

**ELIS MARINA DE FREITAS**

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES, PRODUÇÃO DE MUDAS E OBTENÇÃO DE  
PARÂMETROS RELACIONADOS AO MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM *Physalis*  
*peruviana* L.**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Fernando França da Cunha

Coorientadores: Carlos Nick Gomes

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Freitas, Elis Marina, 1990-

F866g  
2022

Germinação de sementes, produção de mudas e obtenção de parâmetros relacionados ao manejo da irrigação de *Physalis peruviana* L. / Elis Marina Freitas. – Viçosa, MG, 2022.

1 dissertação eletrônica (131 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexo.

Orientador: Fernando França da Cunha.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Agrícola, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.310>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Physalis peruviana*. 2. Plântulas - Crescimento.  
3. Germinação. 4. Mudas - Qualidade. 5. Déficit hídrico.  
I. Cunha, Fernando França da, 1980-. II. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. III. Título.

CDD 22. ed. 634.725

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB6/2552

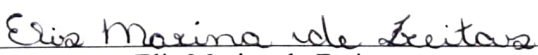
**ELIS MARINA DE FREITAS**

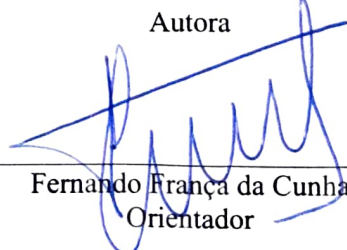
**GERMINAÇÃO DE SEMENTES, PRODUÇÃO DE MUDAS E OBTENÇÃO DE  
PARÂMETROS RELACIONADOS AO MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM *Physalis*  
*peruviana* L**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 23 de fevereiro de 2022.

Assentimento:

  
Elis Marina de Freitas  
Autora

  
Fernando França da Cunha  
Orientador

*Aos meus irmãos Antônio Augusto e Carlos Otávio.  
Às minhas avós Maria Ferreira de Freitas e Antônia Antunes Martins.  
Ao meu avô Onésio Martins (in memoriam).*

*OFEREÇO!*

*A Deus,*

*Aos meus pais, Antônio e Fátima e ao  
meu esposo, Fernando.  
Pelo amor, apoio e incentivo em todos  
os momentos desta jornada!*

*DEDICO!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pelo dom da vida, saúde e por proporcionar a realização de mais um sonho!

Aos meus pais, Antônio Stavanato de Freitas e Aparecida de Fátima Martins de Freitas, por não medirem esforços para que eu e meus irmãos seguíssemos nos estudos, nos proporcionando educação, um lar confortante e seguro, onde sempre buscamos forças e inspirações para seguir em frente com todos os projetos de vida.

Aos meus irmãos Antônio Augusto de Freitas e Carlos Otávio de Freitas, por todo incentivo e por serem grandes companheiros e amigos em todos os momentos.

Ao meu amor, Fernando Augusto da Silveira, que sempre me apoiou, dedicando sua atenção e seu tempo para que meus objetivos fossem alcançados, sendo fundamental para a elaboração e condução deste trabalho. Obrigada por todo incentivo, paciência, companheirismo, amor, carinho e todas contribuições neste trabalho.

Agradeço imensamente a toda minha família, por todo apoio e incentivo. Em especial as minhas avós, por todas orações e carinho durante minha jornada acadêmica e por entenderem minha ausência.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando França da Cunha, serei eternamente grata pela confiança, amizade, orientação, disposição, ensinamentos e excelentes contribuições, sendo essencial para elaboração, realização e condução deste trabalho.

Ao meu coorientador e excepcional pesquisador, Prof. Dr. Carlos Nick, pelos ensinamentos durante a graduação e o doutorado, que sempre me incentivou e foi parte primordial para minha caminhada até aqui e para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Laércio, que com sua imensa sabedoria transmitiu grande parte do conhecimento aplicado neste trabalho, além de possibilitar que parte dos experimentos fossem conduzidos no Laboratório de Pesquisa de Sementes, permitindo assim a conclusão deste trabalho.

A banca examinadora, Dr. Job Teixeira de Oliveira, Dra. Catariny Cabral Aleman Pina, Dr. Carlos Nick Gomes e a Dr. Laércio, por aceitarem compor a banca, por todos ensinamentos, sugestões e correções.

Aos amigos “estagiários”, Gabriel, Thayne e Gabriel, pelo apoio, amizade e por acompanharam todos os momentos deste trabalho, me auxiliando em todas as avaliações e na realização do mesmo, tornando parte fundamental deste trabalho.

Aos técnicos José Antônio, Tainara Gonçalves Maciel, Policarpo Silva e Francisco Charles, por toda ajuda nos laboratórios e a campo, indispensáveis para concretização dos experimentos, assim como a troca de experiências e informações aliada a boa amizade.

Aos amigos e companheiros de trabalho, Joslanny, Gustavo Henrique, Bianca, Júlia, Diego, Adelaide, Laylton e Alécio que conquistei ao longo destes últimos anos, com os quais eu aprendi, compartilhei experiências, dúvidas e sempre estenderam a mão quando precisei.

Aos colegas e amigos, Hiago, Matheus, Jesiele, Karine com quem dividi muitas risadas e lágrimas ao longo desses anos e muito me ajudaram.

Aos demais amigos e colegas de curso que conheci nessa caminhada, vocês estão guardados na minha memória e coração;

À Universidade Federal de Viçosa - UFV, em especial ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, por me darem a honra de viver neste ambiente de tão grande aprendizado.

Por fim, estendo meus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de estudo e todo o financiamento deste trabalho.

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

Reconheço que esse trabalho não é somente uma conquista minha, mas de todos aqueles que seguiram comigo nessa caminhada.

Muito obrigada por tudo e a todos!

## BIOGRAFIA

ELIS MARINA DE FREITAS, filha de Antônio Stavanato de Freitas e Aparecida de Fátima Martins de Freitas, nasceu em Ponte Nova, Minas Gerais, em 09 de fevereiro de 1990. Em março de 2010, ingressou no curso de graduação em Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa- MG. Em novembro de 2015, submeteu-se à defesa de seu TCC intitulado “Estratégias de seleção e identificação de acessos de tomateiro tolerantes ao déficit hídrico”, sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Nick, assim concluindo o curso de graduação em Agronomia. Durante o período da graduação estagiou no Núcleo de Estudos em Olericultura, no Departamento de Agronomia, onde também foi estudante de Iniciação Científica-PIVIC/UFV (2012/2015). Em 2016, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal na Universidade Federal de dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, em nível de mestrado. Em fevereiro de 2018 submeteu-se à defesa de sua dissertação intitulada “Fitossociologia de plantas daninhas em cultivos olerícolas sob diferentes formas de manejo de adubação”, sob a orientação do Prof. Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior. Em março do mesmo ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, em nível de doutorado, na área de Recursos Hídricos. Em fevereiro de 2022 submeteu-se à defesa de sua Tese intitulada “Germinação de sementes, produção de mudas e obtenção de parâmetros relacionados ao manejo da irrigação em *Physalis peruviana* L”, sob a orientação do Prof. Dr. Fernando França da Cunha.

## RESUMO

FREITAS, Elis Marina de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Germinação de sementes, produção de mudas e obtenção de parâmetros relacionados ao manejo da irrigação em *Physalis peruviana* L.** Orientador: Fernando França da Cunha. Coorientador: Carlos Nick Gomes.

O cultivo de *Physalis peruviana* tem se destacado como alternativa promissora para pequenos e médios produtores, em decorrência da valorização da cultura. Entretanto, as informações quanto ao cultivo dessa espécie em condições edafoclimáticas brasileiras ainda são escassas, principalmente em relação aos parâmetros de cultivo e manejo da irrigação. Portanto, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar as características morfológicas e hídricas de sementes, mudas e plantas de *Physalis peruviana*. Desta forma, foram conduzidos experimentos de janeiro de 2019 a agosto de 2021, no Laboratório de Sementes do Departamento de Agronomia e na Área Experimental de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola, pertencentes a UFV. Para os estudos da germinação das sementes, estas foram submetidas primeiramente a diferentes temperaturas (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 e 20-30 °C) e posteriormente foi realizada a combinação de diferentes temperaturas (20, 20/30, 30 e 40 °C) e potenciais osmóticos (0; -0,3; -0,6 e -0,9 MPa). Para os estudos relacionados às mudas foi avaliada a interação entre quatro recipientes (polipropileno de 200 cm<sup>3</sup>, recipientes de polipropileno de 100 cm<sup>3</sup>, sacos de polietileno de 400 cm<sup>3</sup>, bandejas de poliestireno expandido de 128 células de 18 cm<sup>3</sup>) e seis substratos (solo + areia, substrato comercial Maxplant<sup>®</sup>, solo, solo + areia + substrato comercial, solo + areia + substrato comercial + esterco cama de aviário; proporção: 1:1:1:2 e solo + areia + substrato comercial + esterco bovino curtido; proporção: 1:1:1:2). Os estudos de demanda hídrica e coeficiente de cultura (Kc) foram conduzidos em estação lisimétrica, com quatro tratamentos: cultivo de *P. peruviana* sem cobertura de papel (C); cultivo com papel reciclado como cobertura (CP); lisímetro ocupado com apenas papel reciclado (P); e lisímetro cultivado com grama batatais (G) e realizadas avaliações quanto a fenologia da cultura, características dos frutos, trocas gasosas, produtividade e índice de vegetação pelo NDVI. A determinação do ponto de murcha permanente ocorreu em casa de vegetação com cultivo em vasos. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de solos com texturas distintas (solo franco-argilo-arenoso e arenoso) e onze períodos de imposição de déficit hídrico. Com os testes de germinação foi possível determinar as temperaturas em que as sementes de *Physalis peruviana* apresentaram melhor desempenho germinativo, sendo na faixa de temperaturas entre 20 e 35 °C. A baixa disponibilidade hídrica afetou negativamente as características de germinação das

sementes. Para a produção de mudas, destacou-se o recipiente de maior volume e o substrato S6 (solo + areia + substrato comercial + esterco bovino curtido na proporção: 1:1:1:2) como os que proporcionaram melhor desenvolvimento e qualidade das plantas produzidas. Para determinação dos parâmetros técnicos de cultivo de *P. peruviana*, observou-se que o uso do papel como cobertura do solo reduziu significativamente o consumo hídrico, principalmente na fase inicial e final da cultura, reduzindo também os valores de Kc. Apesar dessa redução hídrica, não houve prejuízos às características fisiológicas e agrônômicas da cultura. Já em relação ao ponto de murcha permanente observa-se que pode variar de acordo com a textura do solo e do desenvolvimento da cultura.

**Palavras-chave:** Crescimento de plântula. Emergência. Déficit hídrico. Estádios de desenvolvimento. Consumo hídrico.

## ABSTRACT

FREITAS, Elis Marina de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **Seed germination, seedling production and obtaining parameters related to irrigation management in *Physalis peruviana* L.** Adviser: Fernando França da Cunha. Co-adviser: Carlos Nick Gomes.

The cultivation of *Physalis peruviana* has been highlighted as a promising alternative for small and medium producers, due to the appreciation of the culture. However, information regarding the cultivation of this species in Brazilian soil and climate conditions is still scarce, mainly in relation to cultivation parameters and irrigation management. Therefore, the objective of this research was to evaluate the morphological and water characteristics of seeds, seedlings and plants of *Physalis peruviana*. Thus, experiments were conducted from January 2019 to August 2021, in the Seed Laboratory of the Department of Agronomy and in the Experimental Area of Irrigation and Drainage of the Department of Agricultural Engineering, belonging to UFV. For the studies of seed germination, they were first subjected to different temperatures (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 and 20-30 °C) and then a combination of different temperatures was performed (20, 20/ 30, 30, 40 °C) and osmotic potentials (0; -0.3; -0.6, -0.9 MPa). For the studies related to seedlings, the interaction between four containers (200 cm<sup>3</sup> polypropylene, 100 cm<sup>3</sup> polypropylene containers, 400 cm<sup>3</sup> polyethylene bags, expanded polystyrene trays with 128 cells of 18 cm<sup>3</sup>) and six substrates (soil + sand, Maxplant® commercial substrate, soil, soil + sand + commercial substrate, soil + sand + commercial substrate + poultry manure; proportion: 1:1:1:2 and soil + sand + commercial substrate + tanned bovine manure; proportion : 1:1:1:2). The water demand and crop coefficient (Kc) studies were carried out in a lysimetric season, with four treatments: cultivation of *P. peruviana* without paper covering (C); cultivation with recycled paper as a cover (CP); lysimeter occupied with only recycled paper (P); and lysimeter cultivated with potato grass (G) and evaluations were carried out regarding the phenology of the crop, fruit characteristics, gas exchange, productivity and vegetation index by NDVI. The determination of the permanent wilting point occurred in a greenhouse with cultivation in pots. The treatments consisted of a combination of soils with different textures (loam-clay-sandy and sandy soil) and eleven periods of imposition of water deficit. With the germination tests it was possible to determine the temperatures at which the seeds of *Physalis peruviana* presented better germination performance, which were between 20 and 35 °C. Low water availability negatively affected seed germination characteristics. For the production of seedlings, the container with the largest volume and the substrate S6 (soil + sand + commercial substrate + tanned bovine

manure in the proportion: 1:1:1:2) stood out as the ones that provided the best development and quality of the plants. produced. To determine the technical parameters of *P. peruviana* cultivation, it was observed that the use of paper as a ground cover significantly reduced water consumption, especially in the initial and final stages of the culture, also reducing the Kc values. Despite this water reduction, there were no damages to the physiological and agronomic characteristics of the crop. In relation to the permanent wilting point, it is observed that it can vary according to the texture of the soil and the development of the crop.

**Keywords:** Seedling growth. Emergency. Water deficit. Development stadiums. Water consumption.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CAPÍTULO 1. DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Physalis peruviana* L. SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSES TÉRMICO E HÍDRICO

**Figura 1** – (A) Médias de germinação final, (B) índice de velocidade de germinação (IVG), (C) tempo médio de germinação (TMG), tempo necessário para germinação de (D) 10, (E) 50 e (F) 90% das sementes (T10, 50 e 90%), (G) taxa média de germinação (TaMG) e (H) número de plântulas normais (PN) de *P. peruviana* em função de diferentes temperaturas.....33

**Figura 2** – Germinação cumulativa de sementes de *P. peruviana* submetidas a diferentes temperaturas.....35

**Figura 3** – (A) Médias de germinação final, (B) índice de velocidade de germinação (IVG), (C) tempo médio de germinação (TMG), (D) tempo necessário para germinação de 90% das sementes (T90), (E) taxa média de germinação (TaMG), (F) uniformidade de germinação (UnifG) e (H) sincronia de germinação (SinG) de *P. peruviana* em função de diferentes potenciais osmóticos para diferentes temperaturas.....40

**Figura 4** – Germinação final (GF) de sementes de *P. peruviana* em função de diferentes potenciais osmóticos ( $\psi_s$ ) e dias após semeadura (DAS) nas condições de temperaturas (A) alternada de 20/30 °C e (B) constante de 30 °C.....44

### CAPÍTULO 2. EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Physalis peruviana* L. COM DIFERENTES SUBSTRATOS E RECIPIENTES

**Figura 1** – Variações médias diárias de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) durante o período experimental 01/02/200 a 30/03/2020.....57

### CAPÍTULO 3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DA *Physalis peruviana* L. CULTIVADA COM PAPEL RECICLADO COMO COBERTURA DE SOLO

**Figura 1** – Variações diárias de (A) temperatura do ar (°C) e (B) umidade relativa do ar (%), no período de 20/06/2020 à 11/11/2020 (ciclo 1) e de 01/03/2021 à 26/08/2021(ciclo 2) .....82

**Figura 2** – Layout da área experimental.....83

**Figura 3** – Comportamento fenológico de *P. peruviana* L. em função dos períodos após o transplantio, nos dois ciclos de cultivo.....93

**Figura 4** – Diferentes fases do desenvolvimento da *P. peruviana* L.: muda (A); botão floral (B); botão floral intumescido (C); floração (D); formação do fruto (F); fruto imaturo (G, H e I) e fruto maduro (J e K) .....94

**Figura 5** – Evolução do consumo de água nos lisímetros de drenagem com grama batatais (Grama), papel reciclado (Papel), *P. peruviana* cultivada convencionalmente (C) e com cobertura de papel (CP).....96

**Figura 6** – Coeficientes de cultura (Kc) de *P. peruviana* cultivada (A) sem papel e coeficientes de (B) cultivo, (C) de cultura basal (Kcb) e (D) de evaporação (Ke) com papel reciclado como cobertura de solo.....99

**Figura 7** – Relação entre graus-dias e índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) para cultivo de *P. peruviana* com (A) e sem (B) o uso de cobertura de solo com papel; e relação entre coeficiente de cultura (Kc) e NDVI para cultivo *P. peruviana* com (C) e sem (D) cobertura no solo.....102

#### **CAPÍTULO 4. DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE DE *Physalis peruviana* L.**

**Figura 1** – Localização da área experimental e esquema da casa de vegetação utilizada no estudo.....118

**Figura 2** – Caracterização climática no interior da casa de vegetação durante o período experimental. DEA-UFV, 2020.....118

**Figura 3** – Respostas morfológicas em plantas hidratadas (A) e plantas em déficit hídrico (B).....121

**Figura 4** – Curvas de tensão de água para solos de textura arenosa (A) e franco-argilo-arenosa (B), ajustadas pelo modelo de Van Genuchten (1980) .....122

**Figura 5** – Períodos de tempo necessários para as plantas murcharem (A e B), teores de água (C e D) e potenciais hídricos (E e F) equivalentes ao ponto de murcha permanente (PMP) da *Physalis peruviana* ao longo de um ciclo de cultivo em solos de textura arenosa (A, C e E) e franco-argilo-arenosa (B, D e F) .....123

**Figura 6** – Teores de água equivalentes ao ponto de murcha permanente (PMP) ao longo de todo o ciclo de cultivo da *P. peruviana* e as diferenças com o PMP equivalente a tensão padrão de 1.500 kPa para os solos (A) arenoso e (B) franco-argilo-arenoso.....126

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1. DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Physalis peruviana* L. SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSES TÉRMICO E HÍDRICO

**Tabela 1** – Concentração em g L<sup>-1</sup> de polietilenoglicol (PEG 6.000) estimada às temperaturas de 20, 20/30 e 30 °C para a obtenção dos diferentes níveis de potencial osmótico.....29

**Tabela 2** – Funções contidas no pacote SeedCalc para cálculo de índices, utilizando dados da contagem diária de sementes no teste de germinação / emergência.....30

**Tabela 3** – Médias de germinação final (GF), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), tempo necessário para germinação de 10, 50 e 90% das sementes (T10, 50 e 90%), taxa média de germinação (TaMG), sincronia de germinação (SinG), uniformidade de germinação (UnifG) e do número de plântulas normais (PN) de *P. peruviana* submetida a diferentes temperaturas.....32

**Tabela 4** – Médias de germinação final (GF), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), tempo necessário para germinação de 90% das sementes (T90), taxa média de germinação (TaMG), uniformidade de germinação (UnifG) e sincronia de germinação (SinG) de sementes de *P. peruviana* submetidas a diferentes temperaturas (T) e potenciais osmóticos ( $\psi_s$ ) .....38

### CAPÍTULO 2. EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Physalis peruviana* L. COM DIFERENTES SUBSTRATOS E RECIPIENTES

**Tabela 1** – Descrição dos tratamentos do experimento fatorial.....58

**Tabela 2** – Análise química e física dos substratos utilizados para produção de mudas de *P. peruviana* L.....58

**Tabela 3** – Porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE) de *P. peruviana* cultivada em diferentes recipientes e substratos.....61

**Tabela 4** – Altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar de *P. peruviana* cultivadas em diferentes recipientes e substratos.....63

**Tabela 5** – Massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *P. peruviana* produzidas com diferentes recipientes e substratos.....66

### CAPÍTULO 3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DA *Physalis peruviana* L. CULTIVADA COM PAPEL RECICLADO COMO COBERTURA DE SOLO

**Tabela 1** – Composição química e física do solo usado nos lisímetros de drenagem.....87

**Tabela 2** – Número de dias após a emergência (DAE) e graus-dia acumulados (GD) para os principais estádios fenológicos de plantas de *P. peruviana*, em função dos dois ciclos de cultivo.....92

**Tabela 3** – Taxa de assimilação fotossintética (A), condutância estomática (gs), carbono interno (Ci), taxa de transpiração (E) e eficiência no uso da água (WUE) em plantas de *P. peruviana* cultivadas com e sem o uso de papel como cobertura de solo.....103

**Tabela 4** – Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), número de frutos (Nfr), massa fresca dos frutos (MF), diâmetro transversal do fruto (DT), diâmetro longitudinal dos frutos (DL), teor de sólidos solúveis (BRIX) e produtividade em plantas de *P. peruviana* cultivadas com e sem o uso de papel reciclado como cobertura de solo.....105

#### **CAPÍTULO 4. DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE DE *Physalis peruviana* L.**

**Tabela 1** – Composição físico-química dos solos utilizados no experimento.....119

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	18
REFERÊNCIAS .....	21
CAPÍTULO 1: DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE <i>Physalis peruviana</i> L. SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSES TÉRMICO E HÍDRICO .....	24
HIGHLIGHTS .....	24
RESUMO .....	24
1. INTRODUÇÃO .....	25
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	27
2.1. Condução do experimento e material vegetal.....	27
2.2. Influência da temperatura sobre a germinação de sementes.....	28
2.3. Combinação de temperatura e restrição hídrica na germinação de sementes.....	28
2.4. Variáveis analisadas e análise estatística.....	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
3.1. Experimento I: Efeito da temperatura na germinação de sementes.....	31
3.2. Experimento II: Germinação de sementes em diferentes condições hídricas e térmicas .....	38
4. CONCLUSÕES.....	45
5. REFERÊNCIAS .....	46
CAPÍTULO 2: EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Physalis peruviana</i> L. COM DIFERENTES SUBSTRATOS E RECIPIENTES .....	53
HIGHLIGHTS .....	53
RESUMO .....	53
1. INTRODUÇÃO .....	54
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	56
2.1. Local e instalação do experimento .....	56
2.2. Material vegetal .....	57
2.3. Delineamento experimental e tratamentos .....	58
2.4. Caracterização dos substratos .....	58
2.5. Variáveis analisadas .....	59
2.6. Análise dos dados .....	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
3.1. Parâmetros de emergência das plântulas de <i>P. peruviana</i> .....	60
3.2. Parâmetros de crescimento das mudas .....	63
3.3. Parâmetros de qualidade das mudas .....	66

4. CONCLUSÕES.....	69
5. REFERÊNCIAS .....	70
ANEXO A .....	77
CAPÍTULO 3: EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DA <i>Physalis peruviana</i> CULTIVADA COM PAPEL RECICLADO COMO COBERTURA DE SOLO .....	78
HIGHLIGHTS .....	78
RESUMO .....	78
1. INTRODUÇÃO .....	79
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	81
2.1. Caracterização da área .....	81
2.2. Caracterização do ensaio experimental .....	82
2.3. Material vegetal .....	83
2.4. Fases fenológicas da <i>P. peruviana</i> .....	85
2.5. Dados meteorológicos .....	85
2.6. Descrição e manejo dos lisímetros .....	86
2.7. Consumo hídrico e coeficientes técnicos.....	87
2.7.1. Evapotranspiração da cultura (ETc) .....	87
2.7.2. Coeficiente da cultura (Kc) .....	88
2.7.3. Coeficientes de evaporação (Ke) e de cultivo basal (Kcb).....	89
2.8. Análise de Kc utilizando NDVI.....	89
2.9. Características avaliadas.....	90
2.10. Avaliações fisiológicas .....	90
2.11. Parâmetros de crescimento da planta e qualidade dos frutos.....	90
2.12. Análise estatística .....	91
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	91
3.1. Caracterização fenológica.....	91
3.2. Consumo hídrico .....	95
3.3. Estimativa dos coeficientes técnicos para manejo da irrigação.....	98
3.4. Estimativa do Kc utilizando NDVI .....	101
3.5. Caracterização agrônômica da <i>P. peruviana</i> .....	103
4. CONCLUSÕES.....	107
5. REFERÊNCIAS .....	108
CAPÍTULO 4: DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE DE <i>Physalis peruviana</i> L.....	114
HIGHLIGHTS .....	114

RESUMO .....	114
1. INTRODUÇÃO .....	115
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	117
2.1. Caracterização do experimento e delineamento experimental .....	117
2.2. Montagem dos vasos .....	119
2.3. Material vegetal .....	120
2.4. Disponibilidade hídrica no solo .....	121
2.5. Determinação do ponto de murcha permanente .....	121
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	123
4. CONCLUSÕES .....	127
5. REFERÊNCIAS .....	127
CONCLUSÕES GERAIS .....	131

## INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento das plantas está relacionado aos fatores ambientais, dos quais o clima, o solo e a água se destacam como os elementos de maior interferência no desenvolvimento das culturas. À medida que o cenário global de mudanças climáticas cresce, torna-se cada vez mais importante estabelecer padrões de cultivo e adotar técnicas de manejo que proponham maior racionalidade e eficiência no uso desses recursos (ANA, 2017). É necessária uma abordagem sistêmica dos fatores relacionados à sua disponibilidade e uso na esfera social (CADORE e TOCHETTO, 2021), além de planejamento detalhado e manejo adequado das culturas agrícolas.

Os efeitos das mudanças ambientais e climáticas sobre as plantas têm sido cada vez mais explorados, pois podem interferir na produtividade agrícola e, assim, impactar negativamente a produção e disponibilidade de alimentos. Dentre esses fatores de mudanças previstos, as restrições impostas sob condições ambientais críticas, como temperatura e escassez de água, estão se tornando cada vez mais importantes (PEREIRA et al., 2017). A agricultura está entre as atividades com o maior consumo dos recursos hídricos em todo mundo, sendo do total de água doce do planeta, mais de dois terços são de captação na agricultura (CHAI et al. 2015; FAO, 2016). E seu consumo no Brasil, cerca de 3 bilhões por metros cúbicos ao ano (ANA, 2017 e 2020).

Em decorrência de variações climáticas diversas, como mudanças de temperatura e disponibilidade hídrica, as plantas estão sujeitas a pelo menos algum tipo de estresse abiótico ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, afetando assim sua produção (CHAUDHRY; SIDHU, 2019; KRISHNA et al., 2019; SANDRINI et al., 2022). Dessa forma, estudo de todos parâmetros que irão interferir no desenvolvimento da cultura e a interferência dos fatores biótico e abióticos, colaboram para o entendimento do comportamento das mesmas. Além de ser essencial para garantir a produtividade e qualidade da lavoura (PEREIRA et al., 2017). Uma forma de verificar o impacto de fatores ambientais é avaliar o comportamento de sementes. Durante a germinação podem ocorrer diferentes respostas ao estresse e às mudanças ambientais (TAIZ et al., 2017). Além disso, o teste de germinação, por estar relacionado às características fisiológicas da semente, tem seus resultados utilizados para o estabelecimento de culturas no campo e, conseqüentemente, para o sucesso da produção. O uso de sementes de alta qualidade adaptadas a diversos fatores bióticos e abióticos, como déficit hídrico e oscilações de temperatura, é de grande importância e é a técnica recomendada para determinar melhores condições de cultivo e garantir o sucesso da produção (GRZYBOWSKI et al., 2015). É por

meio das respostas quanto a essas avaliações que o produtor conseguirá obter um estande uniforme, o que facilitará o manejo e os tratos culturais empregados (KRZYZANOWSKI et al., 2018).

A produção de mudas é uma etapa fundamental na produção agrícola para diversas culturas, pois isso impacta diretamente na produção e rendimento da cultura implantada (MACIEL et al., 2017). As mudas de boa qualidade desenvolvem melhor, garantindo assim uma boa conformação do sistema radicular, com melhor capacidade de adaptação a um novo local após o transplante, o que tem um efeito positivo sobre o desenvolvimento da cultura (DE ARAÚJO et al., 2018). A produção de mudas depende principalmente do tamanho dos recipientes e do tipo de substratos que devem ter as propriedades físicas, biológicas e químicas desejadas ((KRATZ et al., 2013; ZACCHEO et al., 2013). Esses fatores afetam a velocidade e a uniformidade da germinação das sementes, determinam o espaço disponível para o crescimento radicular e influenciam a arquitetura radicular e o estado nutricional das mudas, respectivamente (GUIMARÃES et al., 2012; CABREIRA et al., 2017; CASTOLDI et al., 2014).

Após o estabelecimento das mudas é fundamental considerar os manejos que propõem maior racionalidade e eficiência no uso deste recurso. Estratégias de manejo que objetivem melhorar a eficiência da irrigação devem ser priorizadas. (DEIHIMFARD et al., 2022). Entre as técnicas que podem ser usadas para reduzir o consumo hídrico sem alterar a produtividade está a cobertura do solo. A menor exposição do solo a incidência de raios solares promove a redução da evaporação direta de água (YAGHI; ARSLAN; NAOUM, 2013). Além disso, a cobertura auxilia no controle a plantas invasoras, que não conseguem se desenvolver se não houver a incidência de radiação solar (BELLVERT et al., 2022). Desta forma, conhecer as reais necessidades hídricas das culturas agrícolas nas diferentes fases fenológicas do seu ciclo, bem como determinar os parâmetros técnicos e parâmetros que irão intervir diretamente no desenvolvimento da planta, são essenciais.

A determinação do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) por exemplo é essencial na tentativa de racionalizar o uso da água na agricultura, reduzindo o custo de produção do sistema agrícola e no impacto ao meio ambiente (DA SILVA, et al., 2018). Já parâmetros como ponto de murcha permanente são essenciais para o manejo de irrigação via solo. Esse manejo auxilia na determinação da umidade do solo na zona do sistema radicular e ajuda a repor o volume de água necessário até atingir a capacidade de campo do solo (DE SOUZA et al., 2016).

Várias culturas já possuem tais parâmetros determinados, porém algumas culturas que tem apresentando recentemente notável destaque no mercado agrícola, ainda possuem conhecimento incipiente quanto a essas variáveis. E uma cultura que ganha destaque nesse sentido é a *Physalis peruviana* L, fruta pertencente à família *Solanaceae* e originária da região Andina. A *P.peruviana* por apresentar alto valor agregado, com grande potencial alimentício e nutracêutico (DINIZ et al., 2020), tem sido vista como uma excelente alternativa para o cultivo, principalmente para médios e pequenos produtores, desenvolvendo-se em diferentes condições agroecológicas, adaptada a diversos climas e tipos de solo (RUFATO et al., 2013).

Apesar de ser uma alternativa econômica e promissora no Brasil, há uma carência de informações técnicas sobre a cultura (DINIZ et al., 2020). Isso pode causar falhas no cultivo devido à falta ou excesso no uso de insumos, como também proporcionar gastos econômicos desnecessários. Nesse contexto, não há no Brasil muitas pesquisas que especifiquem condições ideais de germinação e produção de mudas de *Physalis peruviana*. E nem estudos sobre a demanda hídrica e obtenção de coeficientes técnicos da cultura, principalmente relacionado ao uso de papel como cobertura do solo.

Dessa forma, o estabelecimento de padrões de cultivo e a adoção de técnicas de manejo que possibilitem maiores ganhos em produtividade, são essenciais para que a *Physalis peruviana* possa atingir maiores patamares na cadeia produtiva do agronegócio. E visto que as investigações quanto as respostas dessa cultura aos diferentes estresses abióticos, assim como as necessidades hídricas, são escassas. Buscou-se com essa pesquisa avaliar a germinação e vigor das sementes submetidas a diferentes estresses abióticos, assim como a produção de mudas utilizando diferentes recipientes e substratos. Além de determinar o consumo hídrico da cultura, assim como os parâmetros técnicos utilizados no manejo de irrigação.

## REFERÊNCIAS

- ANA (Agência Nacional de Águas). Atlas irrigação: **Uso da água na agricultura irrigada**, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/>, 2017.
- ANA (Agência Nacional de Águas). Estimativas de evapotranspiração real por sensoriamento remoto no Brasil, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <https://www.ana.gov.br>, 2020.
- BELLVERT, J.; NIETO, H.; PELECHÁ, A.; ČEKALOVIĆ, C. J.; ZAZURCA, L.; MIARNAU, X. Remote sensing energy balance model for the assessment of crop evapotranspiration and water status in an almond rootstock collection. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 608967, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.608967>
- CABREIRA, G. V., DOS SANTOS LELES, P. S., DE ARAÚJO, E. J. G., DA SILVA, E. V., LISBOA, A. C., e LOPES, L. N. Produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* utilizando biossólido como substrato em diferentes recipientes e fertilizantes. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 30-42, 2017. ISSN 1983-2443. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99551919004>.
- CADORE, J. S., e TOCHETTO, M. Recursos Hídricos: Panorama Geral do Setor e Perspectivas ao Atendimento da Agenda 2030. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 3, 2021. Disponível em: <https://zenodo.org/badge/DOI/10.5281/zenodo.5703347.svg>.
- CHAI, Q.; GAN, Y.; ZHAO, C.; XU, H. L.; WASKOM, R. M.; NIU, Y.; SIDDIQUE, K. H. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 1, p. 3, 2016.
- CHAUDHRY, S.; SIDHU, G. P. S. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. **Plant Cell Reports**, v. 41, p.1-31, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5>
- CASTOLDI, G., FREIBERGER, M. B., PIVETTA, L. A., PIVETTA, L. G., & ECHER, M. D. M. Alternative substrates in the production of lettuce seedlings and their productivity in the field. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 299-304, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200010>.
- DE ARAÚJO HENDGES<sup>1</sup>, A. R. A., DE ALMEIDA GUIMARÃES, M., DE MESQUITA, J., CAMILO, F. R. C. F., DE LIMA MAIA, C. Diferentes temperaturas e combinações de recipientes e substratos na produção de mudas de mostarda. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 14, n. 3, p. 213-221, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v14i3.1020>.
- DEIHIMFARD, R., RAHIMI-MOGHADDAM, S., COLLINS, B., e AZIZI, K. Future climate change could reduce irrigated and rainfed wheat water footprint in arid environments. **Science of The Total Environment**, 807, p.150991. 2022.
- DE SOUZA, J. M., PEREIRA, L. R., DOS REIS, E. F., e BONOMO, R. Variabilidade espacial da capacidade de campo e ponto de murcha permanente em argiloso amarelo coeso. Disponível em: **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 5, 2016.

DINIZ, F. O.; CHAMMA, L.; NOVEMBRE, A. D. L. C. Germination of *Physalis peruviana* L. seeds under varying conditions of temperature, light, and substrate. **Ciência Agrônômica**, v. 51, n. 1, e20166493, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200003>

FAO. Aquastat website. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**. 2016.

GRZYBOWSKI, C. R. S.; VIEIRA, R. D., PANOBIANCO, M. Testes de estresse na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 3, p. 590-596, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150042>

GUIMARÃES, D. S. Emergência e crescimento inicial de espécies de physalis em diferentes substratos regionais. **Anais Seminário de Iniciação Científica**, n. 21, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/semic.v0i21.2172>.

KRISHNA, R.; KARKUTE, S. G.; ANSARI, W. A.; JAISWAL, D. K.; VERMA, J. P.; SINGH, M. Transgenic tomatoes for abiotic stress tolerance: Status and way ahead. **Biotech**, v. 9, n. 143, p. 13205, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1665-0>

KRATZ, D., WENDLLING, I.; NOGUEIRA, A. C., ZOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1103-1113, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000600012>.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **A alta qualidade da semente de soja: Fator importante para a produção da cultura**. Londrina: Embrapa, 2018. 24p.

MACIEL, Tamires Coelho Matias et al. Substrato à base de pequi (*Caryocar coriaceum*) na produção de mudas de tomate e pimentão. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 9-16, 2017.

MAYES, S. et al. The potential for underutilized crops to improve security of food production. **Journal of experimental botany**, v. 63, n. 3, p. 1075-1079, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/err396>

PEREIRA, A. C.; DA SILVA, G. Z.; CARBONARI, M. E. E. **Sustentabilidade, responsabilidade social e meio ambiente**. Editora Saraiva, 2017.

RUFATO, A. D. R., RUFATO, L., LIMA, C. S. M., e MUNIZ, J. A cultura da physalis. Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro científico (ALICE), 2013.

SANDRINI, M.; NERVA, L.; SILLO, F.; BALESTRINI, R.; CHITARRA, W.; ZAMPIERI, E. Abiotic stress and belowground microbiome: The potential of omics approaches. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 3, p. 1091, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms23031091>

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

VINCENT, H., WIERSEMA, J., KELL, S., FIELDER, H., DOBBIE, S., CASTAÑEDA-ÁLVAREZ, N. P., MAXTED, N. INCENT, H. et al. A prioritized crop wild relative inventory

to help underpin global food security. **Biological conservation**, v. 167, p. 265-275, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.08.011>

YAGHI, T.; ARSLAN, A.; NAOUM, F. Cucumber (*Cucumis sativus*, L.) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 128, p. 149-157, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.002>

ZACCHEO, P.V.C.; AGUIAR, R.S.; STENZEL, N.M.C.; NEVES, C.S.V.J. Tamanho de recipientes e tempo de formação de mudas no desenvolvimento e produção de maracujazeiro-amarelo, **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 35, n. 2, p. 603-607, Jun., 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200032>.

## CAPÍTULO 1: DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Physalis peruviana* L. SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSES TÉRMICO E HÍDRICO

### HIGHLIGHTS

- A qualidade das sementes é fator essencial para o cultivo de *Physalis peruviana*.
- O polietilenoglicol é bastante utilizado para embebição de sementes e avaliação de estresse hídrico.
- A faixa térmica de 20-30 °C é ideal para germinação de sementes de *P. peruviana*.
- Potencial osmótico inferior a -0,6 MPa e temperaturas acima de 30 °C reduzem a germinação de *P. peruviana*.
- *P. peruviana* tolera altas temperaturas e restrições hídricas, mas não a combinação destes fatores.

### RESUMO

As condições ambientais em que as espécies crescem influenciam seu desenvolvimento desde o estágio inicial. Conhecer o comportamento das sementes é essencial para compreensão da germinação e qualidade fisiológica delas em condições edafoclimáticas diversas. Principalmente para espécies em que são escassas as informações quanto as melhores condições de desenvolvimento, como a *physalis (Physalis peruviana)*, espécie pertencente à família Solanaceae que tem se destacado como alternativa promissora de cultivo. Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho foi analisar o comportamento germinativo de *P. peruviana* frente a situações de restrições hídrica e variação térmica. O trabalho foi dividido em dois ensaios: (i) efeito de temperaturas na germinação de sementes; e (ii) germinação de sementes em diferentes condições hídricas e térmicas. Para o primeiro ensaio, as sementes foram colocadas em câmaras de germinação tipo B.O.D., com temperaturas controladas de: 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 e 20-30 °C. Para o segundo experimento foram utilizadas diferentes temperaturas e potenciais osmóticos (0; -0,3; -0,6 e -0,9 MPa). Com os testes de germinação foi possível encontrar a faixa térmica ideal para germinação das sementes de *P. peruviana* testadas neste estudo, sendo essa entre 20 a 30 °C e a tolerância ao déficit hídrico, que para a temperatura de 30 °C ocorreu até o potencial de -0,6 Mpa e para temperatura alternada 20/30 °C até o potencial osmótico de -0,9 Mpa. O maior desempenho germinativo da espécie ocorreu em 25,4 °C, com porcentagem de 97,6%. A restrição hídrica afetou negativamente as características de germinação e qualidade das sementes de *P. peruviana*, principalmente nos

potenciais osmóticos inferiores à -0,45 e -0,61 MPa, em interação com a temperatura constante de 30 e alternada de 20/30 °C, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Physalis*. Germinação. Temperatura. Potencial osmótico. Plântulas.

## 1. INTRODUÇÃO

A *Physalis peruviana* L. pertence à família Solanaceae, conhecida comumente como camapu, fisális, joá de balão, ou juá-de-capote. Essa olerícola é originária da região Andina, cuja espécie se destaca por apresentar alto valor agregado, com grande potencial alimentício e nutracêutico (DINIZ et al., 2020). Seu gênero compreende mais de 120 espécies difundidas em regiões como as zonas tropicais e temperadas do continente americano (PUENTE et al., 2011; SILVA et al., 2016). Essas espécies são reconhecidas com facilidade, por apresentar cálice concrecido que envolve e protege os frutos dos herbívoros e intempéries (SILVA et al., 2014; VARGAS-PONCE et al., 2016).

No Brasil, a *P. peruviana* é consumida como fruta fina e produzida em pequena escala, por pequenos e médios produtores (RODRIGUES et al., 2014; VILLA et al., 2016). No entanto, a espécie tem ganhado cada vez mais espaço no mercado, sendo seus frutos comercializados simplesmente *in natura*, ou também para indústrias alimentícias e medicinais (BAGATIM, 2017). Por isso, tem sido considerada uma cultura versátil e de vasto potencial comercial, apresentando-se como excelente alternativa de renda (PIVA et al., 2015; RODRIGUES et al., 2014; VILLA et al., 2016). Não há relatos de grandes produções de *P. peruviana* no país, devido as características edafoclimáticas particulares de cada região e falta de informações técnicas sobre a cultura (OZASLAN et al., 2016).

Apesar de haver pesquisas relacionadas ao sistema de condução (MUNIZ et al., 2011; PELLIZZARO et al., 2020), a adubação (RODRIGUES et al., 2020), a qualidade pós-colheita dos frutos (BOLZAN et al., 2011) e aos custos de produção (GAIER et al., 2019) da espécie, estudos relacionados ao desenvolvimento da cultura são incipientes. Assim, estudos são necessários principalmente em regiões onde fatores abióticos são os principais obstáculos para a produção agrícola.

Devido a irregularidade climática, observa-se que as plantas dificilmente crescem em ambientes ideais, ficando sujeitas a pelo menos algum tipo de estresse abiótico ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (CHAUDHRY; SIDHU, 2019; KRISHNA et al., 2019; SANDRINI et al., 2022). E uma das formas de verificar o efeito do impacto de fatores ambientais estressantes é por meio do estudo de sementes. Em análises fisiológicas e bioquímicas, os

primeiros reflexos desses estresses são observados na fase de germinação e emergência das plântulas (JOHNSON; PUTHUR, 2021; YADAV et al., 2019). Embora a germinação esteja diretamente relacionada à constituição genética da espécie, a forma como ela se expressa pode ser modificada por estresses e variações ambientais (TAIZ et al., 2017). Dessa forma, a avaliação do potencial fisiológico de uma semente é parte essencial do seu controle de qualidade e formação de mudas, pois é a referência para a adoção de práticas de manejo que visam garantir a sobrevivência da espécie (GAIER et al., 2019).

A qualidade e germinação de sementes são um dos fatores mais importantes para o estabelecimento das culturas em campo e, conseqüentemente, para o sucesso produtivo. É por meio desses atributos que o produtor conseguirá obter um estande uniforme, o que facilitará o manejo e os tratos culturais empregados (KRZYZANOWSKI et al., 2018). Além disso, a utilização de sementes de alta qualidade e adaptadas aos diferentes fatores bióticos e abióticos, mostra-se uma alternativa viável para o cultivo em regiões ambientais menos favoráveis à agricultura (COSTA et al., 2020).

Nesse sentido, entre os fatores ambientais que afetam o desenvolvimento da cultura, destacam-se como os de maior ocorrência e impacto o hídrico e térmico, podendo diminuir a porcentagem de emergência de plântulas, ocasionando redução na produção (SILVA et al., 2011). Dessa forma, a avaliação das sementes submetidas a esses fatores é importante para definir melhores condições de cultivo e garantir o sucesso produtivo (GRZYBOWSKI et al., 2015).

O deficit hídrico é um dos fatores mais limitantes à agricultura, em razão da importância da água na ativação de diferentes processos metabólicos (BEWLEY et al., 2013). Na germinação, tem participação decisiva nas reações enzimáticas, solubilização e transporte de metabólitos, como reagente na digestão hidrolítica de tecidos de reserva da semente (MARCOS FILHO, 2015). O estresse hídrico pode refletir também em toxidez de alguns elementos, como o sódio e o cloro, que promovem distúrbios fisiológicos na planta, podendo ser letais (SHAHID et al., 2020). Em relação a temperatura, variações extremas podem influenciar os processos fisiológicos e bioquímicos nas sementes, afetando diretamente o crescimento inicial das culturas (MARINI et al., 2012). É conhecido que quanto mais distante da temperatura ótima, maior o estresse causado às sementes. Em níveis críticos, isso pode causar injúrias a essa estrutura, inclusive alterando as atividades metabólicas inerentes ao processo de germinação, altamente dependentes de sistemas enzimáticos específicos (FLORES et al., 2014; MARCOS FILHO, 2015; VAZ de MELO et al., 2012).

Acredita-se que as alterações na fisiologia da *P. peruviana* quando submetidas a alterações climáticas, devam ocorrer tanto a nível metabólico quanto morfológico, promovendo ajustes aos diferentes ambientes de cultivo (TREVISANI et al., 2018). Assim, apesar da capacidade de aclimação e/ou adaptação a essas variações serem diferentes para cada espécie, saber a resposta das mesmas diante essas alterações pode significar a sua sobrevivência ou não em determinados ambientes (TAIZ & ZAIGER, 2009). Portanto, é necessário estudar o comportamento fisiológico das sementes para melhor compreender o mecanismo de germinação e a qualidade fisiológica das sementes sob condições ambientais adversas, de modo a estabelecer a otimização do processo germinativo. (COSTA et al., 2020).

Além disso, o conhecimento a respeito dessas condições é a base para estudos cada vez mais detalhados acerca dessas plantas, as quais podem ser uma ferramenta útil no combate a várias doenças. Diante do exposto, percebe-se a necessidade de estudos que correlacionem esses dois fatores para caracterização dos mecanismos de adaptabilidade à essas condições, possibilitando melhoria no desempenho da cultura em campo. Por isso, objetivou-se neste trabalho avaliar os efeitos dos estresses hídrico e térmico sobre a germinação e qualidade de sementes de *P. peruviana*.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Condução do experimento e material vegetal**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Pesquisa de Sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Viçosa, Minas Gerais. As sementes utilizadas no estudo foram adquiridas de frutos maduros obtidos de cultivos localizados no município de Diamantina, Minas Gerais. Após cortados, os frutos foram colocados em peneiras para serem lavados e assim retirar o excesso de polpa. As sementes extraídas foram dispostas em bandejas com papel toalha e secadas em condições ambiente ( $\pm 25$  °C) por 24 h.

Para avaliação da qualidade e viabilidade das sementes, estas foram submetidas a teste de germinação, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Foram empregadas quatro repetições com 25 sementes cada, acondicionadas em caixas gerbox com dimensões de 11 x 11 x 3,5 cm. Nessas caixas, as sementes permaneceram sobre duas folhas de papel germitest, previamente umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco. As sementes foram então acondicionadas em B.O.D. (biological oxygen demand)

regulada a temperatura alternada de 20-30 °C, com fotoperíodo de 16 horas. A contagem das sementes germinadas foi efetuada do 6° ao 28° dia após a instalação do teste. Após este período, observou-se a germinação de 96%, garantindo a viabilidade das sementes. Para o teste de germinação e suas derivações utilizou-se como critério de germinação biológica, sementes germinadas que apresentaram protrusão radicular de no mínimo 2 mm de comprimento.

O trabalho foi dividido em dois ensaios: (i) influência de diferentes temperaturas sobre a germinação de *P. peruviana*; e (ii) influência da combinação de fatores estressantes (temperatura e restrição hídrica) na germinação das sementes de *P. peruviana*.

Os dois ensaios foram realizados em laboratório. As sementes foram colocadas para germinar em caixas gerbox, com as mesmas características e procedimentos descritos anteriormente para testar a qualidade e viabilidade das sementes. Logo após, foram acondicionadas em B.O.D. reguladas às temperaturas referidas nos ensaios, com fotoperíodo de 16 horas, durante 28 dias. Foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes cada, totalizando, assim, 100 sementes por tratamento.

## **2.2. Influência da temperatura sobre a germinação de sementes**

Para avaliar o efeito da temperatura na germinação de sementes de *P. peruviana* foram testadas as temperaturas constantes de 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C e alternada de 20-30 °C. De acordo com as recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), para a germinação das sementes de *Physalis alkekengi* L. e de *Physalis pubescens* L., a temperatura ideal para germinação é a alternada de 20-30 °C. Como para *P. peruviana* não há informações, esta temperatura foi utilizada no estudo como referência (controle).

Determinou-se também a temperatura a faixa de temperatura onde ocorreu porcentagem de germinação superior ou igual a 90%, que é a recomendada para a espécie, representando lotes de sementes mais vigorosas.

## **2.3. Combinação de temperatura e restrição hídrica na germinação de sementes**

Para avaliação do efeito de estresses simultâneos na germinação de sementes de *P. peruviana* foram testadas diferentes combinações de potenciais hídricos e temperaturas. Os ensaios combinaram as temperaturas de controle (20/30 °C) e a ótima (30 °C) de germinação estimados no primeiro ensaio, com os potenciais osmóticos de 0; -0,3; -0,6 e -0,9 MPa. É oportuno ressaltar que pré-testes foram realizados anteriormente e verificou-se que a temperatura mínima (20 °C) apresentou germinação nula quando combinada com os diferentes

potenciais osmóticos. Da mesma forma, foi verificado que o potencial osmótico de -1,2 MPa não possibilitou germinação das sementes para nenhuma temperatura testada.

Para simular o efeito da restrição hídrica na germinação das sementes de *P. peruviana* utilizou-se soluções de polietilenoglicol (PEG 6.000), como apresentado na Tabela 1, preparadas de acordo com Villela et al. (1991). Para a temperatura alternada de 20/30°C foi realizado uma média entre as soluções utilizadas para a temperatura de 20, 25 e de 30 °C. As concentrações de PEG 6.000 utilizadas, foram diluídas utilizando agitador magnético. Para o potencial de 0 MPa foi utilizada apenas água destilada.

**Tabela 1** – Concentração em g L<sup>-1</sup> de polietilenoglicol (PEG 6.000) estimada às temperaturas de 20, 20/30 e 30 °C para a obtenção dos diferentes níveis de potencial osmótico.

Temperatura (°C)	Potencial osmótico (MPa)			
	0	-0,3	-0,6	-0,9
20	0	2,40	3,03	3,80
20/30	0	2,60	3,36	4,18
30	0	2,27	3,33	4,14

Fonte: Freitas, E.M. (2022)

Realizou-se trocas do papel-toalha a cada dois dias para manutenção do potencial da solução e a prevenção do aparecimento de patógenos.

#### 2.4. Variáveis analisadas e análise estatística

Nos dois ensaios, para avaliação de germinação e qualidade das sementes, as caixas gerbox foram examinadas diariamente, registrando-se as sementes com protrusão de raiz primária e as plântulas normais, estas caracterizadas pela presença de raiz primária desenvolvida e parte aérea proporcional ao tamanho da raiz primária, ambas sem defeitos aparentes, produzidas a partir de cada semente. A primeira contagem foi realizada no sexto dia e a última no vigésimo oitavo dia após a instalação do teste.

Os parâmetros avaliados foram: porcentagem final de germinação (FGP), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo para atingir 10% de germinação (T10), tempo para atingir 50% germinação (T50), tempo para atingir 90% de germinação (T90), uniformidade de germinação (UnifG), tempo médio de germinação (MGT), taxa média de germinação (TaMG), sincronia de germinação (Sinc). Para avaliação desses parâmetros foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram protrusão da raiz primária. As equações utilizadas para calcular cada característica, conforme descrito por Silva et al. (2019), são apresentadas na

Tabela 2. Os cálculos foram processados utilizando o software R versão 4.0.5 ([www.r-project.org/](http://www.r-project.org/)) e o pacote SeedCalc (SILVA et al., 2019).

**Tabela 2** – Funções contidas no pacote SeedCalc para cálculo de índices, utilizando dados da contagem diária de sementes germinadas no teste de germinação.

Função	Descrição da função	Fórmula	Referência
PFG	Porcentagem final de germinação	$PFG = \left(\frac{n}{N}\right) \times 100$ n é o número de sementes germinadas, e N é número total de sementes.	ISTA (2015)
IVG	Índice de velocidade de germinação	$IVG = \sum_{i=1}^K (n_i/t_i)$ n <sub>i</sub> é o número de sementes germinadas em cada dia de contagem diária até a última contagem, e t <sub>i</sub> é o número de dias após o início do teste em cada contagem.	Maguire (1962)
T10	Tempo necessário para germinação de 10% das sementes	$T_{10} = \frac{\left\{ \left[ \frac{N}{\left(\frac{100}{10}\right)} \right] - n_i \right\} (t_f - t_i)}{(n_f - n_i)}$ N é o número final de sementes germinadas, e n <sub>i</sub> e n <sub>f</sub> são o número total de sementes germinadas em contagens adjacentes no tempo t <sub>i</sub> e t <sub>f</sub> , respectivamente, quando $n_i < \frac{N+1}{2} < n_f$ .	Farooq et al. (2005)
T50	Tempo necessário para germinação de 50% das sementes	$T_{50} = \frac{\left\{ \left[ \frac{N}{\left(\frac{100}{50}\right)} \right] - n_i \right\} (t_f - t_i)}{(n_f - n_i)}$ Mesma codificação de T10.	Farooq et al. (2005)
T90	Tempo necessário para germinação de 90% das sementes	$T_{90} = \frac{\left\{ \left[ \frac{N}{\left(\frac{100}{90}\right)} \right] - n_i \right\} (t_f - t_i)}{(n_f - n_i)}$ Mesma codificação de T10	Farooq et al. (2005)
TMG	Tempo médio de germinação	$TMG = \frac{\sum_{ni}^k ni \, ti}{\sum_{ni}^k ni}$ n <sub>i</sub> é o número de sementes germinadas por dia (não o número acumulado, mas o número correspondente à i-ésima observação), e t <sub>i</sub> é o tempo desde o início do teste de germinação até a i-ésima observação.	Labouriau (1983)
TaMG	Taxa média de germinação	$\bar{v} = \frac{CoVg}{100} = 1/\bar{t}$ $\bar{t}$ é o tempo médio de germinação e CoVg é o coeficiente de velocidade de germinação.	Labouriau (1983)
Sinc	Sincronia de germinação	$z = \sum C_{ni,2}/N$ $C_{ni,2} = ni(ni-1)/2 \text{ e } N = \sum \frac{ni(\sum ni-1)}{2}$	Primack (1980)

		Cni é a combinação das sementes germinadas no tempo i, duas a duas, e ni é o número de sementes germinadas no tempo i.	
UnifG	Uniformidade de germinação	$\text{UnifG} = (T90 - T10)$ T90 é o tempo necessário para a germinação de 90% das sementes, e T10 é o tempo necessário para germinação de 10% das sementes.	Demilly et al. (2014)

Fonte: Freitas, E.M. (2022).

O teste de primeira contagem de germinação foi realizado em conjunto ao teste de germinação, consistindo do registro das porcentagens de plântulas normais verificadas em 14 dias após o início do teste, seguindo as prescrições das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Os dados obtidos em todas as avaliações foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Quando o teste F foi significativo, testes de média ao nível de 5% de probabilidade foram utilizados para os fatores qualitativos. O teste de Tukey foi utilizado quando o objetivo foi comparar todos os tratamentos. Já o teste de Dunnet foi utilizado quando foram realizadas comparações com o tratamento controle. Para os fatores quantitativos, a seleção do modelo foi com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t a 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e no fenômeno biológico. Para execução das análises estatísticas foi utilizado o software R versão 4.0.5 (R Core Team, 202).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Experimento I: Efeito da temperatura na germinação de sementes

Na Tabela 3 estão apresentados os resumos das análises de variância (ANOVA) para as variáveis de germinação da *P. peruviana*. Verifica-se efeito da temperatura em todas as variáveis analisadas, sendo apresentadas as médias com diferença significativa e não significativa de acordo com a temperatura considerada. Nessa tabela estão apresentados também a comparação dos resultados obtidos utilizando a temperatura alternada de 20-30°C (controle) com os demais tratamentos com temperaturas constantes. Esse procedimento foi necessário devido ao próprio tratamento controle, pois a temperatura alternada não pôde constituir um fator quantitativo, onde apenas as temperaturas constantes foram consideradas. Assim, a temperatura alternada de 20-30 °C foi comparada por teste de média com as demais temperaturas, que por sua vez, foram analisadas por meio de regressões.

**Tabela 3** – Médias de germinação (GF), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), tempo necessário para germinação de 10, 50 e 90% das sementes (T10, 50 e 90%), taxa média de germinação (TaMG), sincronia de germinação (SinG), uniformidade de germinação (UnifG) e do número de plântulas normais (PN) de *P. peruviana* submetida a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	GER (%)	IVG	TMG (dias)	T10 (dias)	T50 (dias)	T90 (dias)	TaMG (%)	SinG	UnifG	PN (%)
20-30 (controle)	97	3,50	8,26	7,30	10,55	12,70	4,77	0,23	4,62	97
10	25 *	0,28 *	20,40 *	19,04 *	21,83 *	22,14 *	1,38 *	0,17 *	2,98 *	0 *
15	89 <sup>ns</sup>	1,18 *	19,07 *	15,85 *	18,34 *	21,61 *	2,84 *	0,16 *	5,19 *	0 *
20	90 <sup>ns</sup>	2,14 *	10,89 *	7,40 <sup>ns</sup>	10,55 <sup>ns</sup>	12,70 <sup>ns</sup>	4,77 <sup>ns</sup>	0,15 *	5,45 *	71 *
25	95 <sup>ns</sup>	2,40 *	10,31 *	6,04 <sup>ns</sup>	7,25 *	10,85 <sup>ns</sup>	5,76 *	0,19 *	2,83 *	94 <sup>ns</sup>
30	97 <sup>ns</sup>	3,10 <sup>ns</sup>	7,15 <sup>ns</sup>	5,39 <sup>ns</sup>	6,35 *	8,23 <sup>ns</sup>	7,27 *	0,36 *	7,27 *	97 <sup>ns</sup>
35	90 <sup>ns</sup>	2,65 <sup>ns</sup>	9,13 <sup>ns</sup>	6,26 <sup>ns</sup>	7,57 <sup>ns</sup>	13,54 <sup>ns</sup>	5,20 *	0,20 *	5,75 *	76 *
40	0 *	0 *	0 *	0 *	0 *	0 *	0 *	0 *	0 *	0 *
CV (%)	9,06	8,73	6,02	4,11	11,79	35,67	4,84	7,38	8,65	11,50
QM Temp	2,7E+3	4,9E+0	1,2E+2	1,4E+2	1,2E+2	1,3E+2	4,0E-3	1,9E+1	3,0E+0	2,8E+3
p-valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,039	<0,001

Médias seguidas de asterisco (\*) diferem do tratamento controle pelo teste de Dunnet a 5% de significância. CV - Coeficiente de variação; QM - Quadrado médio; Fonte: Freitas, E.M. (2022).

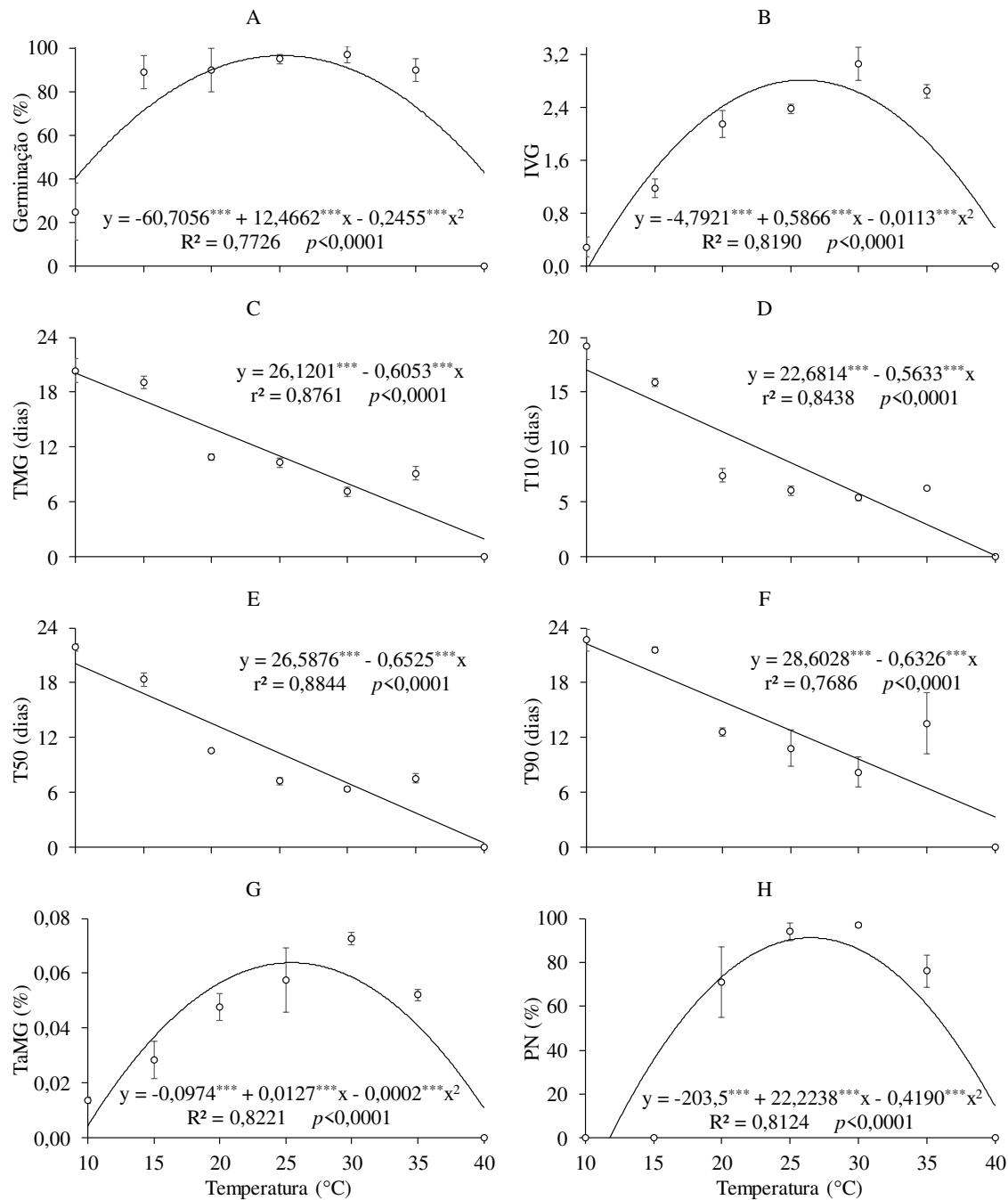
Observa-se para os resultados referentes a porcentagem final de germinação, que as temperaturas constantes entre 15 e 35 °C não diferiram do controle (temperatura 20-30 °C). As demais temperaturas diferiram do controle, em que o tratamento de 10 °C apresentou decréscimo substancial no potencial germinativo. Já para a temperatura de 40 °C, observou-se germinação nula, discordando dos resultados encontrados por Souza et al. (2011). Esses autores trabalhando com *P. peruviana* encontraram a maior porcentagem de germinação das sementes quando submetidas a temperatura de 40 °C.

Para as demais variáveis avaliadas, verifica-se que as temperaturas constantes de 10 e 15 °C proporcionaram médias menores em relação ao tratamento controle (20-30 °C) para os índices relacionados a porcentagem de germinação e médias maiores para os índices relacionados ao tempo de germinação. No geral, a utilização das temperaturas constantes entre 20 e 35 °C proporcionaram variáveis de germinação semelhantes ao controle, com exceção para sincronia de germinação e uniformidade de germinação. Para essas variáveis, todos os tratamentos com temperatura constante diferiram do controle.

Na Figura 1 estão apresentadas as variáveis de germinação em função das temperaturas. Verifica-se que a temperatura proporcionou efeito quadrático na germinação das sementes de *P. peruviana*, no índice de velocidade de germinação, na taxa média de germinação e porcentagem de plântulas normais (Figuras 1A, 1B, 1G e 1H). Já para as variáveis relacionadas

ao tempo médio de germinação, observa-se que a temperatura proporcionou efeito linear negativo.

**Figura 1** – (A) Médias de germinação, (B) índice de velocidade de germinação (IVG), (C) tempo médio de germinação (TMG), tempo necessário para germinação de (D) 10, (E) 50 e (F) 90% das sementes (T10, 50 e 90%), (G) taxa média de germinação (TaMG) e (H) número de plântulas normais (PN) de *P. peruviana* em função de diferentes temperaturas.



\*\*\* $p < 0,001$  pelo teste t.

Fonte: Freitas, E.M. (2022).

A temperatura é um dos principais fatores que interferem no processo germinativo das sementes, sendo que cada espécie possui uma faixa ideal para desencadear o processo germinativo. Verifica-se que de acordo com a equação de regressão que foi ajustada para germinação (Figura 1A), a temperatura de 25,4 °C foi a que proporcionou a maior porcentagem para a *Physalis* neste estudo, resultando no valor aproximado de 97,6% de sementes germinadas. Segundo Carvalho e Nakagawa (2012); e Marcos-Filho (2015) a temperatura adequada para a germinação de espécies tropicais situa-se entre 20 e 30°C. Já Larcher (2000) amplia a faixa de temperatura adequada para a germinação de sementes do gênero *Physalis* para 35 °C, assim como encontrado por Sousa et al. (2011) e Souza et al. (2014) em sementes de *P. angulata*. Para algumas espécies do gênero, como *P. ixocarpa* L. e *P. angulata* L., a temperatura constante de 25 °C mostrou-se suficiente para promover elevada germinação (> 80%) (YILDIRIM et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2013; SANTIAGO et al., 2019). Presume-se que para a *P. peruviana*, ocorre uma adaptação a diferentes faixas de temperatura, uma vez que a referida espécie ocorre espontaneamente em uma ampla variedade de habitats nos países tropicais, e em cada um observa-se uma temperatura ótima de germinação (CECCO et al., 2018).

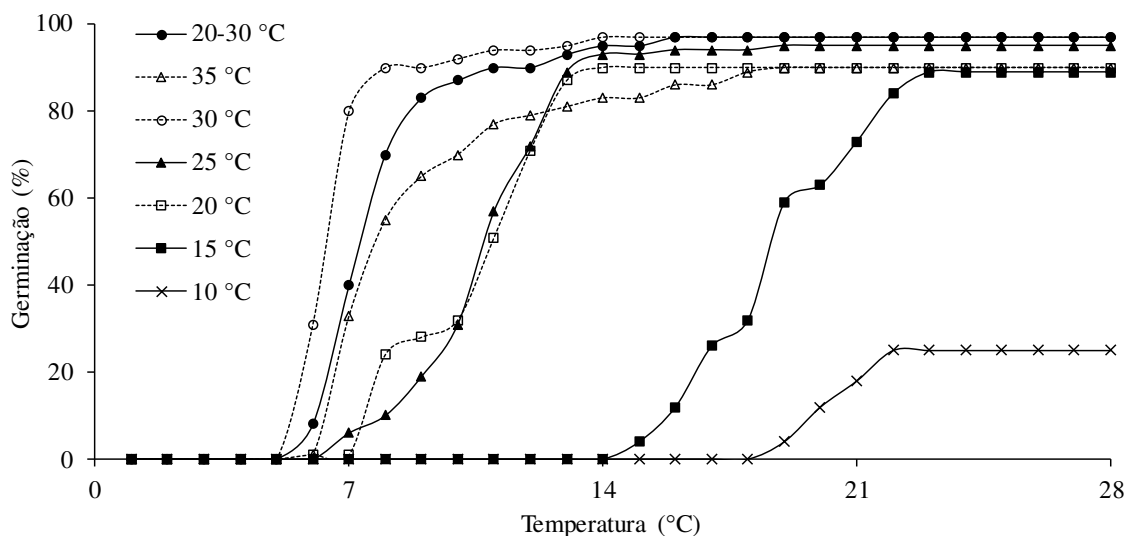
Para o índice de velocidade de germinação (IVG) (Figura 1B), de acordo com a equação de regressão, a temperatura de 26,0 °C proporcionou o maior valor, resultando em 2,82. Nakagawa (2012) ressaltam que em temperaturas mais elevadas a velocidade de absorção de água e das reações químicas é maior, o que justifica as sementes germinarem mais rapidamente quando submetidas a maiores níveis de temperatura até um limite aceitável. Nota-se que quando se tem temperaturas superiores ou inferiores àquela que proporcionou o maior IVG, pode ocorrer redução na velocidade do processo germinativo, expondo, assim, as sementes a fatores adversos, podendo levar até a sua inviabilidade (BASKIN; BASKIN, 2001). Baixas temperaturas podem reduzir a atividade metabólica havendo diminuição do número e da velocidade de sementes germinadas, assim como o aumento do tempo necessário para que o processo ocorra. (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Para as variáveis relacionadas ao tempo médio de germinação (Figura 1C, 1D e 1E), verifica-se que as temperaturas proporcionaram efeito linear negativo, ou seja, quanto maior a temperatura, menor foram os tempos de germinação. Analisando esses resultados de forma isolada, entende-se que a redução no tempo de germinação, pelas maiores temperaturas, pode trazer benefícios no cultivo de *P. peruviana*.

Não foi possível ajustar equações de regressão para sincronia de germinação (SinG) e uniformidade de germinação (UnifG) em função de temperatura. Para a taxa média de germinação (TaMG) e número de plântulas normais (PN) foram ajustados modelos quadráticos. De acordo com a equação de regressão da Figura 1H, a temperatura de 26,5 °C maximizou a PN, resultando no valor de 91,2%. Dessa forma, observa-se para *P. peruviana* que apesar de temperaturas baixas (próximas de 15 °C) e altas (próximas de 40 °C) terem proporcionado germinação das sementes, posteriormente não houve formação de plântulas normais, sendo estas consideradas temperaturas nulas de germinação.

De acordo com os dados acumulados de germinação para o período de 28 dias após a semeadura (Figura 2), notou-se para a maioria das temperaturas testadas, que o pico de germinação ocorreu antes do décimo quarto dia após a semeadura. Esse fenômeno pode ser explicado pela reserva de nutrientes nas sementes, o que significa que se trata de uma característica intrínseca da mesma. Para as sementes expostas à temperatura de 30 °C, a germinação teve início ao 5° dia após a semeadura e, três dias mais tarde (8 dias após a semeadura), já havia alcançado estabilidade, com aproximadamente 90% de germinação. Essa característica é benéfica e contribui para que seja a temperatura a ser considerada no teste de germinação de *P. peruviana*. No processo tardio de germinação pode acarretar problemas em fases posteriores da cultura. De acordo com Krzyzanowski et al. (2018) e Marcos-Filho (2015), plantas provenientes de sementes com germinação tardia, podem apresentar alterações fisiológicas e morfológicas, tornando-se mais sensíveis a estresses, além de apresentarem pouca capacidade competitiva por recursos.

**Figura 2** – Germinação cumulativa de sementes de *P. peruviana* submetidas a diferentes temperaturas



Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Observa-se também na Figura 2, para as temperaturas de 20/30, 20, 25 e 35 °C, que a germinação iniciou ao sexto dia após a sementeira, havendo estabilidade desse processo por volta dos 14 dias. Comportamento semelhante foi encontrado por Bagatim (2017) ao analisar o efeito de temperaturas na porcentagem de germinação de *Physalis angulata* L., verificando que a temperatura entre 20 e 30°C foi efetiva para a germinação completa aos 14 dias após a sementeira.

Para as temperaturas baixas de 10 e 15 °C, a germinação só iniciou aos 19 e 15 dias após a sementeira, respectivamente. Nota-se que aos 28 dias, para a temperatura de 10 °C, houve menos que 20% de germinação de *P. peruviana*. Mesmo havendo essa germinação, foi visto na Figura 1H que não houve formação de plântulas normais posteriormente, sendo estas consideradas temperaturas nulas de germinação.

Observa-se também na Figura 2 que a maioria dos tratamentos apresentaram início de germinação entre cinco e sete dias após sementeira. Assim, sugere-se que aos sete dias após sementeira seja o momento para realizar a primeira contagem de germinação para avaliação do vigor de *P. peruviana*, visto que neste período já há formação de plântulas normais. Estudos com outras espécies sugerem o mesmo, como no caso *Cedrela odorata* (cedro cheiroso) (MALDONADO et al., 2019), *Glycine max* (soja) (SOARES et al., 2015), *Combretum leprosum* (mofumbo) (LEAL et al., 2020) e *Citrullus unatus* (melancia) (CHENG et al., 2018). Nesse teste, busca-se obter respostas complementares às fornecidas pelo teste de germinação, gerando informações mais consistentes (OHLSON et al., 2010). Esta é uma avaliação considerada como teste de vigor simples e parte do pressuposto de que as sementes mais vigorosas germinam primeiro.

Considerando que a temperatura ótima ou ideal de germinação para cada espécie é aquela onde ocorre maior porcentagem de germinação no menor espaço de tempo (NASCIMENTO, 2013). E essa temperatura deve variar dentro da faixa ideal para emergência e estabelecimento das plântulas (RAMOS et al., 2006), o experimento para investigação da temperatura ótima foi repetido para análise de germinação e formação das plântulas. Nesse observou-se que a faixa de temperatura entre 25 e 30°C foi considerada ótima para a germinação de *P. peruviana* (Tabela 2). Apesar da alta germinabilidade a 35°C, esta temperatura influencia de forma negativa a formação das plântulas da espécie, sendo a porcentagem de plântulas anormais de 16,5% à 40°C e apenas 4,5% a 35°C, 3 vezes menor nesta. Para Miranda & Ferraz (1999) a formação de plântulas normais é um critério de avaliação essencial para determinação da temperatura ótima de uma espécie. Pereira et al. (2011) constataram que os melhores

resultados para a germinação das sementes de *Solanum sessiliflorum* foram com as temperaturas de 30 e 35 °C, mas a maior velocidade de germinação foi com 35 °C. Considerando os resultados do presente estudo e de Pereira et al. (2011), observa-se que a temperatura que potencializa o IVG é maior que aquela que maximiza a germinação.

Quando as temperaturas de desenvolvimento são mantidas abaixo ou acima das ideias para germinação das sementes de uma determinada espécie, a reorganização do sistema de membrana celular pode se tornar mais lenta, afetando o vigor das sementes (ZUCARELI et al., 2011). Isso ocorre porque temperaturas fora da faixa ótima, provocam danos oxidativos às sementes, de tal forma que muitas espécies não germinam ou formam plântulas anormais (FLORES et al., 2014). Algumas condições de temperatura podem inibir a germinação em sementes e comprometer as atividades enzimáticas relacionadas à mobilização de reservas, que são fundamentais para o processo germinativo (BEWLEY et al., 2013). Em condições de baixas temperaturas, por exemplo, a embebição de sementes poderá até acontecer, porém não irá ocorrer o crescimento do embrião para a maioria das espécies (MATOS et al., 2015), como ocorreu no presente estudo para *P. peruviana* submetida às temperaturas de 10 e 15 °C.

Por outro lado, altas temperaturas podem desnaturar proteínas e alterar as membranas, levando à deterioração progressiva das sementes. Esse fato se deve principalmente à influência na atividade de enzimas e limitações no acesso ao oxigênio (MARCOS FILHO, 2015). Além disso, os efeitos deletérios das altas temperaturas em plantas estão relacionados a inúmeras alterações bioquímicas e metabólicas, como a redução da atividade fotossintética no cloroplasto e da fosforilação oxidativa nas mitocôndrias (LI et al., 2020). Essa característica pode ser considerada como diagnóstico da espécie que se quer estudar, sendo esta faixa de temperatura capaz de permitir a emergência e o estabelecimento das plântulas de forma satisfatória (SILVA et al., 2015).

Como visto, a temperatura é um dos principais fatores que afetam a germinação, tanto em porcentagem quanto em velocidade. Isso porque está diretamente relacionada com a velocidade de absorção de água, influenciando as reações bioquímicas que são determinantes para o processo germinativo (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Embora as temperaturas alternadas de 20-30 °C e na faixa entre 20 e 35 °C sejam consideradas como favoráveis para a germinação de sementes de *P. peruviana*, pois garantem uma germinação maior ou igual a 90%, a faixa entre 20 e 30 °C é considerada ideal. Até a temperatura de 30 °C ocorre rápida estabilização do número de sementes germinadas e velocidade na germinação, o que reduz a

exposição das sementes à fatores bióticos e abióticos que possam comprometer seu desenvolvimento.

### 3.2. Experimento II: Germinação de sementes em diferentes condições hídricas e térmicas

Na Tabela 4 estão apresentados os resumos das análises de variância para as variáveis relacionadas a germinação de sementes de *P. peruviana* submetidas à diferentes temperaturas e potenciais osmóticos. Verificaram-se interações significativas entre os fatores temperatura e potencial osmótico para todas as características avaliadas. Assim, posteriormente, procederam-se os desdobramentos dos fatores estudados.

**Tabela 4** – Médias de germinação (GF), índice de velocidade de germinação (IVG), tempo médio de germinação (TMG), tempo necessário para germinação de 90% das sementes (T90), taxa média de germinação (TaMG), uniformidade de germinação (UnifG) e sincronia de germinação (SinG) de sementes de *P. peruviana* submetidas a diferentes temperaturas (T) e potenciais osmóticos ( $\psi_s$ )

$\psi_s$ (Mpa)	GF (%)		IVG		TMG (dias)		T90 (dias)	
	20/30 °C	30 °C	20/30 °C	30 °C	20/30 °C	30 °C	20/30 °C	30 °C
0	98 a	98 a	2,305 b	3,521 a	11,28 a	7,23 b	12,82 a	8,34 b
-0,3	96 a	88 b	1,915 a	1,624 a	14,83 a	16,39 a	21,06 a	22,77 a
-0,6	82 a	65 b	1,310 a	0,956 a	17,08 a	18,80 a	21,25 a	21,37 a
-0,9	50 a	0 b	0,806 a	0,000 b	16,38 a	0,00 b	19,57 a	0,00 b
T	2,81E+3**		2,77E-2 <sup>ns</sup>		1,47E+2**		2,47E+2**	
$\psi_s$	8,77E+3**		9,06E+0**		1,82E+2**		3,50E+2**	
T * $\psi_s$	9,65E+2**		1,55E+0**		1,45E+2**		1,88E+2**	
CV (%)	5,86		16,45		15,90		10,05	

$\psi_s$ (Mpa)	TaMG (%)		UnifG		SinG	
	20/30 °C	30 °C	20/30 °C	30 °C	20/30 °C	30 °C
0	0,089 b	0,139 a	5,36 a	2,95 a	0,183 b	0,351 a
-0,3	0,069 a	0,062 a	13,27 a	14,53 a	0,091 a	0,121 a
-0,6	0,059 a	0,054 a	10,85 a	9,81 a	0,192 a	0,249 a
-0,9	0,062 a	0,000 b	8,49 a	0,00 b	0,162 a	0,000 b
T	2,89E-4 <sup>ns</sup>		5,71E+2**		4,37E-3 <sup>ns</sup>	
$\psi_s$	9,61E-3**		1,84E+2**		6,36E-2**	
T * $\psi_s$	4,17E-3**		3,47E+1**		3,77E-2**	
CV (%)	13,41		22,14		29,63	

Médias seguidas pela mesma letra na linha, para cada característica, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>ns</sup>não significativo ( $p>0,05$ ); CV - coeficiente de variação. Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Também estão apresentadas na Tabela 4 as comparações de médias das variáveis relacionadas a germinação das sementes de *P. peruviana* submetidas à diferentes temperaturas. Foram testadas as temperaturas de 20-30 °C, considerada como controle no primeiro ensaio, e

de 30 °C que foi a que apresentou os melhores resultados quanto aos índices de germinação analisados no primeiro ensaio. Verificou-se maior porcentagem de germinação de sementes mantidas à temperatura alternada de 20/30 °C, quando o potencial osmótico foi igual ou superior à -0,3 Mpa, ou seja, quando houve restrição hídrica. Quando não houve imposição de restrição hídrica (potencial osmótico de 0 Mpa), as germinações das sementes de *P. peruviana* foram iguais nas duas temperaturas estudadas.

Verifica-se que a interação do potencial osmótico de -0,9 Mpa com a temperatura de 30 °C provocou germinação nula nas sementes de *P. peruviana*. Isso também aconteceu para as demais características avaliadas. De acordo com Marcos Filho (2015), na presença de outros fatores limitantes, a germinação pode ocorrer em uma faixa menor de temperatura. Portanto, baixos potenciais osmóticos podem afetar a respostas de velocidade e porcentagem de germinação de sementes de *P. peruviana*.

Para os potenciais osmóticos de 0; -0,3 e -0,6 MPa, verifica-se comportamento diferente do índice de velocidade de germinação (IVG) em relação a germinação. Com a restrição hídrica proporcionada pelos potenciais de -0,3 e -0,6 MPa, as temperaturas não proporcionaram diferenças no IVG. Sem restrição hídrica (potencial osmótico de 0 MPa), o IVG foi maior no tratamento em que as sementes foram submetidas à temperatura de 30 °C.

Para as demais características relacionadas a velocidade de germinação, verifica-se o mesmo comportamento apresentado para o IVG. As temperaturas não provocaram diferença nos valores de tempo médio de germinação (TMG), tempo necessário para germinação de 90% das sementes (T90) e taxa média de germinação (TaMG) das sementes submetidas aos potenciais osmóticos de -0,3 e -0,6 MPa. Entretanto, sem restrições hídricas (potencial osmótico de 0 MPa), esses valores foram maiores no tratamento em que as sementes foram submetidas à temperatura de 30 °C.

Essas melhores respostas das características IVG, TMG, T90 e TaMG à temperatura de 30 °C, nos tratamentos que não receberam estresse hídrico, ocorre devido às temperaturas mais elevadas proporcionarem embebição (primeira etapa do processo germinativo) mais rápida pela semente. Isso acontece porque a elevação da temperatura provoca redução da viscosidade e aumento da energia cinética da água, o que, além do processo de embebição, beneficia a velocidade das atividades metabólicas que ocorrem no interior da semente (GORDIN et al., 2012; MARCOS FILHO, 2015). Por outro lado, apesar de temperaturas maiores acelerarem a velocidade de absorção de água pela semente, cada uma das reações envolvidas no processo de germinação tem suas próprias exigências térmicas, principalmente porque dependem da

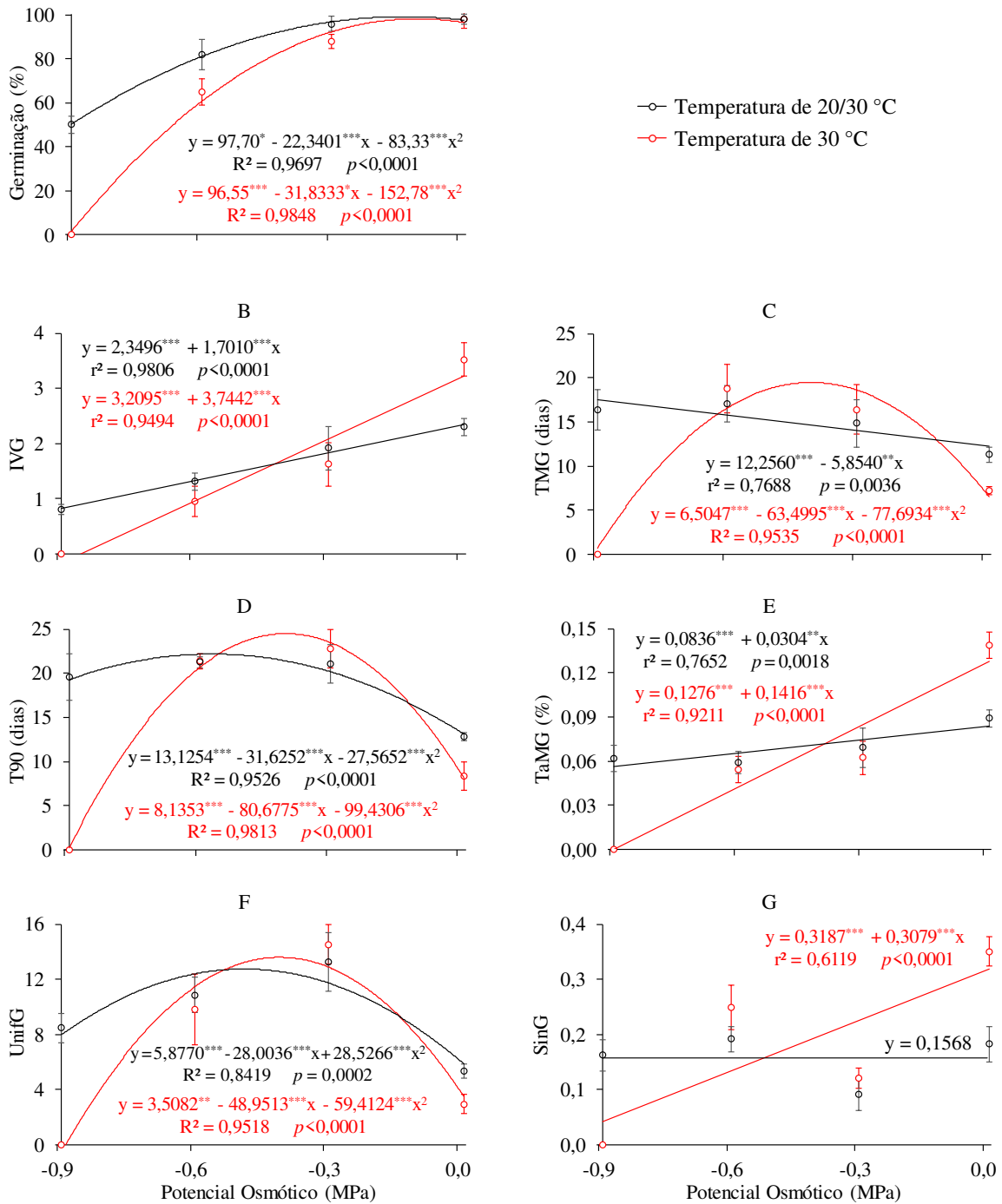
atividade de sistemas enzimáticos específicos (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS FILHO, 2015).

A produção comercial de *P. peruviana* será facilitada caso as práticas culturais possam ser aplicadas de forma contínua e uniforme. Para isso, é necessário a uniformidade de desenvolvimento das plantas, que se inicia na germinação das sementes. Assim, parâmetros de qualidade de germinação são importantes e devem ser considerados nas análises de sementes. Verifica-se na Tabela 4 que as temperaturas não provocaram diferença nos valores de uniformidade (UnifG) e sincronia de germinação (SinG) das sementes submetidas aos potenciais osmóticos de -0,3 e -0,6 MPa. Nos tratamentos sem estresse hídrico, as temperaturas não afetaram a UnifG e as sementes submetidas à 30 °C apresentaram maiores valores de SinG.

Percebe-se que as características de germinação de *P. peruviana* apresentaram melhores desempenhos quando as sementes foram submetidas à temperatura constante de 30 °C e mantidas sem restrição hídrica. Esses resultados corroboram com aqueles obtidos no experimento 1 do presente estudo. Mas, com restrição hídrica, as sementes submetidas à potenciais osmóticos de -0,3 e -0,6 MPa e temperatura alternada de 20/30 °C, apresentaram maior porcentagem de germinação e velocidade de germinação. Além disso, para a interação entre a temperatura de 20/30 °C e os potenciais osmóticos estudados, observou-se germinação das sementes até o potencial osmótico de -0,9 MPa, enquanto para temperatura de 30 °C só ocorreu até -0,6 MPa.

Na Figura 3 são apresentadas as respostas das variáveis estudadas à restrição hídrica para as duas temperaturas estudadas (20/30 e 30 °C) Independente da temperatura, foi possível ajustar modelos quadráticos para a germinação das sementes de *P. peruviana* em função dos potenciais osmóticos. Verifica-se que a diminuição do potencial osmótico proporcionou redução da germinação das sementes. Os valores máximos de germinação foram obtidos próximo ao potencial osmótico de 0 MPa. Conforme as equações de regressão (Figura 3A), observa-se que a germinação das sementes se mantém superiores a 80% até os potenciais de -0,6140 e -0,4494 MPa para as temperaturas de 20/30 e 30 °C, respectivamente. O valor de 80% de germinação é o mínimo a ser esperado para a espécie de *Physalis*, de acordo com Gaier et al. (2019).

**Figura 3** – (A) Médias de germinação, (B) índice de velocidade de germinação (IVG), (C) tempo médio de germinação (TMG), (D) tempo necessário para germinação de 90% das sementes (T90), (E) taxa média de germinação (TaMG), (F) uniformidade de germinação (UnifG) e (H) sincronia de germinação (SinG) de *P. peruviana* em função de diferentes potenciais osmóticos para diferentes temperaturas.



\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$  e \*\*\* $p < 0,001$  pelo teste t.

Fonte: Freitas, E.M. (2022).

A diminuição do potencial osmótico provoca redução na embebição de água pelas sementes, o que pode inviabilizar a sequência de eventos do processo germinativo, reduzindo assim a porcentagem de germinação. Plantas submetidas à restrição de água podem apresentar diferentes modelos de percepção a esse estresse, que podem ser definidos pelo traço de tolerância ao déficit hídrico característico de cada espécie (FENG et al., 2016). As respostas das células ao estresse incluem alterações na divisão e no ciclo celular, modificações no sistema

de endomembranas, bem como alterações na arquitetura da parede celular (BEWLEY et al., 2013; TAIZ et al., 2017).

Almeida et al. (2017) também observaram maior germinação de sementes de *Amburana cearensis* com o potencial hídrico de -0,2 MPa (testemunha). A partir do potencial de -0,2 MPa a germinação foi reduzida até o limite de -0,6 MPa, chegando a zero nos potenciais -0,8 e -1,0 MPa. Oliveira et al. (2017) avaliaram diferentes potenciais osmóticos (0; -0,1; -0,2; -0,3; -0,4; -0,5 e -0,6 MPa) e temperaturas (25, 30, 35 e 20-30 °C) na germinação de sementes de *Simira gardneriana*. Os autores observaram que o decréscimo do potencial osmótico e acréscimo da temperatura proporcionaram redução da germinação das sementes.

Em relação aos parâmetros de velocidade de germinação, verifica-se que a diminuição do potencial osmótico proporcionou reduções lineares no IVG (Figura 3B) e TaMG (Figura 3E). Esses resultados corroboram com Felix et al. (2018), que avaliaram sementes de *Leucaena leucocephala* submetidas ao déficit hídrico. Esses autores verificaram que tanto a velocidade quanto a porcentagem de germinação das sementes sofreram reduções em seus valores quando foram submetidas à menores potenciais hídricos.

A água é requisito crucial para o início da germinação, uma vez que esse processo é ativado somente quando uma quantidade adequada de água é absorvida, possibilitando com isso a atividade metabólica. Em condições de redução do potencial hídrico, as sementes podem possuir água suficiente para iniciar o processo germinativo (Fases I e II) sem, contudo, ocorrer a protrusão da radícula e iniciar o crescimento da raiz primária (Fase III) (BEWLEY et al., 2013). Assim, a velocidade de germinação será reduzida, ampliando o período necessário para que seja alcançado o teor mínimo de água exigido para o início da emergência do eixo embrionário.

Como já relatado anteriormente, as sementes de *P. peruviana* foram mais sensíveis a restrição hídrica causada pelos potenciais osmóticos analisados, principalmente em interação à temperatura de 30 °C. Isso é confirmado pelas equações ajustadas para IVG (Figura 3B) e TaMG (Figura 3E), em que os valores absolutos dos coeficientes angulares das equações referentes a temperatura de 30 °C foram maiores que 20/30 °C.

Para o TMG (Figura 3C), os potenciais osmóticos conferiram efeito linear para as sementes submetidas à temperatura de 20/30 °C e quadrático para 30 °C. O ajuste do modelo quadrático foi devido ao valor nulo de TMG no potencial osmótico de -0,9 Mpa, que reduziu o tempo a custos de uma menor porcentagem de germinação. Para T90 (Figura 3D), independente

da temperatura que a semente foi submetida, verificou-se que a restrição hídrica provocou efeito quadrático nessa variável.

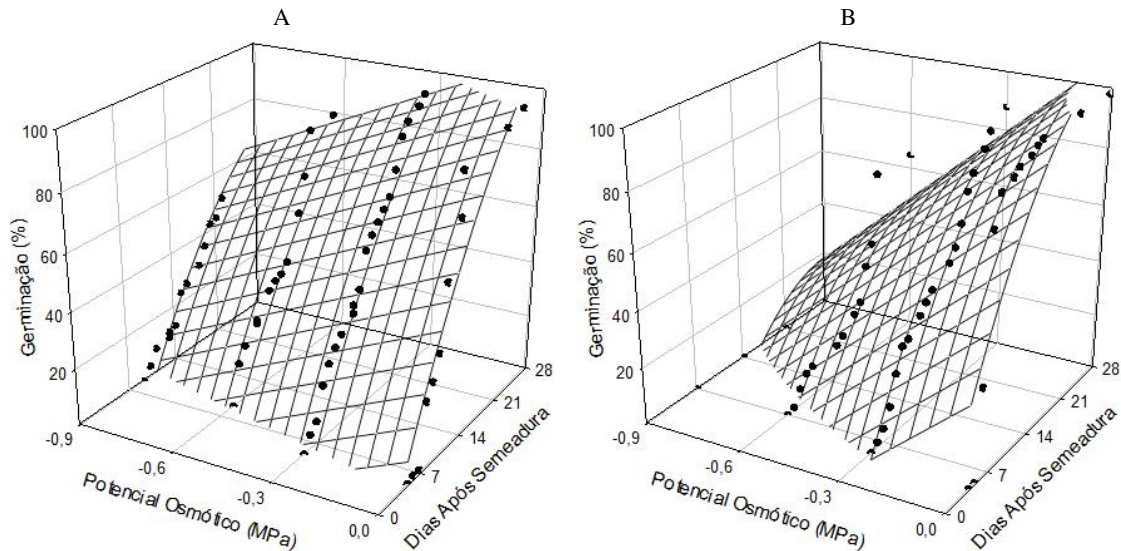
Para os parâmetros de qualidade de germinação, verifica-se que a redução do potencial osmótico provocou efeito quadrático na UnifG (Figura 3F), independente da temperatura da semente. Para SinG (Figura 3G), em sementes submetidas à temperatura de 30 °C, a diminuição do potencial osmótico provocou redução linear em seus valores. Na temperatura alternada de 20/30 °C, não foi possível ajustar um modelo de regressão aos dados obtidos de SinG.

Em geral, maiores temperaturas causam alterações enzimáticas, aumentando suas exigências e acelerando a velocidade respiratória das sementes (BEWLEY et al., 2013). Dessa forma, para as sementes expostas aos potenciais mais negativos, na temperatura de 30 °C, possivelmente ocorreu aceleração das reações metabólicas durante o início do processo de germinação. Posteriormente, isso pode ter acarretado deterioração das sementes, impedindo que elas tivessem condições de manter hidratadas para completar o processo germinativo.

Já para a temperatura de 20/30 °C, a alternância térmica pode ter contribuído para maior uniformização do processo germinativo. Malavasi (1998) destaca que sementes de muitas espécies requerem flutuação diária de temperatura para germinar adequadamente. As sementes que respondem à alternância da temperatura apresentam mecanismos enzimáticos que funcionam em diferentes temperaturas (TAIZ et al., 2017). Segundo Borges e Rena (1993), essa resposta corresponde a uma adaptação às flutuações naturais do ambiente.

Na Figura 4 encontram-se os dados referentes ao vigor, determinado pela germinação em função das datas após a semeadura (DAS) e potenciais osmóticos. Verificou-se que à medida que os potenciais osmóticos se tornaram mais negativos, houve aumento gradual no número de dias para o início da germinação. Para as sementes mantidas à temperatura alternada de 20/30 °C, verifica-se pela equação de regressão (Figura 4A), que as germinações de *P. peruviana* iniciaram aos 4, 6, 8 e 11 DAS para os potenciais osmóticos de 0; -0,3; -0,6 e -0,9 MPa, respectivamente. Na temperatura de 30 °C (Figura 4B), as germinações de *P. peruviana* iniciaram aos 1, 5 e 10 DAS para os potenciais osmóticos de 0; -0,3 e -0,6 MPa, respectivamente.

**Figura 4** – Germinação (GF) de sementes de *P. peruviana* em função de diferentes potenciais osmóticos ( $\psi_s$ ) e dias após sementeira (DAS) nas condições de temperaturas (A) alternada de 20/30 °C e (B) constante de 30 °C



$$GF = -31,5540^{***} + 52,5962^{***} \psi_s + 8,4490^{***} DAS - 0,1144^{**} DAS^2 \quad GF = -5,2502^* + 101,4657^{***} \psi_s + 7,9823^{**} DAS - 0,1365^* DAS^2$$

$$R^2 = 0,9229 \quad p < 0,0001 \quad R^2 = 0,7885 \quad p < 0,0001$$

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$  e \*\*\* $p < 0,001$  pelo teste t.

Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Verifica-se que as sementes expostas à temperatura de 30 °C apresentaram maiores tempos para iniciar o processo de germinação quando a restrição hídrica foi aumentada. Verifica-se também que quanto mais negativos foram os potenciais osmóticos utilizados, maior foi o requerimento de tempo para que o processo germinativo fosse iniciado. Esses resultados sugerem que em ambientes onde ao menos um desses fatores atuem de forma extrema no processo germinativo das sementes, ocorre a inibição da germinação, mesmo que os outros fatores não sejam limitantes para a espécie.

Para que as sementes mantidas à temperatura de 20/30 °C atingissem 80% de germinação, verifica-se por meio da equação de regressão (Figura 4A) que foram necessários 13, 15 e 18 DAS para os potenciais osmóticos de 0; -0,3 e -0,6 MPa, respectivamente. Para a temperatura de 30 °C (Figura 4B), foram necessários 13 e 22 DAS para os potenciais osmóticos de 0 e -0,3 MPa, respectivamente. Semelhante ao presente estudo, o tempo de germinação também foi aumentado para sementes de *A. cearensis* em resposta ao déficit hídrico (ALMEIDA et al., 2017). Provavelmente, isso foi devido à restrição hídrica promover a permanência das sementes por mais tempo na Fase II do processo de germinação, como relatado por Bewley et al. (2013).

Em alguns estudos é sugerido que a redução do tempo de germinação seja uma vantagem no estabelecimento das plantas (BANO et al., 2019; WAHID; SHABBIR, 2005). Quanto mais rápido a semente inicia a fase III da germinação, onde é possível visualizar a protrusão da radícula, mais rápido será o seu estabelecimento no campo e, portanto, a sua exposição a condições desfavoráveis (ATAÍDE et al., 2016; GOMES et al., 2015).

Em síntese, o desempenho de sementes de *P. peruviana* sob estresse hídrico e térmico é afetado desde a germinação. O crescimento das mudas está diretamente relacionado à disponibilidade de água no substrato e à temperatura. Os resultados observados em potenciais osmóticos abaixo de -0,3 MPa evidencia o efeito prejudicial da baixa disponibilidade de água sobre o desenvolvimento das sementes de *P. peruviana*. Em relação aos piores resultados obtidos para temperatura de 30 °C, quando em presença de solução osmótica, pode estar ligado a uma condição leve, mas não dentro da faixa ideal de temperatura e restrição hídrica necessária pela espécie. Esses resultados são de importância ecológica e comercial, pois demonstram que as sementes desta espécie apresentam baixa tolerância ao estresse hídrico, necessitando de condições hídricas particulares para a sua germinação.

#### 4. CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos neste estudo, é possível identificar que temperaturas acima de 30 °C e abaixo de 20 °C promoveram menor desempenho germinativo de sementes de *P. peruviana*, sendo que as sementes avaliadas apresentaram melhor germinação em 25,4 °C com um percentual de germinação de 97,2 %. A faixa térmica ideal de germinação ocorreu entre os 20 a 35 °C.

A baixa disponibilidade hídrica afetou negativamente as características de germinação e qualidade de sementes de *P. peruviana*, principalmente nos potenciais osmóticos inferiores à -0,45 e -0,61 MPa, em interação com a temperatura constante de 30 e alternada de 20/30 °C, respectivamente.

Para o teste de germinação, as sementes testadas para as temperaturas alternada de 20/30 e constante de 30 °C apresentaram alta porcentagem de germinação até o potencial de -0,2 Mpa. Já nos demais potenciais osmóticos (-0,4; -0,6 e -0,9 Mpa), a porcentagem de germinação reduziu gradativamente, sendo a tolerância ao déficit hídrico para a temperatura de 30 °C até o potencial de -0,6 Mpa e para temperatura alternada 20/30 °C até o potencial osmótico de -0,9 Mpa.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. P. N.; LESSA, B. F. T.; PINHEIRO, C. L.; GOMES, F. M.; MEDEIROS, S.; SILVA, C. C. Germinação e desenvolvimento de plântulas de *Amburana cearensis* em função do peso da semente, luz e temperatura. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 39, n. 4, p. 525-533, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i4.32786>
- ATAÍDE, G. M.; BORGES, E. E. L.; GONÇALVES, J. F. C.; GUIMARÃES, V. M.; FLORES, A. V. Physiological changes during hydration of *Dalbergia nigra* ((Vell.) Fr. All. ex Benth.) seeds. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 615-625, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509822761>
- BAGATIM, A. G. **Temperatura e substrato na germinação de *Physalis angulata* L.** 2017. 33 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, 2017.
- BANO, H.; BHAT, J. I. A.; LONE, F. A.; NOOR, F.; BHAT, M. A.; NAZIR, N. Effect of phytohormones and other dormancy breaking chemicals on seed germination of *Inula racemosa*. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 3, p. 866-876, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.104>
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. San Diego: Academic Press, 2001. 666 p.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K.; HILHORST, H.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. Springer Science e Business Media, 2013.
- BOLZAN, R. P.; CUQUEL, F. L.; LAVORANTI, O. J. Armazenamento refrigerado de *Physalis*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 1, p. 577-583, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500079>
- BORGES, E. E. L.; RENA, A. B. Germinação de sementes. In: AGUIAR, I. B.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B. (Eds.). **Sementes florestais tropicais**. Brasília: ABRATES, p. 83-136. 1993.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV. 399 p., 2009.
- CARVALHO, N. M., NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. 5.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.
- CECCO, R. M.; KLOSOWSKI, E. S.; SILVA, D. F.; VILLA, F. Germinação e crescimento inicial de mudas de espécies não convencionais de fisálias em diferentes substratos e ambientes. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 1, p. 45-53, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/22381171171201804>
- CHAUDHRY, S.; SIDHU, G. P. S. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. **Plant Cell Reports**, v. 41, p.1-31, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5>

- CHENG, W.; ZHANG, A.; ZHU, J.; LI, Y.; WANG, P. Study of salicylic acid influence on seedling growth and nitrogen metabolism in watermelon (*Citrullus lanatus* L.). **Journal of Food Engineering and Technology**, v. 7, n. 2, p. 47-53, 2018. <https://doi.org/10.32732/jfet>
- COSTA, R. S.; SILVA, J. S.; FONTELES, A. K. F.; SILVA, A. K. F.; MESQUITA, R. O. Physiological responses of cowpea genotypes cultivated in rainfed on different phenological stages. **Revista Agro@ambiente**, v. 14, p. 6302, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v14i0.6302>
- DEMILLY, D.; DUCOURNAU, S.; WAGNER, M. H.; DÜRR, C. Digital imaging of seed germination. **Plant Image Analysis: Fundamentals and Applications**, v. 1, p. 147-164, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1201/b17441-8>
- DINIZ, F. O.; CHAMMA, L.; NOVENBRE, A. D. L. C. Germination of *Physalis peruviana* L. seeds under varying conditions of temperature, light, and substrate. **Ciência Agronômica**, v. 51, n. 1, e20166493, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200003>
- FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; AHMAD, N.; HAFEEZ, K. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 47, n. 2, p. 187-193, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00031.x>
- FELIX, F. C.; ARAÚJO, F. S.; SILVA, M. D.; FERRARI, C. S.; PACHECO, M. V. Water and thermal stress on the germination *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit seeds. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. e5515, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5515>
- FENG, W., LINDNER, H., ROBBINS, N. E., DINNENY, J. R. Growing out of stress: the role of cell-and organ-scale growth control in plant water-stress responses. **The Plant Cell**, v. 28, n. 8, p. 1769-1782, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1105/tpc.16.00182>
- FLORES, A. V.; BORGES, E. E. L.; GUIMARÃES, V. M.; GONÇALVES, J. F. C.; ATAÍDE, G. M.; BARROS, D. P. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylon brauna* Schott sob diferentes temperaturas. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 401-408, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/01047760201420031399>
- GAIER, V. R.; HILLEBRAND, F. L.; CUCHIARA, C. C.; BORTOLOTTI, R. P.; KOEFENDER, J. Influência do armazenamento, temperatura e fotoperíodo no potencial fisiológico das sementes de *Physalis peruviana*. **Revista Thema**, v. 16, n. 4, p. 832-844, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15536/thema.V16.2019.832-844.1516>
- GOMES, J. P.; OLIVEIRA, L. M.; FRANÇA, C. S. S.; DACOREGIO, H. M.; BORTOLUZZI, R. L. C. Morphological characterization of seedlings during the germination seeds of *Psidium cattleianum* and *Acca sellowiana* (myrtaceae). **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 1035-1041, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509820665>
- GORDIN, C. R. B.; MARQUES, R. F.; MASETTO, T. E.; SCALON, S. P. Q. Germinação, biometria de sementes e morfologia de plântulas de *Guizotia abyssinica* Cass. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 2, p. 619-627, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222012000400013>

GRZYBOWSKI, C. R. S.; VIEIRA, R. D., PANOBIANCO, M. Testes de estresse na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 590-596, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150042>

ISTA. The germination test. In: International rules for seed testing, Zurich. **Anais...** Zurich: International Seed Testing Association, p. 5-56, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15258/istarules.2015.05>

JOHNSON, R.; PUTHUR, J. T. Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 247-257, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.034>

KRISHNA, R.; KARKUTE, S. G.; ANSARI, W. A.; JAISWAL, D. K.; VERMA, J. P.; SINGH, M. Transgenic tomatoes for abiotic stress tolerance: Status and way ahead. **Biotech**, v. 9, n. 143, p. 13205, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1665-0>

KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **A alta qualidade da semente de soja: Fator importante para a produção da cultura**. Londrina: Embrapa, 2018. 24p.

LABOURIAU, L. G. **Uma nova linha de pesquisa na fisiologia da germinação das sementes**. Congresso Nacional de Botânica. SBB, Porto Alegre, 11-50, 1983.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e textos, 2000. 531p.

LEAL, C. C. P., TORRES, S. B., DANTAS, N. B. D. L., AQUINO, G. S. M., ALVES, T. R. C. Water stress on germination and vigor of “mofumbo” (*Combretum leprosum* Mart.) seeds at different temperatures. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 1, e20186357, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200013>

LI, S.; YANG, W.; GUO, J.; LI, X.; LIN, J.; ZHU, X. Changes in photosynthesis and respiratory metabolism of maize seedlings growing under low temperature stress may be regulated by arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 154, n. 9, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.05.025>

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

MALAVASI, M. M. Germinação de sementes. In: RODRIGUES, F. C. M. P. (Ed.). **Manual de análise de sementes florestais**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. p. 25-40.

MALDONADO, S. S.; SALANUEVA, C. A. O.; MATTANA, E.; ULIAN, T.; WAY, M.; LORENZO, E. C.; ARANDA, P. D. D.; SAADE, R. L.; VALDÉZ, O. T.; AREVALO, N. I. R.; ORTÍZ, C. M. F. Thermal time and cardinal temperatures for germination of *Cedrela odorata* L. **Forests**, v. 10, n. 10, p. 841, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f10100841>

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.

MARINI, P. M.; MORAES, C. L.; MARINI, N.; MORAES, D. M.; AMARANTE, L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de arroz submetidas ao estresse térmico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 722-730, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000400014>

MATOS, A. C. B.; BORGES, E. E. L.; SILVA, L. J. Fisiologia da germinação de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. sob diferentes temperaturas e tempos de exposição. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 115-125, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100011>

MUNIZ, J.; KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L.; PELIZZA, T. R.; MARCHI, T.; DUARTE, A. E.; GARANHANI, F. Conduction systems for *Physalis* production in southern Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 830-838, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011005000083>

NASCIMENTO, I. L. Determinação de metodologias para teste de germinação e vigor de sementes de quixabeira (*Bumelia obtusifolia* Roem et Schult. var. *excelsa* (DC) Mig.). **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 701-706, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000400013>

OHLSON, O. C.; KRZYZANOWSKI, F. C.; CAIEIRO, J. T.; PANOBIANCO, M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 118-124, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000400013>

OLIVEIRA, F. N.; OLIVEIRA, J. R.; TORRES, S. B.; FREITAS, R. M. O.; NOGUEIRA, N. W. Germination and initial development of *Simira gardneriana* seedling under water stress and at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 5, p. 333-338, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n5p333-338>

OLIVEIRA, L. M.; SILVA, A. C.; PEREIRA, D. M. S.; LUCCHESI, A. M.; SANTANA, J. R. R. Estabelecimento in vitro e crescimento inicial de *Physalis angulata* (Solanaceae). **Sitientibus**, v. 13, p. 323, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/scb323>

OZASLAN, C.; FAROOQ, S.; ONEN, H.; BUKUN, B.; OZCAN, S.; GUNAL, H. Invasion potential of two tropical physalis species in arid and semi-arid climates: Effect of water-salinity stress and soil types on growth and fecundity. **PLoS One**, v. 11, n. 10, p. e0164369, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164369>

PELLIZZARO, V.; PAULA, J. C. B.; FURLAN, F. F.; OMURA, M. S.; TAKAHASHI, L. S. A. Qualidade de frutos de *Physalis peruviana* L. em função de diferentes tipos de tutoramento e poda. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2019073, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.07319>

PEREIRA, M. D.; SANTOS, C. E.; SEBASTIÃO FILHO, M. Germinação de sementes de cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 79-84, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i1a962>

PIVA, A. L.; MEZZALIRA, E. J.; PIZZATTO, M.; MODOLON, T. A.; MENDONÇA, H. F. C.; VILLA, F. Curva de embebição de água em sementes de fisális. *Journal of Agronomic Sciences*, v. 4, p. 19-25, 2015.

PRIMACK, R. B. Variation in the phenology of natural populations of montane shrubs in New Zealand. **The Journal of Ecology**, v. 68, n. 3, p. 849-862, 1980. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2259460>

PUENTE, L. A.; PINTO-MUÑOZ, C. A.; CASTRO, E. S.; CORTÉS, M. *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1733-1740, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>

RODRIGUES, F. A.; PENONI, E. S.; SOARES, J. D. R.; SILVA, R. A. L.; PASQUAL, M. Caracterização física, química e físico-química de *physalis* cultivada em casa de vegetação. **Ciência Rural**, v. 44, n. 8, p. 1411-1414, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130743>

RODRIGUES, M. H. B. S., LOPES, K. P., DA SILVA SANTOS, A., DA SILVA, J. G. Aspectos gerais da *Physalis peruviana* L. **Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, p. 2-8, 2020.

SANDRINI, M.; NERVA, L.; SILLO, F.; BALESTRINI, R.; CHITARRA, W.; ZAMPIERI, E. Abiotic stress and belowground microbiome: The potential of omics approaches. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 3, p. 1091, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms23031091>

SANTIAGO, W. R.; GAMA, J. S. N.; TORRES, S. B. Physiological maturity of *Physalis angulata* L. seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 3, p. 431-438, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190051>

SHAHID, M. A.; SARKHOSH, A.; KHAN, N.; BALAL, R. M.; ALI, S.; ROSSI, L.; GÓMEZ, C.; MATTSON, N.; NASIM, W.; GARCIA-SANCHEZ, F. Insights into the physiological and biochemical impacts of salt stress on plant growth and development. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 938, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10070938>

SILVA, B. J. M.; RODRIGUES, A. P. D.; FARIAS, L. H. S.; HAGE, A. A. P.; NASCIMENTO, J. L. M.; SILVA, E. O. *Physalis angulata* induces in vitro differentiation of murine bone marrow cells into macrophages. **BMC Cell Biology**, v. 15, n. 1, p. 37, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2121-15-37>

SILVA, D. F.; PIO, R.; SOARES, J. D. R.; NOGUEIRA, P. V.; PECHE, P. M.; VILLA, F. The production of *Physalis* spp. seedlings grown under different-colored shade nets. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 257-263, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i2.27893>

SILVA, L. J.; MEDEIROS, A. D.; OLIVEIRA, A. M. S. SeedCalc, a new automated R software tool for germination and seedling length data processing. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 250-257, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n2217267>

SILVA, M. C. C.; MEDEIROS, A. F.; DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M.; COELHO, F. S.; BRAUN, H. Effect of heat and water stress on germination and vigour of carrot seeds. **Idesia**, v. 29, n. 3, p. 39-44, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292011000300006>

- SILVA, R. C. B.; LOPES, A. P.; SILVA, K. K. A.; SILVA, T. C. F. S.; ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F.; ANGELOTTI, F. Crescimento inicial de plântulas de melancia submetidas ao aumento da temperatura e concentrações de CO<sub>2</sub>. **Magistra**, v. 27, n. 1, p. 33-43, 2015.
- SOARES, M. M.; SANTOS, H. C.; SIMÕES, M. G.; PAZZIN, D.; SILVA, L. J. Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 370-378, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535357>
- SOUZA, M. O.; SOUZA, C. L. M.; BARROSO, N. S.; PELACANI, C. R. Pré-condicionamento de *Physalis angulata* L. na manutenção da viabilidade de sementes. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 1, p. 153-156, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000100015>
- SOUZA, M. O.; SOUZA, C. L. M.; PELACANI, C. R. Germinação de sementes osmocondicionadas e não osmocondicionadas e crescimento inicial de *Physalis angulata* L. (Solanaceae) em ambientes salinos. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 1, p. 105-112, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000100013>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. 858p.
- TREVISANI, N.; MELO, R. C.; BERNARDY, J. P. F.; PIERRE, P. M. O.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F. Mutation induction as a strategy to overcome the restricted genetic base in *Physalis*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 3, e-029, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-29452018029>
- VARGAS-PONCE, O.; MARTÍNEZ, J. S.; TAVARES, M. D. P. Z.; MARES, L. E. V. Traditional management of a small-scale crop of *Physalis angulata* in Western Mexico. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 63, n. 8, p. 1383-1395, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0326-3>
- VAZ DE MELO, A.; SANTOS, L. D. T.; FINOTO, E. L.; DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. Germinação e vigor de sementes de milho-pipoca submetidas ao estresse térmico e hídrico. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 5, p. 687-695, 2012.
- VILLA, F.; SILVA, D. F.; PERON, T. A.; MEZZALIRA, É. J. Initial development of *Physalis* seedlings in substrates and containers. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 1, p. 50-57, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/cs.v9i1.1313>
- VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 11-12, p. 1957-1968, 1991.
- WAHID, A.; SHABBIR, A. Induction of heat stress tolerance in barley seedlings by pre-sowing seed treatment with glycinebetaine. **Plant Growth Regulation**, v. 46, n. 2, p. 133-141, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10725-005-8379-5>
- YADAV, S. P.; BHARADWAJ, R.; NAYAK, H.; MAHTO, R.; SINGH, R. K.; PRASAD, S. K. Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A Review. **International Journal of Chemical Studies**, v. 7, n. 2, p. 1793-1798, 2019.

YILDIRIM, E.; KARLIDAG, H.; DURSUN, A. Salt tolerance of *Physalis* during germination and seedling growth. **Pakistan Journal of Botany**, v. 43, n. 6, p. 2673-2676, 2011.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, C.; OLIVEIRA, E. A. P.; NAKAGAWA, J. Métodos e temperaturas de hidratação na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 684-692, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300015>

## **CAPÍTULO 2: EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Physalis peruviana* L. COM DIFERENTES SUBSTRATOS E RECIPIENTES**

### **HIGHLIGHTS**

- A produção de mudas é uma das principais etapas para o desenvolvimento de *Physalis peruviana*.
- Foi avaliado a germinação e crescimento de mudas de *Physalis peruviana* em substratos orgânicos.
- A germinação de sementes de *Physalis peruviana* foi favorecida pela presença de M.O. incorporada ao substrato.
- Recipientes maiores favorecem a emergência das plântulas e desenvolvimento de mudas de *Physalis peruviana*.
- Substratos constituídos a base de esterco aviário e bovino favoreceram o crescimento de mudas de *Physalis peruviana*.

### **RESUMO**

O cultivo de *Physalis peruviana* vem se destacando como alternativa promissora para pequenos e médios produtores. A *P. peruviana* apresenta grande potencial econômico, uma vez que possui alto valor agregado e baixo custo de produção. Entretanto, ainda são escassas as informações sobre o cultivo dessa olerícola nas condições edafoclimáticas brasileiras. A produção de mudas é uma das principais etapas para o desenvolvimento da cultura, já que essa espécie não se desenvolve bem a partir de sementes em condições de campo. Dessa forma, objetivou-se com esse trabalho a avaliação da germinação de sementes e o crescimento das mudas de *P. peruviana* sob diferentes volumes de recipientes e composições de substratos. O experimento foi realizado no período de fevereiro a março de 2020 e conduzido em ambiente telado, em uma estufa localizada em Viçosa-MG. Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 6 (quatro recipientes e seis substratos). Sementes de frutos maduros de *P. peruviana* foram semeadas em R1 (recipientes de polipropileno de 200 cm<sup>3</sup>), R2 (recipientes de polipropileno de 100 cm<sup>3</sup>), R3 (sacos de polietileno de 400 cm<sup>3</sup>) e R4 (bandejas de poliestireno expandido de 128 células de 18 cm<sup>3</sup>). Foram utilizados os substratos S1 (solo + areia), S2 (substrato comercial Maxplant<sup>®</sup>), S3 (solo), S4 (solo + areia + substrato comercial), S5 (solo + areia + substrato comercial + esterco cama de aviário; proporção: 1:1:1:2) e S6 (solo + areia + substrato comercial + esterco bovino curtido;

proporção: 1:1:1:2). Foram utilizadas quatro repetições e cada uma era constituída de sete plantas. Variáveis relacionadas a emergência das plântulas foram favorecidas pelo substrato S6. Menores volumes de recipientes proporcionaram redução nos valores de emergência de *P. peruviana*. O maior crescimento das plantas, assim como maiores valores no número de folhas por planta, área foliar, diâmetro da base do caule, massa seca da parte aérea e das raízes foram obtidos quando se utilizou o recipiente R3, preenchido com o substrato S6. Visando mudas de *P. peruviana* com maior qualidade, recomenda-se utilizar sacos de polietileno de 400 cm<sup>3</sup> preenchidos de solo + areia + substrato comercial + esterco bovino curtido na proporção: 1:1:1:2.

**Palavras-chave:** Crescimento de plantas. Composto orgânico. Emergência. Semeadura. Matéria orgânica.

## 1. INTRODUÇÃO

Conhecida comumente como physalis e pertencente à família Solanaceae, a *P. peruviana* L. é uma hortaliça-fruto que apesar de pouco difundida no Brasil, tem apresentado notável destaque no mercado agrícola (APARECIDO et al., 2019; RODRIGUES et al., 2020). Com baixo custo de produção e alto valor agregado, essa espécie tem chamado a atenção principalmente de pequenos e médios produtores, apresentando cultivo bastante simples e adaptada a uma ampla gama de condições climáticas e tipos de solo (PUENTE et al., 2011; RUFATO et al., 2013).

Considerada espécie exótica, a *P. peruviana* é originária dos países andinos, especialmente Colômbia, Peru e Equador. É uma planta rústica, que forma arbustos, apresentando comportamento anual ou perene dependendo do ambiente de produção, clima, solo e manejo agrônômico utilizados em seu cultivo (AL-OLAYAN et al., 2014; ERKAYA et al., 2012; RODRIGUES et al., 2020). Seu fruto destaca-se por sua importância econômica, como espécie rica em vitaminas, principalmente A e C, além de fósforo e ferro (BRAVO et al., 2016; OLIVARES-TENORIO et al., 2016). Também apresenta uma alta concentração de flavonoides, alcaloides e fito esteroides que são amplamente empregados na indústria de fármacos (BRAVO et al., 2016; LICODIEDOFF et al., 2013).

Semelhante a outras olerícolas, o uso de mudas de qualidade é primordial para o desenvolvimento adequado e produção de *P. peruviana*. Assim, as mudas devem ser produzidas em condições que favoreçam o crescimento máximo, permitindo plântulas vigorosas em menor tempo após a semeadura (MEZZALIRA et al., 2017; PINTO et al., 2016). O conhecimento da

tecnologia de produção de mudas torna-se essencial (GUIMARÃES et al., 2012), sobretudo tamanho de recipientes e tipos de substratos mais adequados (GUERRA et al., 2017). Esses fatores influenciam a velocidade e uniformidade da germinação das sementes, determinam o espaço disponível para o crescimento radicular (ARAÚJO et al., 2018) e atuam sobre a arquitetura das raízes e o estado nutricional das mudas (TESSARO et al., 2013), respectivamente.

Para os substratos, muitas vezes se faz necessário o uso de materiais alternativos ao solo, seja por exigências de ordem física ou fisiológica das plantas (DOS ANJOS et al., 2017). A escolha do(s) material(is) para compor um substrato deve levar em consideração as características físico-químicas, tais como, densidade, capacidade de economia hídrica, aeração, permeabilidade, poder de tamponamento, capacidade de retenção de nutrientes, espécie a ser cultivada, além dos aspectos econômicos, como baixo custo e disponibilidade (KRATZ et al., 2013). Diversos materiais orgânicos e inorgânicos têm sido utilizados no preparo de substratos e muitas vezes, para atender a todos os aspectos citados anteriormente, se faz necessário a utilização de mais de um material para compor um substrato de boa qualidade (MENDES et al., 2018).

Quanto aos recipientes, estes são responsáveis em disponibilizar o espaço para que a planta cresça bem e desenvolva seu sistema radicular e a parte aérea, até alcançar as condições mais adequadas de plantio no local definitivo (ZACCHEO et al., 2013). A absorção de nutrientes, água e a produção são afetadas pela restrição do desenvolvimento das raízes e, portanto, pelo volume ocupado pelo substrato (TAIZ et al., 2017). Assim, há necessidade de equilibrar os parâmetros volume do recipiente e o substrato utilizado. O estudo da combinação mais eficiente entre esses materiais possibilitará a obtenção de informações básicas, que indicarão a tecnologia mais apropriada para o desenvolvimento da cultura (GUIMARÃES et al., 2012; CABREIRA et al., 2017; CASTOLDI et al., 2014).

No Brasil, por se tratar de uma cultura que está sendo explorada de forma recente, dados técnicos e estudos ainda são escassos, havendo poucas fontes científicas sobre qual a melhor estrutura e manejo a ser empregado para a *P.peruviana* (SILVA et al., 2018; VILLA et al., 2018). Há uma carência de informações a respeito dos custos de implantação e os principais coeficientes técnicos, dificultando a análise mais precisa da possibilidade de implantação da cultura (Pimentel et al., 2007).

Assim, a falta de informações sobre sistemas de produção de mudas para a *P.peruviana*, tem levado os produtores a adotar o mesmo sistema usado no cultivo do tomateiro (LIMA et

al., 2010). Essas espécies apresentam proximidade taxonômica, onde ambas pertencem à mesma família e têm hábito de crescimento similar. Sabendo-se que é uma etapa tão importante para o desenvolvimento da cultura a campo, estudos a respeito da produção de mudas de *P. peruviana* são imprescindíveis. A partir dos conhecimentos gerados, há possibilidade de definir técnicas mais apropriadas para a produção, por meio da escolha de melhores substratos, tamanho de recipiente, manejo, sementes e, finalmente, produzir mudas de alta qualidade, em ambientes favoráveis que propiciem o crescimento adequado das mesmas.

Pesquisas sobre o desenvolvimento inicial de espécies vegetais é fundamental para a compreensão do estabelecimento das mesmas em um cenário de diferentes ambientes e climas. Diante do exposto, objetivou-se no presente trabalho avaliar a emergência de plântulas e o crescimento das mudas de *P. peruviana* sob diferentes volumes de recipientes e formulações de substratos.

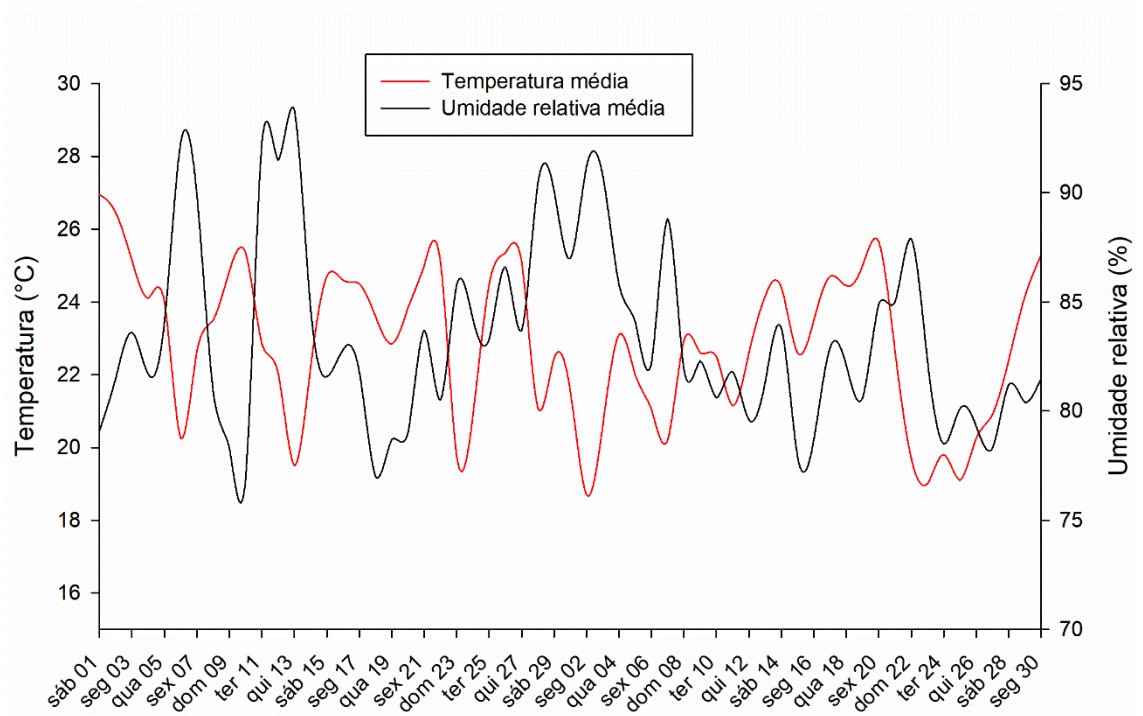
## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Local e instalação do experimento**

O estudo foi conduzido no período de fevereiro a março de 2020, em casa de vegetação. Essa estrutura está localizada na Área Experimental de Irrigação e Drenagem, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa, Minas Gerais, Brasil, situada na latitude de 20°45' S, longitude de 42° 52' W e altitude de 651 m.

Na Figura 1 encontram-se os dados de temperatura média e umidade relativa média no interior da casa de vegetação durante o período de condução do experimento.

**Figura 1** – Variações médias diárias de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) durante o período experimental 01/02/200 a 30/03/2020



Fonte: Freitas, E.M. (2022).

## 2.2. Material vegetal

As sementes utilizadas no estudo foram extraídas de frutos maduros obtidos de cultivos localizados no município de Diamantina, Minas Gerais, Brasil. Os frutos foram cortados, dispostos em peneiras e lavados em água corrente para retirar todo excesso de polpa. As sementes extraídas foram dispostas em bandejas com papel toalha e secas em temperatura ambiente ( $\pm 25$  °C) por 24 h.

Para avaliação da qualidade e viabilidade das sementes, estas foram submetidas a teste de germinação, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Foram empregadas quatro repetições de vinte e cinco sementes condicionadas em caixas gerbox com dimensões de 11 x 11 x 3,5 cm, sob duas folhas de papel germiteste. Estas folhas foram previamente umedecidas com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco e acondicionadas em B.O.D. (*biological oxygen demand*) regulada a temperatura alternada de 20-30 °C, com fotoperíodo de 12 h. A contagem das sementes germinadas foi efetuada do 6º ao 28º dia após instalação do teste, onde se constatou germinação de 96%. Assim, após constatação da viabilidade, as sementes foram utilizadas para o estudo.

### 2.3. Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4 x 6, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída de sete plantas de *P. peruviana*. Os tratamentos utilizados foram representados pelo uso de quatro diferentes recipientes e seis diferentes tipos de substrato, conforme Tabela 1.

**Tabela 1** – Descrição dos tratamentos do experimento fatorial

Tratamento	Recipiente
R1	Recipiente de polipropileno de 200 cm <sup>3</sup>
R2	Recipiente de polipropileno de 100 cm <sup>3</sup>
R3	Sacos de polietileno de 400 cm <sup>3</sup>
R4	Bandejas de poliestireno expandido com 128 células (18 cm <sup>3</sup> )
	Substrato
S1	Solo + areia (1:1)
S2	Substrato comercial Maxplant®
S3	Solo
S4	Solo + areia + substrato comercial Maxplant®
S5	Solo + areia + substrato comercial Maxplant® + esterco aviário (1:1:1:2)
S6	Solo + areia + substrato comercial Maxplant® + esterco bovino (1:1:1:2)

Fonte: Freitas, E.M. (2022).

### 2.4. Caracterização dos substratos

O solo utilizado no experimento foi um Argissolo Vermelho-Amarelo, coletado na Área de Irrigação e Drenagem do DEA/UFV. O substrato comercial utilizado foi o Maxplant®. O esterco bovino curtido e a cama de aviário foram adquiridos nos setores de Gado de Corte e Aviário, respectivamente, pertencentes ao departamento de Zootecnia da UFV. Foi utilizada também areia lavada. Todos os componentes dos substratos foram peneirados (malha de 2 mm) separadamente, misturados e encaminhados para análises químicas e físicas no Laboratório de Solos da UFV (Tabela 2).

**Tabela 2** – Análise química e física dos substratos utilizados para produção de mudas de *P. peruviana* L.

Substrato	pH	Areia	Silte	Argila	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O.
	H <sub>2</sub> O	-----%-----			--mg dm <sup>-3</sup> --	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----						g kg <sup>-1</sup>
S1	7,10	77	13	10	10,9	47	1,32	0,45	0,13	0	0,66	22,7
S2	4,55	63	15	22	201,3	230	1,30	6,12	2,56	0,12	7,08	98,1
S3	6,50	69	15	16	45,6	118	0,90	4,55	2,89	0,30	6,70	35,3
S4	6,20	53	18	29	54,0	290	0,30	8,52	3,18	0,20	15,41	40,1
S5	5,60	42	15	43	24,6	230	0	3,40	1,42	0	2,97	93,0
S6	6,00	57	13	30	291,8	960	0	4,41	3,92	0	3,96	203,8

S1 = Solo + areia (1:1); S2 = Substrato comercial maxplant®; S3 = Solo; S4 = solo + areia + substrato comercial (1:1:1); S5 = Solo + areia + substrato comercial + esterco bovino curtido (1:1:1:2); S6 = solo + areia + substrato comercial + cama de aviário (1:1:1:2); M.O. = matéria orgânica. Fonte: Freitas, E.M. (2022).

## 2.5. Variáveis analisadas

Para a realização dos procedimentos experimentais semeou-se cinco sementes por recipiente, na profundidade de 0,5 cm e, aos 20 dias após a semeadura (DAS), foi realizado o desbaste, deixando apenas a plântula mais vigorosa. Procedeu-se a irrigação duas a três vezes ao dia das plântulas e mudas, dependendo das condições meteorológicas locais.

A fim de verificar a eficiência de cada tratamento, foram realizadas avaliações de emergência, além das demais variáveis de crescimento: altura das plantas, diâmetro do caule, número de folhas, massa seca da parte aérea e da raiz. Para avaliações referentes a emergência, foram feitas avaliações diárias até a estabilização da emergência, aos 28 dias, sendo registradas as plântulas normais, aquelas que tinham as partes essenciais desenvolvidas, de forma equilibrada.

A determinação da porcentagem de emergência ocorreu pela contagem final das plântulas emergidas em relação ao número inicial de sementes semeadas. Dessa forma, foram consideradas como emergidas aquelas com potencial para continuar seu desenvolvimento e dar origem a plantas normais, sendo os resultados transformados em porcentagem (%). Para o índice de velocidade de emergência (IVE) foi adotada a metodologia recomendada por Maguire (1962), conforme Equação 1.

$$IVE = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \frac{G_3}{N_3} + \dots + \frac{G_N}{N_n} \quad (1)$$

Em que: IVE representa o índice de velocidade de emergência; N é o número de plântulas verificadas no dia da contagem; e G é o número de dias após a semeadura em que foi realizada a contagem.

As variáveis de crescimento, fitomassa seca e qualidade de mudas foram avaliadas 60 DAS. A altura da planta foi determinada com o auxílio de régua graduada em centímetros, medindo-se a distância entre o nível do solo até o ponto de inserção do último folíolo. O diâmetro do caule foi mensurado com o auxílio de um paquímetro digital, medido a 1 cm acima da superfície solo. Para o número de folhas foi realizada contagem simples manual do número de folhas verdadeiras expandidas, ignorando as folhas cotiledonares. Para obtenção da biomassa as plantas foram retiradas dos recipientes e lavadas em água para eliminação do substrato aderido as raízes. As plantas foram separadas em parte aérea e raiz, logo após armazenadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas e depois pesadas em balança digital de precisão (0,01 g).

Quanto a área foliar, essa foi mensurada utilizando a metodologia proposta por Reis et al. (2013), conforme a Equação 2.

$$AF = C \times L \times f \quad (2)$$

em que: AF é a área foliar (cm<sup>2</sup>); C é o comprimento da folha (cm); L é a largura da folha (cm); e f representa o fator de forma (0,59).

Para o índice de qualidade de Dickson (IQD), utilizou-se a metodologia de Dickson et al. (1960), considerando os indicadores de massa seca da parte aérea, das raízes e de massa seca total, altura e diâmetro do caule das mudas, conforme Equação 3.

$$IQD = \frac{MST}{H/DC} + \frac{MSPA}{MSR} \quad (3)$$

em que: IQD é o índice de qualidade de Dickson; MST é a massa seca total (g); H é a altura de planta (cm); DC é o diâmetro do caule (cm); MSPA é a massa seca da parte aérea (g) e MSR é a massa seca da raiz (g).

## 2.6. Análise dos dados

Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância (ANOVA) por meio do teste F ( $p$ -valor <0,05). As diferenças significativas entre as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p$ -valor <0,05). As pressuposições de normalidade e homocedasticidade dos resíduos foram analisadas pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett ( $p$ -valor >0,05), respectivamente. As interações não significativas foram eliminadas e os efeitos dos tratamentos avaliados separadamente. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R versão 4.1.0 ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Parâmetros de emergência das plântulas de *P. peruviana*

Os resultados das análises de variância (Tabela 3) indicaram interações significativas ( $p$  < 0,05) entre recipientes e substratos para todas as variáveis analisadas. Posteriormente, procedeu-se o desdobramento das interações para apresentar a porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE) da *P. peruviana* semeada em diferentes substratos e recipientes.

**Tabela 3** – Porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE) de *P. peruviana* cultivada em diferentes recipientes e substratos

	Substratos	Recipiente 1	Recipiente 2	Recipiente 3	Recipiente 4
Emergência (%)	S1	97,1 Aa	54,3 Bb	97,1 Aa	85,7 Aa
	S2	100,0 Aa	60,0 Bb	100,0 Aa	77,1 ABCab
	S3	74,3 Aa	91,4 Aa	97,1 Aa	91,4 Aa
	S4	77,1 Aab	60,0 Bb	97,1 Aa	54,3 Cb
	S5	91,4 Aa	80,0 Abab	82,9 Aab	57,1 BCb
	S6	100,0 Aa	100,0 Aa	97,1 Aa	91,4 Aa
IVE	S1	0,39 Bbc	0,19 Cc	0,76 Aa	0,55 Bab
	S2	0,61 Ba	0,22 BCb	0,69 Aa	0,73 Aba
	S3	0,36 Bb	0,46 Bb	0,81 Aa	0,84 Aa
	S4	0,43 Bb	0,41 BCb	0,82 Aa	0,46 Bb
	S5	0,50 Bab	0,42 BCb	0,74 Aa	0,52 Bab
	S6	0,95 Aa	0,74 Aa	0,85 Aa	0,95 Aa

R1 = recipiente de polipropileno de 200 cm<sup>3</sup>; R2 = recipiente de polipropileno de 100 cm<sup>3</sup>; R3 = sacos de polietileno de 400 cm<sup>3</sup>; R4 = bandejas de poliestireno expandido com 128 células (18 cm<sup>3</sup>); S1 = solo + areia (1:1); S2 = substrato comercial Maxplant®; S3 = solo; S4 = solo + areia + substrato comercial (1:1:1); S5 = solo + areia + substrato comercial + cama de aviário (1:1:1:2); S6 = solo + areia + substrato comercial + esterco bovino curtido (1:1:1:2). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Comparando-se os substratos dentro de cada recipiente, verifica-se que para a porcentagem de emergência, as plântulas dos recipientes R1 e R3 não apresentaram diferença estatística em relação aos substratos utilizados. Já o recipiente R2 com os substratos S3, S4 e S5 e o recipiente R4 com os substratos S1, S2, S3 e S6, e R4, proporcionou a obtenção dos maiores percentuais médios. Para o IVE o substrato S6 apresentou as maiores médias em todos os recipientes utilizados, não apresentando diferença estatística apenas quando utilizado o recipiente R3 e o R4 em combinação com os substratos S2 e S3.

Os diferentes efeitos dos substratos na emergência das plântulas podem estar relacionados com suas características físico-químicas, sendo que o tipo e a quantidade de material presentes na composição podem alterá-las. Nesse sentido, como observado na Tabela 2, a alta concentração de M.O, assim como alto teor de fósforo podem ter contribuído para a melhor aeração do substrato S6, e com isso, obtendo as maiores taxa e velocidade de emergência. Visto que foram obtidas respostas semelhantes quando utilizado o substrato S2 também, que possui em sua composição maiores teores desses elementos.

A presença de M.O. no substrato, auxilia na disponibilidade hídrica e estrutura dos mesmos, melhora a capacidade de retenção de água e a ativação de processos microbianos, facilitando a emergência das plântulas (KLEIN; KLEIN, 2015). Assim, adicionar materiais orgânicos, como esterco bovino e aviário utilizados neste estudo, é uma estratégia comum para

melhorar a estrutura do substrato. Solos arenosos ou com grande quantidade de areia, como os substratos citados (S2 e S6), apresentam baixa área superficial (ABEL et al., 2013; HERATH; CAMPSARBESTIAN; HEDLEY, 2013), sendo assim de difícil retenção se não forem tratados com condicionadores.

Já o fósforo por estar relacionado a síntese de proteínas constituindo nucleoproteínas necessárias à divisão celular (MALAVOLTA, 2006), atua no controle do potencial osmótico celular e manutenção do pH citoplasmático, mantendo o equilíbrio eletroquímico da planta (SOUSA et al., 2013).

Por outro lado, a presença de altas porcentagens de areia nos substratos, além de teores mais elevados de sódio como observado na Tabela 2, para os substratos S1e S3, afetam negativamente o processo de emergência das plântulas, pois influenciam a dinâmica da movimentação e disponibilidade de água. O resultado disso é uma restrição na absorção de água pela semente, fazendo com que não haja hidratação adequada da mesma, reduzindo as taxas de germinação (GORDIN et al., 2015; HARTEK et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2015). A areia é um material que apresenta elevada densidade e baixa capacidade de retenção de água, assim possui dificuldade de manutenção de umidade, visto que apresenta desuniformidade de retenção e distribuição de água, drenando-a excessivamente (MENDES et al., 2010).

Enquanto as sementes estão abrigadas nos substratos, oscilações quanto aeração, a umidade do mesmo e capacidade de retenção de água serão os fatores que mais contribuirão para a emergência da plântula (COROMOTO et al., 2010). O substrato desidratado por exemplo, reduz a velocidade do processo de embebição da semente e conseqüentemente sua germinação (CECCO et al., 2018). A semente intumescida pela água apresentará maior facilidade de rompimento do tegumento e, conseqüentemente, a entrada de oxigênio para os tecidos é facilitada, contribuindo para a emergência das plântulas (MARCOS FILHO, 2015; OLIVEIRA, 2015).

Essas características físicas, associado ao maior volume de recipiente, possibilitam a melhor emergência, porcentagem de germinação e velocidade com que ocorre esses processos, como pode ser observado na Tabela 3, para os recipientes R1 e R3. Isso acontece porque em maiores recipientes há plena disponibilidade de elementos essenciais ao desenvolvimento das plântulas, pois, as restrições quanto aeração e absorção de nutrientes e água, é menor (DONEGÁ, 2014). Por outro lado, observa-se que quando há presença de materiais limitantes na composição do substrato, associado ao volume do recipiente, pode ocorrer limitação de água disponível para a semente, gerando condição de déficit hídrico. Isso foi observado nos

tratamentos com substratos S1, S2 e S3, que quando submetidos aos recipientes R2 e R4, em que entre eles, maiores médias de emergência foram verificadas no recipiente de menor volume (R4).

Substratos com materiais que apresentem características favoráveis a disponibilidade de água, fazem com que apesar das limitações do recipiente, haja fornecimento adequado da mesma. É conhecido que, quanto maior a porosidade, maior a aeração, melhor será a drenagem, que muitas vezes é limitada pelo tamanho do recipiente (VALLONE et al., 2010).

### 3.2. Parâmetros de crescimento das mudas

Na Tabela 4 encontram-se a comparação de médias da análise da altura, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar da *P. peruviana*. É importante destacar que dentre essas características avaliadas, o diâmetro do caule é de fundamental importância na avaliação do potencial da muda, para sobrevivência e crescimento após o plantio. A produção de mudas com maior diâmetro do caule pode ser indicativo de mudas mais vigorosas (PEZZUTTI; CALDATO, 2011; SANTOS et al., 2010; SILVA et al., 2012).

**Tabela 4** – Altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar de *P. peruviana* cultivadas em diferentes recipientes e substratos

	Substratos	Recipiente 1	Recipiente 2	Recipiente 3	Recipiente 4
Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	S1	11,70 Bb	11,89 Ab	51,42 BCa	16,68 Ab
	S2	30,12 Bb	22,45 Ab	66,38 Ba	16,77 Ab
	S3	12,02 Bb	42,07 Aa	39,61 BCa	18,10 Ab
	S4	17,41 Ba	25,75 Aa	30,09 CDb	16,24 Aa
	S5	30,36 Ba	22,42 Aab	8,74 Dab	11,80 Ab
	S6	74,36 Ab	22,81 Ac	112,63 Aa	15,33 Ac
Diâmetro do caule (cm)	S1	1,84 Bab	1,38 Ab	2,84 Ca	1,26 Ab
	S2	2,22 Bab	1,94 Aab	2,90 BCa	1,80 Ab
	S3	2,48 ABab	1,00 Ac	3,06 BCa	1,86 Abc
	S4	3,48 Aa	1,36 Ac	2,82 Cab	2,08 Abc
	S5	1,96 Bb	2,06 Ab	4,76 Aa	1,16 Ab
	S6	2,26 ABb	1,44 Ab	4,08 ABa	2,06 Ab
Número de folhas	S1	4,60 BCab	3,60 Bb	5,60 ABa	4,00 Aab
	S2	6,00 ABa	4,60 Bb	5,20 BCa	4,20 Ab
	S3	4,20 Cb	6,20 Aa	6,00 Ba	4,20 Ab
	S4	4,20 Ca	5,00 ABa	4,40 Ca	4,00 Aa
	S5	5,40 ABCa	4,80 ABba	5,00 Cab	4,00 Ab
	S6	6,40 ABCa	6,20 Aa	7,00 ACa	4,00 Ab
Altura de plântulas (cm)	S1	9,10 Db	7,60 Db	20,8 Ba	7,50 Ab
	S2	16,8 Bb	12,9 ABCbc	32,0 Aa	11,1 Ac
	S3	9,60 Db	17,1 Aab	21,6 Ba	11,2 Ab
	S4	11,5 CDa	11,1 CDab	9,2 Cab	6,5 Ab

S5	15,0 BCa	11,8 BCDab	12,5 Ca	7,6 Ab
S6	25,5 Ab	17,0 ABc	33,4 Aa	10,4 Ad

R1 = recipiente de polipropileno de 200 cm<sup>3</sup>; R2 = recipiente de polipropileno de 100 cm<sup>3</sup>; R3 = sacos de polietileno 400 cm<sup>3</sup> e R4 = bandejas de poliestireno expandido com 128 células (18 cm<sup>3</sup>); S1 = solo + areia (1:1); S2 = substrato comercial Maxplant®; S3 = solo; S4 = solo + areia + substrato comercial (1:1:1); S5 = solo + areia + substrato comercial + cama de aviário (1:1:1:2); S6 = solo + areia + substrato comercial + esterco bovino curtido (1:1:1:2). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Com relação ao crescimento das mudas, verificou-se que, a área foliar das plantas cultivadas no recipiente R3 com o substrato S6 foi maior, apresentando valor médio de 112, 63 cm<sup>2</sup>. Assim como para diâmetro do caule, altura das plantas e número de folhas, houve superioridade das mudas produzidas para o substrato S6 e recipiente R3. Apesar de para altura das plântulas e diâmetro do caule, não ter ocorrido diferença estatística entre esse recipiente quando utilizado também com os substratos S2 e S5, respectivamente. E para número de folhas quando utilizado o substrato S6 com os recipientes R1 e R2.

Os menores diâmetros, assim como a menor altura, número de folha e área foliar obtidos em função do recipiente R4 indicam que recipientes com pequenos volumes não permitem que as mudas permaneçam por períodos longos no viveiro, pois dificultam o desenvolvimento do sistema radicular, disponibilidade de água e nutrientes e conseqüentemente ocasiona reduções no crescimento da planta. Já para o recipiente R4, observa-se que foi o que propiciou menor desenvolvimento de plântulas, independente do substrato utilizado, não apresentando diferença estatística entre eles, para todas as variáveis analisadas.

Reghin *et al.* (2003) estudando *pack choi* (*Brassica chinensis* L.) também demonstraram que recipientes com maiores volumes produziram mudas com maior comprimento de parte aérea em comparação aos recipientes com menor volume. Tais resultados podem ser explicados pela influência positiva que o volume do recipiente exerce sobre o desenvolvimento das mudas, em decorrência da maior disponibilidade de espaço físico passível de ser explorado, nutrientes e água (MALTA *et al.*, 2017). Como observado com o uso dos recipientes R1 e R3 neste estudo.

Recipientes menores, apresentam pouco espaço disponível para o desenvolvimento do sistema radicular, assim os substratos utilizados nele devem ser menos densos, pois nessa condição, a dinâmica da movimentação da água (drenagem) e o crescimento radicular não são prejudicados. Costa *et al.* (2011) e Oliveira *et al.* (2011), que trabalharam com produção de mudas de berinjela e tomate, respectivamente, também evidenciaram que o volume do recipiente teve relação direta com a altura das plantas. Os autores observaram maiores alturas das mudas quando cultivadas em recipientes maiores. Melhores resultados de diâmetro caulinar

e altura de mudas também foram obtidas em mudas de *physalis* e *Hymenaea courbaril* semeadas em sacos de polietileno preto de 400 cm<sup>3</sup> (GONZAGA et al., 2016; VILLA et al., 2018).

Quanto os substratos, observou-se que aqueles que apresentaram bom desempenho das características de crescimento das mudas de *P. peruviana* (S2, S5 e S6), apresentaram em sua composição altos teores de M.O., assim como teores consideráveis de areia, argila e nutrientes como fósforo e potássio (Tabela 2).

Para o desenvolvimento das mudas, a presença de componentes como areia e M.O. na mistura de substratos, quando em quantidade equilibrada, são benéficos, porque evitam a formação de possíveis camadas que irão impedir o crescimento do sistema radicular. Além de melhorarem as características químicas, físicas e biológicas do substrato, proporcionando benefícios ao crescimento e desenvolvimento das plantas (PELIZZA et al., 2013). Os compostos orgânicos, como o esterco bovino e cama de aviário usados neste estudo, por serem fontes ricas de M.O. e como tal, contribuem para a sustentação física necessária para assegurar o desenvolvimento da planta com qualidade. Além disso, esses componentes por contribuírem com a permeabilidade, infiltração, retenção de água e proporcionarem acúmulo de nitrogênio orgânico, promovem aumento do seu potencial de mineralização e disponibilidade para as plantas, fazendo com que elas tenham maior desenvolvimento (BAGATIM, 2017; BEZERRA et al., 2018).

Ademais, esses compostos contribuem para melhoria das características físicas e químicas, a capacidade de troca de cátions (CTC) e regulação do pH do substrato. Essas características acompanhadas ao maior volume do recipiente, podem facilitar a penetração e a troca de ar na base das raízes, contribuindo em maior absorção de água e nutrientes (BARROS, 2020). A regulação do pH nessa fase, merece maior atenção, pois, dentre os elementos químicos, ele é mais importante que a própria nutrição do substrato, afetando principalmente a absorção e disponibilidade dos micronutrientes às plantas. Valores inadequados, principalmente sob acidez excessiva, podem prejudicar o desenvolvimento das mudas. Ambientes ácidos apresentam menores quantidades de nutrientes disponíveis, além de propiciarem um ambiente para as plantas em que ficam sujeitas à maior absorção de elementos tóxicos como alumínio e manganês (LUDWIG et al., 2014). Quando ocorre presença de compostos orgânicos como componentes dos substratos, a maior disponibilidade de nutrientes ocorre quando eles apresentam pH em água situado entre 5,2 e 6,0 (Tabela 2), para os substratos citados. Essas características, associadas aos altos teores de P (fósforo), Ca (cálcio) e K (potássio) que eles

apresentaram, contribuíram para o maior desenvolvimento das mudas, visto que esses são macronutrientes de grande importância para o desenvolvimento da planta.

Quando o fornecimento de K é adequado, as plantas apresentam tecidos mais hidratados. Nessas condições, as mudas são mais tolerantes ao déficit hídrico, por manter o teor de nutriente elevado no citoplasma das células, para garantir excelente atividade enzimática, mantendo o pH em níveis adequados ao funcionamento e manutenção do potencial osmótico do vacúolo (AMORIM et al., 2015). Além disso, ele interfere no crescimento, maximizando a produção foliar, como pode ser observado com os maiores resultados de área foliar e número de folhas.

Resultados semelhantes foram observados em trabalhos utilizando substratos com base orgânica, para culturas do tomate cereja, alface, couve, mamão, melancia e melão. Em que os autores verificaram diferença significativa nas alturas das mudas em função dos substratos utilizados (FERREIRA et al., 2015; MEDERIOS et al., 2013; PELLIZA et al., 2013; SILVA JÚNIOR et al., 2014), assim como no número de folhas (NUNES et al., 2012).

### 3.3. Parâmetros de qualidade das mudas

Na Tabela 5 são apresentados os testes de médias das variáveis massa seca da parte aérea e massa seca da raiz em função de diferentes recipientes e substratos.

Para massa seca da parte aérea de *P. peruviana* verificou-se interação entre recipientes e substratos utilizados na produção dessas mudas. Para massa seca do sistema radicular e índice de qualidade de Dickson observou-se apenas efeitos isolados de cada fator.

**Tabela 5** – Massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *P. peruviana* produzidas com diferentes recipientes e substratos

	Substratos		Recipientes			
	R1	R2	R3	R4		
Massa seca da parte aérea (g)	S1	0,39 Bb	0,74 Ab	3,12 BCa	0,51 Ab	
	S2	1,73 ABab	1,11 Ab	3,38 Ba	0,41 Ab	
	S3	1,73 ABab	2,14 Aa	2,11 Ba	0,40 Ab	
	S4	1,16 ABa	0,95 Aa	1,31 Ca	0,57 Aa	
	S5	1,37 ABa	0,95 Ab	2,74 BCa	1,63 Ab	
	S6	2,67 Aa	2,24 Aa	6,26 Aa	1,83 Aa	
Massa seca da raiz (g)	Substratos					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	0,34 a	0,52 a	0,35 a	0,44 a	0,45 a	0,56 a
IQD	Recipientes					
	R1	R2	R3	R4		
	0,37 b	0,44 b	0,88 a	0,23 b		
	Substratos					

S1	S2	S3	S4	S5	S6
0,19 a	0,14 a	0,17 a	0,16 a	0,15 a	0,26 a
Recipientes					
R1	R2	R3	R4		
0,13 b	0,13 b	0,35 a	0,11 b		

R1 = recipiente de polipropileno de 200 cm<sup>3</sup>; R2 = recipiente de polipropileno de 100 cm<sup>3</sup>; R3 = sacos de polietileno 400 cm<sup>3</sup>; R4 = bandejas de poliestireno expandido com 128 células (18 cm<sup>3</sup>); S1 = solo + areia (1:1); S2 = substrato comercial Maxplant®; S3 = solo; S4 = solo + areia + substrato comercial (1:1:1); S5 = solo + areia + substrato comercial + cama de aviário (1:1:1:2); S6 = solo + areia + substrato comercial + esterco bovino curtido (1:1:1:2). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Para os parâmetros de massa da parte aérea e da raiz, incrementos crescentes também foram observados nos recipientes R3 e substrato S6. As menores médias ocorreram quando utilizado o recipiente R4. Esses resultados podem estar relacionados a maior disponibilidade de espaço e nutrientes nos recipientes maiores, visto que favorecem o crescimento do sistema radicular e conseqüentemente dão suporte ao crescimento da parte aérea; o que reflete em maior acúmulo de biomassa (CALDEIRA et al., 2014).

É oportuno ressaltar que os mesmos fatores que influenciam no crescimento em altura das mudas atuam sobre a produção de massa de matéria seca. Assim, o menor acúmulo de fitomassa pode ser explicado pelo fato de os recipientes menores necessitarem de pequenas quantidades de substrato. Isso limita a oferta de nutrientes e, conseqüentemente, causa o esgotamento das reservas da planta em pouco tempo (BARDIVIESSO et al., 2011). Tal relato também foi observado por Costa et al. (2017) em que observaram maiores médias de massa seca da parte aérea e radicular quando mudas de couve manteiga foram cultivadas em recipiente de maior volume de célula. De acordo com Filgueira (2008), quanto mais biomassa seca acumulada, mais resistente às condições adversas tende a ser a muda, o que permite maior sobrevivência no campo, bem como crescimento inicial no período após o transplantio.

Apesar de não ter ocorrido diferença estatística entre os substratos para a massa seca da raiz, observa-se que a composição pode ter interferido de forma direta nos resultados, principalmente em relação aos nutrientes fósforo e cálcio, assim como a presença da M.O. A utilização deste último, como visto para outras variáveis analisadas neste estudo, tem contribuído com a disponibilidade de nutrientes para as plantas, resultando também em maiores ganhos de biomassa da parte aérea. Silva Júnior et al. (2014) avaliaram a massa seca da raiz e a massa seca da parte aérea de mudas de tomateiro cv. Caline em diferentes substratos. Os autores verificaram que as mudas foram influenciadas de forma significativa pelos substratos utilizados, destacando os orgânicos como os melhores. Assim como, em trabalhos utilizando composição de solo com substrato orgânico para produção de mudas de *P. ixocarpa* e *P.*

*angulata*, foi observado maiores médias para fitomassa seca das mudas (GUIMARÃES et al., 2017; MENDONÇA et al., 2014;).

A presença de nutrientes como o fósforo, em quantidade apropriada, no início do crescimento da planta é imprescindível. Sendo considerado nutriente essencial no metabolismo vegetal de enzimas e na síntese das proteínas, auxiliando no crescimento inicial de mudas (GOMES e PAIVA, 2012). Sua ausência no substrato, ou em quantidade insuficiente, faz com que, especialmente as raízes secundárias, apresentem-se pouco desenvolvidas, reduzindo a capacidade de absorção de água e nutrientes, o que poderá ser limitante ao desenvolvimento das mudas recém-plantadas no campo (SOUZA et al., 2013; STAHL et al., 2013).

A maior produção de biomassa pode sugerir maiores chances de sobrevivência e posterior crescimento no campo, visto que as folhas constituem uma das principais fontes de nutrientes e fotoassimilados que servirão de suprimento de água e nutrientes para as raízes no primeiro mês de plantio. Além disso, o plantio de espécies com sistemas radiculares profundos é desejável, pois conseguem retirar água em maior profundidade na estação seca.

Para o índice de qualidade de Dickson, observou-se se que não houve diferença estatística proporcionada pelos substratos, enquanto o recipiente R3 foi o responsável pela obtenção de mudas de maior qualidade. Considerando que o IQD traz informações reais sobre a qualidade das mudas, ele relaciona o acúmulo total de biomassa e a sua distribuição nas diferentes partes da plântula (ELOY et al., 2013). E segundo Gomes (2002) e Rossa (2013), o valor mínimo do IQD para atribuir qualidade às mudas é de 0,20. Dessa forma, tais resultados estabelecem a combinação do recipiente R3 com o substrato S6 como a mais indicada para a produção de mudas de *P. peruviana*, visto que este substrato apresentou valor maior que 0,20 de IQD. E apenas R3 conseguiu manter efeito positivo sobre a qualidade das mudas, diferindo estatisticamente dos demais e apresentando-se superior, com IQD maior que 0,20.

Os substratos não afetaram o IQD, possivelmente pela idade da muda no momento da avaliação. Os nutrientes presentes no substrato, provavelmente, conseguiram suprir as demandas nutricionais da espécie nos tratamentos utilizados. Freitas et al. (2013), trabalhando com substratos alternativos PlantHort (caracterizado por maior quantidade de M.O.) misturados com casca de arroz carbonizada, perceberam que mudas de alface apresentaram valores de IQD superiores em relação ao cultivo com o substrato comercial Plantmax<sup>®</sup>. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados nessa pesquisa, visto que os melhores índices foram adquiridos em mudas produzidas com os substratos que continham em sua composição química grande quantidade de M.O., principalmente para as misturas utilizando esterco bovino curtido.

Durante o processo de produção de mudas, o substrato funciona garantindo a qualidade do desenvolvimento por meio de fatores como a retenção de umidade e disponibilidade de nutrientes. Por estar presente no período em que a planta se encontra vulnerável e pouco tolerante ao déficit hídrico, sua qualidade física é fundamental. Sendo assim, o substrato deve portar aspectos físico-químicos e biológicos que possam suprir as necessidades das plantas (CECCO et al., 2017). Em relação ao formato e tamanho do recipiente, estes influenciam também na capacidade de sobrevivência das plantas em campo (ANTONIAZZI et al., 2013). Recipientes maiores comportam maior quantidade de substratos, fazendo com que os nutrientes fiquem disponíveis durante longos períodos. Da mesma forma, maiores espaços permitem melhor a expansão das raízes, influenciando no desenvolvimento e na qualidade das mudas. Silva (2015) relatou em seu experimento que a sacola de polietileno também apresentou ser o melhor recipiente para a produção de mudas de mamoeiro, quando comparado com tubete.

Os recipientes de menor volume apesar de proporcionarem economia em espaço e substrato no viveiro, menor custo do transporte do viveiro para campo e facilidade na distribuição das mudas. De modo geral, a utilização destes não é recomendada para a produção de mudas de *P. peruviana*, pois apresenta os menores valores de emergência de sementes, assim como desempenhos inferiores quanto ao desenvolvimento das mudas.

De acordo com Alamino et al. (2012), não existe uma combinação geral ou específica ao desenvolvimento de todas as espécies vegetais, porém, é prudente que sejam realizados ensaios com diferentes materiais, a fim de identificar o substrato ou a combinação de materiais que mais satisfaçam os requisitos fisiológicos e nutricionais da cultura sem, no entanto, inviabilizar o processo aos pequenos produtores.

#### **4. CONCLUSÕES**

Houve influência tanto dos substratos, como dos recipientes testados na emergência de plântulas e no desenvolvimento das mudas de *P. peruviana* L, a interação entre o substrato S6 (solo + areia + substrato comercial Maxplant<sup>®</sup> + esterco bovino) com o recipiente R3 (sacos de polietileno 400 cm<sup>3</sup>) proporcionaram maior crescimento e melhor qualidade das mudas.

O substrato mais indicado para produção de *P. peruviana* dentre os estudados foi o S6 (solo + areia + substrato comercial Maxplant<sup>®</sup> + esterco bovino curtido) na proporção de 1:1:1:2.

Os recipientes que promoveram melhor desenvolvimento da cultura foram os sacos de polietileno 400 cm<sup>3</sup> (R3) e recipientes de polipropileno 200 cm<sup>3</sup> (R1).

## 5. REFERÊNCIAS

- ALAMINO, D. A., e DE CACIA OLIVEIRA, M. Mudanças de *Physalis pubescens* L. propagadas por diferentes métodos e substratos. **Scientia Agraria**, 13(1), 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v13i1.41100>.
- AL-OLAYAN, E. M.; EL-KHADRAGY, M. F.; AREF, A. M.; OTHMAN, M. S.; KASSAB, R. B.; MONEIM, A. E. A. The potential protective effect of *P. peruviana* L. against carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rats is mediated by suppression of oxidative stress and downregulation of MMP-9 expression. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, London, v. 2014, p. 381413, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2014/381413>
- AMORIM, D. A.; ROZANE, D. E.; SOUZA, H. A.; MODESTO, V. C.; NATALE, W. Adubação nitrogenada e potássica em goiabeiras ‘Paluma’: I. Efeito na produtividade e na qualidade dos frutos para industrialização. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 37, n. 1, p. 201-209, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-051/14>
- DOS ANJOS, G. L., DE SOUZA, G. S., FAGUNDES, D. C., & DOS SANTOS, A. R. Initial growth of sweet pepper in different substrates and light environments. **Científica**, v. 45, n. 4, p. 406-413, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n4p406-413>.
- ANTONIAZZI, A. P., BINOTTO, B., NEUMANN, G. M., BUDKE, J. C., & SAUSEN, T. L. Eficiência de recipientes no desenvolvimento de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 313 - 317, 2013.
- APARECIDO, L. E. D. O., BATISTA, R. M., MORAES, J. R. D. S. C. D., COSTA, C. T. S., & MORAES-OLIVEIRA, A. F. D. Zoneamento agrícola de risco climático para o cultivo de *P. peruviana* no Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00057>.
- BAGATIM, A.G. **Temperatura e substrato na germinação de *Physalis angulata* L.** 2017, 33p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP, 2017.
- BARDIVIESSO, D. M., MARUYAMA, W. I., REIS, L. L., MODESTO, J. H., & REZENDE, W. E. Diferentes substratos e recipientes na produção de mudas de Guabiroba (*Campomanesia pubescens* O. Berg). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.18, n.1, p.52-59, 2011.
- BARROS, J. **Fertilidade do solo e nutrição das plantas.** 2020.
- BEZERRA, W. K.T. **Coentro cultivado em sistema orgânico de produção sob efeito residual de esterco bovino.** 2018.
- BRAVO, K.; ALZATE, F.; OSORIO, E. Fruits of selected wild and cultivated Andean plants as sources of potential compounds with antioxidant and anti-aging activity. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 341-352, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.074>.
- CABREIRA, G. V., DOS SANTOS LELES, P. S., DE ARAÚJO, E. J. G., DA SILVA, E. V., LISBOA, A. C., e LOPES, L. N. Produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* utilizando biossólido como substrato em diferentes recipientes e fertilizantes. **Scientia Agraria**, v. 18, n.2,

p. 30-42, 2017. ISSN 1983-2443. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99551919004>.

CALDEIRA, M. V. W., FAVALESSA, M., DE OLIVEIRA GONÇALVES, E., DELARMELINA, W. M., SANTOS, F. E. V., e VIERA, M. Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 34-43, 2014.

CASTOLDI, G., FREIBERGER, M. B., PIVETTA, L. A., PIVETTA, L. G., & ECHER, M. D. M. Alternative substrates in the production of lettuce seedlings and their productivity in the field. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 299-304, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200010>.

COSTA, E.; SANTOS, L.C.R.; CARVALHO, C.; LEAL, P.A.M.; GOMES, V.A. Volumes de substratos comerciais, solo e composto orgânico afetando a formação de mudas de maracujazeiro-amarelo em diferentes ambientes de cultivo. **Revista Ceres**, v.58, n.2, p.216-222, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000200013>.

DE ARAÚJO HENDGES<sup>1</sup>, A. R. A., DE ALMEIDA GUIMARÃES, M., DE MESQUITA, J., CAMILO, F. R. C. F., & DE LIMA MAIA, C. Diferentes temperaturas e combinações de recipientes e substratos na produção de mudas de mostarda. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 14, n. 3, p. 213-221, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v14i3.1020>.

DE CECCO, R. M., KLOSOWSKI, E. S., DA SILVA, D. F., & VILLA, F. Germinação e crescimento inicial de mudas de espécies não convencionais de fisális em diferentes substratos e ambientes. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.17, n.1, p.45-53, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811711712018045>

DE MOURA GONZAGA, L., DA SILVA, S. S., DE ALMEIDA CAMPOS, S., DE PAULA FERREIRA, R., & DA ROCHA CAMPOS, A. N. Recipientes e substratos para a produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 64-73, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v6i1.309>.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v.36, n.1, p.10-13, 1960. Disponível em: <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.

ELOY, E.; CARON, B.O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E.F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Revista Floresta**, v.43, n.3, p.373-384, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i3.26809>.

ERKAYA, T., DAĞDEMİR, E., e ŞENGÜL, M. Influence of Cape gooseberry (*P. peruviana* L.) addition on the chemical and sensory characteristics and mineral concentrations of ice cream. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 331-335, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.013>.

FERREIRA, H. S. S., e RODRIGUES, J. F. Diferentes combinações de substratos na produção de mudas de mamoeiro. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 3, p. 106-115, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v4i3.13311>.

FRANCISCO, M.G.S.; MARUYAMA, W.I.; MENDONÇA, V.; SILVA, E.A.; REIS, L.L.; LEAL, S.T. Substratos e recipientes na produção de mudas de mamoeiro Sunrise solo. **Revista Agrarian**, v.3, n.9, p.267-274, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000100036>.

FREITAS, G.A.; SILVA, R.R.; BARROS, H.B.; MELO, A.V.; ABRAHÃO, W.A.P. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p. 159-166, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100020>.

GARCIA, É. A., e DE SOUZA, J. P. Avaliação da qualidade de mudas de guapuruvu em função de diferentes aplicações de adubo fosfatado. **Tekhne e Logos**, v. 6, n. 1, p. 51-59, 2015.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, 26: 655-664, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600002>.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. Viveiros florestais: propagação sexuada. Viçosa: UFV, v. 3, 2004.

GONÇALVES, M. D. P. M., JÚNIOR, F. S. D. S., DE SOUZA, F. W. B., DA SILVA, G. S. P., e SILIPRANDI, P. C. P. D. S. Desenvolvimento de mudas de *Aspidosperma parvifolium* em diferentes recipientes e substratos. **Revista Semiárido De Visu**, v. 7, n. 3, p. 285-293, 2020.

GORDIN, C.R.B.; SCALON, S.P.Q.; MASETTO, T.E. Disponibilidade hídrica do substrato e teor de água da semente na germinação de niger. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.3, p.312-318, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4535337>.

GUERRA, M. S., BARBOSA, M. S., COSTA, E., E VIEIRA, G. H. C. Recipiente biodegradável e substratos para mudas de maracujazeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 50-54, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v4i3.1641>.

GUIMARÃES, D. S. Emergência e crescimento inicial de espécies de physalis em diferentes substratos regionais. Anais Seminário de Iniciação Científica, n. 21, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.13102/semic.v0i21.2172>.

HARTER, F.S.; DEUNER, C.; MENEGHELLO, G.E.; VILLELA, F.A. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de mogango. **Horticultura Brasileira**, v.32, n.1, p.80-85, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000100013>.

KLEIN, C., e KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 21-29, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117014990>.

KRATZ, D., ENDLLING, I., NOGUEIRA, A. C., JOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1103-1113, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000600012>.

KIEHL, J.K. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Ceres, 492p., 1985.

LEITE, R.C.; CARNEIRO, J.S.S.; FARIA, A.J.G.; FREITAS, G.A.; SANDI, F.; CERQUEIRA, F.B. Influência de substratos e recipientes no desenvolvimento de mudas de

pepino. **Amazon Soil, I Encontro de Ciência do Solo da Amazônia Oriental**, Anais... Trabalhos completos, p.140-150, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v8n2p6173>.

LICODIEDOFF, S., KOSLOWSKI, L. A. D., e RIBANI, R. H. Flavonols and antioxidant activity of *P. peruviana* L. fruit at two maturity stages. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 2, p. 393-399, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i2.13265>.

LIMA, C.S.M.; GONÇALVES, M.A.; TOMAZ, Z.F.P.; RUFATO, A.R., FACHINELLO, J.C. Sistemas de tutoramento e épocas de transplante de *Physalis*. **Ciência Rural**, v. 40, n. 12, p. 2472-2479, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010001200006>.

LUDWIG, F., FERNANDES, D. M., GUERRERO, A. C., e BÔAS, R. L. Características dos substratos na disponibilidade de nutrientes e na produção de gébera. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/hb.v32i2.160>.

MAGGIONI, M. S.; ROSA, C. B. C. J.; ROSA JUNIOR, E. J.; SILVA, E. F.; ROSA, Y. B. C. J.; SCALON, S. P. Q.; VASCONCELOS, A. A. Desenvolvimento de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do recipiente e do tipo e densidade de substratos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 10-17, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000100002>.

MALDONADO, A. C. A., e SILVA, P. A. S. P. Produção de mudas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) em diferentes substratos e tamanhos de embalagens. **Agropecuária Técnica**, v. 31, n. 2, p. 119-125, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v31i2.4415>.

MALTA, A.O.; OLIVEIRA, V.E.A.; ALMEIDA, D.J.; SANTOS, A.S. Crescimento do meloeiro em diferentes substratos. **Revista Sítio Novo**, v.1, n.1, p.238-246, 2017.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas: Fealq**. FEALQ, Piracicaba, Brazil, 2015.

MEDEIROS, D.C.; AZEVEDO, C.M.S.B.; MARQUES, L.F.; SOUSA, R.A.; OLIVEIRA, C.J. Qualidade de mudas de tomate em função do substrato e irrigação com efluente de piscicultura. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas, v.8 n.2, p. 170-175, 2013.

MENDES, M. L., DE PAIVA SOBRINHO, S., DA LUZ, P. B., BARELLI, M. A. A., & NEVES, L. G. Influência do substrato e do nível de umidade sobre a germinação de sementes de pau-de-balsa. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 155-160, 2010.

MENDES, N. V. B., LIMA, D. D. C., CORRÊA, M. D. M., e NATALE, W. Emergence and initial development of bacabeira in different substrates and environments. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 90-99, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v8i2.503>.

MENDONÇA, V.; MELO, J.K.H; MENDONÇA, L.F.M.; LEITE, G.A.; PEREIRA, E.C. Avaliação de diferentes substratos na produção de mudas de porta enxertos de tamarindeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p.60 – 66, 2014.

MEZZALIRA, E.J.; VILLA, F.; PIVA, A.L.; SANTIN, A.; MELGAREJO, M.A. Initial development of *physalis* species under growing environments. **Revista de Ciências**

**Agroveterinárias**, v.16, n.3, p.293-301, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811711632017293>.

OLIVARES-TENORIO, M. L., DEKKER, M., VERKERK, R., e VAN BOEKEL, M. A. Health-promoting compounds in cape gooseberry (*P. peruviana* L.): review from a supply chain perspective. **Trends in Food Science e Technology**, v. 57, p. 83-92, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.009>.

NASCIMENTO, J. D. L., MAGALHÃES, G. A., PORTELA, R. R., SOUSA, V. D. O., BUARQUE, P. M. C., OLIVEIRA, M. D. S., e MOURA, C. P. D. Aplicação de processo adsorvente para dessulfurização de combustíveis utilizando fibra de coco como adsorvente. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190003.0731>.

NUNES, J. C., CAVALCANTE, L. F., LIMA NETO, A. J. D., REBEQUI, A. M., DINIZ, B. L., e GHEYI, H. R. Comportamento de mudas de nim à salinidade da água em solo não salino com biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1152-1158, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012001100002>.

OLIVEIRA, F.A.; SÁ, F.V.S.; PAIVA, E.P.; ARAÚJO, E.B.G.; SILVA, M.K.N.; ANDRADE, R.A.; MOREIRA, R.C.L.; SOUTO, L.S. Emergência e crescimento inicial de plântulas de repolho cv. Chato de Quintal sob estresse salino. **Revista Agropecuária Técnica**, v.36, n.1, p.273-279, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v36i1.24682>.

OLIVEIRA, J. A., PEREIRA, M. C., NIETSCHKE, S., SOUZA, V. N., e DE JS COSTA, I. Aclimatização de mudas micropropagadas de bananeira em diferentes substratos e recipientes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 72-78, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3682>.

OLIVEIRA, G.H.; CASAROLI, D.; FAGAN, E.B.; SILVA, J.O.; SOARES, L.H.; SOUSA, M.C. Avaliação do crescimento de mudas de tomate em diferentes tipos de bandejas comerciais. **Cerrado Agrociências**, v.2, p.84- 90, 2011.

PELIZZA, T.R.; SILVEIRA, F.N.; MUNIZ, M.; ECHER, A.H.B; MORSELLI, T.B.G.A. Produção de mudas de meloeiro amarelo, sob cultivo protegido, em diferentes substratos. **Revista Ceres**, v. 60, n.2, p. 257-261, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000200015>.

PEZZUTTI, R. V., e CALDATO, S. L. Sobrevivência e crescimento inicial de mudas de *Pinus taeda* L. com diferentes diâmetros do colo. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 355-362, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050983240>.

PINTO, L. E. V., SPÓSITO, T. H. N., MARCHIZELLI, A. M., e GODINHO<sup>1</sup>, F. B. M. "Efeito da adubação foliar na produção de mudas de abóbora menina brasileira." **Colloquium Agrariae**. Vol. 12. 2016.

PUENTE, L.A.; PINTO-MUÑOZ, C.A.; CASTRO, E.S.; CORTÉS, M. *P. peruviana* L., the multiple properties of a highly functional fruit: a review. **Food Research International**, v.44, p.1733-1740, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>.

RAMADAN, M. F. Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*P. peruviana*): an overview. **Food Research International**, 44:1830- 1836, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.042>.

RODRIGUES, M. H. B. S., LOPES, K. P., DA SILVA SANTOS, A., e DA SILVA, J. G. **Aspectos Gerais da *P. peruviana* L. Meio Ambiente (Brasil)**, v. 1, n. 2, 2020.

RODRIGUES, B. F. **Efeitos de diferentes substratos e tamanhos de recipientes na produção de mudas de mamoeiro**. 2017.

RODRIGUES, E.T.; LEAL, P.A.M.; COSTA, E.; PAULA, T.S.; GOMES, V.A. Produção de mudas de tomateiro em diferentes substratos e recipientes em ambiente protegido, **Horticultura Brasileira**, v.28, n.4 p.483-488, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000400018>.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; BOGNOLA, I. A.; POMIANOSKI, D. J. W.; SOARES, P. R. C.; BARROS, L. T. S. Fertilização de liberação lenta no crescimento de mudas de Paricá em viveiro. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 33: 227-234, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.75.429>.

RUFATO, A. D. R., RUFATO, L., LIMA, C. S. M., e MUNIZ, J. **A cultura da physalis. Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2013.

SANTOS, M. R., SEDIYAMA, M. A. N., SALGADO, L. T., VIDIGAL, S. M., e REIGADO, F. R. Produção de mudas de pimentão em substratos à base de vermicomposto. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, 2010.

SILVA, A., NASCIMENTO, M., TANAN, T., LEITE, R., e OLIVEIRA, U. Rendimento de massa seca de *Physalis angulata* L. sob proporções de nitrato e amônio em cultivo hidropônico. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.18677/EnciBio\\_2018A74](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018A74).

SILVA, W.L.; BRITO, A.S.; BRITO, C.F.B.; MESQUITA, N.L.S.; SILVA, Y.C.P. Desenvolvimento de maracujazeiro em recipientes e substratos a base de resíduo de vermiculita. **Revista Agrotecnologia**, v.7, n.2, p.53-60, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.12971/agrotec.v7i2.5314>.

SILVA JÚNIOR, J.V.; BECKMANN, M.Z.; SILVA, L.P. BRITO, L.P.S.; AVELINO, R.C.; CAVALCANTE, I.H.L. Aproveitamento de materiais alternativos na produção de mudas de tomateiro sob adubação foliar. **Revista Ciência Agronômica, Fortaleza**, v.45, n.3, p.528-536, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000300013>

SILVA, R.R.; RODRIGUES, L.U.; FREITAS, G.A.; MELO, A.V.; NASCIMENTO, I.R.; D'ANDRÉA, A.F. Influência de casca de arroz carbonizada em diferentes substratos na qualidade de mudas de tomateiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, p.803-809, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v7isa2227>.

SOUZA, E.G.F.; BARROS JÚNIOR, A.P.; SILVEIRA, L.M.; CALADO, T.B.; SOBREIRA, A.M. Produção de mudas de alface babá de verão com substratos a base de esterco ovino. **Revista Caatinga**, v.26, n.4, p.63 – 68, 2013.

STAHL, J.; ERNANI, P. R.; GATIBONI, L. C.; CHAVES, D. M.; NEVES, C. U. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. **Ciência Florestal**, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/198050989275>.

SCHOSSLER, T. R., MACHADO, D., ZUFFO, A. M., ANDRADE, F., e PIAUILINO, A. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TESSARO, D.; MATTER, J. M.; KUEZMAN, O.; FURTADO, L.; COSTA, L.A.M. & COSTA, M.S.S.M. Produção agroecológica de mudas e desenvolvimento a campo de couve-chinesa. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 831-837, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000036>.

VALLONE, H. S., GUIMARÃES, R. J., MENDES, A. N. G., SOUZA, C. A. S., CUNHA, R. L. D., e DIAS, F. P. Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 55-60, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000100006>.

VILLA, F.; SILVA, D.F.; PERON, T.A.; MEZZALIRA, E.J. Initial development of *Physalis* seedlings in substrates and containers. **Comunicata Scientiae**, v.9, n.1, p.50- 57, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/cs.v9i1.1313>.

ZACCHEO, P.V.C.; AGUIAR, R.S.; STENZEL, N.M.C.; NEVES, C.S.V.J. Tamanho de recipientes e tempo de formação de mudas no desenvolvimento e produção de maracujazeiro-amarelo, **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 35, n. 2, p. 603-607, jun., 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452013000200032>.

**ANEXO A** – Resumo da análise de variância das seguintes características de emergência e variáveis de crescimento: porcentagem de emergência das plântulas (E), índice de velocidade de emergência (IVE) altura das plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

	GL	QM								
		E	IVE	AP	DC	NF	AF	MSPA	MSR	IQD
Recipiente	3	3,18E+3 *	7,80E-1 *	8,28E+2 *	2,18E+1 *	1,17E+1 *	7,67E+3 *	3,00E+1 *	2,37E+0 *	3,70E-1*
Substrato	5	1,49E+3 *	3,99E-1 *	4,25E+2 *	1,33E+0 *	4,46E+0 *	4,16E+3 *	8,09E+0 *	1,26E-1 <sup>NS</sup>	3,26E-2 <sup>NS</sup>
Recipiente x Substrato	15	8,54E+2 *	8,18E-2 *	1,12E+2 *	1,77E+0 *	3,04E+0 *	1,89E+3 *	4,72E+0 *	1,85E-1 <sup>NS</sup>	3,19E-2 <sup>NS</sup>
Resíduo	96	2,92E+2	2,18E-2	8,12E+0	4,40E-1	6,33E-1	2,17E+2	1,22E+0	1,12E-1	1,85E-2
Total	119	5,81E+3	1,28E+0	1,37E+3	2,53E+1	1,98E+1	1,39E+4	4,40E+1	2,79E+0	4,53E-1
CV (%)		20,35	24,54	19,6	29,43	16,08	49,51	65,1	69,48	54,47

\* F significativo a 5% de probabilidade; e <sup>NS</sup> F não-significativo a 5% de probabilidade.

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; QM = quadrado médio; e CV = coeficiente de variação.

Fonte: Freitas, E.M. (2022).

### CAPÍTULO 3: EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DA *Physalis peruviana* L. CULTIVADA COM PAPEL RECICLADO COMO COBERTURA DE SOLO

#### HIGHLIGHTS

- O manejo hídrico favorece o cultivo *Physalis peruviana* em regiões tropicais.
- Aspectos referentes ao consumo hídrico da *P. peruviana* foram avaliados em distintos manejos.
- O  $K_c$  da *P. peruviana* difere entre as fases fenológicas com a presença ou não de cobertura de solo.
- O  $K_c$  da *P. peruviana* pode ser estimado por meio do NDVI.
- O papel reciclado como cobertura de solo diminui evaporação e consumo hídrico de *P. peruviana*.

#### RESUMO

O uso de cobertura no solo é uma prática agrícola que visa, principalmente, controlar as plantas daninhas. No entanto, ao se cobrir o solo, parâmetros importantes do microclima são alterados, reduzindo significativamente o processo de evaporação da água do solo. Informações a respeito de economia de água e dos coeficientes de cultivo, quando se utiliza o papel como cobertura de solo, são inexistentes, gerando demanda de pesquisas. Sobretudo para a cultura da *Physalis peruviana*, uma solanaceae que tem sido incorporada ao mercado e tem despertado interesse devido às suas qualidades organolépticas e alto valor agregado. Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da cobertura do solo com papel reciclado na evaporação e evapotranspiração da cultura da *P. peruviana*; e determinar os coeficientes de cultura nos seus estádios de desenvolvimento. O estudo foi realizado em dois ciclos de cultivo conduzidos na Estação Lisimétrica de Viçosa, MG, Brasil. Os experimentos foram instalados no delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, onde foram aplicados quatro tratamentos: cultivo de *P. peruviana* sem cobertura de papel (C); cultivo com papel reciclado como cobertura (CP); lisímetro ocupado com apenas papel reciclado (P); e lisímetro cultivado com grama batatais (G). Foram mensurados, diariamente, as irrigações e drenagens em cada lisímetro para o cálculo das evapotranspirações da cultura (ET<sub>c</sub>) e de referência (ET<sub>o</sub>), e, portanto, os valores do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>). Além disso, foram realizadas avaliações quanto a fenologia da

cultura, características dos frutos, trocas gasosas, produtividade e índice de vegetação pelo NDVI. Para o primeiro ciclo de cultivo, ao longo de 218 dias os consumos hídricos verificados nos lisímetros C, CP, P e G foram de 405, 291, 88 e 444 mm, respectivamente. Já para o segundo ciclo, ao longo de 206 dias, os consumos foram de 416, 279, 94 e 331, respectivamente. O papel reciclado reduziu significativamente o consumo hídrico, principalmente na fase inicial e final, reduzindo também os valores de  $K_c$ . Os valores de  $K_c$  para *P. peruviana* cultivada com cobertura de solo foram de 0,25; 0,55; 1,05 e 0,65 e sem a cobertura foram de 0,45; 0,85; 1,35 e 0,75 para os estádios inicial, desenvolvimento, médio e final, respectivamente. O NDVI pode ser utilizado na estimativa de valores de  $K_c$  de *P. peruviana*. Mesmo reduzindo o consumo hídrico, o papel reciclado não proporcionou prejuízos às características fisiológicas e agronômicas da cultura, podendo ser recomendado para cobertura de solo no cultivo de *P. peruviana*.

**Palavras-chave:** Consumo hídrico, evaporação, lisímetro de drenagem, manejo de irrigação.

## 1. INTRODUÇÃO

O clima, solo e a água se destacam como os elementos de maior interferência no crescimento e desenvolvimento das plantas. O estabelecimento de padrões de cultivo e a adoção de técnicas de manejo, que propõem mais racionalidade e eficiência no uso desses recursos, são essenciais para garantir a produtividade e qualidade da cultura.

O cultivo com cobertura do solo pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência do uso água. A cobertura reduz significativamente o processo de evaporação da água do solo, e como consequência, há redução da lâmina de irrigação e aumento na eficiência no uso da água (ALLEN et al., 1998). Além disso, a cobertura do solo aumenta a eficiência no uso dos fertilizantes, aumenta a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas e minimiza o efeito negativo das plantas daninhas. A cobertura do solo institui um microclima favorável à planta devido às alterações do balanço de energia (absorvância e reflectância) e transferência de calor sensível e, em algumas culturas, pode antecipar a colheita (BELLVERT et al., 2021; YAGHI; ARSLAN; NAOUM, 2013).

Tradicionalmente, para impedir a perda de água pelo processo de evaporação, era utilizada a palhada como cobertura de solo ou simplesmente restos de folhas em decomposição. Posteriormente, por apresentar melhores resultados quanto à economia de água, aliado a diversas vantagens, o polietileno se tornou o material mais utilizado para esta finalidade, sobretudo em regiões áridas (YANG et al., 2015). Entretanto, devido à sua constituição química

e por não ser biodegradável em condições naturais, podendo acarretar acúmulo de resíduos plásticos no solo ao longo dos anos, tem se buscado substitutos para o polietileno (LIU; HE; YAN, 2014). Uma alternativa recentemente descoberta que pode competir com o plástico é o uso de papel reciclado como cobertura de solo. FREITAS et al. (2021) ao estudar diferentes tipos de papel para esta finalidade concluíram que existem alternativas com grande potencial para substituir o polietileno tradicional. A cobertura de papel reciclado também pode promover a redução da temperatura do solo (COOLONG, 2010; FREITAS et al., 2021), controlar plantas daninhas (FREITAS et al., 2021; HAAPALA et al., 2015; MORENO et al., 2013) e economizar água (CHAKRABORTY et al., 2010; FREITAS et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2020).

Visto que as atividades relacionadas à agricultura são as que mais utilizam os recursos hídricos em todo mundo, o uso de manejos que propõem maior racionalidade e eficiência no uso deste recurso, tem se destacado em importância (ANA, 2016). Isso é devido, principalmente, a limitada disponibilidade espacial e temporal dos recursos hídricos. Dessa forma, o conhecimento das reais necessidades hídricas das culturas agrícolas nos diferentes estádios fenológicos do seu ciclo, assim como a determinação de parâmetros e coeficientes técnicos que irão interferir diretamente no desenvolvimento da planta, são fundamentais. A determinação precisa da água evapotranspirada pelo sistema solo-planta-atmosfera, assim como o conhecimento do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), são essenciais na tentativa de racionalizar o uso da água na agricultura. Uma vez que as determinações desses parâmetros se tornem mais acuradas, reduções no custo de produção do sistema agrícola e no impacto ao meio ambiente poderão ser atingidos (ALFACE et al., 2019; ALLEN et al., 1998; DOORENBOS; PRUITT, 1997; OLIVEIRA et al., 2020).

O  $K_c$  é considerado um parâmetro importante para o planejamento e conhecimento das necessidades hídricas da planta. Está relacionado aos fatores fisiológicos e ambientais de cada cultura e varia de acordo com a fase fenológica da espécie e as condições locais de cultivo. Seus valores referem-se à evapotranspiração de plantas livres de doenças com excelente fertilidade do solo e condições hídricas, permitindo que atinjam seu potencial produtivo (MARIN et al., 2020; PANIGRAHI et al., 2021). Dessa forma, é determinado pela relação entre a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e de referência ( $ET_o$ ) estimada por fórmulas ou elementos da demanda evaporativa (ALLEN et al., 1998). Essas variáveis básicas dependem dos elementos meteorológicos, da cultura e do solo, podendo ser medidas de forma direta (lisímetros) ou indireta (equações combinadas) por diferentes métodos (BERNARDO et al., 2019; SOUZA, 2021). Várias culturas já possuem valores de  $K_c$  determinados, porém algumas

que tem apresentando recentemente notável destaque no mercado agrícola, ainda possuem conhecimento incipiente quanto a essa variável. Uma cultura que ganha destaque nesse sentido é a *Physalis peruviana* L., fruteira pertencente à família da *Solanaceae* e classificada como nobre (APARECIDO et al., 2019; MARCHIORETTO et al., 2020).

A cultura da *P. peruviana* é vista como uma excelente alternativa para o cultivo, principalmente para médios e pequenos produtores, visto que se desenvolve em ampla gama de condições agroecológicas, sendo adaptada a diversos climas e tipos de solo (RUFATO et al., 2013). Apesar de ser uma alternativa econômica promissora, as informações da demanda hídrica no cultivo são escassas. Muitas vezes os tratamentos culturais e manejos são baseados em outras culturas da mesma família, mas com alto rendimento, como o tomate (*Solanum lycopersicum*) (MAYES et al., 2012; VINCENT et al., 2013), ou mesmo baseado em boletins técnicos das regiões de cultivo. A falta de melhores informações sobre a cultura pode levar a erros de omissão ou excesso no uso de insumos. Também pode proporcionar gastos econômicos desnecessários e/ou expressão de distúrbios metabólicos resultantes do suprimento insuficiente ou elevado de determinado nutriente.

Nesse contexto, não há no Brasil estudos sobre a demanda hídrica e dos coeficientes técnicos da cultura da *P. peruviana*, principalmente relacionado ao uso de papel como cobertura do solo. Visto que o cultivo e a pesquisa são recentes e o referencial de informações é de países do hemisfério norte, é de fundamental importância a confecção de dados que visam identificar e quantificar a demanda hídrica da *P. peruviana*. Dessa forma, objetivou-se determinar o consumo hídrico, Kc e as características agronômicas de *P. peruviana* cultivada com e sem o uso de papel reciclado como cobertura no solo.

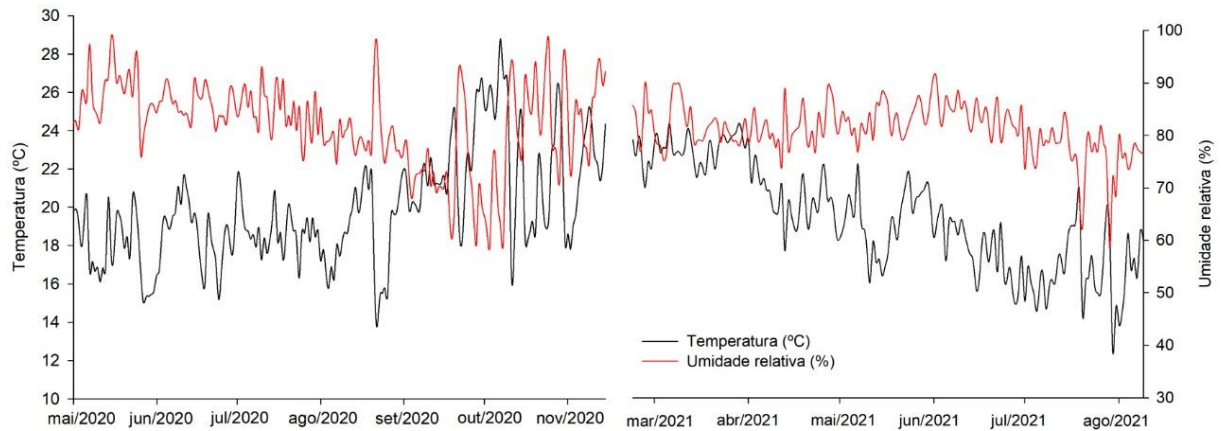
## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Caracterização da área**

O estudo foi conduzido na estação lisimétrica localizada na Área Experimental de Irrigação e Drenagem, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (DEA/UFV), em Viçosa-MG. A área é situada na latitude de 20° 45' S, longitude de 42° 52' W e altitude de 651 m acima do nível do mar. De acordo com classificação de Köppen, o clima da região é Cwa, tropical de altitude, apresentando inverno seco com temperaturas amenas e o verão quente e chuvoso (ALVARES et al., 2013).

Na Figura 1 encontram-se os comportamentos das variáveis meteorológicas ocorridas no interior do ambiente protegido durante a condução do experimento (2020/2021).

**Figura 1** – Variações diárias de (A) temperatura do ar (°C) e (B) umidade relativa do ar (%), no período de 20/06/2020 à 11/11/2020 (ciclo 1) e de 01/03/2021 à 26/08/2021 (ciclo 2)



Fonte: Freitas, E.M. (2022).

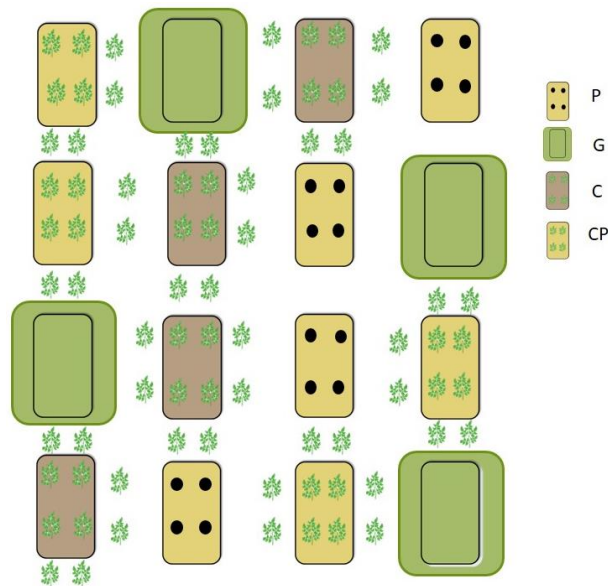
As altas temperaturas são características da região em que o experimento foi conduzido para o período de setembro a novembro. Nesse caso, muitas respostas obtidas para o desenvolvimento das plantas podem ser atribuídas ou influenciadas por essas variáveis durante a execução dos ensaios, principalmente se tratando de um ambiente protegido em que as trocas de energia térmica acontecem em menor intensidade.

## 2.2. Caracterização do ensaio experimental

O experimento foi realizado em duas épocas de cultivo, a primeira no período de abril a novembro de 2020 e a segunda no período de fevereiro a agosto de 2021. A estação lisimétrica está montada em ambiente protegido, que possui 6,3 m de largura por 11,4 m de comprimento, totalizando 71,8 m<sup>2</sup>, onde se encontram instalados 16 lisímetros de drenagem.

Os experimentos foram instalados em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições (Figura 2). Foram testados quatro tratamentos: C: cultivo da *P. peruviana* em lisímetro sem utilização de cobertura; CP: cultivo da *P. peruviana* com uso de cobertura de papel reciclado; P: lisímetro somente com cobertura de papel reciclado; e G: lisímetro cultivado com grama batatais.

**Figura 2** – Layout da área experimental



Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Para os tratamentos com o cultivo da *P. peruviana*, foram utilizadas mudas espaçadas de 1,2 m x 0,5 m, sendo transplantadas quatro plantas por lisímetro. Para o tratamento com cobertura de papel, foi utilizado o papel reciclado (cor marrom) de 187  $\mu\text{m}$  de espessura (P. N. Papeis, Ponte Nova, BRA). Nesses tratamentos foram feitos orifícios de 10 cm de diâmetro para permitir o crescimento das plantas e favorecer a evaporação. No tratamento com apenas cobertura de papel reciclado, também foram feitos orifícios de 10 cm de diâmetro para permitir a evaporação. Para os lisímetros cultivados com grama babatais, foi mantida altura da grama entre 10 e 15 cm. Esse tratamento foi utilizado simulando a cultura de referência, assim como descrito por Allen et al. (1998) para determinar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Plantas de *P. peruviana* também foram cultivadas ao redor dos lisímetros, para minimizar o efeito de borda.

### 2.3. Material vegetal

As mudas de *P. peruviana* utilizadas foram produzidas a partir de sementes adquiridas de frutos maduros obtidos de cultivos localizados no município de Diamantina, Minas Gerais. Os frutos foram cortados, colocados em peneira e lavados para retirada do excesso de polpa. As sementes extraídas foram dispostas em bandejas com papel toalha e secas em condições ambiente ( $\pm 25$  °C) por 24 h. Antes da produção das mudas foram realizados testes para comprovação da qualidade e viabilidade das sementes. Foram realizadas análise de vigor das sementes com testes de germinação e análise de emergência de plântulas, seguindo os

procedimentos de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Os testes foram conduzidos no Laboratório de Análises de Sementes pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa. A partir das respostas destas análises, foi constatado que as sementes eram viáveis e apresentavam germinação igual a 96%. Assim, foram então executadas as atividades de semeadura.

A semeadura foi realizada utilizando 2 a 3 sementes por células, a 0,5 cm de profundidade em recipientes de polipropileno com capacidade para 50 mL, preenchidos com substrato comercial Hortiplant<sup>®</sup> e acondicionados em ambiente protegido recebendo três irrigações diárias com auxílio de regador. Vinte dias após a germinação, as mudas foram desbastadas deixando-se apenas a mais vigorosa. Neste estudo, entende-se por planta mais vigorosa aquela que apresentou maior altura e área foliar. Quando as mudas alcançaram aproximadamente 20 cm de comprimento, em média aos 54 dias após a semeadura (DAS), no dia 20 de junho de 2020 para o primeiro ciclo e no dia 01/03/2021 para o segundo ciclo, foram então transplantadas para os lisímetros.

Quanto as recomendações para correção da acidez e fertilidade do solo para cultivo da *P. peruviana*, estas foram realizadas conforme recomendações para a cultura do tomateiro (MUNIZ et al., 2014). Este procedimento foi realizado devido no Brasil ainda não existir recomendação de adubação específicas para a cultura da *Physalis*.

Em relação aos tratos culturais, durante o cultivo foi realizado o tutoramento vertical das plantas, sendo conduzidas no sistema em “V”, em que dois ramos principais foram conduzidos por fios de polietileno até a altura de 1,6 m do solo. Para tanto, foram realizadas podas de formação a partir dos 0,45 m de altura e desbrota quinzenal dos ramos laterais, permitindo boa entrada de luz e aeração (LIMA et al., 2010) Foram realizadas capinas manuais dentro e fora dos lisímetros para evitar aumento de consumo hídrico. Além disso, para controle de pragas e doenças, foram realizadas ao longo do ciclo da cultura aplicações de inseticidas e fungicidas de forma preventiva.

As colheitas foram realizadas a partir do estágio de coloração do cálice amarelo esverdeado. Esses procedimentos foram efetuados manualmente e aleatoriamente em diversas posições e orientações na planta, com utilização de luvas e caixas plásticas de colheita lavadas e desinfetadas.

## 2.4. Fases fenológicas da *P. peruviana*

As avaliações fenológicas ocorreram a partir da emergência das plântulas, conforme a metodologia adaptada por Gouveia e Felfili (1998). Sendo o início de cada evento fenológico determinado quando 30% da população de plantas apresentaram mudanças, sendo avaliados os seguintes estádios:

- Estádio 1 - folhas verdadeiras: plântulas com um par de folhas verdadeiras totalmente expandidas e aproximadamente com 20 cm de comprimento, estando aptas ao transplante;
- Estádio 2 - gemas florais: plantas com gemas florais esféricas e pubescentes, de aproximadamente 10 mm; no ramo principal, as gemas estavam acompanhadas de uma folha e uma ramificação, e nos ramos secundários, acompanhadas de uma folha de maior tamanho com outra de menor tamanho;
- Estádio 3 - botões florais: plantas com botões proeminentes, a corola sobressai-se ao cálice, sendo identificado como início de botões florais;
- Estádio 4 - flores abertas: plantas com flores em dois estádios, com a corola parcialmente ou completamente aberta, ou seja, início de flores abertas;
- Estádio 5 - frutos: plantas com surgimento de frutos, ainda em estágio de maturação;
- Estádio 6 - início da queda das folhas e frutos: desprendimento natural das primeiras folhas senescentes (coloração amarela) e dos frutos.
- Estádio 7 - colheita: frutos maduros, coloração do cálice dos frutos a partir do amarelo-esverdeado.

Posteriormente, em cada lisímetro e após transplântio das mudas, foram mensurados os números de dias após transplântio (DAT) e graus-dia acumulados (GD) para que ocorressem cada etapa fenológica descrita acima.

## 2.5. Dados meteorológicos

A partir das datas de ocorrência e dias após a emergência (DAE) dos eventos fenológicos, foram calculados os graus-dia (GD) acumulados para alcançar o início de cada fase fenológica, considerando-se 6,3 °C como temperatura basal inferior (SALAZAR et al., 2008).

Os dados meteorológicos foram coletados em uma estação meteorológica automática da marca DAVIS, modelo Vantage Pro II, previamente instalada na área experimental. Estas

estações possuem sensores que fornecem dados horários de temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa (%), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ), radiação solar ( $\text{W m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) e precipitação pluvial (mm).

O cálculo de graus-dia foi de acordo com a Equação 1. Optou-se por uma abordagem mais simplificada, considerando apenas a temperatura basal inferior, devido a temperatura basal superior de  $38^{\circ}\text{C}$  (OMETTO, 1981) não ter sido atingida em nenhum momento nos dois ciclos de cultivo.

$$\text{GD} = \sum_{i=1}^n (\text{Ti} - \text{Tb}) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que, GD são os graus-dia acumulados no período considerado; Ti é a temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ); Tb é a temperatura basal inferior, sendo de  $6,3^{\circ}\text{C}$  (SALAZAR et al., 2008).

Para as avaliações fenológicas, o cálculo de GD foi realizado a partir da data de emergência das sementes. Já para as análises de Kc, esses dados foram contabilizados a partir da data de transplantio das mudas para os lisímetros.

## 2.6. Descrição e manejo dos lisímetros

Os lisímetros utilizados são caixas de cimento-amianto que possuem 1,10 m de largura e 1,53 m de comprimento, resultando na área superficial de  $1,68 \text{ m}^2$ . Os lisímetros também possuem 0,70 m de profundidade resultando no volume de  $1,01 \text{ m}^3$ . Os mesmos foram preenchidos com uma camada inferior de 0,03 m de brita zero, uma intermediária de 0,12 m de areia e uma camada superior com 0,50 m de solo. Além disso, foram deixados 0,05 m de altura dos lisímetros acima do nível do solo, para evitar entrada e saída de água via escoamento superficial. Na área dos lisímetros foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento superficial, utilizando-se gotejadores com vazão média de  $1,0 \text{ L h}^{-1}$ , espaçados em 0,30 m.

O solo utilizado para preenchimento dos lisímetros foi caracterizado por meio de análises química e físico-hídricas. A análise química foi realizada no laboratório de solos, pertencente ao Departamento de Solos da UFV. Já as análises físico-hídricas, como densidade, textura, porosidade e capacidade de retenção de água no solo foram determinadas no Laboratório de Solo e Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, utilizando metodologias recomendadas pela EMBRAPA (2017). No experimento, os lisímetros foram preenchidos com solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (Latossolo) (Santos et al., 2018), com as características físico-hídricas e químicas apresentadas na Tabela 5.

**Tabela 1** – Características químicas, físicas e hídricas do solo utilizado nos lisímetros de drenagem

pH	Areia	Silte	Argila	P	K <sup>+</sup>	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al
H <sub>2</sub> O	%			mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			
6,0	57	13	30	192	960	0	4,41	3,92	0	3,96
SB	t	T	V	m	MO	CC	PMP			
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%		dag kg <sup>-1</sup>	cm cm <sup>-3</sup>				
10,79	10,79	14,75	73,2	0	4,3	0,291	0,236			

SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva; T = CTC total, V = saturação por bases; m = saturação por alumínio; MO = matéria orgânica; CC = capacidade de campo; PMP = ponto de murcha permanente. Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Inicialmente, os solos dos lisímetros foram saturados para alcançar o teor de umidade correspondente à capacidade de campo depois que a percolação fosse desprezível. Esse procedimento inicial teve como objetivo uniformizar a umidade em todos os lisímetros e criar uma referência para o controle diário da lâmina e do tempo de irrigação. As medições de drenagem foram realizadas diariamente, para que fosse possível calcular a evapotranspiração diária da cultura. A água de drenagem foi coletada em recipientes, dentro de um abrigo, com o auxílio de uma tubulação de PVC de ½” instalada no fundo de cada lisímetro e, posteriormente, o volume foi obtido via massa da água medida em balança de precisão. Para que ocorressem drenagens nos lisímetros, foram realizadas irrigações em excesso, 10% maior que a evaporação ou evapotranspiração do dia anterior. Desta forma ficou garantido que a cultura sempre se manteve na CC.

A coleta dos dados ocorreu a partir do dia 21 de junho de 2020, 1º dia após a semeadura (DAS) para o primeiro ciclo de cultivo e a partir do dia 1 de março de 2021 para o segundo ciclo. As irrigações foram realizadas diariamente, durante todo o ciclo da cultura, sendo a lâmina de água aplicada determinada de acordo com a equação seguinte:

$$L = VA \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: L é a lâmina de água aplicada, mm; V é o volume de água, L; e A é a área do lisímetro em metros quadrados (1,68 m<sup>2</sup>).

## 2.7. Consumo hídrico e coeficientes técnicos

### 2.7.1. Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi determinada a partir do balanço hídrico, que possui seu fundamento na Lei da Conservação de Massas, como apresentado na Equação 3.

$$P + I - D - ETc = \pm \Delta h \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: P - precipitação pluvial, mm; I - lâmina de água de irrigação, mm; D - lâmina de drenagem profunda, mm;  $ET_c$  - evapotranspiração da cultura,  $mm\ d^{-1}$ ; e  $\Delta h$  - variação da armazenagem da água no solo, em mm.

Para evitar grandes variações no armazenamento de água no solo e mantê-lo com umidade próxima à capacidade de campo, as irrigações foram realizadas diariamente. Desse modo, esse termo da equação de conservação de massas se torna pequeno, passando a ser desconsiderado no balanço hídrico. Como os lisímetros estão localizados em área com cobertura, não houve necessidade de contabilizar a precipitação. De acordo com essas considerações, a equação para determinação da  $ET_c$  foi assim simplificada:

$$ET_c = I - D \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:  $ET_c$  - evapotranspiração da cultura,  $mm\ d^{-1}$ ; I - lâmina de água aplicada por irrigação,  $mm\ d^{-1}$ ; D - água drenada do lisímetro,  $mm\ d^{-1}$ .

Nos lisímetros cultivados com a grama batatais, a  $ET_c$  obtida por meio da Equação 4 foi assumida como a  $ET_o$ .

É oportuno ressaltar que todo o percolado coletado do dia, em cada lisímetro, foi reaplicado juntamente com a água de irrigação naquele mesmo lisímetro para garantir o equilíbrio de sais e nutrientes no solo. Entretanto, antes da aplicação da água nos lisímetros, a condutividade elétrica e o pH da água foram medidos para conferir se a mesma não acarretaria prejuízos à cultura. Já as plantas cultivadas na bordadura foram irrigadas utilizando-se regadores, e o manejo hídrico foi para atendimento de 100% da evapotranspiração da cultura.

### 2.7.2. Coeficiente da cultura ( $K_c$ )

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) foi obtido conforme a Equação 5, proposta por Allen et al. (1998). O  $K_c$  foi a relação entre a evapotranspiração máxima da cultura, considerada como a que ocorre em condições hídricas ideais no solo e obtida pela Equação 4, e a evapotranspiração obtida nos lisímetros cultivados com grama batatais ( $ET_o$ ).

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:  $K_c$  - coeficiente da cultura, adimensional;  $ET_c$  - evapotranspiração da cultura,  $mm\ d^{-1}$  e  $ET_o$  - evapotranspiração da grama,  $mm\ d^{-1}$ .

Além disso, foi determinado o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) para condição de uso de cobertura no solo. Os valores de  $K_c$  foram obtidos por meio das médias dos valores individuais

calculados no período de cada fase. A caracterização dos estádios foi elaborada a partir de observações de campo com base nas metodologias adaptadas de Obrecht (1993) e a proposta no boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998). Dessa forma, para cada fase considerou-se: estágio I (inicial) = transplântio até 15% da cobertura do solo; estágio II (desenvolvimento) = dos 15% de cobertura do solo até o início da floração; estágio III (médio) = início da floração até início da maturação; estágio IV (final) = início da maturação até colheita ou senescência completados.

### 2.7.3. Coeficientes de evaporação (Ke) e de cultivo basal (Kcb)

O coeficiente de evaporação do solo (Ke) e o valor do coeficiente de cultura basal (Kcb) foram determinados diariamente usando equações adaptadas de Allen et al. (1998). O Ke foi determinado utilizando a Equação 6. Para isso, a evaporação obtida no tratamento somente utilizando o papel como cobertura de solo (P) foi dividido pelos dados de evapotranspiração obtidos no tratamento em que foi cultivada a grama nos lisímetros (G), conforme apresentado na Figura 1.

$$K_e = \frac{E_p}{E_{T_o}} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que: Ke é o coeficiente de evaporação do solo, adimensional; Ep é a evaporação dos lisímetros cobertos com papel reciclado e não vegetados, mm; e ET<sub>o</sub> é a evapotranspiração da grama, mm d<sup>-1</sup>.

Como a irrigação ocorria diariamente, com alta frequência de irrigação (intervalo de um dia), foi assumido que o valor do coeficiente de umidade do solo (Ks) era igual a 1 (um). Conseqüentemente, Kcb foi obtido pela diferença entre os coeficientes de evaporação da cultura e do solo.

$$K_{cb} = \frac{K_c - K_e}{K_s} \quad (\text{Equação 7})$$

Em que: Kcb é o coeficiente de cultivo basal, adimensional; Kc é o coeficiente de cultivo, adimensional; Ke é o coeficiente de evaporação do solo, adimensional; e Ks é o coeficiente de umidade do solo, adimensional.

## 2.8. Análise de Kc utilizando NDVI

Os dados espectrais foram coletados com um sensor ativo (GreenSeeker® Handheld Crop Sensor da Empresa Trimble). Trata-se de um sensor portátil, com dois tipos de LED “light

emitting diodes”, que emitem radiação ativa em dois comprimentos de onda centralizados no vermelho (660 nm) e no infravermelho próximo (770 nm), com largura de banda de aproximadamente 25 nm. Os dados de saída incluem cinco índices de vegetação, entretanto, para este trabalho, foram utilizados apenas os dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

As leituras de NDVI foram realizadas em média a cada três dias, com o dispositivo posicionado a 0,6 m de altura das plantas, de acordo com as recomendações de Zhitao et al. (2014). Assim, as leituras foram feitas ao longo de todo o comprimento dos lisímetros, e a média de duas leituras por lisímetro foi o valor final considerado.

## **2.9. Características avaliadas**

Para avaliar o desempenho de *P. peruviana* submetida a cobertura do solo, foram realizadas avaliações fisiológicas, parâmetros de crescimento das plantas e parâmetros de qualidade e produtividade dos frutos.

### **2.10. Avaliações fisiológicas**

Foram avaliados parâmetros de trocas gasosas utilizando um analisador de gases por infravermelho (IRGA, modelo CIRAS-3, PPSsystems, Amesbury, USA) com CO<sub>2</sub> de referência de 390  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  e intensidade luminosa de 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . As medições foram realizadas entre às 09:00 e 10:00 h (horário solar) utilizando duas plantas por unidade experimental, em folhas completamente desenvolvidas, registrando cinco medições para cada planta durante 60 segundos. Foram avaliados os seguintes parâmetros: assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), taxa de transpiração (*E*), concentração de carbono interno (*C<sub>i</sub>*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*) e razão da concentração interna pela concentração externa de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>*). Para determinação da eficiência no uso da água (WUE) foi considerada a relação entre a taxa assimilatória líquida e transpiração (*A/E*).

### **2.11. Parâmetros de crescimento da planta e qualidade dos frutos**

As observações de crescimento foram realizadas quinzenalmente a partir do transplante da muda, totalizando 10 avaliações e alcançando 150 dias após o transplante (DAT). Para as avaliações foram utilizadas quatro plantas por tratamento em cada repetição. A altura da planta foi determinada utilizando trena graduada (cm) e o diâmetro do caule foi obtido com auxílio de

paquímetro digital com 0,01 mm de precisão. Para análise da área foliar, esta foi realizada utilizando um método destrutivo.

Para as avaliações de qualidade dos frutos foram considerados os frutos totalmente maduros no ponto de colheita. Foram mensuradas a massa do fruto e massa total (g), com auxílio de uma balança digital de precisão (0,01 g), em que para massa total foi verificada a massa da fruta com o talo e o cálice. Foram determinados ainda os diâmetros transversal e longitudinal do fruto, onde as medições foram realizadas com auxílio de um paquímetro digital. Os valores de sólidos solúveis totais (SST em °Brix) foram determinados por refratômetro de mesa da marca Shimadzu, com correção de temperatura para 20 °C, utilizando-se uma gota de suco puro de cada repetição. O número de frutos por planta foi obtido pela contagem daqueles frutos colhidos que apresentavam coloração do cálice amarelo-esverdeada, amarelo e amarelo-amarronzada.

## **2.12. Análise estatística**

A normalidade e homocedasticidade dos resíduos foram avaliadas, considerando os testes de Shapiro Wilks e Bartlett, respectivamente. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), complementada pelo teste de comparação múltipla de Tukey a 5% de significância.

Para os valores de Kc, foi realizada média de 5 dias, e estes valores foram plotados em função dos graus-dia de crescimento (GD). Para esta etapa, os GD foram contabilizados a partir do transplântio das mudas para os lisímetros. Modelos lineares e quadráticos foram ajustados entre Kc e GD, NDVI e GD e entre Kc e NDVI com o objetivo de estimar valores. Os modelos foram avaliados com base na significância dos coeficientes de regressão usando o teste t a 0,05 de probabilidade. A qualidade dos ajustes dos modelos foi expressa pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ). As análises estatísticas foram feitas com auxílio do software R, versão 4.1.0 ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)).

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1. Caracterização fenológica**

Na Tabela 2 encontram-se o número de dias após a emergência (DAE) e os graus-dias acumulados (GD) que as plantas de *P. peruviana* necessitaram para atingir os principais estádios fenológicos nos dois ciclos de cultivo realizados. Verifica-se que as plantas cultivadas

no primeiro ciclo apresentaram período vegetativo mais longo do que aquelas cultivadas no segundo ciclo. No primeiro ciclo também foram necessários maiores número de dias após a emergência para atingir cada estágio fenológico, e esta tendência manteve-se para graus-dia neste período. Já as plantas do segundo ciclo apresentaram maior duração para a fase de maturação dos frutos até o final da colheita.

**Tabela 2** – Número de dias após a emergência (DAE) e graus-dia acumulados (GD) para os principais estádios fenológicos de plantas de *P. peruviana*, em função dos dois ciclos de cultivo.

	Época plantio	Estádios						
		1	2	3	4	5	6	7
DAE	1º Ciclo	60	112	114	116	124	151	218
	2º Ciclo	48	80	82	96	108	139	206
	Média	54	96	98	106	116	145	212
GD	1º Ciclo	577,3	742,4	766,1	794,5	873,4	1209,4	2041,7
	2º Ciclo	405,8	459,5	495,3	751,2	968,7	1554,1	2366,1
	Média	491,6	600,9	630,7	772,8	921,2	1381,7	2203,9

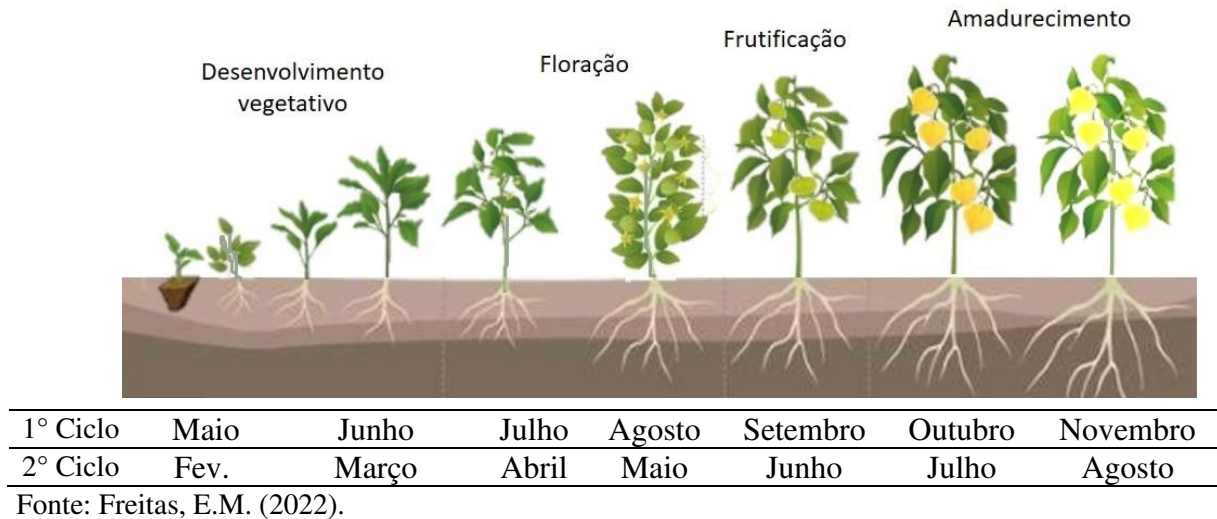
Estádios 1 = Transplante; 2 = Início de gemas florais; 3 = Início de botões florais; 4 = Início de flores abertas; 5 = Início de frutificação; 6 = Início das folhas senescentes e maturação dos frutos; 7 = Colheita. Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Conforme Salazar et al. (2008), o crescimento vegetativo de *P. peruviana* é favorecido com o fotoperíodo e a temperatura. Como esta é uma espécie de clima tropical, as temperaturas mais elevadas tendem a acelerar sua taxa de reações fisiológicas enquanto temperaturas amenas provocam efeito inverso (SOUZA et al., 2014). De acordo com Lima et al. (2010), temperaturas de aproximadamente 30°C tendem a favorecer o crescimento vegetativo. No entanto, temperaturas mais amenas, de aproximadamente 14°C, estimulam a floração, frutificação e brotação, conseqüentemente, o ciclo da cultura tende a ser mais curto (BRIGHENTI, 2011)

Na Figura 3, está representada a ocorrência das distintas fases fenológicas da *Physalis peruviana* em função dos períodos de avaliação após o transplante, nos dois ciclos de cultivo. O primeiro ciclo de cultivo da *P. peruviana* neste estudo, ocorreu de maio a novembro, dessa forma, toda a fase de crescimento inicial da cultura aconteceu no período em que foram observadas temperaturas mais baixas (Figura 1). Já o segundo ciclo, que ocorreu no período de fevereiro a agosto, para a fase inicial de desenvolvimento as temperaturas estavam mais altas quando comparado ao primeiro (Figura 1). Esta situação proporcionou menor GD e maior tempo da fase de desenvolvimento da *P. peruviana*, para o primeiro ciclo da cultura, como apresentado na Tabela 2. Já para o período de floração e frutificação, as temperaturas já se encontravam mais altas, favorecendo o desenvolvimento mais rápido nessas fases.

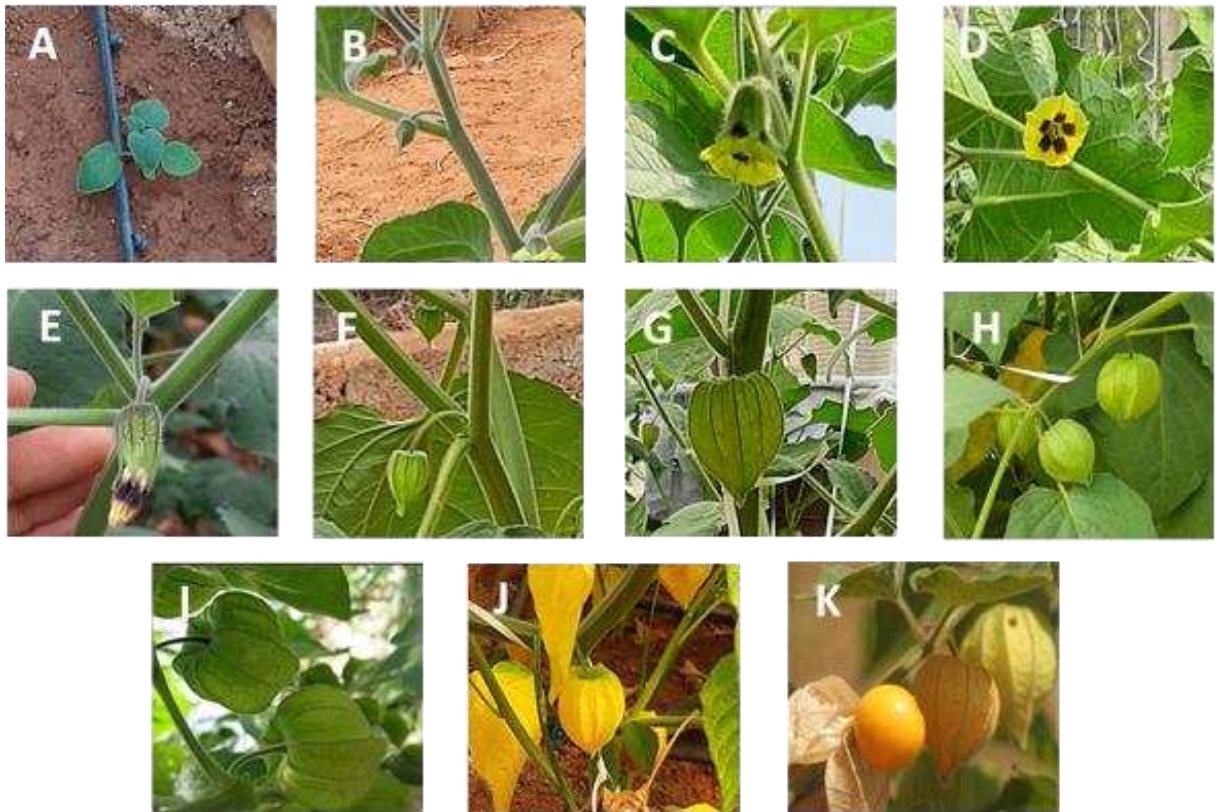
De acordo com Taiz et al. (2017), alterações na temperatura podem afetar todas as reações bioquímicas da fotossíntese, sendo dessa forma responsáveis por acelerar e/ou retardar a ocorrência dos eventos fenológicos.

**Figura 3** – Comportamento fenológico de *P. peruviana* L. em função dos períodos de avaliação após o transplantio, nos dois ciclos de cultivo



Na Figura 4, ao se analisar as diferentes fases fenológicas da *P. peruviana* cultivada nos lisímetros em função dos períodos de avaliação após o transplantio, é possível notar as variações quanto a duração de cada fase. A primeira fase avaliada foi realizada do período após a emergência das plântulas até o desenvolvimento e transplantio das mudas. Em média, verificou-se que as plantas de *P. peruviana* necessitaram de 54 dias após a emergência (DAE) ou 491,5 GD para estarem aptas ao transplante. Neste período as mudas apresentavam aproximadamente 20 cm de altura, com pelo menos duas folhas definitivas (Figura 4A).

**Figura 4** – Diferentes fases do desenvolvimento da *P. peruviana* L.: muda (A); botão floral (B); botão floral intumescido (C); floração (D); formação do fruto (F); fruto imaturo (G, H e I) e fruto maduro (J e K)



Fonte: Freitas, E.M. (2022).

A segunda fase avaliada foi marcada pelo surgimento do botão floral na axila de cada nó (Figura 4B), onde se desenvolveram duas folhas, uma gema vegetativa e uma floral, que ocorreu em média 42 dias após o transplantio (DAT) e 612,6 GD. Posteriormente, ocorreu o intumescimento do botão floral, dando início a fase de pré-antese (Figura 4C), por volta dos 44 DAT e 30,7 GD. Rodrigues et al. (2013) ao estudar a caracterização fenológica e produtividade de espécies de *Physalis* na região sul de Minas Gerais verificaram o surgimento de botões florais a partir dos 27 DAT. Já Silva et al. (2021), ao analisar o comportamento fenológico da *P. peruviana* em condições climáticas do semiárido, observou que os primeiros botões florais surgiram aos 33 DAT. Enquanto Betemps et al. (2014), estudando a fenologia de *Physalis* no sul do Brasil, constataram que foram necessários 85 dias e 217 GDA para início de gemas florais.

A fase de floração da *Physalis* caracteriza-se pela flor de coloração amarela com centro púrpura (Figura 4D) as quais se encontraram completamente abertas em média aos 52 DAT e 140,7 GDA. Conforme Rodrigues et al. (2013), o estigma das flores de *P. peruviana* está

localizado à mesma altura das anteras, o que favorece a autopolinização mesmo em casa de vegetação. Na pós-antese (Figura 4E) (2 dias) ocorreu o início do fechamento das pétalas para o início da formação do fruto (Figura 4F), sendo necessário 62 DAT e 148,4 GD para ocorrer. Neste período os frutos desenvolveram protegidos pelo cálice acrescente de coloração verde (Figuras 4G, H e I). Assim, o fruto estava maduro (Figura 3J e K) aos 91 DAT e 461,6 GD sendo sua maturação caracterizada pela coloração amarela do cálice. Na Figura 4 observam-se as diferentes fases em escala que ocorrem na *P. peruviana* durante o seu florescimento até o fim do ciclo da cultura, aos 158 DAT e 822,2 GD. Resultados semelhantes para atingir cada fase fenológica foram encontrados em pesquisas realizada por Aguilar et al. (2006), Betemps et al. (2014), López et al. (2016) e Silva et al. (2021), apresentando assim uma relação positiva entre o acúmulo de GD e as mudanças de fase de *Physalis*.

Rodrigues et al. (2013) destacam que o cultivo da espécie *Physalis* em épocas frias (abaixo de 20 °C) podem induzir a planta a produzir um maior número de folhas. Maior área foliar favorece o desenvolvimento vegetativo, na fotossíntese e, conseqüentemente, no acúmulo de fotoassimilados, favorecendo a posterior translocação para a fase reprodutiva da planta. Conseqüentemente, sob baixas temperaturas, a fotossíntese é frequentemente limitada pela disponibilidade de fosfato no cloroplasto (SUZUKI et al., 2021) causando redução na taxa de reações bioquímicas responsáveis pela ocorrência de eventos fenológicos da espécie. Por outro lado, Tanan et al. (2015) destacam que temperaturas acima de 30 °C prejudicam a floração e frutificação da espécie *Physalis*, o que não ocorreu neste estudo.

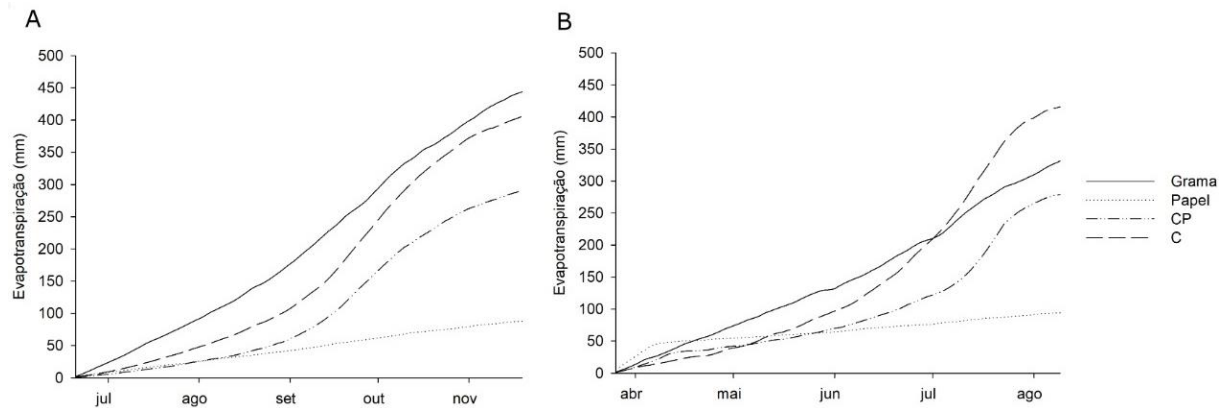
Após o transplantio das mudas, foram analisados os tratamentos com a presença ou não de cobertura do solo. Foi verificado que não houve diferença entre os mesmos para a obtenção de cada fase fenológica da cultura em ambos os ciclos. Dessa forma foi analisado o mesmo ciclo de desenvolvimento para ambos os tratamentos. Avaliar a fenologia de uma cultura, em diferentes regiões e condições de manejo, é extremamente importante. O maior conhecimento das diferentes fases no ciclo da cultura auxilia o produtor a planejar toda a produção, escalonando a melhor época de semeadura, de aplicação de determinados insumos, de tratamentos fitossanitários, bem como a época da colheita (GADIOLI et al., 2000).

### **3.2. Consumo hídrico**

Os consumos totais de água acumulados nos lisímetros de drenagem, para os dois ciclos estudados (2020/2021), são apresentados na Figura 5. Nota-se que em geral as maiores taxas

de evapotranspiração foram observadas no primeiro ciclo de cultivo (2020) para quase todos os tratamentos.

**Figura 5** – Evolução do consumo de água nos lisímetros de drenagem com grama batatais (Grama), papel reciclado (Papel), *P. peruviana* cultivada convencionalmente (C) e com cobertura de papel (CP)



Fonte: Freitas, E. M. (2022).

Para os tratamentos com papel (CP) como cobertura de solo e convencional (C), apesar de apresentarem tendências semelhantes ao longo de todo período experimental, observa-se que os mesmos obtiveram consumos hídricos acumulados diferentes. O tratamento C apresentou consumo total de água de 405 e 415 mm para o primeiro e segundo ciclos de cultivo, respectivamente. Já para o tratamento CP, esses consumos foram de 291 e 279 mm, respectivamente. Diante desses números, o uso de papel reciclado como cobertura de solo proporcionou uma redução no consumo hídrico da *P. peruviana* de 28,3% e 32,8% para o primeiro e segundo ciclos de cultivo, respectivamente.

Para a grama (G), observa-se que houve uma redução no consumo hídrico de 25,3% do primeiro ciclo (444 mm) de cultivo em relação ao segundo (331 mm). No fim do segundo ciclo, verificou-se que o consumo de água no tratamento C ultrapassou o consumo pela grama.

O consumo total de água nos lisímetros cobertos apenas com papel, sem a cultura (Papel), foram de 88 e 94 mm para o primeiro e segundo ciclos de cultivo, respectivamente, representando 30,2 e 33,7% do consumo total de água em relação ao tratamento CP. Observa-se que no início dos ciclos avaliados (2020/2021) há um maior consumo de água para o tratamento Papel em relação ao tratamento CP. No entanto, nota-se que no decorrer do ciclo da cultura, o consumo hídrico no tratamento CP eleva-se progressivamente, tornando maior que o consumo no tratamento papel, mantendo-se assim até o final dos ciclos. Esse comportamento evidencia o aumento da componente transpiração no processo de evapotranspiração com o uso de cobertura de papel no solo (SILVA, 2020).

O processo de evapotranspiração pode ser dividido em  $E_s + E_t + E_w$ , onde  $E_s$  é a evaporação da água do solo,  $E_t$  a transpiração das plantas e  $E_w$  a evaporação do dossel da cultura (ALLEN et al., 1998). Ao se cobrir o solo com papel cria uma barreira física entre o solo e a atmosfera, reduzindo drasticamente o componente  $E_s$  e, conseqüentemente, a evapotranspiração. A cobertura de papel auxilia na redução da temperatura do solo e, conseqüentemente, ocorre redução no acúmulo de calor sensível. Em consequência disso, existirá também uma menor conversão em calor latente para evaporação da água do solo, diminuindo assim o processo de evaporação (OLIVEIRA et al., 2020).

Na fase inicial do desenvolvimento da *P. peruviana*, o componente evaporação da água no solo no processo da evapotranspiração torna-se mais relevante, pois a cultura ainda estava em pequeno desenvolvimento vegetativo. Nessa fase, como a cultura apresenta menor índice de área foliar, a evaporação da água no solo predomina sobre a transpiração das plantas. Este argumento é confirmado pela correlação positiva entre transpiração e cobertura do dossel verificado por Zhang et al. (2019).

Na fase intermediária, observa-se o aumento da inclinação das linhas referentes a C e CP (Figura 5) mostrando que há um aumento no consumo hídrico, devido ao maior desenvolvimento da cultura. Observa-se também nessa figura que na fase intermediária os tratamentos C e CP começam a distanciar do tratamento Papel, revelando que a componente transpiração já iniciou devido ao aumento da área foliar. Com o desenvolvimento da cultura, a transpiração também se torna mais relevante que a evaporação. Isso acontece devido a cultura apresentar aumento da sua área foliar, ficando as plantas mais próximas umas às outras, cobrindo a superfície dos lisímetros e dos canteiros. Assim, além de aumentar a transpiração pelo aumento da área foliar, reduz-se também a evaporação devido a cobertura do solo pela planta.

Observa-se na Figura 5, na fase final do ciclo, uma diminuição da inclinação das linhas referentes a C e CP, indicando redução no consumo hídrico. Espera-se no final de ciclo a perda de vigor, ocorrendo diminuição da área foliar e, novamente, redução na evapotranspiração. Assim, o componente de transpiração também é reduzido, e a evaporação começa a governar o processo de evapotranspiração, desencadeando os mesmos efeitos descritos para as fases iniciais de cultivo.

Durante cada fase da cultura, as condições climáticas e necessidades hídricas são diferentes, podendo aumentar ou diminuir a taxa de evapotranspiração da cultura. Além disso, podem ocorrer variações durante o ciclo, que vão depender do manejo de cultivo e fatores

ambientais. Os perfis dos comportamentos de demanda hídrica, nos diferentes ciclos, mostraram-se similares, diferenciando em valores de evapotranspiração (Figura 4). Observa-se para os dois ciclos de cultivo que, em geral, ocorreu alta demanda evapotranspirativa da cultura.

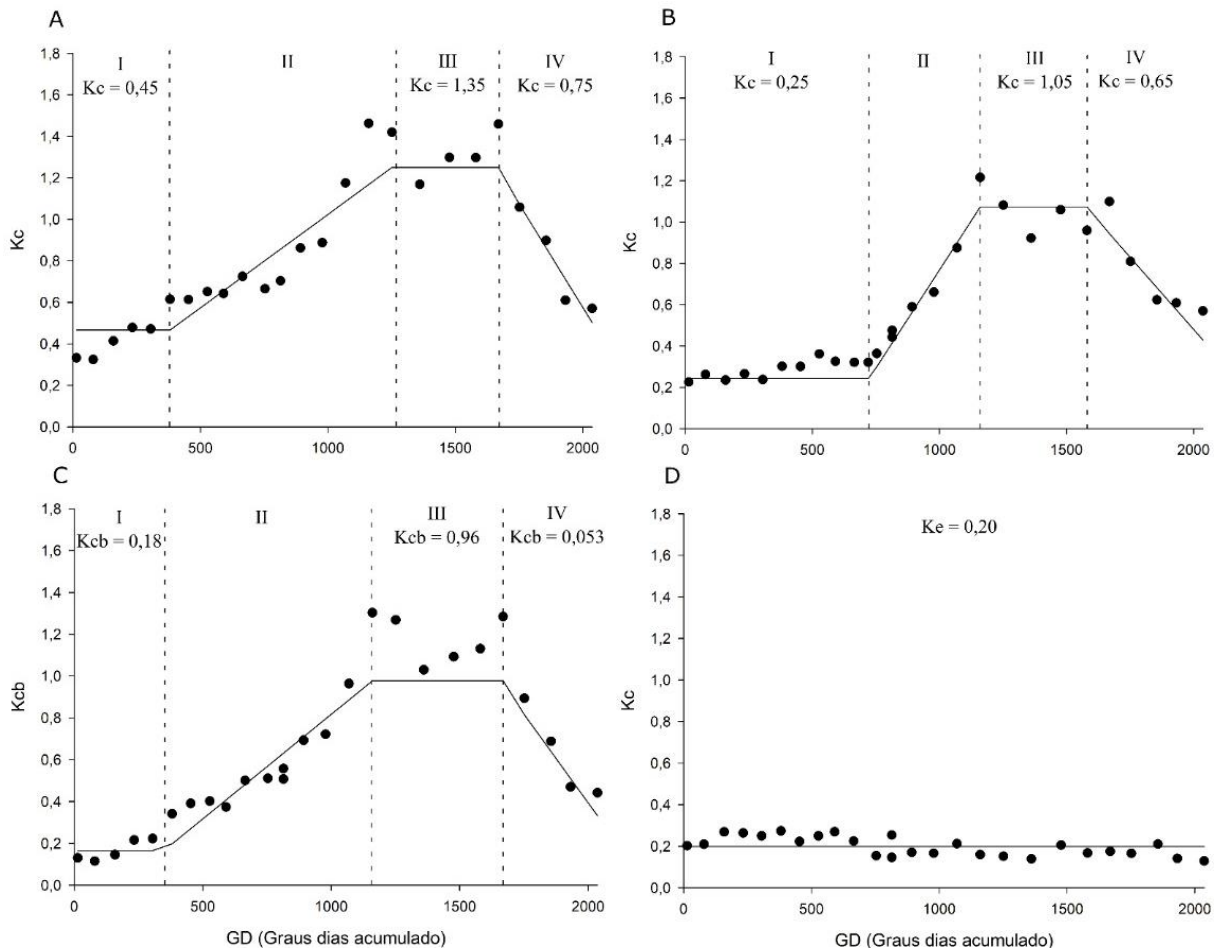
Deve-se destacar que as plantas foram cultivadas em lisímetros, ou seja, grande disponibilidade de água em tempo total, fato este que facilita o processo de evapotranspiração por não haver déficit hídrico. Sendo assim, a condição experimental pode ter favorecido a evaporação potencial e conseqüentemente a evapotranspiração máxima da cultura. Os fatores edáficos do solo e climáticos podem causar grande impacto no desenvolvimento, crescimento, reprodução e sobrevivência do vegetal. Além disso, os fatores abióticos interferem uns nos outros, como por exemplo, o ambiente protegido é responsável por um incremento à temperatura do ar, em relação às condições externas (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). O aumento da temperatura, que excede o tolerado pela planta ao longo dos dias, leva a alterações na evapotranspiração, o que afeta negativamente o desempenho da produção e afeta o rendimento e a qualidade da cultura.

### **3.3. Estimativa dos coeficientes técnicos para manejo da irrigação**

Na Figura 6 é apresentado os valores médios de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para *P. peruviana* cultivada com cobertura de papel e sem cobertura de papel e os respectivos estádios fenológicos da cultura em que esses coeficientes foram determinados. Os gráficos foram confeccionados em relação aos tratamentos com uso de cobertura de papel no solo (CP) e sem uso de cobertura de papel no solo (C), como também em relação ao coeficiente de evaporação ( $K_e$ ) e coeficiente de cultivo basal ( $K_{cb}$ ). O uso de papel reciclado, como cobertura de solo, proporcionou reduções de 44,4%, 35,3%, 22,2% e 13,3 % nos valores de  $K_c$  para os estádios inicial, desenvolvimento, médio e final do ciclo da cultura, respectivamente.

Rufato et al. (2008) relataram que a necessidade hídrica da *Physalis* cultivada a campo é de 800 mm, durante o período de crescimento. Dessa forma, considerando que com o uso do papel como cobertura no solo houve uma redução média de 30,55% no consumo de água da cultura, a economia em todo cultivo será de 244,40 mm. Em se tratando de 1 há irrigado com *physalis*, o uso do papel reciclado economizará quase 2.000.000 de litros de água. O que representa uma economia significativa para os produtos em relação ao consumo de água e energia.

**Figura 6** – Coeficientes de cultura ( $K_c$ ) de *P. peruviana* cultivada (A) sem papel e coeficientes de (B) cultivo, (C) de cultura basal ( $K_{cb}$ ) e (D) de evaporação ( $K_e$ ) com papel reciclado como cobertura de solo



Fonte: Freitas, E.M. (2022).

O coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) é a razão entre  $ET_c$  e  $ET_o$  estimada por fórmulas ou elementos da demanda evaporativa (ALLEN et al., 1998; DOORENBOS e PRUITT, 1977). Assim, percebe-se que o  $K_c$  é diretamente proporcional a  $ET_c$ , e todas as justificativas utilizadas para  $ET_c$  também servem para o  $K_c$ . Dessa forma, os menores valores de  $K_c$  observadas nos estádios inicial e final da cultura, são decorrentes da menor área foliar da planta. Já com o desenvolvimento da cultura, a diferença percentual foi diminuindo tendo em vista o crescimento do dossel e, conseqüentemente, o aumento da componente transpiração.

Para o cultivo da *P. peruviana* sem cobertura de solo, após ajuste, foi observado o valor de  $K_c$  inicial de 0,45 em 381 GD, seguido por um crescimento linear do mesmo, até atingir o valor de  $K_c$  de 1,35 em 1.160 GD. Logo após esse período, os valores da fase média de  $K_c$  tornam-se constantes até 1.669 GD, onde decresce na parte do  $K_c$  final, com valor de  $K_c$  igual a 0,75 em 2.036 GD. Para o cultivo com cobertura do solo, observou-se inicialmente um

comportamento linear, com  $K_c$  igual a 0,25 em 720 GD, logo depois houve crescente no valor, com  $K_c$  igual a 1,05 em 1.160 GD, permanecendo constante até 1.580 GD. A partir daí ocorre um decréscimo, com o  $K_c$  de 0,65 aos 2.036 GD.

Como no início do seu desenvolvimento a planta transpira menos, o  $K_c$  da fase I e o  $K_c$  do início da fase vegetativa, sofrem interferência dos fatores abióticos, quando predomina a evaporação da água no solo. Nesse período as plantas ainda estão apresentando condições parciais de cobertura no solo. Observa-se assim que, quando não se tem o uso de cobertura de solo, ocorre maior exposição do mesmo a radiação solar, havendo um maior ganho de calor sensível, que é transformado em calor latente e fazendo com que ocorra maior evaporação (ZHAO et al., 2015). Isso justifica os maiores valores de  $K_c$  para o solo mantido sem cobertura.

A partir da fase de florescimento até início da frutificação, onde a cultura está no estágio médio do seu ciclo, os valores de  $K_c$  elevaram-se e ficaram bem próximos entre os tratamentos (Figura 6). Em condições de cobertura completa o  $K_c$  é pouco variável para certas culturas, pois a área foliar das plantas começam a sombrear o solo, fazendo com que a cobertura passe a interferir menos nos processos de evapotranspiração da cultura (ZHAO et al., 2015; ZHANG et al., 2019). Essas fases também são caracterizadas pelo intenso processo de fotossíntese, necessário para o crescimento dos tecidos e o armazenamento de carboidratos nos tecidos de reserva. Devido a isso, é o período de maior demanda hídrica da *Physalis*, em que a cultura se encontra formando os frutos e no máximo desenvolvimento vegetativo (APARECIDO et al., 2019). Por isso, são observados valores máximos de  $K_c$  nesse período para todos os tratamentos ( $K_c$  médio).

Já na fase de amadurecimento do fruto (Figura 5) a planta está se desenvolvendo, mas não acumula mais energia, além de apresentar diminuição da área foliar devido ao início da senescência. Isso provoca menor consumo de água pela planta e, conseqüentemente, menores valores de  $K_c$ . Bergamaschi e Bergonci (2017) corroboram com esses resultados, os autores relatam que a transpiração eleva com a área foliar e apresenta redução no final do ciclo de cultivo.

Visto que não há na literatura valores referentes ao  $K_c$  da *P. peruviana*, não há como saber se houve uma superestimativa ou subestimativa desse valor no presente estudo. Por outro lado, observa-se valores menores de  $K_c$  quando a *P. peruviana* foi cultivada utilizando papel reciclado como cobertura de solo. Justamente nas fases onde encontram-se os maiores coeficiente de cultivo são correspondentes aos períodos onde há maiores excessos de irrigações, ou seja, há um maior uso de água e energia elétrica, havendo mais gastos. Assim, a utilização

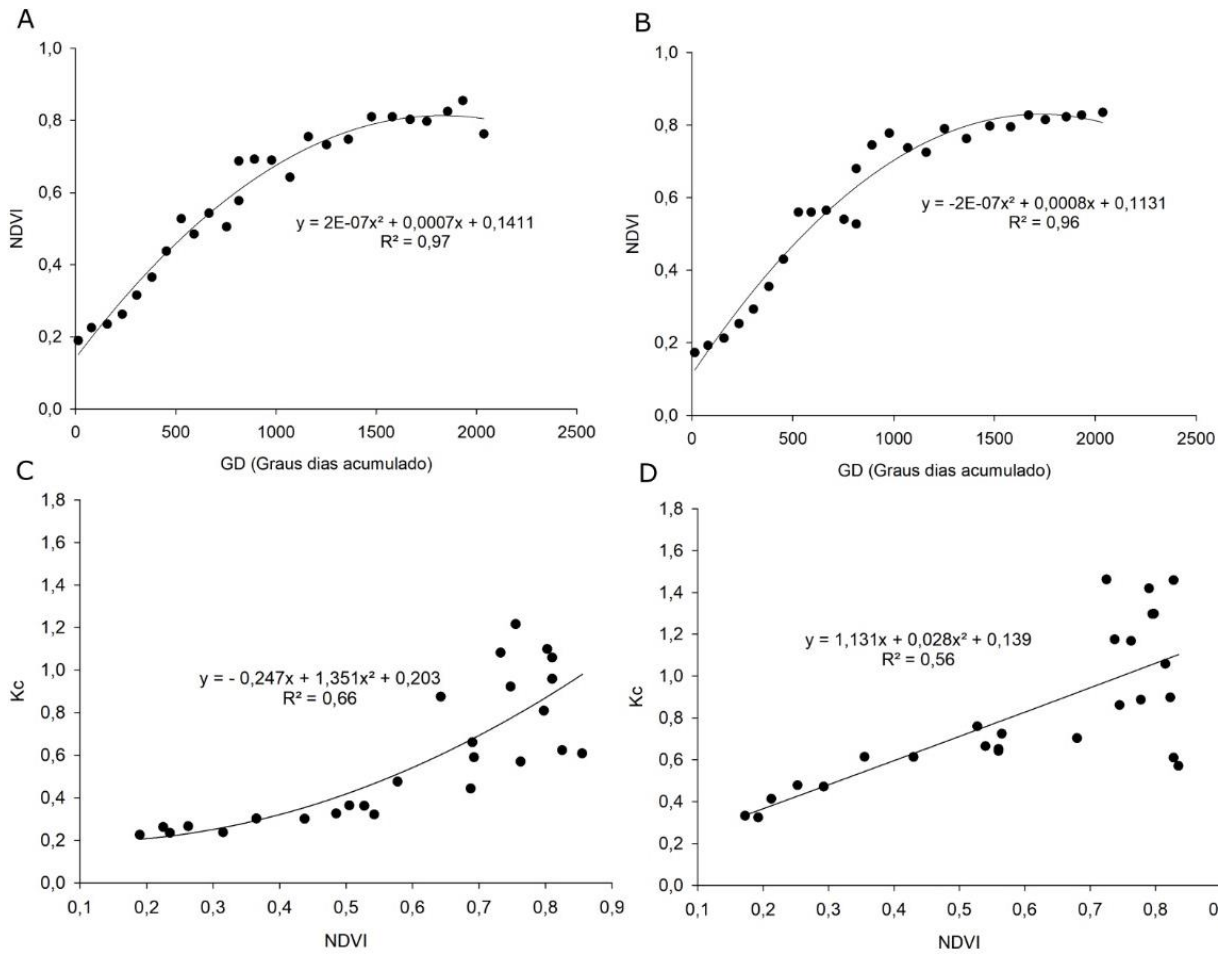
da técnica do papel reciclado, diminui o trabalho no controle de plantas daninhas, além de aumentar a renda do produtor, visto terá uma economia no consumo hídrico.

Em relação ao  $K_e$  para o tratamento utilizando papel como cobertura de solo, os resultados mostram que os valores se mantiveram constantes durante todo o ciclo da cultura, com valor aproximado 0,20. Já o  $K_{cb}$  manteve-se constante nos períodos inicial e médio, apresentando acréscimo e decréscimo lineares nos estádios de desenvolvimento e final, respectivamente, assim como ocorreu com o comportamento do  $K_c$ . Sendo assim, valores de  $K_{cb}$  podem ser usados, se necessário, quando o  $K_e$  for obtido por estimativa.

### **3.4. Estimativa do $K_c$ utilizando NDVI**

O comportamento de NDVI em relação ao GD ao longo do ciclo da cultura, assim como os valores de  $K_c$  em função do NDVI para os tratamentos com e sem o uso de cobertura de papel são apresentados na Figura 6. Nota-se que para o NDVI, houve bom ajuste dos modelos aos dados, apresentando para ambos tratamentos  $R^2$  com valores de 0,96 (Figuras 7A e 7B). Observa-se ainda nestas figuras que o crescimento das plantas foi adequadamente caracterizado por meio do uso do NDVI. É possível notar valores máximos de NDVI próximo aos 90 DAT e 1160 GD, fase de desenvolvimento da cultura, quando utilizada cobertura no solo e aos 120 DAT e 1656 GD para o cultivo sem cobertura no solo. Esse comportamento dos dados simboliza o desenvolvimento da planta, visto que normalmente após o transplante, há um rápido crescimento da cultura, até que ela atinja seu pico de desenvolvimento, apresentando seu máximo de altura e, conseqüentemente, maior quantidade de biomassa.

**Figura 7** – Relação entre graus-dias e índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) para cultivo de *P. peruviana* com (A) e sem (B) o uso de cobertura de solo com papel; e relação entre coeficiente de cultura (Kc) e NDVI para cultivo *P. peruviana* com (C) e sem (D) cobertura no solo



Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Já para os valores de Kc em função do NDVI, observa-se que a precisão do modelo foi razoável, apresentando valores de  $R^2$  variando de 55 a 65% para cultivo sem e com papel reciclado como cobertura de solo, respectivamente.

Alguns autores ressaltam a eficiência do uso do NDVI para projeções na agricultura, destacando entre elas a determinação de Kc. De acordo com Alfaced et al. (2019), a rápida e precisa estimativa de Kc pode ser realizada por meio de medições de NDVI. Além disso, esses mesmos autores afirmam que a refletância espectral de culturas agrícolas pode fornecer uma estimativa de forma indireta dos valores de Kc. Alam et al. (2019) encontraram modelos com ajuste adequados para coeficiente de cultura (Kc), coeficiente de cultura basal (Kcb) e coeficiente de evaporação (Ke) em função do NDVI para pastagem. Por meio de sensoriamento remoto, o NDVI foi usado para prever os valores de Kc com ajustes satisfatórios em trigo (FARG et al., 2012) e cana de açúcar (ALFACE et al., 2019). Singh e Irmak (2009) também

verificaram boa precisão na estimativa de Kc por meio de NDVI para as culturas de soja, milho, sorgo e alfafa.

Os valores de  $R^2$  obtidos são superiores aos encontrados na maioria dos trabalhos mencionados. Isso pode ser justificado pela maior área foliar ocupada pela *P. peruviana*, e a presença de papel reciclado como cobertura de solo, sendo este comportamento notado quando utilizado o NDVI. Portanto, o NDVI pode ser usado como forma indireta de obtenção do Kc para a *Physalis* cultivadas de forma convencional ou usando papel reciclado como cobertura do solo.

Observa-se então, que assim como o Kc, o NDVI também apresentou relação significativa com GD, sendo esta uma boa alternativa para caracterizar cada fase de desenvolvimento da cultura, contribuindo com maior precisão na determinação do Kc. Em cenário de mudanças climáticas, o uso de GD tem papel importante na estimativa de coeficientes técnicos, pois controlam o ciclo e desenvolvimento da cultura, uma vez que estão relacionados a soma térmica diária necessária para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

### 3.5. Caracterização agrônômica da *P. peruviana*

Na Tabela 3 encontram-se os resultados referentes aos valores médios das análises de trocas gasosas para o cultivo de *P. peruviana* com e sem o uso de cobertura de papel no solo, em função de dois ciclos de cultivo. Sabe-se que as trocas gasosas estão relacionadas à disponibilidade de água para as plantas. Assim, observa-se que apesar de os solos nos lisímetros terem sido mantidos diariamente na capacidade de campo, mesmo assim obtiveram respostas distintas com relação às trocas gasosas para os tratamentos avaliados. Verifica-se para o primeiro ciclo de cultivo que houve diferença estatística entre os parâmetros.

**Tabela 3** – Taxa de assimilação fotossintética (*A*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), carbono interno (*C<sub>i</sub>*), taxa de transpiração (*E*) e eficiência no uso da água (*WUE*) em plantas de *P. peruviana* cultivadas com e sem o uso de papel como cobertura de solo.

Época plantio	Tratamentos	Trocias gasosas				
		A	<i>g<sub>s</sub></i>	<i>C<sub>i</sub></i>	E	WUE
1º Ciclo	S/ Cobertura	20,39 b	0,28 b	167,45 b	6,72 b	4,94 b
	Cobertura papel	31,60 a	0,52 a	176,65 a	8,61 a	6,15 a
2º Ciclo	S/ Cobertura	25,91 a	0,54 a	213,32 a	5,49 a	4,99 a
	Cobertura papel	28,38 a	0,60 a	215,40 a	5,97 a	5,12 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Fonte: Freitas, E.M. (2022).

No tratamento com cobertura de papel (CP) as plantas obtiveram maiores taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa de transpiração ( $E$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ) e, conseqüentemente, maior eficiência no uso da água (WUE). Isso significa que essas plantas tiveram maior abertura dos estômatos, devido a maior disponibilidade de água para suas atividades fisiológicas.

As trocas gasosas entre ambiente externo e plantas ocorrem através dos estômatos, mediadas por meio da entrada de CO<sub>2</sub> durante o processo fotossintético, quando ocorre também perdas de água, através da transpiração, sendo esse processo de entradas e saídas de água o principal mecanismo de controle das trocas nas plantas (SILVA et al., 2015). Sabe-se que a absorção de carbono para a fotossíntese ocorre com a evolução dos estômatos e das folhas, proporcionando altas taxas de transpiração (BERCHEMBROCK et al., 2021; BERRY et al., 2019). Dessa forma, como a cobertura de papel do solo propicia um período maior de umidade, contribui com a disponibilidade hídrica para a cultura, fazendo com que as plantas atinjam altas taxas transpiratórias (ARAUJO et al., 2019). Quando a água do solo se torna escassa, a planta começa a reduzir sua taxa de transpiração para reduzir a perda de água. Portanto, o uso da cobertura do solo ajuda a manter a transpiração em níveis adequados e sem interferir em outros processos fisiológicos da planta.

Sem a cobertura do solo ocorre maior conversão da energia da radiação solar em calor latente já que não há limitação da evaporação de água do solo. Logo, há uma baixa conversão da energia da radiação solar em calor sensível. Isso resulta em aquecimento do ar e, por consequência, aquecimento das folhas, interferindo nos processos fisiológicos da planta (PEREIRA et al., 2013). Além disso, a umidade no solo contribui para a troca gasosa da planta, resultando em um aumento da condutância estomática e transpiração, o que contribuiu para o incremento da taxa líquida de fotossíntese (CAI et al., 2007). Mu e Fang (2015) verificaram que estas variáveis (fotossíntese líquida e abertura estomática) possuem correlação alta e positiva com a umidade atual do solo. Reis et al. (2013) explicam ainda que a área foliar também tem grande interferência na fisiologia da planta. Uma vez que proporcionam um maior aproveitamento da energia solar, capturando fótons e usando-os nos processos fotossintéticos e translocação de fotoassimilados. Contudo, o sombreamento proporcionado pelo aumento no número de folhas e da área foliar pode limitar essa taxa fotossintética em *P. peruviana*, explicando os melhores resultados em relação as trocas gasosas com o uso de cobertura no solo neste estudo, visto que esse tratamento apresentou menor área foliar.

No que diz respeito à WUE, o uso mais eficiente da água está diretamente relacionado ao tempo de abertura estomática, pois, enquanto a planta absorve CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, a água é perdida para o ambiente por evapotranspiração, seguindo uma corrente de potenciais hídricos (PEREIRA-NETTO et al., 2002). Assim, os melhores resultados com o uso de cobertura no solo demonstram que esse tratamento contribui com maior captação de carbono utilizando menos água, o que contribui com todas as trocas gasosas realizadas pela planta (BACHA et al., 2016; BOTA et al., 2015). Essa economia pode ser explicada pelo fato de a cobertura proporcionar uma depleção mais lenta da água no solo em consequência da redução da evaporação da água da superfície, manutenção da umidade do solo e redução da temperatura do solo (CARVALHO et al., 2018; SANTOS et al., 2012).

Para o segundo ciclo, observa-se que nenhum parâmetro de trocas gasosas apresentou diferença entre os tratamentos. Esse fato indica a importância do manejo da irrigação, pois com adequadas condições hídricas do solo, as plantas conseguem apresentar o mesmo desempenho fisiológico.

Na Tabela 4 estão apresentadas as características agrônômicas das plantas e frutos e a produtividade da cultura de *P. peruviana*. Observa-se que a presença de papel reciclado, como cobertura de solo, proporcionou maiores valores de número de folhas, área foliar e produtividade de frutos no segundo ciclo de cultivo. Por outro lado, no primeiro ciclo de cultivo, a altura de planta, número de folhas, área foliar, teor de sólidos solúveis e produtividade de frutos foram superiores no tratamento sem cobertura de solo. Para as demais variáveis e ciclos de cultivo, verifica-se que o fator cobertura de solo não afetou a *P. peruviana*.

**Tabela 4** – Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), número de frutos (Nfr), massa fresca dos frutos (MF), diâmetro transversal do fruto (DT), diâmetro longitudinal dos frutos (DL), teor de sólidos solúveis (BRIX) e produtividade em plantas de *P. peruviana* cultivadas com e sem o uso de papel reciclado como cobertura de solo

Época de cultivo	Tratamentos	Parâmetros agrônômicos				
		AP (cm)	DC (mm)	NF (ud pl <sup>-1</sup> )	AF (cm)	NFR (ud pl <sup>-1</sup> )
1º Ciclo	S/ Cobertura	180,64 a	17,92 a	149,43 a	47,09 a	540 a
	Cobertura papel	165,56 b	18,02 a	131,56 b	43,23 b	610 a
2º Ciclo	S/ Cobertura	181,50 a	17,92 a	134,72 b	46,37 b	634 a
	Cobertura papel	193,41 a	18,01 a	157,00 a	51,80 a	554 a

Época de cultivo	Tratamentos	Parâmetros agrônômicos				
		MF (g)	DT (mm)	DL (mm)	Brix (°C)	Prod (g pl <sup>-1</sup> )
1º Ciclo	S/ Cobertura	6,04 a	21,82 a	21,82 a	14,15 a	526,5 a
	Cobertura papel	5,12 a	20,58 a	20,55 a	11,37 b	351,9 b
2º Ciclo	S/ Cobertura	7,10 a	22,31 a	22,45 a	16,58 a	690,8 b
	Cobertura papel	6,26 a	22,28 a	22,69 a	16,68 a	745,9 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Diferentemente do presente estudo, Silva et al. (2020) em estudo com diferentes tipos de coberturas de solo verificaram que o papel reciclado proporcionou maiores produtividades de fruto da abobrinha italiana em relação ao tratamento convencional (sem uso de cobertura de solo). Os autores justificaram essa maior produtividade à presença de plantas daninhas no tratamento convencional, uma vez que o papel reciclado cumpriu sua função na supressão das plantas daninhas. É oportuno ressaltar que na presente pesquisa houve um controle físico de plantas daninhas de forma sistemática e rigorosa, uma vez que o objetivo era medir consumo hídrico e coeficientes de cultivo apenas da *P. peruviana*. Sendo assim, as plantas daninhas não prejudicaram o crescimento e desenvolvimento da *P. peruviana* em nenhum sistema de cultivo.

Observa-se então, que para as variáveis agronômicas estudadas, as condições climáticas interferiram diretamente nas respostas encontradas. Nesse sentido, nota-se que condições térmicas encontradas no primeiro ciclo de plantio, com temperaturas baixas, resultaram no prolongamento do período com fechamento estomático. Resultando na redução do metabolismo, no decréscimo na assimilação de compostos vitais ao vegetal e, conseqüentemente, na redução de fotoassimilados necessários para a manutenção e para o crescimento da planta.

Para os valores de ° Brix, a variação para o primeiro ciclo foi de 14,15 a 11,37 °Brix e no segundo de 16,58 a 16,68 °Brix para as plantas cultivadas sem e com cobertura de papel, respectivamente (Tabela 4). Segundo Moura et al., (2016), as plantas cultivadas em regiões mais quentes condicionam a produção de frutos com teores mais elevados de °Brix, como ocorreu neste estudo para o segundo ciclo de plantio.

Verifica-se também na Tabela 4, menor produtividade de frutos de *P. peruviana* no primeiro ciclo. Possivelmente, essa redução possa ter ocorrido pelos fatores climáticos. Conforme relatado por Lima et al. (2010), o cultivo de *Physalis* em temperaturas em torno de 25 °C tende a favorecer o crescimento vegetativo da cultura, principalmente o número de folhas, favorecendo o desenvolvimento e crescimento dos frutos. Em períodos climáticos amenos, em torno de 14 °C, ocorre estímulo à floração e frutificação precoces, ou seja, o ciclo tende a ser mais curto e com plantas menos desenvolvidas. Como pode ser visto na Figura 1, as temperaturas mínimas observadas no início do primeiro ciclo de cultivo (junho a agosto), encontravam-se inferiores a 18 °C. E no segundo ciclo, os primeiros meses (fevereiro a abril) apresentaram temperaturas mais elevadas, acima de 30 °C, o que em geral contribuiu para um melhor desenvolvimento da cultura.

Somados aos problemas relatados no parágrafo anterior, deve-se considerar também que foram necessárias irrigações diárias para o manejo dos lisímetros. Essa associação de água com o microclima e cobertura de solo favoreceram ao aparecimento de doenças no primeiro ciclo de cultivo. Entretanto, é oportuno ressaltar que essas doenças não atingiram nível de dano econômico, uma vez que foram realizadas aplicações preventivas de produtos fitossanitários.

Apesar do papel reciclado ter proporcionado menor consumo de água pela *P. peruviana* nos diferentes ciclos de cultivo, no geral, verificou-se que não houve prejuízos às características fisiológicas e agronômicas da cultura. Assim, recomenda-se o uso de papel reciclado como cobertura de solo no cultivo de *P. peruviana*.

Visto que a literatura acerca de demanda hídrica da *P. peruviana* ainda está em construção, estudos como o apresentado são cruciais para se estabelecer o referencial de evapotranspiração da planta, como coeficientes técnicos de cultivo para essa cultura. Além disso, os resultados encontrados na presente pesquisa podem servir de base para estudos sobre adaptação e estabelecimento de plantas em novas áreas e em diferentes épocas. Tais informações podem ser usadas para sugerir durações dos estádios de desenvolvimento da cultura e prever o início do amadurecimento dos frutos, assim como selecionar o melhor momento para transplante de mudas.

#### 4. CONCLUSÕES

O uso de papel reciclado como cobertura de solo influenciou consideravelmente a evapotranspiração da cultura de *P. peruviana* e, conseqüentemente, a demanda hídrica e coeficientes de cultivo nas diferentes fases fenológicas das plantas. O uso de papel como cobertura de solo proporcionou redução média de 30,6% no consumo hídrico de *P. peruviana* comparado ao cultivo sem a cobertura de solo (sistema convencional). Apesar do papel reciclado ter proporcionado menor consumo de água, verificou-se no geral que as características fisiológicas e agronômicas de *P. peruviana* não foram afetadas. Assim, recomenda-se o uso de papel reciclado como cobertura de solo no cultivo de *P. peruviana*.

Para o cultivo de *P. peruviana* utilizando papel reciclado como cobertura de solo, recomendam-se valores de 0,25; 0,55; 1,05 e 0,65 para coeficiente de cultivo ( $K_c$ ); e valores de 0,18; 0,50; 0,96 e 0,05 para coeficiente de cultivo basal ( $K_{cb}$ ) para os estádios inicial, desenvolvimento, médio e final, respectivamente. Para o coeficiente de evaporação ( $K_e$ ), quando a umidade do solo for mantido próximo à capacidade de campo, recomenda-se o valor de 0,20 para todo o ciclo de cultivo. Para *P. peruviana* cultivada no sistema convencional, sem

utilização de cobertura de solo, recomendam-se valores de 0,45; 0,85; 1,35 e 0,75 para Kc nos estádios inicial, desenvolvimento, médio e final, respectivamente.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) pode ser utilizado para estimar os coeficientes de cultivo para o manejo da irrigação de *P. peruviana*, independente do uso de cobertura de solo.

## 5. REFERÊNCIAS

AGUILAR, R. M.; LOMELÍ, A. P.; GAYTÁN, E. L.; HERNÁNDEZ, J. J. A.; AGUIRR, D. P. Agrofenología del *Physalis peruviana* L. en invernadero y fertirriego. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, v. 12, n. 1, p. 57-63, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2005.10.011>

ALAM, M. S.; LAMB, D. W.; RAHMAN, M. M. In-situ partitioning of evaporation and transpiration components using a portable evapotranspiration dome - A case study in Tall Fescue (*Festuca arundinacea*). **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 352-357, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.042>

ALFACE, A. B.; PEREIRA, S. B.; FILGUEIRAS, R.; CUNHA, F. F. Sugarcane spatial-temporal monitoring and crop coefficient estimation through NDVI. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 330-335, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n5p330-335>

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO Irrigation and Drainage, 1998. 333p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ANA. Agência Nacional de Águas. Coordenação de Outorga. **Outorgas Emitidas pela ANA**. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/>. 2016.

APARECIDO, L. E. O.; BATISTA, R. M.; MORAES, J. R. S. C.; COSTA, C. T. S.; OLIVEIRA, A. F. M. Agricultural zoning of climate risk for *Physalis peruviana* cultivation in Southeastern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e00057, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00057>

ARAÚJO, F. M. L.; RODRIGUES, A. M. G.; FERNANDES, C. N. V.; SOBREIRA, A. E. A.; ALVES, J. L. S.; SILVA, A. R. A. Cultivo de rabanete sob diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 2, p. 3327-3335, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.7127/rbai.v13n2001033>

BACHA, H.; TEKAYA, M.; DRINE, S.; GUASMI, F.; TOUIL, L.; ENNEB, H.; FERCHICHI, A. Impact of salt stress on morpho-physiological and biochemical parameters of *Solanum lycopersicum* cv. Microtom leaves. **South African Journal of Botany**, v. 108, p. 364-369, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.08.018>.

BELLVERT, J.; NIETO, H.; PELECHÁ, A.; ČEKALOVIĆ, C. J.; ZAZURCA, L.; MIARNAU, X. Remote sensing energy balance model for the assessment of crop evapotranspiration and water status in an almond rootstock collection. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 608967, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.608967>

BERCHEMBROCK, Y. V.; BOTELHO, F. B. S.; SRIVASTAVA, V. Suppression of ERECTA signaling impacts agronomic performance of soybean (*Glycine max* (L) Merrill) in the Greenhouse. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 667825, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.667825>

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017. 351p.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Editora UFV, 2019. 545p.

BERRY, Z. C.; ESPEJEL, X.; LINERA, G. W.; ASBJORNSEN, H. Linking coordinated hydraulic traits to drought and recovery responses in a tropical montane cloud forest. **American Journal of Botany**, v. 106, n. 10, p. 1316-1326, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ajb2.1356>

BETEMPS, D. L.; FACHINELLO, J. C.; LIMA, C. S. M.; GALARÇA, S. P.; RUFATO, A. D. R. Época de semeadura, fenologia e crescimento de plantas de fisális no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 179-185, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-292/13>

BOTA, J.; TOMÁS, M.; FLEXAS, J.; MEDRANO, H.; ESCALONA, J. M. Differences among grapevine cultivars in their stomatal behavior and water use efficiency under progressive water stress. **Agricultural Water Management**, v. 164, p. 91-99, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.016>.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNTA/DNDV/CLAV, 2009. 399p.

CAI, H.; REINISCH, K.; NOVICK, S. F. Coats, tethers, Rabs e SNAREs and SNAREs work together to mediate the intracellular destination of a transport vesicle. **Developmental Cell**, v. 12, n. 5, p. 671-682, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2007.04.005>

CARVALHO, D. F.; RIBEIRO, E. C.; GOMES, D. P. Marketable yield of onion under different irrigation depths, with and without mulch. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 107-112, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p107-112>

CHAKRABORTY, D., GARG, R. N., TOMAR, R. K., SINGH, R., SHARMA, S. K., SINGH, R. K., TRIVEDI, S. M.; MITTAL, R. B.; SHARMA, P. K.; KAMBLE, K. H. Synthetic and organic mulching and nitrogen effect on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 5, p. 738-748, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.006>

COOLONG, T. Performance of paper mulches using a mechanical plastic layer and water wheel transplanter for the production of summer squash. **HortTechnology**, v. 20, n. 2, p. 319-324, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.20.2.319>

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO Estudio de Riego y Drenaje n. 24, 1997. 300p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2017. 576p.

FARG, E.; ARAFAT, S. M.; EL-WAHED, M. S. A.; EL-GINDY, A. M. Estimation of evapotranspiration ET<sub>c</sub> and crop coefficient K<sub>c</sub> of wheat, in south Nile Delta of Egypt using integrated FAO-56 approach and remote sensing data. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 15, n. 1, p. 83-89, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2012.02.001>

FREITAS, A. R. J.; FREITAS, F. C. L.; SOUZA, C. M.; DELAZARI, F. T.; BERGER, P. G.; BORGES, F. J. G.; ZANUNCIO, J. C. Biodegradable mulch controls weeds and increases water use efficiency in lettuce crops. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 330-334, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210314>

GADIOLI, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCIA, A. G.; BASANTA, M. V. D. Temperatura do ar, rendimento de grão de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 377-383, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000300001>

GOUVEIA, G. P.; FELFILI, J. M. Fenologia de comunidades de cerrado e de mata de galeria no Brasil Central. **Revista Árvore**, v. 22, n. 4, p. 443-450, 1998.

HAAPALA, T.; PALONEN, P.; TAMMINEN, A.; AHOKAS, J. Effects of different paper mulches on soil temperature and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) in the temperate zone. **Agricultural and food Science**, v. 24, n. 1, p. 52-58, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.23986/afsci.47220>

LIMA, C. S. M.; GONÇALVES, M. A.; TOMAZ, Z. F. P.; FACHINELLO, J. C.; RUFATO, A. R. Sistemas de tutoramento e épocas de transplante de *Physalis*. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1-8, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010001200006>

LIU, E. K.; HE, W. Q.; YAN, C. R. White revolution to white pollution - Agricultural plastic film mulch in China. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 9, p. 99-101, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/9/091001>

LÓPEZ, J. E. S.; VILLA, M. S.; GONZÁLEZ, G. A.; SOLORIO, C. O.; HERNÁNDEZ, M. V.; LEÓN, T. C. Phenology of *Physalis peruviana* L. cultivated based on thermal time. **Revista Mexicana de Ciências Agrícolas**, v. 7, n. 17, p. 3521-3528, 2016.

MARCHIORETTO, L. R.; ROSSI, A.; CONTE, E. D. Chemical root pruning improves quality and nutrient uptake of cape gooseberry (*Physalis peruviana*) seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108948, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108948>

MARIN, F. R.; BAMBER, G. I.; SILVA, T. G. F.; VIANNA, M. S.; NASSIF, D. S. P.; CARVALHO, K. S. Sugarcane evapotranspiration and irrigation requirements in tropical climates. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 140, p. 1349-1357, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03161-z>

MAYES, S.; MASSAWE, F. J.; ALDERSON, P. G.; ROBERTS, J. A.; AZAM-ALI, S. N.; HERMANN, M. The potential for underutilized crops to improve security of food production, **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 3, p. 1075-1079, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/err396>

MORENO, M. M.; MORENO, C.; TARQUIS, A. M. Mulch materials in processing tomato: a multivariate approach. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 250-256, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400005>

MU, L.; FANG, L. Effects of different mulching practices on the photosynthetic characteristics of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) in a greenhouse in Northwest China. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 65, n. 8, p. 735-746, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09064710.2015.1056545>

MUNIZ, J.; KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L.; PELIZZA, T. R.; RUFATO, A. D. R.; MACEDO, T. A. D. General aspects of *Physalis* cultivation. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, p. 964-970, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000006>

OBRECHT, A. S. **Estudio fenológico de uvilla (*P. peruviana* L.)**. Tese (Doutorado) -Facultad de Ciencias Agrarias e Forestales, Universidad de Chile, Santiago, 71p., 1993.

OLIVEIRA, R. M.; CUNHA, F. F.; SILVA, G. H.; ANDRADE, L. M.; MORAIS, C. V.; FERREIRA, P. M. O. Evapotranspiration and crop coefficients of *Italian zucchini* cultivated with recycled paper as mulch. **Plos One**, v. 15, n. 5, p. e0232554, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232554>

OLIVEIRA, S. F.; GONÇALVES, F. J.; CORREIA, P. M.; GUINÉ, R. P. Physical properties of *Physalis peruviana* L. **Open Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 55-59, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/opag-2016-0007>

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

PANIGRAHI, N.; THOMPSON, A. J.; ZUBELZU, S.; KNOX, J. W. Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. **Scientia Horticulturae**, v. 276, n. 1, p. 109735, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109735>

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

PEREIRA-NETTO, A. B. Crescimento e desenvolvimento. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. (Eds.) **Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita**. Curitiba: Champagnat. p. 17-42, 2002.

REIS, L. S.; AZEVEDO, C. A. V.; ALBUQUERQUE, A. W.; SOUZA JÚNIOR, J. F. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. **Revista**

**Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 386-391, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000400005>

RODRIGUES, F. A.; PENONI, E. S.; SOARES, J. D. R.; SILVA, R. A. L.; PASQUAL, M. Caracterização fenológica e produtividade de *Physalis peruviana* cultivada em casa de vegetação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1771-1777, 2013.

RUFATO, A. D. R.; RUFATO, L.; LIMA, C. S. M.; MUNIZ, J. **A cultura da physalis**. Brasília: Embrapa, 2013. 67p.

SALAZAR, M. R.; JONES, J. W.; CHAVES, B.; COOMAN, A.; FISCHER, G. Base temperature and simulation model for nodes appearance in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 862-867, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400004>

SANTOS, S. S.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; LEAL, M. A. A.; RIBEIRO, R. L. D. Produção de cebola orgânica em função do uso de cobertura morta e torta de mamona. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 549-552, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000300032>

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ... & CUNHA, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Embrapa, 2018. ISBN 978-85-7035-800-4.

SILVA, D. F.; PIO, R.; SOARES, J. D. R.; NOGUEIRA, P. V.; PECHE, P. M. VILLA, F. The production of *Physalis* spp. seedlings grown under different-colored shade nets. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 257-263, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i2.27893>

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p946-952>

SILVA, G. H. D. Biodegradable mulch of recycled paper reduces water consumption and crop coefficient of pak choi. **Scientia Horticulturae**, v. 267, n. 6, p. 109315, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109315>.

SILVA, G. H.; CUNHA, F. F.; MORAIS, C. V.; FREITAS, A. R. J.; SILVA, D. J. H.; SOUZA, C. M. Mulching materials and wetted soil percentages on zucchini cultivation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. e006720, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044006720>

SILVA, J. G.; OLIVEIRA, O. H.; LOPES, K. P.; CAVALVANTE, J. A.; HORNKE, N. F.; MORAES, D. M. Tolerance to irrigation water salinity in *Physalis peruviana* L. plants. **Revista Ceres**, v. 68, n. 6, p. 617-623, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202168060014>

SINGH, R. K.; IRMAK, A. Estimation of crop coefficients using satellite remote sensing. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 135, n. 5, p. 597-608, 2009. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000052](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000052)

SOUSA, F. G. G. **Determinação da evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo do lúpulo em diferentes texturas de solo.** 2021. 103 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2021.

SOUZA, M. O.; SOUZA, C. L. M.; BARROSO, N. S.; PELACANI, C. R. Preconditioning of *Physalis angulata* L. to maintain the viability of seeds. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 1, p. 153-156, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000100015>

SUZUKI, Y.; ISHIYAMA, K.; SUGAWARA, M.; SUZUKI, Y.; KONDO, E.; TAMAKAWA, Y. T.; YOON, D. K.; SUGANAMI, M.; WADA, S.; MIYAKE, C.; MAKINO, A. Overproduction of chloroplast glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase improves photosynthesis slightly under elevated [CO<sub>2</sub>] conditions in rice. **Plant and Cell Physiology**, v. 62, n. 1, p. 156-165, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcaa149>

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

TANAN, T. T.; NASCIMENTO, M. N.; LEITE, R. S. Produção e caracterização dos frutos de espécies de *Physalis* cultivadas no semiárido baiano. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 3, p. 113-121, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.n3.a233>

VINCENT, H.; WIERSEMA, J.; KELL, S.; FIELDER, H.; DOBBIE, S.; ÁLVAREZ, N. P. C.; GUARINO, L.; EASTWOOD, R.; LEON, B.; MAXTED, N. A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food security. **Biological Conservation**, v. 167, n. 11, p. 265-275, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.08.011>

YAGHI, T.; ARSLAN, A.; NAOUM, F. Cucumber (*Cucumis sativus*, L.) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 128, p. 149-157, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.002>

YANG, N.; SUN, Z. X.; FENG, L. S.; ZHENG, M. Z.; CHI, D. C.; MENG, W. Z.; HOU, Z. Y.; BAI, W.; LI, K. Y. Plastic film mulching for water-efficient agricultural applications and degradable films materials development research. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 30, n. 2, p. 143-154, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10426914.2014.930958>

ZHANG, H.; MILES, C.; GHIMIRE, S.; BENEDICT, C.; ZASADA, I.; DEVETTER, L. Polyethylene and biodegradable plastic mulches improve growth, yield, and weed management in florican red raspberry. **Scientia Horticulturae**, v. 250, n. 5, p. 371-379, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.067>

ZHAO, P.; LI, S.; LI, F.; DU, T.; TONG, L.; KANG, S. Comparison of dual crop coefficient method and Shuttleworth - Wallace model in evapotranspiration partitioning in a vineyard of northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 160, n. 10, p. 41-56, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.026>

ZHITAO, Z.; LAN, Y.; PUTE, W.; WENTING, H. Model of soybean NDVI change based on time series. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 7, n. 5, p. 64-70, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20140705.007>

## CAPÍTULO 4: DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE DE *Physalis peruviana* L.

### HIGHLIGHTS

- A determinação do ponto de murcha permanente (PMP) é essencial para o manejo da irrigação.
- *Physalis peruviana* cultivada em solo arenoso murcha mais rápido que em franco-argilo-arenoso.
- O PMP acontece em diferentes tensões para solos arenosos e franco-argilo-arenosos.
- A tensão equivalente ao PMP aumenta ao longo dos estádios de desenvolvimento da *P. peruviana*.

### RESUMO

A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente são informações importantes para definir a disponibilidade de água para planta. Cada espécie apresenta um limite para sucção da água no solo, que é considerado limite inferior de água, ou ponto de murcha permanente. Determinar esse conteúdo de água armazenada no solo para cada cultura, permite reunir informações que podem levar a uma otimização no uso de recursos naturais e no manejo hídrico da cultura. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi determinar o ponto de murcha permanente (PMP) para *Physalis peruviana* L. em solo arenoso e franco-argilo-arenoso. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, onde as plantas foram cultivadas em vasos. Os solos foram mantidos próximos a 80% da capacidade de campo até o início do período estimado para imposição do déficit hídrico, momento em que passaram a não receber água. Ao primeiro sinal de murcha da planta, os vasos foram transferidos para uma câmara escura, para verificar se a mesma retornaria a turgidez. Retornando a turgidez, o vaso era transferido para o ambiente protegido novamente até voltar a murchar novamente. Quando a turgidez não era recuperada, considerava-se que a planta estava no PMP. Nesse momento foram determinados o teor de água e tensões equivalentes ao PMP por meio da curva de retenção. Verificou-se que o PMP pode variar de acordo com a textura do solo e do desenvolvimento da cultura. *P. peruviana* cultivada em solo arenoso murcha em menor tempo que cultivada em franco-argilo-arenoso. Para solo de textura arenosa, a tensão equivalente ao PMP de *P. peruviana* varia entre 180 e 2.266 kPa. Em solos de textura franco-argilo-arenosa a variação de tensão é de 665 a 1.611 kPa.

**Palavras-chave:** Água disponível; Deficit hídrico; Tensão de água no solo; Textura do solo.

## 1. INTRODUÇÃO

A água tem-se mostrado o insumo mais limitante ao crescimento e à produtividade das culturas (PEREIRA et al., 2017). Aliado a isso, estimativas sobre os efeitos das alterações climáticas globais tem indicado um aumento na ocorrência de eventos de seca (KÜMMERER et al., 2019; SALLAM et al., 2019). Caso isso seja confirmado, a situação irá agravar ainda mais, causando impactos significativos no desenvolvimento de plantas e, conseqüentemente, na produção de alimentos. Assim, o uso correto e eficiente dos recursos hídricos requer uma abordagem sistêmica de fatores relacionados à sua disponibilidade e utilização no âmbito social (CADORE; TOCHETTO, 2021), além de um planejamento detalhado e manejo correto das culturas agrícolas. Nesse contexto, a demanda por estudos a respeito das propriedades dos solos e pelas limitações impostas à absorção de água pelas plantas em condições de escassez hídrica tem se tornado cada vez mais importantes (PEREIRA et al., 2017). Essas respostas colaboram para o entendimento do comportamento das culturas e certamente subsidiará nas tomadas de decisões no momento do manejo da irrigação (DEIHIMFARD et al., 2022).

De modo geral, o manejo hídrico consiste em determinar a demanda de água e o momento oportuno da irrigação. Existem várias formas de manejar a irrigação, sendo que o via clima e via solo são os mais utilizados (DEIHIMFARD et al., 2022; LYU et al., 2021; OJEDA et al., 2020). Para praticar manejo da irrigação são necessárias informações precisas sobre vários parâmetros referentes a cultura, solo, equipamento e clima. O conhecimento da umidade do solo equivalente ao ponto de murcha permanente (PMP) é essencial para o manejo da irrigação, seja via solo ou clima.

O conceito de PMP é definido como o teor de água do solo no qual as folhas da planta que nele crescem atingem murcha irreversível, mesmo se colocadas em atmosfera saturada de vapor de água (TOLK, 2003). Este conceito clássico é derivado dos estudos pioneiros de Briggs e Shantz (1912); Richards e Weaver (1943) e Veihmeyer e Hendrickson (1928). Estes autores determinaram os pontos de murcha para uma ampla variedade de espécies de plantas cultivadas em diferentes solos. A conclusão deste estudo foi que diferentes espécies murcham em potenciais matriciais semelhantes, independentemente da textura do solo.

A padronização dessa murcha fisiológica ocorreu, em seguida, segundo o procedimento descrito em Furr e Reeve (1945), onde utilizaram o girassol (*Helianthus annuus* L.) como planta indicadora, sendo este conhecido como método fisiológico de determinação de PMP. Mas, após

os avanços no entendimento da relação entre a murcha das plantas e o teor de água do solo, o estudo de Richards e Weaver (1943) foi crucial para a adoção do já clássico conceito de PMP. Os cientistas do solo definem o PMP como o teor de água retido no solo sob um potencial matricial ( $\psi$ ) de -15 atm (ponto de murcha do solo) (WIECHETECK et al., 2020).

No entanto, a consideração de que o PMP é uma característica estática do solo tem sido contraposta na literatura, pois, representa uma simplificação de processos que ocorrem no contínuo solo-planta-atmosfera. Autores descrevem que o processo da quantificação do ponto de murcha permanente, torna-se mais complexo quando se verifica que diferentes plantas respondem de maneira diferente à umidade do solo (COELHO et al., 2015; FERREIRA et al., 2020; SILVESTRO et al., 2017). Isso indica que a umidade do solo, por si só, não é um critério adequado para definir a disponibilidade de água para a planta. Segundo Van Lier e Gubiani (2015), características como geometria e distribuição das raízes, assim como potencial hídrico limitante às raízes, resistências intrínsecas das plantas associadas ao potencial de água no solo e a condutividade do solo próximas as raízes determinam a capacidade da planta em absorver água em taxas compatíveis com a demanda atmosférica.

Resultados experimentais sobre o potencial matricial do solo no início da murcha mostram uma variabilidade bastante alta. Wiecheteck et al. (2020) encontraram para plantas de trigo e cevada, cultivados em diferentes texturas do solo, PMP variando de -1.637 a -2.417 kPa. Procópio et al. (2004) encontraram valores de PMP para soja, feijão, *Euphorbia heterophylla*, *Bidens pilosa* e *Desmodium tortuosum* nas fases de pré-florescimento de 325, 283, 352, 206 e 336 kPa, respectivamente. Já para a fase de início de enchimento de grãos, para a mesmas culturas, esses valores foram de 251, 283, 259, 983 e 242 kPa, respectivamente. Coelho et al. (2015) também encontraram valores inferiores a -1.500 kPa para o PMP.

Várias culturas já possuem esse parâmetro determinado, porém algumas culturas que tem apresentando recentemente notável destaque no mercado agrícola, ainda possuem conhecimento incipiente quanto a essas variáveis. Uma cultura que ganha destaque nesse sentido é a *Physalis peruviana* L., pertencente à família da *Solanaceae* (APARECIDO et al., 2019; MARCHIORETTO et al., 2020). Conhecida no Brasil como Fisális, a *P. peruviana* entrou recentemente no ranking de pequenos frutos e tem apresentado grande potencial para o mercado nacional e internacional (ETZBACH et al., 2018; ORDÓÑEZ-SANTOS et al., 2017). A cultura é vista como uma excelente alternativa para o cultivo, visto que se desenvolve em diversos climas e tipos de solo, além de apresentar bom retorno econômico (RUFATO et al., 2013).

As informações quanto a necessidade hídrica para essa cultura ainda são escassas. Isso se deve, principalmente, por ter seu cultivo comercial no Brasil iniciado há poucos anos, havendo assim carência de informações técnicas sobre a cultura (RODRIGUES et al., 2013). Muitas vezes os tratamentos culturais e manejos são baseados em outras culturas da mesma família, mas com alto rendimento, como o tomate (*Solanum lycopersicum*) (MAYES et al., 2011; VINCENT et al., 2013), ou mesmo baseado em boletins técnicos de outras regiões de cultivo. Assim, o estabelecimento de padrões de cultivo e a adoção de técnicas de manejo que possibilitem ganhos de produtividade são essenciais para que a *P. peruviana* alcance patamares mais elevados na cadeia produtiva do agronegócio.

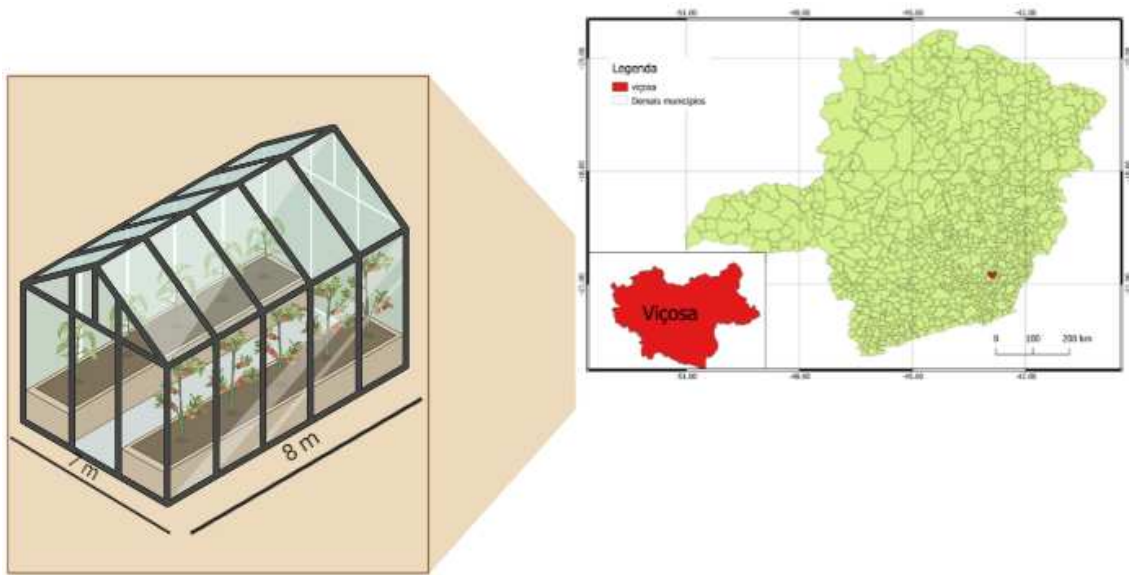
Portanto, determinar o conteúdo de água armazenada no solo de acordo com a cultura permite otimização no uso de recursos hídricos, além do conhecimento sobre a tolerância ao déficit hídrico em cada espécie. Assim, buscando o aprimoramento do cultivo de *P. peruviana*, principalmente em respostas ao déficit hídrico, é que se buscou identificar o limite de umidade no solo por meio do ponto de murcha permanente dessa cultura. É oportuno ressaltar que investigações experimentais ainda são escassas a esse respeito, principalmente para uma cultura onde não há parâmetros hídricos determinados. Diante do exposto, avaliou-se as condições hídricas em que ocorre a murcha biológica das plantas de *P. peruviana* cultivada em diferentes tipos de solos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Caracterização do experimento e delineamento experimental**

O experimento foi realizado no período de julho a novembro de 2020 e conduzido em casa de vegetação. A estrutura está localizada na Área Experimental de Irrigação e Drenagem, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), em Viçosa-MG, situada sob as coordenadas geográficas 20°45' S, 42°52' W e 648 m de altitude (Figura 1).

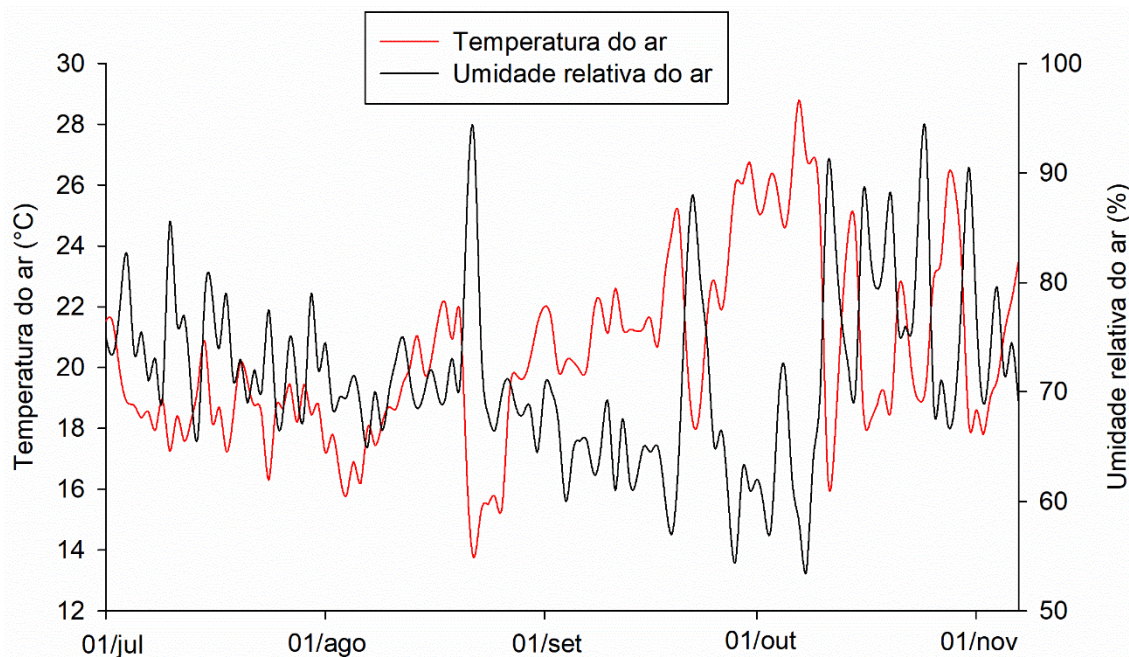
**Figura 1** – Localização da área experimental e esquema da casa de vegetação utilizada no estudo



Fonte: Freitas, E.M. (2022).

Na Figura 2 estão apresentados os comportamentos da temperatura do ar e umidade relativa durante o período de execução do estudo.

**Figura 2** – Caracterização climática no interior da casa de vegetação durante o período experimental. DEA-UFV, 2020.



Fonte: Freitas, E.M (2022).

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram compostos por plantas de *P. peruviana* cultivadas

em vasos plásticos, em dois tipos de solos diferentes, um de textura arenosa e outro franco-argilo-arenoso, conforme classificação da Embrapa (2018). Foram retiradas amostras de diferentes locais da Área de Irrigação e Drenagem, para estabelecer as diferenças texturais. Após a primeira confirmação laboratorial, os pontos demarcados foram escolhidos para a coleta. Esses solos foram escolhidos por estarem entre aqueles recomendados para o cultivo de *P. peruviana* (MUNIZ et al., 2014). Para a caracterização química e física dos solos foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 a 20 cm, a mesma utilizada para preenchimento dos vasos. Foram determinados os macronutrientes (P, H+Al, K, Ca, Mg) e a composição granulométrica (Tabela 1). As análises foram realizadas no laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante do Departamento de Solos da UFV.

**Tabela 1** – Composição físico-química dos solos utilizados no experimento.

Análise granulométrica (dag kg <sup>-1</sup> )										
Classificação textural		Areia			Silte			Argila		
Arenoso (ARE)		84			3			13		
Franco-Argilo-Arenoso (FAA)		57			13			30		

Análise Química										
Solos	pH	P	K	H+Al	Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	CTC	V	MO
	H <sub>2</sub> O	---mg dm <sup>-1</sup> ---			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				%	dag kg <sup>-1</sup>
ARE	5,6	10,9	47	2,97	0	0,45	1,42	8,38	51,5	1,88
FAA	6,0	191,8	230	3,96	0	4,41	3,92	14,75	73,2	4,30

Fonte: Freitas, E.M. (2022).

## 2.2. Montagem dos vasos

As plantas foram cultivadas em vasos plásticos, com volume de 5 litros, sendo preenchidos com 3,6 kg de solo seco, tanto para o solo arenoso como para o franco-argilo-arenoso. Antes do preenchimento dos vasos, os volumes coletados dos dois tipos de solos foram destorroados, homogeneizados, secos ao ar e passados em peneira de malha de 2 mm. Logo após, procedeu-se a adubação dos solos, respeitando as exigências de cada tipo de solo para sua correção.

A recomendação de adubação para a cultura da *physalis* foi realizada conforme recomendação para o tomateiro (MUNIZ et al., 2014). Este procedimento foi realizado pelo fato que no Brasil ainda não existe recomendação de adubação específicas para a *physalis*. Para os solos arenosos foram utilizados 110 mg dm<sup>-3</sup> de P (superfosfato simples, 20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 80 mg dm<sup>-3</sup> de K (cloreto de potássio, 60% K<sub>2</sub>O) e 40 mg dm<sup>-3</sup> de N (sulfato de amônio, 20% de N).

Para o solo argiloso não foram necessárias correções químicas do solo. Em relação a acidez, também não foi necessário aplicar corretivo em nenhum dos dois solos utilizados.

Em cada vaso foram depositadas cinco sementes de *P. peruviana*. Quando as plantas alcançaram dois pares de folhas completas, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. Os vasos foram alocados na casa de vegetação espaçados em 1,5 m entre linhas e 1,5 m entre fileiras.

### **2.3. Material vegetal**

As sementes de *P. peruviana* utilizadas foram adquiridas de frutos maduros obtidos de cultivos localizados no município de Diamantina, Minas Gerais. Os frutos foram cortados, colocados em peneiras e lavados em água corrente para retirada do excesso de polpa. As sementes foram extraídas e dispostas em bandejas com papel toalha e secas em condições ambiente ( $\pm 25$  °C) por 24 horas. Antes da execução do experimento foram realizados testes para comprovação da qualidade e viabilidade das sementes. Foram realizadas análise de vigor das sementes com testes de germinação e análise de emergência de plântulas, seguindo os procedimentos de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). A partir das respostas destas análises, onde foi constatado que as sementes eram viáveis e apresentavam germinação de 96%, foram então executadas as atividades de semeadura. Os testes foram conduzidos no Laboratório de Análises de Sementes pertencente ao Departamento de Agronomia, da Universidade Federal de Viçosa.

No decorrer do ciclo da cultura, todas as brotações laterais que surgiram durante o desenvolvimento da planta foram retiradas, mantendo apenas o ramo principal. A posição da linha de cultivo adotada no experimento foi a leste-oeste de acordo com melhor posição da entrada de radiação solar na casa de vegetação. Para condução das plantas, foram utilizados tutores de bambu de cerca de 3 a 5 cm de diâmetro e 1,50 m de altura, sendo que 0,5 m do comprimento ficou enterrado no solo. O amarrio das plantas foi realizado com fitilho, durante toda a fase de desenvolvimento da planta. O primeiro amarrio foi feito um mês após o transplante, e os demais a cada 25 dias ou conforme a necessidade.

O controle de pragas foi realizado sempre que necessário. Embora a produção não seja orgânica, os produtos utilizados foram naturais, sendo empregados inseticidas biológicos (Dipel®) e extratos repelentes (Óleo de Nim).

## 2.4. Disponibilidade hídrica no solo

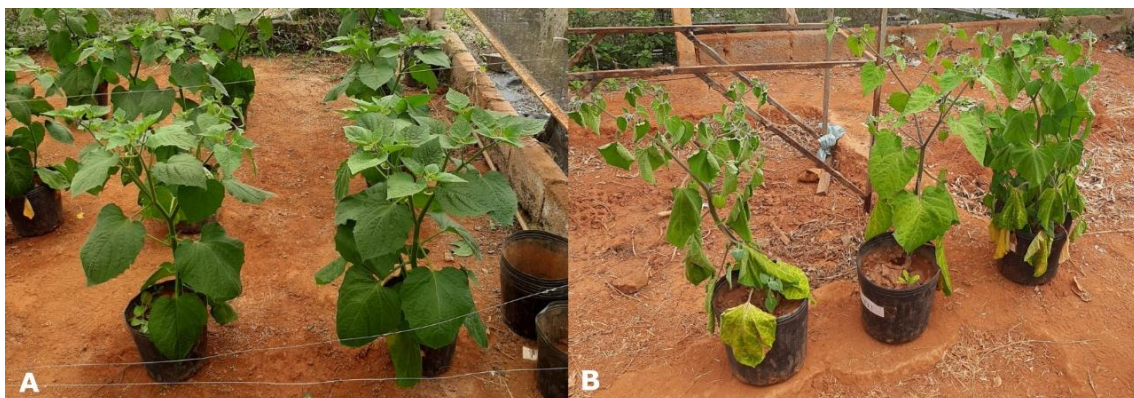
A capacidade máxima de armazenamento de água pelo solo foi determinada em cada vaso individualmente. Após preenchidos com o solo seco, estes foram saturados, vedados com uma película de policloreto de vinila (PVC) e suspensos para drenagem do excesso de água. Ao cessar a drenagem (24 horas), os vasos foram novamente pesados e a diferença foi considerada a máxima capacidade de retenção de água no solo, conforme metodologia descrita por Bonfim-Silva et al. (2011).

A reposição de água foi realizada diariamente, de acordo com o método gravimétrico, por meio de pesagens diárias. Para isso foi utilizada balança eletrônica com precisão de 0,01 g e considerou-se o acréscimo diário de biomassa das plantas. Para isso em cada tratamento era composto por uma planta “cobaia”, onde eram realizadas as medições da matéria fresca da cultura. A reposição hídrica foi de forma que a umidade do solo atingisse os níveis de disponibilidade hídrica referentes a 80% da máxima capacidade de retenção de água.

## 2.5. Determinação do ponto de murcha permanente

O ponto de murcha permanente (PMP) da cultura da physalis foi quantificado em intervalos de 10 dias. Ao longo de todo o ciclo de cultivo da physalis foram realizadas onze determinações de valores de PMP. A cada 10 dias, três vasos de cada solo eram selecionados para serem submetidos ao déficit hídrico (Figura 3). A reposição hídrica não era realizada e o solo atingia o PMP durante os estádios desejados.

**Figura 3** – Respostas morfológicas em plantas hidratadas (A) e sob déficit hídrico (B)



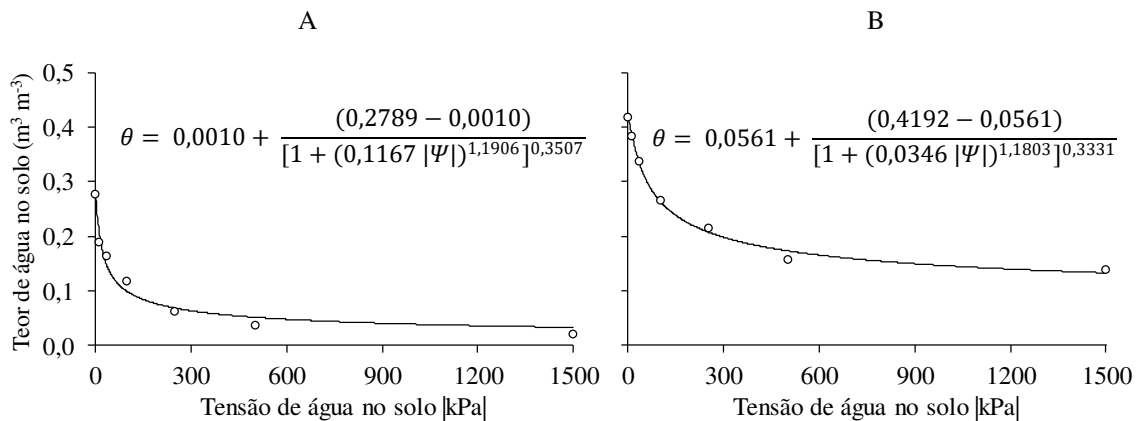
Fonte: Freitas, E.M. (2022).

A partir desta etapa, ao primeiro sinal de murcha das plantas, no final do dia, os vasos eram transferidos para câmara escura com umidade relativa do ar próxima a 100%. Ao

amanhecer era observado o retorno ou não da turgidez de cada planta, adotando-se o critério de que, se pelo menos uma folha se recuperasse, o vaso retornaria à casa de vegetação e continuaria sendo mantido sem irrigação, e assim sucessivamente, até o não-retorno definitivo da turgidez. Nessa ocasião, se a planta não retornasse sua turgidez, era considerado que aquele solo se encontrava com a umidade equivalente ao PMP.

Após identificação que o solo estava com umidade equivalente ao PMP, os vasos eram retirados da câmara escura e as plantas cortadas rente ao solo. Em seguida, nesse vaso era coletada uma amostra de solo (sem raízes) e pesada em balança de precisão (CASSEL; NIELSEN, 1986). Essa amostra era levada para estufa com circulação forçada de ar e mantida à temperatura de  $105 \pm 5$  °C até a mesma apresentar massa constante. De posse desses valores de massa, era determinado o conteúdo de água em base gravimétrica. Por meio das umidades e curvas de retenção de água para os diferentes solos (Figura 4), foram calculados os potenciais matriciais equivalentes ao PMP.

**Figura 4** – Curvas de retenção de água para solos de textura arenosa (A) e franco-argilo-arenosa (B), ajustadas pelo modelo de Van Genuchten (1980)



Fonte: Freitas, E.M (2022).

Para construção da curva de tensão de água no solo, amostras de solo foram submetidas às tensões de 10, 33, 100, 250, 500 e 1.500 kPa por meio do extrator de Richards (RICHARDS, 1949). Os dados de umidade do solo em função das tensões de água no solo foram ajustados ao modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980), como mostrado na Equação 1 e Figura 4.

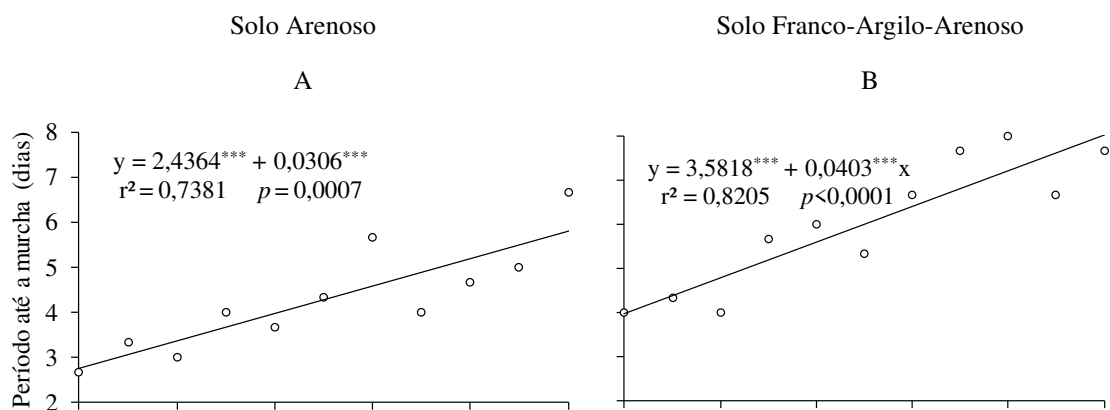
$$\theta = \theta r + \frac{(\theta_s - \theta r)}{[1 + (\alpha |\psi|)^n]^m} \quad \text{Equação 1}$$

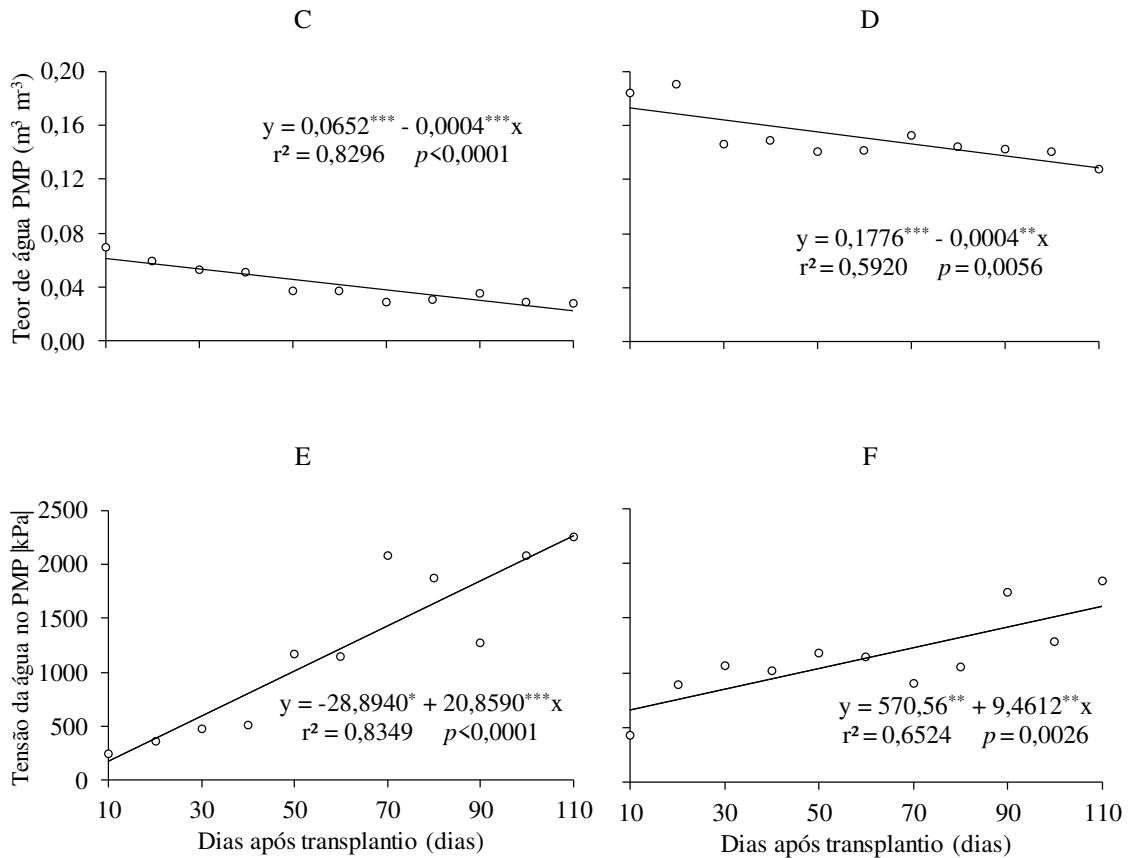
Onde,  $\theta$  é o teor volumétrico de água ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\theta_r$  é o conteúdo de água residual no solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\theta_s$  é o teor de água na saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\Psi$  é a tensão matricial do solo (kPa);  $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$  são os parâmetros ajustados referentes ao solo.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a supressão da irrigação, os tempos necessários para aparecerem os primeiros sinais de deficit hídrico observados nas plantas de *P. peruviana* (murcha característica, com enrolamento de folhas no sentido da borda para a nervura) variaram de acordo com a fase fenológica e textura do solo. Verifica-se na Figura 5 que, em média, esses sinais foram observados três a oito dias após a imposição do deficit hídrico. Verifica-se nas equações de regressão das Figuras 5A e 5B que o tempo para a *P. peruviana* murchar aumentou ao longo do ciclo de cultivo. Possivelmente, esse comportamento é explicado pelo menor volume de solo explorado pelas raízes no início do ciclo. Assim, uma menor quantidade de solo é explorado e pequenas extrações hídricas acarretam grandes variações nos teores e nas tensões da água no solo. Além disso, outro fator que colaborou para os menores períodos de tempos para a *P. peruviana* murchar no início do ciclo foi o requerimento de maior teor de água nesse período, como verificado nas Figuras 5C e 5D.

**Figura 5** – Períodos de tempo necessários para as plantas murcharem (A e B), teores de água (C e D) e potenciais hídricos (E e F) equivalentes ao ponto de murcha permanente (PMP) da *Physalis peruviana* ao longo de um ciclo de cultivo em solos de textura arenosa (A, C e E) e franco-argilo-arenosa (B, D e F)





\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$  e \*\*\* $p < 0,001$  pelo teste t.

Fonte: Freitas, E.M (2022).

Em relação aos dois tipos de solo, percebe-se que a *P. peruviana* cultivada em solo arenoso precisou de menor tempo para apresentar murchamento em relação ao solo franco-argilo-arenoso. De acordo com as equações de regressão, a *P. peruviana* demorou de três a seis dias para murchar em solo arenoso e quatro a oito dias para murchar em solo franco-argilo-arenoso. Isso acontece devido ao solo franco-argilo-arenoso apresentar maior retenção de água no solo, em comparação ao outro solo avaliado. Resultados semelhantes aos apresentados no presente estudo foram obtidos por Moline et al. (2013), nas fases iniciais de desenvolvimento do tomateiro. Os autores verificaram que quando a cultura apresentava três pares de folhas definitivas, a murcha ocorreu após quatro dias do corte hídrico para o tomate cultivado em solo arenoso e cinco dias em solo argiloso.

Verifica-se nas Figuras 5C e 5D que a *P. peruviana* conseguiu extrair maior conteúdo de água do solo conforme avançava o ciclo de cultivo. Verifica-se também que a planta conseguiu retirar água em menores valores de umidades quando foi cultivada em solo arenoso.

De posse das equações apresentadas na Figura 4, esses valores de umidade foram transformados em tensão de água no solo.

Verifica-se que o comportamento das tensões de água no solo (Figuras 5E e 5F) é reflexo do comportamento da umidade do solo (Figuras 5C e 5D). Independentemente do tipo de solo, verifica-se que a *P. peruviana* conseguiu retirar água em maiores tensões conforme avançava o ciclo de cultivo. Esse comportamento já foi esclarecido para culturas que apresentam raízes com diâmetros reduzidos, que é o caso da planta de *P. peruviana*.

As culturas que possuem raízes mais finas e menor quantidade de pelos radiculares apresentam limitação na absorção de água (LEITE et al., 2019). Nas fases iniciais, devido a essas características, mesmo que a planta desenvolva altas sucções, não é capaz de absorver a água presente, reduzindo o seu fluxo no solo para as raízes. Já durante o desenvolvimento das plantas, a densidade e o comprimento de raízes aumentam até o início da floração, possibilitando absorção de água que está mais fortemente retida no solo (MOLINE et al., 2013). Esses resultados reforçam que há uma relação direta entre o PMP e a capacidade de extração de água do solo pelas plantas, devido à aspectos relacionados às raízes ou da própria espécie.

Verifica-se também nas Figuras 5E e 5F que as tensões equivalentes ao PMP para *P. peruviana* cultivada em solo de textura arenosa variou de 180 a 2.266 kPa ao longo do ciclo de cultivo. Já para o solo de textura franco-argilo-arenosa essa variação foi de 665 a 1.611 kPa. Percebe-se que no início do ciclo de cultivo as tensões equivalentes ao PMP da *P. peruviana* foram menores quando a mesma foi cultivada em solo arenoso. No meio do ciclo as tensões equivalentes ao PMP se equipararam e no final do ciclo os valores foram menores no solo franco-argilo-arenoso.

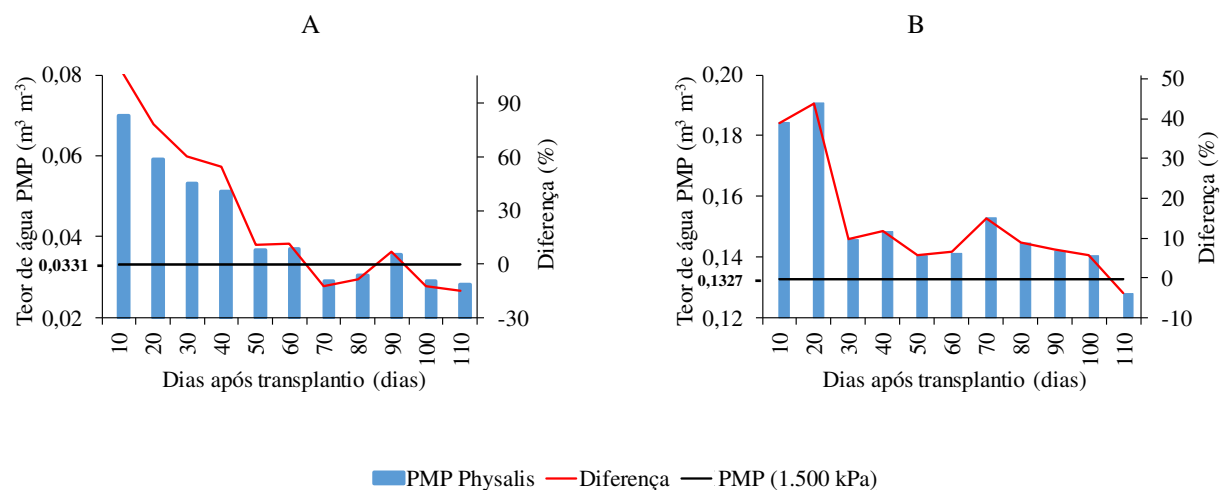
O conteúdo de argila dos solos apresenta correlação com a sua capacidade de retenção de água (BOTULA et al., 2012; HOSSEINI et al., 2016; NAVEED et al., 2012). A fração argila afeta a formação de microporos, que aumentam as forças capilares e a área superficial específica dos solos, contribuindo para um maior teor de água retido em altas sucções matriciais. De acordo com Wiecheteck et al. (2020), o movimento da água em direção às raízes será mais significativo para alta sucção de matriz em solos de textura fina em comparação aos solos de textura grossa. Solos com textura mais fina, apresentam maior intensidade das forças adsorptivas (PREVEDELLO, 2015). Os solos arenosos devido sua maior macroporosidade e menor área superficial específica, perdem a água retida de forma mais rápida, além de reterem menor volume de água para um mesmo potencial matricial (DONAGEMMA et al., 2016).

Dessa forma, os solos de textura franco-argilo-arenosa, devido a sua composição com maiores teores de argila, mantem um maior reservatório de água em PMP, disponibilizando assim por um período maior as culturas (MOLINE et al., 2013; ZAFFAR; SHENG-GAO, 2015). Isso também explica o motivo das plantas de *P. peruviana* levarem mais tempo para apresentar sinal de murcha quando foram cultivadas nesses solos.

Para a maioria das culturas agrícolas, a tensão de 1.500 kPa é assumida como aquela equivalente ao PMP (BERNARDO et al., 2019). Conforme as equações de regressão das Figuras 5E e 5F, a cultura da *P. peruviana* apresentou essa tensão como equivalente ao PMP aos 71 e 98 DAT para os solos arenoso e franco-argilo-arenoso, respectivamente. Antes disso, os solos apresentaram tensões menores que 1.500 kPa para PMP e, após essas datas, valores maiores.

Na Figura 6 estão apresentadas as umidades equivalentes ao PMP ao longo de todo o ciclo de cultivo da *P. peruviana* e as diferenças com o PMP considerando a tensão padrão de 1.500 kPa. Caso seja considerada a tensão padrão para o manejo da irrigação de *P. peruviana*, erros entre -15 e 110% podem ser cometidos em solos arenosos. Para solos franco-argilo-arenosos, os erros seriam menores, variando entre -4 e 44%. O PMP é um parâmetro importante para o manejo da irrigação, pois é necessário para o cálculo da água disponível no solo (BERNARDO et al., 2019).

**Figura 6** – Teores de água equivalentes ao ponto de murcha permanente (PMP) ao longo de todo o ciclo de cultivo da *P. peruviana* e as diferenças com o PMP equivalente a tensão padrão de 1.500 kPa para os solos (A) arenoso e (B) franco-argilo-arenoso



Fonte: Freitas, E.M (2022).

Os resultados deste estudo diferem dos obtidos nos pioneiros estudos de Briggs e Shantz (1912); Richards e Weaver (1943) e Veihmeyer e Hendrickson (1928). Nossos achados não sugerem um único potencial matricial, independentemente da textura do solo. Entretanto, estudos devem ser repetidos com diferentes solos e culturas para confirmação desses resultados. Por ora, os resultados encontrados no presente estudo auxiliam no cálculo da água disponível no solo e contribuirão para o manejo hídrico de *P. peruviana*.

#### 4. CONCLUSÕES

O ponto de murcha permanente para *P. peruviana* varia em função do tipo de solo e do estágio fenológico da cultura. Para solo de textura arenosa, a tensão equivalente ao ponto de murcha permanente de *P. peruviana* varia entre 180 e 2.266 kPa. Em solos de textura franco-argilo-arenosa a variação de tensão é de 665 a 1.611 kPa.

#### 5. REFERÊNCIAS

- APARECIDO, L. E. O.; BATISTA, R. M.; MORAES, J. R. S. C.; COSTA, C. T. S.; OLIVEIRA, A. F. M. Agricultural zoning of climate risk for *Physalis peruviana* cultivation in Southeastern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e00057, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00057>
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Editora UFV, 2019. 545p.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J.; CABRAL, C. E.; VALADARES, E.; GOLDONI, G. Características morfológicas e estruturais de capim-marandu adubado com cinza vegetal em Latossolo vermelho do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1-9, 2011
- BOTULA, Y. D.; CORNELIS, W. M.; BAERT, G.; VAN RANST, E. Evaluation of pedotransfer functions for predicting water retention of soils in Lower Congo (D.R. Congo). **Agricultural Water Management**, v. 111, p. 1-10, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.04.006>
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNTA/DNDV/CLAV, 2009. 399p.
- BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient and its indirect determination. **Botanical Gazette**, v. 53, n. 1, p. 20-37, 1912. <https://doi.org/10.1086/330708>
- CADORE, J. S.; TOCHETTO, M. Recursos hídricos: Panorama geral do setor e perspectivas ao atendimento da agenda 2030. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 9, n. 3, p. 122-136, 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5703347>
- CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. **Soil Science Society of Agronomy**, v. 1, p. 901-926, 1986. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c36>

COELHO, J.; BARROS, M. D. F.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, E. R. D. Physiological permanent wilting point and osmotic potential of cowpea grown. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 708-713, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700006>

DEIHIMFARD, R.; MOGHADDAM, S. R.; COLLINS, B.; AZIZI, K. Future climate change could reduce irrigated and rainfed wheat water footprint in arid environments. **Science of the Total Environment**, v. 807, n. 3, p. 150991, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150991>

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. D.; BALIEIRO, F. D. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; BORTOLON, L. Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001>

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. 356p.

ETZBACH, L.; PFEIFFER, A.; WEBER, F.; SCHIEBER, A. Characterization of carotenoid profiles in goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruits at various ripening stages and in different plant tissues by HPLC-DAD-APCI-MSn. **Food Chemistry**, v. 245, p. 508-517, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.120>

FERREIRA, R. O.; SOUZA, L. D. S.; NASCIMENTO, M. N. D.; SILVEIRA, F. G. F. D. Permanent wilt point from two methods for different combinations of citrus rootstock. **Ciência Rural**, v. 50, n. 1, e20190074, 2020. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190074>

FURR, J. R.; REEVE, J. O. The range of soil moisture percentages through which plants undergo permanent wilting point in some soils from semi-arid irrigated areas. **Journal of Agricultural Research**, v. 71, n. 4, p. 149-170, 1945.

HOSSEINI, F.; MOSADDEGHI, M. R.; HAJABBASI, M. A.; SABZALIAN, M. R. Role of fungal endophyte of tall fescue (*Epichloë coenophiala*) on water availability, wilting point and integral energy in texturally-different soils. **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 197-211, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.024>

KÜMMERER, K.; DIONYSIOU, D. D.; OLSSON, O.; KASSINOS, D. F. Reducing aquatic micropollutants—Increasing the focus on input prevention and integrated emission management. **Science of the Total Environment**, v. 652, p. 836-850, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.219>

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; NETO, L. P. G.; RAMOS, C. A. S.; SILVA, A. L. Alleviation of water deficit in *Physalis angulata* plants by nitric oxide exogenous donor. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 98-104, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.001>

LYU, S.; WU, L.; WEN, X.; WANG, J.; CHEN, W. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil-crop systems in China: A review. **Science of the Total Environment**, v. 813, p. 152531, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152531>

MARCHIORETTO, L. R.; ROSSI, A.; CONTE, E. D. Chemical root pruning improves quality and nutrient uptake of cape gooseberry (*Physalis peruviana*) seedlings. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108948, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108948>

MAYES, S.; MASSAWE, F. J.; ALDERSON, P. G.; ROBERTS, J. A.; AZAM-ALI, S. N.; HERMANN, M. The potential for underutilized crops to improve security of food production, **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 3, p. 1075-1079, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/err396>

MOLINE, E. F. V.; BARBOZA, E.; SIMÕES, L. P.; FERREIRA FILHO, G. S.; SOUZA, F. L. F.; SCHLINDWEIN, J. A. Ponto de murcha permanente em solos arenoso e argiloso utilizando o tomateiro como cultura indicadora. **Global Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 164-170, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.14688/1984-3801.v06n01a15>

MUNIZ, J.; KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L.; PELIZZA, T. R.; RUFATO, A. R.; MACEDO, T. A. General aspects of physalis cultivation. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, p. 964-970, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000006>

NAVEED, M.; MOLDRUP, P.; TULLER, M.; FERRÈ, T. P. A.; KAWAMOTO, K.; KOMATSU, T.; JONGE, L. W. Prediction of the soil water characteristic from soil particle volume fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 6, p. 1946-1956, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0124>

OJEDA, J. J.; REZAEI, E. E.; REMENYI, T. A.; WEBB, M. A.; WEBBER, H. A.; KAMALI, B.; HARRIS, R. M. B.; BROWN, J. N.; KIDD, D. B.; MOHAMMED, C. L.; SIEBERT, S.; EWERT, F. MEINKE, H. Effects of soil-and climate data aggregation on simulated potato yield and irrigation water requirement. **Science of the Total Environment**, v. 710, p. 135589, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135589>

ORDÓÑEZ-SANTOS, L. E.; MARTÍNEZ-GIRÓN, J.; ARIAS-JARAMILLO, M. E. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. **Food Chemistry**, v. 233, p. 96-100, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.114>

PEREIRA, A. C.; SILVA, G. Z.; CARBONARI, M. E. E. **Sustentabilidade, responsabilidade social e meio ambiente**. São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. **Física do solo com problemas resolvidos**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2015. 474p.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; DONAGEMMA, G. K.; MENDONÇA, E. S. Permanent wilting point of soybean, bean and weeds. **Planta daninha**, v. 22, n. 1, p. 35-41, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582004000100005>

RICHARDS, L. A. Methods of measuring soil moisture tension. **Soil Science of American Journal**, v. 68, n. 1, p. 95-112, 1949.

RICHARDS, L. A.; WEAVER, L. E. Fifteen Atmosphere Percentage es related to the pemianent wilting percentage. **Soil Science**, v. 56, n. 5, p. 331-340, 1943.

RODRIGUES, F. A.; PENONI, E. S.; SOARES, J. D. R.; SILVA, R. A. L.; PASQUAL, M. Caracterização fenológica e produtividade de *Physalis peruviana* cultivada em casa de vegetação. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1771-1777, 2013.

RUFATO, A. D. R.; RUFATO, L.; LIMA, C. S. M.; MUNIZ, J. A **cultura da physalis**. Brasília: Embrapa, 2013. 238p.

SALLAM, A.; ALQUDAH, A. M.; DAWOOD, M. F.; BAENZIGER, P. S.; BÖRNER, A. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 13, p. 3137, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms20133137>

SILVESTRO, P. C.; PIGNATTI, S.; YANG, H.; YANG, G.; PASCUCCI, S.; CASTALDI, F.; CASA, R. Sensitivity analysis of the Aquacrop and SAFYE crop models for the assessment of water limited winter wheat yield in regional scale applications. **PLoS One**, v. 12, n. 11, p. e0187485, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187485>

TOLK, J. A. Soils, permanent wilting points. **Encyclopedia of Water Science**, v. 120010337, p. 927-929, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1081/E-EWS120010337>

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

VAN LIER, Q. J.; GUBIANI, P. I. Além do “intervalo hídrico ótimo”: Repensando a pesquisa em física do solo no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 925-939, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140596>

VEIHMAYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Soil moisture at permanent wilting of plants. **Plant Physiology**, v. 3, n. 3, p. 355-357, 1928. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.3.3.355>

VINCENT, H.; WIERSEMA, J.; KELL, S.; FIELDER, H.; DOBBIE, S.; ÁLVAREZ, N. P. C.; GUARINO, L.; EASTWOOD, R.; LEON, B.; MAXTED, N. A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food security. **Biological Conservation**, v. 167, p. 265-275, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.08.011>

WIECHETECK, L. H.; GIAROLA, N. F.; LIMA, R. P.; TORMENA, C. A.; TORRES, L. C.; PAULA, A. L. Comparing the classical permanent wilting point concept of soil (-15,000 hPa) to biological wilting of wheat and barley plants under contrasting soil textures. **Agricultural Water Management**, v. 230, p. 105965, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105965>

ZAFFAR, M.; SHENG-GAO, L. U. Pore size distribution of clayey soils and its correlation with soil organic matter. **Pedosphere**, v. 25, n. 2, p. 240-249, 2015. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60009-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60009-1).

## CONCLUSÕES GERAIS

A germinação das sementes de *Physalis peruviana* ocorreu na faixa de 20 a 35 °C, destacado a temperatura de 25,4 °C com maior germinação das sementes, com um percentual de 97,2% das sementes germinadas. A combinação de estresses abióticos tiveram diferentes resultados, apresentando a espécie os limites de potencial osmótico para tolerância ao déficit hídrico de -0,9 MPa e inferior à -0,9 MPa quando expostas às temperaturas de 30 e 20/30°C, respectivamente. A baixa disponibilidade hídrica afetou negativamente as características de germinação e qualidade de sementes de *P. peruviana*, principalmente nos potenciais osmóticos inferiores à -0,45 e -0,61 MPa, em interação com a temperatura constante de 30 e alternada de 20/30 °C, respectivamente.

Tanto os substratos como os recipientes influenciaram na germinação de sementes e no desenvolvimento das mudas de *P. peruviana*. Destacando-se o substrato S6 composto por solo + areia + substrato comercial Maxplant® + esterco bovino curtido na proporção 1:1:1:2, assim como o recipiente R3 (saco de 400 cm<sup>3</sup>) como os mais adequados para produção de mudas.

O cultivo de *P. peruviana* utilizando papel reciclado como cobertura de solo é recomendado, visto que apesar de o mesmo reduzir o consumo hídrico, não afeta negativamente as características fisiológicas e agrônomicas da cultura. Ao se utilizar o papel como cobertura, recomenda-se os valores de coeficiente de cultivo (Kc) de 0,25; 0,55; 1,05 e 0,65 e para cultivo sem cobertura, os valores de valores 0,45; 0,85; 1,35 e 0,75 para os estádios inicial, desenvolvimento, médio e final, respectivamente. Para coeficiente de cultivo basal (Kcb), para os estádios inicial, desenvolvimento, médio e final, recomenda-se os valores de 0,18; 0,50; 0,96 e 0,05 respectivamente.

Considerando as condições experimentais e a resposta das variáveis estudadas, o ponto de murcha permanente para *P. peruviana* varia em função do tipo de solo e do estágio fenológico da cultura. Para solo de textura arenosa, a tensão equivalente ao ponto de murcha permanente de *P. peruviana* varia entre 180 e 2.266 kPa. Em solos de textura franco-argilo-arenosa a variação de tensão é de 665 a 1.611 kPa.