

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JANAÍNA DA SILVA

TUBERIZAÇÃO DE BATATA-DOCE EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE TRANSPLANTIO

PONTA GROSSA

2023

JANAÍNA DA SILVA

TUBERIZAÇÃO DE BATATA-DOCE EM FUNÇÃO DE ÉPOCAS DE TRANSPLANTIO

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto.

Coorientadora: Profa. Dra. Nátali Maidl de Souza

PONTA GROSSA

2023

S586 Silva, Janaína da  
Tuberização de batata-doce em função de épocas de transplântio / Janaína da Silva. Ponta Grossa, 2023.  
64 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura),  
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto.  
Coorientadora: Profa. Dra. Nátali Maidl de Souza.

1. Ipomoea batatas L. (Lam.). 2. Fatores ambientais. 3. Desenvolvimento rural sustentável. 4. Agricultura camponesa. I. Weirich Neto, Pedro Henrique. II. Souza, Nátali Maidl de. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Agricultura. IV.T.

CDD: 633



## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: "Tuberização de batata-doce em função de épocas de transplante".

Nome: **Janaína da Silva**

Orientador: Pedro Henrique Weirich Neto

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto

Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira

Prof. Dr. Cássio Egídio Cavenaghi Pretes

*Handwritten signatures:*  
Pedro Henrique Weirich Neto  
Halley Caixeta de Oliveira  
Cássio Pretes

Ponta Grossa 24 de fevereiro de 2023.

Aos meus pais, Roseli e Lourival, dedico.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e por Sua presença nos momentos mais difíceis e obscuros, os quais eu só pude suportar pela certeza de Seu amor e benevolência.

À minha família, em especial aos meus pais, Roseli Nadolny da Silva e Lourival Ferreira da Silva, por me guiarem pelos caminhos da vida com tanta bondade e amor, me permitindo ser quem e o que eu quisesse ser. Aos meus avós de coração, Helga e Bruno Iurkiewicz, por todo amor e por entenderem, sem nunca questionar, os momentos em que estive ausente. Aos meus irmãos, Ana Julia, Everton e Regiane, por serem meus parceiros de vida e comemorem comigo cada vitória. Ao meu amor, Gustavo Henrique de Souza, por confiar em mim mais do que eu mesma e me apoiar em todos os meus sonhos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto, pela orientação e conhecimento transmitido e pelo auxílio na elaboração desse trabalho, desde o campo até a escrita. Pela confiança em mim e no meu trabalho, e pelo apoio na busca dos meus sonhos. E, não menos importante, pelo incentivo, disfarçado de crítica ao meu cafezinho, a apreciar um bom mate.

À minha querida coorientadora e amiga, Profa Dra. Nátali Maidl de Souza, por ensinar com tanto amor e dedicação, de forma que só quem nasceu para ser professor sabe fazer. Pelos ensinamentos, livros, dicas de alongamento e risadas compartilhadas. Por ser exemplo de profissional e mulher, inspirando a mim e a todos que a conhecem. Por acreditar em mim e dar asas aos meus sonhos, me fazendo acreditar que sou capaz.

Ao Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes, pelo auxílio na elaboração e condução do experimento e coorientação não oficial, e pela oportunidade de ministrar aula na disciplina de Agroenergia. E, sobretudo, por ter me incentivado a participar do Lama, o que me propiciou oportunidades únicas e me apresentou a pessoas excepcionais.

À Profa Dra. Silvana Ohse, por ter despertado em mim o amor pela Fisiologia Vegetal, e por ter aceitado que eu realizasse o Estágio de Docência em sua disciplina.

Aos professores Eduardo Augusto Agnellos Barbosa, Luis Miguel Schibelbein e Rosângela Tardivo, por me auxiliarem em algumas discussões e esclarecerem muitas dúvidas.

À equipe do Lama/UEPG, em especial aos graduandos Arthur H. Schuck, Guilherme de Lima, Thays Gomes e Willy A. Goltz, pelo auxílio na condução do experimento.

À técnica de laboratório e amiga, Luciane Hennenberg, pelos cafezinhos regados de conversas alegres e renovadoras.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Nilcéia Alves de Lara, por estar sempre disposta a nos auxiliar e pela amizade.

Aos meus colegas pós-graduandos, Aghata Christie Rewa Charnobay, Calistene Aparecida Pinto, Grazielle Schornobai, Heverton Melo, José Osmar Castagnolli Junior e Waldir Zarrochinski Junior, pelo auxílio na condução do experimento e ajuda nas análises realizadas, mas principalmente, pela amizade e por tornarem esta jornada muito mais leve.

Aos amigos Amanda de Cássia, Ana Claudia Lubczyk, Bruna Gorte, Giuliana Moraes, Erick Moro Conche, Eduardo A. J. Florão e Leandro Reck, por todo apoio e incentivo, e por celebrarem minhas conquistas como se fossem suas.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, pelo ensino público e de qualidade, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade concedida. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A todos aqueles não citados, mas não menos importantes, que de alguma forma participaram da realização deste trabalho, muito obrigada!

## RESUMO

SILVA, J. **Tuberização de batata-doce em função de épocas de transplântio**. 2023, 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023.

A batata-doce é cultura fundamental na segurança alimentar e nutricional de diferentes populações, e por apresentar relativa tolerância a estresses abióticos é considerada cultura chave para o enfrentamento dos desafios impostos pelo atual cenário das mudanças climáticas. A principal fração de interesse da cultura são as raízes tuberosas, de modo que a tuberização constitui o principal processo fisiológico da mesma. Porém, a tuberização, e consequentemente, a produtividade, podem ser afetadas por condições ambientais desfavoráveis resultantes do cultivo em épocas inadequadas. Assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da época de transplântio na tuberização e produtividade da cultura da batata-doce em condições edafoclimáticas da Mesorregião Centro-Oriental do Paraná, Brasil. Para tal, utilizando acesso BD-8, pertencente à coleção de batata-doce do Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG), desenvolveu-se experimento em condições de campo, na Fazenda Escola Capão da Onça (25°05'28" S, 50°03'40" O, Cfb, 900 m). O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com repetições não balanceadas, e os tratamentos consistiram em cinco épocas de transplântio. Para cada época foram realizadas coletas no início do ciclo de desenvolvimento da cultura, a fim de estimar o início da tuberização (IT), e colheita final, para determinar os rendimentos de parte aérea e raízes tuberosas. Também foram obtidos a soma térmica, balanço hídrico e radiação para cada época, com o intuito de mensurar os efeitos destes sobre as variáveis citadas. Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando significativa, realizou-se análise de regressão. A época de transplântio influenciou o IT, o qual variou de 38 a 68 dias após o transplântio, sendo que os maiores efeitos sobre esta variável IT foram exercidos pela soma térmica e balanço hídrico. Além disso, a época de transplântio influenciou de maneira significativa a produtividade de massa fresca e seca de raízes tuberosas, as quais apresentaram relação direta com a soma térmica. As produtividades de massa fresca e seca de parte aérea, e a matéria seca de raízes tuberosas e parte aérea não foram influenciados pela época de transplântio.

**Palavras-chave:** *Ipomoea batatas* L. (Lam.); fatores ambientais; desenvolvimento rural sustentável; agricultura camponesa.



## ABSTRACT

SILVA, J. **Sweet potato tuberization according to transplanting times.** 2023, 64f. Dissertation (Master's degree in Agronomy) - State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023.

Sweet potato is a fundamental crop for the food and nutritional security of different populations, and due to its relative tolerance to abiotic stresses, it is considered a key crop for facing the challenges imposed by the current scenario of climate change. The main fraction of interest in the crop are the tuberous roots, so that tuberization constitutes the main physiological process of the same. However, tuberization, and consequently yield, may be affected by unfavorable environmental conditions resulting from cultivation at inappropriate times. Thus, the present study aimed to evaluate the effects of transplanting time on tuberization and yield of sweet potato under edaphoclimatic conditions in the Central-Eastern Mesoregion of Paraná, Brazil. For this purpose, using accession BD-8, belonging to the sweet potato collection of the Laboratory of Agricultural Mechanization of the State University of Ponta Grossa (Lama/UEPG), an experiment was carried out under field conditions, at Fazenda Escola Capão da Onça (25 °05'28" S, 50°03'40" W, Cfb, 900 m). The experimental design was randomized blocks, with unbalanced replications, and the treatments consisted of five transplanting times. For each season, collections were carried out at the beginning of the crop's development cycle, in order to estimate the tuber initiation (IT), and final harvest, to determine the shoot and root yields. The thermal sum, water balance and radiation were also obtained for each season, in order to measure their effects on the aforementioned variables. Data were subjected to analysis of variance, and when significant, regression analysis was performed. The time of transplanting influenced the IT, which ranged from 38 to 68 days after transplanting, with the main effects on this variable being exerted by the thermal sum and water balance. In addition, the transplanting time significantly influenced the yield of fresh and dry mass of tuberous roots, which were directly related to the thermal sum. Yield of fresh and dry mass of shoots, and dry matter of roots and shoots were not influenced by transplanting time.

**Keywords:** *Ipomoea batatas* L. (Lam.); environmental factors; sustainable rural development; peasant farming.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Acesso BD-8. Ponta Grossa, UEPG, 2021 .....27
- Figura 2 - Localização da área experimental. Ponta Grossa, UEPG, 2023 .....28
- Figura 3 - Espessura da raiz tuberosa (ERT) em função do tempo (dias após o transplântio, DAT) para as Épocas 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). Ponta Grossa, UEPG, 2023..... 34
- Figura 4 - Início da tuberização (IT) em função da época de transplântio. DAT = dias após transplântio. Ponta Grossa, UEPG, 2023 ..... 35
- Figura 5 - Balanço hídrico de cultivo referente ao período entre transplântio e início da tuberização (IT), para as Épocas 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). DTA = disponibilidade total de água; LAS = lâmina de água no solo; DRAfixa = disponibilidade real de água; LAS = lâmina de água no solo; DRAfixa = disponibilidade real de água fixa no solo. Ponta Grossa, UEPG, 2023 ..... 37
- Figura 6 - Radiação solar ao longo de todo o período experimental. A seta indica o decêndio no qual se verificaram as maiores médias ao longo do período. Ponta Grossa, UEPG, 2023 ..... 39
- Figura 7 - Médias das temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) durante o período entre transplântio e início da tuberização (IT), para as Épocas 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). Tb = temperatura basal inferior; Tot = temperatura ótima; TB = temperatura basal superior. Ponta Grossa, UEPG, 2023 ..... 40
- Figura 8 - Produtividade de parte aérea e raízes tuberosas em função da época de transplântio. (A) Massa fresca de parte (MFPA); (B) Massa seca de parte aérea (MSPA); (C) Massa fresca de raízes tuberosas (MFRT); (D) Massa seca de raízes tuberosas (MSRT); (E) Matéria seca de parte aérea (MatSPA); (F) Matéria seca de raízes tuberosas (MatSRT). Ponta Grossa, UEPG, 2023 .....43
- Figura 9 - Temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), precipitação (Precip.) ao longo do período correspondente às Épocas 1 (A), 2, (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). Ponta Grossa, UEPG, 2023.....47
- Figura 10 - Fotoperíodo e radiação solar diária ao longo do período experimental. Ponta Grossa, UEPG, 2023.....48
- Figura 11 - Balanço hídrico de cultivo para as Épocas 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). IT = início da tuberização; DTA = disponibilidade total de água; LAS = lâmina de água no solo; DRAfixa = disponibilidade real de água fixa no solo. Ponta Grossa, UEPG, 2023.....51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das análises química e física do solo. Ponta Grossa, UEPG, 2023.....	29
Tabela 2 - Datas de transplântio, coletas e colheita para cada época. Ponta Grossa, UEPG, 2023 .....	30
Tabela 3 - Atributos do solo e coeficientes de cultura considerados para elaboração do balanço hídrico. Ponta Grossa, UEPG, 2023 .....	32
Tabela 4 - Início da tuberização (IT), soma térmica acumulada (STa), e médias de temperatura média ( $\overline{T_{med}}$ ), soma térmica diária (STd) e fotoperíodo ( $\overline{N}$ ) até o início da tuberização, Ponta Grossa, UEPG, 2023.....	41
Tabela 5 - Início da tuberização (IT), duração do ciclo, soma térmica acumulada (STa), precipitação acumulada (PAc) e médias de temperatura média ( $\overline{T_{med}}$ ), fotoperíodo ( $\overline{N}$ ) e radiação solar (R) em cada época de transplântio. Ponta Grossa, UEPG, 2023.....	45

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
3.1	CULTURA DA BATATA-DOCE.....	14
3.2	IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA DA BATATA-DOCE.....	16
3.3	ASPECTOS TAXONÔMICOS E MORFOLÓGICOS DA CULTURA DA BATATA-DOCE .....	18
3.4	TUBERIZAÇÃO .....	19
3.4.1	Fatores que influenciam a tuberação.....	21
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
4.1	GENÓTIPO.....	27
4.2	ASPECTOS GERAIS .....	28
4.3	DELINEAMENTO, TRATAMENTOS E VARIÁVEIS DEPENDENTES .....	30
4.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	33
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>34</b>
5.1	INÍCIO DA TUBERIZAÇÃO .....	34
5.2	PRODUTIVIDADE .....	43
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE A - RESUMO GRÁFICO</b> .....	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A batata-doce [*Ipomoea batatas* L. (Lam.)] é a sexta cultura alimentar mais importante do mundo (CIP, 2019) e representa fonte acessível de carboidratos, vitaminas e minerais, colaborando para a segurança alimentar e nutricional de diferentes populações ao redor do mundo, principalmente agricultores camponeses e populações tradicionais (MOULIN *et al.*, 2012; ALAM, 2021). Além disso, sua adaptabilidade climática e variabilidade genética, tolerância ao déficit hídrico e solos de baixa fertilidade, e elevada produtividade, fazem da batata-doce cultura-chave para o enfrentamento dos desafios impostos pelo atual cenário das mudanças climáticas (LIMA E SILVA *et al.*, 2019; AFZAL *et al.*, 2021).

A despeito de sua importância social, a cultura apresenta grande relevância econômica, o que está associado à multiplicidade de usos. As folhas e caules são utilizadas principalmente na alimentação animal, embora em algumas regiões também sejam aplicadas na alimentação humana (ESSILFIE *et al.*, 2016; VIEIRA, 2017). As raízes tuberosas, por sua vez, frequentemente empregadas na alimentação humana, também apresentam potencial para uso na nutrição animal e no setor industrial, como matéria-prima para extração de amido e corantes, e produção de biocombustível, por exemplo (LIMA E SILVA *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2019).

As raízes tuberosas, são, portanto, a fração de principal interesse da batata-doce. Assim, a tuberização, que compreende a formação, crescimento e desenvolvimento das raízes tuberosas, constitui o principal processo fisiológico da cultura, uma vez que determina a produção e qualidade destas (FIRON *et al.*, 2013; DONG *et al.*, 2019).

A formação das raízes tuberosas é resultado do crescimento secundário anômalo de raízes adventícias, o qual é marcado pela origem do câmbio vascular e vários câmbios anômalos associados aos elementos do xilema. Estes tecidos dão origem a células parenquimáticas de parede fina que constituem o tecido de reserva das raízes tuberosas, no qual são armazenados fotoassimilados, especialmente amido, promovendo seu crescimento em termos de volume (RAVI; INDIRA, 1999; VILLORDON *et al.*, 2009).

Os processos de divisão, diferenciação e expansão celular compreendidos pela tuberização, envolvem a expressão de diferentes genes cuja modulação é promovida por fitormônios e outros fatores endógenos (KU *et al.*, 2008; FIRON *et al.*, 2013; DONG *et al.*, 2019). Além disso, o processo sofre a influência de diferentes fatores exógenos, com destaque para temperatura, água e luz (fotoperíodo e disponibilidade de radiação) (RAVI; INDIRA, 1999).

De modo geral, o processo de tuberização é afetado por temperaturas elevadas, déficit hídrico e baixa disponibilidade de radiação, culminando na redução do rendimento de raízes tuberosas (SPENCE; HUMPHRIES, 1972; RAVI; INDIRA, 1999; BLOMME *et al.*, 2020; KARAKAS; KURUNC; DINCER, 2021). Os efeitos do fotoperíodo, por sua vez, não estão bem esclarecidos (BONSI *et al.*, 1992; MITHRA; SOMASUNDARAM, 2008), e também não existem informações sobre se algum estímulo por parte destes fatores é necessário para que o processo de tuberização seja iniciado.

Tendo em vista que as condições ambientais afetam a tuberização e que estas podem ser condicionadas por diferentes épocas de transplante, entende-se a necessidade de estudos que investiguem os efeitos da época de transplante sobre a tuberização e rendimento da cultura (ERPEN *et al.*, 2013b). Além disso, não existe zoneamento agroclimático para recomendação da época de transplante para a cultura da batata-doce, o qual é essencial para embasamento de recomendações técnicas e obtenção de crédito rural, por exemplo, evidenciando a necessidade de estudos acerca deste tema.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar os efeitos da época de transplântio na tuberização e produtividade da cultura da batata-doce em condições edafoclimáticas da Mesorregião Centro-Oriental do Paraná, Brasil.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Mensurar efeitos de época de transplântio, representada por soma térmica, balanço hídrico, radiação solar e fotoperíodo no início da tuberização da cultura da batata-doce;
- Mensurar efeitos de época de transplântio, representada por soma térmica, balanço hídrico, radiação solar e fotoperíodo na produtividade de parte aérea e raízes tuberosas da cultura da batata-doce.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CULTURA DA BATATA-DOCE

Originária da América do Sul, a batata-doce [*Ipomoea batatas* L. (Lam.)] é cultura rústica, apresenta resistência a pragas e doenças, tolerância ao déficit hídrico e capacidade de se desenvolver em solos de baixa fertilidade (LIMA E SILVA *et al.*, 2019; TEDESCO *et al.*, 2021; PAZOS *et al.*, 2022). Por estes motivos, é considerada de fácil cultivo e geralmente cultivada por agricultores camponeses, em sistemas com reduzida entrada de insumos (MOULIN *et al.*, 2012; VARGAS *et al.*, 2018).

Por apresentar alta adaptabilidade climática, é cultivada desde a latitude de 42° N até 35° S, e desde o nível do mar até 3000 m de altitude, compreendendo regiões de clima tropical, subtropical e até desértico (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002; BURBANO-ERAZO *et al.*, 2020).

As informações sobre as exigências de temperatura da cultura são divergentes. De acordo com Erpen *et al.* (2013a), a temperatura basal inferior ( $T_b$ ) varia de 10 a 15 °C, enquanto Villordon, LaBonte e Firon (2009) consideram  $T_b$  como sendo igual a 15,5 °C. Da mesma forma, existem contradições a respeito da temperatura basal superior ( $T_B$ ), pois alguns autores a consideram igual a 35 °C (ROMERO; BAIGORRIA, 2008; ERPEN *et al.*, 2013b), e outros como sendo igual a 40 °C (BELEHU; HAMMES, 2004; RAVI *et al.*, 2009).

Tais divergências resultam do fato de que o desenvolvimento vegetativo e o desenvolvimento das raízes tuberosas apresentam temperaturas cardinais diferentes. Em estudo de Gajanaye *et al.* (2014) verificou-se que a temperatura ótima ( $T_{ot}$ ) estimada para a produção de caules foi igual a 30,1 °C, enquanto que para produção de raízes tuberosas foi de 26,5 °C. Além disso, embora o crescimento vegetativo possa ser mantido em temperaturas próximas a 40 °C, ou abaixo de 15 °C por exemplo, o desenvolvimento das raízes é reduzido nessas situações (NOH *et al.*, 2009; RAVI *et al.*, 2009). Portanto, tendo em vista que as raízes tuberosas constituem a principal fração comercial da batata-doce, é usual considerar as temperaturas cardinais para o processo de tuberização, as quais são iguais a 15 °C, 25 °C e 35 °C (SPENCE; HUMPHRIES, 1972).

Em relação às exigências hídricas, as informações também são divergentes. Geralmente, considera-se que a cultura da batata-doce exige de 500 a 600 mm de água para ciclos com duração de 110 a 140 dias (MIRANDA *et al.*, 1989; SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002; RAVI; SARAVANAN, 2012; EMBRAPA, 2021). No entanto, estudos



apontam que a quantidade de água requerida pela cultura ao longo do ciclo pode atingir valores superiores à 800 mm (GOMES; CARR, 2003; KARAKAS; KURUNC; DINCER, 2021).

A alta adaptabilidade climática é congruente com a alta variabilidade genética disponível, a qual resulta em mais de 8.000 acessos, cultivares e linhagens de batata-doce (LAURIE *et al.*, 2013; CARMONA *et al.*, 2015), cujas diferenças varietais se refletem tanto na parte aérea quanto no sistema radicular, em relação ao comprimento, coloração e formato dos órgãos que as compõe. No Brasil, há grande diversidade de genótipos (SILVA; PONIJALEKI; SUINAGA, 2012; ALBUQUERQUE *et al.*, 2018), e embora mais de 40 cultivares de batata-doce tenham sido registradas no Registro Nacional de Cultivares (BRASIL, 2022), a maior parte dos genótipos cultivados não possuem informações científicas.

A batata-doce é propagada vegetativamente, sumariamente através de segmentos do caule de plantas matrizes que são diretamente plantados no solo, ou utilizados na produção de mudas. As raízes tuberosas também podem ser utilizadas como material propagativo, uma vez que possuem a capacidade de desenvolver gemas vegetativas que se formam a partir do tecido meristemático localizado na região vascular, quando a raiz é separada da planta ou quando a parte aérea é removida ou destacada (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002; EMBRAPA, 2021).

Apesar de ser perene, a batata-doce é cultivada como anual, sendo que a colheita é realizada, geralmente, de 120 a 180 dias após o transplântio (DAT), embora possa ser iniciada a partir de 90 DAT, dependendo da cultivar e das condições ambientais de cultivo (ERPEN *et al.*, 2013b; ALBUQUERQUE *et al.*, 2018).

Os índices de produtividade de raízes tuberosas, porém, são bastante variáveis, o que se deve, principalmente, às condições de cultivo e variabilidade genética. Em estudo com 24 genótipos de batata-doce, desenvolvido em região de clima Cfa, foram verificados valores de produtividade total de raízes tuberosas variando de 3,56 até 24,97 Mg ha<sup>-1</sup> (VALADARES *et al.*, 2022). Em experimento desenvolvido em duas safras e utilizando cultivares melhoradas, as médias de produtividade de raízes tuberosas variaram de 18,84 a 65,24 na safra 2016/17, e 37,20 a 85,41 Mg ha<sup>-1</sup> na safra seguinte, sendo as diferenças resultado da disponibilidade hídrica, visto que a precipitação acumulada que foi igual a 277 mm na safra 2016/2017 e 500,8 mm na safra 2017/2018 (SENFF *et al.*, 2021).

Embora existam registros de rendimentos superiores a 100 Mg ha<sup>-1</sup> (MELLO *et al.*, 2022), de modo geral, produtividades entre 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup> são recorrentes, e condizem com resultados encontrados em trabalhos realizados pelo Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG), nos quais as produtividades de

genótipos de batata-doce cultivados em sistema agroecológico, sem uso de moléculas sintéticas, variaram entre 20 e 38 Mg ha<sup>-1</sup> (BERNARDI, 2020; VIEIRA *et al.*, 2021; LIMA, 2022).

No que diz respeito à utilização, a batata-doce é considerada cultura de múltiplas aptidões, visto que tanto as raízes tuberosas quanto a parte aérea apresentam inúmeras aplicações. As raízes tuberosas são empregadas principalmente na alimentação humana *in natura* (ALAM, 2021). Além disso, também é usada na indústria alimentícia como ingrediente de produtos processados, como farinhas, pães, macarrão, biscoitos, chips e bebidas alcoólicas destilada e fermentada (MU; SINGH, 2019; FIRMANSYAH, 2022; JIANG *et al.*, 2022).

Além disso, há potencial de uso das raízes tuberosas como matéria-prima para extração de amido, visto que 50-80% do total da matéria seca é constituído por esse polissacarídeo (CUI; ZHU, 2020; KARAN; ŞANLI, 2021). Este componente apresenta importantes aplicações não só na fabricação de alimentos, mas também de produtos químicos, têxteis, papel e medicamentos (BASHIR; AGGARWAL, 2019; SANTOS *et al.*, 2019; APRIYANTO; COMPART; FETTKE, 2022). Ademais, o amido também é fonte básica de açúcares para o processo de fermentação, de modo que a batata-doce pode ser utilizada na produção de etanol (LIMA E SILVA *et al.*, 2019; BERNARDI *et al.*, 2021; KARAN; ŞANLI, 2021).

A parte aérea (folhas e caules) das plantas de batata-doce também apresenta potencial como matéria-prima no segmento industrial, visando especialmente a extração de compostos fenólicos (CARVALHO *et al.*, 2010; USUKI *et al.*, 2017; LIU, J. *et al.*, 2019). No entanto, o principal uso desta fração é na alimentação animal (VIEIRA, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2021), seja na forma *in natura* ou conservada. Em certas regiões da África e da Ásia, também é utilizada na alimentação humana, servida como vegetais frescos ou no preparo de chás (MWANRI; KOGI-MAKAU; LASWAI, 2011; NKONGHO *et al.*, 2014; ESSILFIE *et al.*, 2016).

### 3.2 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA DA BATATA-DOCE

Cultivada em mais de cem países, a batata-doce apresenta significativa importância econômica mundial, tendo sido produzidos, no ano de 2020, 138,7 milhões Mg em todo o mundo. No que diz respeito aos países produtores, a China destaca-se como principal produtor e consumidor desta hortaliça, sendo responsável por cerca de 70% da produção mundial (FAO, 2020).

No Brasil, a batata-doce é a quarta hortaliça mais cultivada (MELLO *et al.*, 2022), e no último ano atingiu produção total de 824.680 Mg, com produtividade média de 14,68 Mg

ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2021). A região Nordeste é a maior produtora, seguida pelas regiões Sul e Sudeste, as quais são responsáveis por 39%, 30% e 29% da produção nacional, respectivamente. Dentre os estados produtores, destaca-se a contribuição do Rio Grande do Sul, cuja produção no último ano foi equivalente a 170.323 Mg, o que representa 21% do total produzido no país. O estado do Paraná, por sua vez, encontra-se em quinto lugar no ranque nacional, tendo produzido 59.761 Mg (IBGE, 2021).

Para além da importância econômica da cultura da batata-doce, merece ser mencionada sua relevância social. Tida como a sexta cultura alimentar mais importante no mundo (CIP, 2019), destaca-se por seu alto valor nutricional, apresentando elevados teores de amido, proteínas, fibras, vitaminas (C, ácido fólico e B6), minerais (principalmente ferro, cálcio, magnésio e zinco), carotenoides e compostos antioxidantes (incluindo ácidos fenólicos, antocianinas, tocoferóis e betacarotenos) (DRAPAL *et al.*, 2019; ALAM, 2021).

Em função de seu valor nutricional, a batata-doce é cultura chave na manutenção da segurança alimentar e nutricional de diferentes povos ao redor do mundo, especialmente na África, Ásia e América Latina (WILLIAMS *et al.*, 2013; JIANG *et al.*, 2022; NUANI *et al.*, 2022), e em tempos de crise (desastres naturais ou guerras) (SILVA *et al.*, 2022). Além disso, a alta produtividade e baixo requerimento por insumos, colabora para isto.

A preocupação com a segurança alimentar da humanidade se tornou ainda mais evidente após a crise do COVID-19 (TEDESCO *et al.*, 2021) e deve aumentar em função das mudanças climáticas, o que contribuirá para o aumento da importância social da cultura da batata-doce. Isto porque, tendo em vista a previsão do aumento da variabilidade de temperaturas e de precipitação (IPCC, 2022), será necessário o investimento no cultivo de plantas que produzam alimentos de alto valor nutricional, mesmo sob condições adversas, que é o caso da batata-doce. Assim, esta será peça chave no desenvolvimento de sistemas agrícolas resilientes.

A cultura da batata-doce também é símbolo de soberania alimentar. Grande parte dos genótipos de batata-doce existentes, é mantido por populações tradicionais (agricultores camponeses, comunidades indígenas e quilombolas) (MOULIN *et al.*, 2012), que atuam como guardiões da diversidade genética da cultura, e conservação de genótipos adaptados aos ecossistemas locais, que podem servir como fonte de variabilidade genética para programas de melhoramento.

A despeito de sua importância como cultura alimentar, a batata-doce também constituirá opção futura de grande importância para a segurança energética da humanidade, tendo em vista seu potencial como cultura bioenergética. Todos esses motivos demonstram o potencial da batata-doce para o desenvolvimento rural sustentável, conquista dos Objetivos do

Desenvolvimento Sustentável (SAKAI *et al.*, 2020; AFZAL *et al.*, 2021) e enfrentamento dos problemas vindouros.

### 3.3 ASPECTOS TAXONÔMICOS E MORFOLÓGICOS DA CULTURA DA BATATA-DOCE

Pertencente à família Convolvulaceae e espécie *Ipomoea batatas* L. (Lam.), a batata-doce é eudicotiledônea, hexaplóide, e apresenta ciclo de vida perene, embora seja cultivada como anual. Herbácea, apresenta hábito de crescimento indeterminado (RAVI; SARAVANAN, 2012) e arquitetura prostrada, apesar das variedades serem classificadas como eretas, semieretas, espalhadas ou extremamente espalhadas em função do comprimento do caule e suas ramificações (HUAMÁN, 1992).

Os caules, além de comprimento variado, exibem cores distintas, podendo ou não apresentar tricomas. Apresentam ramificações que também variam em número e comprimento, e que são classificadas como primárias, secundárias e terciárias. De maneira geral, o número total de ramificações varia entre de 3 a 20, enquanto o comprimento do caule pode atingir mais de 2,5 m (CIP, 1991; RAVI; SARAVANAN, 2012).

As folhas são simples e alternas, podendo apresentar diferentes formatos (redondo, reniforme, cordado, triangular, hastado, lobulado e quase dividida) e cores, além de exibir pilosidade variável (CIP, 1991). Geralmente estão dispostas em forma de espiral e na horizontal, fazendo com que a planta apresente dossel próximo ao solo, o que permite interceptação solar máxima (RAVI; SARAVANAN, 2012; JIANG *et al.*, 2022).

As flores são monoicas, de fecundação cruzada, e apresentam formato cônico característico à família Convolvulaceae. Os frutos são do tipo cápsula, com uma a quatro sementes, diâmetro de aproximadamente 3 mm e cor que varia do marrom ao preto (HUAMÁN, 1992). A espécie possui mecanismo de autoincompatibilidade que conduz à polinização cruzada (VALADARES *et al.*, 2022), a qual, associada ao alto nível de ploidia, promove grande variabilidade genética, evidenciada pela diversidade fenotípica entre os genótipos (MELLO *et al.*, 2022).

O sistema radicular de batata-doce compreende dois tipos de raízes: as raízes tuberosas e as não-tuberosas, sendo que essas últimas incluem as raízes adventícias e as raízes fibrosas (HUAMÁN, 1992; RAVI; INDIRA, 1999).

As raízes adventícias são finas e caracterizam-se por serem tetrarcas; com núcleo central de xilema, sem medula; e com quatro pontos de protoxilema; córtex secundário amplo

e floema secundário limitado (RAVI; INDIRA, 1999). Essas raízes podem originar raízes fibrosas, caso exibam crescimento secundário regular e lignificação do estelo; ou raízes tuberosas, caso exibam a proliferação de células cambiais que formam células de parênquima armazenadoras de amido (VILLORDON *et al.*, 2009).

As raízes fibrosas têm menos de 5 mm de espessura e são ramificadas, constituindo os principais órgãos de absorção de água e nutrientes. Caracterizam-se por apresentar estelo fortemente lignificado e níveis muito baixos de atividade do câmbio vascular (RAVI; INDIRA, 1999).

As raízes tuberosas, por sua vez, são raízes especializadas, capazes de armazenar grande quantidade de fotoassimilados, principalmente amido, em células parenquimáticas localizadas na região subapical da raiz. Estas raízes são originadas a partir das raízes adventícias e caracterizam-se por serem pentarcas, hexarcas ou septarcas na base, e tetrarcas na região próxima ao meristema apical. Contêm medula central com ou sem células de metaxilema, que podem estar conectadas a elementos do protoxilema, embora a maioria dos elementos do protoxilema permaneçam separada por células parenquimáticas. Em alguns casos, os elementos primários do xilema também podem estar conectados lateralmente para formar um cilindro contínuo envolvendo a medula do parênquima central (RAVI; INDIRA, 1999).

Do ponto de vista morfológico, as raízes tuberosas apresentam ampla variabilidade, podendo apresentar formato variado, e, no que diz respeito à coloração, tanto a periderme, quanto a polpa podem assumir tons variáveis de roxo, salmão, amarelo, creme ou branco (HUAMÁN, 1992; RAVI; SARAVANAN, 2012).

### 3.4 TUBERIZAÇÃO

O ciclo de desenvolvimento da cultura da batata-doce pode ser dividido em três fases: inicial, onde ocorre o desenvolvimento da parte aérea e das raízes adventícias; intermediária, marcada pelo início da tuberização; e final, caracterizada pelo intenso acúmulo de fotoassimilados nas raízes tuberosas e reduzido crescimento da parte aérea (QUEIROGA *et al.*, 2007; MITHRA; SOMASUNDARAM, 2008).

A tuberização engloba tanto a formação e crescimento das raízes tuberosas, quanto o acúmulo de amido nestes órgãos, e representa o principal processo fisiológico da cultura, sendo determinante para a produção e qualidade de raízes tuberosas (FIRON *et al.*, 2013; DONG *et al.*, 2019; BURBANO-ERAZO *et al.*, 2020).

O início da tuberização pode ocorrer entre 7 e 91 dias após o transplântio (DAT) (RAVI; INDIRA, 1999). Para as cultivares Beauregard e Georgia Jet, a tuberização iniciou aos 19 e 21 DAT, respectivamente (VILLORDON *et al.*, 2009). Em experimento desenvolvido em clima Cfa, o início da tuberização foi influenciado pela época de cultivo, variando de 53 a 70 DAT, sendo que quanto mais tardio o transplântio, maior o tempo necessário para iniciação da tuberização (ERPEN *et al.*, 2013b).

Anatomicamente, a formação e o crescimento das raízes tuberosas são resultado do crescimento secundário anômalo das raízes adventícias, o qual envolve a origem do câmbio vascular e vários câmbios anômalos associados ao xilema (KU *et al.*, 2008; BURBANO-ERAZO *et al.*, 2020). Neste processo, inicialmente, o periciclo origina, dentro da zona parenquimatosa situada entre o xilema e o floema, as células iniciais do câmbio vascular, as quais se conectam para formar um cilindro contínuo e irregular. Posteriormente, o câmbio vascular irregular origina células de parênquima de armazenamento de paredes finas, tecidos vasculares secundários e um cilindro regular de câmbio vascular (RAVI; INDIRA, 1999; VILLORDON *et al.*, 2009).

A diferenciação do câmbio vascular regular é acompanhada pela origem de câmbios anômalos na medula central ao redor das células do metaxilema central, bem como ao redor de cada um dos elementos discretos do protoxilema (câmbios anômalos primários) e em torno de elementos do xilema secundário (câmbios anômalos secundários), sendo este o primeiro sinal claro do desenvolvimento de transição da raiz adventícia para raiz de reserva. Além disso, a atividade do felogênio na periferia das raízes tuberosas dá origem à periderme (RAVI; INDIRA, 1999; VILLORDON *et al.*, 2009)

Os câmbios anômalos, assim como o câmbio vascular, a partir de divisões sucessivas, dão origem a células parenquimáticas de paredes finas originadas, as quais constituem o tecido de reserva das raízes tuberosas. Posteriormente, ocorre a expansão dessas células, o que, associado ao acúmulo de amido nas mesmas, promove o aumento em volume das raízes tuberosas (RAVI; INDIRA, 1999; VILLORDON *et al.*, 2009; BURBANO-ERAZO *et al.*, 2020).

A alimentação do tecido de reserva é realizada pelos floemas primário e secundário, que promovem o transporte de açúcares (principalmente sacarose) produzidos na fotossíntese, desde a fonte (folhas) até dreno (raízes tuberosas), onde estes são descarregados e utilizados na síntese de amido. Sendo assim, o crescimento e desenvolvimento, bem como a produção de raízes tuberosas, depende não só da força do dreno, mas também da capacidade da fonte em produzir fotoassimilados, da taxa e velocidade do transporte de açúcares pelo floema, e da

capacidade de síntese de amido nas células parenquimáticas (KADOWAKI; KUBOTA; SAITOU, 2001; LIU, H. *et al.*, 2019; RAVI; INDIRA, 1999).

#### 3.4.1 Fatores que influenciam a tuberização

Os processos de divisão, diferenciação e expansão celular envolvidos na tuberização estão sob controle genético e compreendem a expressão de diferentes genes (KU *et al.*, 2008; FIRON *et al.*, 2013; DONG *et al.*, 2019), cuja sinalização e ativação é realizada por fitormônios (RAVI; SARAVANAN, 2012). As citocininas e o ácido abscísico (ABA), por exemplo, parecem ser determinantes para a iniciação da tuberização, atuando na ativação dos câmbios anômalos primário e secundário, respectivamente (WANG *et al.*, 2006; KU *et al.*, 2008; RAVI; SARAVANAN, 2012). O ácido indol-3-acético (auxina), por sua vez, parece estar envolvido através da manutenção da capacidade meristemática da zona cambial (RAVI; SARAVANAN, 2012). Outros fitormônios, como o ácido jasmônico e compostos relacionados, e giberelinas, também estão envolvidos na regulação do processo de tuberização, e parecem agir em conjunto com as citocininas (KU *et al.*, 2008; RAVI; SARAVANAN, 2012), o que demonstra que não apenas as concentrações destes fitormônios são importantes, mas também a interação entre eles.

Além dos fitormônios, a atividade de enzimas e a concentração de açúcares também exercem influência sobre os processos a tuberização e sua regulação. A atividade de enzimas peroxidase, por exemplo, está associada à biossíntese de lignina, processo antagônico à tuberização e que leva à formação de raízes fibrosas (VILLORDON *et al.*, 2009). Outro exemplo, é a enzima adenosina difosfato glicose pirofosforilase (AGPase), responsável por catalisar a primeira reação da biossíntese de amido, que consiste na conversão de glicose-1-fosfato (glicose-1-P) em adenosina difosfato glicose (ADP-glicose). Dentre as enzimas que atuam no processo de síntese do amido, a AGPase é considerada uma das enzimas-chave, e sua atividade nos amiloplastos é tida como um dos principais reguladores da síntese de amido e produção de raízes tuberosas (KADOWAKI; KUBOTA; SAITOU, 2001). A atividade dessa enzima mostra correlação positiva significativa com a matéria seca e o conteúdo de amido das raízes tuberosas, de modo que, cultivares que apresentarem alta atividade de AGPase, demonstrarão maior acúmulo de amido e eficiência no processo de tuberização (RAVI; SARAVANAN, 2012).

A atividade de enzimas AGPase, além de apresentar diferenças entre genótipos, também apresenta variações em função da concentração de açúcares na planta. De acordo com Tsubone *et al.* (2000), o aumento na concentração de açúcares nos caules de plantas de batata-

doce resultam em maior atividade da AGPase e maior acúmulo de amido nas raízes tuberosas. Além disso, variações nas concentrações de açúcar podem atuar como sinalizadores na expressão ou repressão de genes (KADOWAKI; KUBOTA; SAITOU, 2001). De maneira geral, baixas concentrações de açúcares aumentam a expressão de genes para fotossíntese, mobilização de reserva e processo de exportação, enquanto altas concentrações atuam na expressão de genes relacionados à reserva ou utilização de fotoassimilados (RAVI; SARAVANAN, 2012).

Além dos fatores endógenos, fatores exógenos também exercem influência sobre a tuberização (ALBUQUERQUE *et al.*, 2018), com destaque para temperatura, água e luz (fotoperíodo e disponibilidade de radiação).

#### 3.4.1.1 Temperatura

A temperatura é descrita como um dos principais fatores exógenos que influenciam a tuberização, processo este sensível tanto a baixas como a altas temperaturas. Em condições próximas a 25 °C o crescimento e o desenvolvimento das raízes tuberosas é ótimo, mas em casos em que a temperatura atinge valores inferiores a 15 °C ou superiores a 35 °C, estes processos são prejudicados (SPENCE; HUMPHRIES, 1972; ROMERO; BAIGORRIA, 2008; RAVI *et al.*, 2009; ERPEN *et al.*, 2013b).

Em situações em que a temperatura excede 35 °C, a tuberização é impedida devido à lignificação das raízes adventícias, processo este que leva à formação de raízes fibrosas, em detrimento do desenvolvimento das raízes tuberosas (VILLORDON; LABONTE; FIRON, 2009). Além disso, embora o crescimento dos órgãos aéreos se mantenha em temperaturas mais elevadas, o que indica a manutenção do processo fotossintético, o crescimento das raízes tuberosas é prejudicado porque o transporte de sacarose ao longo do floema é afetado, bem como a síntese de amido nas raízes tuberosas, principalmente pela redução da atividade de proteínas e enzimas que governam estes processos (RAVI *et al.*, 2009).

Em temperaturas inferiores a 15 °C, o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular é prejudicado devido à redução no alongamento das células, uma vez que a expressão de genes associados à síntese de expansinas (proteínas associadas à expansão celular) é reduzida em baixas temperaturas (NOH *et al.*, 2009). Também verifica-se redução no número de raízes tuberosas e na massa das mesmas, indicando danos à iniciação da tuberização e à síntese e acúmulo de amido (VILLAVICENCIO *et al.*, 2007). Além disso, a cultura não suporta geadas (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002).



A temperatura noturna do ar e do solo também demonstram influência sobre a tuberização (RAVI *et al.*, 2009). Em relação à temperatura noturna do ar, os autores afirmam que temperaturas entre 15 e 25 °C favorecem o crescimento e desenvolvimento das raízes em função da melhor translocação de açúcares da parte aérea para as raízes durante a noite. Ademais, sabe-se que temperaturas noturnas amenas resultam na redução da fotorrespiração em plantas que apresentam fotossíntese do tipo C<sub>3</sub>, como é o caso da batata-doce. Quanto menores as perdas pela respiração, maior a fotossíntese líquida, e, conseqüentemente maior disponibilidade de fotoassimilados passíveis de armazenamento nas raízes tuberosas (LARCHER, 2004; TAIZ *et al.*, 2017).

A respeito da temperatura do solo, Dumbuya *et al.* (2021) verificaram que altas e baixas temperaturas do solo não resultaram em reduções significativas na produção de raízes tuberosas, mas que a partição de fitomassa entre parte aérea e raízes tuberosas foi alterada, sendo que em temperatura elevadas, o acúmulo de fotoassimilados nas raízes tuberosas foi prejudicado. Além disso, de acordo com Ravi *et al.* (2009), em situações em que a temperatura do solo é próxima a 20 °C, o teor de sacarose nas raízes tuberosas é menor do que em altas temperaturas (30 °C). Uma vez que o teor de amido nas raízes tuberosas é inverso ao de sacarose, sugere-se melhor conversão de sacarose em temperaturas amenas, além de maiores taxa e velocidade da translocação de fotoassimilados nestas condições, o que favorece o crescimento e desenvolvimento das raízes tuberosas.

#### 3.4.1.2 Água

A água, além da temperatura, é outro fator ambiental que influencia a tuberização. A quantidade de água requerida pela cultura ao longo do seu ciclo normalmente varia de 500 a 600 mm, podendo atingir valores superiores a 800 mm (MIRANDA *et al.*, 1989; SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002; GOMES; CARR, 2003; RAVI; SARAVANAN, 2012; KARAKAS; KURUNC; DINCER, 2021; EMBRAPA, 2021). No entanto, não basta que a água esteja disponível apenas em termos de quantidade, uma vez que a influência deste fator sobre a tuberização também se dá em termos de distribuição (RAVI *et al.*, 2009). Assim, é necessário que a quantidade de água exigida pela cultura seja bem distribuída ao longo do ciclo, para que não ocorram estresses por déficit ou excesso hídrico.

Embora a batata-doce seja considerada tolerante ao déficit hídrico, sob esta situação verifica-se a redução de praticamente todos os parâmetros de crescimento e produtividade de parte aérea e raízes tuberosas (KARAKAS; KURUNC; DINCER, 2021). No entanto, os efeitos

do déficit hídrico são mais deletérios às raízes do que aos órgãos da parte aérea, pois em função da diminuição da lâmina de irrigação aplicada, observou-se diminuição linear no rendimento da parte aérea e exponencial no rendimento de tubérculos (GAJANAYAKE; REDDY, 2016).

Sob déficit hídrico, a produção de raízes tuberosas é afetada significativamente, (GAJANAYAKE; REDDY, 2016; KARAKAS; KURUNC; DINCER, 2021), em função da redução no número de raízes tuberosas formadas, e à lignificação, a qual é favorecida em condições de déficit hídrico, principalmente quando o conteúdo de água disponível no solo é inferior a 20% do requerido pela planta e/ou se o déficit hídrico ocorre no início da tuberização (RAVI; SARAVANAN, 2012; DARYANTO; WANG; JACINTHE, 2016).

Em situações de estresse por excesso de água no solo, também ocorre redução na produção de raízes tuberosas, o que está associado a reduções no número, tamanho e diâmetro destas (RAVI; INDIRA, 1999). Isto porque o processo de tuberização exige a presença de oxigênio (O<sub>2</sub>) na zona radicular a fim de manter o metabolismo aeróbio das raízes, e assim garantir a produção de energia nas células da raiz. Em condições contrárias, as raízes passam a realizar respiração anaeróbica, a qual produz menor quantidade de energia do que o metabolismo aeróbio. Associado a isso, ocorre também a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), as quais podem ocasionar danos às estruturas celulares, quando produzidas em grandes quantidades (LIN *et al.*, 2006; PARK *et al.*, 2022).

Tanto o déficit de energia quanto a formação excessiva de EROs afetam os processos de divisão e diferenciação celular, prejudicando o crescimento radicular e também a formação do tecido de reserva das raízes tuberosas. Assim, ainda que o crescimento vegetativo seja mantido, as raízes tuberosas não apresentarão capacidade de armazenar os fotoassimilados produzidos, reduzindo a força de dreno desses órgãos (RAVI; INDIRA, 1999).

Deve-se salientar que condições de estresse por excesso de água não são verificadas apenas em situações em que o solo se encontra encharcado. Por exemplo, verificou-se redução no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular quando o fornecimento de água foi igual a 100% da capacidade de campo, condição que não corresponde a alagamento, mas promove redução na aeração (BELEHU; HAMMES, 2004). Além disso, situações que geram redução da aeração, não necessariamente associadas ao aumento do conteúdo de água no solo, como compactação do solo, causam efeitos deletérios semelhantes.

Diferentemente do estresse por déficit hídrico, em que a ocorrência no período de iniciação da tuberização gera maiores danos, para condições de estresse por excesso de água, verifica-se que plantas submetidas ao alagamento durante o início do ciclo, apresentam maior capacidade de recuperação, retomando crescimento e desenvolvimento normal, e produzindo

maior rendimento de raízes tuberosas, do que plantas submetidas ao alagamento em períodos mais tardios do ciclo (RAVI; INDIRA, 1999).

#### 3.4.1.3 Luz

Outra variável do ambiente que apresenta influência sobre o processo de tuberização é a luz, tanto em termos de disponibilidade de radiação, quanto em relação ao fotoperíodo, embora haja controvérsia na literatura sobre os efeitos deste último. Enquanto alguns autores consideram que o desenvolvimento das raízes tuberosas é favorecido por fotoperíodos curtos (MITHRA; SOMASUNDARAM, 2008; NATARAJAN *et al.*, 2019), outros afirmam que fotoperíodos longos (18 horas) resultam em maior produção de raízes tuberosas do que fotoperíodos curtos (9 horas) (MORTLEY *et al.*, 2009). Este resultado é corroborado por estudo que demonstrou maior produção de raízes tuberosas em fotoperíodo de 24 horas do que em fotoperíodo de 12 horas (BONSI *et al.*, 1992).

Além disso, estudos indicam que a batata-doce não requer número mínimo de horas de escuro para indução da tuberização, visto que plantas cultivadas em fotoperíodo de 24 h apresentaram produção de raízes tuberosas (BONSI *et al.*, 1992). No entanto, fotoperíodos mais longos parecem estar associados com a necessidade de maior acúmulo de energia (expresso em graus-dia) para que a tuberização se inicie (ERPEN *et al.*, 2013b).

A radiação solar, por sua vez, exerce seus efeitos sobre a tuberização de forma indireta. Isto porque, após o início da tuberização e origem do tecido de reserva, o crescimento das raízes tuberosas, e conseqüentemente, sua produtividade, depende da capacidade da parte aérea em produzir fotoassimilados e translocá-los para as raízes tuberosas (RAVI; SARAVANAN, 2012). Uma vez que a radiação solar é a fonte de energia para a fotossíntese, sua influência se dará sobre esse processo, e não sobre o processo de tuberização, propriamente dito, embora seus efeitos sejam de grande importância.

A batata-doce requer altos níveis de radiação solar para o crescimento e desenvolvimento adequado, de modo que, em condições de baixa disponibilidade de radiação, a produção é afetada, principalmente pela redução do crescimento dos órgãos aéreos, que culminam em menor capacidade fotossintética (RAVI; INDIRA, 1999). Situações de baixa disponibilidade de radiação são verificadas principalmente quando a batata-doce é cultivada em consórcio com outras espécies. Observaram-se reduções na produção de raízes tuberosas em até 67%, quando cultivada em consórcio com milho (LUO *et al.*, 2017), e até 98% quando consorciada com banana (BLOMME *et al.*, 2020), indicando que quanto maior o

sombreamento, maiores os impactos sobre a produção de raízes tuberosas (RAVI; INDIRA, 1999).

O excesso de radiação solar, no entanto, também é prejudicial. Pois, embora inicialmente o aumento da disponibilidade de radiação solar promova o aumento da taxa fotossintética, atinge-se um ponto máximo (ponto de compensação luminosa), a partir do qual não se verifica aumento da taxa fotossintética, mesmo com o aumento da intensidade luminosa. A partir daí, a energia excedente pode ser direcionada para a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), que, em quantidades excessivas, promoverão estresse oxidativo (LARCHER, 2004; TAIZ *et al.*, 2017). Essa situação pode ocorrer por exemplo, em dias frios e ensolarados, nos quais a fotossíntese apresenta taxas reduzidas por conta da temperatura, mas a disponibilidade de radiação continua alta, ou quando plantas cultivadas em ambiente sombreado são colocadas a pleno sol.

Outros fatores ambientais podem influenciar o crescimento e desenvolvimento das raízes tuberosas, como por exemplo, disponibilidade de nutrientes (especialmente nitrogênio e fósforo), impedimentos e/ou restrições físicas do solo, entre outros. Além disso, tendo em vista que o crescimento das raízes tuberosas depende do armazenamento de amido nesses órgãos, todos os fatores que influenciem os processos de síntese, transporte e descarregamento de fotoassimilados nas raízes tuberosas, bem como a síntese de amido, influenciarão indiretamente ao processo de tuberização (RAVI; INDIRA, 1999).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 GENÓTIPO

Para realização do experimento utilizou-se acesso de batata-doce coletado junto a produtores camponeses na Mesorregião Centro-Oriental do Paraná e pertencente à coleção do Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG). Este genótipo, denominado BD8 (Figura 1), é considerado tardio com ciclo de 180 dias, e rendimento médio de 30 Mg ha<sup>-1</sup> em sistema plantio direto e condições agroecológicas de transplântio e clima tipo Cfb (Köppen).

Figura 1 - Acesso BD-8. Ponta Grossa, UEPG, 2021



Fonte: Jaqueline Mendes

De acordo com classificação morfológica realizada com base em 25 descritores (CIP, 1991), o genótipo apresenta caule com pigmentação verde com alguns pontos roxos e base roxa, ápice com pubescência moderada, hábito de crescimento extremamente espalhado, sendo que os caules apresentam mais de 250 cm, entrenós variando de curtos (3-5 cm) a intermediários (6-9 cm) e diâmetro intermediário (7-9 mm). As folhas apresentam perfil geral cordado, sem divisões e lóbulo único de formato triangular, e tamanho médio (8-15 cm). Tanto a face abaxial quanto a face adaxial apresentam coloração verde, assim como as nervuras inferiores, que são da mesma cor, tanto em folhas maduras quanto imaturas. Os pecíolos são curtos (10-20 cm), de cor verde com algumas manchas roxas e mancha roxa próxima a base da folha. As raízes

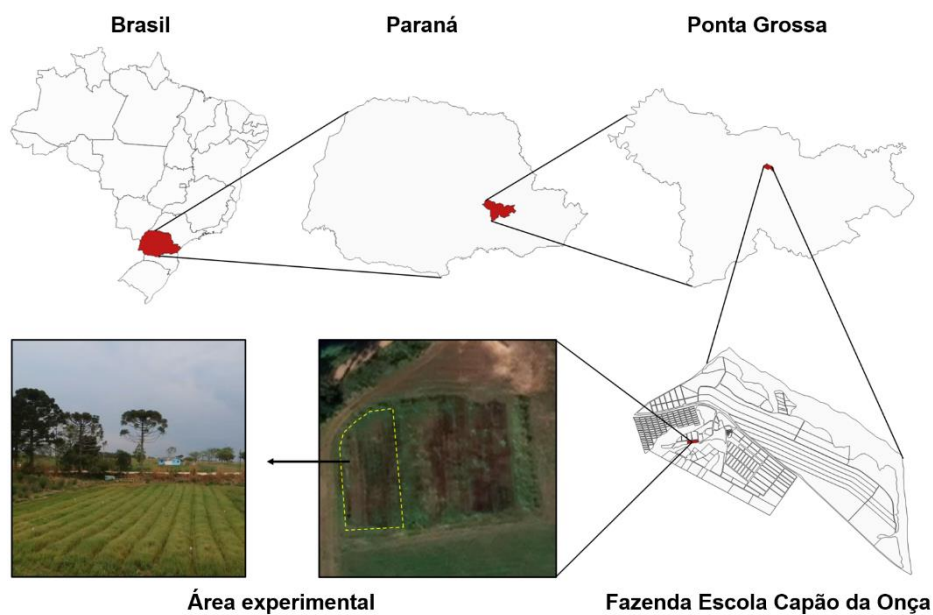
tuberosas apresentam formato obovado ou oblongo, córtex com espessura muito grossa ( $> 4$  mm), periderme de cor rosada pálida, polpa de cor predominante creme e cor secundária branca, com distribuição em formato de anel largo.

O referido acesso (BD8) já apresentou resultados quantitativos promissores quanto à produtividade de massa seca de raízes tuberosas e de parte aérea, bem como qualitativos, em conteúdo de amido das raízes tuberosas e de proteína de parte aérea (LIMA, 2022; VIEIRA *et al.*, 2021).

#### 4.2 ASPECTOS GERAIS

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON,  $25^{\circ}05'28''$  S,  $50^{\circ}03'40''$  O, 900 m de altitude), pertencente à UEPG, localizada no município de Ponta Grossa, PR (Figura 2).

Figura 2 - Localização da área experimental. Ponta Grossa, UEPG, 2023



O clima da região é do tipo Cfb de acordo com a classificação de Köppen, é caracterizado como clima subtropical úmido, sem estação seca e verão ameno, com temperatura média no mês mais frio abaixo de  $18^{\circ}\text{C}$ , geadas frequentes, e temperatura média no mês mais quente abaixo de  $22^{\circ}\text{C}$  Köppen (NITSCHKE *et al.*, 2019)

O solo da área experimental é classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico, de textura argilo-arenosa, e suas características físicas e químicas foram determinadas por análises de rotina nos laboratórios de Matéria Orgânica do Solo e Fertilidade do Solo, da UEPG (Tabela 1), em julho de 2021.

Tabela 1 - Resultados das análises química e física do solo. Ponta Grossa, UEPG, 2023

ANÁLISE QUÍMICA											
Prof.	pH CaCl <sub>2</sub>	C-Org. g dm <sup>-3</sup>	Al	Ca	Mg	K	H+Al	CTC (pH = 7,0)	CTC efetiva	V%	P <sub>Mehlich</sub> mg dm <sup>-3</sup>
			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								
0 – 20 cm	4,9	22,0	0,1	3,9	1,7	0,68	5,55	11,79	6,30	52,9	15,0
20 – 40 cm	4,9	16,0	0,1	3,5	1,4	0,42	6,94	12,90	5,45	43,6	3,8
ANÁLISE FÍSICA											
	Areia	Silte					Argila				
	----- g kg <sup>-1</sup> -----										
	466	101					431				

A análise de solo demonstrou pH = 4,9 para ambas as camadas avaliadas, indicando condição de alta acidez (RAIJ *et al.*, 1997). No entanto, de acordo com Filgueira (2007), este valor não é restritivo ao desenvolvimento da cultura da batata-doce, embora encontre-se abaixo da faixa ótima, que é de 5,6 a 6,5. A saturação por bases (V%) foi considerada como média na camada de 0-20 cm e baixa na camada de 20-40 cm, sendo também inferior ao recomendado para a cultura, que é de V% = 60% (FILGUEIRA, 2007).

O teor de potássio (K), assim como o teor de magnésio (Mg), foi considerado alto, e os teores de fósforo (P), cálcio (Ca), matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC), médios (SBCS, 2016). O teor de alumínio (Al), assim como a saturação por alumínio (m%) encontravam-se abaixo dos valores considerados prejudiciais ao desenvolvimento radicular (0,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 40%, respectivamente). No entanto, deve-se salientar que mesmo em situações em que os valores de Al e m% são inferiores aos mencionados, podem ocorrer danos ao sistema radicular, visto que vários fatores tem correlação com a toxicidade por alumínio, como por exemplo pH e textura.

A fim de elevar a saturação por bases para 60% e corrigir a acidez, aplicou-se calcário, em área total, na dose de 2 Mg ha<sup>-1</sup> (13/07/2021). Também foi realizada adubação de manutenção, em área total, sem revolvimento, utilizando cama de aviário estabilizada, na dose de 4 Mg ha<sup>-1</sup> (03/09/2021).

Foram preparados canteiros na área experimental (10 canteiros - 1,2 m x 40 m) com auxílio de enxada rotativa (11/06/2021). Nestes, foram semeadas, na safra de inverno, aveia

preta (*Avena sativa*) e ervilhaca (*Vicia cracca*), a fim de estabelecer cobertura e formação de palha para transplântio em sistema plantio direto.

A implantação da cultura foi realizada por meio de mudas produzidas a partir de segmentos do caule de plantas matrizes. Inicialmente, as mudas foram mantidas em casa de vegetação por período de 15 dias e então transplantadas utilizando espaçamento de 0,8 x 0,4 m, simulando população de 31.250 plantas ha<sup>-1</sup>. Nos primeiros 14 dias após transplântio foram realizadas visitas diárias para verificação e substituição de mudas que não se estabeleceram.

Ao longo do experimento, o controle de plantas espontâneas foi realizado através de capina manual, não tendo sido necessário o controle de pragas e doenças, ou quaisquer outros tratamentos culturais.

#### 4.3 DELINEAMENTO, TRATAMENTOS E VARIÁVEIS DEPENDENTES

O experimento foi conduzido utilizando delineamento em blocos casualizados (três), com cinco tratamentos e repetições não balanceadas (de quatro a nove plantas por coleta). Os tratamentos foram épocas de transplântio: Época 1: 05/10/2021; Época 2: 23/10/2021; Época 3: 10/11/2021; Época 4: 26/11/2021 e Época 5: 17/12/2021. Tais datas foram definidas com base na época de transplântio frequentemente adotada na região, bem como contemplando ciclo produtivo aproximado e expectativa de primeira geada no momento da colheita.

Visando determinar o início da tuberização (IT), para cada época, entre 30 e 90 dias após o transplântio (DAT) foram realizadas coletas, espaçadas em aproximadamente sete dias, totalizando cinco coletas (Tabela 2).

Tabela 2 - Datas de transplântio, coletas e colheita para cada época. Ponta Grossa, UEPG, 2023

	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4		Época 5	
	Data	DAT <sup>(1)</sup>	Data	DAT	Data	DAT	Data	DAT	Data	DAT
Transplântio	05/10/21		23/10/21		10/11/21		26/11/21		17/12/21	
Coleta 1	26/11/21	52	03/12/21	41	16/12/21	36	06/01/22	41	01/02/22	46
Coleta 2	03/12/21	59	13/12/21	51	22/12/21	42	19/01/22	54	10/02/22	55
Coleta 3	13/12/21	69	21/12/21	59	05/01/22	56	01/02/22	67	21/02/22	66
Coleta 4	20/12/21	76	27/12/21	65	19/01/22	70	10/02/22	76	03/03/22	76
Coleta 5	27/12/21	83	06/01/22	75	27/01/22	78	21/02/22	87	14/03/22	87
Colheita	21/03/22	167	08/04/22	167	25/04/22	166	10/05/22	165	16/05/22	150

<sup>(1)</sup>DAT = dias após o transplântio

Nas coletas iniciais, mensurou-se a espessura da raiz tuberosa de maior espessura (ERT) de cada planta, com auxílio de paquímetro mecânico (Mitutoyo, 0,1 mm). O objetivo era



gerar ajustes matemáticos da variação da ERT função do momento da coleta (expresso DAT), e a partir da equação obtida, determinar o momento provável de IT, considerando-se como IT o momento em que ERT atingiram 5 mm (VILLORDON; LABONTE; FIRON, 2009).

A fim de determinar os rendimentos da cultura (parte aérea e raízes tuberosas) foi realizada ainda, para cada época, colheita final (Tabela 2), nas quais determinaram-se:

- Massa fresca de parte aérea (MFPA) e raízes tuberosas (MFRT) através da determinação de massa do material vegetal logo após a colheita;

- Massa seca de parte aérea (MSPA) e raízes tuberosas (MSRT), através da determinação de massa do material vegetal após a secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 40 °C, até que se atingisse massa constante.

A partir destes dados, foi calculada a matéria seca de parte aérea (MatSPA) e raízes tuberosas (MatSRT), através da razão entre as massas seca e fresca das respectivas frações (Equ. 1).

$$MatS = \frac{MS}{MF} \quad (1)$$

Tanto nas coletas iniciais quanto na colheita final, as plantas colhidas correspondiam a plantas de linhas centrais das unidades experimentais e que apresentavam plantas de bordadura, a fim de garantir que as mesmas se desenvolveram em condições adequadas em relação à população de plantas.

Os dados de temperatura mínima, média e máxima do ar, precipitação, e velocidade do vento, ao longo do período experimental, foram registrados em estação agrometeorológica pertencente à FESCON/Basf. Os dados de radiação solar diária, por sua vez, foram coletados em estação agrometeorológica pertencente à Fundação ABC - Campo Experimental de Ponta Grossa-PR.

Com base nos dados de temperatura máxima e mínima aferidos ao longo do período experimental, foi calculada a soma térmica diária (STd) (Equ. 2 e 3) (OMETTO, 1981):

$$STd = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} + T_{min} - T_b, \quad \text{quando } T_b > T_{max} > T_{min} > T_b \quad (2)$$

$$STd = \frac{(T_{max} - T_b)^2}{2(T_{max} - T_{min})}, \quad \text{quando } T_b > T_{max} > T_b > T_{min} \quad (3)$$

Onde:  $T_b$ ,  $T_B$ ,  $T_{max}$  e  $T_{min}$ , temperaturas basais inferior e superior para o desenvolvimento da cultura, e as temperaturas máxima e mínima diária do ar, respectivamente. Para tal, considerou-se  $T_b = 15\text{ °C}$  e  $T_B = 35\text{ °C}$  (ERPEN *et al.*, 2013b).

A soma térmica acumulada ( $STa$ ) foi calculada pelo somatório dos valores de  $STd$  durante o período considerado (OMETTO, 1981) (Equ. 4):

$$STa = \sum STd \quad (4)$$

O fotoperíodo ( $N$ ) foi calculado conforme Ometto (1981) (Equ. 5, 6, 7):

$$N = \frac{2h}{15} \quad (5)$$

$$h = \text{arc. cos} - (tg\phi \text{ tg}\delta) \quad (6)$$

$$\delta = 23,45 \text{ sen} \left[ \frac{360(NDA - 80)}{365} \right] \quad (7)$$

Onde:  $h$  = ângulo horário do sol,  $\phi$  = latitude local,  $\delta$  = declinação solar e  $NDA$  = número de dias do ano (corridos, ou dia Juliano).

Com base nos dados de precipitação foram elaborados os balanços hídricos de cultivo para cada uma das épocas (SARAIVA, 2022). Além dos valores de precipitação verificados, utilizou-se a evapotranspiração de referência ( $ETo$ ), calculada através do software CropWat (SMITH, 1992). Os atributos de solo, coeficientes de ( $Kc$ ) e duração das respectivas etapas fenológicas considerados, estão apresentados na tabela 3:

Tabela 3 - Atributos do solo e coeficientes de cultura considerados para elaboração do balanço hídrico. Ponta Grossa, UEPG, 2023

Atributos do solo	
Capacidade de campo (CC)	0,33 $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
Ponto de murcha permanente (PP)	0,15 $\text{cm}^{-3}$
Densidade do solo ( $Ds$ )	1 $\text{g cm}^{-3}$
Capacidade total de água (CTA)	0,126 $\text{mm mm}^{-1}$
Fator $f$	0,8

Continua...

Continuação...

Coeficientes de cultura (Kc) <sup>1</sup>		
Fase	Duração (dias)	Kc
Pegamento	20	0,50
Sombreamento <10%	20	0,70
Intermediário	20	0,95
Máximo > 80%	100	1,25
Final	20	0,90

<sup>1</sup>(MANTOVANI *et al.*, 2013)

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

De posse da maior espessura mensurada de cada planta nas referidas datas de coleta, dentro de cada época, realizou-se análise de homocedasticidade de variâncias e normalidade dos resíduos, com posterior análise de variância. Quando da significância da análise de variância realizou-se análise de regressão.

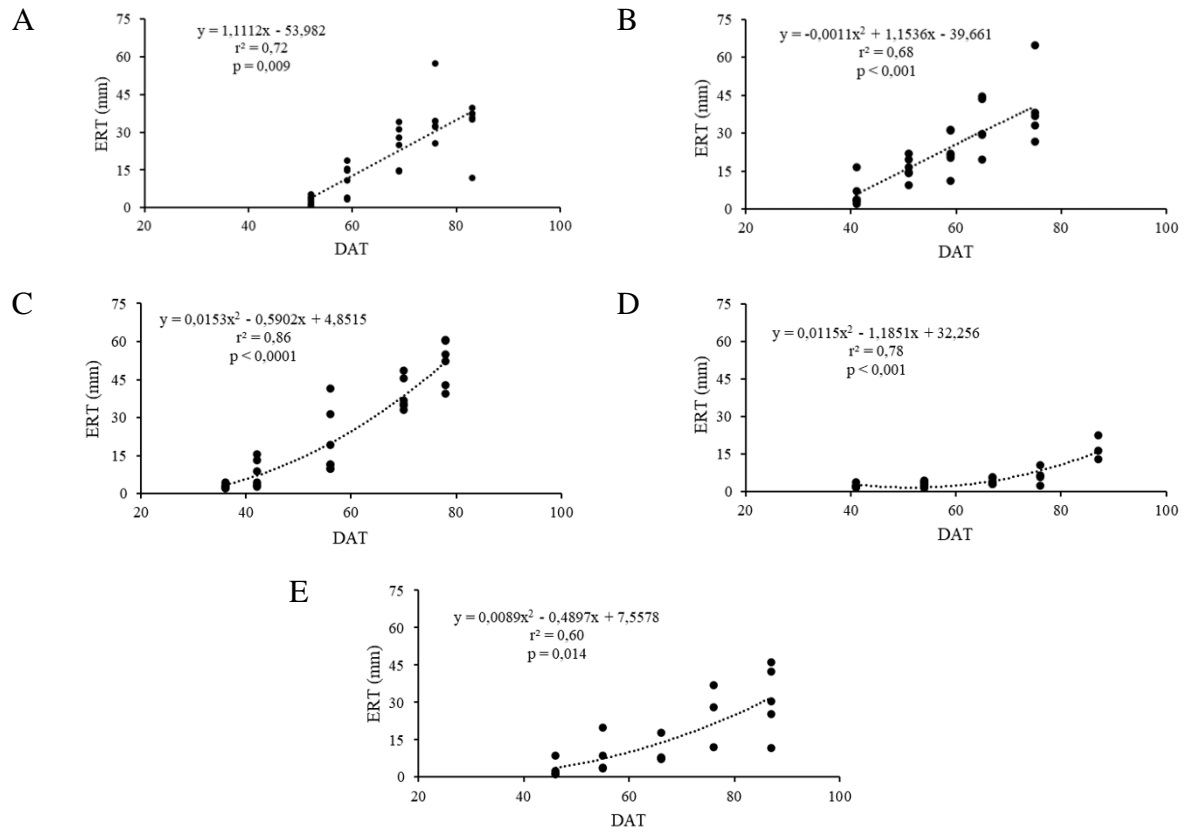
De posse dos valores de massa fresca, massa seca e matéria seca de raízes tuberosas e de parte aérea da colheita final de cada época realizou-se análise de homocedasticidade de variâncias e normalidade dos resíduos, com posterior análise de variância. Quando da significância da análise de variância realizou-se análise de regressão. O programa utilizado para as referidas análises foi o Sisvar (FERREIRA, 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 INÍCIO DA TUBERIZAÇÃO

De posse dos valores mensurados de espessura das raízes tuberosas em coletas, em dias após transplântio (DAT), para cada época, realizou-se análise de homocedasticidade e normalidade. Para obedecer aos preditos para análise paramétrica foram retirados três valores classificados como discrepantes (*outliers*). Com este novo conjunto de valores foram realizadas análises de variâncias onde, para todas as épocas houve significância. Sendo assim, realizou-se para cada época uma análise de regressão. Para todas as épocas, as curvas ajustadas foram significativas e com modelos sugeridos apresentando ajustes ( $r^2$ ) razoáveis (Figura 3). Como os valores estudados são para uma safra agrícola, sabe-se que os referidos ajustes matemáticos ao fenômeno biológico não são definitivos.

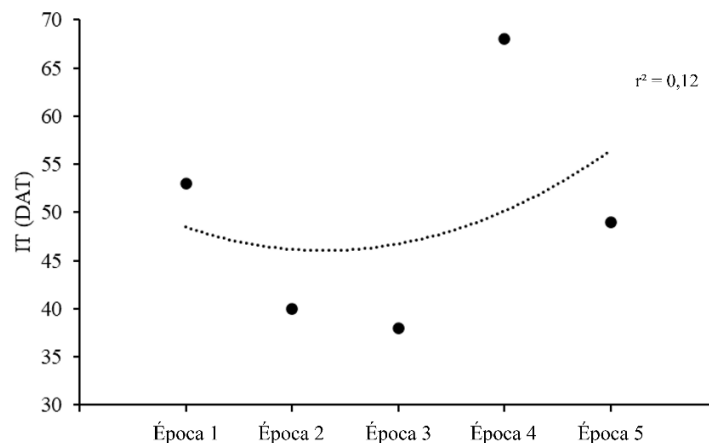
Figura 3 - Espessura da raiz tuberosa (ERT) em função do tempo (dias após o transplântio, DAT) para as Épocas 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). Ponta Grossa, UEPG, 2023



Para cada época, com auxílio do ajuste matemático (equação), calculou-se qual seria o DAT que indicaria o início da tuberação (IT), adotado de 5 mm de espessura da raiz tuberosa (ERT). As datas estimadas para o IT, conforme cinco épocas de transplântio, foram equivalentes a 53, 40, 38, 68 e 49 DAT (Figura 3). Esses resultados concordam com os registros de Ravi e Indira (1999), segundo os quais, o IT acontece entre 7 e 91 DAT, mas são superiores aos verificados por Villordon, LaBonte e Firon (2009), cujo estudo realizado com a cultivar Beaugard, em condições de campo em clima Cfa (Köppen), constatou presença de plantas com raízes tuberosas com espessura superior a 5 mm aos 26 DAT.

De maneira geral, a variação da data de IT em função da época (Figura 4), apresentou tendência quadrática, havendo redução do período para IT até que se atingisse o número mínimo de dias para tal (Época 3), e após isso o número de dias até IT voltou a aumentar. Na presente análise complementar, a curva de tendência gerada visa qualificar o comportamento do fenômeno, sem pretensão de quantificação de época para transplântio. Sendo assim, optou-se pela não apresentação da equação matemática gerada (Figura 4). A tendência apresentada pelo fenômeno contraria os resultados de Erpen *et al.* (2013b), os quais demonstraram redução linear da duração do período entre o transplântio e o IT, em função da época, sendo as datas de IT equivalentes a 70, 58, 55 e 53 DAT, para transplântios realizados nos meses de agosto, novembro, janeiro e fevereiro, respectivamente

Figura 4 - Início da tuberação (IT) em função da época de transplântio. DAT = dias após transplântio. Ponta Grossa, UEPG, 2023



O maior período até o IT foi verificado para a Época 4 (Figuras 3D e 4). No entanto, o ponto que determina está época não representa a tendência apresentada pelos dados, a qual indica que o IT na Época 4 deveria apresentar valor intermediário entre as Épocas 3 e 5, ocorrendo entre 38 e 49 DAT. Acredita-se, portanto, que o prolongamento do período até o IT na Época 4 não foi causado por efeitos esperados dos tratamentos (variável independente), e

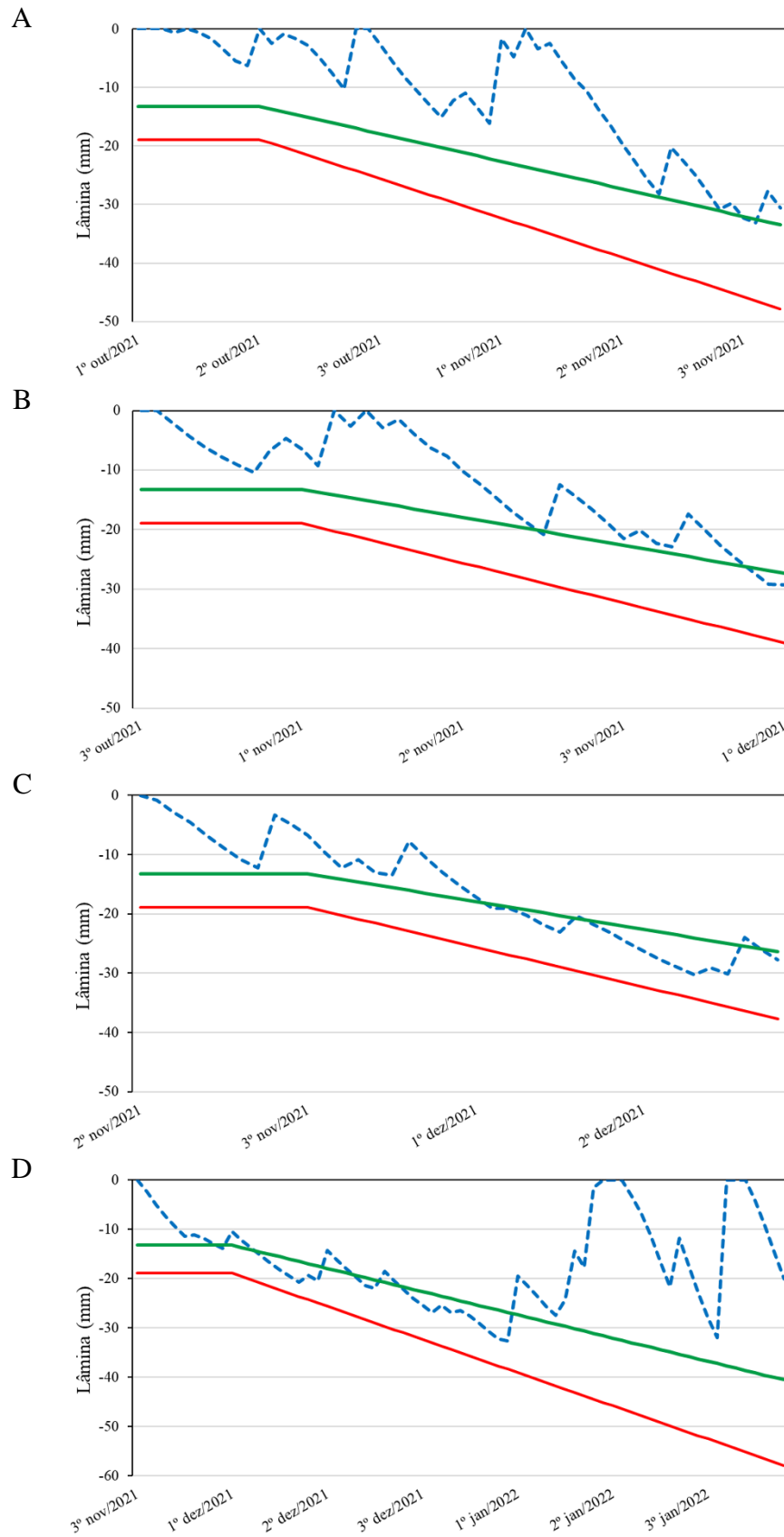
sim resultado da ocorrência de estresses abióticos, ou condições anormais de variável de controle. Quando da decisão dos tratamentos (épocas de transplântio) em clima Cfb (Köppen), espera-se na condição de safra de verão (ciclo produtivo em primavera-verão-outono), comportamento padrão de temperatura, fotoperíodo e radiação disponível, bem como precipitação bem distribuída ao longo do período citado.

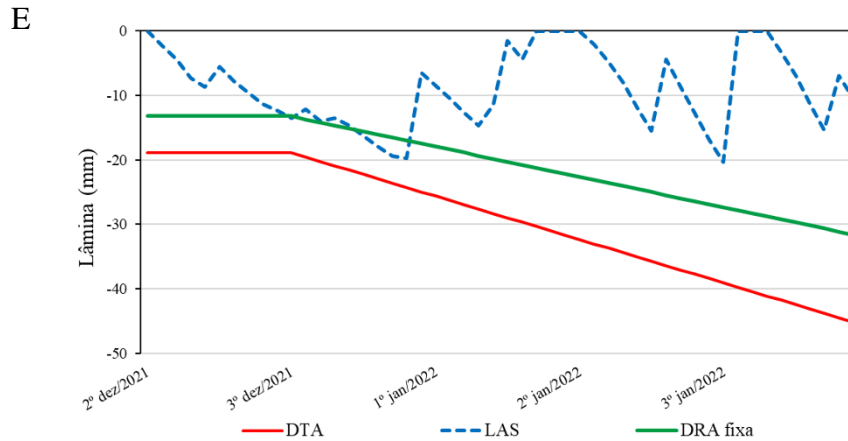
Porém, para a Época 4 de transplântio, embora os valores de temperatura (Figura 7D, Tabela 4), fotoperíodo (Tabela 4) e radiação disponível (Figura 6), tenham apresentado valores conforme esperados e condizentes com a classificação climática, enquanto a precipitação para os meses de dezembro ficou abaixo da normatizada histórica. Sendo assim, do transplântio até o IT verificou-se, através do balanço hídrico (Figura 5D), três situações em que a lâmina de água no solo (LAS) atingiu níveis inferiores à linha de disponibilidade real de água fixa (DRAfixa), caracterizando situações de déficit hídrico (DH). Além disso, durante o processo de crescimento e desenvolvimento da muda recém transplântada, podem ter ocorrido situações de estresse luminoso e térmico, de modo que, será aberto em momento oportuno discussão a respeito da radiação solar disponível e temperatura.

Apesar de ser considerada tolerante ao DH, o IT em batata-doce, e, conseqüentemente, a formação das raízes tuberosas, tende a ser prejudicado nessas situações, em função da ocorrência de lignificação do estelo das raízes adventícias, o qual é processo antagônico à formação dos câmbios anômalos. Assim, verifica-se a ocorrência de formação de raízes fibrosas em detrimento da formação de raízes tuberosas, e redução do número de raízes tuberosas (RAVI; SARAVANAN, 2012). Em estudo de Karakas, Kurunc e Dincer (2021), por exemplo, com simulação de DH, em situação de DH intenso (25% da lâmina de água requerida), ocorreram reduções de até 59% no número de raízes tuberosas por planta.

Além da lignificação do estelo das raízes adventícias, danos celulares diversos são verificados, como por exemplo, redução do potencial hídrico e de turgor das células da raiz, decorrentes da desidratação celular, o que causa também a desestabilização de membranas e proteínas, redução da atividade metabólica, produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e até morte celular (RAVI; INDIRA, 1999; TAIZ *et al.*, 2017). Ademais, vale salientar, que a água é de extrema importância para a expansão celular, visto que é a pressão de turgor exercida sobre as paredes celulares que promove sua expansão (LARCHER, 2004; TAIZ *et al.*, 2017). Portanto, além do DH afetar o metabolismo celular e a formação dos câmbios anômalos que dariam origem ao tecido de reserva das raízes tuberosas, ele afeta também a expansão e alongamento das células da raiz, podendo afetar a sua capacidade de armazenamento.

Figura 5 - Balanço hídrico de cultivo referente ao período entre transplante e início da tuberização (IT), para as Épocas 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). DTA = disponibilidade total de água; LAS = lâmina de água no solo; DRAfixa = disponibilidade real de água; LAS = lâmina de água no solo; DRAfixa = disponibilidade real de água fixa no solo. Ponta Grossa, UEPG, 2023





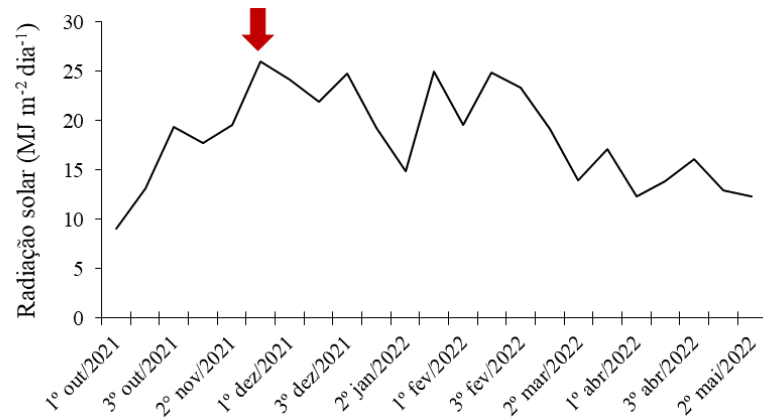
Os efeitos causados por estresses abióticos dependem de características do estresse, como intensidade, duração e número de exposições, e também, de características da planta, como tecido afetado, estágio fenológico no qual ocorreu o estresse, entre outros (LARCHER, 2004; SCHULZE; BECK; MÜLLER-HOHENSTEIN, 2005). No caso do DH, os danos são mais severos quando este ocorre no período anterior ao IT (RAVI; SARAVANAN, 2012). Isso explica o porquê de, apesar de terem sido identificadas situações de DH nas Épocas 2, 3 e 5 (Figuras 5B, 5C e 5E), os danos terem sido aparentemente maiores para as plantas cultivadas na 4ª Época, culminando no atraso do IT neste período. Afinal, na Época 5, o número de exposições ao DH foi menor que na Época 4, e nas Épocas 2 e 3, a ocorrência de DH foi verificada entre 38-40 DAT e 21-38 DAT, respectivamente, enquanto na Época 4, o evento de DH teve início aos 13 DAT e se prolongou até 39 DAT.

Ademais, a origem do câmbio vascular e dos câmbios anômalos ocorre antes do alargamento das raízes tuberosas, que representa o sinal “visível” do IT (RAVI; INDIRA, 1999). Em estudo de Villordon, LaBonte e Firon (2009), embora a identificação da tuberização pelo espessamento das raízes tenha sido verificado aos 26 DAT, o aparecimento dos câmbios anômalos foi verificado já aos 13 DAT. Em outro estudo, Villordon *et al.* (2009) concluíram que o processo de formação dos câmbios anômalos teve início 5 e 7 DAT, para as cultivares Beauregard e Georgia Jet, respectivamente. Assim, tendo em vista que a ocorrência de DH na Época 4 se deu no período inicial do ciclo, é possível que este coincido com o momento de origem dos câmbios vascular e anômalos, e que por isso o IT tenha sido tão afetado.

Além de estresse hídrico, acredita-se que as plantas cultivadas na 4ª Época também tenham sofrido estresse por excesso de luz, uma vez que o 3º decêndio de novembro, momento no qual foi realizado o transplântio, foi o decêndio no qual se verificou maior média de radiação solar ao longo de todo o período experimental (Figura 6), equivalente a  $26 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ .



Figura 6 - Radiação solar ao longo de todo o período experimental. A seta indica o decêndio no qual se verificaram as maiores médias ao longo do período. Ponta Grossa, UEPG, 2023

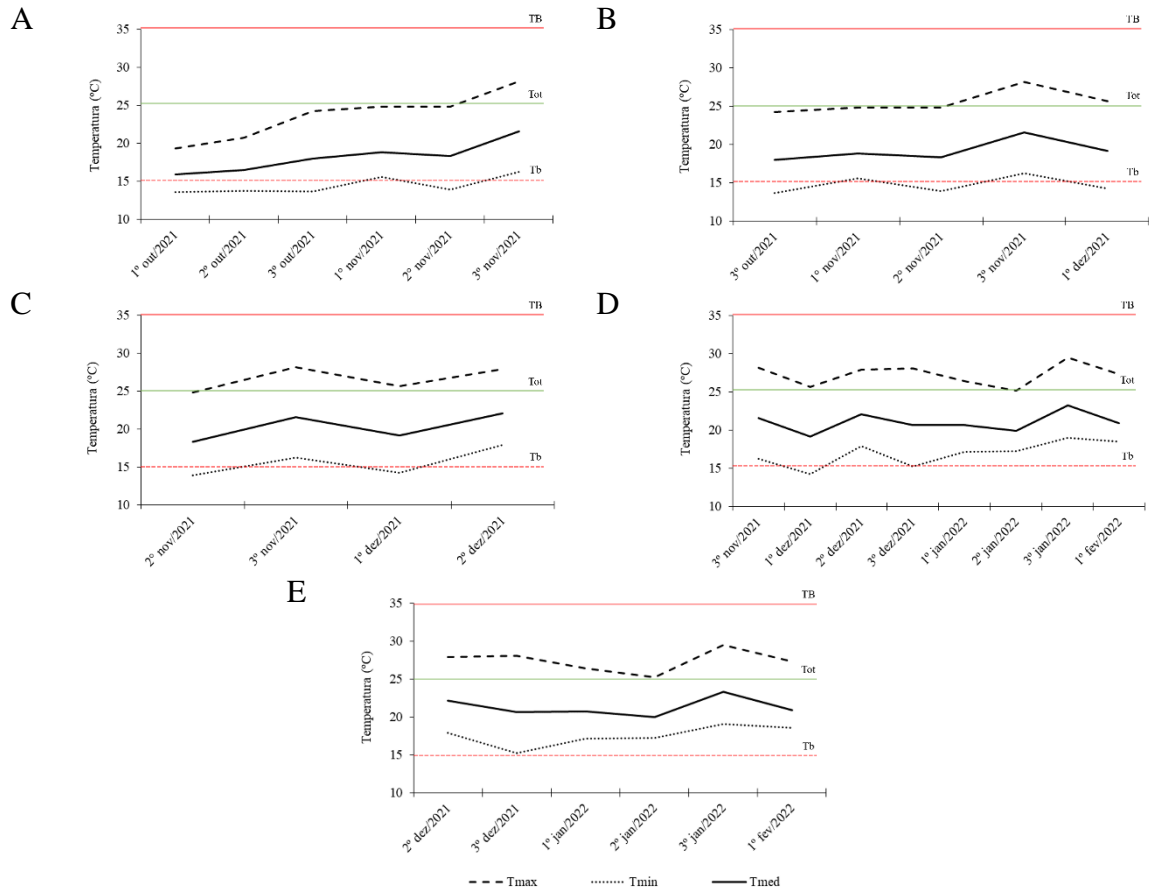


Deve-se salientar que, antes do transplântio, as mudas estavam sendo mantidas em casa de vegetação, onde a incidência de radiação é cerca de 60% menor do que no campo. Então, provavelmente, essas plantas apresentavam características semelhantes a plantas de sombra, como baixo ponto de compensação de luz, grande quantidade de complexos antena, grande área foliar, poucos mecanismos de dissipação de energia, entre outros (LARCHER, 2004; SCHULZE; BECK; MÜLLER-HOHENSTEIN, 2005; DIAS *et al.*, 2018), além de apresentarem tecidos tenros, uma vez que se tratavam de mudas.

Portanto, supõe-se que, no momento do transplântio, quando as mudas foram expostas a condições de elevada radiação, estas não dispunham de mecanismos de dissipação de energia, levando ao acúmulo de energia luminosa, a qual pode ter sido direcionada para a formação de EROs, cuja produção em excesso, leva ao estresse oxidativo, promovendo danos aos componentes celulares (LARCHER, 2004; TAIZ *et al.*, 2017).

Tendo em vista que alta incidência de radiação está associada à alta temperatura, é possível que estas plantas também tenham sido submetidas a estresse térmico por calor. Afinal, embora a temperatura média (Tmed) tenha se mantido entre 20 °C e 25 °C ao longo do período até o IT (Figura 7D), houve dias em que a temperatura máxima (Tmax) atingiu valores superiores a temperatura ótima (Tot) para o processo de tuberização (25 °C).

Figura 7 - Médias das temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin) durante o período entre transplanto e início da tuberização (IT), para as Épocas 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). Tb = temperatura basal inferior; Tot = temperatura ótima; TB = temperatura basal superior. Ponta Grossa, UEPG, 2023



Esta situação é considerada prejudicial, visto que o desenvolvimento do sistema radicular de plantas de batata-doce é afetado quando a temperatura assume valores superiores a Tot para a tuberização, ainda que não ultrapasse a temperatura basal superior (TB) (SPENCE; HUMPHRIES, 1972). Além disso, considerando que as plantas já se encontravam em situação de estresse, os efeitos podem ter sido intensificados, visto que a ocorrência conjunta de estresse hídrico, térmico e luminoso apresenta impacto negativo potencial (TAIZ *et al.*, 2017).

O processo de tuberização também é afetado em condições de baixa temperatura (RAVI; INDIRA, 1999). Isso explica o porquê, desconsiderando-se a Época 4, a 1ª época foi a que apresentou maior período até o IT (Figuras 3A), equivalente a 53 DAT. Nesse período, verificou-se a ocorrência de dias com temperatura média (Tmed) (Figura 7A) inferior a 15 °C, nos três primeiros decêndios de outubro, os quais coincidiram com o momento do transplanto das mudas da 1ª Época e primeiras semanas após este.

Resultados obtidos por Belehu e Hammes (2004) indicam reduções de 64% na massa de raízes, quando o cultivo foi realizado em 20 °C, em comparação à plantas cultivadas a 24 °C, condição próxima à ótima. Além disso, Spence e Humphries (1972), verificaram que, quando

cultivadas em condições de temperatura iguais ou inferiores a 15 °C, plantas da cultivar de batata-doce A16/15 não apresentaram formação de raízes tuberosas. Tais resultados são corroborados por Noh *et al.* (2009), cujos estudos indicam que o crescimento e desenvolvimento radicular é afetada por condições de baixa temperatura, em virtude da redução no alongamento das células radiculares, em função da redução da expressão de genes associado à síntese de expansinas (proteínas associadas à expansão celular).

Os resultados do presente trabalho corroboram os de Erpen *et al.* (2013b), cujo estudo realizado em Santa Maria, região de clima Cfa, demonstrou maior duração do período entre o transplântio e IT, quando o transplântio foi realizado no mês de agosto, correspondente ao mês mais frio ao longo do período experimental. Além disso, Gajanayake *et al.* (2014) constataram que a ocorrência de temperaturas entre 15 °C e 20 °C no estágio inicial de desenvolvimento da batata-doce aumentaram o tempo necessário para a formação de raízes tuberosas, além de reduzirem a taxa de crescimento destas.

Nas Épocas 2, 3 e 5 verificou-se menor duração do período até o IT, em comparação com a Época 1, o que parece estar associado a maior taxa de acúmulo de energia (expresso em termos soma térmica diária) nestes períodos (Tabela 4).

Tabela 4 - Início da tuberação (IT), soma térmica acumulada (STa), e médias de temperatura média ( $\overline{T_{med}}$ ), soma térmica diária ( $\overline{STd}$ ) e fotoperíodo ( $\overline{N}$ ) até o início da tuberação, Ponta Grossa, UEPG, 2023

	IT (DAT)*	$\overline{T_{med}}$ (°C)	STa (°C)	$\overline{STd}$ (°C dia <sup>-1</sup> )	$\overline{N}$ (h)
Época 1	53	18,14	232,8	4,31	12,97
Época 2	40	19,49	227,1	5,54	13,19
Época 3	38	20,30	242,9	6,23	13,42
Época 4	68	20,98	479,7	6,95	13,44
Época 5	49	21,04	353,5	7,07	13,39

\*DAT = dias após transplântio

A soma térmica (ST) indica a quantidade de energia à disposição da planta num dia (soma térmica diária, STd), ou num período (soma térmica acumulada, STa) (OMETTO, 1981) e tem sido usada para representar o efeito da temperatura do ar sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (PAULA *et al.*, 2005). O cálculo da ST leva em consideração os valores de Tmed, de modo que aumentos na Tmed (desde que essa não apresente valores superiores a TB) resultarão em maiores valores de ST. Isso explica por que, no presente trabalho, ocorreu aumento dos valores médios de soma térmica diária ( $\overline{STd}$ ) em função das épocas (Tabela 4), e porque nas Épocas 3 e 5, a soma térmica acumulada (STa) até o IT foi maior que na Época 1, ainda que o período entre transplântio e IT na Época 1 tenha sido mais longo.

Com exceção da STa na Época 4 (479,7 °C), os demais valores de STa até o IT observados no presente estudo foram inferiores aos encontrados por Villordon, LaBonte e Firon (2009), os quais registraram valores de STa até o IT iguais 468 °C e 460 °C, quando as plantas foram cultivadas em condições casa de vegetação e campo, respectivamente. No entanto, no referido trabalho, o IT em termos de DAT, ocorreu aos 32 e 26 DAT, valores inferiores aos encontrados no presente trabalho. Isto indica maior capacidade de acúmulo de energia nas condições ambientais de clima Cfa, do que em clima Cfb, e pode indicar adaptação das plantas ao seu local de crescimento.

A STa, no entanto, não parece ser o único fator determinante para o IT. Isso porque, embora a STa na Época 2 tenha sido menor que nas Épocas 1 e 5, o IT nesta época aconteceu anteriormente, indicando interação dos fatores ambientais na determinação de IT.

Dentre os fatores que comumente apresentam interação com a temperatura, destaca-se o fotoperíodo (N). No caso da cultura da cebola, por exemplo, é necessário a ocorrência de dias longos para que a bulbificação ocorra. No entanto, os efeitos do fotoperíodo podem ser modificados pela temperatura, durante a etapa de formação do bulbo. Por exemplo, uma vez alcançado o fotoperíodo crítico para a bulbificação, ou seja, sob condições favoráveis de fotoperíodo, a ocorrência de temperaturas baixas podem retardar a bulbificação, enquanto temperaturas altas aceleram a formação do bulbo nesta etapa (GANDIN *et al.*, 2001).

Efeito semelhante é verificado para a cultura da soja, a qual é considerada planta de dia curto e necessita de condições de fotoperíodo inferiores ao seu fotoperíodo crítico para que ocorra a indução ao florescimento. No entanto, considerando o mesmo fotoperíodo, temperaturas mais altas promoverão o florescimento em menor tempo, encurtando o ciclo da cultura (ALLIPRANDINI *et al.*, 2009).

Para a cultura da batata andina (*Solanum tuberosum* L.) verificou-se influência das épocas de transplântio no início da tuberização, sendo que o prolongamento da fase entre a emergência e início da tuberização quando o transplântio foi realizado nos meses de novembro, dezembro e janeiro, foi atribuído a ocorrência de dias longos nestes períodos, visto que a batata andina é cultura de dia curto (PAULA *et al.*, 2005). Já em estudo de Erpen *et al.* (2013b), realizado em Santa Maria, com a cultura da batata-doce, atribuiu-se a necessidade de maior acúmulo de temperatura para que a tuberização ocorresse, ao aumento do fotoperíodo ao longo do período experimental.

No experimento em questão, os valores médios de fotoperíodo ( $\bar{N}$ ) até o IT (Tabela 4) apresentaram tendência crescente até a Época 4, reduzindo na Época 5. Isso pode explicar por que, mesmo em condições de alta temperatura que favoreceram o acúmulo térmico na Época 5,

o IT se deu mais tardiamente do que nas Épocas 2 e 3, por exemplo, e também porque mesmo STa sendo menor na Época 2 do que na Época 1, o IT foi verificado anteriormente.

Os efeitos do N sobre a tuberação são divergentes. Enquanto alguns autores consideram que o desenvolvimento das raízes tuberosas é favorecido por fotoperíodos curtos (MITHRA; SOMASUNDARAM, 2008; NATARAJAN *et al.*, 2019), outros afirmam que fotoperíodos longos (até 24 h) favorecem o desenvolvimento e produção de raízes tuberosas do que fotoperíodos curtos (9-12 h) (BONSI *et al.*, 1992; MORTLEY *et al.*, 2009), de modo que são necessárias investigações acerca deste tema.

## 5.2 PRODUTIVIDADE

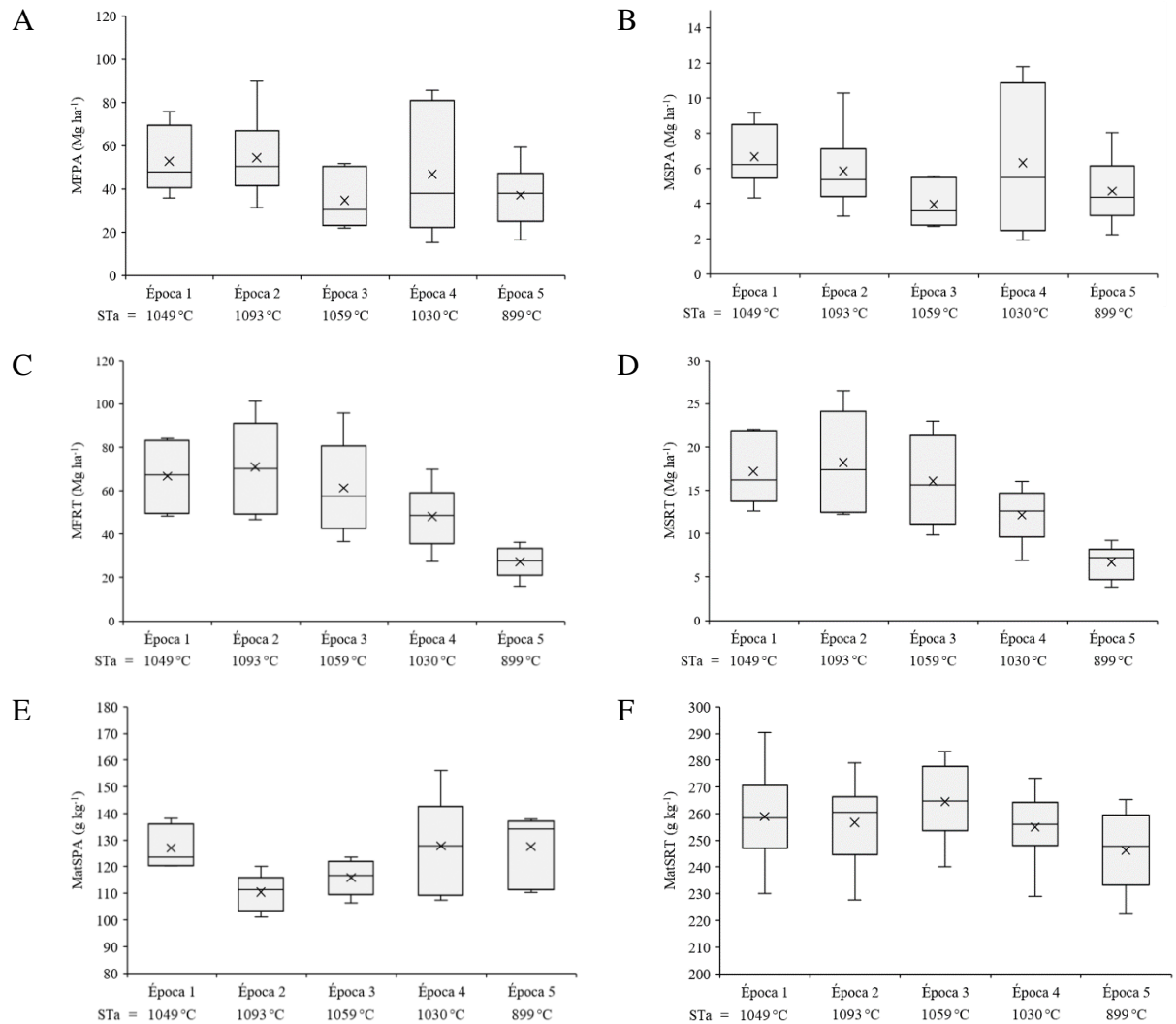
Para as variáveis massa fresca (MFRT) e massa seca de raízes tuberosas (MSRT), a análise de variância indicou diferença altamente significativa entre os tratamentos épocas de transplântio, e a análise de regressão indicou ajuste quadrático significativo ( $p = 0,028$ ), porém com ajuste considerado baixo, com  $r^2$  variando de 0,49 a 0,54. Sendo assim, não se adotará o ajuste matemático para esta discussão. Pelo formato da curva ajustada e pelo aspecto visual dos gráficos boxplot disponibilizados (Figuras 8C e 8D), o intervalo de melhor transplântio, pensando em produtividade final de massa fresca de batata-doce (comercialmente interessante para industrialização) e em massa seca de raízes tuberosas de batata-doce (considerando aspectos de eficiência energética transporte e processamento), para o ano agrícola que se apresentou, seria próximo da segunda época.

Na cultura da batata-doce, a produção de raízes tuberosas é função da capacidade de dreno e do potencial da fonte (RAVI; INDIRA, 1999; CONCEIÇÃO; LOPES; FORTES, 2004). Sendo também influenciada pelo momento do início da tuberação (IT), visto que maior duração do período entre IT e a colheita são associados a maiores produtividades em função do maior tempo para a acumulação de fotoassimilados nas raízes tuberosas (ERPEN *et al.*, 2013b).

No presente estudo, porém, a variação de IT aparentemente não foi determinante para a produção de raízes tuberosas, uma vez que não houve relação entre menor IT e maior produtividade de MFRT e MSRT (Figuras 8C e 8D). A Época 3, por exemplo, embora tenha apresentado menor data de IT [38 dias após transplântio (DAT)], apresentou produtividades de MFRT e MSRT inferiores as Épocas 1 e 2, cujo IT foi maior (53 e 40 DAT, respectivamente).

Figura 8 - Produtividade de parte aérea e raízes tuberosas em função da época de transplântio. (A) Massa fresca de parte (MFPA); (B) Massa seca de parte aérea (MSPA); (C) Massa fresca de raízes tuberosas (MFRT); (D)

Massa seca de raízes tuberosas (MSRT); (E) Matéria seca de parte aérea (MatSPA); (F) Matéria seca de raízes tuberosas (MatSRT). Ponta Grossa, UEPG, 2023



No entanto, a soma térmica acumulada (STa) ao longo do ciclo da cultura (Tabela 5) apresentou relação direta com a produtividade de raízes tuberosas, sendo que quanto maior a STa, maior a produção MFRT e MSRT (Figuras 8C e 8D). Portanto, tendo em vista que a Época 2 apresentou maior STa, conclui-se que houve maior disponibilidade de energia para as plantas cultivadas nessa época, e que esta energia foi destinada aos processos associados à tuberização, especialmente a fotossíntese, resultando na maior produção de fotoassimilados, os quais foram acumulados nas raízes de reserva, resultando em maior produção de MFRT e MSRT nessa Época.

Tais resultados concordam com os de Erpen *et al.* (2013b), cujo estudo, realizado em região de clima Cfa, também constatou relação direta entre a produtividade de massa fresca e seca de raízes tuberosas e a STa ao longo do ciclo de cultivo. No entanto, as produtividades

máximas de massa fresca e seca de raízes tuberosas obtidas por estes autores (25,2 e 8,9 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente), foram inferiores as verificadas no presente estudo (71 e 18,2 Mg ha<sup>-1</sup>, figuras 8C e 8D), ainda que a STa ao longo do ciclo, bem como a duração deste em dias, tenham sido inferiores as obtidas no referido. Vale ressaltar que no referido estudo, as colheitas de raízes tuberosas foram realizadas no mesmo dia, com ciclos produtivos diferentes, não privilegiando assim a produtividade de raízes tuberosas, e que as diferenças constatadas podem ser função do genótipo.

O aumento da produtividade de raízes tuberosas em função do aumento da STa ao longo do ciclo também foi constatado por Wees, Seguin e Boisclar (2016). Porém, neste experimento, maiores valores de STa também estiveram associados ao aumento do ciclo em dias, diferente do observado no presente estudo (Tabela 5).

Tabela 5 - Início da tuberização (IT), duração do ciclo, soma térmica acumulada (STa), precipitação acumulada (Pac) e médias de temperatura média ( $\overline{Tmed}$ ), fotoperíodo ( $\overline{N}$ ) e radiação solar ( $\overline{R}$ ) em cada época de transplântio. Ponta Grossa, UEPG, 2023

	IT (DAT)*	Ciclo (DAT)	$\overline{Tmed}$ (°C)	STa (°C)	$\overline{N}$ (h)	$\overline{R}$ (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	Pac (mm)
Época 1	53	167	20,17	1048,7	13,04	20,08	799,1
Época 2	40	167	20,44	1093,3	12,95	20,14	797,9
Época 3	38	166	20,23	1058,6	12,78	19,85	799,9
Época 4	68	165	20,08	1029,8	12,57	19,00	811,1
Época 5	49	150	19,78	899,3	12,37	18,19	782,1

\*DAT = dias após transplântio

A soma térmica tem sido utilizada para representar o efeito da temperatura do ar sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, servindo como base para a determinação da época de cultivo e momento de colheita de culturas (PAULA *et al.*, 2005). Assim, tendo em vista a relação entre esta variável e a produtividade de raízes tuberosas, torna-se evidente a possibilidade de utilização deste conceito na predição da duração do ciclo e momento da colheita da batata-doce.

Estudos com esse objetivo já vem sendo realizados, como é o caso de trabalho desenvolvido por Villordon *et al.* (2009), cujos resultados indicaram necessidade de STa (considerando Tb = 15,5 °C) variando de 2502 a 3419 °C para a colheita. No entanto, estes resultados consideram outros genótipos e outras condições climáticas, de modo da não aplicabilidade direta. Também é necessário que se estabeleça método de cálculo padrão, uma vez que diferentes métodos de cálculo de ST podem ser utilizados (PAULA *et al.*, 2005). Além disso, Wees, Seguin e Boisclar (2016) constataram diferenças significativas nos

resultados de STa ao considerarem temperatura basal inferior equivalente a 10 °C ou 15,5 °C, sendo que STa foi equivalente 544,8 °C e 1096,6 °C, respectivamente, demonstrando a necessidade de definição adequada dos valores equivalentes as temperaturas cardinais para cada fase fenológica e genótipo.

O cálculo da ST, além dos valores equivalentes as temperaturas cardinais, também leva em consideração os valores de temperatura média do ar, de modo que aumentos na temperatura do ar (desde que essa não apresente valores superiores a temperatura basal superior) resultarão em maiores valores de ST. Assim, o aumento da STa da primeira para a segunda época (Tabela 5), ocorreu em função do aumento das temperaturas (Figuras 9A e 9B), bem como a diminuição de STa (Tabela 5) a partir da Época 2, se deu em função da redução das temperaturas nas épocas seguintes (Figuras 9C, 9D e 9E).

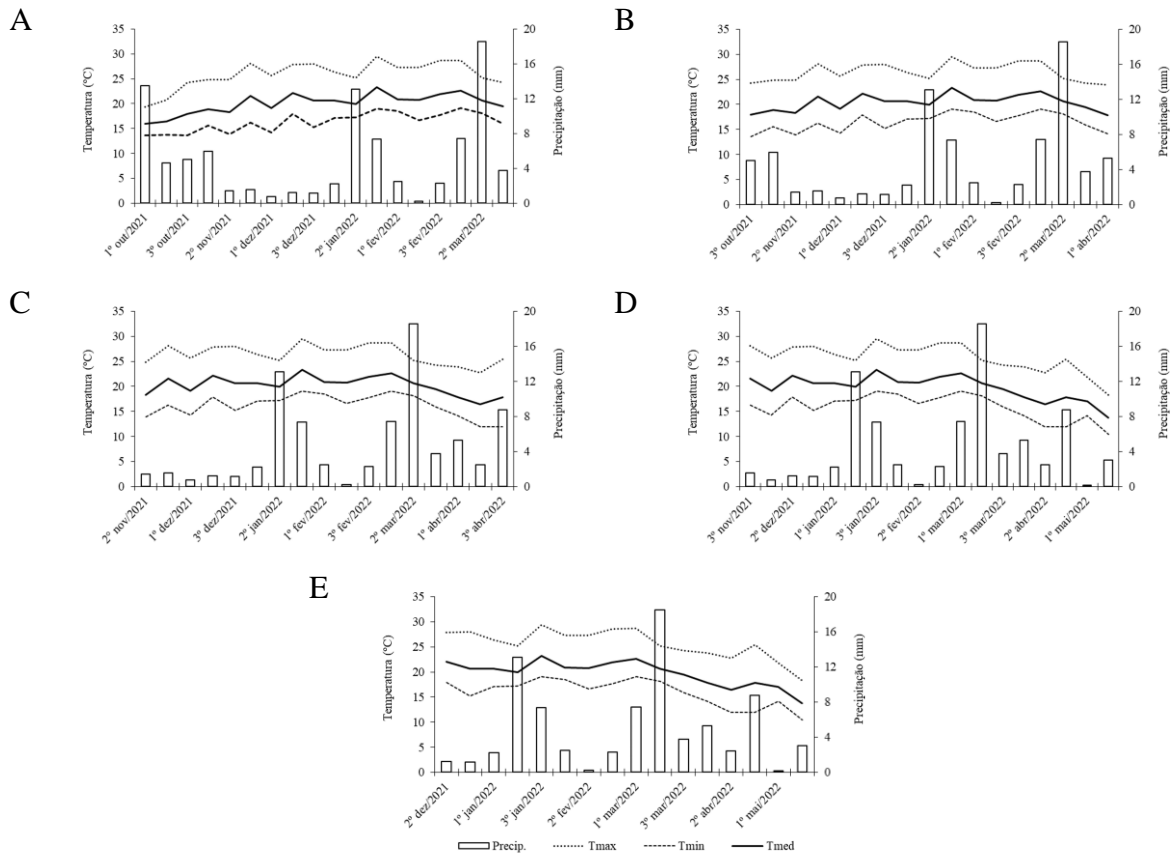
A temperatura do ar é descrita como uma das principais variáveis que influenciam o crescimento e o desenvolvimento vegetal, uma vez que apresenta influência direta sobre a velocidade das reações bioquímicas do metabolismo vegetal, e também sobre a estabilidade de biomembranas. Sendo assim, sempre que a temperatura atinge valores aquém ou além das temperaturas basais inferior e superior, a planta se encontra em situação de estresse térmico, e seu desenvolvimento é prejudicado, ou até mesmo paralisado (LARCHER, 2004; TAIZ *et al.*, 2017).

Ao longo de todo período experimental, os menores valores de temperatura média (Tmed) foram verificados no primeiro decêndio de outubro (Figura 9A) e segundo decêndio de maio (Figuras 9D e 9E), havendo dias em que Tmed esteve abaixo de 15 °C, a qual é considerada como temperatura basal inferior (Tb) para o processo de tuberização (SPENCE; HUMPHRIES, 1972; ERPEN *et al.*, 2013b).

Em condições de baixa temperatura, o crescimento e o desenvolvimento vegetal são afetados, principalmente, pela redução da atividade de proteínas (SCHULZE; BECK; MÜLLER-HOHENSTEIN, 2005; TAIZ *et al.*, 2017). Sendo assim, nos períodos referentes às Épocas 1, 4 e 5, nos quais foram verificadas condições de baixa temperatura, as reduções na produtividade em comparação Época 2, podem estar associadas a redução na atividade de enzimas importantes aos processos de fotossíntese e armazenamento de amido, como as enzimas ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase e adenosina difosfato glicose pirofosforilase (AGPase) (RAVI; INDIRA, 1999), respectivamente, resultando em menor síntese e acúmulo de fotoassimilados e amido, e conseqüente redução das massa fresca e seca das raízes tuberosas.



Figura 9 - Temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), precipitação (Precip.) ao longo do período correspondente às Épocas 1 (A), 2, (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). Ponta Grossa, UEPG, 2023



Os resultados do presente trabalho condizem com os de Gajanayake *et al.* (2014), no qual constatou-se que o desenvolvimento de plantas de batata-doce em condições de temperatura inferiores a 20 °C, promovem a redução na produção de massa de raízes. Da mesma forma, Villavicencio *et al.* (2007) observaram redução na massa e produtividade de raízes tuberosas da cultivar Beauregard quando essa foi cultivada em temperaturas diurna e noturna de 20 e 17 °C.

A ocorrência pontual de temperaturas baixas parece ser menos deletéria à produtividade de raízes tuberosas do que a redução da temperatura ao longo do tempo. Isto porque, embora a ocorrência de temperaturas baixas no primeiro decêndio de outubro possa ter colaborado para a redução da produtividade de raízes tuberosas da Época 1 (Figura 9A). Essa redução não foi tão significativa quanto as verificadas nas Épocas 4 e 5 (Figuras 9D e 9E), em que a redução da temperatura ao longo do tempo resultou no menor acúmulo de energia, expresso pelos menores valores de STa (Tabela 5).

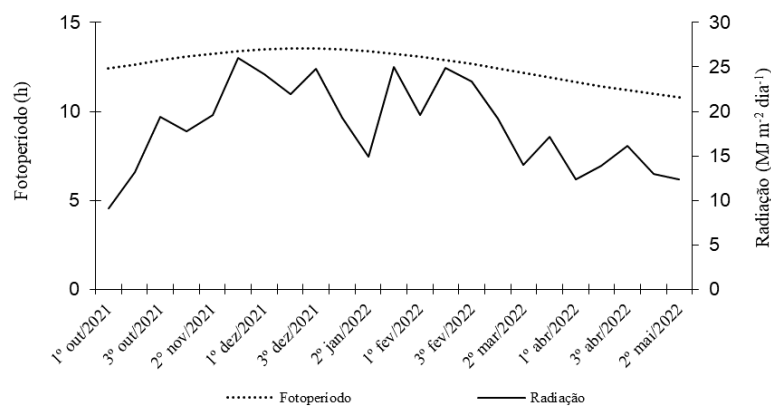
O fato da Época 1 ter apresentado a segunda maior média de produtividade (Figuras 8C e 8D) ainda que tenham ocorridos temperaturas inferiores ou próximas a 15 °C no início do

ciclo corresponde a esta, indica a capacidade da cultura em se recuperar de condições adversas. Outra situação que corrobora tal aspecto, é de que a Época 4, na qual observou-se atraso do IT em função da ocorrência de estresses abióticos, tendeu a produtividade de raízes tuberosas satisfatória e superior a Época 5. Este aspecto demonstra a importância da cultura no atual cenário de mudanças climáticas, o qual exigirá cultivos tolerantes a estresses abióticos e capazes de produzir grande quantidade de alimento de alto valor nutricional, em pouca área e com baixa necessidade de insumos, que é o caso da batata-doce.

No entanto, a redução na produtividade de MFRT e MSRT na Época 5 também pode estar associada ao fato de que a redução na temperatura exigiu a colheita antecipada desta, a qual apresentou ciclo de 150 DAT, enquanto as demais permaneceram no campo por período de 165 a 167 DAT (Tabela 5). De acordo com Wees, Seguin e Boisclar (2016), a colheita antecipada pode resultar em baixas produtividades, visto que as raízes tuberosas podem não ter completado seu processo de “enchimento”, apresentando massa reduzida, enquanto o atraso da mesma pode expor os órgãos da parte aérea à geada e as raízes a baixas temperatura do solo, reduzindo a qualidade das raízes tuberosas.

A temperatura apresenta relação direta com a radiação solar, e isso foi verificado no presente experimento, no qual constatou-se aumento da média de Tmed e da radiação solar diária (Tabela 5, Figura 10) da Época 1 para a Época 2, e redução nas mesmas ao longo das demais Épocas.

Figura 10 - Fotoperíodo e radiação solar diária ao longo do período experimental. Ponta Grossa, UEPG, 2023



De maneira geral, o aumento na disponibilidade de radiação, resulta no aumento da taxa fotossintética, e, conseqüentemente, no rendimento das culturas, já que a radiação solar é a fonte de energia da fotossíntese e que os fotoassimilados produzidos neste processo são direcionados para os tecidos de reserva das sementes, tubérculos ou outros órgãos de armazenamento (TAIZ

*et al.*, 2017). Isso explica, juntamente aos dados de temperatura, o maior rendimento de raízes tuberosas (Figuras 8C e 8D) verificado na Época 2, na qual houve também maior disponibilidade de radiação, expressa pela maior média de radiação diária (Tabela 5).

Para a cultura da batata-doce, He e Qin (2020) verificaram que, o aumento na disponibilidade de radiação através da iluminação com LED (*light-emitting diode*) resultou no aumento da taxa fotossintética. Porém, é necessário salientar, que o aumento na taxa fotossintética em função do aumento da radiação ocorre somente até certo ponto (ponto de saturação luminosa), a partir do qual a taxa fotossintética se estabiliza, independente do aumento da disponibilidade de radiação, isto porque, a partir deste, as limitações na fotossíntese deixam de estar associadas à disponibilidade de radiação, sendo causadas por limitações na fixação de carbono (TAIZ *et al.*, 2017). Quando isso ocorre, a energia luminosa excedente pode ser direcionada para a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs).

Em estudo de Cuchiara *et al.* (2015) por exemplo, constatou-se aumento na taxa de transporte de elétrons (variável também associada ao aumento da taxa fotossintética) em função do aumento da disponibilidade de radiação. No entanto, quando a intensidade de radiação tornou-se excedente, verificou-se redução na taxa de transporte de elétrons, o que pode ter sido resultado de danos causados aos transportadores de elétrons pelas EROs, visto que estas, quando produzidas em altas quantidades, podem levar ao estresse oxidativo (LARCHER, 2004; TAIZ *et al.*, 2017).

O presente experimento foi desenvolvido em região localizada em latitude 25° S, de clima temperado, classificado como Cfb, de acordo com a classificação de Köppen (NITSCHÉ *et al.*, 2019). Essas características não estão associadas à ocorrência de alta incidência de radiação. Portanto, acredita-se que, com exceção do estresse sofrido pelas mudas na Época 4, não foram verificadas situações de estresse por excesso de luz para nenhuma das épocas.

As menores médias de radiação solar ao longo de todo o período experimental ocorreram no primeiro e segundo decêndio de outubro (Figura 10), períodos no qual apenas as plantas cultivadas na Época 1 estavam no campo. De maneira geral, a batata-doce requer altos níveis de radiação solar para o crescimento e desenvolvimento adequado, de modo que, em condições de baixa disponibilidade de radiação, sua produção é afetada, principalmente pela redução do crescimento dos órgãos aéreos, que culminam em menor capacidade fotossintética (RAVI; INDIRA, 1999). Assim, é possível que a baixa disponibilidade de radiação tenha colaborado para a menor produtividade de raízes tuberosas nesta época, quando comparada à Época 2. No entanto, a ocorrência de baixa disponibilidade de radiação no momento do

transplântio e aumento gradativo desta nos dias seguintes, podem ter colaborado para a adaptação das mudas às condições de campo.

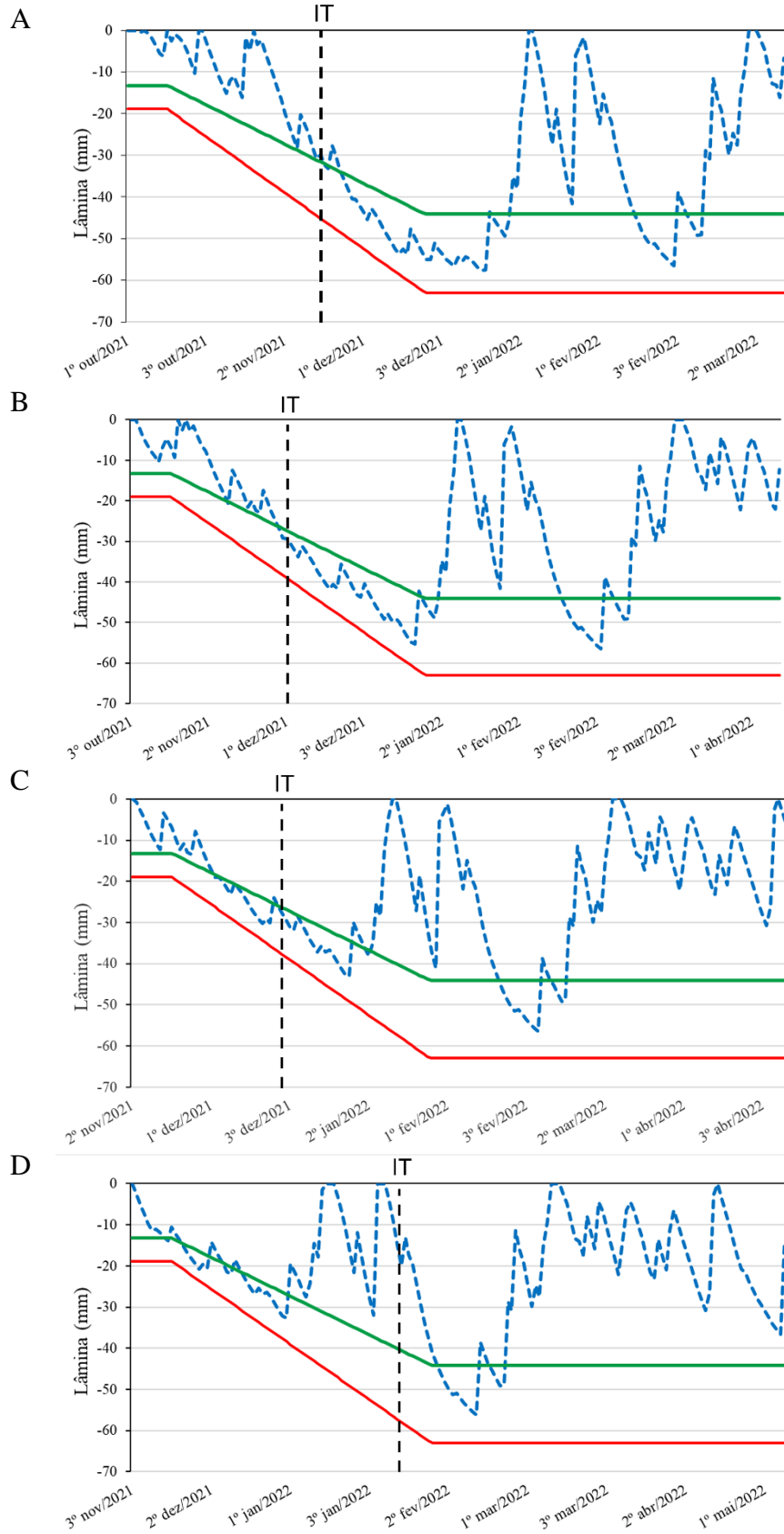
Outra variável que apresenta relação com a disponibilidade de radiação é o fotoperíodo, uma vez que este representa o número de horas de luz ao longo do dia. O fotoperíodo apresentou tendência quadrática ao longo do período experimental (Figura 10), e a média do fotoperíodo reduziu ao longo das épocas (Tabela 5).

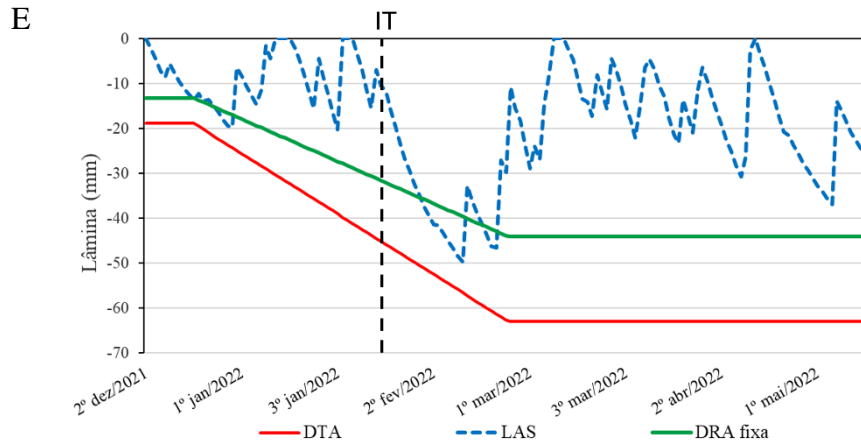
Os resultados do presente estudo não são suficientes para indicar possíveis influências do fotoperíodo sobre a produtividade de raízes tuberosas, embora este pareça estar envolvido na definição do IT. Os registros na literatura também apresentam controvérsias sobre o papel desta variável ambiental sobre a produção de raízes tuberosas em batata-doce. Enquanto alguns autores consideram que o desenvolvimento das raízes tuberosas é favorecido por fotoperíodos curtos (MITHRA; SOMASUNDARAM, 2008; NATARAJAN *et al.*, 2019), outros afirmam que fotoperíodos longos (18-24 h) resultam em maior produção de raízes tuberosas (BONSI *et al.*, 1992; MORTLEY *et al.*, 2009).

Assim como para o fotoperíodo, não foi verificada influência direta da disponibilidade hídrica sobre a produtividade de MFRT e MSRT (Figuras 8C e 8D). A precipitação acumulada (PAc) variou de 782 mm a 811 mm dentre as épocas (Tabela 5), valores considerados adequados, visto que a exigência hídrica da cultura  citada como sendo igual a 500-600 mm ao longo do ciclo (MIRANDA *et al.*, 1989; SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002; RAVI; SARAVANAN, 2012; EMBRAPA, 2021).

No entanto, os balanços hídricos de cultivo (Figura 11) indicaram ocorrência de situações de déficit hídrico (DH) em todas as épocas. Acredita-se que a ocorrência de DH no início do desenvolvimento das plantas cultivadas na época 4 (Figura 11D), além de ter resultado no atraso de IT, tenha colaborado para a variabilidade da produtividade de MFRT e MSRT (Figuras 8C e 8D) nessa época. Isto porque, em situação de DH, ocorre aumento na formação de raízes fibrosas em detrimento da formação de raízes tuberosas, em função da lignificação (RAVI; SARAVANAN, 2012).

Figura 11 - Balanço hídrico de cultivo para as Épocas 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D) e 5 (E). IT = início da tuberização; DTA = disponibilidade total de água; LAS = lâmina de água no solo; DRAfixa = disponibilidade real de água fixa no solo. Ponta Grossa, UEPG, 2023





A redução no número de raízes tuberosas por planta resulta em reduções na produtividade de raízes tuberosas, conforme constatado por Karakas, Kurunc e Dincer (2021), cujo experimento com simulação de DH, em situação de DH intenso (25 % da lâmina de água requerida), demonstrou reduções no número de raízes tuberosas por planta, levando à redução do rendimento de raízes tuberosas para ambas as cultivares avaliadas.

O DH também exerce influência sobre o processo de fotossíntese, uma vez que afeta a abertura estomática, e conseqüentemente, o processo de assimilação de carbono, de forma que a produção de fotoassimilados, bem como o crescimento e desenvolvimento vegetal são reduzidos nessa condição (TAIZ *et al.*, 2017). Portanto, a redução na produtividade de raízes tuberosas é consequência da redução do número de raízes tuberosas formadas, bem como na redução da massa das mesmas, conforme constatado por Zhang *et al.* (2020). Estes autores, observaram redução na produção de raízes tuberosas equivalentes a 4,3 e 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> para as cultivares J21 e JZ1, respectivamente, quando estas foram submetidas à condição de DH.

Porém, também foi verificada ocorrência de DH na Época 2 (Figura 11B), ainda que a maior produtividade de MFRT e MSRT tenha sido verificada nessa época. Provavelmente, as influências do DH sobre a produtividade estão associadas ao momento de ocorrência dos eventos de DH, duração e intensidade dos mesmos. Estas características e também de características da planta (tecido afetado, estágio fenológico no qual ocorreu o estresse, entre outros) determinam os impactos dos estresses sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal (LARCHER, 2004; SCHULZE; BECK; MÜLLER-HOHENSTEIN, 2005). Porém, a partir dos dados obtidos no presente experimento, não foi possível estabelecer esta relação.

As médias de produtividade de MFRT (Figura 8C) variaram de 27,2 Mg ha<sup>-1</sup> (Época 5) a 71,0 Mg ha<sup>-1</sup> (Época 2), e de MSRT (Figura 8D), de 6,7 a 18,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Esses valores são superiores aos verificados por Lima (2022), em estudo realizado em mesma condição climática

e com mesmo genótipo, no qual observou-se produtividade máxima de MFRT e MSRT iguais à 58,8 e 12,3 Mg ha<sup>-1</sup>. Em trabalho de Vieira *et al.* (2021), também conduzido em região de clima Cfa e com o mesmo acesso, resultou em produtividade de MSRT equivalente a 15,6 Mg ha<sup>-1</sup>, condizente com os valores verificados no presente trabalho.

A produtividade de raízes tuberosas de batata-doce é bastante variável, sendo influenciada por características relacionadas tanto ao genótipo quanto às condições de cultivo (ALAM, 2021). Embora o rendimento de raízes tuberosas possa atingir valores superiores a 100 Mg ha<sup>-1</sup> (MELLO *et al.*, 2022), de modo geral este se encontra entre 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup>. Portanto, os valores verificados são adequados. Interessante ressaltar que o presente trabalho foi realizado em condições agroecológicas, sem utilização de moléculas sintéticas.

A massa fresca (MFPA) e seca de parte aérea (MSPA), bem como a matéria seca de parte aérea (MatSPA) e de raízes tuberosas (MatSRT), não foram influenciadas pela época de transplântio (Figura 8).

A respeito da produção de MFPA e MSPA, acredita-se que não tenham sido verificadas diferenças significativas entre as épocas (Figuras 8A e 8B) porque o processo de desenvolvimento e crescimento dos órgãos da parte aérea parecem ser menos influenciados pelas condições ambientais do que o crescimento e desenvolvimento das raízes. Por exemplo, em estudo de Gajanaye *et al.* (2014) verificou-se que a temperatura ótima (Tot) estimada para a produção de caules foi igual 30,1 °C, enquanto que para produção de raízes foi de 26,5 °C. Além disso, embora o crescimento vegetativo possa ser mantido em temperaturas próximas a 40 °C, ou abaixo de 15 °C por exemplo, o desenvolvimento das raízes tuberosas é reduzido nessas situações (NOH *et al.*, 2009; RAVI *et al.*, 2009). Além da temperatura, a ocorrência de DH também afeta o desenvolvimento da parte aérea e das raízes de forma diferente, sendo mais deletérios às raízes do que aos órgãos da parte aérea, pois em função da diminuição da lâmina de irrigação aplicada, observou-se diminuição linear no rendimento da parte aérea e exponencial no rendimento de tubérculos (GAJANAYAKE; REDDY, 2016).

As médias de produtividade de MFPA e MSPA (Figuras 8A e 8B) variaram de 34,6 a 54,3 Mg ha<sup>-1</sup>, e de 4,7 a 6,6 Mg ha<sup>-1</sup>. Tais valores inferiores aos obtidos por Vieira *et al.* (2021), mas superiores aos verificados por Lima (2022) para o mesmo genótipo, e demonstram potencial de utilização do acesso em questão na alimentação animal, uma vez que a produção de massa seca de parte aérea foi superior ao encontrado em folhas de milho, a cultura mais utilizada no Brasil para conservação na forma de silagem (GUARESCHI *et al.*, 2010). Convém salientar que as folhas de batata-doce ainda contêm valor relativo considerável de proteína, em análise de oito genótipos foi relatada variação de 66 a 92 g kg<sup>-1</sup> (VIEIRA, 2017).

Por fim, acredita-se que a matéria seca de parte aérea (MatSPA) e raízes tuberosas (MatSRT) não apresentou diferenças significativas (Figuras 8E e 8F) por se tratar de característica inerente ao genótipo. Os valores de MatSPA e MatSRT variaram de 110 a 128 g kg<sup>-1</sup> e 246 a 264 g kg<sup>-1</sup>, os quais são considerados baixos tendo em vista que a matéria seca de parte aérea geralmente varia entre 120 e 180 g kg<sup>-1</sup> (MASSAROTO, 2008), e a matéria seca de raízes tuberosas geralmente é superior a 300 g kg<sup>-1</sup> (BLANK *et al.*, 2017).



## 6 CONCLUSÕES

- A época de transplântio influenciou o início da tuberização.
- A época de transplântio influenciou de maneira significativa a produtividade de massa fresca e seca de raízes tuberosas, mas não exerceu efeitos sobre as produtividades de massa fresca e seca de parte aérea, e sobre a matéria seca de raízes e parte aérea;
- Os maiores efeitos sobre a produtividade de raízes foram exercidos pela soma térmica.

## REFERÊNCIAS

- AFZAL, N. *et al.* Benefits and trade-offs of smallholder sweet potato cultivation as a pathway toward achieving the sustainable development goals. **Sustainability**, v. 13, n. 2, p. 1-17, 2021.
- ALAM, M. K. A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits. **Trends in Food Science and Technology**, v. 115, p. 512-529, 2021.
- ALBUQUERQUE, J. R. T. *et al.* Quality of sweet potato cultivars planted harvested at different times of two seasons. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 6, p. 898-904, 2018.
- ALLIPRANDINI, L. F. *et al.* Understanding soybean maturity groups in Brazil: Environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, v. 49, n. 3, p. 801–808, 2009.
- APRIYANTO, A.; COMPART, J.; FETTKE, J. A review of starch, a unique biopolymer - Structure, metabolism and in planta modifications. **Plant Science**, v. 318, p. 111223, 2022.
- BASHIR, K.; AGGARWAL, M. Physicochemical, structural and functional properties of native and irradiated starch: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 513-523, 2019.
- BELEHU, T.; HAMMES, P. S. Effect of temperature, soil moisture content and type of cutting on establishment of sweet potato cuttings. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 21, n. 2, p. 85-89, 2004.
- BERNARDI, W. K. *et al.* Economic and financial viability of sweet potato ethanol production in microdistilleries, **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 23, e1777, 2021.
- BERNARDI, W. K. **Viabilidade econômica e financeira da produção de etanol de batata-doce em microdestilarias**. 2020. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020. 94 f.
- BLANK, A. F. *et al.* Desempenho de clones de batata doce para amido e etanol em três regiões do estado de Sergipe, Brasil. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 1, p. 66–75, 2017.
- BLOMME, G. *et al.* Sensitivity and tolerance of different annual crops to different levels of banana shade and dry season weather. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 1-17, 2020.
- BONSI, C. K. *et al.* Response of sweetpotatoes to continuous light. **HortScience**, v. 27, n. 5, p. 471, 1992.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Registro Nacional e Cultivares. Brasília, 2023. Disponível em: <[https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)>. Acesso em: 06 fev. 2023.

- BURBANO-ERAZO, E. *et al.* Interrelation of ecophysiological and morpho-agronomic parameters in low altitude evaluation of selected ecotypes of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.). **Horticulturae**, v. 6, n. 99, p. 1-22, 2020.
- CARMONA, P. A. O. *et al.* Divergência genética entre acessos de batata-doce utilizando descritores morfoagronômicos das raízes. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 2, p. 241-250, 2015.
- CARVALHO, I. S. *et al.* Effect of photoperiod on flavonoid pathway activity in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) leaves. **Food Chemistry**, v. 118, n. 2, p. 384-390, 2010.
- CIP (INTERNATIONAL POTATO CENTER). **Descriptors for sweet potato**. Roma, Itália: International Board for Plant Genetic Resources, 1991.
- CIP (INTERNATIONAL POTATO CENTER). **International Potato Center**. International Potato Center, 2019.
- CONCEIÇÃO, M. K.; LOPES, N. F.; FORTES, G. R. de L. Partição de matéria seca entre órgãos de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), cultivares Abóbora e Da Costa. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 10, n. 3, p. 313–316, 2004.
- CUCHIARA, C. C. *et al.* Chlorophyll a fluorescence in sweet potatoes under different copper concentrations. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, n. 1, p. 179–189, 2015.
- CUI, R.; ZHU, F. Effect of ultrasound on structural and physicochemical properties of sweetpotato and wheat flours. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 66, p. 105118, 2020.
- DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P. Drought effects on root and tuber production: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 122-131, 2016.
- DIAS, A. N. *et al.* Acclimation responses of macaw palm seedlings to contrasting light environments. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–13, 2018.
- DONG, A. T. *et al.* RNA-Seq and iTRAQ reveal multiple pathways involved in storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Plant Biology**, v. 19, n. 1, p. 1-10, 2019.
- DRAPAL, M. *et al.* Metabolic diversity in sweet potato (*Ipomoea batatas*, Lam.) leaves and storage roots. **Horticulture Research**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2019.
- DUMBUYA, G. *et al.* Effect of soil temperature on growth and yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) under cool climate. **Journal of Agricultural Meteorology**, v. 77, n. 2, p. 118-127, 2021.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Batata-doce. 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/hortalias/batata-doce/introducao2>>. Acesso em: 08 ago. 2021.
- ERPEN, L. *et al.* Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1230-1238, 2013a.

ERPEN, L. *et al.* Tuberização e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p.396-402, 2013b.

ESSILFIE, M. *et al.* Number of nodes and part of vine cutting effect on the growth and yield of sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) in Transitional Zone of Ghana. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 9, n. 5, p. 1-14, 2016.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2021. FAOSTAT Estatística Banco de Dados da Food and Agriculture Organization das Nações Unidas, Roma, Itália. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, 2013. 421p.

FIRMANSYAH, A. Analysis of cleaner production potential and water footprint for small-scale sweet potato flour industry. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1063, n. 1, 2022.

FIRON, N. *et al.* Transcriptional profiling of sweetpotato (*Ipomoea batatas*) roots indicates down-regulation of lignin biosynthesis and up-regulation of starch biosynthesis at an early stage of storage root formation. **BMC Genomics**, v. 14, n. 460, 2013.

GAJANAYAKE, B. *et al.* Quantifying storage root initiation, growth, and developmental responses of sweetpotato to early season temperature. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 5, p. 1795-1804, 2014.

GAJANAYAKE, B.; REDDY, K. R. Sweetpotato responses to mid-and late-season soil moisture deficits. **Crop Science**, v. 56, n. 4, p. 1865-1877, 2016.

GANDIN, C. L. *et al.* Influência do fotoperíodo e da temperatura no cultivo da cebola. **Agropecuária Catarinense**, v. 14, n.1, mar. 2001

GOMES, B. F.; CARR, M. K. V. Effects of water availability and vine harvesting frequency on the productivity of sweet potato in Southern Mozambique. II Crop Water Use. **Experimental Agriculture**, v. 39, p. 39-54, 2003.

GUARESCHI, R. F.; BRASIL, R. B.; PERIN, A.; RIBEIRO, J. M. M. Produção de silagem de híbridos de milho e sorgo sem nitrogênio de cobertura em safra de verão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 4, p. 541–546, 2010.

HE, J.; QIN, L. Growth and photosynthetic characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves grown under natural sunlight with supplemental LED lighting in a tropical greenhouse. **Journal of Plant Physiology**, v. 252, p. 153239, 2020.

HUAMÁN, Z. **Systematic Botany and Morphology of the Sweetpotato Plant**. Lima, Peru: International Potato Center, 1992.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Produção Agrícola - Lavoura temporária. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 17 ago. 2022.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Food, Fibre and Other Ecosystem Products. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

JIANG, T. *et al.* The botanical profile, phytochemistry, biological activities and protected-delivery systems for purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.): An up-to-date review. **Food Research International**, v. 161, p. 111811, 2022.

KADOWAKI, M.; KUBOTA, F.; SAITOU, K. Effects of exogenous injection of different sugars on leaf photosynthesis, dry matter production and Adenosine 5'-Diphosphate Glucose Pyrophosphorylase (AGPase) activity in sweet potato, *Ipomoea batatas* (Lam.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 41, p. 37-41, 2001.

KARAKAS, M. C.; KURUNC, A.; DINCER, C. Effects of water deficit on growth and performance of drip irrigated sweet potato varieties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 7, p. 2961-2973, 2021.

KARAN, Y. B.; ŞANLI, Ö. G. The assessment of yield and quality traits of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes in middle Black Sea region, Turkey. **PLOS ONE**, v. 16, n. 9, p. 1-11, 2021.

KU, A. T. *et al.* IbMADS1 (*Ipomoea batatas* MADS-box 1 gene) is involved in tuberous root initiation in sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Annals of Botany**, v. 102, n. 1, p. 57-67, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. 3. ed. São Carlos: Rima, 2004, 531p.

LAURIE, S. M. *et al.* Characterization and evaluation of South African sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) LAM) land races. **South African Journal of Botany**, v. 85, p. 10-16, 2013.

LIMA E SILVA, L. F. *et al.* Energy and budget balances for sweet potato-based ethanol production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e26521, 2019.

LIMA, C. L. R. F. **Crescimento e desenvolvimento de batata-doce (*Ipomea batatas*)**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022. 79 f.

LIN, K. H. R. *et al.* Paclobutrazol pre-treatment enhanced flooding tolerance of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, v. 163, n. 7, p. 750-760, 2006.

LIU, H. *et al.* Switch from apoplasmic to symplasmic phloem unloading during storage roots formation and bulking of sweetpotato. **Crop Science**, v. 59, n. 2, p. 675-683, 2019.

LIU, J. *et al.* Optimization of ultrasonic-microwave synergistic extraction of flavonoids from sweet potato leaves by response surface methodology. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 5, p. 1-10, 2019.

- LUO, Y. *et al.* Effect of maize (*Zea mays* L.) plant-type on yield and photosynthetic characters of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) in intercropping system. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 45, n. 1, p. 245-254, 2017.
- MANTOVANI, E. C. *et al.* Yield and water use efficiency for two sweet potato cultivars depending on irrigation depths. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 602–606, 2013.
- MASSAROTO, J.A. Características agronômicas e produção de silagem de clones de batata-doce. 2008, Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008. 73 f.
- MELLO, A. F. S. *et al.* Performance of sweet potato genotypes in Brazilian regions. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 6, p. 1-8, 2022.
- MIRANDA, J.E.C. *et al.* Batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). Embrapa Hortaliças. **Circular Técnica**, 3. Brasília: Embrapa Hortaliças, 1989. 19p.
- MITHRA, V. S. S.; SOMASUNDARAM, K. A model to simulate sweet potato growth. **World Applied Sciences Journal**, v. 4, n. 4, p. 568-577, 2008.
- MORTLEY, D. G. *et al.* Influence of daily light period and irradiance on yield and leaf elemental concentration of hydroponically grown sweetpotato. **HortScience**, v. 44, n. 5, p. 1491-1493, 2009.
- MOULIN, M. M. *et al.* Collection and morphological characterization of sweet potato landraces in north of Rio de Janeiro state. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 286-292, 2012.
- MU, T. H.; SINGH, J. Sweet potato: Chemistry, processing and nutrition - an introduction. In: MU, T. H.; SINGH, J. (org.). **Sweet Potato: Chemistry, Processing and Nutrition**. Elsevier, 2019. p. 1-400.
- MWANRI, A. W.; KOGI-MAKAU, W.; LASWAI, H. S. Nutrients and antinutrients compositions of raw, cooked and sun-dried sweet potato leaves. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 11, n. 5, p. 5143-5156, 2011.
- NATARAJAN, B. *et al.* Plant Science Mobile RNAs and proteins: Prospects in storage organ development of tuber and root crops. **Plant Science**, v. 284, n. p. 73-81, 2019.
- NITSCHKE, P.B. *et al.* Atlas Climático do Estado do Paraná. Londrina, PR: IAPAR, 2019. Disponível em: <<http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>>. Acesso em: 03 out. 2020.
- NKONGHO, G. O. *et al.* Sweet potatoes in Cameroon: Nutritional profile of leaves and their potential new use in local foods. **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 18, p. 1371-1377, 2014.
- NOH, S. A. *et al.* Growth retardation and differential regulation of expansin genes in chilling-stressed sweetpotato. **Plant Biotechnology Reports**, v. 3, n. 1, p. 75-85, 2009.

- NUANI, F. O. *et al.* Demand analysis for selected roots and tubers among urban households of Nakuru County, Kenya. **Cogent Food and Agriculture**, v. 8, n. 1, 2022.
- OLIVEIRA, A. P. *et al.* Physiological performance, bromatological quality, and productivity of sweet potato using calcium oxide particle film. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 56, p. 1-8, 2021.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronomica Ceres, 1981. 425p.
- PARK, S. U. *et al.* Flooding tolerance in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) is mediated by reactive oxygen species and nitric oxide. **Antioxidants**, v. 11, n. 5, p. 1-15, 2022.
- PAULA, F. L. M. de *et al.* Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.). **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1034–1042, 2005.
- PAZOS, J. *et al.* Growing location and root maturity impact on the phenolic compounds, antioxidant activity and nutritional profile of different sweet potato genotypes. **Food Chemistry: Molecular Sciences**, v. 5, p. 100125, 2022.
- QUEIROGA, R. C. F. de *et al.* Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 371-374, 2007.
- RAIJ, B. VAN *et al.* **Boletim Técnico 100** - Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p.
- RAVI, V. *et al.* Molecular physiology of storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). **Journal of Root Crops**, v. 35, n. 1, p. 1-27, 2009.
- RAVI, V.; INDIRA, P. Crop Physiology of Sweetpotato. **Horticultural Reviews**, v. 23, p. 277-338, 1999.
- RAVI, V.; SARAVANAN, R. Crop Physiology of Sweetpotato. **Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology**, n. 6, p. 17-29, 2012.
- ROMERO, C. C.; BAIGORRIA, G. A. **The effect of temperature on the growth and development of dermatophytes**. In: University of Florida, 2008. 1 p.
- SAKAI, P. *et al.* Understanding the implications of alternative bioenergy crops to support smallholder farmers in Brazil. **Sustainability**, v. 12, n. 5, p. 1-22, 2020.
- SANTOS, T. P. R. *et al.* Behavior of Sweet Potato Starch After Spray-Drying Under Different Pretreatment Conditions. **Starch**, v. 71, n. 9-10, p. 1-9, 2019.
- SARAIVA, S. E. L. Estudo de aplicação de modelo para balanço hídrico do solo em sistema agrícola conservacionista nos Gerais do Paraná. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022. 73 f.
- SCHULZE, E. D.; BECK, E.; HOHENSTEIN, M. *Plant Ecology*. 5 ed. Heidelberg Springer, 2005. 702p.

- SEFFF, S. E. *et al.* Genotype × Environment effects on morphological and productive components of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **Colloquium Agrariae**, v. 17, n. 5, p. 7-15, 2021.
- SILVA, G. O.; PONIJALEKI, R.; SUINAGA, F. A. Divergência genética entre acessos de batata-doce utilizando caracteres fenotípicos de raiz. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 595-599, 2012.
- SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. Cultura da batata-doce. In: CEREDA, M. P. (org.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. Fundação Cargill, 2002. v. 2, p. 448-504.
- SILVA, L. D. R. *et al.* Sweet potato yield in response to different potassium sources and splitting of fertilization1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, n.7, p.527-532, 2022.
- SMITH, M. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. **FAO Irrigation and Drainage Paper 46**, Food And Agriculture Organization of the United Nations, 1992.
- SBCS (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO). **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482p.
- SPENCE, J. A.; HUMPHRIES, E. C. Effect of moisture supply, root temperature, and growth regulators on photosynthesis of isolated rooted leaves of sweet potato (*Ipomoea batatas*). **Annals of Botany**, p. 115-121, 1972.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- TEDESCO, D. *et al.* Predicting on multi-target regression for the yield of sweet potato by the market class of its roots upon vegetation indices. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 191, p. 1-8, 2021.
- TSUBONE, M. *et al.* Enhancement of tuberous root production and adenosine 5'-diphosphate pyrophosphorylase (AGPase) activity in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) by exogenous injection of sucrose solution. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 184, n. 3, p. 181-186, 2000.
- USUKI, T. *et al.* Use of [C4mim]Cl for efficient extraction of caffeoylquinic acids from sweet potato leaves. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2017.
- VALADARES, N. R. *et al.* Abordagem bayesiana na avaliação da dissimilaridade em clones de batata-doce. **Scientia Plena**, v. 18, n. 3, p. 1-8, 2022.
- VARGAS, P. F. *et al.* Genetic diversity among sweet potato crops cultivated by traditional farmers. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 779-790, 2018.
- VIEIRA, J. **Caracterização de raízes e ramos de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) visando à alimentação animal**. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná, 2017.



VIEIRA, J. R. *et al.* Caracterização e competição de genótipos de batata-doce. In: **Anais do III Simpósio Brasileiro de Batata-Doce: oportunidade e desafios**, 2021. p. 85-86.

VILLAVICENCIO, L. E. *et al.* Temperature effect on skin adhesion, cell wall enzyme activity, lignin content, anthocyanins, growth parameters, and periderm histochemistry of sweetpotato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 132, n. 5, p. 729-738, 2007.

VILLORDON, A. *et al.* Development of a prototype bayesian network model representing the relationship between fresh market yield and some agroclimatic variables known to influence storage root initiation in sweetpotato. **HortScience**, v. 45, n. 8, p. 1167–1177, 2010.

VILLORDON, A. Q. *et al.* Characterization of adventitious root development in sweetpotato. **HortScience**, v. 44, n. 3, p. 651-655, 2009.

VILLORDON, A.; LABONTE, D.; FIRON, N. Development of a simple thermal time method for describing the onset of morpho-anatomical features related to sweetpotato storage root formation. **Scientia Horticulturae**, v. 121, p. 374-377, 2009.

WANG, Q. *et al.* Endogenous hormone concentration in developing tuberous roots of different sweet potato genotypes. **Agricultural Sciences in China**, v. 5, n. 12, p. 919-927, 2006.

WEES, D.; SEGUIN, P.; BOISCLAIR, J. Sweet potato production in a short-season area utilizing black plastic mulch: Effects of cultivar, in-row plant spacing, and harvest date on yield parameters. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 96, n. 1, p. 139–147, 2016.

WILLIAMS, R. *et al.* Sweet potato can contribute to both nutritional and food security in Timor-Leste. **Field Crops Research**, v. 146, p. 38-43, 2013.

ZHANG, H. *et al.* Root yield, antioxidant capacities, and hormone contents in different drought-tolerant sweet potato cultivars treated with ABA under early drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, n. 8, p. 1–15, 2020.

## APÊNDICE A - RESUMO GRÁFICO

SILVA, J. **Tuberização de batata-doce em função de épocas de transplante.** 2023, 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023.

