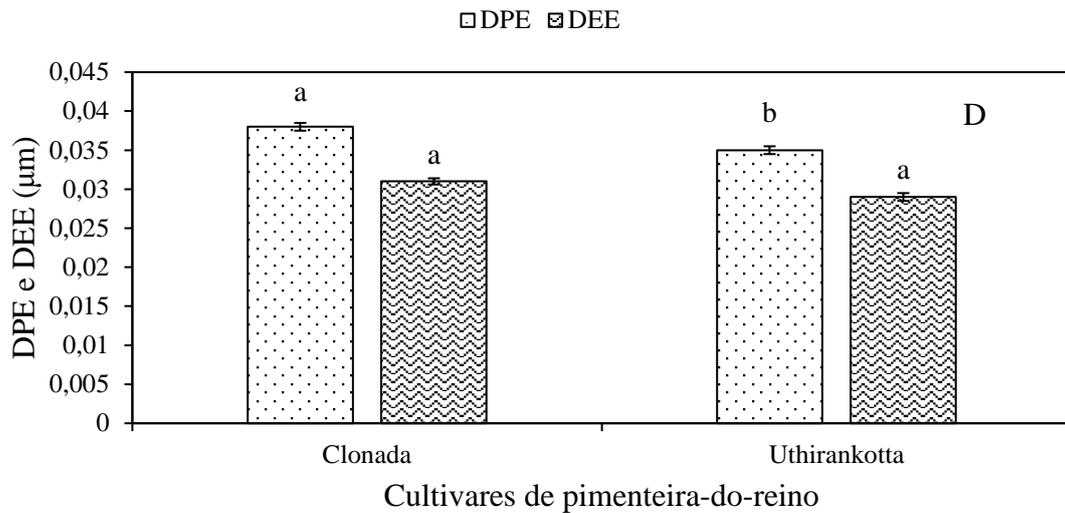
Tabela 8. Resumo da análise de variância da espessura da folha (EF), densidade estomática (DE), índice estomático (IE), diâmetro polar dos estômatos (DPE), diâmetro equatorial dos estômatos (DEE) e funcionalidade estomática (FUN) em cultivares de pimenteira-do-reino, Castanhal-PA, 2022

Fonte de variação	Valores de F					
	EF --- mm ---	DE n° de estômatos mm <sup>-2</sup>	IE ---- % ----	DPE ----- µm -----	DEE -----	FUN -----
Blocos (B)	4,94*	3,23 <sup>ns</sup>	5,12*	0,00 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	148,81*	7,93*	36,31*	13,68*	1,91 <sup>ns</sup>	1,90 <sup>ns</sup>
CV (%)	6,93	9,33	9,64	4,05	5,88	4,70

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; não significativo.

Figura 22. Média da espessura da folha (EF – A), densidade estomática (DE – B), índice estomático (IE – C) e diâmetro polar e equatorial dos estômatos (DPE, DEE – D) nas cultivares de pimenteira-do-reino: Clonada e Uthirankotta

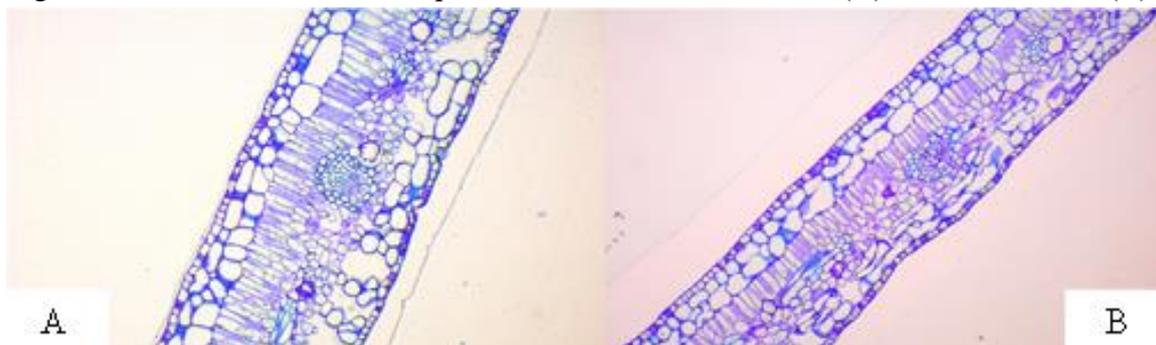




\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Verificou-se, na Figura 22A, que a espessura da folha na ‘Clonada’ (607,16 mm) foi maior do que na ‘Uthirankotta’ (457,13 mm), podendo estar relacionada a sua área foliar específica. Pois, o aumento da área foliar específica geralmente implica na redução da espessura da folha (GOBBI *et al.* 2011). O que é confirmado, mediante aos cortes transversais, a diferença de folhas das cultivares de pimenteira-do-reino (Figura 23), ao qual a ‘Clonada’ apresenta, aproximadamente, 25% a mais de espessura do que a ‘Uthirankotta’.

Figura 23. Vista transversal da espessura de folhas de ‘Clonada’ (A) e ‘Uthirankotta’ (B)

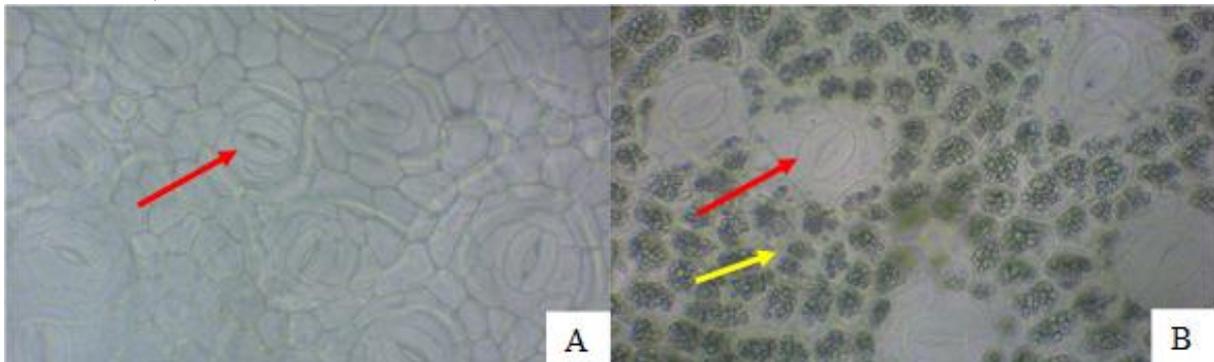


Fonte: Santos (2022)

Resultados semelhantes foram expostos por outros autores (HOFFMANN; FRANCO, 2005, 2008; BIERAS; SAJO, 2009; PINHEIRO *et al.* 2013), ao caracterizarem e analisarem o comportamento das diferenças anatômicas foliares e área foliar específica com espécies vegetais do Cerrado e florestas do Brasil Central.

Quanto à densidade estomática da ‘Clonada’ e ‘Uthirankotta’ (179,10 e 157,04 estômatos  $\text{mm}^{-2}$ , respectivamente) (Figura 22B) e índice estomático (5,38 e 4,01 %, respectivamente) (Figura 22C), verificou-se, por meio das imagens registradas, a presença de estômatos distribuídos de forma uniforme na superfície do folíolo apenas na face abaxial das folhas, sendo classificada como hipoestomáticas, contudo foram encontrados idioblastos (cristais de oxalato de cálcio) somente na epiderme das folhas de ‘Uthirankkota’ (Figura 24B).

Figura 24. Vista frontal da superfície abaxial de folhas de pimenteira-do-reino, cultivar Clonada (A) e Uthirankotta (B). Estômatos (seta na cor vermelha) e cristais de oxalato de cálcio (seta na cor amarela)



Fonte: Santos (2022)

A hipoestomática em folhas de pimenteira-do-reino, segundo Bireahls e Fermino Junior (2020) podem estar relacionadas com uma estratégia de redução da perda de água por transpiração, considerando a menor área de trocas gasosas (aberturas estomáticas) na lâmina inteira. Algumas espécies vegetais utilizam o processo de fechamento dos estômatos para retardar a perda de água, o que torna possível classificá-las como espécies com maior sensibilidade estomática (OLIVEIRA; MIGLIORANZA, 2013).

Os aspectos morfo-anatômicos da pimenteira-do-reino ainda não foram estudados, no entanto, são importantes devido à plasticidade na anatomia foliar nas diferentes cultivares, o que pode interferir na taxa fotossintética alterando assim a assimilação de  $\text{CO}_2$  (CAMARGO; MARENGO, 2012). Pois, de acordo com Larcher (2006) a plasticidade da epiderme é uma característica que tem uma relação com a intensidade luminosa, podendo diminuir ou aumentar sua espessura dependendo do grau de sombreamento.

A densidade estomática em folhas de pimenteira-do-reino na ‘Clonada’ foi maior do que na ‘Uthirankotta’, podendo estar relacionada a sua parte aérea. Já que a clonada apresenta ramos plagiotrópicos horizontais mais espaçados entre si, fazendo com que os raios solares adentrem em toda a sua área foliar, ficando submetida em uma maior irradiância, que deve ter aumentado

o metabolismo fotossintético, exigindo maior captura de gás carbônico, visto que a densidade estomática, nesta cultivar, teve aumento significativo.

Além da parte aérea, o resultado encontrado de densidade estomática entre as cultivares, pode estar relacionado a ausência e presença de cristais de oxalato de cálcio. Oliveira e Pasin (2017) afirmam que tais cristais, além de contribuir para a defesa contra a herbivoria, auxilia na desintoxicação de metais e interfere na dispersão da luz e, conseqüentemente, na fotossíntese, o que pode explicar a menor densidade estomática na ‘Uthirankkotta’.

Logo, uma maior DE pode permitir uma abertura estomática em um espaço de tempo menor, permitindo uma captação adequada de CO<sub>2</sub> e reduzindo o tempo em que esses estômatos ficam abertos, diminuindo, conseqüentemente a transpiração, permitindo uma melhor adaptação das plantas às condições de pouca disponibilidade de água (OLIVEIRA; MIGLIORANZA, 2013; SANTOS *et al.* 2022).

Para a característica diâmetro polar (DPE) foi observada maior média para a clonada (0,038 µm) em relação a uthirankotta (0,035 µm), enquanto que para o diâmetro equatorial não houve diferença significativa (0,031 e 0,029 µm, ‘Clonada’ e ‘Uthirankotta’ respectivamente) (Figura 24D), variáveis tal qual importantes como a DE, pois a dimensão dos estômatos afeta a absorção de CO<sub>2</sub> (OLIVEIRA; MIGLIORANZA, 2013).

Para Batista *et al.* (2010), a redução no tamanho dos estômatos é importante na regulação das trocas gasosas, uma vez que folhas com estômatos menores apresentam maior eficiência no uso da água por apresentarem um menor tamanho dos poros estomáticos, condicionando assim uma menor perda de água por transpiração. E, também, apresenta uma baixa densidade estomática que restringe a difusão vertical de CO<sub>2</sub> por meio da folha e reduz as taxas fotossintéticas, no entanto, a alta densidade estomática provoca a diminuição da difusão de CO<sub>2</sub> causando a baixa assimilação de carbono (SIMON *et al.* 2020).

Resultados semelhantes foram expostos por outros autores (OLIVEIRA; MIGLIORANZA, 2013; MACHADO *et al.* 2015), ao caracterizarem e analisarem o comportamento estomático em variedades de mandioca e genótipos de cafeeiro.

A Tabela 9 descreve a análise de variância em relação à área foliar específica e total entre as cultivares de pimenteira-do-reino. Identificou-se que as áreas foliares específicas e total expressaram diferença significativa a 5% de significância.

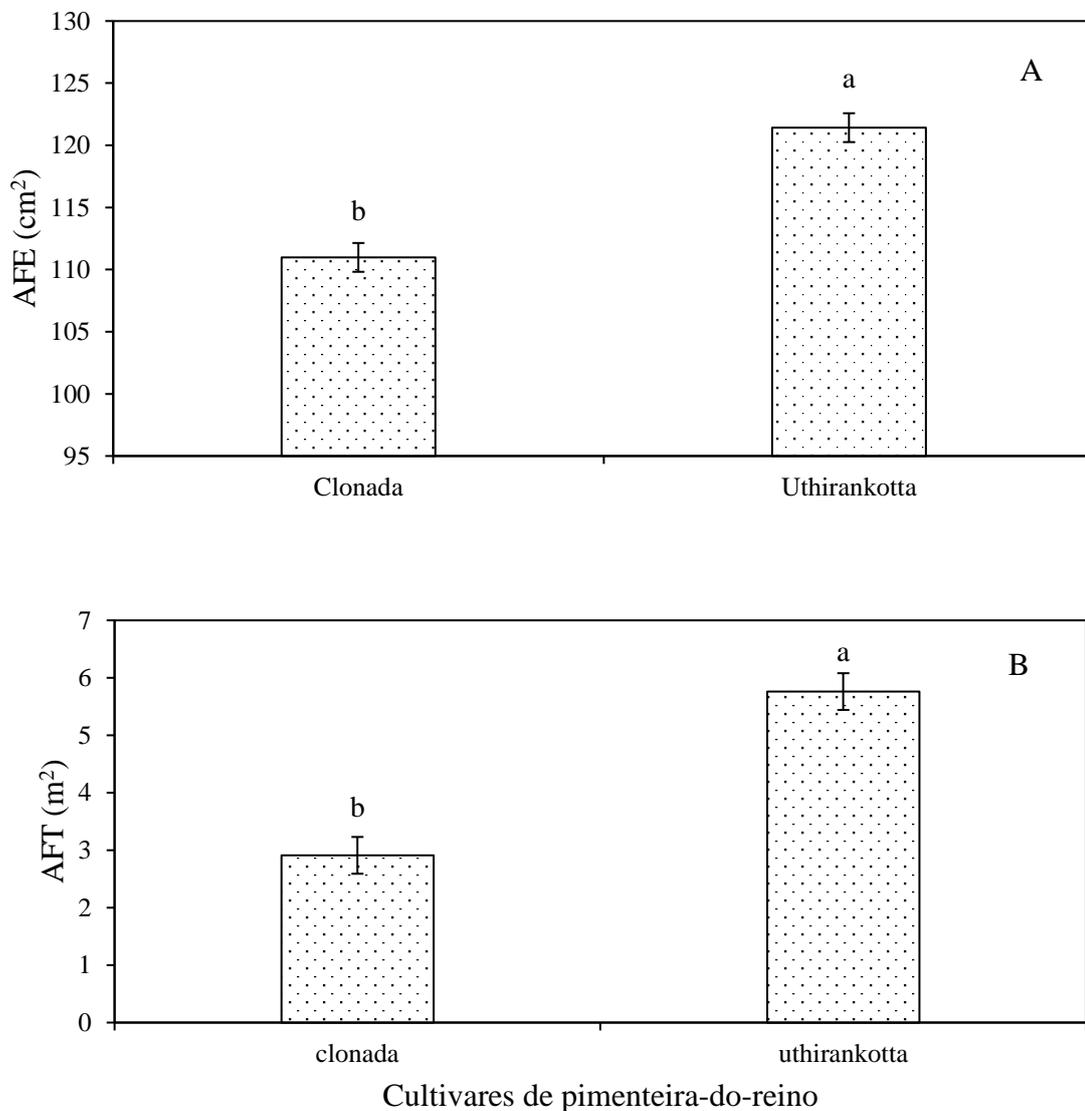
Tabela 9. Resumo da análise de variância para área foliar específica (AFE) e área foliar total (AFT), em cultivares de pimenteira-do-reino, Castanhal-PA, 2022

Fonte de variação	Valores de F	
	AFE cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	AFT m <sup>2</sup>
Bloco	9,15 <sup>ns</sup>	8,69 <sup>ns</sup>
Cultivares	20,30*	19,82*
CV (%)	2,44	18,05

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; não significativo.

Verificou-se que a ‘Uthirankotta’ demonstrou maior média em relação a área foliar específica e total do que a ‘Clonada’ (Figura 25A e B).

Figura 25. Média de área foliar específica (AFE – A) e área foliar total (AFT – B) nas cultivares de pimenteira-do-reino: Clonada e Uthirankotta



\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A área foliar é uma característica muito utilizada na análise de crescimento vegetal, pois ela representa o aparato de interceptação de luz para a fotossíntese (LUCENA *et al.* 2011; SOUZA *et al.* 2012). Por este motivo a redução do crescimento das plantas decorre da redução da área foliar e da condutância estomática, limitando a taxa fotossintética (OLIVEIRA; COELHO; COELHO, 2013), o que não se observou neste estudo.

Para Favarin *et al.* (2002) e Silva *et al.* (2011) a área foliar de uma cultura interfere na interceptação da radiação solar e na troca de água e energia entre a folha e o ar adjacente à atmosfera. Pois, a folha é o principal órgão das plantas envolvido na fotossíntese é responsável pelas trocas gasosas entre a planta e o ambiente (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013), sendo uma variável reconhecida pela sua importância como indicativo da produtividade da planta.

Maehler *et al.* (2003) e Gomes (2016) citam que, plantas com maior área foliar têm maior superfície de interceptação de luz que pode resultar em maior taxa fotossintética, porém também pode ocorrer maior transpiração foliar (VILLA NOVA *et al.* 2002), o que não corrobora com os resultados deste estudo, pois a ‘Uthirankotta’ apesar de expressar uma maior área foliar do que a clonada, não apresentou maiores taxas fotossintéticas (18,81 e 26,67  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente) e transpiração (4,63 e 4,78  $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente).

Acredita-se que por essa cultivar apresentar cristais de oxalato de cálcio e uma copa mais adensada, ambos interferiram diretamente na dispersão da luz e na diminuição da condutância estomática e, conseqüentemente, na fotossíntese que, segundo Oliveira, Fernandes e Rodrigues (2005) é um importante mecanismo de defesa das plantas, que opera principalmente em períodos de deficiência hídrica, diminuindo a temperatura foliar e, conseqüentemente, a transpiração estomatal. Este fato, mostra que a medição de área foliar é relevante na avaliação do estado fisiológico e manejo da planta.

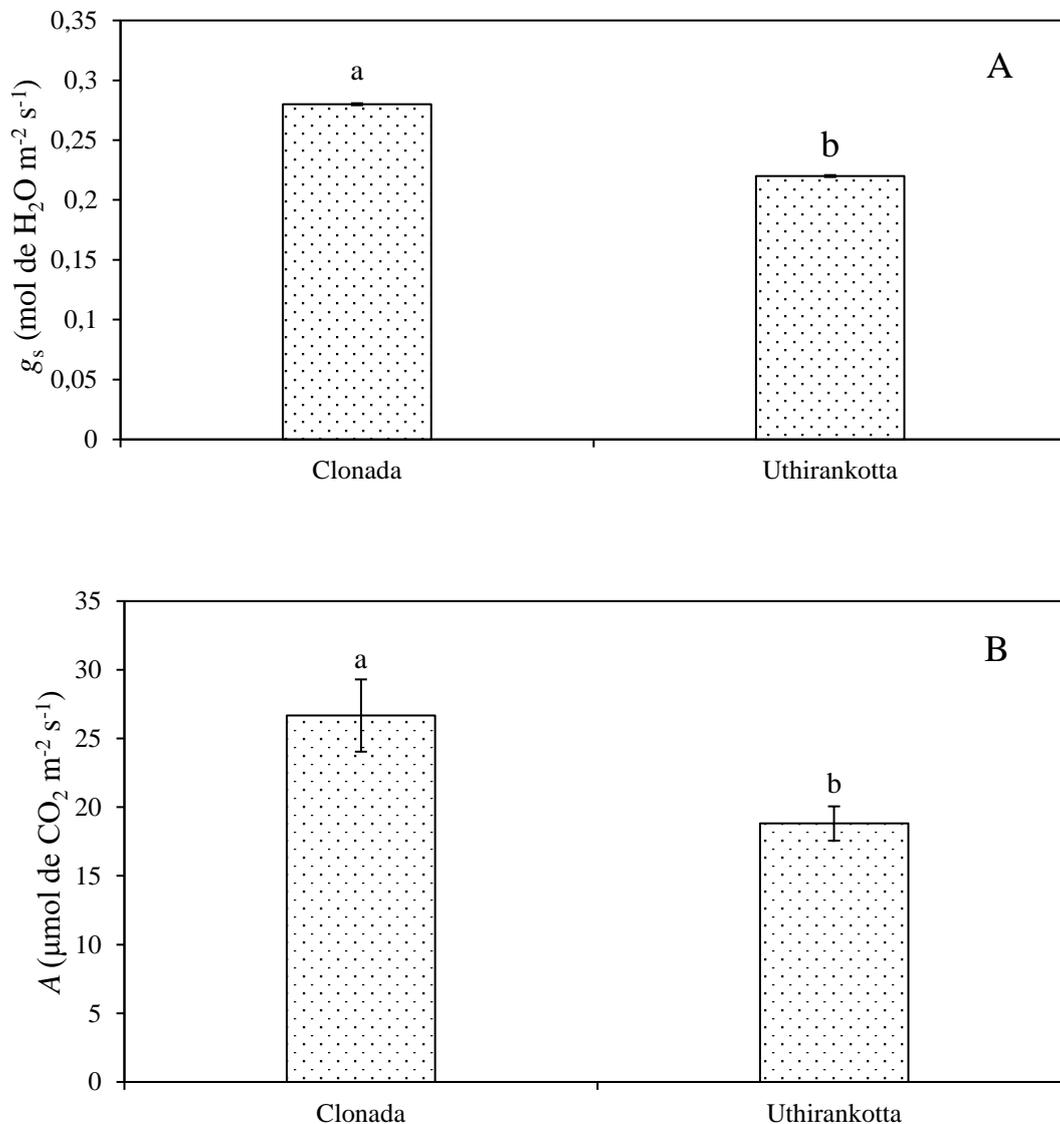
As variáveis condutância estomática e taxa líquida de assimilação de carbono (ou taxa fotossintética) demonstraram diferença significativa. Contudo, a transpiração e concentração interna de carbono não diferiram entre as cultivares ao nível de 5% de significância (Tabela 10) (Figura 26A, B, C e D).

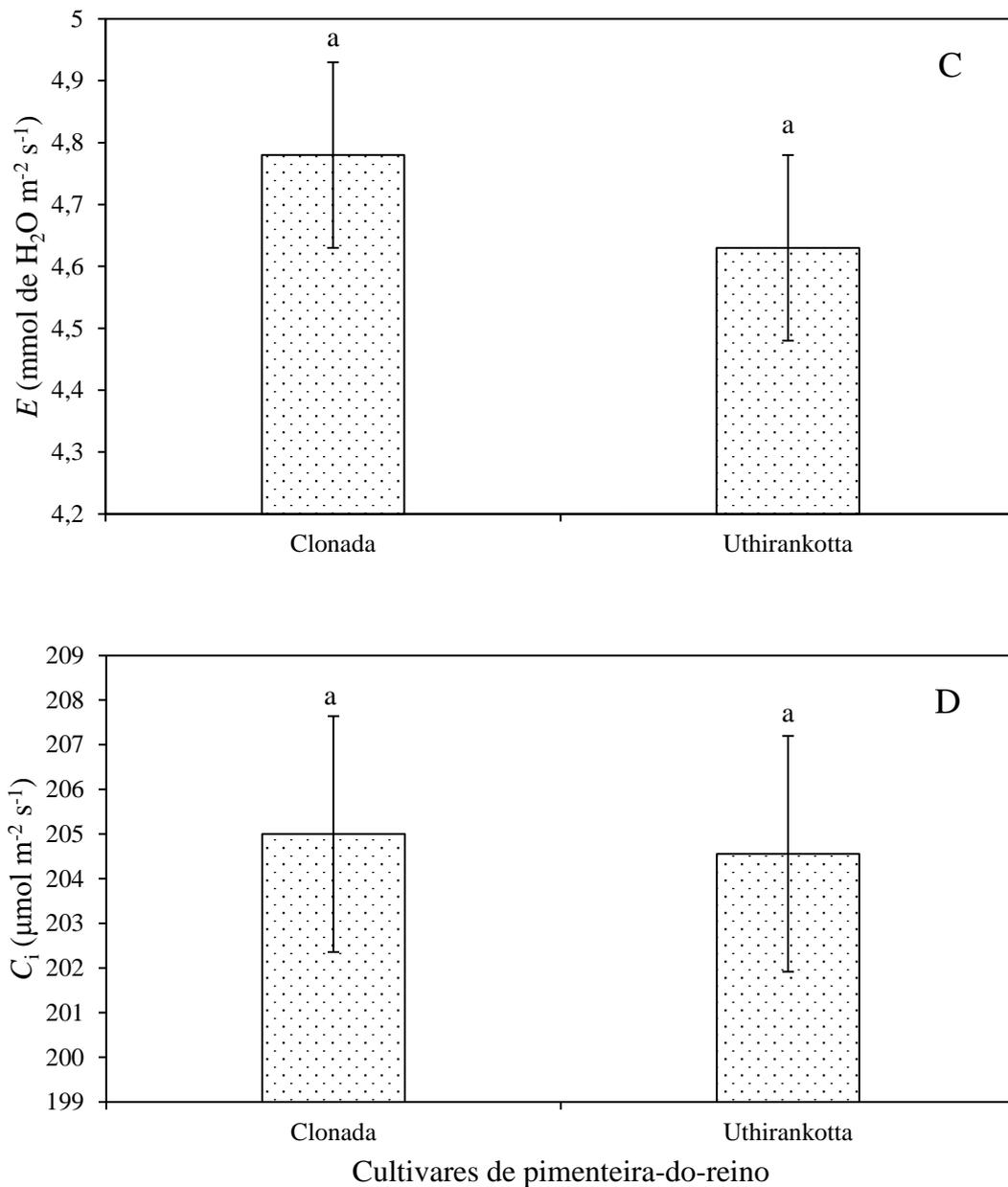
Tabela 10. Resumo da análise de variância para condutância estomática ( $g_s$ ), taxa líquida de assimilação de carbono ( $A$ ), transpiração ( $E$ ) e concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) em cultivares de pimenteira-do-reino, Castanhal-PA, 2022

Fonte de variação	Valores de F			
	$g_s$	$A$	$E$	$C_i$
	mol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	mmol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Bloco	574,78*	8,39*	13,73 <sup>ns</sup>	30,57*
Cultivares	1225,00*	12,18*	0,25 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
CV (%)	0,82	24,27	7,68	3,16

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; não significativo.

Figura 26. Média de condutância estomática ( $g_s$  - A), taxa líquida de assimilação de carbono ( $A$  - B), transpiração ( $E$  - C) e concentração interna de carbono ( $C_i$  - D) nas cultivares de pimenteira-do-reino: Clonada e Uthirankotta





\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

As cultivares Clonada e Uthirankotta, apresentaram uma média de 0,28 e 0,22 mol de  $H_2O$   $m^{-2}$   $s^{-1}$  de condutância estomática, respectivamente (Figura 26A). Esses resultados comprovam que as duas cultivares, sem restrição hídrica, apontam aberturas estomáticas distintas. Esse processo de abertura e fechamento dos estômatos nas cultivares de pimenteira-do-reino, pode estar relacionado com a interceptação de luz e densidade estomática (COSTA; MARENCO, 2007; DALMOLIN, 2013; VASCONCELOS, 2019). Já que os principais fatores que afetam a abertura e fechamento dos estômatos são radiação e condições hídricas.

Lima *et al.* (2010) ao trabalhar com o cajueiro anão precoce, verificaram que independente dessa planta ser de porte baixo, é necessário considerar o que ocorre na parte externa e interna da copa, pois esse fato demonstra que o efeito da luminosidade na condutância estomática foi maior que o efeito da irrigação. O que pode ter ocorrido nas cultivares de pimenta-do-reino, sob o mesmo regime hídrico.

Na Figura 26B, observou-se que a taxa fotossintética seguiu as mesmas respostas, que as cultivares obtiveram, em relação à condutância estomática. A ‘Clonada’ ( $26,67 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) demonstrou uma maior taxa líquida de assimilação de  $\text{CO}_2$  do que a ‘Uthirankotta’ ( $18,81 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

Segundo Raven *et al.* (2014), as plantas C3, em média, apresentam taxas fotossintéticas variando de 10 a  $20 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , o que corrobora ao resultado obtido na ‘Uthirankotta’. Contudo, o resultado verificado pela ‘Clonada’ corrobora com os encontrados por Arantes *et al.* (2016), que verificou taxas de 8,28 até  $27,10 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para a bananeira. Este fato, reforça a necessidade de se estudar o comportamento fisiológico dos genótipos, em ambientes distintos, para poder indicar o melhor manejo a ser realizado.

Segundo Ferreira (2011), a fotossíntese está entre os processos mais sensíveis e responsivos a estresses e, por ter papel central no metabolismo vegetal, é esperado que o aparato fotossintético apresenta elevada capacidade de resposta, ajuste e acoplamento ao ambiente.

Dessa forma, a relação entre fotossíntese e produtividade pode apresentar resultados diferentes entre as espécies ou clones estudados, uma vez que a maior produtividade pode estar relacionada à maior área foliar, ao próprio potencial fotossintético e à eficiência do uso da luz (RYAN *et al.* 2010; RYAN, 2011; OTTO *et al.* 2013), já que planta para se adaptar à disponibilidade de luz disponível durante seu crescimento, necessita promover ajustes no seu aparato fotossintético a fim de adquirir uma maneira eficiente de utilizar a luz disponível (SILVA *et al.* 2007; RUGER *et al.* 2011).

Segundo Habermann *et al.* (2003), a arquitetura da planta determina a quantidade de luz interceptada por unidade de área foliar, o que resulta em baixos índices fotossintéticos em condições de sombreamento. Provavelmente, a arquitetura da ‘Uthirankotta’ e a menor irradiância recebida pelas folhas internas da copa promoveram as reduções nas taxas fotossintéticas em folhas de sombra.

A transpiração ( $E$ ) e a concentração interna de carbono ( $C_i$ ) não diferiram entre as cultivares de pimenta-do-reino (Figura 26C e D). A ‘Clonada’ obteve  $4,78 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $205 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e ‘Uthirankotta’  $4,63 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $204,56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de  $E$  e  $C_i$ ,

respectivamente. Corroboram a esses dados, os resultados encontrados por Lima *et al.* (2003), estudando plantas de cajueiro anão precoce, em diferentes regimes hídricos.

Estudos sobre trocas gasosas são de grande importância, pois permitem estabelecer as relações genótipo x ambiente (TURNER; FORTESCUE; THOMAS, 2007), uma vez que variações no local podem exercer efeitos sobre a velocidade dos processos metabólicos, influenciando no ciclo vegetativo, e na atividade fotossintética e respiratória de uma mesma cultura (MELO *et al.* 2009).

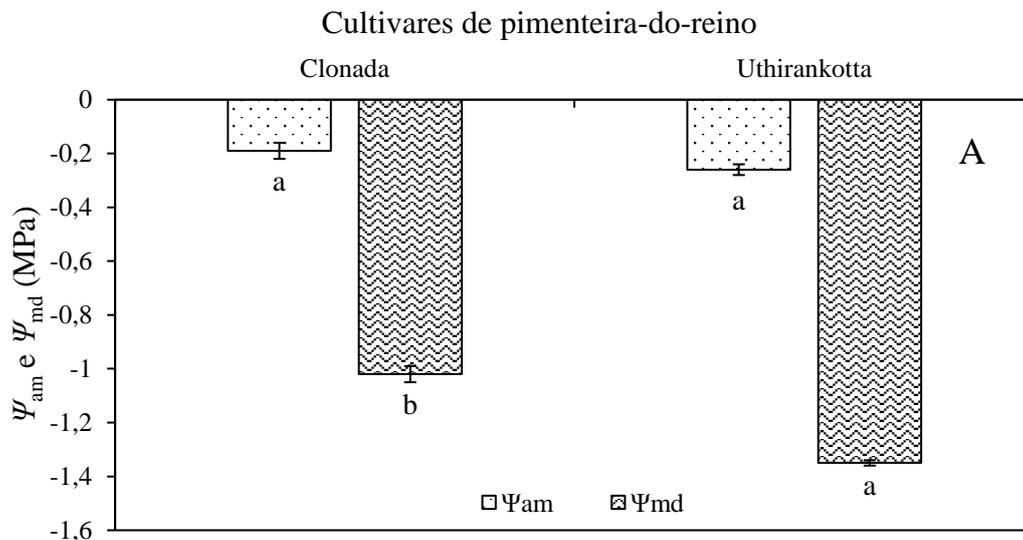
Ao analisar o potencial hídrico antemanhã e ao meio-dia, e condutância hidráulica específica foliar verificou-se que o potencial hídrico ao meio-dia e condutância hidráulica da planta apresentaram diferença estatística a 5% de significância entre as cultivares de pimenta-do-reino (Tabela 11), onde a ‘Uthirankotta’ apresentou maior condutividade hidráulica em relação a ‘Clonada’ (Figura 27A e B).

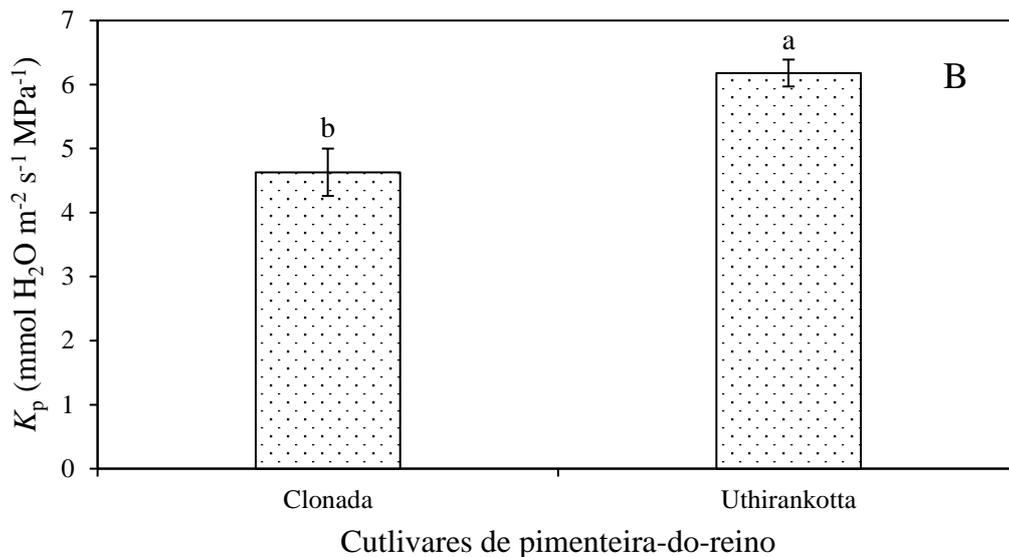
Tabela 11. Resumo da análise de variância para potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{am}$ ), potencial hídrico ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) e condutância hidráulica da planta ( $K_p$ ) em cultivares de pimenta-do-reino, Castanhal-PA, 2022

Fonte de variação	Valores de F		
	$\Psi_{am}$	$\Psi_{md}$	$K_p$
	----- MPa -----	-----	mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> MPa <sup>-1</sup>
Bloco	0,14 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
Cultivares	3,98 <sup>ns</sup>	177,31*	11,13*
CV (C) (%)	23,04	4,57	14,84

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; não significativo.

Figura 27. Média do potencial hídrico antemanhã e ao meio-dia ( $\Psi_{am}$ ,  $\Psi_{md}$  - A) e da condutância hidráulica da planta ( $K_p$  - B) nas cultivares de pimenta-do-reino: Clonada e Uthirankotta





\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Observou-se na Figura 27A que as cultivares não diferiram entre si em relação ao  $\Psi_{am}$  (-0,19 e 0,26 MPa ‘Clonada’ e ‘Uthirankotta’, respectivamente). Todavia em relação ao  $\Psi_{md}$  a ‘Uthirankotta’ (-1,35 MPa) apresentou menor  $\Psi_{md}$  do que a ‘Clonada’ (-1,02 MPa). Corroboraram com esses dados, os resultados encontrados por Ferreira; Gonçalves e Ferraz (2012), avaliando a eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-Amazônia.

Moura *et al.* (2016) ressaltam a importância de avaliar o potencial hídrico foliar no horário da antemã e ao meio-dia, tendo em vista que as avaliações feitas na antemã revelam que o potencial hídrico da planta tende a se igualar ao potencial hídrico do solo, podendo indicar uma estratégia de ajustamento osmótico. Ao meio-dia, os valores do potencial hídrico apresentaram valores mais negativos por ser o horário de maior demanda evaporativa para a espécie, a qual está condicionada à restrição hídrica, conseqüentemente, acentua os efeitos do *déficit* de água no solo, levando a planta a promover uma redução do seu potencial hídrico (GRINÁN *et al.* 2019).

Valor igual ou abaixo de -1,5 MPa no solo, é citado pela literatura, que as plantas entram num processo chamado de murcha permanente (FERREIRA; GONÇALVES; FERRAZ, 2012; MOURA *et al.* 2016; GRINÁN *et al.* 2019). Porém, espécies de plantas jovens de eucalipto e castanheira-da-Amazônia apresentam um alto grau de tolerância à falta de água, podendo chegar a -2,5 MPa (PEREIRA *et al.*, 2007; FERREIRA; GONÇALVES; FERRAZ, 2012).

Com os resultados de  $\Psi_{am}$  e  $\Psi_{md}$ , verificou-se a condutividade hidráulica da planta entre as cultivares de pimenta-do-reino. As cultivares Clonada e Uthirankotta, apresentaram uma média de 4,63 e 6,18 mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> MPa<sup>-1</sup> de condutância hidráulica, respectivamente

(Figura 27B). Comprovando que as duas cultivares, sem restrição hídrica, atuam hidraulicamente diferentes. Esses resultados corroboram com os encontrados por Mauri (2015) estudando oito materiais genéticos de quatro espécies de café.

Segundo Almeida (2017) folhas com alta condutividade hidráulica ( $K_f$ ) podem se beneficiar mais da água estocada, servindo como um tampão de flutuações no potencial hídrico. Dois papéis potenciais: evitação à seca e tampão de flutuações no potencial hídrico. De modo notável, um baixo módulo de elasticidade (alta elasticidade) contribui para o estoque de água e tempo de sobrevivência, por aumentar a capacitância após a perda de turgor (BLACKMAN; BRODRIBB; JORDAN, 2010; BARTLETT *et al.* 2012; BARTLETT; SCOFFONI; SACK, 2012; BARTLETT *et al.* 2014), o que foi característico na ‘Uthirankotta’.

Apesar do significado ecofisiológico das características anatômicas, fisiológicas e hídricas, não há estudo sobre as mesmas em cultivares de pimenta-do-reino. E a capacidade de explorar e compreender as implicações de como essas propriedades estão coordenadas com a estrutura foliar é inexistente.

## 2.5 Conclusões

Foi verificado que as cultivares Clonada e Uthirankotta expressaram um comportamento desigual, uma em relação a outra, no crescimento (AFE e AFT), nas trocas gasosas ( $g_s$  e  $A$ ) e nas relações hídricas ( $\Psi_{pt}$ ,  $\epsilon_v$ ,  $TRA_{ppt}$ ,  $\Psi_{md}$  e  $K_p$ ). No qual a ‘Uthirankotta’ apresentou mecanismo mais tolerante a seca do que a ‘Clonada’, enquanto que a ‘Clonada’ apontou melhor desempenho nas trocas gasosas devido suas características anatômicas (DE, IE e DPE).

## REFERÊNCIAS

ABADE, Mayra Taniely Ribeiro *et al.* Determinação do conteúdo relativo de água em folhas de Girassol (*helianthus annuus* L.). In: VIII Workshop Agroenergia – Matérias Primas, 2014. *Anais...*, 2014, p. 1-5.

ALMEIDA, V. H. M. de. **Características foliares associadas à resistência à seca em um gradiente de perturbação antrópica na Mata Atlântica-SP.** [s.l. ] Instituto de Botânica da Secretaria de Meio Ambiente, 2017.

ANJUM, Shakeel Ahmad *et al.* Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011.

ARANTES, Alexandre de Magalhães *et al.* Gas exchange in diferente varieties of banana prata in semi-arid environments. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 2, e-600, p. 1-12, 2016.

ARAÚJO, Wagner Luiz *et al.* Antisense Inhibition of the Iron-Sulphur Subunit of Succinate Dehydrogenase Enhances Photosynthesis and Growth in Tomato via an Organic Acid-Mediated Effect on Stomatal Aperture. **The Plant Cell**, v. 23, n. 2, p. 600–627, 2011.

BIERAS, A. C.; SAJO, M. G. Leaf structure of the cerrado (Brazilian savana) woody plants. **Trees**, v. 23, p. 451-471, 2009.

BLACKMAN, C. J.; BRODRIBB, T. J.; JORDAN, G. J. Leaf hydraulic vulnerability is related to conduit dimensions and drought resistance across a diverse range of woody angiosperms. **New Phytol.**, v. 188, n. 4, p. 1113– 1123, 2010.

BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Science**, v.15, n. 3, p. 413-428, 1962.

BARTLETT, Megan K. *et al.* Rapid determination of comparative drought tolerance traits: using an osmometer to predict turgor loss point. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 5, p. 880-888, 2012.

BARTLETT, M. K.; SCOFFONI, C.; SACK, L. The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis. **Ecology Letters**, v. 15, n. 5, p. 393-405, 2012.

BARTLETT, Megan K. *et al.* Global analysis of plasticity in turgor loss point, a key drought tolerance trait. **Ecology Letters**, v. 17, n. 12, p. 1580-1590, 2014.

BATISTA, Luiz Antônio *et al.* Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. de A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

BIREAHLS, A.; FERMINO JUNIOR, P. C. P. Plasticidade fenotípica em folhas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista do Instituto Florestal**, v. 32, n. 2, p. 143-157, 2020.

BRODRIBB, Timothy John *et al.* Relations between stomatal closure, leaf turgor and xylem vulnerability in eight tropical dry forest trees. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, p. 443–450, 2003.

CAMARGO, M. A. B.; MARENCO, R. A. Growth, leaf and stomatal traits of crabwood (*Carapa guianensis* Aubl.) in central Amazonia. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 7-16, 2012.

CARDOSO JÚNIOR, Emanuel Queiroz *et al.* **Métodos de preparo de área sobre algumas características físicas do solo e da produção do maracujazeiro (*Passiflora edulis*) no nordeste do Pará.** Embrapa. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 2007.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: estrutura e função dos órgãos vegetativos.** Lavras: UFLA, 2009. 234p.

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

CONTI JUNIOR, J. L. F. **Parâmetros fisiológicos como indicadores de tolerância à seca em clones de *Eucalyptus* spp.** [s.l. ] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2019.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta. Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

CUTTER, E. G. **Anatomia Vegetal Parte II. Órgãos-Experimentos e Interpretação.** Ed. Roca, São Paulo, 1a ed., 335 p. 1986.

DALMOLIN, A. C. **Relações hídricas, trocas gasosas e anatomia foliar de *Vochysia divergens* Pohl., espécie invasora no Pantanal Mato-grossense.** [s.1. ] Universidade Federal de Mato Grosso, 2013.

DING, Yiting *et al.* Pressure-volume curves: revisiting the impact of negative turgor during cell collapse by literature review and simulations for cell micromechanics. **New Phytologist**, v. 203, p. 378 – 387, 2014.

DUARTE, M. L. R. **Cultivo da Pimenta do Reino na Região Norte.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 185p.

DUARTE, Maria de Lourdes Reis *et al.* **Pimenta-do-reino.** Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 82p.

DUAN, M.; YANG, W. C.; MAO, X. M. Effects of water deficit on photosynthetic characteristics of spring wheat under plastic mulching and comparison of light response curve models. **Transactinos of the CSAM**, v. 49, n. 1, p. 219-227, 2018.

FAVARIN, José Laércio *et al.* Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FERREIRA, M. I. **Trocas gasosas, biomassa, teor e composição do óleo essencial de folhas e raízes de *Piper aduncum* L. sob diferentes níveis de luminosidade.** [s.1. ] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2011.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de Castanheira-da-Amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

FRANCO, H. H. S. **Abordagem metodológica envolvendo tensiometria e determinação da curva de retenção de água num solo de textura média.** [s.l. ] Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2015.

GAZOLLA-NETO, Alexandre *et al.* Ação de níveis de luminosidade sobre o crescimento de plantas de maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 1, p. 88-92, 2013.

GOBBI, Kátia Fernanda *et al.* Área foliar específica e anatomia foliar do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436-1444, 2011.

GONÇALVES, José Francisco de Carvalho *et al.* Efeito do ambiente de luz no crescimento de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Scientia Florestalis**, v. 40, n. 95, p. 337-344, 2012.

GOMES, D. G. **Crescimento e produção do amendoim Runner IAC 886 sob diferentes lâminas de irrigação.** [s.l.] Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, 2016.

GRINÁN, Isabel *et al.* Leaf mechanisms involved in the response of *Cydonia oblonga* trees to water stress and recovery. **Agricultural Water Management**, v. 221, p. 66-72, 2019.

GUARDA, V. D.; CAMPOS, L. J. M. **Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem.** Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014. 52p.

HABERMANN, Gustavo *et al.* CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of ‘Pera’ sweet Orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 98, n. 2, p. 79-87, 2003.

HECKLER, J. C. Sorgo e girassol no outono-inverno, em sistema plantio direto, no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 32, n. 3, p. 517-520, 2002.

HOFFMANN, WILLIAM A. *et al.* Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. **Functional Ecology**, v. 19, n. 3, p. 932-940, 2005.

HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. The importance of evolutionary history in studies of plant physiological ecology: examples from cerrados and florests of central Brazil. **Brazilian journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 247-256, 2008.

HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: E. Arnold, 1982. 248 p.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. **Produção Agrícola Municipal, 2020**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12/07/2021.

JACINTO JUNIOR, Silvio Gentil *et al.* Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 413-422, 2019.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: Mcgraw-Hill Book, 1940. 523p.

LANG, Y. *et al.* Experimental and simulated light responses of photosynthesis in leaves of three tree species under diferente soil water conditions. **Photosynthetica**, v. 51, n. 3, p. 370-378, 2013.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 550 p.

LEMOS, O. F.; POLTRONIERI, C. R. Produção de mudas. In: LEMOS, O. F.; TREMACOLDI, C. R.; POLTRONIERI, M. C. **Boas práticas agrícolas para aumento da produtividade e qualidade da pimenta-do-reino no estado do Pará**. 1ª ed. Brasília: Embrapa, p. 13-17, 2014.

LIMA, Juliana Domingues *et al.* Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinioideae). **Acta Amazônia**, v. 38, n. 1, p. 5-10, 2008.

LIMA, Michella de Albuquerque *et al.* Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 654-663, 2010.

LI, Y. L. *et al.* Light-response curve of photosynthesis and model fitting in leaves of *Mangifera indica* under diferente soil water conditions. **Photosynthetica**, v. 57, n. 3, p. 796-803, 2019.

LOBO, Francisco de Almeida *et al.* Fitting Net Photosynthesis Light Response Curves with Microsoft 1 Excel – A Critical Look at the Models. **Photosynthetica**, v. 51, p. 445-456, 2013.

LUCENA, Rafaella Rayane Macedo de *et al.* Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 40-45, 2011.

MACHADO, Aroldo Ferreira Lopes *et al.* Photosynthetic Efficiency and Water Use in Eucalyptus Plants Sprayed with Glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.

MACHADO, Janaine Lopes *et al.* Diferenças nas características estomáticas de genótipos de cafeeiro. *In: IX Simpósio de pesquisa dos Cafés no Brasil, 2015. Anais...*, 2015, p. 1-4.

MAEHLER, André Roberto *et al.* Grain quality of two soybean cultivars as a function of soil water availability and plant arrangement. **Ciência rural**, v. 33, n 2, p. 13-218, 2003.

MAFAKHERI, Abdollah *et al.* Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 8, p. 580-585, 2010.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**, Editora UFV. Viçosa, MG. 2005, 451p.

MARENCO, José Antonio *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *In: MEDEIROS, Salomão de Sousa et al. Eds. Recursos hídricos em regiões áridas e Semiáridas*. Campinas Grande PB: Instituto Nacional do Semiárido, p. 383-416, 2011.

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças. Circular técnica, n. 57, 2008. 15p.

MAURI, R. **Interação entre parâmetros hidráulicos e fotossintéticos em *coffea spp.*** [s.l. ] Universidade Federal de Viçosa, 2015.

MOURA, Adenilda Ribeiro de *et al.* Water relations and organic solutes in Young plants of *Jatropha curcas* L. under different water regimes. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

MELO, Alberto Soares de *et al.* Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p. 733-741, 2009.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v. 59, p. 368-373, 1964.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, E. C. de.; MIGLIORANZA, E. Dimensões e densidade estomática em diferentes variedades de mandioca. **Revista Cultivando o saber**, v. 6, n. 3, p. 193-205, 2013.

OLIVEIRA, J. M.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. Crescimento da bananeira grande naine submetida a diferentes lâminas de irrigação em tabuleiro costeiro. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1038-1046, 2013.

OLIVEIRA, R. R.; PASIN, L. A. A. P. Ocorrência de oxalato de cálcio em diferentes espécies vegetais de uso ornamental. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 41-52, 2017.

OLIVEIRA, R. F.; NAKAYAMA, L. H. I. Pimenta-do-reino. In: CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. 1ª ed. Bélem. p. 175-178, 2007.

OLIVEIRA, J. A. M.; OLIVEIRA, C. M. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos – MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3021-3027, 2018.

OLIVEIRA, Raimundo Freire de *et al.* Pimenta-do-reino. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. 2ª ed. Revisada e atualizada. Brasília. p. 283-286, 2020.

OTTO, Marina Shinkai Gentil *et al.* Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 431-439, 2013.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. **Evapotranspiração**. Campinas: Fundag, 2013. 323 p.

PEREIRA, Maria Renata Rocha *et al.* Influência de diferentes condições de solo no desenvolvimento de plantas de *Eucalyptus urograndis* submetidas a déficit hídrico. **Irriga**, v. 12, n. 4, p. 519-530, 2007.

PINHEIRO, Luiz Felipe Souza *et al.* Diferenças anatômicas foliares e área foliar específica em espécies nativas do cerrado e da mata de galeria. In: 64º Congresso Nacional de Botânica, 2013. **Anais...**, 2013, p. 1.

RAVEN, Peter Hamilton *et al.* **Biologia vegetal**. 8.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2014. 855p.

REDDY, V. R. *et al.* Seasonal leaf area-leaf weight relationship in the cotton canopy. **Agronomy Journal**, p. 81, v. 1-4, 1989.

RHOADS, F. M.; BLOODWORTH, M. E. Area measurement of cotton leaves by a dry-weight method, **Agronomy Journal**, v. 56, p. 520-522, 1964.

RIBEIRO, Rafael Vasconcelos *et al.* Photosynthesis and water relations of well-watered orange plants as affected by winter and summer conditions. **Photosynthetica**, v. 47, p. 215–222, 2009.

RICHARDS, L. A. A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, v. 51, p. 377-386, 1941.

RUGER, Nadja *et al.* Growth Strategies of Tropical Tree Species: Disentangling Light and Size Effects. **Plos One**, v. 6, n. 9, p. 1-10, 2011.

RYAN, Michael G. *et al.* Factors controlling Eucalyptus productivity: how water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1695-1703, 2010.

RYAN, M. G. Tree responses to drought. **Tree Physiology**, v. 31, n. 3, p. 237-239, 2011.

SANTOS, Helane Cristina Aguiar *et al.* Bell pepper development and water potential as affected by soil water tensions and nitrogen doses. **Journal of Agricultural Studies**, v.8, n.2, p. 574-589, 2020.

SANTOS, Maria de Fátima *et al.* Análise estomática em folhas de *Siparuna guianensis* Aubl. (Siparunaceae). **Research, Society and Development**, v.11, n.1, p. 1-9, 2022.

SCHOLANDER, Per Fredrik *et al.* Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v. 148, p.339-346, 1965.

SILVA, Antonio Carlos da *et al.* Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1215-1221, 2011.

SILVA, Rubens Ribeiro da *et al.* Desenvolvimento inicial de plântulas de *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum sob influência de sombreamento. **Acta Amazonica**, v.37, n. 3, p. 365-370, 2007.

SIMON, Noriane M. L. *et al.* Altered stomatal patterning accompanies a trichome dimorphism in a natural population of *Arabidopsis*. **Plant Direct**, v. 4, n. 9, p. 1-6, 2020.

SOBRADO, M A. Leaf tissue water relations and hydraulic properties of sclerophyllous vegetation on white sands of the upper Rio Negro in the Amazon region. **Journal of Tropical Ecology**, v.25, n. 3, p. 271–280, 2009.

SOUZA, Everaldo Barreiros de *et al.* Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 81-93, 2017.

SOUZA, Marcelo Sobreira de *et al.* Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v.42, n. 2, p. 241-245, 2012.

TAIZ, Lincoln *et al.* **Fisiologia Vegetal**, 6<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 918p.

TELES, G. C. **Avaliação fisiológica e crescimento de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.) com diferentes lâminas de irrigação**. [s.1. ] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2020.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Laboratory of Climatology, Centerton, NJ, USA, 1955. 104p.

TURNER, D. W.; FORTESCUE, J. A.; THOMAS, D. S. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.19, n. 4, p.463-484, 2007.

TYREE, M. T.; JARVIS, P. G. **Water in tissues and cells**. In: LANGE, Otto L *et al.* eds. *Physiological plant ecology II*. Heidelberg, Berlin, Germany: Springer, p. 35–77, 1982.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VASCONCELOS, O. R. **Densidade estomática de duas espécies florestais: *Adenanthera pavonina* L. e *Hevea brasiliensis* Muell Arg.** [s.1. ] Universidade do Estado do Amazonas, 2019.

VIEIRA, Gustavo Haddad Souza *et al.* Eficiência de irrigação em cafeeiros conilon na região Centro Serrana do Espírito Santo. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 3, p. 22-34, 2020.

VILLA NOVA, Nilson Augusto *et al.* Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, v. 61, n. 1, p. 81-88, 2002.

XIA, J. B. *et al.* Effect of soil water availability on photosynthesis in *Ziziphus jujube* var. *spinosa* in a sand habitat formed from seashells: comparison of four models. **Photosynthetica**, v. 52, p. 253-261, 2014.

WANG, H. Z. *et al.* Simulated photosynthetic responses of *Populus euphratica* during drought stress using light-response models. **Acta Ecologica Sinica**, v. 37, n. 7, p. 2315-2324, 2017.

YE, Z. P.; YU, Q. Comparison of new and several classical models of photosynthesis in response to irradiance. **Chinese Journal of Plant Ecology**, v. 32, n. 5, p. 1356-1361, 2008.

YIN, Xinyou *et al.* Using combined measurements of gas exchange and chlorophyll fluorescence to estimate parameters of a biochemical C<sub>3</sub> photosynthesis model: a critical appraisal and a new integrated approach applied to leaves in a wheat (*Triticum aestivum*) canopy. **Plant Cell Environ**, v. 32, n. 5, p. 448-464, 2009.

### 3 TROCAS GASOSAS E POTENCIAL HÍDRICO EM CULTIVARES DE PIMENTA-DO-REINO SOB TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO

**RESUMO:** A pimenteira-do-reino é uma planta trepadeira de grande importância para a agricultura familiar e uma das mais valorizadas especiarias do mundo, com grande valor econômico, permitindo que a atividade desenvolvida pelos pipericultores seja altamente rentável. Por ser um produto de exportação, é necessário estudar e investigar as melhores condições para o uso correto da água e entender como o déficit hídrico afeta o desenvolvimento dessa cultura. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar trocas gasosas e *status* hídrico de cultivares de pimenteira-do-reino em condições de estresse hídrico. O experimento foi conduzido na área da Empresa de Produtos Tropicais de Castanhal LTDA (TROPOC) localizada no município de Castanhal – PA. O delineamento experimental é em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial em parcelas subdivididas, 5 x 2, sendo utilizado 10 tratamentos e três repetições. Cada parcela foi constituída por dezesseis plantas, em fileira dupla, com espaçamento de 4,0 x 2,20 x 2,20 m entre plantas. Os tratamentos são constituídos por cinco tensões de água no solo (15, 25, 35, 45 e 55 kPa) como indicativo do momento de irrigar – tensão crítica, e duas cultivares de pimenteira-do-reino (Clonada e Uthirankotta). As características avaliadas foram: condutância estomática, taxa fotossintética, transpiração, concentração interna de carbono, relação  $C_i/C_a$ , eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ ), potencial hídrico antemanhã e potencial hídrico ao meio-dia. Para as variáveis condutância estomática, taxa fotossintética e concentração interna de carbono houve interação entre cultivares e período de avaliação. Para as duas últimas variáveis e potencial hídrico antemanhã houve interação entre tensões de água no solo e período de avaliação. Relação  $C_i/C_a$  e eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ ) houve interação entre tensões de água no solo, cultivares e período de avaliação. A transpiração mostrou diferença significativa entre as tensões de água no solo, cultivares e período de avaliação de forma independente. O potencial hídrico ao meio-dia apresentou diferença significativa entre as tensões de água no solo e cultivares. Observou-se, que ocorreu limitação no desempenho fotossintético nas cultivares de pimenta-do-reino, principalmente para a cultivar clonada por demonstrar ser sensível ao déficit hídrico. O estresse provocado pelas tensões de água no solo diminuiu a taxa fotossintética e transpiração ao longo do período avaliado, os quais estiveram associados à redução da condutância estomática. A *uthirankotta* foi a cultivar que expressou melhores respostas fisiológicas e *status* hídrico sob as tensões de água no solo.

**Palavras-chave:** clonada, condutância estomática, fotossíntese, uthirankotta, tensiometria.

**ABSTRACT:** Pepper is a highly productive vine and one of the most valued spices in the world, with significant economic importance for pipericulturists. Since it is an export commodity, it is crucial to investigate the optimal water conditions for its growth and development and how water deficit affects this crop. Therefore, this study aimed to evaluate the gas exchange and water status of black pepper cultivars under water stress conditions. The experiment was conducted at the Tropical Products Company of Castanhal Ltda (TROPOC) area, located in the municipality of Castanhal, PA. The experiment set up was in a randomized complete blocks design (RCBD), in a factorial split plots scheme of 5 x 2, using 10 treatments and three repetitions. Each arrangement consisted of sixteen plants, in a double row, with a spacing of 2.2 x 2.2 m between plants. The treatments comprised five soil water tensions (15, 25, 35, 45 and 55 kPa) - as a limit to open and close irrigation system, and two black pepper cultivars ('Cloned' and 'Uthirankotta'). The study evaluated several characteristics, including stomatal conductance, photosynthetic rate, transpiration, internal carbon concentration,  $C_i/C_a$  ratio, water use efficiency ( $A/E$ ), and both predawn and midday water potential. There was an interaction between cultivars and the evaluation period for the variables of stomatal conductance, photosynthetic rate, and internal carbon concentration. For the last two variables and water potential, there was an interaction between soil water tensions, cultivars, and evaluation period. Additionally, there was an interaction between soil water tensions, cultivars, and the evaluation period for  $C_i/C_a$  ratio and water use efficiency ( $A/E$ ). Transpiration exhibited a significant difference between soil water tensions, and cultivars, regardless of evaluation periods. The water potential at midday showed a significant difference between soil water tensions and cultivars. Conversely, a limitation on photosynthetic performance in both black pepper cultivars was observed, especially in 'Cloned', which showed to be more responsive to water deficit. The stress caused by soil water stresses decreased photosynthetic rate and transpiration over the evaluated timeframe, which were associated to decreases in stomatal conductance. Finally, 'Uthirankotta' expressed better physiological responses and water status under soil-water tensions.

**Keywords:** cloned, stomatal conductance, photosynthesis, tensiometry.

### 3.1 Introdução

A pimenteira-do-reino é uma cultura economicamente importante no Brasil, cultivada em mais de cem cidades e com produção total de 114.749 toneladas e 37.345 hectares de área colhida em 2020 (IBGE, 2021). Também tem importância econômica e social, visto que é um produto de exportação, sendo necessário se conhecer a morfologia e a fisiologia da pimenta-do-reino, estudar e investigar as melhores condições para o uso correto da água e entender como o déficit hídrico afeta o desenvolvimento dessa cultura (TELES, 2020).

A exploração de pimenteira-do-reino é, em sua grande maioria, realizada em condições de sequeiro, sendo a deficiência hídrica um dos fatores mais limitantes à produção. O déficit hídrico é produzido quando a absorção de água pelas raízes é insuficiente para atender a demanda transpiratória da planta. Segundo Duarte (2004), a ocorrência de deficiência hídrica durante os estádios de floração e “pegamento” dos frutos provoca queda das inflorescências e abortamento dos frutos, reduzindo a produtividade nas plantas de pimenta-do-reino.

O consumo de água de uma cultura depende diretamente da demanda energética atmosférica, do conteúdo de água no solo e da resistência da planta à perda de água para a atmosfera (CAMPOS *et al.* 2008; OLIVEIRA; OLIVERIA, 2018). No que se refere ao manejo da irrigação, a base para a quantificação da água a ser aplicada a determinada cultura, está associada à capacidade da superfície do solo e da vegetação de perder água para a atmosfera (SILVA *et al.* 2011).

Tolerância das plantas à seca, claramente, não é uma característica simples, mas uma característica onde mecanismos trabalham isoladamente ou em conjunto para evitar ou tolerar períodos de déficit hídrico (BIANCHI; GERMINO; SILVA, 2016). Compreender como esses eventos são e como interagem entre si é essencial no entendimento do desenvolvimento de determinada cultura.

A relação do potencial hídrico associado com variáveis das trocas gasosas é importante, pois são diretamente influenciados pelo estado de umidade do solo (CRUZ *et al.* 2007), que para Isminio (2016), essa relação torna-se interessante por permitir indicar a que valores de potenciais os estômatos tendem a fechar para evitar perda de água pela transpiração e também por indicar os valores de potenciais associados com a redução drástica da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, que afeta em grande proporção a produção de biomassa. Estas informações são relevantes no cultivo de pimenta-do-reino em decorrência da duração e intensidade do déficit hídrico para recomendações e tomada de decisão ao manejo da irrigação.

A avaliação das trocas gasosas e do estado hídrico em cultivares de pimenta-do-reino poderá indicar qual cultivar é capaz de manter um balanço hídrico e de carbono mais favoráveis

durante a estiagem de verão do nordeste paraense, quando o estresse causado pela falta de água no solo, pode ser ainda mais desfavorável devido à maior irradiância.

Embora essas informações sejam oferecidas na literatura de forma bem generalizada, não são encontrados registros de estudos envolvendo as trocas gasosas e relações hídricas com a pimenta-do-reino. Fazem-se necessárias pesquisas, não apenas como esta, mas com outras espécies que ofereçam valor econômico para a região.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar trocas gasosas e *status* hídrico de cultivares de pimenteira-do-reino em condições de estresse hídrico.

### 3.2 Material e Métodos

A metodologia utilizada para caracterização da área, delineamento experimental, instalação e condução do trabalho, foi a mesma do capítulo anterior.

#### 3.2.1 Características avaliadas

- Parâmetros de trocas gasosas

Os parâmetros de trocas gasosas foram determinados através do analisador de gases por infravermelho (IRGA) - LCpro-SD, ADC BioScientific Ltd, Alemanha (Figura 1). As análises pontuais de trocas gasosas, incluindo a taxa fotossintética ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), concentração interna de dióxido de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ),  $C_i/C_a$  e relação  $A/E$  (eficiência instantânea do uso da água) foram medidas após 2 h de iluminação durante o período de luz sob radiação fotossinteticamente ativa (RFA) de  $1000 \mu\text{mol}$  (fótons)  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 400 ppm de  $\text{CO}_2$  a nível foliar (YIN *et al.* 2009). As análises foram realizadas na terceira a quarta folha totalmente expandida do décimo segundo ramo a partir da base, a cada 40 dias após o início da diferenciação dos tratamentos.

Figura 1. Análise de trocas gasosas com uso do IRGA



Fonte: Santos (2022)

- Potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) e potencial hídrico ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ )

Para o acompanhamento da disponibilidade hídrica no solo foi realizada medidas de potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) e ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) utilizando-se a câmara de pressão de Scholander (SCHOLANDER *et al.* 1965), modelo M 1505D (Pressure Chamber Instruments, PMS) em folhas sadias totalmente expandidas (SANTOS *et al.* 2020) selecionando-se duas plantas de cada tratamento, totalizando 60 folhas analisadas, nas quais foram escolhidas e padronizadas entre 3ª a 4ª folha com limbo totalmente expandido, correspondente ao 12º ramo plagiotrópico da cultura. O  $\Psi_{am}$  foi avaliado a cada 40 dias após a diferenciação dos tratamentos, entre as 2:30 a 05:30 h e o  $\Psi_{md}$  aos 120 dias após a diferenciação dos tratamentos, entre as 12:00 a 15:00 h (Figura 2).

Figura 2. Avaliação do potencial hídrico com uso da bomba de Scholander



Fonte: Santos (2022)

Foi verificada a homocedasticidade e normalidade dos dados. Em seguida submetidos à análise de variância e quando significativo, foi aplicado teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Para a estatística dos dados, foi utilizado o programa AgroEstat 1.1.0.712.

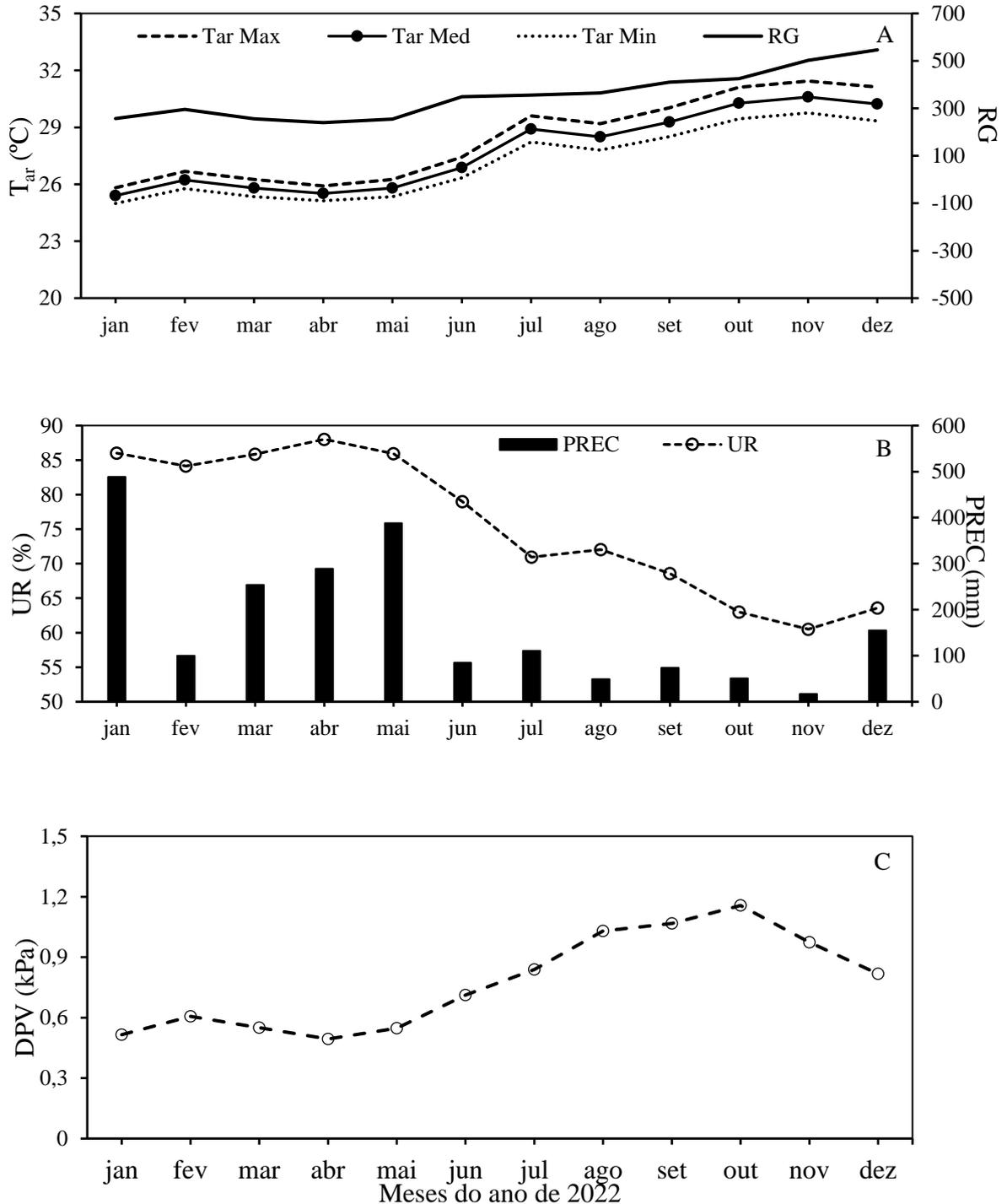
### 3.3 Resultados e discussão

#### 3.3.1 Características climáticas e manejo da irrigação

Para acompanhamento das variáveis meteorológicas, foram utilizados os dados na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET da estação automática A202, localizada no município de Castanhal, PA, aproximadamente a 30 km de distância da área experimental.

As variações observadas de temperatura, radiação global, umidade relativa do ar, precipitação e déficit de pressão de vapor durante as avaliações fisiológicas e do *status* hídrico das cultivares de pimenteira-do-reino, são apresentadas abaixo (Figura 3A, B e C).

Figura 3. Médias de temperatura ( $T_{ar}$  Max,  $T_{ar}$  Med e  $T_{ar}$  Min – A), radiação global (RG – A), umidade relativa do ar (UR – B), precipitação (PREC – B) e déficit de pressão de vapor (DPV – C) obtidas durante o ano de 2022



No ano de 2022 verificou-se que a média da temperatura mínima e máxima observada foi de 27,17 e 28,0 °C respectivamente (Figura 3A), dentro dos valores considerados ideais para o desenvolvimento e a produção da cultura da pimenteira-do-reino que, de acordo com Duarte (2004) e Duarte *et al.* (2006), as temperaturas ótimas devem estar entre 23 e 28°C, pois temperaturas elevadas tornam o pólen inviável. Contudo, os meses de julho a dezembro foram os que apresentaram temperaturas mais elevadas.

Ainda, segundo esses autores, a insolação, como reflexo da radiação solar, é considerada elemento climático de extrema importância na produção agrícola, visto que insolação e radiação solar estão associadas a produtividade das plantas pelo processo da fotossíntese, transpiração, floração e maturação dos frutos. No presente trabalho, verificou no ano de 2022 uma radiação solar média de 355 W/m<sup>2</sup> com maiores radiações entre os meses de junho a dezembro (Figura 3A).

A média da umidade relativa do ar foi de 75,6 % (Figura 3B). Observou-se aumento da umidade sempre que a temperatura diminuía. Os valores médios de umidade analisados entre os meses de janeiro a dezembro, situaram-se dentro da faixa considerada ideal para a cultura. Segundo Duarte (2004) e Duarte *et al.* (2006), a umidade relativa do ar abaixo de 60% pode ser prejudicial à maioria das plantas, por aumentar a taxa de transpiração. Acima de 90%, reduz a absorção de nutrientes, por causa da redução da transpiração, além de favorecer a propagação de doenças fúngicas. No entanto, no caso específico da pimenteira-do-reino, a umidade relativa do ar abaixo de 80% causa desidratação e morte dos grãos de pólen, reduzindo a produção.

Em relação a precipitação ocorrida durante o ano de 2022, observou-se que houve uma precipitação anual de 2.061 mm. Porém, esse total de precipitação se concentrou nos primeiros meses do ano, onde as maiores precipitações ocorreram nos meses de janeiro (489 mm), abril (289 mm) e maio (388 mm), e as menores nos meses de agosto (49 mm), setembro (74 mm) e outubro (51 mm) e novembro (17 mm) (Figura 3B). Sendo um elemento climático de fundamental importância para as plantas, pois a água da chuva é essencial para o crescimento e desempenha importante papel na fotossíntese e, portanto, na produção. Essa importância se torna maior nas regiões tropicais úmidas e na Amazônia porque, o elemento regulador da agricultura é a chuva, dada a sua função na disponibilidade de água durante o ano (DUARTE, 2004).

Para Duarte (2004), os meses de outubro e novembro são apropriados para realização da irrigação para a pimenteira-do-reino em Castanhal. Porém, para as condições deste experimento, verifica-se que estes meses podem variar (junho a novembro) (Figura 3B), principalmente quando sofrem efeito do fenômeno La Niña, como foi o caso de 2021/2022.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM)<sup>3</sup>, La Niña está acontecendo pelo segundo ano consultivo e deve durar até o primeiro semestre de 2023, sendo mais ameno do que em relação a 2021/2022.

Neste trabalho, observa-se que nos meses de junho a novembro a precipitação ficou abaixo de 150 mm, havendo necessidade de complemento de água para a cultura da pimenteira-do-reino que é exigente em bom suprimento de água, principalmente durante o florescimento e a frutificação, havendo assim a necessidade de manter o solo com adequada umidade para se evitar queda na produção. Essas oscilações no clima ao longo dos anos influenciam no desenvolvimento das culturas e na sua resposta final na produção, como no estudo de Pereira *et al.* (2012) com a cana de açúcar, observaram a correlação direta das altas ou baixas produções com os volumes de chuva nos anos, demonstrando a importância de estudos com diferentes culturas, principalmente na região Amazônica com culturas ainda poucos estudadas, como o caso da pimenteira-do-reino.

Verificou-se que o déficit de pressão de vapor (DPV) variou de 0,52 a 1,16 kPa (Figura 3C), demonstrando maiores valores de DPV entre os meses de julho a dezembro, culminando com os menores valores de UR e maiores RG. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (2003).

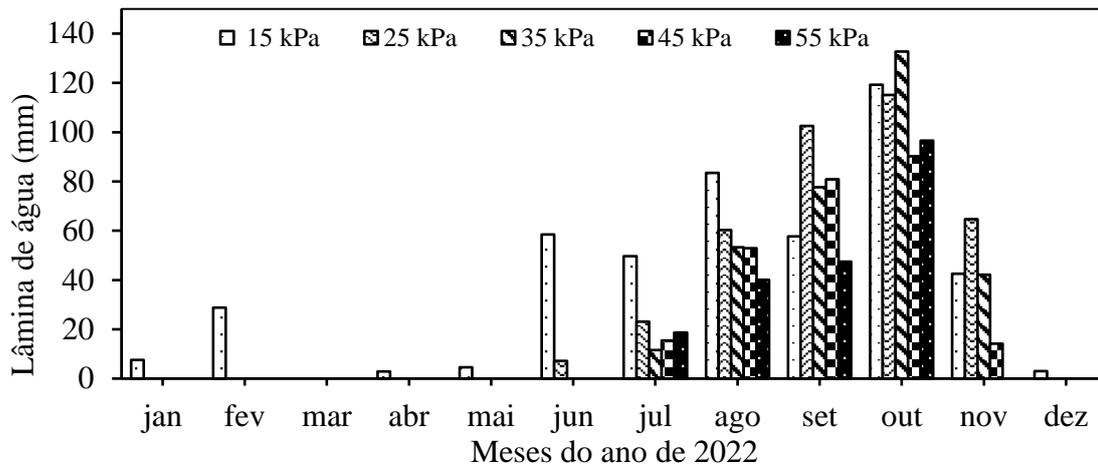
Fatores como temperatura do ar, déficit de pressão de vapor, concentração de CO<sub>2</sub> e potencial de água no solo influenciam diretamente na resistência estomática dos vegetais, pois com o aumento da UR diminui a transpiração das plantas devido à diminuição do gradiente de concentração de vapor entre a cavidade estomática e o ar adjacente à folha, mediada pela redução do déficit de saturação do ar (SILVA *et al.* 2003; COSTA; MARENCO, 2007; OLIVEIRA, 2019). Desse modo, o DPV pode ser utilizado para prever algumas respostas fisiológicas como a taxa fotossintética e condutância estomática.

O monitoramento das tensões de água no solo, foram realizadas diariamente de janeiro a dezembro de 2022. Contudo, a diferenciação dos tratamentos (15, 25, 35, 45 e 55 kPa), só iniciaram na segunda quinzena de junho, com o início da diminuição das chuvas (Figura 4).

---

<sup>3</sup> <https://news.un.org/pt/story/2020/12/1737002>; <https://news.un.org/pt/story/2021/12/1772152>

Figura 4. Lâminas de água por irrigação no experimento durante o ano de 2022



A partir da análise dos dados, percebe-se que nos primeiros 5 meses de monitoramento, apenas os tratamentos submetidos à tensão crítica de 15 kPa foram irrigados, devido à tensão de 15 kPa ser mais próxima da capacidade de campo (10 kPa) e em razão do solo da área experimental apresentar baixa retenção de água.

O manejo da irrigação na tensão de 15 kPa, apresenta as características recomendadas pela literatura (ZONTA *et al.* 2016; BERNARDO *et al.* 2019), que recomenda a tensão entre 10 e 15 kPa para solos arenosos. Pois, para cada tipo de solo há um volume de reservatório de água para as plantas. Solos arenosos com macroporosidade elevada reterão pequena quantidade de água, implicando, portanto, em irrigações com maior frequência. Entretanto, em solos argilosos com microporosidade elevada deverão armazenar uma maior quantidade de água, implicando em maiores intervalos entre as irrigações (SAAD; LIBARDI, 1992; 1994).

A Tabela 1 informa as lâminas aplicadas de irrigação (Irrig.), precipitação ocorrida (Prec.), lâmina total aplicada (Total), número de irrigações realizadas (NI), turno de rega (TR) e demanda hídrica diária (DH), durante os 168 dias de diferenciação das tensões de água no solo.

Tabela 1. Resumo do manejo de irrigação para a pimenteira-do-reino no município de Castanhal-Pa, com as lâminas aplicadas de irrigação (Irrig.), precipitação ocorrida no período avaliado (Prec.), lâmina total aplicada (Total), número de irrigações realizadas (NI), turno de rega (TR) e demanda hídrica diária (DH)

Tensão kPa	Irrig. mm	Prec. mm	Total mm	NI (unid.)	TR (dia)	DH (mm dia <sup>-1</sup> )
15	411,17	385,8	795,97	88	2	2,45
25	372,88	385,8	758,68	32	5	2,22
35	328,83	385,8	714,63	24	7	1,96
45	238,30	385,8	624,10	16	11	1,42
55	202,74	385,8	588,54	10	17	1,21

As lâminas aplicadas nas diferentes tensões de água no solo, apresentarem uma média de 4,7 mm (15 kPa); 11,6 mm (25 kPa); 13,7 mm (35 kPa); 14,9 mm (45 kPa) e 20,3 mm (55 kPa), que correspondem a 4,3; 10,7; 12,6; 13,7 e 18,7 L planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Os dados demonstram que as plantas submetidas a tensão de 15 kPa foram submetidas as menores lâminas de água por aplicação (4,7 mm ou 4,3 L planta<sup>-1</sup>), maior frequência de irrigação (88 unid.), maior lâmina de irrigação (411,17 mm) e maior demanda hídrica diária (2,45 mm dia<sup>-1</sup>).

Segundo Marouelli *et al.* (2011), medidas de tensão podem ser utilizadas para avaliar indiretamente a deficiência hídrica nas plantas, pois a taxa de transpiração é controlada, dentro de certos limites, pelo próprio solo. Pois, à medida que o conteúdo de água no solo decresce, a planta tem de reduzir seu potencial de água nas células de absorção, procurando manter um fluxo hídrico na quantidade requerida para satisfazer suas necessidades. A planta realiza esse feito, produzindo solutos, como os ácidos orgânicos, que diminuem o potencial osmótico da célula e com isso mantém o gradiente de potencial na magnitude necessária para garantir o suprimento de água desejado.

Por este motivo, informações sobre o teor de água do solo existente na zona radicular das plantas, bem como sobre a energia com que a água está retida no solo, têm sido uma das estratégias mais utilizadas para definição do momento de irrigar, uma vez que os indicadores com base no solo possibilitam determinar, além do momento da irrigação, a quantidade de água a ser aplicada por irrigação (MAROUELLI *et al.* 2011; CATEN, 2013).

### 3.3.2 Trocas gasosas e relações hídricas

Em 2022, as variáveis de trocas gasosas e potencial hídrico antemanhã foram analisadas aos 40, 80, 120 e 160 dias após a diferenciação dos tratamentos. As relações  $A/E$  e  $C_i/C_a$  apresentaram interação entre as tensões de água no solo, cultivares e período de avaliações. A condutância estomática ( $g_s$ ), taxa fotossintética ( $A$ ) e concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ )

mostraram interação entre cultivares e período de avaliações. A taxa líquida de assimilação de carbono ( $A$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) e potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) expressaram interação entre tensões de água no solo e período de avaliações. Este último, também apresentou interação entre tensões de água no solo e cultivares. Já a transpiração ( $E$ ) mostrou diferença significativa entre as tensões de água no solo, cultivares e período de avaliações independentes, e todas as variáveis foram analisadas ao nível de 5% de significância (Tabela 2).

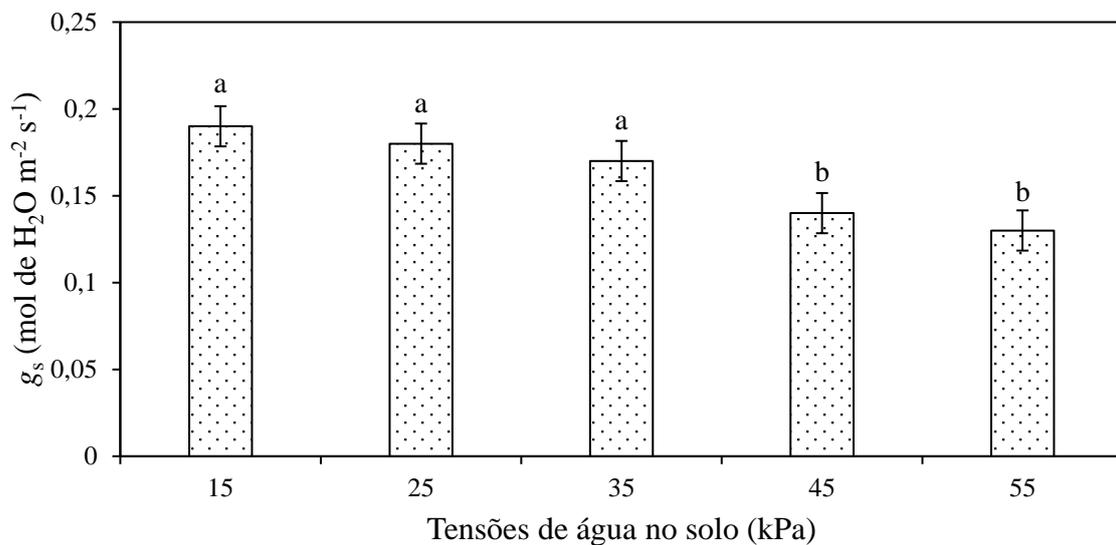
Tabela 2. Resumo da análise de variância para condutância estomática ( $g_s$ ), taxa fotossintética ( $A$ ), transpiração ( $E$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ), relação  $C_i/C_a$ , Eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ ) e potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) em cultivares de pimenteira-do-reino sob tensões de água no solo, Castanhal-PA, 2022

Fonte de variação	Valores de F						
	$g_s$ mol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$A$ $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$E$ mmol de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$C_i$ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$C_i/C_a$	$A/E$ $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mmol de H}_2\text{O}^{-1}$	$\Psi_{am}$ MPa
Bloco	1,72 <sup>ns</sup>	5,46*	2,07 <sup>ns</sup>	2,59 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	11,39*
Tensão (T)	7,17*	5,77*	4,53*	0,83 <sup>ns</sup>	4,14 <sup>ns</sup>	8,20*	5,83*
Cultivares (C)	28,03*	40,55*	41,37*	0,66 <sup>ns</sup>	3,32 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	7,01*
Interação T x C	1,12 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	2,00 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	6,98*	4,58*	4,38*
Período de avaliações (P)	108,94*	129,87*	99,08*	16,13*	7,39*	122,06*	40,87*
Interação T x P	1,37 <sup>ns</sup>	2,10*	0,89 <sup>ns</sup>	2,87*	4,04*	19,78*	2,42*
Interação C x P	5,17*	5,98*	2,71 <sup>ns</sup>	4,12*	3,99*	3,14*	1,53 <sup>ns</sup>
Interação T x C x P	0,51 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	8,20*	2,54*	1,25 <sup>ns</sup>
CV (T) (%)	27,58	23,83	28,67	19,68	5,92	7,91	11,27
CV (C) (%)	27,81	21,95	13,75	14,16	6,21	9,06	17,37
CV (P) (%)	26,44	23,65	21,33	11,73	6,89	10,42	23,05

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; não significativo.

Verificou-se que a condutância estomática foi influenciada pelas tensões de água no solo. Ao analisar o efeito das tensões de água no solo nas cultivares de pimenteira-do-reino, constatou-se significância estatística ( $p < 0,05$ ) (Figura 5).

Figura 5. Efeito das tensões de água no solo na condutância estomática ( $g_s$ ) para as duas cultivares de pimenteira-do-reino aos 40, 80, 120 e 160 dias de diferenciação dos tratamentos



\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

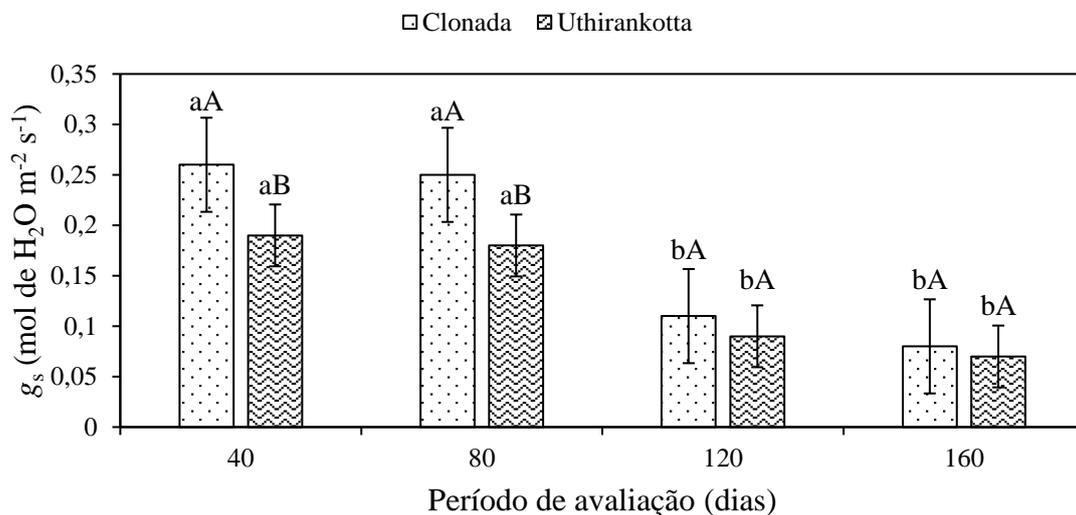
Observou-se que a condutância estomática não apresentou diferença significativa entre as tensões 15, 25 e 35 kPa (0,19; 0,18 e 0,17 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente), descrevendo nitidamente que a pimenteira-do-reino manteve a mesma abertura estomática até uma certa umidade de solo, após realizou o ajustamento estomático como estratégia para evitar a seca e minimizar os danos (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009), visto que neste processo ocorre o acúmulo de íons inorgânicos e solutos de baixo peso molecular que reduzem o potencial osmótico dos tecidos e minimizam a perda de água (SILVA *et al.* 2003; GUERFEL *et al.* 2009), fazendo com que a atividade metabólica do tecido seja sustentada (YAZAKI *et al.* 2010).

Notou-se que com o aumento de estresse hídrico houve fechamento parcial dos estômatos (0,14 e 0,13 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> nas tensões 45 e 55 kPa, respectivamente), de 28% no ajustamento, quando se compara os valores das tensões de 15 e 55 kPa. É um fenômeno comum relacionado a plantas que estão submetidas ao déficit hídrico, que para Oliveira, Fernandes e Rodrigues (2005) pode ser utilizado como indicador da deficiência de água. Resultados semelhantes também foram obtidos por Santos, Martinez e Donato (2013) em mangueira, Chaves (2015) em cana-de-açúcar, Viana (2015) em açazeiro e Arantes *et al.* (2016) em bananeira sob restrição hídrica, corroborando aos encontrados no presente trabalho.

As cultivares Clonada e Uthirankotta, apresentaram uma média de 0,18 e 0,13 mol de  $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de condutância estomática ao longo das avaliações, respectivamente. Percebe-se que até 160 dias de limitação hídrica, as duas cultivares diminuíram a abertura estomática. O que para Silva *et al.* (2015) está intimamente relacionado às alterações no desempenho vegetal induzindo a mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, as quais podem ser reversíveis, em princípio, mas podem se tornar permanentes em situações drásticas que dependerá do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (PIERRE *et al.* 2012; SILVA *et al.* 2015).

Na interação entre as cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação, observou-se significância estatística ( $p < 0,05$ ) para a condutância estomática. Ao analisar a influência do período na mesma cultivar, houve diferença estatística entre os dois primeiros períodos (40 e 80 dias) em relação aos dois últimos (120 e 160 dias) de avaliação. Porém, ao averiguar as cultivares de pimenteira-do-reino no mesmo período de avaliação, verifica-se que houve diferença estatística entre as cultivares, nos períodos de 40 e 80 dias, com maior abertura estomática na ‘Clonada’ (Figura 6).

Figura 6. Efeito da interação entre as cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação na condutância estomática ( $g_s$ )



\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Detectou-se que a ‘Clonada’ exibiu maior abertura estomática (0,26; 0,25; 0,11 e 0,08 mol de  $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) do que a ‘Uthirankotta’ (0,19; 0,18; 0,09 e 0,07 mol de  $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) nos 40, 80, 120 e 160 dias após a diferenciação dos tratamentos, respectivamente. Possivelmente pelo fato desta cultivar apresentar maior densidade estomática do que a ‘Uthirankotta’. E

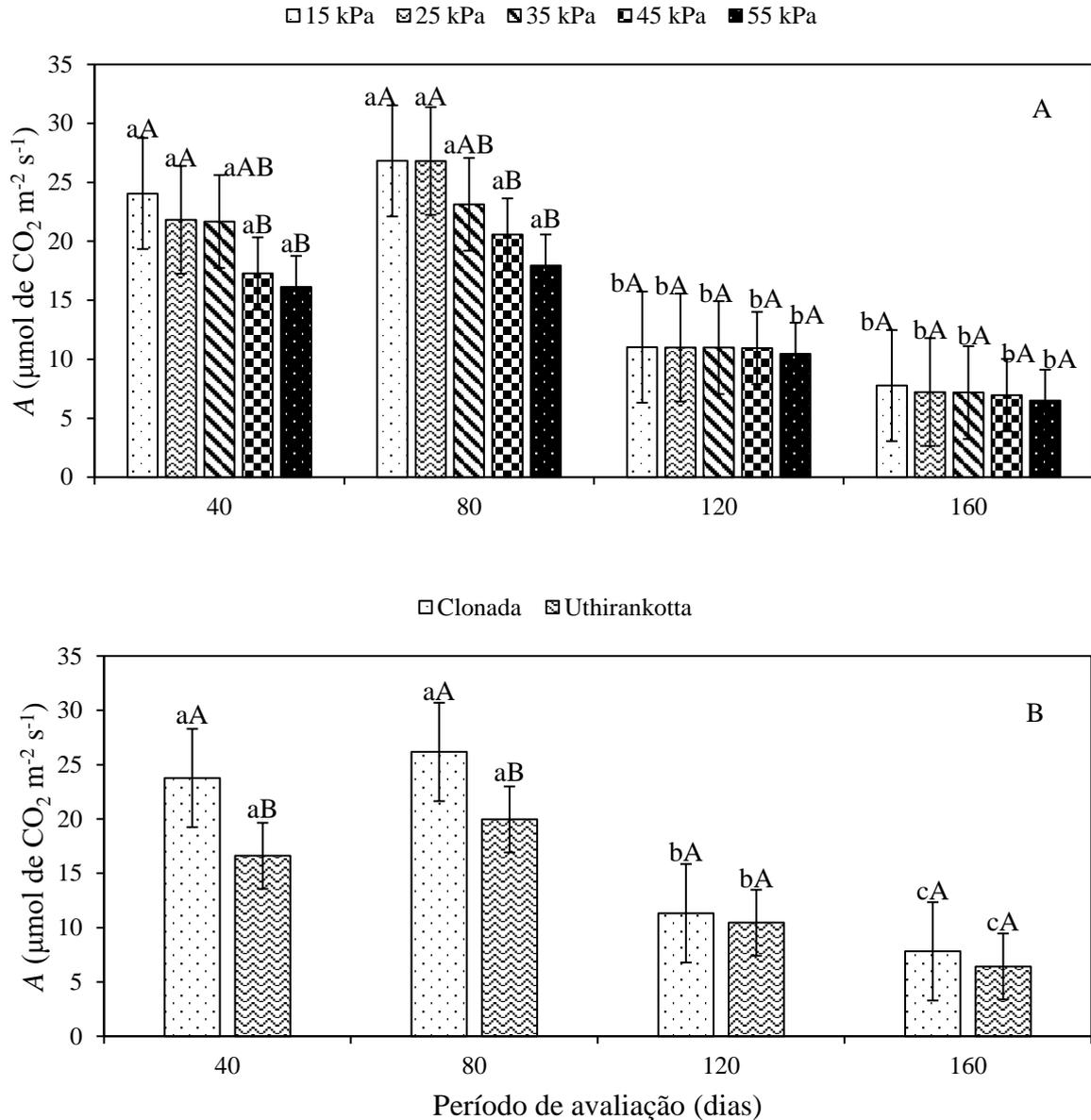
também em resposta ao aumento de  $C_i$  ao longo do estresse hídrico, demonstrando limitação bioquímica. Importante parâmetro ecofisiológico que afeta as trocas gasosas e a fotossíntese (ROSSATTO; HOFFMANN; FRANCO, 2009; CAMARGO; MARENCO, 2011; DALMOLIN, 2013; VASCONCELOS, 2019).

Observa-se que ao longo dos dias de restrição hídrica a abertura estomática diminuiu significativamente em torno de 69% e 63% para ‘Clonada’ e ‘Uthirankotta’, respectivamente. Pierre *et al.* 2012 e Silva *et al.* 2015 relatam que as plantas podem desenvolver mecanismos fisiológicos e morfológicos tanto para retardar (manutenção da hidratação do tecido) como para tolerar a desidratação (manter o metabolismo ativo enquanto desidratada), o que pode ser observado neste trabalho, já que ambas cultivares apresentam características morfo-anatômicas diferentes, como área foliar, densidade estomática, tamanho de estômatos e elasticidade da parede celular, que influenciam diretamente nestes mecanismos.

Neste sentido, para o entendimento sobre as características das plantas em respostas à restrição hídrica têm-se algumas considerações de grande relevância que segundo (LOPES SOBRINHO *et al.* 2019) não se tem nenhuma característica única nas plantas que confira tolerância à seca, mas uma resposta conjunta de diversas características; algumas mudanças morfológicas e fisiológicas que ajudam a melhorar o desempenho das plantas ao estresse são constitutivas (sempre presentes), enquanto outras são adaptativas, ou seja, será expressa apenas sob um dado conjunto de estímulos ambientais.

A Figura 7, mostra que a taxa fotossintética ( $A$ ) foi afetada pela interação entre tensões de água no solo e período de avaliação, e entre cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação, com significância estatística ( $p < 0,05$ ). Observou-se que ao analisar a influência do período na mesma tensão de água no solo, ocorreu diferença estatística entre os dois primeiros períodos (40 e 80 dias) em relação aos dois últimos (120 e 160 dias) de avaliação. Porém, ao estudar as tensões de água no solo no mesmo período de avaliação verifica-se que houve diferença estatística entre as tensões de água no solo, nos períodos de 40 e 80 dias, mostrando melhor eficiência fotossintética nas tensões 15, 25 e 35 kPa (Figura 7A). De forma semelhante à interação entre tensões de água no solo e período de avaliação, verificou-se também entre as cultivares e período de avaliação. Ao analisar a atuação do período na mesma cultivar, ocorreu diferença estatística entre os dois primeiros períodos (40 e 80 dias) em relação aos 120 e 160 dias de avaliação. Porém, ao averiguar as cultivares de pimenteira-do-reino no mesmo período de avaliação verificou-se que houve diferença estatística entre as cultivares, nos períodos de 40 e 80 dias, mostrando maior eficiência fotossintética a cultivar clonada (Figura 7B).

Figura 7. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e período de avaliação (A) e da interação entre as cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação (B) na taxa fotossintética (A)



\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma tensão de água no solo e maiúsculas entre as tensões de água no solo no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Analisando a taxa fotossintética, percebeu-se que a cultura da pimenteira-do-reino sofreu influência significativa sob a limitação hídrica no solo em todos os tratamentos de tensões de água no solo promovendo queda na eficiência de assimilação de carbono na

pimenteira-do-reino, especialmente nos períodos 120 e 160 dias de avaliação. Sendo considerado importante fator ambiental que compromete a fotossíntese, é um dos principais impedimentos do crescimento e produtividade das plantas (MANTINAZZO *et al.* 2013) e que depende da intensidade e da duração do estresse, bem como da espécie ou estágio de desenvolvimento (PIERRE *et al.* 2012; SHAO *et al.* 2012; SILVA *et al.* 2015).

Verifica-se que com a contínua limitação de água no solo, independente das tensões de água no solo (15, 25, 35, 45 e 55 kPa), a taxa fotossintética é afetada (7,77; 7,22; 7,18; 6,96 e 6,49  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente) e fica abaixo do valor recomendado para as plantas C3 aos 160 dias (Figura 7A). Este fato pode ter sido influenciado pela demanda de fotoassimilados pelo dreno e por danos ao aparato fotossintético causado pelo aumento de  $C_i$  no decorrer da deficiência hídrica.

Segundo Ferreira (2011), a fotossíntese está entre os processos mais sensíveis e responsivos a estresses e, por ter papel central no metabolismo vegetal, é esperado que o aparato fotossintético apresente elevada capacidade de resposta, ajuste e acoplamento ao ambiente. O que pode ter ocorrido com as cultivares de pimenteira-do-reino, pois, de acordo com Portes (2010) os mecanismos fisiológicos envolvidos nos padrões de respostas a variações ambientais podem ajudar a entender a significância funcional dessas variações, além de elucidar os limites de tolerância e aclimação das espécies.

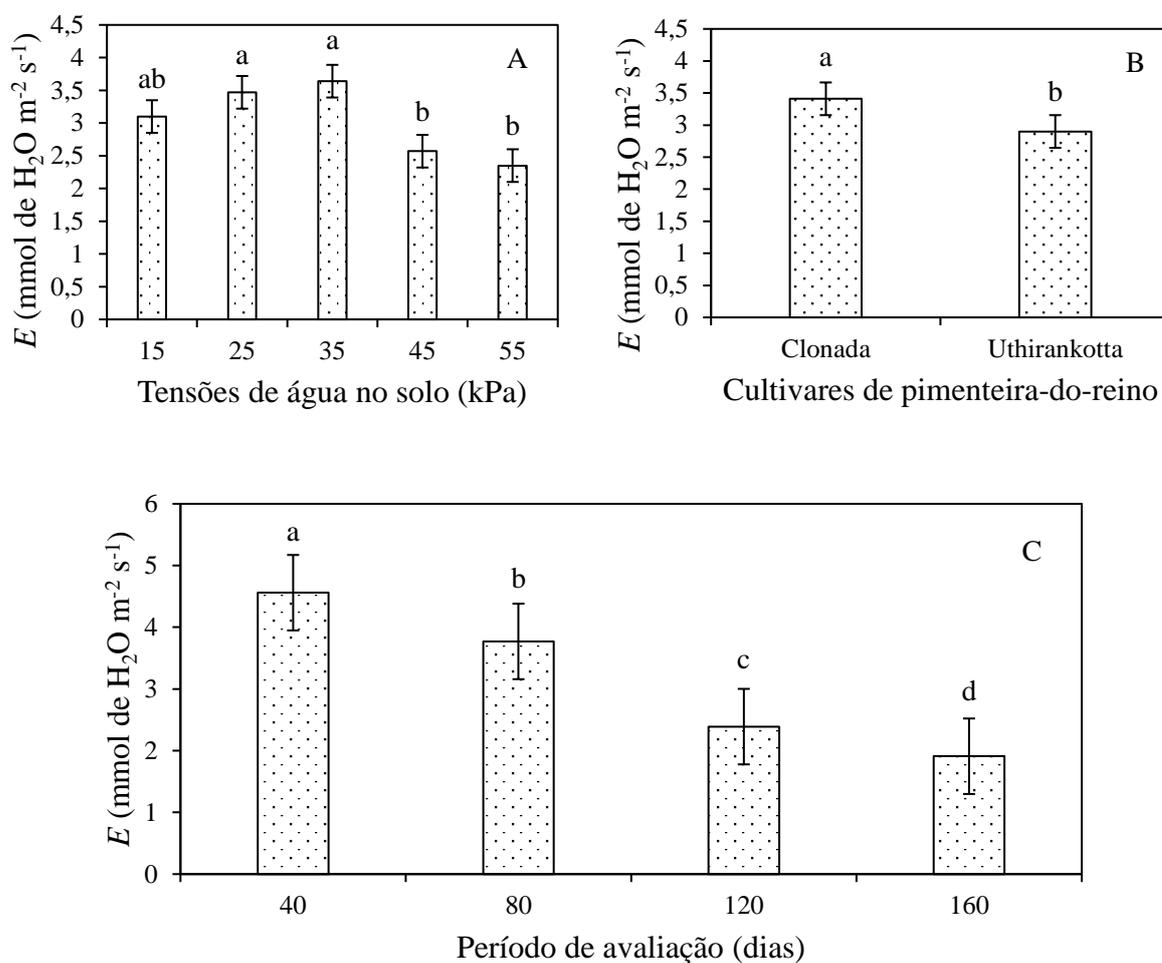
A taxa fotossintética nas cultivares Clonada e Uthirankotta apresentaram média em torno de 17,27 e 13,36  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente (Figura 7B). Segundo Raven *et al.* (2014), às plantas C3, em média, apresentam taxas fotossintéticas variando de 10 a 20  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , o que ocorreu com as cultivares de pimenteira-do-reino, com exceção das taxas fotossintéticas encontradas aos 160 dias, em que as cultivares Clonada e Uthirankotta mostraram valores fora desse intervalo (7,82 e 6,42  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente). Esses resultados confirmam com os encontrados por Arantes *et al.* (2016), que verificou taxas de 8,28 até 27,10  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para a bananeira. Este fato, reforça a necessidade de se estudar o comportamento fisiológico dos genótipos, em diferentes ambientes, como ferramenta básica para determinar o melhor manejo, visando expressar o máximo do seu potencial produtivo.

Ao longo do período de avaliação, averiguou-se uma tendência de queda na fotossíntese nas cultivares de pimenteira-do-reino. Essa diminuição de assimilação de carbono, encontrada nesta pesquisa, ocorreu proporcionalmente ao fechamento parcial dos estômatos, o que é comum relatado em plantas que estão submetidas à restrição hídrica (FLEXAS *et al.* 2004; TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2013) uma vez que, primeiramente por efeito da restrição

estomática, há redução no intercâmbio tanto de vapor de água quanto do CO<sub>2</sub> na folha (SILVA *et al.* 2003; CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; GUERFEL *et al.* 2009; DALMOLIN, 2013).

A transpiração ( $E$ ) foi afetada pelas tensões de água no solo, cultivares e período de avaliação de forma individual com significância estatística ( $p < 0,05$ ) (Figura 8A, B e C).

Figura 8. Média de transpiração ( $E$ ) sob o efeito das tensões de água no solo (A), cultivares de pimenteira-do-reino (B) e período de avaliação (C)



\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na figura 8A nota-se que a transpiração nas tensões 15, 25 e 35 kPa (3,64; 3,47 e 3,10  $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) não diferiram entre si, contudo foram estatisticamente distintas das tensões 45 e 55 kPa (2,57 e 2,35  $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), desempenho semelhante ao observado na condutância estomática, o que corrobora as pesquisas de Lima *et al.* (2010) que relatam que a demanda transpiratória a que as folhas estão potencialmente sujeitas, controlando sua perda

de H<sub>2</sub>O para o ambiente, na forma de vapor de água é determinada pelo comportamento estomático.

Sob ótima disponibilidade hídrica, observou-se que a pimenteira-do-reino apresentou maior taxa transpiratória (4,70 mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) do que as encontradas sob os efeitos das tensões de água no solo, pois à medida que a água do solo se torna escassa, a planta começa a reduzir sua taxa transpiratória para reduzir a perda de água e economizar a disponível no solo (TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2013; SILVA *et al.* 2015). Tal fato justifica o aumento na transpiração e de condutância estomática quando as plantas de pimenteira-do-reino foram irrigadas com maiores quantidades de água (15, 25 e 35 kPa).

Na figura 8B percebe-se que houve diferença significativa entre as cultivares de pimenteira-do-reino em relação à transpiração. A ‘Clonada’ obteve 3,41 mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e a ‘Uthirankotta’ 2,90 mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, uma redução de aproximadamente de 29 e 38%, respectivamente, na perda de água ao se comparar a taxa transpiratória das duas cultivares sem restrição hídrica (4,78 mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> – ‘Clonada’ e 4,63 mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> – ‘Uthirankotta’), o que comprova que a ‘Uthirankotta’ consegue controlar melhor a perda de água do que a ‘Clonada’ por meio do ajustamento osmótico que permite o vegetal manter a turgescência mesmo com baixos valores de potencial hídrico no solo, aumentando sua resistência a seca (AROCA; PORCEL; RUIZ-LOZANO, 2012; BIANCHI; GERMINO; SILVA, 2016).

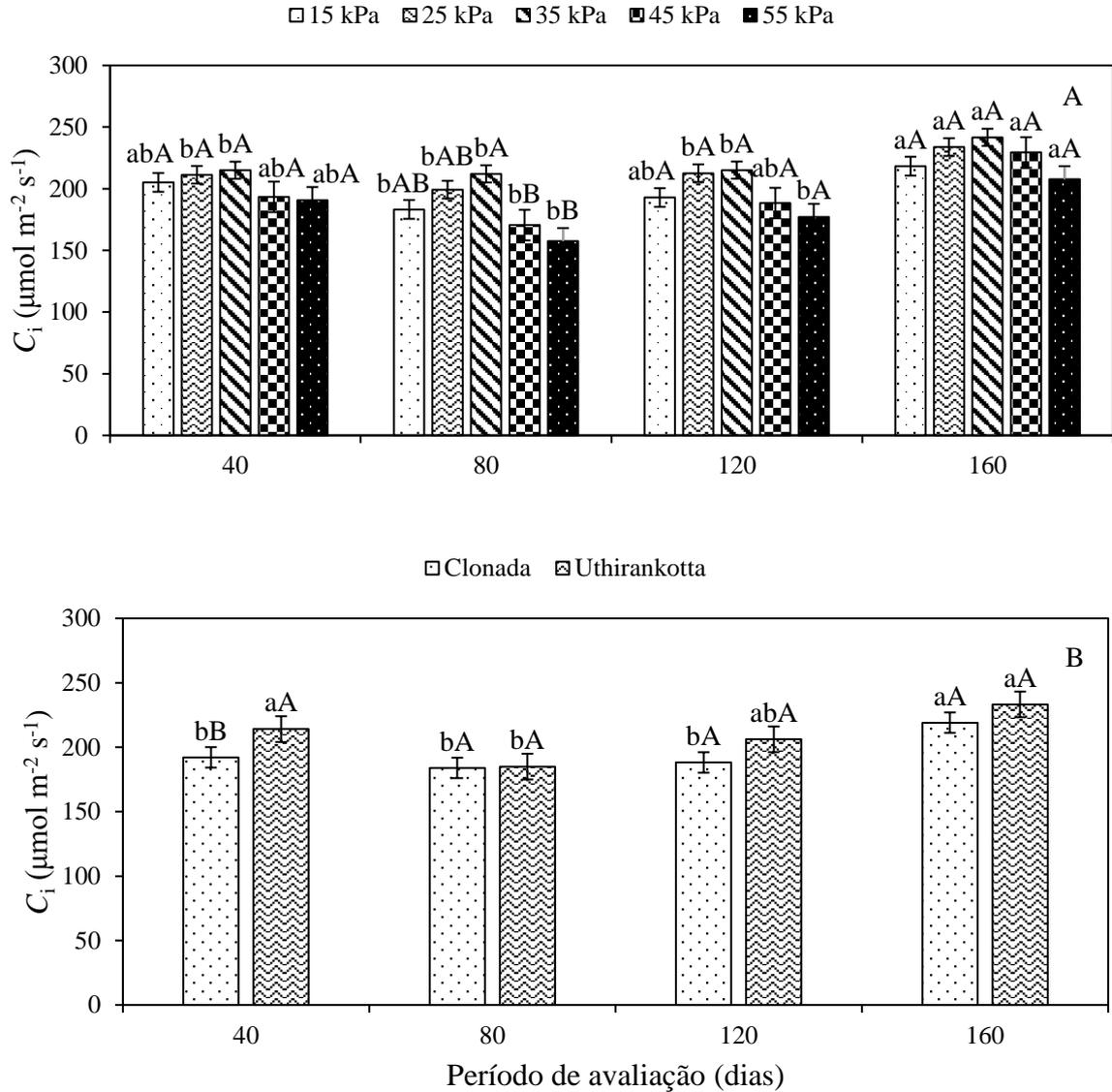
Na figura 8C constatou-se diferença estatística entre os dias de avaliação para a transpiração da pimenteira-do-reino. Conforme o prolongamento do estresse hídrico, os valores da transpiração entre 40, 80, 120 e 160 dias foram diminuindo proporcionalmente (4,56; 3,77; 2,39 e 1,91 mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente).

Observou-se que o fechamento parcial dos estômatos, de fato, representou a causa da redução na taxa fotossintética e na taxa de transpiração nas cultivares de pimenteira-do-reino sob tensões de água no solo, e essa redução deveu-se à falta de assimilação de CO<sub>2</sub> nas câmaras sub estomáticas das folhas, causada pelo fechamento dos estômatos (MELO *et al.* 2009; SILVA *et al.* 2015). Estudos relatam evidências que o déficit de umidade no solo inicia uma ação hormonal induzindo as células-guarda fechar o estômato para reter água, limitando dessa forma, a absorção de carbono (CERQUEIRA, 2011; MATOS, 2019).

Identificou-se que a concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) foi influenciada pela interação entre as tensões de água no solo e período de avaliação, e também entre cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação com significância estatística ( $p < 0,05$ ). Observou-se que ao analisar a influência do período na mesma tensão de água no solo, houve diferença

estatística entre os quatro períodos de avaliação para todas as tensões de água no solo, com tendência de maior concentração de CO<sub>2</sub> aos 160 dias (15, 25, 35, 45 e 55 kPa – 218,29; 233,75; 241,65; 229,42 e 207,62  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente). Porém, ao estudar as tensões de água no solo no mesmo período de avaliação verifica-se que ocorreu diferença estatística apenas aos 80 dias, mostrando maior concentração interna de CO<sub>2</sub> nas tensões 15, 25 e 35 kPa (183,19; 199,21 e 212,04  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Figura 9A). Já ao analisar a atuação do período na mesma cultivar, houve diferença estatística entre os três primeiros períodos (40, 80 e 120 dias) em relação ao período de 160 dias. Porém, ao verificar as cultivares de pimenteira-do-reino no mesmo período de avaliação constatou-se que houve diferença estatística entre as cultivares, no período de 40 dias, mostrando maior C<sub>i</sub> na ‘Uthirankotta’ (Figura 9B).

Figura 9. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e período de avaliação (A) e da interação entre as cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação na concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) (B)



\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma tensão de água no solo e maiúsculas entre as tensões de água no solo no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Verificou-se que houve tendência de aumento na concentração de C<sub>i</sub> ao longo do período de limitação hídrica, com exceção ao período de 80 dias que apresentou valores menores aos outros períodos de avaliação. Indicando que até neste período a redução dos valores de A se dá

pela restrição estomática à difusão de CO<sub>2</sub>, com o incremento de C<sub>i</sub> após esse período, a diminuição de A ocorre por fatores estomáticos e não estomáticos.

Os maiores valores de C<sub>i</sub> conforme as tensões de água no solo foram aos 160 dias, aos quais apresentaram menores taxas fotossintéticas implicando em uma possível limitação bioquímica, com uma provável redução da eficiência da enzima rubisco, causando limitação na assimilação de CO<sub>2</sub> (RAINES, 2011; VOSS *et al.* 2013; LU *et al.* 2014), o que reduziu a taxa fotossintética (LAWLOR; TEZARA, 2009; PINHEIRO; CHAVES, 2011).

Segundo Souza (2016) as respostas dos vegetais para resistir ou tolerar à restrição hídrica são relativamente complexas, envolvendo mudanças adaptativas ou efeitos deletérios. Pois, para lidar com o déficit hídrico as plantas fecham os estômatos para manter o turgor celular (PRASCH; SONNEWALD, 2015) e por consequência pode ter afetado o mecanismo enzimático, tornando a rubisco pouco efetiva, diminuindo assim, a carboxilação e favorecendo o acúmulo de CO<sub>2</sub> na célula, ou ainda, ter sofrido danos no aparelho fotossintético, de maneira que não havendo produção fotoquímica, não há consumo de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, maiores serão os valores de C<sub>i</sub>, mesmo os estômatos estando fechados (CERQUEIRA, 2011), o que se verificou nesta pesquisa.

Ainda de acordo com Souza (2016) essa limitação bioquímica resulta na diminuição de redução de carbono pelo Ciclo de Calvin e no aumento da relação NADPH/NADDP<sup>+</sup> no estroma dos cloroplastos, reduzindo a concentração de NADP<sup>+</sup> que é o principal acceptor de elétrons fotossintéticos. Nessas condições, ocorre rapidamente uma sobrecarga de energia na cadeia transportadora de elétrons (CTE) do cloroplasto e o excesso de elétrons pode ser desviado para a redução parcial de O<sub>2</sub> (FOYER; NOCTOR, 2009).

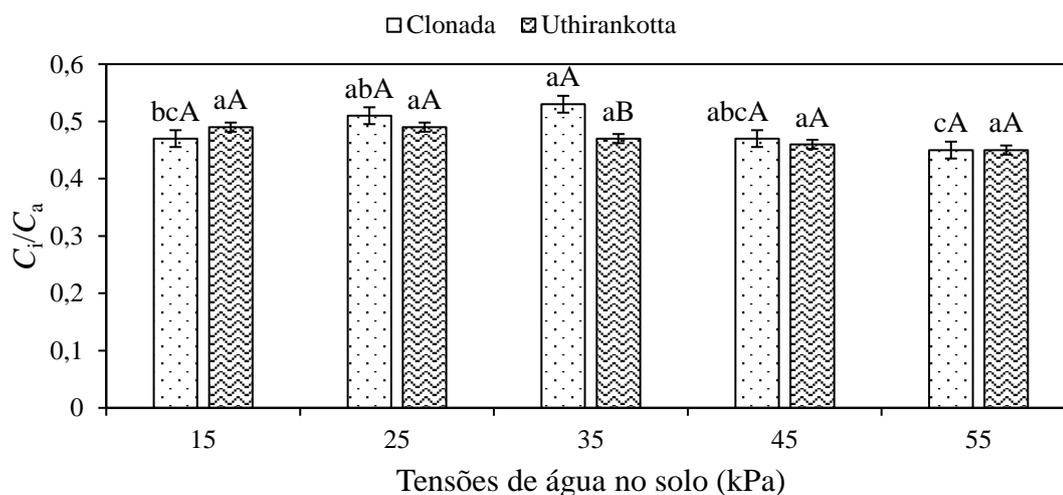
Os dados da Figura 9B mostrou que a C<sub>i</sub> nas cultivares de pimenteira-do-reino tendeu a aumentar conforme a extensão da limitação de água no solo, e aos 160 dias obteve os maiores valores para a ‘Clonada’ (219,08 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e ‘Uhtirankotta’ (233,22 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Verificou-se também, que a ‘Uhtirankotta’, apesar de apresentar baixa taxa fotossintética, foi a cultivar que apresentou maiores valores de C<sub>i</sub> ao longo das avaliações. Este aumento pode ser atribuído a uma diminuição das atividades das enzimas envolvidas no processo de fixação de CO<sub>2</sub> pela reação de oxigenase da rubisco (RAINES, 2011; VOSS *et al.* 2013; LU *et al.* 2014). Tais resultados também podem ser um indicativo de que houve uma limitação diferente do mecanismo estomático para a queda na taxa de fotossíntese (GONÇALVES *et al.* 2010; MARTINAZZO *et al.* 2013; FERRARI; PAZ; SILVA, 2015). Resultados semelhantes foram relatados por Viana (2015) com *Elae oleracea* plantas de açaizeiro submetidas ao déficit hídrico que corroboram aos resultados encontrados em nossa pesquisa.

Em climas tropicais, o déficit hídrico geralmente é acompanhado de excesso de energia luminosa, com conseqüente aumento do dano oxidativo por espécies reativas de oxigênio (ERO) (UZILDAY *et al.* 2012). O déficit hídrico, sobretudo, tende a causar um desequilíbrio entre a atividade fotoquímica e bioquímica da fotossíntese, favorecendo a geração de ERO (CHANDRA; DUBEY, 2010; FERRARI; PAZ; SILVA, 2015), que desempenham um papel significativo na proteção contra patógenos prejudiciais, sendo também importantes na formação de elementos terciários e em vários outros processos de desenvolvimento (HAYAT *et al.* 2012), no entanto, níveis excessivos de ERO comprometem a integridade celular podendo, inclusive, levar a morte da planta (GILL; TUTEJA, 2010), o que pode ter ocorrido com as cultivares de pimenteira-do-reino neste trabalho.

Variações de  $C_i$  ao longo dos períodos avaliados em plantas com estômatos fechados, em resposta ao estresse hídrico, também foi observado por Souza, Soares e Regina (2001) em videira que atribuíram este feito ao fechamento desuniforme dos estômatos.

Analisando a relação  $C_i/C_a$  constatou-se interação entre tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino, significativo ( $p < 0,05$ ). Todavia, ao analisar a atuação das tensões de água no solo na mesma cultivar, houve diferença estatística entre as tensões de água no solo para a ‘Clonada’. Porém, ao verificar as cultivares de pimenteira-do-reino na mesma tensão de água no solo verificou-se que houve diferença estatística entre as cultivares, na tensão 35 kPa, mostrando maior  $C_i/C_a$  na ‘Clonada’ (Figura 10).

Figura 10. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino na relação  $C_i/C_a$

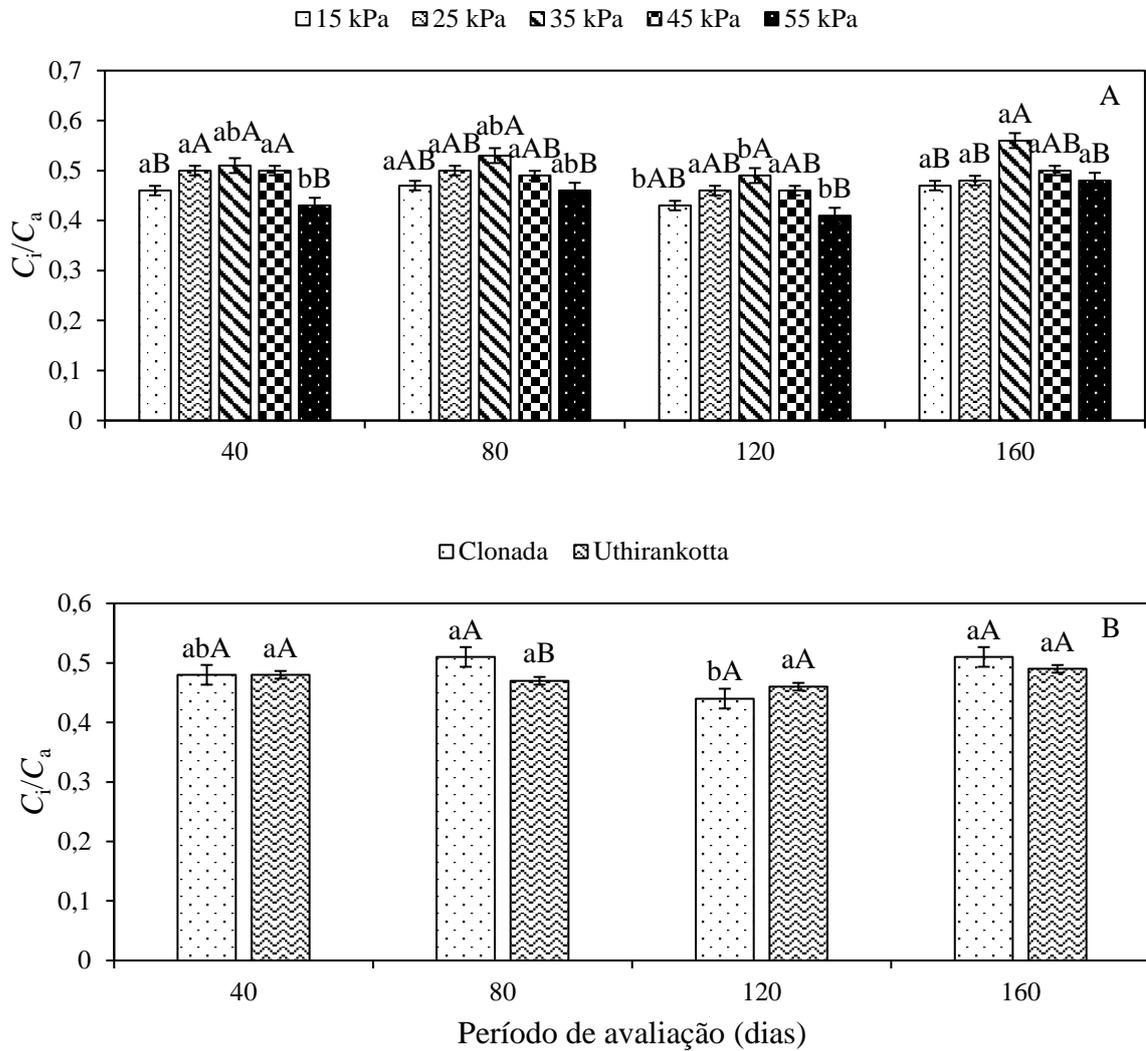


\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre as tensões de água no solo e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares na mesma tensão de água no solo, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os dados da Figura 10 expressou que a relação  $C_i/C_a$  da ‘Clonada’ tendeu a aumentar até a tensão 35 kPa e após à diminuição conforme a extensão da limitação de água no solo, enquanto que na ‘Uthirankotta’ ocorreu uma certa estabilidade entre as tensões de água no solo. Na tensão 35 kPa a ‘Clonada’ e a ‘Uthirankotta’ apresentaram 0,53 e 0,47 na relação  $C_i/C_a$ , respectivamente. Isto deve-se ao fato da ‘Clonada’ ser mais sensível ao déficit hídrico, fechando os estômatos mais cedo, do que a ‘Uthirankotta’. Para Dallagnol *et al.* (2011) esse fechamento mais cedo limita o influxo de  $CO_2$  às folhas e ocorre uma redução no transporte de elétrons da cadeia fotossintética, indicando decréscimo na eficiência do uso da luz e, conseqüentemente, um aumento no excesso de energia de excitação (GUERRA *et al.* 2014). Essa energia em excesso pode estar associada com o decréscimo na  $g_s$ , criando, assim, condições para elevar a produção de EROs que prejudicam a homeostase celular (MATEO *et al.* 2004; DALLAGNOL *et al.* 2011; GUERRA *et al.* 2014).

Notou-se que a relação  $C_i/C_a$  foi influenciada pela interação entre as tensões de água no solo e período de avaliação, e também pela interação entre cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação, com significância estatística ( $p < 0,05$ ). Ao analisar a influência do período na mesma tensão de água no solo, houve diferença estatística entre os quatro períodos de avaliação para as tensões 15, 35 e 55 kPa, com tendência de maior concentração de  $CO_2$  aos 160 dias (15, 35 e 55 kPa – 0,47; 0,53 e 0,48; respectivamente). Contudo, ao estudar as tensões de água no solo no mesmo período de avaliação verifica-se que ocorreu diferença estatística em todos os períodos de avaliação, mostrando maior relação  $C_i/C_a$  aos 160 dias, nas tensões 15, 25, 35, 45 e 55 kPa (0,47; 0,48; 0,56; 0,50 e 0,48) (Figura 11A). Já ao analisar a atuação do período na mesma cultivar, houve diferença estatística entre os períodos de avaliação, com tendência de maior valor na relação  $C_i/C_a$  aos 160 dias. Porém, ao verificar as cultivares de pimenteira-do-reino no mesmo período de avaliação constatou-se que houve diferença estatística entre as cultivares, no período de 80 dias, mostrando maior valor de  $C_i/C_a$  na ‘Clonada’ (Figura 11B).

Figura 11. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e período de avaliação (A), e da interação entre as cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação (B) na relação  $C_i/C_a$



\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma tensão de água no solo e maiúsculas entre as tensões de água no solo no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Na interação entre as tensões de água no solo e o período de avaliação observou-se uma tendência de aumento na relação  $C_i/C_a$  com a extensão do déficit hídrico. Em geral, essa observação reforça a prerrogativa que a pimenteira-do-reino teve uma baixa capacidade de ajuste estomático das trocas gasosas, visto que o acréscimo na concentração interna de  $CO_2$  foi observado aos 120 e 160 dias de deficiência hídrica concomitantemente aos baixos valores de fotossíntese, que foram relacionados a valores elevados da relação  $C_i/C_a$ .

Resultados semelhantes foram relatados por outros autores (CAI *et al.* 2005; GRASSI; MAGNANI, 2005; SILVA *et al.* 2006; SOUZA, 2012) que discutiram a importância do comportamento estomático para a manutenção de processos funcionais do cafeeiro. Camargo-Bortolin *et al.* (2008) ainda discutem que a sensibilidade da condutância estomática a fatores ambientais tem grande influência sobre a regulação da rede fotossintética como um todo.

Com isso, os baixos valores de  $g_s$  podem indicar uma estratégia das plantas em manter um balanço hídrico positivo, minimizando assim, a perda de água para a atmosfera. No entanto, o fechamento estomático vai aumentando a resistência de difusão do  $\text{CO}_2$  para o sítio catalítico da rubisco, levando a um efeito negativo nos valores do carbono intercelular, resultando na queda  $A_N$  (DAMOUR; VANDAME; URBAN, 2009).

Os dados da Figura 11B mostrou que a relação  $C_i/C_a$  nas cultivares de pimenteira-do-reino tendeu a aumentar conforme a deficiência hídrica no solo, e aos 160 dias obteve os maiores valores para a ‘Clonada’ (0,51) e ‘Uthirankotta’ (0,49). Verificou-se também, que a ‘Clonada’, foi a cultivar que apresentou maiores valores de  $C_i/C_a$  ao longo das avaliações, com exceção aos 120 dias que a ‘Uthirankotta’ mostrou maior valor. Isto implica a confirmar que além do fechamento estomático, outras limitações, não estomáticas, podem está ocorrendo como indicado pelo aumento da relação  $C_i/C_a$ .

Tatagiba *et al.* (2014) relatam que se a concentração de  $\text{CO}_2$  externa ( $C_a$ ) mantenha-se constante, o aumento na relação  $C_i/C_a$  deve-se apenas às variações na concentração interna ( $C_i$ ). Se  $C_i$  está aumentando, significa que o  $\text{CO}_2$  que está chegando às células do mesófilo não está sendo fixado na fase de carboxilação da ribulose 1,5 bifosfato carboxilase-oxigenase (rubisco), possivelmente por danos em sua estrutura, reduzindo então a taxa fotossintética. Essa limitação bioquímica foi verificada nesta pesquisa, pois houve dano no aparelho fotossintético das cultivares de pimenteira-do-reino, ocasionando mortes de 13,33% e 3,33% plantas correspondentes a cultivar Clonada e Uthirankotta, respectivamente.

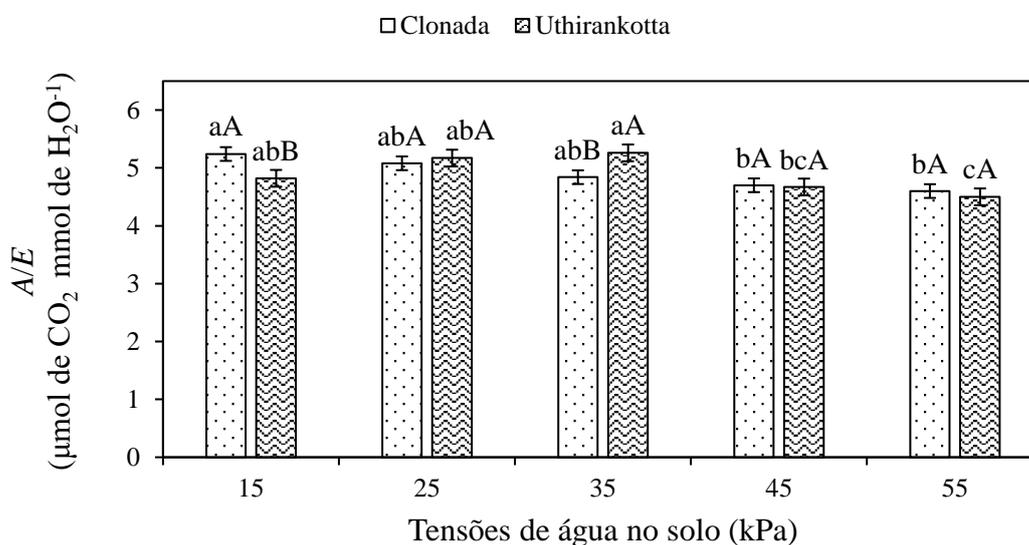
Resultados similares sobre essa limitação bioquímica foram manifestados por outros autores (DALLAGNOL *et al.* 2011; LIMA *et al.* 2010; GUERRA *et al.* 2014) que discutiram a importância do comportamento fotossintético para a manutenção de processos funcionais nas culturas do arroz, do caju anão e do algodão, respectivamente.

Tem sido proposto que tanto fatores estomáticos (resistência à entrada de  $\text{CO}_2$ ) como fatores não estomáticos (baixa atividade enzimática na assimilação de  $\text{CO}_2$ ), podem ser as principais causas da redução da assimilação de carbono, sendo reflexos das mudanças dos padrões de condutância estomática e carbono interno (MIELKE *et al.* 2003; HERRERA *et al.* 2008). Além do mais, a baixa assimilação de  $\text{CO}_2$  é gradualmente progressiva com a intensidade

e a duração do estresse hídrico, tal como o decréscimo da atividade da rubisco, disponibilidade de  $\text{CO}_2$  no cloroplasto e eficiência fotoquímica do PSII (FLEXAS *et al.* 2006; XU; ZHOU; SHIMIZU, 2009).

Verificando a eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ ) constatou-se interação entre tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino, significativo ( $p < 0,05$ ). As tensões 15 e 35 kPa mostraram melhor eficiência instantânea no uso da água para a ‘Clonada’ (5,24  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mmol de H}_2\text{O}^{-1}$ ) e ‘Uthirankotta’ (5,26  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mmol de H}_2\text{O}^{-1}$ ), respectivamente (Figura 12).

Figura 12. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino na eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ )



\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre as tensões de água no solo e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares na mesma tensão de água no solo, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

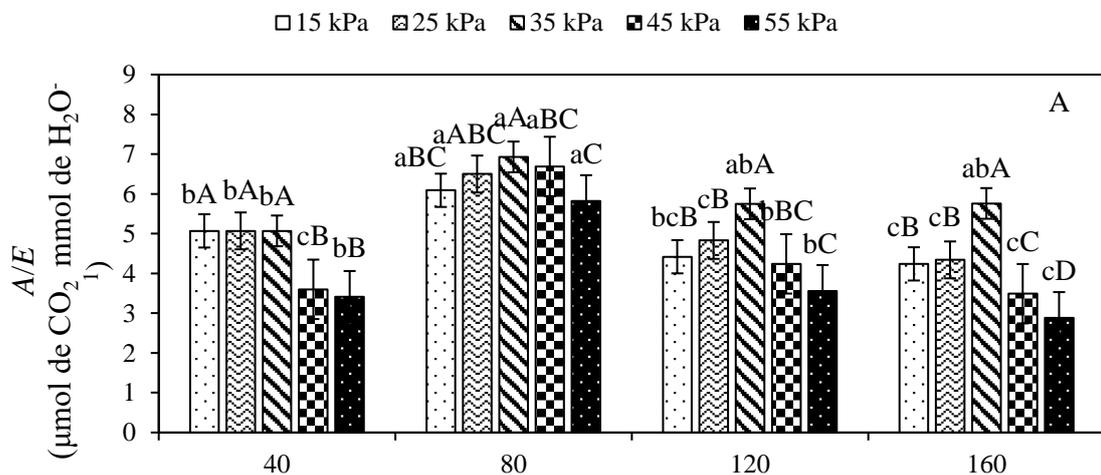
Na Figura 12 observou-se que a ‘Clonada’ apresentou queda na eficiência instantânea no uso da água conforme o decréscimo da umidade do solo, enquanto que a ‘Uthirankotta’ mostrou crescimento até uma certa umidade (35 kPa) e após, a eficiência cai à medida que diminui a umidade do solo. Em situações de estresse por limitação hídrica, é possível ocorrer queda da taxa fotossintética por imparidade bioquímica (AROCA; PORCEL; RUIZ-LOZANO, 2012), o que se refletiu no aumento da relação  $C_i/C_a$ , pois houve menor consumo de  $\text{CO}_2$ , e na queda da eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ ).

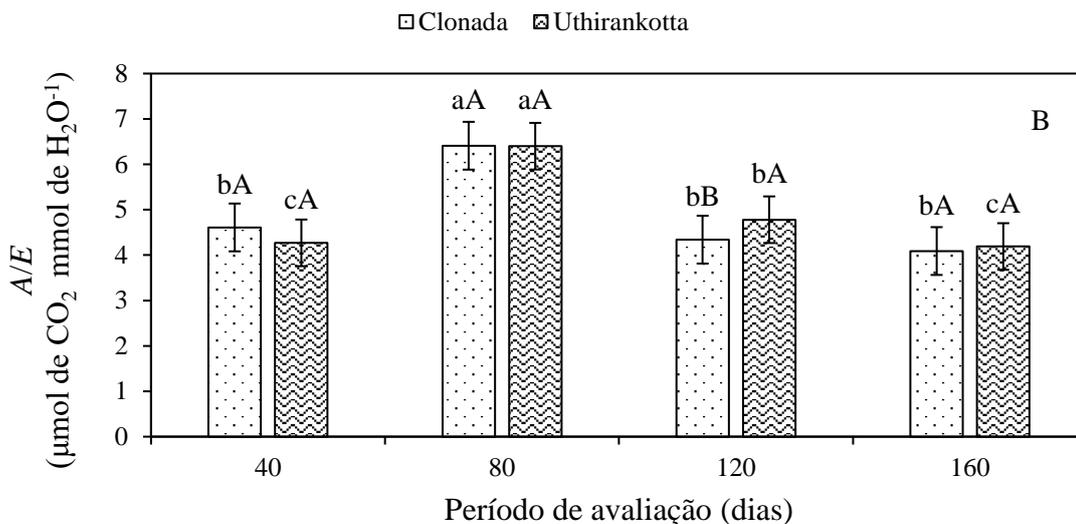
Do ponto de vista produtivo, para compensar a queda na  $A/E$ , a planta deveria ser capaz de aumentar sua taxa transpiratória, o que demandaria mais água no solo ou maior condutância estomática (FERRAZ *et al.* 2012). Caso a planta não seja capaz de contornar esse efeito, como

foi o caso da ‘Clonada’, invariavelmente haverá queda de produtividade e da capacidade de fixação de carbono.

Notou-se que a  $A/E$  foi influenciada pela interação entre as tensões de água no solo e período de avaliação, e também pela interação entre as cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação com significância estatística ( $p < 0,05$ ). Ao analisar a influência do período na mesma tensão de água no solo, houve diferença estatística entre os quatro períodos de avaliação para todas as tensões de água no solo, com tendência de maior eficiência instantânea no uso da água aos 80 dias (15, 25, 35, 45 e 55 kPa – 6,09; 6,5; 6,93; 6,69 e 5,82  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mmol de H}_2\text{O}^{-1}$ , respectivamente) (Figura 13A). Ao analisar a atuação do período na mesma cultivar, houve diferença estatística entre os períodos de avaliação, com tendência de maior valor na  $A/E$  aos 80 dias. Porém, ao verificar as cultivares de pimenteira-do-reino no mesmo período de avaliação constatou-se que houve diferença estatística entre as cultivares, no período de 120 dias, mostrando maior valor de  $A/E$  na ‘Uthirankotta’ (4,78  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mmol de H}_2\text{O}^{-1}$ ) (Figura 13B).

Figura 13. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e período de avaliação (A), e da interação entre as cultivares de pimenteira-do-reino e período de avaliação (B) na eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ )





\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma tensão de água no solo e maiúsculas entre as tensões de água no solo no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Oliveira *et al.* (2002) notaram que a *A/E* diminuiu com o decréscimo de *gs*, indicando que a diminuição da condutância durante o estresse, provocou redução na eficiência do processo fotossintético. O que foi verificado nesta pesquisa.

Ao se comparar a eficiência instantânea no uso da água entre as tensões no período de 80 dias (maior *A/E*) e aos 160 dias (menor *A/E*), observa-se que a tensão 35 kPa apresentou um decréscimo na *A/E* em torno de 17%, enquanto que as demais tensões de água no solo (15, 25, 45 e 55 kPa) demonstraram um decréscimo acima de 30%. Essa redução na eficiência pode ser explicada pela limitação da fotossíntese da planta (FLEXAS *et al.* 2004; TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2013; RAVEN *et al.* 2014; ARANTES *et al.* 2016) devido não só ao aumento da resistência estomática, mas ao efeito do estresse hídrico na fotossíntese, visto que o alto valor de  $C_i$  associado a baixa condutância estomática pode indicar um decréscimo na eficiência de carboxilação (OLIVEIRA *et al.* 2002; AROCA; PORCEL; RUIZ-LOZANO, 2012).

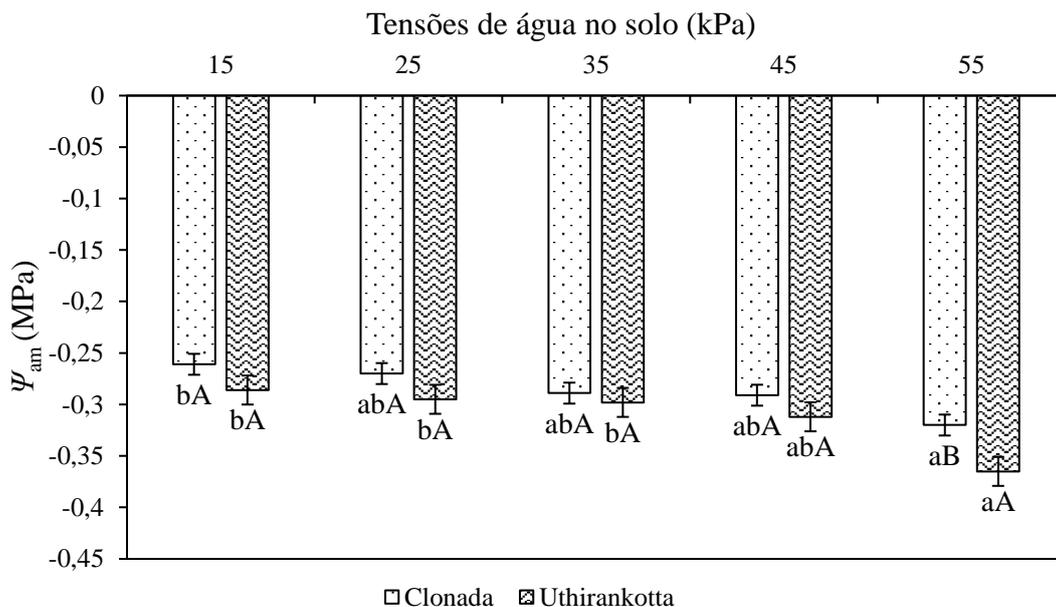
Verificou-se, na Figura 13B, que a 'Uthirankotta' tendeu apresentar maiores valores de *A/E* ao longo das avaliações, com exceção aos 40 dias que a mesma demonstrou menor valor em relação a 'Clonada'. Esses dados confirmam que a 'Uthirankotta' foi mais eficiente do que a 'Clonada' em relação ao uso instantâneo da água, demonstrando uma forte regulação estomática na sua transpiração por conseguir restringir a perda de água e superar os períodos

de seca (POMPELLI *et al.* 2010), contribuindo para otimização da eficiência instantânea no uso da água sob déficit hídrico, já que as razões  $A/E$  tendem a serem superiores em condições de deficiência hídrica e podem contribuir substancialmente para a tolerância ao déficit hídrico (PINHEIRO *et al.* 2005; WU *et al.* 2008).

Constatou-se, ainda, maiores valores de  $A/E$  para clonada e uthirankotta aos 80 dias de limitação de água no solo, período em que as condições climáticas podem ter influenciado nesses resultados, como aumento de temperatura, radiação e déficit de pressão de vapor. Essas alterações climáticas têm grandes efeitos sobre as taxas de fixação de  $\text{CO}_2$ , pois a taxa de carboxilação também aumenta e a afinidade da Rubisco com o  $\text{CO}_2$  decresce. O que foi confirmado neste trabalho (XU; ZHOU; SHIMIZU, 2009; AROCA; PORCEL; RUIZ-LOZANO, 2012).

Determinando o potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{\text{am}}$ ) constatou-se interação entre tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino, significativo ( $p < 0,05$ ). Todavia, ao analisar a atuação das tensões de água no solo na mesma cultivar, houve diferença estatística entre as tensões de água no solo de 15 e 55 kPa para as cultivares Clonada (-0,26 e -0,32 MPa, respectivamente) e Uthirankotta (-0,29 e -0,36 MPa, respectivamente). Porém, ao verificar estas cultivares na mesma tensão de água no solo verificou-se que houve diferença estatística, na tensão 55 kPa, mostrando menor  $\Psi_{\text{am}}$  a cultivar uthirankotta (Figura 14).

Figura 14. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino no potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{\text{am}}$ )



\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre as tensões de água no solo e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares na mesma tensão de água no solo, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

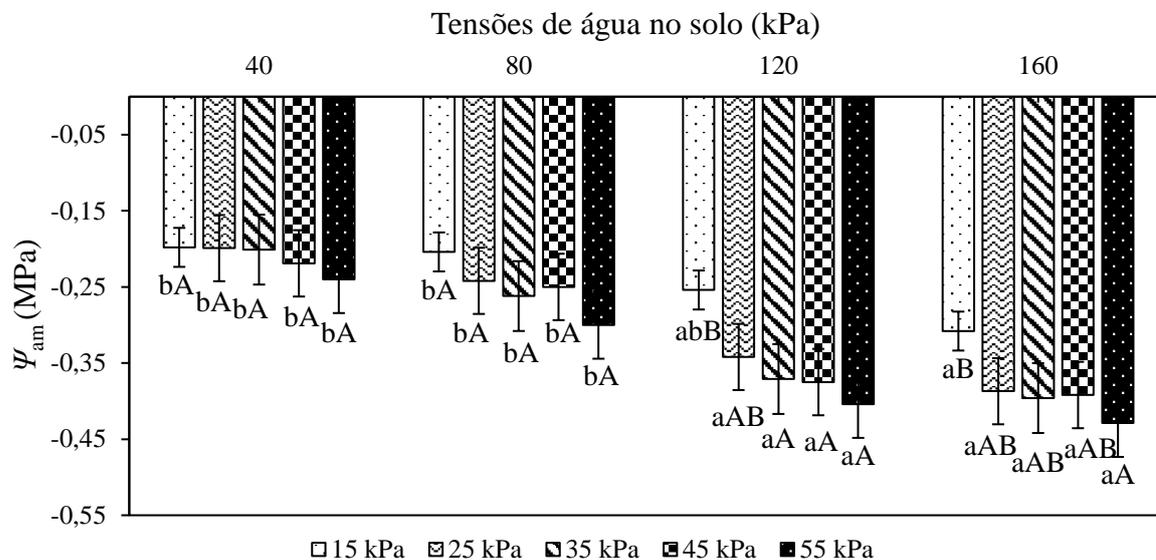
As plantas apresentam mecanismos fisiológicos e anato-morfológicos que as fazem tolerar, se adaptar e aclimatar-se ao estresse hídrico, principalmente ao déficit (ENDRES *et al.* 2010; GALMÉS *et al.* 2011), o que pode ter ocorrido com a ‘Uthirankotta’, proporcionando um aumento na sua tolerância em função da exposição a limitação de água no solo.

Para Ferreira; Gonçalves e Ferraz (2010) o *status* hídrico das plantas influencia diretamente a sua capacidade em assimilar carbono, ambos regulados pela taxa de condutância estomática e, sob condições de déficit hídrico, as plantas normalmente reduzem a taxa fotossintética pela maior resistência estomática criada para reduzir a perda de água pelo processo transpiratório. Tais condições foram apresentadas pelas cultivares de pimenteira-do-reino avaliadas nesta pesquisa, verificando uma melhor manutenção de turgor e volume celular pela uthirankotta por conseguir acompanhar o potencial hídrico do solo.

Os valores de  $\Psi_{am}$  encontrados para as cultivares de pimenteira-do-reino corroboram com encontrados por outros autores (ARAÚJO *et al.* 2010; ENDRES *et al.* 2010; GALMÉS *et al.* 2011) que debateram as mudanças causadas pelo estresse hídrico na anatomia, fisiologia e bioquímica das plantas.

Notou-se que o potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) foi influenciado pela interação entre as tensões de água no solo e período de avaliação com significância estatística ( $p < 0,05$ ). Ao analisar a influência do período na mesma tensão de água no solo, houve diferença estatística entre os quatro períodos de avaliação para todas as tensões de água no solo, com menor  $\Psi_{am}$  na tensão 55 kPa. Porém, ao verificar as cultivares de pimenteira-do-reino no mesmo período de avaliação constatou-se que houve diferença estatística entre as cultivares, aos 120 e 160 dias, mostrando maior e menor  $\Psi_{am}$  nas tensões 15 e 55 kPa, respectivamente (Figura 15).

Figura 15. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e período de avaliação no potencial hídrico antemanhã ( $\Psi_{am}$ )



\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre os períodos de avaliação e mesma tensão de água no solo e maiúsculas entre as tensões de água no solo no mesmo período de avaliação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados para o potencial hídrico antemanhã em plantas de pimenteira-do-reino, nos quatro períodos de avaliação, permitem observar o desenvolvimento das cultivares de pimenteira-do-reino quando submetidas a diferentes níveis de água no solo. Aos 40, 80, 120 e 160 dias de tratamentos hídricos, as plantas cultivadas com 15, 25, 35, 45 e 55 kPa apresentaram reduções significativas no  $\Psi_{am}$ . Esses resultados corroboram com os encontrados por Moura *et al.* (2016) ao estudarem pinhão-manso sob diferentes regimes hídricos.

Ismínio (2016) considera que uma planta se encontra em bom nível de hidratação, quando o potencial hídrico antemanhã é de -0,1 ou -0,2 MPa. Para Hsiao (1973) e Deng, Joly e Hahn (1990), um estresse moderado pode ser detectado quando atinge até -1,2 MPa. Quando esta variável apresenta valores inferiores a -1,5 MPa, diz-se que a planta se encontra sob déficit hídrico severo (MOURA *et al.* 2016). Diante dos resultados das Figuras 14 e 15, podemos confirmar que as cultivares de pimenteira-do-reino obtiveram um estresse moderado ao longo do período em que ocorreu a limitação hídrica no solo por intermédio do efeito das tensões de água no solo.

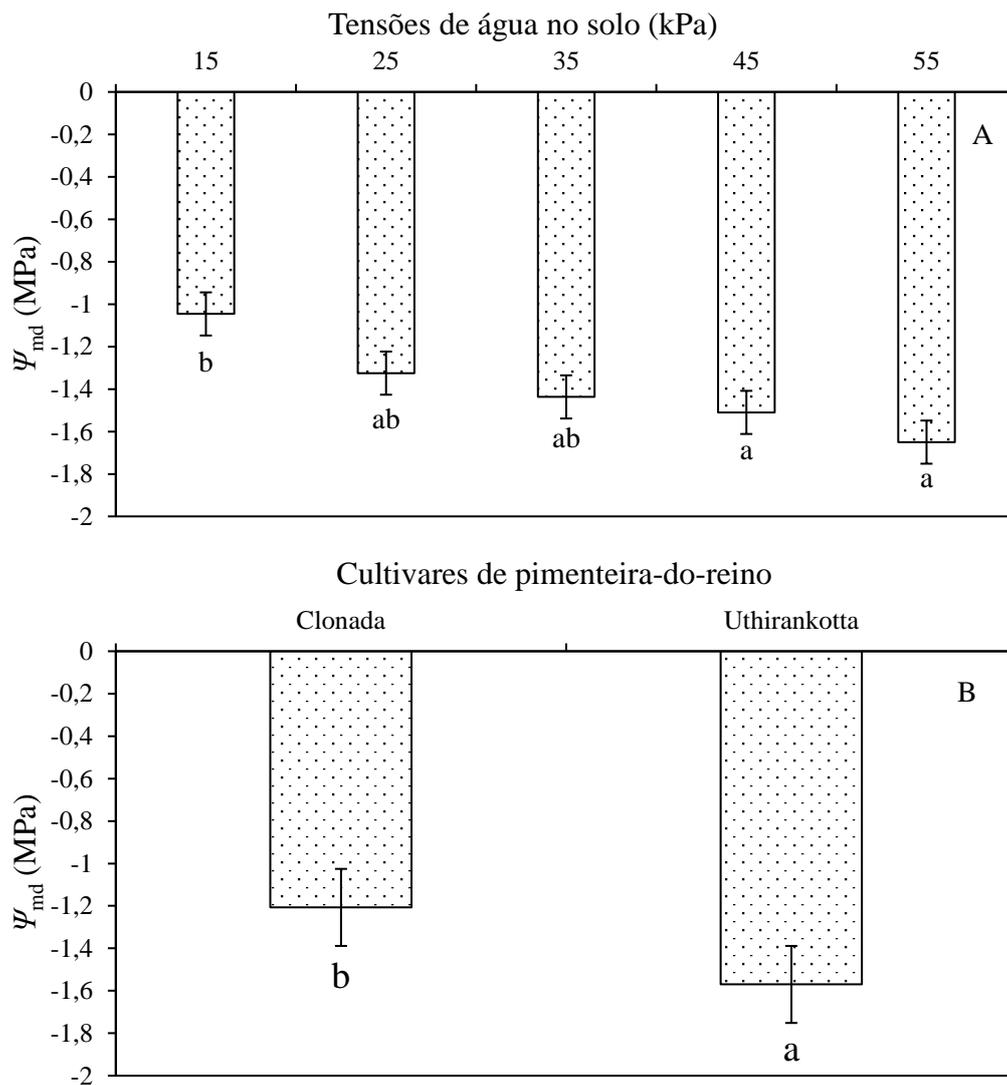
Aos 120 dias foi realizado o potencial hídrico ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) e apresentou diferença significativa a 5% de significância entre as tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para o potencial hídrico ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) em cultivares de pimenteira-do-reino sob tensões de água no solo, Castanhal-PA, 2022

Fonte de variação	Valores de F	
	$\Psi_{md}$	MPa
Bloco	0,09 <sup>ns</sup>	
Tensão (T)	7,22*	
Cultivares (C)	24,80*	
Interação T x C	0,66 <sup>ns</sup>	
CV (T) (%)	14,88	
CV (C) (%)	13,92	

O  $\Psi_{md}$  foi afetado pelas tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino de forma individual com significância estatística ( $p < 0,05$ ) (Figura 16A e B). A tensão 55 kPa (-1,65 MPa) e a cultivar Uthirankotta (-1,57 MPa) apresentaram menores  $\Psi_{md}$ .

Figura 16. Média do potencial hídrico ao meio-dia ( $\Psi_{md}$ ) entre as tensões de água no solo (A) e cultivares de pimenteira-do-reino (B)



\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

No que diz respeito ao *status* hídrico, no período de 120 dias, os valores médios do  $\Psi_{am}$  variaram entre -0,25 e -0,40 MPa, refletindo adequado estado de turgescência celular das folhas nesse período do dia (Figura 16). Pois, o  $\Psi_{am}$  é considerado o melhor parâmetro para indicar a condição hídrica da planta, sendo capaz de refletir o potencial de água na região da rizosfera, visto que ambos (planta e rizosfera) permanecem em equilíbrio durante a noite (FERREIRA; GONÇALVES; FERRAZ, 2012; MOURA *et al.* 2016), podendo indicar uma estratégia de ajustamento osmótico (MOURA *et al.* 2016).

Todavia, alguns autores não recomendam o uso isolado do  $\Psi_{am}$  para inferir sobre o *status* hídrico da planta, os quais sugerem impossibilidade de se detectar estresse hídrico anteriormente ao surgimento de mudanças morfológicas na planta (SATO *et al.* 2006). À vista disso, paralelamente ao  $\Psi_{am}$ , o  $\Psi_{md}$  apresenta valores mais negativos (entre -1,05 e -1,65 MPa), uma vez que reflete maior demanda atmosférica de vapor d'água nesse período do dia, quando comparados ao período antemanhã (LARCHER, 2006; FERREIRA; GONÇALVES; FERRAZ, 2012; MOURA *et al.* 2016), que está condicionado à restrição hídrica, conseqüentemente, acentua os efeitos do *déficit* de água no solo, levando a planta a promover uma redução do seu potencial hídrico (MOURA *et al.* 2016), por causa disso é importante avaliar o  $\Psi_{am}$  e o  $\Psi_{md}$ .

Dessa maneira, do ponto de vista de manutenção do *status* hídrico das cultivares de pimenteira-do-reino, Clonada e Uthirankotta, exibiram funcionalidades diferentes, com  $\Psi_{am}$  de -0,28 e -0,31 MPa e  $\Psi_{md}$  -1,21 e -1,57 MPa respectivamente, mostrando que a 'Uthirankotta' apresenta  $\Psi_{am}$  e  $\Psi_{md}$  mais baixos que a 'Clonada'. Isso pode ser explicado pelo fato de a 'Uthirankotta' apresentar característica morfo-anatômica e fisiológica distinta da 'Clonada', como dispor de parede celular mais elástica e conseqüentemente melhor ajustamento osmótico. Já que o ajustamento osmótico induz o aumento da turgidez das células da parte aérea e raízes, mantendo o crescimento da planta e melhor exploração e captação de água no solo (TURNER, 2018).

Sob condições combinadas de alta temperatura e restrição hídrica, é desejável a manutenção das taxas fotossintéticas, com a menor perda possível de água pela transpiração, ou seja, aumento na eficiência de uso da água, conforme foi observado pelo parâmetro  $A/E$  na 'Uthirankotta' exposta sob tensões de água no solo. A  $A/E$  é um parâmetro importante na resposta de plantas aos desequilíbrios osmóticos (LAMAOU *et al.* 2018) e sob essas condições, o fechamento estomático tem efeito mais inibitório para a transpiração do que para a difusão de  $CO_2$  nos tecidos foliares (SIKUKU *et al.* 2010).

Quanto às relações hídricas e trocas gasosas, sabe-se que o influxo de  $CO_2$  ocorre necessariamente através dos estômatos no processo fotossintético ocorrendo também o efluxo

de água, por meio da transpiração (MELO *et al.* 2009), isso reforça a necessidade de se estudar o comportamento fisiológico dessa cultura em diferentes tensões de água no solo como ferramenta básica para determinar o melhor manejo, visando expressar o máximo do potencial produtivo dessa cultura.

Apesar da reconhecida importância do cultivo da pimenteira-do-reino, os relatos disponíveis na literatura referentes a mecanismos fisiológicos de resposta à disponibilidade hídrica nesta cultura são ainda bastante restritos; logo, pelo fato de estarem os aspectos fisiológicos e de desenvolvimento da planta intimamente relacionado ao *status* hídrico do vegetal.

### 3.4 Conclusões

- O estresse provocado pelas tensões de água no solo diminuiu *A* e *E* ao longo do período avaliado, os quais estiveram associados à redução de  $g_s$ ;
- A ‘Uthirankotta’ foi a cultivar que expressou melhores respostas fisiológicas e *status* hídrico sob as tensões de água no solo.

### REFERÊNCIAS

ARANTES, Alexandre de Magalhães *et al.* Gas exchange in different varieties of banana prata in semi-arid environments. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 2, e-600, p. 1-12, 2016.

ARAÚJO, Saulo Alberto do Carmo *et al.* Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.

AROCA, R.; PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 1, p. 43-57, 2012.

BERNARDO, Salassier *et al.* **Manual de Irrigação**. 9.ed. Viçosa: UFV, 2019, 545p.

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. de A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

CAI, Zhi-Quan *et al.* Responses of two field-grown coffee species to drought and rehydration. *Photosynthetica*, **Prague**, v. 43, p. 187-193, 2005.

CAMARGO-BORTOLIN, Livia Haik Guedes de *et al.* Autonomy and network modulation of photosynthesis and water relations of *Coffea arabica* in the field. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 2, p. 141-151, 2008.

CAMARGO, M. A. B.; MARENCO, R. A. Densidade, tamanho e distribuição dos estômatos em 35 espécies de árvores da floresta tropical na Amazônia Central. **Acta Amazonica**. v. 41, n. 2, p. 205-212, 2011.

CAMPOS, João Hugo Baracuy Cunha *et al.* Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n. 2, p. 150-156, 2008.

CATEN, A. **Efeito de silicato e tensões de água no solo no crescimento do maracujazeiro amarelo**. [s.1.] Universidade Estadual do Norte do Fluminense “Darcy Ribeiro”, 2013.

CERQUEIRA, R. C. **Influência do frio e do déficit hídrico nas características fisiológicas e bioquímicas em videiras (*Vitis vinífera* L.) cv. Thompson seedless**. [s.1.] Universidade Estadual Paulista ‘Julio de Mesquita Filho’, 2011.

CHANDRA, A.; DUBEY, A. Effect of ploidy levels on the activities of  $\delta$  1-pyrroline-5-carboxylate synthetase, superoxide dismutase and peroxidase in *Cenchrus* species grown under water stress. **J Plant Physiol**, v. 48, n. 1, p. 27–34, 2010.

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

CHAVES, V. V. **Trocas gasosas e fluorescência da clorofila “a” em genótipos de cana-de-açúcar infestados por cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata***. [s.1. ] Universidade Federal de Viçosa, 2015.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta. Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

CRUZ, Maria do Céu Monteiro da *et al.* Avaliação do potencial hídrico foliar, umidade do solo e temperatura do ar no período pré florescimento dos citros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1291–1296, 2007.

DALLAGNOL, Leandro José *et al.* Alterations on Rice leaf physiology during infection by *Bipolaris oryzae*. **Australian Plant Pathology**, v.40, p.360-365, 2011.

DALMOLIN, A. C. **Relações hídricas, trocas gasosas e anatomia foliar de *Vochysia divergens* Pohl., espécie invasora no Pantanal Mato-grossense.** [s.1. ] Universidade Federal de Mato grosso, 2013.

DAMOUR, G.; VANDAME, M.; URBAN, L. Long-term drought results in a reversible decline in photosynthetic capacity in mango leaves, not just a decrease in stomatal conductance. **Tree physiology**, v. 29, n. 5, p. 675-84, 2009.

DENG, X.; JOLY, R.; HAHN, D. The influence of plant water deficit on distribution of <sup>14</sup>C-labelled assimilates in cacao seedlings. **Annals of botany**, v. 66, n. 2, p. 211–217, 1990.

DUARTE, M. L. R. **Cultivo da Pimenta do Reino na Região Norte.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 185p.

DUARTE, Maria de Lourdes Reis *et al.* **Pimenta-do-reino.** Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 82p.

ENDRES, Lauricio *et al.* Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v. 4, p. 31-37, 2010.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no mato grosso. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 3, n. 1, p. 67- 77, 2015.

FERRAZ, Rener Luciano de Souza *et al.* Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Revista Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.

FERREIRA, M. I. **Trocas gasosas, biomassa, teor e composição do óleo essencial de folhas e raízes de *Piper aduncum* L. sob diferentes níveis de luminosidade.** [s.1. ] Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2011.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Photosynthetic parameters of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B.) plants subjected to fertilization in a degraded area in Central Amazonia. **Photosynthetica**, v. 47, n. 4, p. 616-620, 2010.

FLEXAS, Jaume *et al.* Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO<sub>2</sub> concentration. **The New phytologist**, v. 172, n. 1, p. 73–82, 2006.

FLEXAS, Jaume *et al.* Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, p. 269-279, 2004.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox regulation in photosynthetic organisms: Signaling, acclimation, and practical implications. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 11, n. 4, p. 862-868, 2009.

GALMÉS, Jeroni *et al.* Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO<sub>2</sub> concentration under water stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 2, p. 653-665, 2011.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **J Plant Physiology**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GONÇALVES, Eduardo Rodrigues *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GRASSI, G.; MAGNANI, F. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, n. 7, p. 834–849, 2005.

GUERFEL, Mokhtar *et al.* Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. **Scientia Horticulturae** v. 119, p. 257–263, 2009.

GUERRA, Antonia Mirian Nogueira de Moura *et al.* Capacidade fotossintética de plantas de algodoeiro infectadas por ramulose e suprimidas com silício. **Bragantia**, v. 73, n. 1, p. 50-64, 2014.

HAYAT, Shamsul *et al.* Role of proline under changing environments. **Plant Signal Behav**, v. 7, n. 11, p. 1–11, 2012.

HERRERA, Ana *et al.* Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis in trees of a tropical seasonally flooded forest. **Physiologia Plantarum**, v.134, n.1, p.41–48, 2008.

HSIAO, T. C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, p. 519-570, 1973.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. **Produção Agrícola Municipal, 2020**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12/07/2021.

ISMÍNIO, P. L. **Potencial hídrico foliar, trocas gasosas e crescimento em genótipos de *Theobroma cacao* L. Submetidos à deficiência hídrica e adubação potássica.** [s.1.] Universidade Federal de Viçosa, 2016.

LAMAOU, Mouna *et al.* Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, p. 1-14, 2018.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos. Ed. Rima, 2006. 550 p.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 561-579, 2009.

LIMA, Michella de Albuquerque *et al.* Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.654-663, 2010.

LOPES SOBRINHO, Oswaldo Palma *et al.* A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e o manejo da irrigação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA**, v. 12, n. 4, p. 1605-1625, 2019.

LU, Yusheng *et al.* Suppression of glycolate oxidase causes glyoxylate accumulation that inhibits photosynthesis through deactivating Rubisco in rice. **Physiologia Plantarum**, v. 150, n. 3, p. 463-476, 2014.

MANTINAZZO, Emanuela Garbin *et al.* Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. **Ciência Rural**, v. 43, n.1, p. 35-41, 2013.

MAROUELLI, Waldir Aparecido *et al.* Manejo da água de irrigação. *In*: SOUSA, Valdemicio Ferreira de *et al.* (Ed.). **Irrigação e Fertirrigação em Fruteiras e Hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2011, p.159-232.

MATEO, Alfonso *et al.* Lesion simulating disease is required for acclimation to conditions that promote excess excitation energy. **Plant Physiology**, v. 136, n. 1, p. 2818-2830, 2004.

MATOS, F. S. **Folha seca: introdução à fisiologia vegetal**. 1ª ed. Editora Appris, 2019. 189p.

MELO, Alberto Soares de *et al.* Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p. 733-741, 2009.

MIELKE, Marcelo Schramm *et al.* Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. *Environ. Environmental and Experimental Botany*, v.50, n.3, p.221–231, 2003.

MOURA, Adenilda Ribeiro de *et al.* Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos, **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, J. A. M.; OLIVEIRA, C. M. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos – MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3021-3027, 2018.

OLIVEIRA, Maria Aparecida José de *et al.* Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 1, p. 59-63, 2002.

OLIVEIRA, Rosilena Conceição Azevedo de. Trocas gasosas de espécies arbóreas em resposta à variação de temperatura foliar: Efeito do ambiente topográfico na Amazônia Central. [s.1. ] Universidade Federal do Amazonas, 2019.

PEREIRA, Michael Douglas Barbosa *et al.* Análise da pluviosidade na microrregião de Sapé, Paraíba e sua relação com a produção da cana-de-açúcar. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 910-921, 2012.

PIERRE, Carolina Saint *et al.* Phenotyping transgenic wheat for drought resistance. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 5, p. 1799-1808, 2012.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v.62, n. 3, p.869-882, 2011.

PINHEIRO, Hugo Alves *et al.* 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.

POMPELLI, Marcelo Francisco *et al.* Photosynthesis, photoprotection and antioxidante activity of purging nut under drought déficit and recovery, **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 8, p. 1207-1215, 2010.

PORTES, M. T. **A interação ecofisiológica planta-ambiente: o papel da aclimação fotossintética na resposta a fatores ambientais em espécies arbóreas.** [s.1. ] Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2010.

PRASCH, C. M.; SONNEWALD, U. Signaling events in plants: Stress factors in combination change the picture. **Environmental and Experimental Botany**, v. 114, p. 4-14, 2015.

RAINES, C. A. Increasing Photosynthetic Carbon Assimilation in C3 Plants to Improve Crop Yield: Current and Future Strategies. **Plant Physiology**, v. 155, n. 1, p. 36-42, 2011.

RAVEN, Peter Hamilton *et al.* **Biologia vegetal.** 8.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2014. 855p.

ROSSATO, D. R.; HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. Características estomáticas de pares congêneros de cerrado e mata de galeria crescente numa região transicional no Brasil central. **Acta Botânica brasileira**, v. 23, n. 2, p. 499-508, 2019.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. Qualidade da irrigação controlada por tensiômetros em pivô central. **Scientia Agricola**, v.51, n. 3, p.549-555, 1994.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante.** Publicação IPT, São Paulo, n. 2002, 1992, 27p.

SANTOS, Helane Cristina Aguiar *et al.* Bell pepper development and water potential as affected by soil water tensions and nitrogen doses. **Journal of Agricultural Studies**, v.8, n.2, p. 574-589, 2020.

SANTOS, M. R; MARTINEZ, M. A.; DONATO, S. L. R. Gas exchanges of Tommy Atkins mango trees under different irrigation treatments. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1141-1153, 2013.

SATO, Takahiro *et al.* The validity of predawn leaf water potential as an irrigation-timing indicator for fieldgrown wheat in northern Syria. **Agricultural Water Management**, v. 82, n. 1-2, p. 223–236, 2006.

SHAO, Hong-Bo *et al.* Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2012.

SCHOLANDER, Per Fredrik *et al.* Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v. 148, p.339-346, 1965.

SILVA, Adriana Lúcia da *et al.* Variability of water balance components in a coffee crop in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 105-114, 2006.

SILVA, Elizamar Ciríaco da *et al.* Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 231-246, 2003.

SILVA, Flaviana Gonçalves da *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, Wesley Zambom da *et al.* Métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 746-759, 2011.

SIKUKU, Phoebe Anyango *et al.* Effects of water deficit on physiology and morphology of three varieties of nerica rainfed rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Agricultural and Biological Science**, v.5, n.1, p. 23-28, 2010.

SOUZA, C. A. V. **Mudanças foto-oxidativas em plantas de arroz com reduzida atividade da oxidase do glicolato submetidas ao estresse hídrico combinado ao excesso de luz e calor.** [s.1 ] Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016.

SOUZA, C. R. de; SOARES, A. M.; REGINA; M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidos à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária**

**Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.

SOUZA, V. F. de. **Estudo de rede para compreender as respostas fotossintéticas de cafeeiros em condições de deficiência hídrica**. [s.1. ] Universidade Federal de Lavras, 2012.

TATAGIBA, Sandro Dan *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, p. 138-149, 2014.

TELES, G. C. **Avaliação fisiológica e crescimento de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.) com diferentes lâminas de irrigação**. [s.1. ] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2020.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Transpiração e condutância estomática de *Eucalyptus* sp em resposta à radiação global e diferentes condições hídricas. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 607-623, 2013.

TURNER, N. C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of experimental botany**, v. 69, n. 13, p. 3223-3233, 2018.

UZILDAY, Baris *et al.* Comparison of ROS formation and antioxidant enzymes in *Cleome gynandra* (C4) and *Cleome spinosa* (C3) under drought stress. **Plant Scienc**, v. 182, p. 59-70, 2012.

VASCONCELOS, O. R. **Densidade estomática de duas espécies florestais: *Adenanthera pavonina* L. e *Hevea brasiliensis* Muell Arg.** [s.1. ] Universidade do Estado do Amazonas, 2019.

VIANA, G. D. M. **Metabolismo fisiológico e bioquímico em plantas jovens de *Euterpe oleracea* submetidas ao déficit hídrico**. [s.1. ] Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015.

VOSS, Ingo *et al.* Emerging concept for the role of photorespiration as an important part of abiotic stress response. **Plant Biology**, v. 15, n. 4, p. 713-722, 2013.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H. Are plant growth and photosynthesis limited by predrought following rewatering in grass? **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 13, p. 3737–49, 2009.

WU, Fuzhong *et al.* Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, n. 1, p. 248-255, 2008.

YAZAKI, Kenichi *et al.* Response to dehydration and irrigation in invasive and native saplings: osmotic adjustment versus leaf shedding. **Tree Physiology**, v. 30, p. 597-607, 2010.

YIN, Xinyou *et al.* Using combined measurements of gas exchange and chlorophyll fluorescence to estimate parameters of a biochemical C3 photosynthesis model: a critical appraisal and a new integrated approach applied to leaves in a wheat (*Triticum aestivum*) canopy. **Plant Cell Environ**, v. 32, n. 5, p. 448-464, 2009.

ZONTA, João Henrique *et al.* **Manejo da irrigação do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 8p.

#### 4 PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA EM CULTIVARES DE PIMENTA-DO-REINO SOB TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO

**RESUMO:** A pimenteira-do-reino é um dos produtos mais relevantes da agricultura paraense, com grande importância econômica para o Estado. Requer umidade de solo adequada, especialmente durante a fase de floração e pegamento dos frutos, pois solos com déficit ou umidade excessiva são considerados inadequados para cultivo, reduzindo sua produtividade. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi estimar a produtividade e a eficiência no uso da água em cultivares de pimenteira-do-reino quando submetidas a tensões de água no solo. O experimento foi conduzido na área da Empresa de Produtos Tropicais de Castanhal LTDA (TROPOC) localizada no município de Castanhal – PA. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial em parcelas subdivididas, 5 x 2, sendo utilizado 10 tratamentos e três repetições. Cada parcela foi constituída por dezesseis plantas, em fileira dupla, com espaçamento de 4,0 x 2,20 x 2,20 m entre plantas. Os tratamentos foram constituídos por cinco tensões de água no solo (15, 25, 35, 45 e 55 kPa) como indicativo do momento de irrigar – tensão crítica, e duas cultivares de pimenteira-do-reino (Clonada e Uthirankotta). As características avaliadas foram: produção de pimenta verde (PPV), produção de fruto de pimenta verde (PFPV), produção de pimenta preta (PPP), rendimento de pimenta preta (RPP), produtividade (PROD) e eficiência no uso da água (EUA). No ano de 2021, todas as variáveis produtivas foram significativas para cultivares de pimenteira-do-reino. Em 2022, todas as variáveis foram significativas para as tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino, de forma independente. Para os dois primeiros anos de ciclo produtivo observou-se que a ‘Uthirankotta’ se mostrou mais eficiente do que a ‘Clonada’ em todas as variáveis produtivas, chegando a uma produção de pimenta preta, produtividade e eficiência no uso da água de 3,05 kg planta<sup>-1</sup>, 3.047,61 kg ha<sup>-1</sup> e 13,03 kg h<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectivamente. E a tensão de água no solo mais indicada para a ‘Uthirankotta’ foi a tensão 35 kPa (13,7 mm ou 12,6 L planta<sup>-1</sup>).

**Palavras-chave:** *Piper nigrum* L., irrigação por gotejamento, produção, tensiometria

**ABSTRACT:** Black pepper is one of the most important agricultural products in Pará, with great economic importance for the local economy. It requires adequate soil moisture, especially during the flowering and fruit setting phase, as soils with deficit or excessive moisture are considered unsuitable for cultivation, reducing their productivity. Thus, the objective of this

study was to estimate productivity and efficiency in water use in black pepper cultivars when subjected to soil water tensions. The experiment was conducted at the Tropical Products Company of Castanhal Ltda (TROPOC) area, located in the municipality of Castanhal, PA. The experiment set up was in a randomized complete blocks design (RCBD), in a split-plot factorial scheme of 5 x 2, using 10 treatments and three repetitions. Each arrangement was composed of sixteen plants, in a double row, with a spacing of 4.0 x 2.20 x 2.20 m between plants. The treatments comprised five soil water tensions (15, 25, 35, 45, and 55 kPa) - as a limit to open and close irrigation system, and two black pepper cultivars ('Cloned' and 'Uthirankotta'). The evaluated characteristics were green pepper production (GPP), green pepper fruit production (GFPF), black pepper production (BPP), black pepper yield (BPY), productivity (PROD) and water use efficiency (*WUE*). In the year 2021, all productive variables were significant for black pepper cultivars. In 2022, all variables were significant for soil water tensions and black pepper cultivars, independently. Over two seasons (years), it was observed that 'Uthirankotta' was more efficient than 'Cloned' in all productive variables, in which black pepper yield (BPY), productivity (PROD) and water use efficiency (*WUE*) reached 3,05 kg plant<sup>-1</sup>, 3,047.61 kg ha<sup>-1</sup> and 13.03 kg h<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, respectively. As an outcome, the best soil tension for 'Uthirankotta' was 35 kPa (13.7 mm or 12.6 L plant<sup>-1</sup>).

**Keywords:** *Piper nigrum* L., drip irrigation, production, tensiometry.

#### 4.1 Introdução

A pimenteira-do-reino é um dos produtos mais relevantes da agricultura paraense, com grande importância econômica para o Estado (DUARTE, 2004), obtendo em 2020, 36.156 toneladas, com rendimento médio de produção de 2.209 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE/PAM, 2021). Requer umidade de solo adequada, especialmente durante a fase de floração e “pegamento” dos frutos (EMBRAPA, 2004; DUARTE *et al.* 2006; ANDRADE; SILVA; SALLES, 2017), pois solos com déficit ou umidade excessiva são considerados inadequados para cultivo, reduzindo sua produtividade.

A exploração de pimenta-do-reino é, em sua grande maioria, realizada em condições de sequeiro, sendo a deficiência hídrica um dos fatores mais limitantes à produção, por este motivo segundo Carvalho *et al.* (2016) e Pereira *et al.* (2019a), ressaltam que é fundamental identificar a necessidade hídrica responsável pela máxima produção.

O consumo anual de água pela pimenta-do-reino é acima de 1.500 mm (DOORENBOS; KASSAM, 1994). No entanto, a distribuição irregular e a redução dos volumes de chuvas durante o desenvolvimento vegetativo da cultura causam prejuízos, com queda na produção.

Os estudos que visam o monitoramento do manejo da água são essenciais para maiores produções, sendo auxiliada por tecnologias como irrigação nas áreas que constituem plantios de pimenta-do-reino (MAIA *et al.* 2020). O manejo desse recurso hídrico, interligado ao uso de tecnologias, assegura maiores índices de produtividade, já que a pimenta-do-reino é exigente em suprimento de água principalmente no período produtivo (ANKEGOWDA *et al.* 2011).

A eficiência do uso da água (EUA) afeta o rendimento da cultura de acordo com a lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo de crescimento. Entender essa eficiência e suas implicações nas respostas produtivas das lavouras é fundamental para otimizar o uso dos fatores de produção, e priorizar a produção por metro cúbico em vez da produção por unidade de área (MONTEIRO *et al.* 2008). Melo *et al.* (2010) analisaram uma cultura de melancia sob diferentes regimes de irrigação e observaram que a lâmina de água de 266 mm promoveu uma produtividade máxima de frutos de 52.400 kg ha<sup>-1</sup> e EUA de 19,6 kg m<sup>-3</sup>, pode ser explicada pela disponibilidade adequada de água no solo, o que favorece os processos fisiológicos da planta, melhorando, assim, a expressão do potencial da cultura, uma vez que o fator água não será um limitante para a planta (PEREIRA *et al.* 2019b).

Um dos principais entraves ao desenvolvimento regional da cultura da pimenta-do-reino tem sido o baixo rendimento médio de grãos, mesmo considerando as produtividades crescentes, com 2.120 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2018 e 2.256 kg ha<sup>-1</sup> na safra 2019 (IBGE/PAM, 2021). Para aumentar o rendimento de grãos é necessário estudar e identificar práticas de manejo, que visem o máximo aproveitamento do potencial genético da espécie (REGINATO, 2012), sendo a irrigação uma das principais estratégias possíveis.

Neste sentido a determinação da eficiência no uso da água caracteriza-se como fator determinante para o correto dimensionamento e manejo da irrigação, sendo uma ferramenta indispensável na agricultura irrigada, evitando desperdícios do recurso hídrico disponível e diminuindo os custos da agricultura irrigada (YANG *et al.* 2015; LINKER *et al.* 2016).

Tendo em vista a necessidade de otimizar o uso de recursos na agricultura e a demanda crescente pelo produto da pimenta-do-reino, este estudo foi realizado com o objetivo de estimar a produtividade e a eficiência no uso da água em cultivares de pimenteira-do-reino quando submetidas a tensões de água no solo.

## 4.2 Material e Métodos

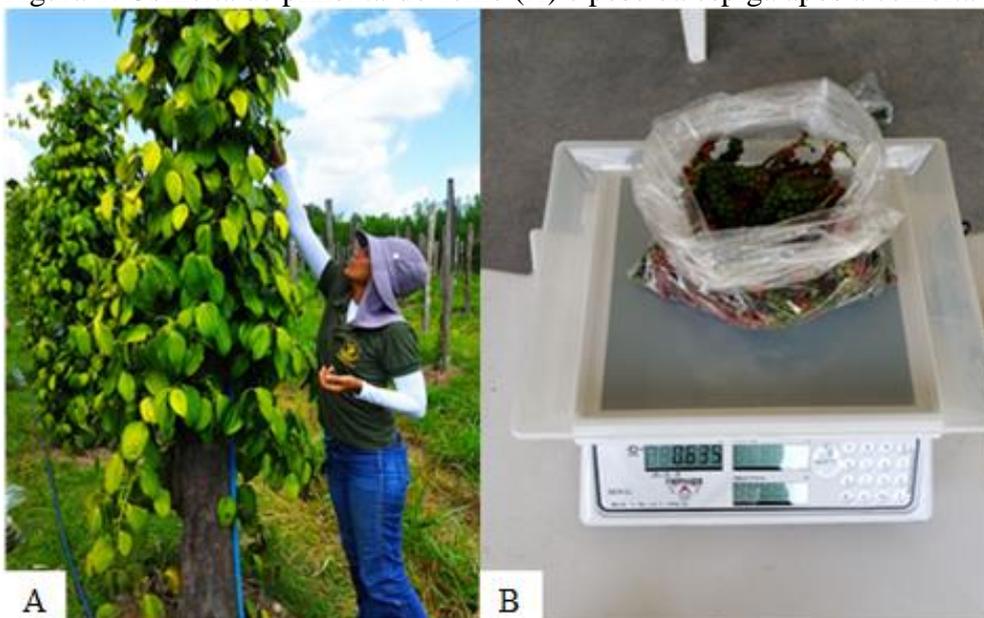
A metodologia utilizada para caracterização da área, delineamento experimental, instalação e condução do trabalho foi a mesma do capítulo 2.

### 4.2.1 Características avaliadas

- Produção de pimenta verde (PPV)

Peso da espiga com frutos maduros a partir de 1/3 da espiga de coloração amarelo a avermelhado em que foram pesadas logo após a colheita. Isto permite avaliar a produção de pimenta-do-reino e está diretamente ligado aos custos de colheita, uma vez que os serviços de colheita são remunerados pelo peso dos frutos com as espigas colhidas (Figura 1).

Figura 1. Colheita de pimenta-do-reino (A) e peso da espiga após a colheita (B)



Fonte: Santos (2022)

Os frutos foram colhidos nos meses correspondentes de colheita para cada cultivar. A clonada entre julho a outubro e uthirankotta entre agosto e novembro.

- Produção de fruto de pimenta verde (PFPV)

Peso obtido logo após a debulha, que permite ter uma referência de quanto é a fração de peso de frutos e das raques e pecíolo das espigas em relação ao somente dos frutos (Figura 2).

Figura 2. Peso após a debulha (A), peso após a debulha de todos os tratamentos (B) e secagem da pimenta-do-reino por tratamento (C)



Fonte: Santos (2022)

- Produção de pimenta preta (PPP)

Após de pesados, os frutos foram levados para secar na estufa até obter uma umidade em torno de 13° C, em torno de quatro dias, conforme Tomé *et al.* (2018) (Figura 3), parâmetro para comercialização.

Figura 3. Frutos colhidos e colocados para secar (A), medição da umidade dos frutos (B) e coleta dos frutos secos para mensuração (C)



Fonte: Santos (2021)

- Rendimento de pimenta preta (RPP)

É o percentual de rendimento relacionado a produção de pimenta preta em relação a produção de pimenta verde colhida, calculado por meio da equação 1:

$$RPP = \frac{PPP}{PPV} \cdot 100\% \quad (1)$$

Em que:

RPP – Rendimento de pimenta preta (%)

PPP – Produção de pimenta preta (kg planta<sup>-1</sup>)

PPV – Produção de pimenta verde (kg planta<sup>-1</sup>)

- Produtividade (PROD)

Foi estimada a produção total de pimenta preta para os dois primeiros anos produtivos. Por meio desses dados foi calculada a produtividade, estimada em kg ha<sup>-1</sup>, por meio da equação 2:

$$PROD = \frac{PPP}{A} \quad (2)$$

Em que:

PROD – Produtividade total, kg ha<sup>-1</sup>

PPP – Produção de pimenta preta, kg

A – Área, ha

- Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência no uso da água (EUA) foi obtida através da relação entre a produtividade de fruto de pimenta preta (kg ha<sup>-1</sup>) e o consumo de água (mm) (DOORENBOS; KASSAM, 1994), através da equação 3:

$$EUA = \frac{PROD}{w} \quad (3)$$

Em que:

EUA – eficiência do uso da água, kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>

PROD – produtividade total, kg ha<sup>-1</sup>

w – volume de água aplicado, mm

Foi verificada a homocedasticidade e normalidade dos dados. Em seguida submetidos à análise de variância e quando significativo, foi aplicado teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Para a estatística dos dados, foi utilizado o programa AgroEstat 1.1.0.712.

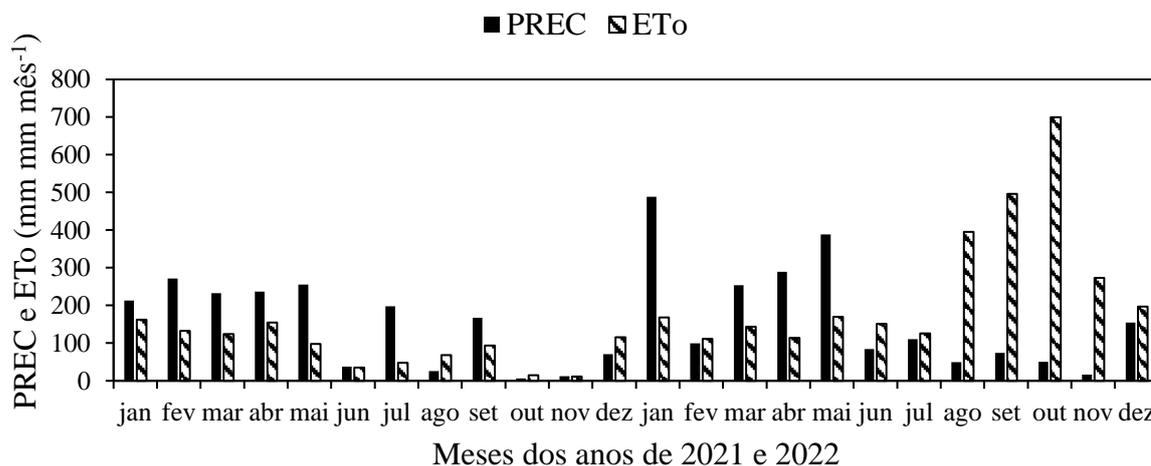
### 4.3 Resultados e discussão

#### 4.3.1 Características climáticas e manejo da irrigação

Para acompanhamento das variáveis agrometeorológicas e para entender o desenvolvimento das cultivares de pimenteira-do-reino submetidas a tensões de água no solo, foram utilizados os dados na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET da estação automática A202, localizada no município de Castanhal, PA, aproximadamente a 30 km de distância da área experimental.

As variações observadas de temperatura e precipitação durante os dois anos de condução do experimento (2021 e 2022), são apresentadas na Figura 4.

Figura 4. Precipitação (PREC) e evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) mensal obtidas durante os dois anos de condução do experimento



Em relação a precipitação ocorrida durante a condução do experimento, observou-se que houve uma precipitação anual de 1.728,4 mm e 2.060,8 mm para os anos de 2021 e 2022, respectivamente. Porém, esse total de precipitação para o ano de 2021 se concentrou nos cinco primeiros meses do ano, onde as maiores precipitações ocorreram nos meses de fevereiro (272 mm), abril (236,8 mm) e maio (255,6 mm), e as menores nos meses de junho (37,6 mm), agosto

(25,6 mm), outubro (6,4 mm) e novembro (12,4 mm). Já para o ano de 2022, as chuvas se concentraram de forma semelhante ao ano de 2021, com maiores precipitações nos meses de janeiro (272 mm), abril (289,2 mm) e maio (388,2 mm), e as menores nos meses de agosto (49,12 mm), setembro (74 mm), outubro (50,6 mm) e novembro (16,8 mm). O contrário ocorreu com os dados de evapotranspiração, ou seja, os maiores valores se concentraram nos meses de menor precipitação, com valores máximos nos meses de agosto (395,3 mm), setembro (496,2 mm) e outubro (699,7 mm) de 2022.

A precipitação é fundamental para as plantas, pois a água da chuva é essencial para o crescimento e desempenha importante papel na fotossíntese e, portanto, na produção. Essa importância se torna maior nas regiões tropicais úmidas e na Amazônia porque, o elemento regulador da agricultura é a chuva, dada a sua função na disponibilidade de água durante o ano (DUARTE, 2004).

Para Duarte (2004), os meses de outubro e novembro são apropriados para realização da irrigação para a pimenteira-do-reino em Castanhal. Porém, para as condições deste experimento, verificou-se que estes meses podem variar (Figura 4), principalmente quando sofrem efeito do fenômeno La Niña, como foi o caso de 2021/2022. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM)<sup>4</sup>, La Niña está acontecendo pelo segundo ano consecutivo e deve durar até o primeiro semestre de 2023, sendo mais ameno do que em relação a 2021/2022.

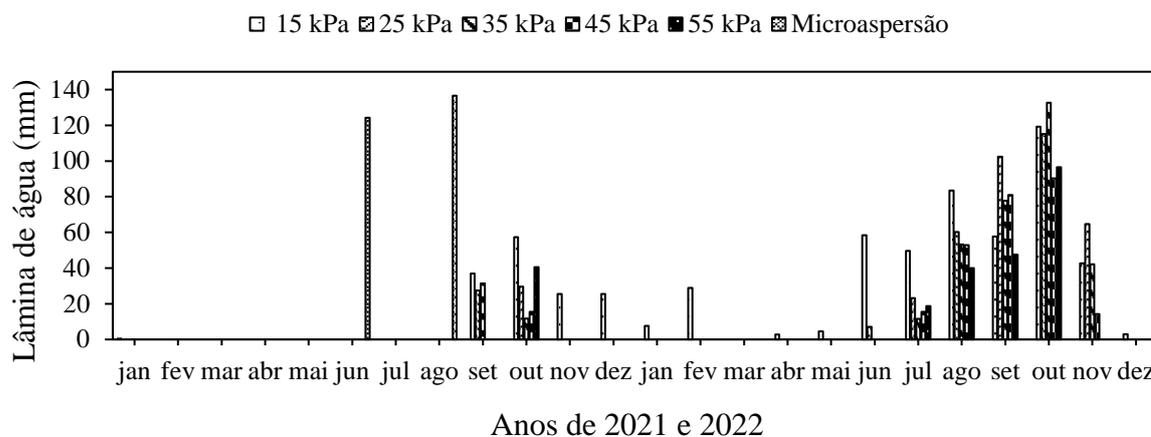
Neste trabalho, observou-se que nos meses de junho, agosto, outubro, novembro e dezembro de 2021 e entre os meses de junho a novembro de 2022 a precipitação ficou abaixo de 150 mm, havendo necessidade de complemento de água para a cultura da pimenteira-do-reino que é exigente em bom suprimento de água, principalmente durante o florescimento e a frutificação, havendo assim a necessidade de manter o solo com adequada umidade para se evitar queda na produção. Oscilações no clima ao longo dos anos influenciam no desempenho das culturas e na sua resposta final na produção, como no estudo de Pereira *et al.* (2012) com a cana de açúcar, que observou a correlação direta das altas ou baixas produções com os volumes de chuva nos anos, demonstrando a importância de estudos com diferentes culturas, principalmente na região Amazônica com culturas ainda pouco estudadas, como a cultura da pimenteira-do-reino.

A Figura 5 apresenta a quantidade de água no experimento por irrigação: microaspersão e gotejamento, durante os anos de 2021 e 2022.

---

<sup>4</sup> <https://news.un.org/pt/story/2020/12/1737002>; <https://news.un.org/pt/story/2021/12/1772152>

Figura 5. Lâminas de água por irrigação no experimento durante os anos de 2021 e 2022



Em 2021, o sistema de irrigação por microaspersão foi acionada, excepcionalmente, nos meses de junho e agosto, momento em que as chuvas diminuíram no município de Castanhal, já que neste período a irrigação por gotejo ainda não se encontrava em funcionamento. Essa reposição hídrica foi realizada de acordo com a evapotranspiração de referência, visto que ainda não existe a evapotranspiração da cultura da pimenteira-do-reino para a região. No mês de setembro de 2021, iniciou-se a diferenciação dos tratamentos correspondentes as tensões de água no solo (15, 25, 35, 45 e 55 kPa), sendo monitoradas diariamente entre setembro de 2021 a dezembro de 2021. Assim como, entre os meses de junho a dezembro de 2022.

A partir da análise dos dados, percebeu-se que nos meses de janeiro, fevereiro, abril e maio de 2022, apenas os tratamentos submetidos à tensão crítica de 15 kPa foram irrigados, devido à tensão de 15 kPa ser a mais próxima da capacidade de campo (10 kPa), em razão do solo da área experimental apresentar baixa retenção de água, a tensão crítica estabelecida em todos esses meses também foi atingida.

O manejo da irrigação na tensão de 15 kPa, apresenta as características recomendadas pela literatura (ZONTA *et al.* 2016; BERNARDO *et al.* 2019), que recomenda a tensão entre 10 e 15 kPa para solos arenosos. Pois, para cada tipo de solo há um volume de reservatório de água para as plantas. Solos arenosos com macroporosidade elevada reterão pequena quantidade de água, implicando, portanto, em irrigações com maior frequência. Entretanto, em solos argilosos com microporosidade elevada deverão armazenar uma maior quantidade de água, implicando em maiores intervalos entre as irrigações (SAAD; LIBARDI, 1992; 1994).

A Tabela 1 informa as lâminas aplicadas de irrigação (Irrig.), precipitação ocorrida (Prec.), lâmina total aplicada (Total), número de irrigações realizadas (NI), turno de rega (TR)

e demanda hídrica diária (DH), durante os meses de diferenciação das tensões de água no solo entre os anos de 2021 (42 dias) e 2022 (168 dias).

Tabela 1. Resumo do manejo de irrigação para a pimenteira-do-reino no município de Castanhal-Pa, com as lâminas aplicadas de irrigação (Irrig.), precipitação ocorrida (Prec.), lâmina total aplicada (Total), número de irrigações realizadas (NI), turno de rega (TR) e demanda hídrica diária (DH)

Tensão	Irrig.	Prec.	Total	NI	TR	DH
	----- 2021 -----					
kPa	mm			(unid.)	(dia)	(mm/dia)
15	94,27	173,8	268,07	22	2	2,24
25	57,23	173,8	231,03	6	7	1,36
35	43,08	173,8	216,89	3	14	1,03
45	31,66	173,8	205,46	2	21	0,75
55	39,24	173,8	213,04	2	21	0,93
	----- 2022 -----					
15	411,17	385,8	795,97	88	2	2,45
25	372,88	385,8	758,68	32	5	2,22
35	328,83	385,8	714,63	24	7	1,96
45	238,30	385,8	624,10	16	11	1,42
55	202,74	385,8	588,54	10	17	1,21

As lâminas aplicadas nas diferentes tensões de água no solo no ano de 2021, apresentaram uma média de 4,3 mm (15 kPa); 9,5 mm (25 kPa); 14,4 mm (35 kPa); 15,8 mm (45 kPa) e 19,6 mm (55 kPa), que correspondem a 3,9; 8,8; 13,2; 14,6 e 18,1 L planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Em 2022, as lâminas nas diferentes tensões de água no solo demonstraram uma média de 4,7 mm (15 kPa); 11,6 mm (25 kPa); 13,7 mm (35 kPa); 14,9 mm (45 kPa) e 20,3 mm (55 kPa), que correspondem a 4,3; 10,7; 12,6; 13,7 e 18,7 L planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Os dados, de 2021 e 2022, demonstram que as plantas submetidas à tensão de 15 kPa foram expostas às menores lâminas de água por aplicação (4,3 e 4,7 mm ou 3,9 e 4,3 L planta<sup>-1</sup>, respectivamente), maior frequência de irrigação (22 e 88 unid., respectivamente), maior lâmina de irrigação (94,27 e 411,17 mm, respectivamente) e maior demanda hídrica diária (2,24 e 2,45 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente).

De acordo com Taiz e Zeiger (2013), as plantas cultivadas em solo com água mais facilmente disponível apresentam maior desenvolvimento, área foliar e transpiração e conseqüentemente, exigem irrigações mais frequentes e maior volume de água para repor o que foi utilizado para o metabolismo, e também, “cedido” para a atmosfera. Por esse motivo, o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas constitui-se em aspecto

importante na agricultura irrigada para que haja uma adequada programação de manejo de irrigação.

#### 4.3.2 Produção, produtividade e eficiência no uso da água

As variáveis produtivas foram analisadas entre os anos de 2021 e 2022. A produção de pimenta verde e produção de fruto de pimenta verde apresentaram interação entre cultivares e ano de colheita. O rendimento de pimenta preta mostrou interação entre tensões de água no solo e ano de colheita e também interação entre tensões de água no solo e cultivares. Já a produção de pimenta preta e produtividade expressaram diferença significativa entre as tensões de água no solo, cultivares e ano de colheita independentes, e todas as variáveis foram analisadas ao nível de 5% de significância (Tabela 2).

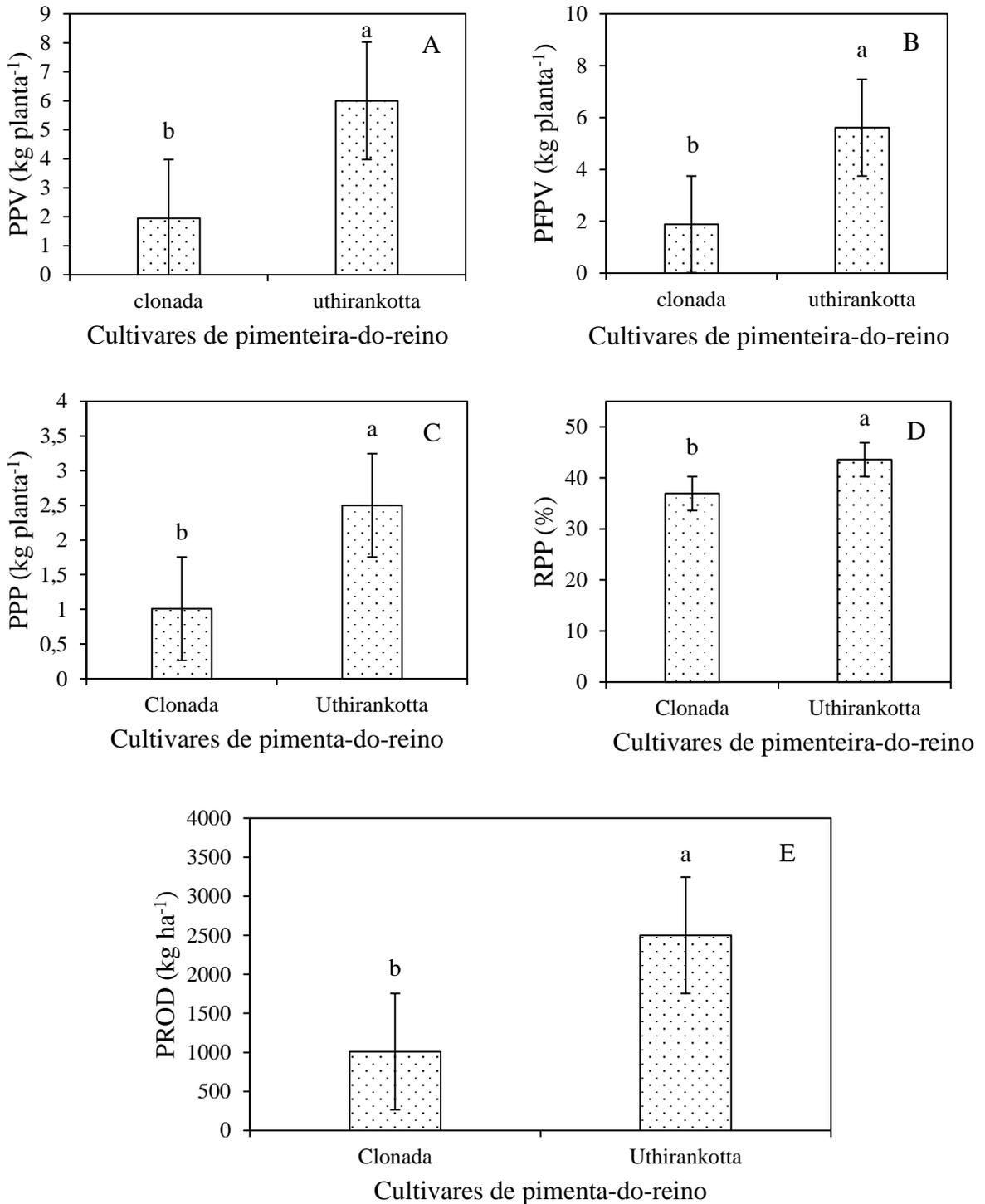
Tabela 2. Resumo da análise de variância para produção de pimenta verde (PPV), produção de fruto de pimenta verde (PFPV), produção de pimenta preta (PPP), rendimento de pimenta preta (RPP), produtividade (PROD) e eficiência no uso da água (EUA) em cultivares de pimenteira-do-reino sob tensões de água no solo, Castanhal-PA, 2021 e 2022

Fonte de variação	Valores de F					
	2021					
	PPV	PFPV	PPP	RPP	PROD	EUA
	kg planta <sup>-1</sup>	kg planta <sup>-1</sup>	kg planta <sup>-1</sup>	%	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>
Bloco	0,15 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>ns</sup>	-----
Tensão (T)	1,86 <sup>ns</sup>	2,41 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	1,64 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	-----
Cultivares (C)	148,71*	138,90*	48,24*	7,67*	48,24*	-----
Interação T x C	2,52 <sup>ns</sup>	2,87 <sup>ns</sup>	2,94 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	2,94 <sup>ns</sup>	-----
CV (T) (%)	21,51	21,37	25,56	17,98	25,56	-----
CV (C) (%)	18,70	18,91	27,33	13,33	27,33	-----
	2022					
Bloco	0,62 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>
Tensão (T)	8,12*	8,04*	8,15*	7,12*	8,15*	3,24 <sup>ns</sup>
Cultivares (C)	13,81*	13,43*	27,18*	34,11*	27,18*	104,24*
Interação T x C	2,35 <sup>ns</sup>	2,40 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	7,14*	0,91 <sup>ns</sup>	18,05*
CV (T) (%)	22,08	22,58	18,69	10,67	18,69	16,18
CV (C) (%)	24,45	24,47	24,91	10,18	24,91	14,23

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo.

No ano de 2021 todas as variáveis produtivas foram influenciadas pelas cultivares de pimenteira-do-reino, com significância estatística ( $p < 0,05$ ) (Figura 6A, B, C, D e E).

Figura 6. Média da produção de pimenta verde (PPV – A), produção de fruto de pimenta verde (PFPV – B), produção de pimenta preta (PPP – C), rendimento de pimenta preta (RPP – D) e produtividade (PROD – E) entre as duas cultivares de pimenteira-do-reino em 2021



\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados da Figura 6A, B, C, D e E demonstram que ao analisar as variáveis produtivas (PPV, PFPV, PPP, RPP e PROD) houve diferença significativa apenas para as cultivares de pimenteira-do-reino com maiores produções para a ‘Uthirankotta’ (6,0; 5,61; 2,5

kg planta<sup>-1</sup>; 43,57 % e 2500,25 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Pois no ano de 2021, a diferença de 42 dias entre as tensões de água no solo não foi significativa, sem estresse hídrico entre as plantas de pimenteira-do-reino.

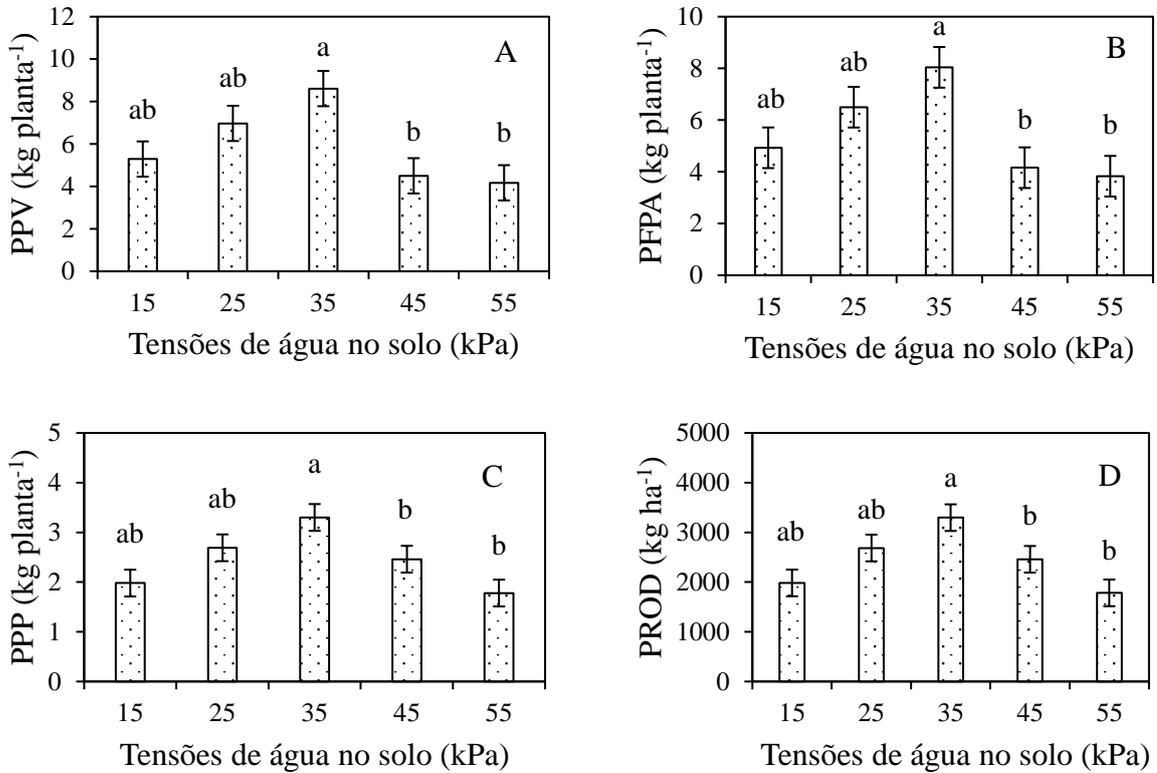
De acordo com Vieira *et al.* (2018), a área foliar interfere diretamente na produção agrícola, por viabilizar maior eficiência fotossintética, conseqüentemente, maior produção de energia química (MARTINS *et al.* 2006), ocasionando maiores quantidades de fotoassimilados que são usados na formação e desenvolvimento dos grãos, o que pode ter ocorrido com as plantas da cultivar Uthirankotta.

Resultados de produção para a ‘Clonada’ se encontra dentro do que se espera obter para o primeiro ano de colheita, contudo a ‘Uthirankotta’ conseguiu ir além das expectativas. Pode ser explicado pela não ocorrência de estresse hídrico severo durante o primeiro ciclo produtivo, principalmente durante a fase de floração, favorecendo o incremento da produção de grãos (MAEHLER *et al.* 2003; FLOSS, 2006; SEZEN *et al.* 2011; GOMES, 2017).

Características morfo-anômicas, fisiológicas e relações hídricas foram singulares em cada cultivar, isto podem ter influenciado nos resultados da Figura 6A, B, C, D e E. Visto que, nas mesmas condições hídricas, a ‘Clonada’ e a ‘Uthirankotta’ expressaram um comportamento distinto, uma em relação a outra, no crescimento (área foliar específica e total), na anatomia (densidade estomática, índice estomático e diâmetro polar dos estômatos), nas trocas gasosas (condutância estomática e fotossíntese) e nas relações hídricas (potencial na turgescência máxima, módulo de elasticidade, teor relativo de água na plasmólise incipiente, potencial hídrico ao meio-dia e condutância hidráulica da planta). Para Sobrado (2009), esses parâmetros permitem caracterizar plantas com capacidade de prosperar em ambientes contrastantes, bem como avaliar o efeito das condições ambientais sobre as relações hídricas foliares.

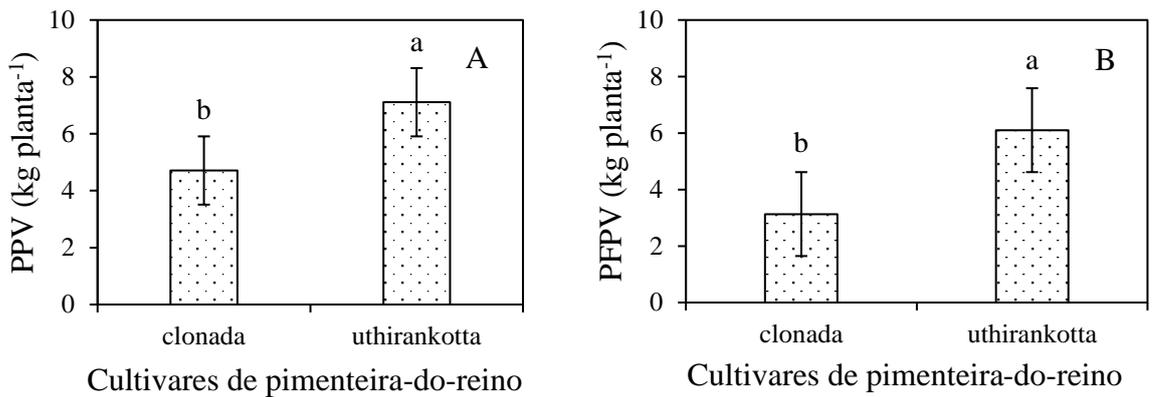
No ano de 2022 todas as variáveis PPV, PFV, PPP e PROD foram influenciadas pelas tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino, com significância estatística ( $p < 0,05$ ). A Figura 7A, B, C e D representam as variáveis em relação as as tensões de água no solo e a Figura 8A, B, C e D retratam as variáveis em relação as cultivares.

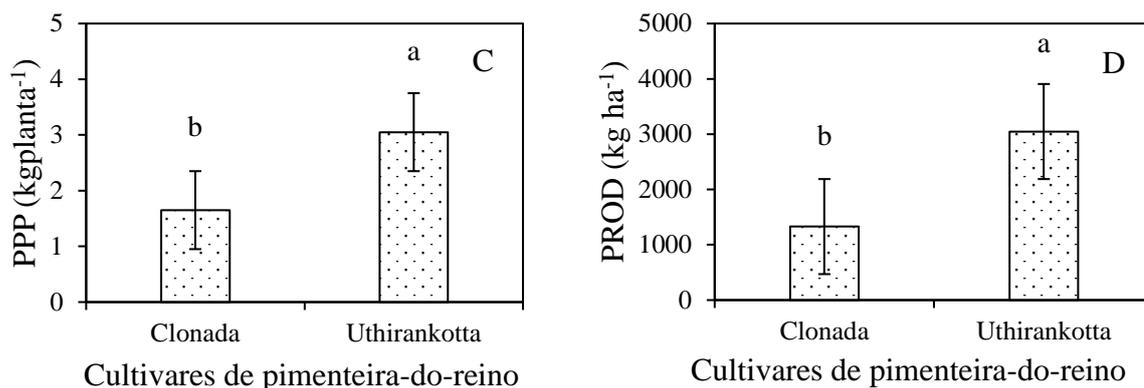
Figura 7. Média da produção de pimenta verde (PPV – A), produção de fruto de pimenta verde (PFPA – B), produção de pimenta preta (PPP – C) e produtividade (PROD – E) entre as tensões de água no solo em 2022



\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Figura 8. Média da produção de pimenta verde (PPV – A), produção de fruto de pimenta verde (PFPA – B), produção de pimenta preta (PPP – C) e produtividade (PROD – E) entre as duas cultivares de pimeneira-do-reino em 2022





\*Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados da Figura 7A, B, C e D demonstram que ao analisar a PPV, PFPV, PPP e PROD houve diferença significativa entre as tensões de água no solo no ano de 2022. Ao verificar a influência das tensões de água no solo, observou-se que para essas variáveis as tensões 15, 25 e 35 não diferiram entre si, contudo foram estatisticamente distintas das tensões 45 e 55 kPa. Entretanto, demonstram um maior valor de PPV, PFPV, PPP e PROD na tensão 35 kPa (8,61; 8,04; 3,3 kg de pimenta-do-reino planta<sup>-1</sup> e 3.296,31 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente), assemelhando-se ao comportamento da condutância estomática ( $g_s$ ) e da transpiração ( $E$ ) nas cultivares de pimenta-do-reino, que não diferiram nessas mesmas tensões de água no solo (15, 25 e 35 kPa), apesar da  $g_s$  apresentar uma leve diminuição (0,19; 0,18 e 0,17 mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente). Tal situação pode ser explicada pela não ocorrência de estresse hídrico severo durante nos dois primeiros anos de ciclo produtivo, principalmente durante a fase de floração, favorecendo o incremento da produção de grãos (MAEHLER *et al.* 2003; FLOSS, 2006; SEZEN *et al.* 2011; GOMES, 2016), uma vez que as plantas, mesmo no período de limitação hídrica no solo, não se inibiram em fechar totalmente seus estômatos, garantindo assimilação de CO<sub>2</sub> necessário a produção de fotoassimilados, afetando de forma positiva na produção das cultivares de pimenta-do-reino.

Os resultados encontrados nesse estudo corroboram aos de Ankegowda *et al.* (2011), que compararam plantas de pimenta-do-reino nas condições irrigada e sequeiro e verificaram maior número de flores com irrigação. A maior produção de pimenta-do-reino está relacionada ao suprimento de água em quantidade adequada às necessidades da cultura na fase de pré-floração até o amadurecimento dos frutos (VIEIRA *et al.* 2018). Dessa forma, o uso de irrigação atendendo a demanda hídrica da planta favoreceu o desenvolvimento da cultura e aumento do número de espigas e a produção de bagas.

Constatou-se que na tensão 35 kPa tanto para a PPV e PFPV houve um incremento de aproximadamente 63 % no kg de pimenta-do-reino planta<sup>-1</sup> em relação a tensão 15 kPa (próxima a capacidade de campo. Segundo Nascimento *et al.* (2011) isto pode estar relacionado a um mecanismo de resistência da cultura ao déficit hídrico, para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água.

De acordo com os resultados na Figura 7C e D (ANEXO A – análise de regressão), a partir da tensão 35 kPa, o aumento da tensão de água no solo, em uma unidade (kPa), implicou em uma diminuição, de aproximadamente 46 % no kg planta<sup>-1</sup> e kg ha<sup>-1</sup> de pimenta preta respectivamente, considerando o intervalo estudado. Isto quer dizer que, neste intervalo, quanto menor o turno de rega (2, 5 ou 7 dias), maior foi a produção de pimenta preta. Pois, a água quando aplicada em pequenas intensidades, porém com alta frequência, mantém a umidade do solo na zona radicular próxima a capacidade de campo (TEIXEIRA *et al.* 2013).

Foi verificado, nesta pesquisa, que o estresse hídrico teve efeito em diversos processos fisiológicos na pimenteira-do-reino e que podem ter ocasionado reduções na produção em certas tensões de água no solo no ano de 2022, em virtude da diminuição da condutância estomática e como consequência redução na taxa fotossintética das cultivares de pimenteira-do-reino. Sousa *et al.* (2009) verificaram que o efeito do estresse hídrico em feijoeiro causa reduções nos componentes de produção e é mais severo quando ocorre nas fases de floração e frutificação. Guimarães, Stone e Brunini (2006) também constataram que a deficiência hídrica nas plantas é tanto maior quanto menor o suprimento de água pelas raízes.

Esses resultados revelam que o rendimento da pimenteira-do-reino está condicionado a forma e manejo de irrigação dos agricultores para com a cultura. Uma vez que, se seu suprimento for limitado, alguns atributos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos da planta podem ser comprometidos (IQBAL *et al.* 2018; AMBROZIM *et al.* 2022) implicando na produção e produtividade da mesma. O que se observou nesta pesquisa.

Os resultados da Figura 8A, B, C e D demonstram que ao analisar a PPV, PFPV, PPP e PROD houve diferença significativa entre as cultivares de pimenteira-do-reino no ano de 2022. Ao averiguar a influência das cultivares, notou-se que para essas variáveis a ‘Uthirankotta’ foi a que demonstrou maiores valores 7,11; 6,1; 3,05 kg planta<sup>-1</sup> e 3.047,61 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para Nascimento *et al.* (2011) o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes a períodos de deficiência hídrica no solo, tal como o desenvolvimento de mecanismos que auxiliem as plantas a tolerar períodos prolongados de seca, será essencial na manutenção da produção agrícola brasileira e mundial.

A redução da PPV, PFPV, PPP e PROD na ‘Clonada’, podem estar diretamente relacionados com as características morfo-anatômicas e fisiológicas desta cultivar. No qual foi verificado que o estresse hídrico provocou não só uma limitação estomática, mas também uma possível restrição bioquímica nas cultivares de pimenteira-do-reino, principalmente na ‘Clonada’. Esses resultados colaboram com os encontrados por Bezerra *et al.* (2003) e Nascimento *et al.* (2011), ao estudarem cultivares de feijão-caupi apresentaram diferentes respostas fisiológicas quando submetidos a déficit de água no solo.

Em relação a PPP e PROD (Figura 8C e D), a ‘Uthirankotta’ (3,05 kg planta<sup>-1</sup> e 3.047,61 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) um acréscimo de aproximadamente de 56% de kg de pimenta planta<sup>-1</sup> e kg ha<sup>-1</sup> que a ‘Uthirankotta’ produziu a mais do que a ‘Clonada’ (1,33 kg planta<sup>-1</sup> e 1.328,61 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Fato este explicado por Turner (2018), que a classifica como tolerante à seca, com alto potencial hídrico e acrescenta que a tolerância da planta ao déficit hídrico parece ser um importante mecanismo de resistência para manter o processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas.

Constatou-se, por outro lado, que a ‘Clonada’ é bastante sensível ao déficit hídrico, por apresentarem maior redução no potencial hídrico ocasionando maior perda na turgescência e fechamento mais rápido dos estômatos, provavelmente como consequência, maior redução na produção de fotoassimilados, resultando no menor rendimento de grãos de pimenta preta.

Para Dallagnol *et al.* (2011) esse fechamento mais cedo limita o influxo de CO<sub>2</sub> às folhas e ocorre uma redução no transporte de elétrons da cadeia fotossintética, indicando decréscimo na eficiência do uso da luz e, conseqüentemente, um aumento no excesso de energia de excitação (GUERRA *et al.* 2014). Essa energia em excesso pode estar associada com o decréscimo na  $g_s$ , criando, assim, condições para elevar a produção de espécies reativas de oxigênio que prejudicam a homeostase celular (MATEO *et al.* 2004; DALLAGNOL *et al.* 2011; GUERRA *et al.* 2014), o que explica o fato da ocorrência de 13,33% de mortes de plantas correspondentes a ‘Clonada’.

Em situações de estresse por limitação hídrica, ocorre queda na taxa fotossintética por imparidade bioquímica (RAINES, 2011; AROCA; PORCEL; RUIZ-LOZANO, 2012; VOSS *et al.* 2013; LU *et al.* 2014; BIANCHI; GERMINO; SILVA, 2016), o que pode ter refletido no aumento da relação  $C_i/C_a$ , pois houve menor consumo de CO<sub>2</sub>, e maior queda da eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ ) na ‘Clonada’ do que na ‘Uthirankotta’, é provável que esteja relacionado a uma estratégia de ajustamento osmótico pela ‘Uthirankotta’, mantendo o seu crescimento (área foliar) e explorando melhor a captação de água no solo. Que de acordo com Vieira *et al.* (2018), a área foliar interfere diretamente na produção agrícola, por viabilizar maior

produção de fotossíntese, conseqüentemente, maior produção de energia química (MARTINS *et al.* 2006), ocasionando maiores quantidades de fotoassimilados que são usados na formação e desenvolvimento dos grãos.

Alguns estudos indicam que diferentes variedades da mesma espécie podem expressar diferenças fisiológicas ou morfológicas quando submetidas ao déficit hídrico. Algumas espécies tolerantes à seca desenvolvem mecanismos como sistemas radiculares mais profundos, controle do fechamento estomático e baixo potencial hídrico, maximizando o uso da água para a produção de biomassa (PINHEIRO *et al.* 2005; AMBROZIM *et al.* 2022), características verificadas na ‘Uthirankotta’.

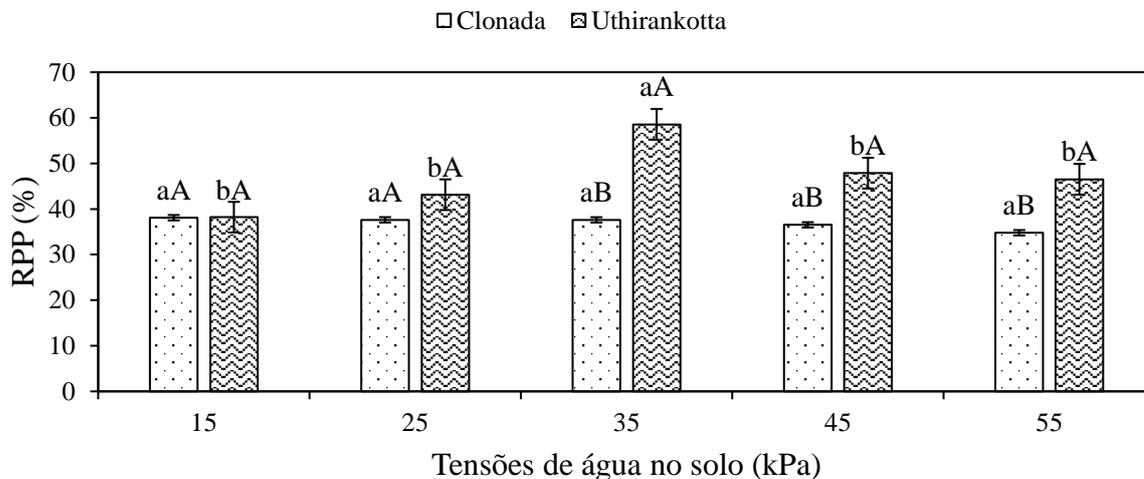
Esta pesquisa, reforça ao pipericultor, que o rendimento da pimenteira-do-reino está influenciado pelas diferentes técnicas de manejo adotado, pois nos dois primeiros anos de ciclo produtivo (2021 e 2022) a cultivar Uthirankotta apresentou produtividade média próximo a 2.500,25 e 3.047,61 kg ha<sup>-1</sup>, 11,7 e 27,5% acima dos cultivos no Estado do Pará (2.209 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. No Brasil existem diversas cultivares de pimenteira-do-reino de boa aceitação comercial. Contudo, não há um programa nacional de avaliação que permita indicar cultivares apropriadas a cada região produtora.

Hoje, o que se observa, é que as cultivares disponíveis estão sendo utilizadas indiscriminadamente, sem levar em conta possíveis diferenças de desempenho para cada ambiente. Para Tavares *et al.* (2018), na introdução de genótipos, é importante que se façam avaliações sob as condições edafoclimáticas locais. Estudos tornam-se necessários, pois, regra geral, o produtor utiliza por conta e risco, qualquer cultivar disponível no mercado, levando-o, a frustrações e prejuízos. A identificação de cultivares mais adaptadas proporciona segurança aos agricultores, inclusive facilitando a obtenção de crédito e garantindo a aceitação do produto no mercado regional (Oliveira *et al.* 2007).

Esses dados de produção estão dentro dos valores esperados para os dois anos iniciais do ciclo produtivo da cultura da pimenteira-do-reino (RODRIGUES; POLTRONIERI; LEMOS, 2017; PACHECO; BOTH; LEMOS, 2019; RODRIGUES *et al.* 2019).

Determinando o rendimento de pimenta preta (RPP) constatou-se interação entre tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino, significativo ( $p < 0,05$ ). Todavia, ao analisar a atuação das tensões de água no solo na mesma cultivar, houve diferença estatística entre as tensões de água no solo somente para a ‘Uthirankotta’. Porém, ao verificar as cultivares na mesma tensão de água no solo verificou-se que houve diferença estatística, nas tensões 35, 45 e 55 kPa (Figura 9).

Figura 9. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino no rendimento de pimenta preta (RPP)



\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre as tensões de água no solo e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares na mesma tensão de água no solo, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

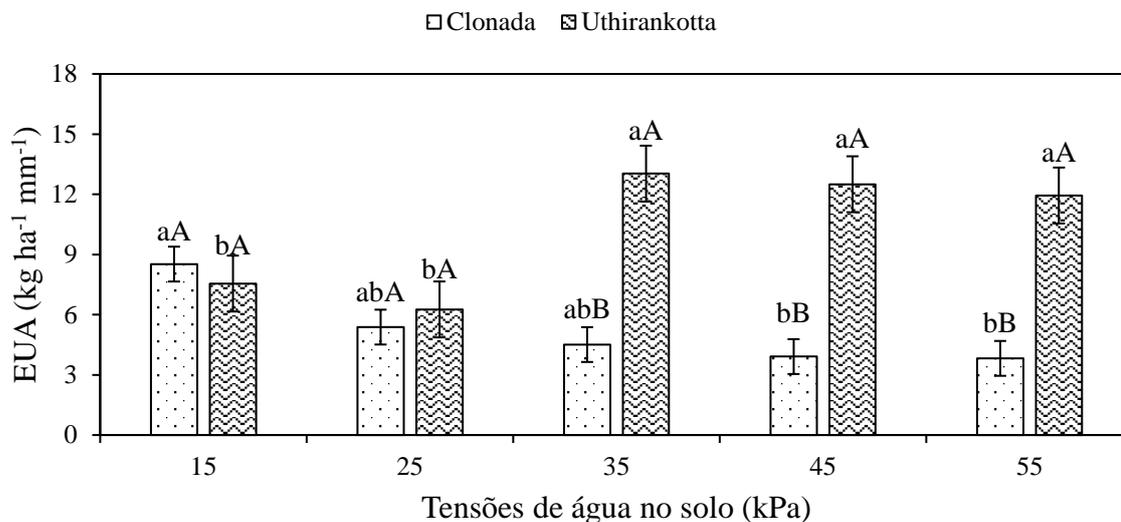
Observou-se que para a cultivar Uthirankotta, as tensões 35, 45 e 55 kPa (58,56; 47,86 e 46,52%) demonstraram maior RPP em relação as tensões 15 e 25 kPa (38,20 e 43,14%, respectivamente). Enquanto que na cultivar Clonada não houve diferença significativa entre as tensões, obtendo um RPP abaixo de 39% em todas as tensões avaliadas. Verificou-se, ainda, que nas tensões 35, 45 e 55 kPa a ‘Uthirankotta’ (58,56; 47,86 e 46,52%, respectivamente) apresentou maior RPP em relação a ‘Clonada’ (37,61; 36,52 e 34,79%, respectivamente). Esses resultados contribuem com os encontrados por Pacheco, Both e Lemos (2019), ao avaliarem o desenvolvimento de cultivares de pimenteira-do-reino quanto à produção em tutor morto. Estes autores relatam que as cultivares Bragantina e Uthirankotta, mesmo apresentando menores produções nos dois primeiros anos de ciclo produtivo, alcançaram maiores rendimentos de pimenta preta 38,63 e 34,26%, respectivamente.

Essa informação é importante, pois associa os custos de produção que para Lemos e Poltronieri (2014) se caracterizam de acordo com o preço e os custos atuais que podem apresentar lucratividade diferente, uma vez que a pimenta é vendida como pimenta preta. Logo, maior rendimento e maior produção de pimenta verde, maior lucratividade para o produtor.

Diante desses resultados iniciais de produção e produtividade da pimenta-do-reino, evidencia que para se ter uma elevada produtividade, é importante garantir água e adequado trato cultural durante todo o ciclo dos cultivos.

A eficiência no uso da água (EUA) apontou interação entre as tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino ao nível de 5% de significativa (Figura 10).

Figura 10. Efeito da interação entre as tensões de água no solo e cultivares de pimenteira-do-reino na eficiência no uso da água (EUA)



\*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre as tensões de água no solo e mesma cultivar e maiúsculas entre as cultivares na mesma tensão de água no solo, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Ao analisar a atuação das tensões de água no solo na mesma cultivar, houve diferença estatística entre as tensões de água no solo para as duas cultivares. No qual a ‘Clonada’ mostrou melhor eficiência nas tensões 15, 25 e 35 kPa (5,82; 5,38 e 4,51 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), enquanto que a ‘Uthirankotta’ nas tensões 35, 45 e 55 kPa (13,03; 12,5 e 11,94 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Porém, ao verificar as duas cultivares na mesma tensão de água no solo observou-se que houve diferença estatística nas tensões 25, 35 e 55 kPa, com melhor eficiência para a cultivar Uthirankotta (13,03; 12,5 e 11,94 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Figura 10). Esses resultados conferem com os resultados encontrados pela eficiência instantânea no uso da água (EIUA).

Silva *et al.* (2012), relatam que a EUA é a relação entre a produção e o consumo de água, ou seja, quanto maior o valor desta relação menos água será consumido pela planta. Logo, a redução da EUA em níveis de irrigação superiores ao consumo da cultura, segundo Santos *et al.* (2019) está atrelada à grande quantidade de água disponibilizada, reduzindo a relação entre a produtividade e o consumo hídrico da cultura. O que, provavelmente, pode ter ocorrido com a cultivar clonada.

Observou-se, ainda, que a ‘Uthirankotta’ (10,26 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) quando comparada a ‘Clonada’ (5,23 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), foi mais eficiente na conversão de matéria seca de fruto para cada 1 mm de água aplicada, apresentando aproximadamente uma eficiência de 49% em relação a ‘Clonada’. As plantas mais eficientes no uso da água são aquelas que apresentam melhoria das funções fisiológicas e hidráulicas (ROUSSEAU *et al.* 2013; PELOSO *et al.* 2017). Isso

implica em maiores valores de relação raiz/parte aérea, conteúdo de clorofila, eficiência fotossintética e acúmulo de matéria seca (ZHENG BIN *et al.* 2011), com menor quantidade de água aplicada.

Uma das muitas atuações da pesquisa está em se direcionar para um entendimento mais completo das respostas das plantas ao déficit hídrico. Para isto, necessita-se de um programa amplo, multidisciplinar, que aborde os elementos de meteorologia, física do solo, agronomia, fisiologia e o conhecimento do crescimento e desenvolvimento das plantas, para que esses elementos possam contribuir para uma solução comum no entendimento da resposta das plantas ao déficit hídrico.

#### 4.4 Conclusões

- O estresse provocado pelas tensões de água no solo influenciaram diretamente de forma negativa na produção e produtividade da ‘Clonada’;
- A ‘Uthirankotta’ foi a cultivar que expressou melhores resultados produtivos sob as tensões de água no solo;
- A ‘Uthirankotta’ foi mais eficiente no uso da água do que a ‘Clonada’;
- A tensão 35 kPa (13,7 mm ou 12,6 L planta<sup>-1</sup>) foi a mais indicada para a ‘Uthirankotta’.

#### REFERÊNCIAS

AMBROZIM, Clodoaldo Spadetto et al. Physiological response of black pepper (*Piper nigrum* L.) to deficit irrigation. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 53, p. 1-10, 2022.

ANDRADE, C. G. C.; SILVA, M. L.; SALLES, T. T. Fatores impactantes no valor bruto da produção de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.) no Pará. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 1-8, 2017.

ANKEGOWDA, S. J. *et al.* Impact of basic irrigation on black pepper production in coffee based cropping system in high altitude regions of Kodagu, Karnataka. **Indian Journal of Horticulture**, v. 68, n.1, p. 71-74, 2011.

AROCA, R.; PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 1, p. 43-57, 2012.

BERNARDO, Salassier *et al.* **Manual de Irrigação**. 9.ed. Viçosa: UFV, 2019, 545p.

BEZERRA, Francisco Marcus Lima *et al.* Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. de A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

CARVALHO, Daniel Fonseca de *et al.* Yield, water use efficiency, and yield response factor in carrot crop under diferente irrigation depths. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1145-1150, 2016.

DALLAGNOL, Leandro José *et al.* Alterations on Rice leaf physiology during infection by *Bipolaris oryzae*. **Australian Plant Pathology**, v.40, p.360-365, 2011.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução: GHEYI, H. R. *et al.* Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

DUARTE, M. L. R. **Cultivo da Pimenta do Reino na Região Norte**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 185p.

DUARTE, Maria de Lourdes Reis *et al.* **Pimenta-do-reino**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 2006. 82 p.

EMBRAPA - EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Manual Segurança e Qualidade para a Cultura da Pimenta-do-Reino**. Brasília: EMBRAPA/SEDE, 65 p. (Qualidade e Segurança dos Alimentos). Projeto PAS Campo. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE/EMBRAPA, 2004.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 3.ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2006. 751 p.

GUERRA, Antonia Mirian Nogueira de Moura *et al.* Capacidade fotossintética de plantas de algodoeiro infectadas por ramulose e suprimidas com silício. **Bragantia**, v. 73, n. 1, p. 50-64, 2014.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 70-75, 2006.

GOMES, D. G. **Crescimento e produção do amendoim Runner IAC 886 sob diferentes lâminas de irrigação**. [s.l. ] Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, 2016.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. **Produção Agrícola Municipal, 2020**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12/07/2021.

IQBAL, Hassan *et al.* Differential response of quinoa genotypes to drought and foliage-applied H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in relation to oxidative damage, osmotic adjustment and antioxidante capacity. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 164, n. 30, p. 344-354, 2018.

LEMOS, O. F. de.; POLTRONIERI, C. R. Produção de mudas. In: LEMOS, O. F.; TREMACOLDI, C. R.; POLTRONIERI, M. C. **Boas práticas agrícolas para aumento da produtividade e qualidade da pimenta-do-reino no estado do Pará**. 1ª ed. Brasília – DF: Embrapa, p. 13-17, 2014.

LINKER, Raphael *et al.* Optimal model-based déficit irrigation scheduling using AquaCrop: A simulation study with cotton, potato and tomato. **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 236-243, 2016.

LU, Yusheng *et al.* Suppression of glycolate oxidase causes glyoxylate accumulation that inhibits photosynthesis through deactivating Rubisco in rice. **Physiologia Plantarum**, v. 150, n. 3, p. 463-476, 2014.

MAEHLER, André Roberto *et al.* Grain quality of two soybean cultivars as a function of soil water availability and plant arrangement. **Ciência rural**, v. 33, n 2, p. 13-218, 2003.

MAIA, Gicelly da Silva *et al.* Coeficiente de cultura de pimenta-do-reino estimado por Sentinel 2A e FAO 56 para cálculo de ET<sub>c</sub> em região Amazônica. In: XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, 2020. Online. **Anais...**, 2020. n. 49, p. 1-7.

MARTINS, Cristiani Campos *et al.* Crescimento inicial do café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, n.3, p. 193-201, 2006.

MATEO, Alfonso *et al.* Lesion simulating disease is required for acclimation to conditions that promote excess excitation energy. **Plant Physiology**, v. 136, n. 1, p. 2818-2830, 2004.

MELO, Alberto Soares de *et al.* Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara *et al.* Eficiência do uso da água e nitrogênio na produção de melão. **Irriga**, v. 13, n. 3, p. 367-377, 2008.

NASCIMENTO, Sebastião Pereira do *et al.* Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.

OLIVEIRA, Ademar Pereira *et al.* Produtividade da pimenta-do-reino em função de doses de esterco bovino. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 408-410, 2007.

PACHECO, L. B.; BOTH, J. P. C.; LEMOS, O. F. de. Comportamento de cultivares de pimenta-do-reino quanto à produção em tutor morto. *In: 23º Seminário de Iniciação Científica da Amazônia Oriental; 7º Seminário de Pós-Graduação da Embrapa Amazônia Oriental, 2019, Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, Anais...*, 2019, p. 247-252.

PELOSO, Anelisa Figueiredo *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, v. 12, n.3, p.389-399, 2017.

PEREIRA, Anderson Crestani *et al.* Aspectos produtivos e eficiência no uso da água em cultivares de canola irrigada. **Cultura Agrônômica**, v. 28, n. 2, p. 166-178, 2019b.

PEREIRA, Laércio da Silva *et al.* Water melon yield and efficiency of use of water and nitrogen. **Revista Caatinga**, v.32, n.3, p. 769-777, 2019a.

PEREIRA, Michael Douglas Barbosa *et al.* Análise da pluviosidade na microrregião de Sapé, Paraíba e sua relação com a produção da cana-de-açúcar. **Revista Geonorte**, edição especial 2, v. 2, n. 5, p. 910-921, 2012.

PINHEIRO, Hugo Alves *et al.* Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canéfora*. **Annals of Botany**, v. 96, n. 1, p. 101-108, 2005.

RAINES, C. A. Increasing Photosynthetic Carbon Assimilation in C3 Plants to Improve Crop Yield: Current and Future Strategies. **Plant Physiology**, v. 155, n. 1, p. 36-42, 2011.

REGINATO, C. **Rendimento da canola (*Brassica napus* L. var. Hyola 433) submetida a diferentes adubações foliares.** [s. 1.] Universidade Federal da Fronteira Sul, 2012.

RODRIGUES, S. de M.; POLTRONIERI, M. C.; LEMOS, O. F. de. Comportamento de genótipos de pimenteira-do-reino cultivados em dois tipos de tutores. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 26, p. 197-205, 2017.

RODRIGUES, Simone de Miranda *et al.* **Avaliação de cultivares de pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*) em dois tipos de tutores no município de Igarapé-Açu, Pará.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. 20 p.

ROUSSEAU, Céline *et al.* High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods**, v. 9, n. 17, p. 1-13, 2013.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. Qualidade da irrigação controlada por tensiômetros em pivô central. **Scientia Agricola**, v.51, n. 3, p.549-555, 1994.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante.** Publicação IPT, São Paulo, n°2002, 1992, 27p.

SANTOS, Helane Cristina Aguiar Santos *et al.* Yield of fertigated bell pepper under diferente soil water tensions and nitrogen fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 172-183, 2019.

SEZEN, Metin Semih *et al.* Yield and quality response of drip-irrigated pepper under Mediterranean climate conditions to various water regimes. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 8, p.1329-1339, 2011.

SILVA, José Maria *et al.* Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p.40-46, 2012.

SOBRADO, M A. Leaf tissue water relations and hydraulic properties of sclerophyllous vegetation on white sands of the upper Rio Negro in the Amazon region. **Journal of Tropical Ecology**, v.25, n. 3, p. 271–280, 2009.

SOUSA, Marliana Araújo de *et al.* Estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n. 2, p. 175-182, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, 5ª edição Internacional. Ed. Artmed. 954 p., 2013.

TAVARES, Aline Torquato *et al.* Aptidão agrônômica de genótipos de melancia no Sul do estado do Tocantins. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 1, p. 1-6, 2018.

TEIXEIRA, Rafael Pombo *et al.* Análise das tensões de água no solo cultivado com morangueiro sob poda. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 25-42, 2013.

TOMÉ, Thaís Cattarine Henriques *et al.* Determinação das propriedades físicas da pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.). In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2018. **Anais...**, 2018, p. 1-5.

TURNER, N. C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of experimental botany**, v. 69, n. 13, p. 3223-3233, 2018.

VIEIRA, Gustavo Haddad Souza *et al.* Performance of irrigated black pepper. **In**: Conference Irrigation Show & Education. Long Beach Convention Center, Califórnia, 2018, p. 1-13.

VOSS, Ingo *et al.* Emerging concept for the role of photorespiration as an important part of abiotic stress response. **Plant Biology**, v. 15, n. 4, p. 713-722, 2013.

YANG, Chuanjie *et al.* Effect of déficit irrigation on the growth, water use characteristics and yield of cotton in arid northwest China. **Pedosphere**, v. 25, n. 6, p. 910-924, 2015.

ZHENGBIN, Zhang *et al.* Advances a water use efficiency. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 31, n. 3, p. 281-293, 2011.

ZONTA, João Henrique *et al.* **Manejo da irrigação do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 8p.

## 5 CONCLUSÕES FINAIS

Os resultados obtidos, nesses dois anos de ciclo produtivo, revelam que, na mesma condição hídrica, as cultivares Clonada e Uthirankotta expressaram um comportamento desigual, uma em relação a outra, no crescimento (AFE e AFT), nas trocas gasosas ( $g_s$  e  $A$ ) e nas relações hídricas ( $\Psi_{pt}$ ,  $\epsilon_v$ ,  $TRA_{ppt}$ ,  $\Psi_{md}$  e  $K_p$ ). No qual a ‘Uthirankotta’ apresentou mecanismo mais tolerante a seca do que a ‘Clonada’, enquanto que a ‘Clonada’apontou melhor desempenho nas trocas gasosas devido suas características anatômicas (DE, IE e DPE).

Já sob os efeitos das tensões de água no solo, observou-se que, nas duas cultivares, o estresse provocado diminuiu  $A$  e  $E$  ao longo do período avaliado, os quais estiveram associados à redução da  $g_s$ , influenciando diretamente de forma negativa na produção e produtividade da ‘Clonada’. Esta apresentou sensibilidade às tensões estudadas nesta pesquisa. Enquanto que a ‘Uthirankotta’ foi a cultivar que expressou melhores respostas fisiológicas e *status* hídrico sob as tensões de água no solo, atuando diretamente de forma positiva nos resultados produtivos (melhor produtividade e eficiência no uso da água).

## REFERÊNCIA FINAL

ABADE, Mayra Taniely Ribeiro *et al.* Determinação do conteúdo relativo de água em folhas de Girassol (*helianthus annuus* L.). In: VIII Workshop Agroenergia – Matérias Primas, 2014. *Anais...*, 2014, p. 1-5.

ABUKAWSAR, Mirza *et al.* Chemical, pharmacological and nutritional quality assessment of black pepper (*Piper nigrum* L.) seed cultivars. **Journal of Food Biochemistry**, v. 42, n. 7, p. 1-21, 2018.

AGBOR, Gabriel Agbor *et al.* Antioxidant and anti-atherogenic activities of three Piper species on atherogenic diet fed hamsters. **Experimental and toxicologic pathology**, v. 64, n. 4, p. 387-391, 2012.

AHMAD, Nisar *et al.* Biological role of *Piper nigrum* L. (Black pepper): A review. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 3, p. 1945-1953, 2012.

ALMEIDA, V. H. M. de. **Características foliares associadas à resistência à seca em um gradiente de perturbação antrópica na Mata Atlântica-SP**. [s.1. ] Instituto de Botânica da Secretaria de Meio Ambiente, 2017.

AMBROZIM, Clodoaldo Spadeto *et al.* Área foliar e índice de clorofila em mudas de pimenta-do-reino produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e composição de substrato. *In: XI ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATO PARA PLANTAS*, 2018. Canela, RS. **Anais...** Canela: UFRGS, 2018. n. 11, p.1.

ANDRADE, C. G. C.; SILVA, M. L.; SALLES, T. T. Fatores impactantes no valor bruto da produção de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.) no Pará. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 1-8, 2017.

ANKEGOWDA, S. J. *et al.* Impact of basic irrigation on black pepper production in coffee based cropping system in high altitude regions of Kodagu, Karnataka. **Indian Journal of Horticulture**, v. 68, n.1, p. 71-74, 2011.

ANJUM, Shakeel Ahmad *et al.* Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011.

ARANTES, Alexandre de Magalhães *et al.* Gas exchange in diferente varieties of banana prata in semi-arid environment. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 2, e-600, p. 1-12, 2016.

ARAÚJO, Saulo Alberto do Carmo *et al.* Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.

ARAÚJO, Wagner Luiz *et al.* Antisense Inhibition of the Iron-Sulphur Subunit of Succinate Dehydrogenase Enhances Photosynthesis and Growth in Tomato via an Organic Acid-Mediated Effect on Stomatal Aperture. **The Plant Cell**, v. 23, n. 2, p. 600–627, 2011.

AROCA, R.; PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 1, p. 43-57, 2012.

ASSIS, Beatriz V. R. *et al.* Efeito inibitório do extrato de *Piper nigrum* L. sobre a corrosão do aço carbono em meio ácido. **Revista Virtual de Química**, v.5, n.7, p. 1830-1840, 2015.

BALASUBRAMANIAN, Shancar *et al.* Postharvest Processing and Benefits of Black Pepper, Coriander, Cinnamon, Fenugreek, and Turmeric Spices, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 10, p. 1585-1607, 2016.

BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian journal of Biological Science**, v.15, n. 3, p. 413-428, 1962.

BARTLETT, Megan K. *et al.* Rapid determination of comparative drought tolerance traits: using an osmometer to predict turgor loss point. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 5, p. 880-888, 2012.

BARTLETT, M. K.; SCOFFONI, C.; SACK, L. The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis. **Ecology Letters**, v. 15, n. 5, p. 393-405, 2012.

BARTLETT, Megan K. *et al.* Global analysis of plasticity in turgor loss point, a key drought tolerance trait. **Ecology Letters**, v. 17, n. 12, p. 1580-1590, 2014.

BASTOS, Terezinha Xavier *et al.* **Características agroclimáticas do município de Paragominas**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, Documentos 228, p. 21, 2005.

BATISTA, Luiz Antônio *et al.* Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.

BERNARDO, Salassier *et al.* **Manual de Irrigação**. 9.ed. Viçosa: UFV, 2019, 545p.

BEZERRA, Francisco Marcus Lima *et al.* Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5-10, 2003

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. de A. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

BIERAS, A. C.; SAJO, M. G. Leaf structure of the cerrado (Brazilian savana) woody plants. **Trees**, v. 23, p. 451-471, 2009.

BIREAHL, A.; FERMINO JUNIOR, P. C. P. Plasticidade fenotípica em folhas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista do Instituto Florestal**, v. 32, n. 2, p. 143-157, 2020.

BLACKMAN, C. J.; BRODRIBB, T. J.; JORDAN, G. J. Leaf hydraulic vulnerability is related to conduit dimensions and drought resistance across a diverse range of woody angiosperms. **New Phytol.**, v. 188, n. 4, p. 1113– 1123, 2010.

BONOMO, Diego Zancanella *et al.* Vegetative development of the Conilon coffee plant submitted to different irrigation depths. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 2, p. 157-169, 2013.

BRASIL. Secretaria De Política Agrícola. Portaria nº 379, de 18 de outubro de 2011. Aprova o zoneamento agrícola de risco climático para a cultura de pimenta do reino no Estado da Bahia. Diário Oficial da União, Brasília, p. 4. Seção I, 2011.

BRODRIBB, Timothy John *et al.* Relations between stomatal closure, leaf turgor and xylem vulnerability in eight tropical dry forest trees. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, p. 443–450, 2003.

CAI, Zhi-Quan *et al.* Responses of two field-grown coffee species to drought and rehydration. *Photosynthetica*, **Prague**, v. 43, p. 187-193, 2005.

CAMARGO-BORTOLIN, Livia Haik Guedes de *et al.* Autonomy and network modulation of photosynthesis and water relations of *Coffea arabica* in the field. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 2, p. 141-151, 2008.

CAMARGO, M. A. B.; MARENCO, R. A. Growth, leaf and stomatal traits of crabwood (*Carapa guianensis* Aubl.) in central Amazonia. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 7-16, 2012.

CAMPOS, João Hugo Baracuy Cunha *et al.* Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n. 2, p. 150-156, 2008.

CARVALHO, Daniel Fonseca de *et al.* Yield, water use efficiency, and yield response factor in carrot crop under diferente irrigation depths. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1145-1150, 2016.

CARVALHO, Ivan Ricardo *et al.* Demanda hídricas das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n.17, p. 969-985, 2013.

CARDOSO JÚNIOR, Emanuel Queiroz *et al.* **Métodos de preparo de área sobre algumas características físicas do solo e da produção do maracujazeiro (*Passiflora edulis*) no nordeste do Pará.** Embrapa. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 2007.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: estrutura e função dos órgãos vegetativos.** Lavras: UFLA, 2009. 234p.

CATEN, A. **Efeito de silicato e tensões de água no solo no crescimento do maracujazeiro amarelo.** [s.1.] Universidade Estadual do Norte do Fluminense “Darcy Ribeiro”, 2013.

CAVATTE, Paulo Cezar. *et al.* Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee?: a morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 144, n. 2, p. 111-122, 2012.

CERQUEIRA, R. C. **Influência do frio e do déficit hídrico nas características fisiológicas e bioquímicas em videiras (*Vitis vinífera* L.) cv. Thompson seedless.** [s.1.] Universidade Estadual Paulista ‘Julio de Mesquita Filho’, 2011.

CHANDRA, A.; DUBEY, A. Effect of ploidy levels on the activities of  $\delta$  1-pyrroline-5-carboxylate synthetase, superoxide dismutase and peroxidase in *Cenchrus* species grown under water stress. **J Plant Physiol**, v. 48, n. 1, p. 27–34, 2010.

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

CHEN, C. Y. S.; TAWAN, C. Botany, diversity, and distribution of black pepper (*Piper nigrum* L.) Cultivars in Malaysia. **Borneo Journal of Resource Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 10-23, 2020.

CONTI JUNIOR, J. L. F. **Parâmetros fisiológicos como indicadores de tolerância à seca em clones de *Eucalyptus* spp.** [s.1. ] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2019.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta. Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

CRUZ, Maria do Céu Monteiro da *et al.* Avaliação do potencial hídrico foliar, umidade do solo e temperatura do ar no período pré florescimento dos citros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1291–1296, 2007.

CUTTER, E. G. **Anatomia Vegetal Parte II.** Órgãos-Experimentos e Interpretação. Ed. Roca, São Paulo, 1a ed., 335 p. 1986.

D'ADDAZIO, Verônia *et al.* Evolution of in vitro inhibition of mycelial growth of *Fusarium solani* f. sp. *piperis* by diferente products in Brazil. **African Journal of Microbiology Research**, v. 10, n. 47, p.1992-1998, 2016.

DALLAGNOL, Leandro José *et al.* Alterations on Rice leaf physiology during infection by *Bipolaris oryzae*. **Australian Plant Pathology**, v.40, p.360-365, 2011.

DALMOLIN, A. C. **Relações hídricas, trocas gasosas e anatomia foliar de *Vochysia divergens* Pohl., espécie invasora no Pantanal Mato-grossense.** [s.1. ] Universidade Federal de Mato grosso, 2013.

DAMOUR, G.; VANDAME, M.; URBAN, L. Long-term drought results in a reversible decline in photosynthetic capacity in mango leaves, not just a decrease in stomatal conductance. **Tree physiology**, v. 29, n. 5, p. 675-84, 2009.

DENG, X.; JOLY, R.; HAHN, D. The influence of plant water deficit on distribution of <sup>14</sup>C-labelled assimilates in cacao seedlings. **Annals of botany**, v. 66, n. 2, p. 211–217, 1990.

DESER. **Departamento de estudos sócio-econômicos.** Secretaria de Agricultura Familiar. Curitiba, novembro, 2008.

DING, Yiting *et al.* Pressure-volume curves: revisiting the impacto of negative turgor during cell collapse by literature review and simulatinos fo cell micromechanics. **New Phytologist**, v. 203, p. 378 – 387, 2014.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Tradução: GHEYI, H. R. *et al.* Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

DUAN, M.; YANG, W. C.; MAO, X. M. Effects of water deficit on photosynthetic characteristics of spring wheat under plastic mulching and comparison of light response curve models. **Transactinos of the CSAM**, v. 49, n. 1, p. 219-227, 2018.

DUARTE, M. L. R. **Cultivo da Pimenta do Reino na Região Norte.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 185p.

DUARTE, Maria de Lourdes Reis *et al.* **Pimenta-do-reino**. Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 82p.

DUARTE, M. L. R.; ALBUQUERQUE, F. C.; ALBUQUERQUE, P. S. B. Doenças da Pimenteira-do-Reino (*Piper nigrum*). In: KIMATI, Hiroshi *et al.* (Eds.). **Manual de Fitopatologia**. 4ª ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, v. 2, cap. 58, p. 507-516, 2005.

DUARTE, M. de L. R.; ALBUQUERQUE, F. C. de; KATO, A. K. **Sistema de produção da pimenteira-do-reino: produção de mudas**, documento 321, 2008. Disponível em: <<http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/PimenteiradoReino/paginas/producao.htm>>. Acesso em: jul. 2021.

EMBRAPA - EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Manual Segurança e Qualidade para a Cultura da Pimenta-do-Reino**. Brasília: EMBRAPA/SEDE, 65 p. (Qualidade e Segurança dos Alimentos). Projeto PAS Campo. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE/EMBRAPA, 2004.

ENDRES, Lauricio *et al.* Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v. 4, p. 31-37, 2010.

FAO – Food and Agriculture of the United Nations. **Statistical Databases**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>> Acesso em: 28 nov. 2021.

FAVARIN, José Laércio *et al.* Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FERRÃO, Romário Gava *et al.* Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo, **Incaper em Revista**, v. 6 e 7, n. 4, p. 51-71, 2016.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no mato grosso. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 3, n. 1, p. 67- 77, 2015.

FERRAZ, Rener Luciano de Souza *et al.* Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Revista Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.

FERREIRA, Célio Armando Palheta *et al.* Coeficiente técnicos, custos, rendimentos e rentabilidade. In: DUARTE, M. L. E. (Ed.). **Sistema de produção: Cultivo da pimenta-do-reino na Região Norte**. 1ª ed. Belém. p. 283-286, 2004.

FERREIRA, M. I. **Trocas gasosas, biomassa, teor e composição do óleo essencial de folhas e raízes de *Piper aduncum* L. sob diferentes níveis de luminosidade**. [s.1. ] Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2011.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de Castanheira-da-Amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

FILGUEIRAS, G. C.; HOMMA, A. K. O.; SANTOS, M. A. S. Conjuntura do mercado da pimenta-do-reino no Brasil e no mundo. **In: Workshop da pimenta-do-reino do Estado do Pará**. Belém, PA. Situação atual e alternativa para a produção sustentável. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009.

FLEXAS, Jaume *et al.* Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO<sub>2</sub> concentration. **The New phytologist**, v. 172, n. 1, p. 73–82, 2006.

FLEXAS, Jaume *et al.* Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, p. 269-279, 2004.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 3.ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2006. 751 p.

FLUMIGNAN, D. L.; ALMEIDA, A. C. S; GARCIA, R. A. **Necessidade de irrigação complementar da soja na região sul de Mato Grosso do Sul**. Embrapa Agropecuária Oeste, 2015. 8p.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox regulation in photosynthetic organisms: Signaling, acclimation, and practical implications. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 11, n. 4, p. 862-868, 2009.

FRANCO, H. H. S. **Abordagem metodológica envolvendo tensiometria e determinação da curva de retenção de água num solo de textura média**. [s.1. ] Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2015.

GALMÉS, Jeroni *et al.* Rubisco activity in Mediterranean species is regulated by the chloroplastic CO<sub>2</sub> concentration under water stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 2, p. 653-665, 2011.

GAZOLLA-NETO, Alexandre *et al.* Ação de níveis de luminosidade sobre o crescimento de plantas de maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 1, p. 88-92, 2013.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **J Plant Physiology**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GOBBI, Kátia Fernanda *et al.* Área foliar específica e anatomia foliar do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436-1444, 2011.

GOMES, D. G. **Crescimento e produção do amendoim Runner IAC 886 sob diferentes lâminas de irrigação**. [s.1. ] Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2016.

GONÇALVES, Eduardo Rodrigues *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GONÇALVES, José Francisco de Carvalho *et al.* Efeito do ambiente de luz no crescimento de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Scientia Florestalis**, v. 40, n. 95, p. 337-344, 2012.

GONTIJO, Ivoney *et al.* Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1093-1102, 2012.

GRASSI, G.; MAGNANI, F. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, n. 7, p. 834–849, 2005.

GRINÁN, Isabel *et al.* Leaf mechanisms involved in the response of *Cydonia oblonga* trees to water stress and recovery. **Agricultural Water Management**, v. 221, p. 66-72, 2019.

GUARDA, V. D.; CAMPOS, L. J. M. **Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014. 52p.

GUERFEL, Mokhtar *et al.* Impacts of water stress on gas exchange, water relations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. **Scientia Horticulturae** v. 119, p. 257–263, 2009.

GUERRA, Antonia Mirian Nogueira de Moura *et al.* Capacidade fotossintética de plantas de algodoeiro infectadas por ramulose e suprimidas com silício. **Bragantia**, v. 73, n. 1, p. 50-64, 2014.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 70-75, 2006.

HABERMANN, Gustavo *et al.* CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of ‘Pera’ sweet Orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 98, n. 2, p. 79-87, 2003.

HAYAT, Shamsul *et al.* Role of proline under changing environments. **Plant Signal Behav**, v. 7, n. 11, p. 1–11, 2012.

HECKLER, J. C. Sorgo e girrassol no outono-inverno, em sistema plantio direto, no Mato grosso do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 32, n. 3, p. 517-520, 2002.

HERRERA, Ana *et al.* Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis in trees of a tropical seasonally flooded forest. **Physiologia Plantarum**, v.134, n.1, p.41–48, 2008.

HOFFMANN, WILLIAM A. *et al.* Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. **Functional Ecology**, v. 19, n. 3, p. 932-940, 2005.

HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. The importance of evolutionary history in studies of plant physiological ecology: examples from cerrados and forests of central Brazil. **Brazilian journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 247-256, 2008.

HUNT, R. **Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis**. London: E. Arnold, 1982. 248 p.

HSIAO, T. C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, p. 519-570, 1973.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento da Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 5, p. 1-83, 2019. Acesso em: julho de 2021.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. **Censo Agropecuário, 2017**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6955>>. Acesso em: 13/01/2022.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. **Produção Agrícola Municipal, 2020**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12/07/2021.

IQBAL, Hassan *et al.* Differential response of quinoa genotypes to drought and foliage-applied H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in relation to oxidative damage, osmotic adjustment and antioxidante capacity. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 164, n. 30, p. 344-354, 2018.

ISMÍNIO, P. L. **Potencial hídrico foliar, trocas gasosas e crescimento em genótipos de *Theobroma cacao* L. Submetidos à deficiência hídrica e adubação potássica.** [s.1.]

Universidade Federal de Viçosa, 2016.

JACINTO JUNIOR, Silvio Gentil *et al.* Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 413-422, 2019.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: Mcgraw-Hill Book, 1940. 523p.

LANG, Y. *et al.* Experimental and simulated light responses of photosynthesis in leaves of three tree species under diferente soil water conditions. **Photosynthetica**, v. 51, n. 3, p. 370-378, 2013.

LAMAOU, Mouna *et al.* Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, p. 1-14, 2018.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 550 p.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 561-579, 2009.

LEMOS, O. F.; POLTRONIERI, C. R. Produção de mudas. In: LEMOS, O. F.; TREMACOLDI, C. R.; POLTRONIERI, M. C. **Boas práticas agrícolas para aumento da produtividade e qualidade da pimenta-do-reino no estado do Pará**. 1<sup>a</sup> ed. Brasília: Embrapa, p. 13-17, 2014.

LIMA, Juliana Domingues *et al.* Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Acta Amazônia**, v. 38, n. 1, p. 5-10, 2008.

LIMA, Julião Soares de Souza *et al.* 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.

LIMA, Michella de Albuquerque *et al.* Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 654-663, 2010.

LINKER, Raphael *et al.* Optimal model-based deficit irrigation scheduling using AquaCrop: A simulation study with cotton, potato and tomato. **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 236-243, 2016.

LI, Y. L. *et al.* Light-response curve of photosynthesis and model fitting in leaves of *Mangifera indica* under diferente soil water conditions. **Photosynthetica**, v. 57, n. 3, p. 796-803, 2019.

LOPES, Otávio D. *et al.* Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p. 548-553, 2011.

LOPES SOBRINHO, Oswaldo Palma *et al.* A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e o manejo da irrigação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA**, v. 12, n. 4, p. 1605-1625, 2019.

LUCENA, Rafaella Rayane Macedo de *et al.* Medição de área foliar de aceroleira. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 40-45, 2011.

LU, Yusheng *et al.* Suppression of glycolate oxidase causes glyoxylate accumulation that inhibits photosynthesis through deactivating Rubisco in rice. **Physiologia Plantarum**, v. 150, n. 3, p. 463-476, 2014.

MACHADO, Aroldo Ferreira Lopes *et al.* Photosynthetic Efficiency and Water Use in Eucalyptus Plants Sprayed with Glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.

MACHADO, Janaine Lopes *et al.* Diferenças nas características estomáticas de genótipos de cafeeiro. *In: IX Simpósio de pesquisa dos Cafés no Brasil, 2015. Anais...*, 2015, p. 1-4.

MAEHLER, André Roberto *et al.* Grain quality of two soybean cultivars as a function of soil water availability and plant arrangement. **Ciência rural**, v. 33, n 2, p. 13-218, 2003.

MAFAKHERI, Abdollah *et al.* Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 8, p. 580-585, 2010.

MAGEVSKI, Gizele Cristina *et al.* Propagação vegetativa de espécies silvestres do gênero Piper, com potencial para uso como porta enxertos em pimenta-do-reino (*Piper nigrum*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.13, (spe), p. 559-563, 2011.

MAIA, Gicelly da Silva *et al.* Coeficiente de cultura de pimenta-do-reino estimado por Sentinel 2A e FAO 56 para cálculo de ETc em região Amazônica. *In: XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA*, 2020. Online. **Anais...**, 2020. n. 49, p. 1-7.

MANTINAZZO, Emanuela Garbin *et al.* Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. **Ciência Rural**, v. 43, n.1, p. 35-41, 2013.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**, Editora UFV. Viçosa, MG. 2005, 451p.

MARENCO, José Antonio *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *In: MEDEIROS, Salomão de Sousa et al.* Eds. **Recursos hídricos em regiões áridas e Semiáridas**. Campinas Grande PB: Instituto Nacional do Semiárido, p. 383-416, 2011.

MARQUELLI, Waldir Aparecido *et al.* Manejo da água de irrigação. *In: SOUSA, Valdemício Ferreira de et al.* (Ed.). **Irrigação e Fertirrigação em Fruteiras e Hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2011, p.159-232.

MARQUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças. Circular técnica, n. 57, 2008. 15p.

MARTINS, Cristiani Campos *et al.* Crescimento inicial do café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, n.3, p. 193-201, 2006.

MARTINS, J. S. **Custo de implantação de lavoura de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) em diferentes sistemas de produção no norte do Espírito Santo.** [s.1. ] Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

MATEO, Alfonso *et al.* Lesion simulating disease is required for acclimation to conditions that promote excess excitation energy. **Plant Physiology**, v. 136, n. 1, p. 2818-2830, 2004.

MATOS, F. S. **Folha seca: introdução à fisiologia vegetal.** 1ª ed. Editora Appris, 2019. 189p.

MAURI, R. **Interação entre parâmetros hidráulicos e fotossintéticos em *coffea* spp.** [s.1. ] Universidade Federal de Viçosa, 2015.

MELO, Alberto Soares de *et al.* Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p. 733-741, 2009.

MIELKE, Marcelo Schramm *et al.* Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. Environ. **Environmental and Experimental Botany**, v.50, n.3, p.221–231, 2003.

MONTEIRO, Rodrigo Otávio Câmara *et al.* Eficiência do uso da água e nitrogênio na produção de melão. **Irriga**, v. 13, n. 3, p. 367-377, 2008.

MOURA, Adenilda Ribeiro de *et al.* Water relations and organic solutes in Young plants of *Jatropha curcas* L. under diferente water regimes. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

NAIR, K. P. P. **Agronomy and economy of black pepper and cardamom the "king" and "queen" of spices.** 1ª ed. Ed. Elsevier, 2011, 380p.

NASCIMENTO, Sebastião Pereira do *et al.* Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.

NELSON, S.; CANNON-EGGER, K. T. Black pepper (*Piper nigrum*). In: ELEVITCH, C. R. (Ed.) **Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Black Pepper (*Piper nigrum*)**. Holualoua: Permanent Agriculture Resources (PAR), 2011, 14p.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v. 59, p. 368-373, 1964.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, Ademar Pereira *et al.* Produtividade da pimenta-do-reino em função de doses de esterco bovino. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 408-410, 2007.

OLIVEIRA, E. C. de.; MIGLIORANZA, E. Dimensões e densidade estomática em diferentes variedades de mandioca. **Revista Cultivando o saber**, v. 6, n. 3, p. 193-205, 2013.

OLIVEIRA, J. A. M.; OLIVEIRA, C. M. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos – MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3021-3027, 2018.

OLIVEIRA, J. M.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. Crescimento da bananeira grande naine submetida a diferentes lâminas de irrigação em tabuleiro costeiro. **Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1038-1046, 2013.

OLIVEIRA, Maria Aparecida José de *et al.* Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 1, p. 59-63, 2002.

OLIVEIRA, R. R.; PASIN, L. A. A. P. Ocorrência de oxalato de cálcio em diferentes espécies vegetais de uso ornamental. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 41-52, 2017.

OLIVEIRA, R. F.; NAKAYAMA, L. H. I. Pimenta-do-reino. In: CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. 1ª ed. Belém. p. 175-178, 2007.

OLIVEIRA, Raimundo Freire de *et al.* Pimenta-do-reino. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. 2ª ed. Revisada e atualizada. Brasília. p. 283-286, 2020.

OLIVEIRA, Rosilena Conceição Azevedo de *et al.* **Trocas gasosas de espécies arbóreas em resposta à variação de temperatura foliar: Efeito do ambiente topográfico na Amazônia Central**. [s.l. ] Universidade Federal do Amazonas, 2019.

OTTO, Marina Shinkai Gentil *et al.* Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de Eucalyptus sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 431-439, 2013.

PACHECO, L. B.; BOTH, J. P. C.; LEMOS, O. F. de. Comportamento de cultivares de pimenta-do-reino quanto à produção em tutor morto. In: 23º Seminário de Iniciação Científica da Amazônia Oriental; 7º Seminário de Pós-Graduação da Embrapa Amazônia Oriental, 2019, Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, **Anais...**, 2019, p. 247-252.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 161-169, 2005.

PARTELLI, F. L. Nutrition of black pepper (*Piper nigrum* L.) a Brazilian experience. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 18, n. 2, p. 73-83, 2009.

PELOSO, Anelisa Figueiredo *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, v. 12, n.3, p.389-399, 2017.

PEREIRA, Anderson Crestani *et al.* Aspectos produtivos e eficiência no uso da água em cultivares de canola irrigada. **Cultura Agronômica**, v. 28, n. 2, p. 166-178, 2019b.

PEREIRA, Laércio da Silva *et al.* Water mellon yield and efficiency of use of water and nitrogen. **Revista Caatinga**, v.32, n.3, p. 769-777, 2019a.

PEREIRA LOURINHO, Marcela *et al.* Conjuntura da pimenta-do-reino no mercado nacional e na Região Norte do Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 1016-1031, 2014.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. **Evapotranspiração**. Campinas: Fundag, 2013. 323 p.

PEREIRA, Michael Douglas Barbosa *et al.* Análise da pluviosidade na microrregião de Sapé, Paraíba e sua relação com a produção da cana-de-açúcar. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 5, p. 910-921, 2012.

PIERRE, Carolina Saint *et al.* Phenotyping transgenic wheat for drought resistance. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 5, p. 1799-1808, 2012.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v.62, n. 3, p.869-882, 2011.

PINHEIRO, Hugo Alves *et al.* 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.

PINHEIRO, Luiz Felipe Souza *et al.* Diferenças anatômicas foliares e área foliar específica em espécies nativas do cerrado e da mata de galeria. *In: 64º Congresso Nacional de Botânica, 2013. Anais...*, 2013, p. 1.

PIRES, A.; LIMA, C. S. M. Fenologia e exigência térmica de videiras “Niágara Rosada” e “Branca” na região de Laranjeiras do Sul, PR. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 3, p.336-343, 2018.

POMPELLI, Marcelo Francisco *et al.* Photosynthesis, photoprotection and antioxidante activity of purging nut under drought déficit and recovery, **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 8, p. 1207-1215, 2010.

PORTES, M. T. **A interação ecofisiológica planta-ambiente: o papel da aclimação fotossintética na resposta a fatores ambientais em espécies arbóreas.** [s.1. ] Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2010.

POSSE, Robson Prucoli. *et al.* Evapotranspiração e coeficiente de cultura do mamoeiro. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 681-690, 2008.

PRASCH, C. M.; SONNEWALD, U. Signaling events in plants: Stress factors in combination change the picture. **Environmental and Experimental Botany**, v. 114, p. 4-14, 2015.

QUARTEZANI, Waylson Zancanella *et al.* 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.

RAINES, C. A. Increasing Photosynthetic Carbon Assimilation in C3 Plants to Improve Crop Yield: Current and Future Strategies. **Plant Physiology**, v. 155, n. 1, p. 36-42, 2011.

RASANJALI, K. G. A. I.; SILVA, C. S.; PRIYADARSHANI, K. D. N. Influence of super absorbent polymers (Saps) on irrigation interval and growth of black pepper (*Piper Nigrum* L.) in nursery management. **Ousl Journal**, v. 14, n. 1, p. 7-25, 2019.

RAVEN, Peter Hamilton *et al.* **Biologia vegetal**. 8.ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2014. 855p.

RAVIDRAN, P. N.; KALLUPURACKAL, J.A. Black Pepper. In: PETER, K. V. (Ed.). **Handbook of herbs and spices**. Indian Institute of Spices Research, cap. 6, p. 86-115, 2012.

REDDY, V. R. *et al.* Seasonal leaf area-leaf weight relationship in the cotton canopy. **Agronomy Journal**, p. 81, v. 1-4, 1989.

REGINATO, C. **Rendimento da canola (*Brassica napus* L. var. Hyola 433) submetida a diferentes adubações foliares.** [s. 1.] Universidade Federal da Fronteira Sul, 2012.

REGO, L. S.; FERNANDES, P. O. Atividade funcional da pimenta vermelha (*Capsicum sp-solanacea*) e pimenta-do-reino (*Piper nigrum*-piperaceae). **Revista da FAESF**, v. 3, n. 3, 2019.

RHOADS, F. M.; BLOODWORTH, M. E. Area measurement of cotton leaves by a dry-weight method, **Agronomy Journal**, v. 56, p. 520-522, 1964.

RICHARDS, L. A. A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, v. 51, p. 377-386, 1941.

RIBEIRO, Luane Laíse Oliveira *et al.* Produção e produtividade da pimenta-do-reino no Município de Capitão Poço, Pará, Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 36, n. 2, p. 1-7, 2019.

RIBEIRO, Rafael Vasconcelos *et al.* Photosynthesis and water relations of well-watered orange plants as affected by winter and summer conditions. **Photosynthetica**, v. 47, p. 215–222, 2009.

RODRIGUES, S. de M.; POLTRONIERI, M. C.; LEMOS, O. F. de. Comportamento de genótipos de pimenteira-do-reino cultivados em dois tipos de tutores. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 26, p. 197-205, 2017.

RODRIGUES, Simone de Miranda *et al.* **Avaliação de cultivares de pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*) em dois tipos de tutores no município de Igarapé-Açu, Pará**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. 20 p.

RODRIGUES, W.; ATAÍDE, I. T. **Sistema Agroflorestal: “Agricultura em andares”**. Belém: UFPA, NUMA, POEMA, 2001. 31p.

ROSSATO, D. R.; HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C. Características estomáticas de pares congêneros de cerrado e mata de galeria crescente numa região transicional no Brasil central. **Acta Botânica brasileira**, v. 23, n. 2, p. 499-508, 2019.

ROUSSEAU, Céline *et al.* High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods**, v. 9, n. 17, p. 1-13, 2013.

RUGER, Nadja *et al.* Growth Strategies of Tropical Tree Species: Disentangling Light and Size Effects. **Plos One**, v. 6, n. 9, p. 1-10, 2011.

RYAN, Michael G. *et al.* Factors controlling Eucalyptus productivity: how water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1695-1703, 2010.

RYAN, M. G. Tree responses to drought. **Tree Physiology**, v. 31, n. 3, p. 237-239, 2011

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. Qualidade da irrigação controlada por tensiômetros em pivô central. **Scientia Agricola**, v.51, n. 3, p.549-555, 1994.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante.** Publicação IPT, São Paulo, n. 2002, 1992, 27p.

SABU, S. S.; KURUVILA, A. Instabilidade dos preços da pimenta-do-reino: uma análise comparativa dos períodos pré-liberalização e pós-liberalização. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 54, n. 1, p. 41, 2016.

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.

SANTOS, Helane Cristina Aguiar *et al.* Bell pepper development and water potential as affected by soil water tensions and nitrogen doses. **Journal of Agricultural Studies**, v.8, n.2, p. 574-589, 2020.

SANTOS, Helane Cristina Aguiar santos *et al.* Yield of fertigated bell pepper under diferente soil water tensions and nitrogen fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 172-183, 2019.

SANTOS, Maria de Fátima *et al.* Análise estomática em folhas de *Siparuna guianensis* Aubl. (Siparunaceae). **Research, Society and Development**, v.11, n.1, p. 1-9, 2022.

SANTOS, M. R.; MARTINEZ, M. A.; DONATO, S. L. R. Gas exchanges of Tommy Atkins mango trees under different irrigation treatments. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1141-1153, 2013.

SATO, Takahiro *et al.* The validity of predawn leaf water potential as an irrigation-timing indicator for fieldgrown wheat in northern Syria. **Agricultural Water Management**, v. 82, n. 1-2, p. 223–236, 2006.

SEZEN, Metin Semih *et al.* Yield and quality response of drip-irrigated pepper under Mediterranean climate conditions to various water regimes. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 8, p.1329-1339, 2011.

SHAO, Hong-Bo *et al.* Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2012.

SCHOLANDER, Per Fredrik *et al.* Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v. 148, p.339-346, 1965.

SERRANO, Luiz Augusto Lopez *et al.* Produção de mudas de pimenteira-do-reino em substrato comercial fertilizado com adubo de liberação lenta. **Revista Ceres**, v. 59, n. 4, p. 512-517, 2012.

SILVA, Adriana Lúcia da *et al.* Variability of water balance components in a coffee crop in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 105-114, 2006.

SILVA, Antonio Carlos da *et al.* Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1215-1221, 2011.

SILVA, A. C. A.; LIMA, M. S. A. **Cultivo da pimenta-do-reino no município de Nova Esperança de Piriá-PA: Um levantamento elaborado pelas turmas da educação de jovens e adultos.** [s.l. ] Universidade Federal Rural da Amazônia, 2016.

SILVA, Carlos Davi Santos e *et al.* Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v.23, n. 4, p.7-13, 2010.

SILVA, Elizamar Ciríaco da *et al.* Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 231-246, 2003.

SILVA, Flaviana Gonçalves da *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, José Maria *et al.* Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p.40-46, 2012.

SILVA JUNIOR, J. F. **Evapotranspiração de referência como base para o manejo sustentável da irrigação no Noroeste Paulista**. [s.1. ] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2017.

SILVA, Rubens Ribeiro da *et al.* Desenvolvimento inicial de plântulas de *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum sob influência de sombreamento. **Acta Amazonica**, v.37, n. 3, p. 365-370, 2007.

SILVA, Thieres George Freire da *et al.* Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

SILVA, V. de. P. R. da.; TAVARES, A. L.; SOUSA, I. F. de. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo simples e dual do coentro. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 255-259, 2013.

SILVA, Wesley Zambom da *et al.* Métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 746-759, 2011.

SIKUKU, Phoebe Anyango *et al.* Effects of water deficit on physiology and morphology of

three varieties of nerica rainfed rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Agricultural and Biological Science**, v.5, n.1, p. 23-28, 2010.

SIMON, Noriane M. L. *et al.* Altered stomatal patterning accompanies a trichome dimorphism in a natural population of *Arabidopsis*. **Plant Direct**, v. 4, n. 9, p. 1-6, 2020.

SIVARAMAN, K. *et al.* Agronomy of black pepper (*Piper nigrum* L.) – a review. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v.8, n.1, p. 1-18, 1999.

SOBRADO, M A. Leaf tissue water relations and hydraulic properties of sclerophyllous vegetation on white sands of the upper Rio Negro in the Amazon region. **Journal of Tropical Ecology**, v.25, n. 3, p. 271–280, 2009.

SOUSA, Marlina Araújo de *et al.* Estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n. 2, p. 175-182, 2009.

SOUZA, C. A. V. **Mudanças foto-oxidativas em plantas de arroz com reduzida atividade da oxidase do glicolato submetidas ao estresse hídrico combinado ao excesso de luz e calor.** [s.1 ] Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2016.

SOUZA, C. R. de; SOARES, A. M.; REGINA; M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidos à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.

SOUZA, Everaldo Barreiros de *et al.* Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 81-93, 2017.

SOUZA, Marcelo Sobreira de *et al.* Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v.42, n. 2, p. 241-245, 2012.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III.** [S.I: s.n.], 2012.

SOUZA, V. F. de. **Estudo de rede para compreender as respostas fotossintéticas de cafeeiros em condições de deficiência hídrica.** [s.1. ] Universidade Federal de Lavras, 2012.

TAIZ, Lincoln *et al.* **Fisiologia Vegetal**, 6<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 918p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, 5<sup>a</sup> edição Internacional. Ed. Artmed. 954 p., 2013.

TATAGIBA, Sandro Dan *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, p. 138-149, 2014.

TAVARES, Aline Torquato *et al.* Aptidão agronômica de genótipos de melancia no Sul do estado do Tocantins. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 1, p. 1-6, 2018.

TEIXEIRA, Rafael Pombo *et al.* Análise das tensões de água no solo cultivado com morangueiro sob poda. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 25-42, 2013.

TELES, G. C. **Avaliação fisiológica e crescimento de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.) com diferentes lâminas de irrigação.** [s.1. ] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2020.

TERRA, V. S. S. **Avaliação e quantificação dos componentes do balanço hídrico em pomar de pessegueiro, cv. Maciel, em plantas irrigadas e não irrigadas.** [s.1.] Universidade Federal de Pelotas, 2010.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance.** Laboratory of Climatology, Centerton, NJ, USA, 1955. 104p.

TOMÉ, Thaís Cattarine Henriques *et al.* Determinação das propriedades físicas da pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.). In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, 2018. **Anais...**, 2018, p. 1-5.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Transpiração e condutância estomática de *Eucalyptus* sp em resposta à radiação global e diferentes condições hídricas. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 607-623,

2013.

TURNER, D. W.; FORTESCUE, J. A.; THOMAS, D. S. Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*). **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.19, n. 4, p.463-484, 2007.

TURNER, N. C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of experimental botany**, v. 69, n. 13, p. 3223-3233, 2018.

TYREE, M. T.; JARVIS, P. G. **Water in tissues and cells**. In: LANGE, Otto L *et al.* eds. *Physiological plant ecology II*. Heidelberg, Berlin, Germany: Springer, p. 35–77, 1982.

UZILDAY, Baris *et al.* Comparison of ROS formation and antioxidant enzymes in *Cleome gynandra* (C4) and *Cleome spinosa* (C3) under drought stress. **Plant Scienc**, v. 182, p. 59-70, 2012.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VASCONCELOS, O. R. **Densidade estomática de duas espécies florestais: *Adenanthera pavonina* L. e *Hevea brasiliensis* Muell Arg.** [s.1. ] Universidade do Estado do Amazonas, 2019.

VIANA, G. D. M. **Metabolismo fisiológico e bioquímico em plantas jovens de *Euterpe oleracea* submetidas ao déficit hídrico.** [s.1. ] Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015.

VIDAL, F. **Evolução do cultivo de pimenta-do-reino na área de atuação do BNB.** Caderno setorial do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. Ano 5, nº 146, 2020.

VIEIRA, Gustavo Haddad Souza *et al.* Performance of irrigated black pepper. **In:** Conference Irrigation Show & Education. Long Beach Convention Center, Califórnia, 2018, p. 1-13.

VILLA NOVA, Nilson Augusto *et al.* Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, v. 61, n. 1, p. 81-88, 2002.

VOSS, Ingo *et al.* Emerging concept for the role of photorespiration as an important part of abiotic stress response. **Plant Biology**, v. 15, n. 4, p. 713-722, 2013.

XIA, J. B. *et al.* Effect of soil water availability on photosynthesis in *Ziziphus jujube* var. *spinosa* in a sand habitat formed from seashells: comparison of four models. **Photosynthetica**, v. 52, p. 253-261, 2014.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H. Are plant growth and photosynthesis limited by predrought following rewatering in grass? **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 13, p. 3737-49, 2009.

WANG, H. Z. *et al.* Simulated photosynthetic responses of *Populus euphratica* during drought stress using light-response models. **Acta Ecologica Sinica**, v. 37, n. 7, p. 2315-234, 2017.

WU, Fuzhong *et al.* Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, n. 1, p. 248-255, 2008.

YAZAKI, Kenichi *et al.* Response to dehydration and irrigation in invasive and native saplings: osmotic adjustment versus leaf shedding. **Tree Physiology**, v. 30, p. 597-607, 2010.

YANG, Chuanjie *et al.* Effect of deficit irrigation on the growth, water use characteristics and yield of cotton in arid northwest China. **Pedosphere**, v. 25, n. 6, p. 910-924, 2015.

YE, Z. P.; YU, Q. Comparison of new and several classical models of photosynthesis in response to irradiance. **Chinese Journal of Plant Ecology**, v. 32, n. 5, p. 1356-1361, 2008.

YIN, Xinyou *et al.* Using combined measurements of gas exchange and chlorophyll fluorescence to estimate parameters of a biochemical C3 photosynthesis model: a critical

appraisal and a new integrated approach applied to leaves in a wheat (*Triticum aestivum*) canopy. **Plant Cell Environ**, v. 32, n. 5, p. 448-464, 2009.

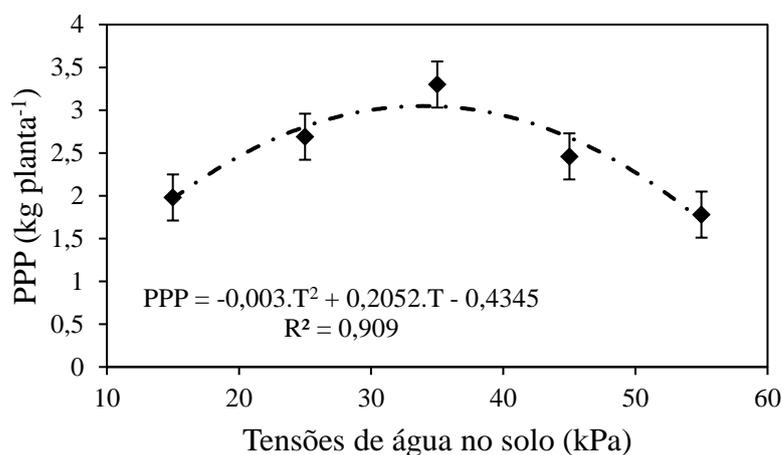
ZHENGBIN, Zhang *et al.* Advances a water use efficiency. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 31, n. 3, p. 281-293, 2011.

ZONTA, João Henrique *et al.* **Manejo da irrigação do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 8p.

## ANEXO A

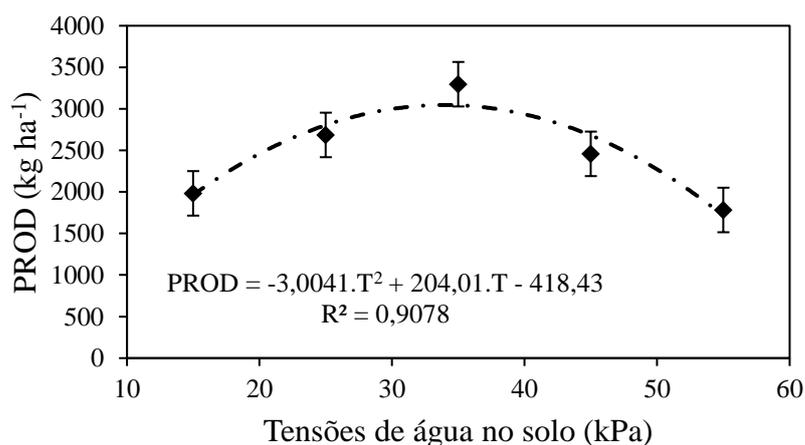
As figuras abaixo (Figura 1 e 2), demonstram à análise de regressão da produção de pimento preta (PPP) e Produtividade (PROD) em relação as tensões de água no solo.

Figura 1. Média de produção de pimento preta (PPP) de cultivares de pimenteira-do-reino em relação as tensões de água no solo na colheita de 2022



Ao verificar o efeito das tensões de água no solo nas cultivares de pimenteira-do-reino, constatou-se diferença significativa, com comportamento quadrático ( $p < 0,05$ ), obtendo na tensão 34,2 kPa a produção máxima de pimenta preta (3,07 kg planta<sup>-1</sup>).

Figura 2. Média de produtividade (PROD) de cultivares de pimenteira-do-reino em relação as tensões de água no solo na colheita de 2022



Ao verificar o efeito das tensões de água no solo nas cultivares de pimenteira-do-reino, constatou-se diferença significativa, com comportamento quadrático ( $p < 0,05$ ), obtendo na tensão 33,96 kPa a produtividade máxima de pimenta preta (3.045,18 kg ha<sup>-1</sup>).