

ANDRES FELIPE GAONA ACEVEDO

**USO DE ÁCIDO SALICÍLICO EM PRÉ E PÓS-COLHEITA DE BATATA COMO
REGULADOR VEGETAL E MECANISMO DE DEFESA**

Botucatu

2022

ANDRES FELIPE GAONA ACEVEDO

**USO DE ÁCIDO SALICÍLICO EM PRÉ E PÓS-COLHEITA DE BATATA COMO
REGULADOR VEGETAL E MECANISMO DE DEFESA**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia - Energia na
Agricultura.**

Orientador: Rogerio Lopes Vieites

Botucatu

2022

G211u Gaona-Acevedo, Andres Felipe
Uso de ácido salicílico em pré e pós-colheita de batata como
regulador vegetal e mecanismo de defesa / Andres Felipe
Gaona-Acevedo. -- Botucatu, 2022
140 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Rogerio Lopes Vieites

1. Regulador vegetal. 2. Metabolismo secundario. 3. Deficit hidrico.
4. Pós-colheita. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: USO DE ÁCIDO SALICÍLICO EM PRÉ E PÓS-COLHEITA DE BATATA COMO REGULADOR VEGETAL E MECANISMOS DE DEFESA

AUTOR: ANDRES FELIPE GAONA ACEVEDO

ORIENTADOR: ROGÉRIO LOPES VIEITES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROGÉRIO LOPES VIEITES (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO (Participação Virtual)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Prof.ª Dr.ª JULIANA AUDI GIANNONI (Participação Virtual)
Ciências dos Alimentos / Faculdade de Tecnologia de Marília

Dr.ª ELISANGELA MARQUES JERONIMO TORRES (Participação Virtual)
. / APTA - Polo Regional Centro Oeste - Bauru

Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES (Participação Virtual)
Bioestatística, Biologia Vegetal, Parasitologia e Zoologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP

Botucatu, 30 de junho de 2022

Aos meus amados pais
Otoniel e Maria del Carmen

Dedico

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial ao meu pai Otoniel Gaona, à minha mãe Maria del Carmen Acevedo, por serem o suporte em minha vida. Eles são meu tudo, sou o que sou graças a eles.

À minha namorada Gaby, minha Tapatia do meu coração que me acompanha nessa passagem da vida e é minha luz no decorrer de minha vida.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu e ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura por ter me acolhido e pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

À secretaria da Seção de Pós-graduação pelo suporte acadêmico

Ao Prof. Dr. Rogério Lopes Vieites que me concedeu a oportunidade de trabalhar com sua equipe e crescer profissionalmente.

Márcia Adriana Garcia pela ajuda, amizade e ensinamentos.

Aos colegas me acompanharam nessa jornada, me ajudando, Vander, Alberto, Juliana, Malba, Ana Paula, Jonath. Aos moradores da República Vila Velha.

Ao Ministério de Ciência e Tecnologia da Colômbia – Colciencias Convocatoria 860 pelo apoio financeiro.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 88887.513742/2020-00

RESUMO

O estresse oxidativo é um dos principais fatores causadores de danos para as plantas expostas a fatores ambientais adversos. As plantas desenvolvem diversos mecanismos de defesa para eliminar moléculas indutoras de estresse oxidativo. A batata é uma das culturas mais sensíveis a fatores ambientais, que podem afetar negativamente o desempenho da planta, particularmente a formação e crescimento dos tubérculos. O ácido salicílico (AS) é considerado um hormônio vegetal que desempenha um papel importante no crescimento, desenvolvimento e resistência das plantas a estresse abiótico. Dois experimentos foram conduzidos para avaliar os efeitos do AS aplicado em condições de déficit hídrico na pré-colheita e finalmente na pós-colheita. No primeiro experimento, o AS foi aplicado na forma de pulverização foliar (0 e 1 mM) sob três tensões de água no solo (10, 30 e 45 kPa). No segundo experimento, os tubérculos dos tratamentos do primeiro experimento foram colocados em imersão em AS (8 mM) para posterior avaliação pós-colheita. Para o primeiro experimento foram coletados dados fisiológicos e bioquímicos na folha e tubérculo em dois períodos de avaliação aos 60 e 90 dias após emergência (DAE). Os resultados revelaram que o déficit hídrico de 45 kPa afetou negativamente o metabolismo fisiológico e alterou bioquimicamente a planta da batata. A aplicação foliar de AS apresentou efeitos positivo na mitigação do estresse oxidativo da planta, como declínio de malonaldeído e síntese de compostos bioativos para aumentar a capacidade antioxidante da planta. Os tubérculos que foram submetidos a condições de estresse hídrico apresentaram mudança principalmente no conteúdo de amido no tubérculo na pós-colheita, ainda assim, a imersão em AS do tubérculo proporcionou mudança significativa relativamente baixa nos compostos bioativos do tubérculo. Em conjunto, os resultados indicam que a aplicação de AS exógeno pode desempenhar uma função positiva para controlar os efeitos de estresse oxidativo na planta e tubérculo da batata.

Palavras-chave: batata; estresse oxidativo; ácido salicílico; compostos bioativos.

ABSTRACT

Oxidative stress is one of the main factors causing damage to plants exposed to adverse environmental factors. As plants develop various defense mechanisms to eliminate molecules that induce oxidative stress. Potato is one of most sensitive cultures to environmental factors, which can negatively affect the performance of the plant, particularly the formation and growth of tubers. Salicylic acid (SA) is considered a plant hormone that plays an important role in the growth, development, and resistance of plants to abiotic stress. Two experiments were conducted to assess the effects of SA applied under water deficit conditions in pre-harvest and finally in post-harvest. In the first experiment, SA was applied in the form of foliar spray (0 and 1 mM) on three tensions of water (10, 30 and 45 kPa). In the second experiment, the two treated tubers from the first experiment were placed in immersion in AS (8 mM) for post-harvest assays. First experiment, physiological and biochemical data were collected for the leaf and tuber from two periods of 60 and 90 days after emergency (DAE). Results showed that a water deficit of 45 kPa negative affected the physiological metabolism and biochemical altered the potato plant. Foliar application of SA showed positive effects in mitigating the oxidative stress of the plant, such as the decline of malondialdehyde and the synthesis of bioactive compounds to increase the antioxidant capacity of the plant. Tubers were submitted in water deficit conditions showed change mainly without the content of % starch in the tuber post-harvest, when immersed in tuber SA showed relatively low significant change in bioactive compounds tuber. Our results indicate that the application of exogenous SA can play a positive role in controlling the effects of oxidative stress on the potato plant and tuber.

Keywords: potato; oxidative stress; salicylic acid; bioactive compounds.

LISTA DA ILUSTRAÇÃO

Figura 1- Curva de retenção de água do solo.	39
Figura 2- Tensiômetro instalado próximo a zona radicular das plantas	40
Figura 3- Delineamento experimental (DBC).....	42
Figura 4- Batata semente cultivar Agata	43
Figura 5- Temperatura máxima e mínima do ar	49
Figura 6- Umidade relativa (UR) máxima e mínima	49
Figura 7- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) no número de tubérculos na planta de batata. As amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes em $p \leq 0,05$ de acordo com o teste Tukey .	54
Figura 8- Efeito das tensões de água no solo no número de tubérculos na planta de batata. As amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes em $p \leq 0,05$ de acordo com o teste Tukey.....	55
Figura 9- Efeito das tensões de água no solo no peso dos tubérculos na planta de batata. As amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes em $p \leq 0,05$ de acordo com o teste Tukey.....	56
Figura 10- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) no peso dos tubérculos na planta de batata. As amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes em $p \leq 0,05$ de acordo com o teste Tukey .	56
Figura 11- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no % massa seca dos tubérculos na planta de batatas. Com letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições	57
Figura 12- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo na taxa fotossintética (P_n) da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições.....	67

- Figura 13- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo na taxa transpiração (E) da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 68
- Figura 14- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo na condutância estomática (gs) da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições..... 69
- Figura 15- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo na concentração de CO₂ intercelular (Ci) da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 70
- Figura 16- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no uso eficiente da água (WUE) da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições..... 71
- Figura 17- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de clorofila a nas folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças

significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 72

Figura 18- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de clorofila b nas folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 73

Figura 19- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de carotenoides nas folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 74

Figura 20- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT) das folhas nas plantas de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 75

Figura 21- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT) no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 76

Figura 22- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de flavonoides totais (FT) as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições

de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 77

Figura 23- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de flavonoides totais (CFT) no tubérculo na planta de batatas. As amostras foram avaliadas 60 e 90 dias após a emergência (DAE). Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 78

Figura 24- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo atividade antioxidante FRAP as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 79

Figura 25- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo na atividade antioxidante FRAP no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 80

Figura 26- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo na atividade antioxidante ABTS as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 81

Figura 27- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo na atividade antioxidante ABTS no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água

(10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições	82
Figura 28- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo na atividade antioxidante DPPH as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições	83
Figura 29- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo na atividade antioxidante DPPH no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições	84
Figura 30- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no conteúdo de MDA as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições.....	85
Figura 31- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de MDA no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições.....	86
Figura 32- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no conteúdo de prolina nas folhas das plantas de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições	

de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 87

Figura 33- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água na atividade da SOD das folhas na planta de batatas. As amostras foram avaliadas 30-60 e 90 dias após a emergência (DAE). Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 89

Figura 34- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água na atividade da peroxidase (POD) das folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 90

Figura 35- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no % de amido no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 91

Figura 36- Gráfico de pontuação da análise de componentes principais da folha em 18 combinações de níveis de déficit hídrico e aplicação foliar de AS na cultura da batata durante os períodos de avaliação 95

Figura 37- Gráfico de carga da análise de componentes principais da folha em 18 combinações de níveis de déficit hídrico e aplicação foliar de AS na cultura da batata durante os períodos de avaliação 96

Figura 38: Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no % perda de massa no tubérculo de batata. As amostras foram

avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 117

Figura 39- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no conteúdo de MDA no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 118

Figura 40- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no conteúdo de compostos fenólicos totais no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 119

Figura 41- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no conteúdo de flavonoides totais no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 120

Figura 42- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS na atividade antioxidante DPPH no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 122

- Figura 43- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS na atividade antioxidante FRAP no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 123
- Figura 44- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS na atividade antioxidante ABTS no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 124
- Figura 45- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no % de amido no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 125
- Figura 46- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no % de açúcar redutor no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições 126
- Figura 47- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no % de açúcar redutor total no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam

diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições	127
Figura 48- Gráfico de pontuação da análise de componentes principais do tubérculo em 35 combinações de tubérculo da pré-colheita e imersão em AS na cultura da batata durante os períodos de avaliação.....	131
Figura 49- Gráfico de carga da análise de componentes principais do tubérculo em 8 características de níveis de tubérculo da pré-colheita e imersão em AS na cultura da batata durante os períodos de avaliação.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise química e granulométrica do solo utilizado, antes da instalação do experimento.....	37
Tabela 2- Parâmetros do modelo de van Genuchten para o solo analisado	39
Tabela 3- Tratamentos experimentais na fase de pré-colheita.....	41
Tabela 4- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos atributos biométricos e % massa seca no tubérculo da planta de batata	50
Tabela 5- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos pigmentos fotossintéticos na folha da batata	50
Tabela 6- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos parâmetros fotossintéticos na folha da batata	51
Tabela 7- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nas enzimas antioxidativas e prolina na folha da batata.....	51
Tabela 8- ANOVA das tensões de água no solo (10-30 e 45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos compostos bioquímicos na folha da batata.....	52
Tabela 9- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos compostos bioquímicos do tubérculo na planta de batata.....	53
Tabela 10- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no teor de macronutrientes da folha na planta de batata. Com letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições	59
Tabela 11- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no teor de macronutrientes do tubérculo na planta de batata. Letras	

maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições..... 61

Tabela 12- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no teor de micronutrientes da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições..... 64

Tabela 13- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no teor de micronutrientes do tubérculo na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições..... 65

Tabela 14- Coeficiente de correlação de Pearson entre parâmetros bioquímicos.... 93

Tabela 15- Cargas fatoriais, autovalores e proporção de variação associados a quatro componentes principais (CP) da ACP de 12 parâmetros bioquímicos em 6 tratamentos..... 94

Tabela 16- Tratamentos experimentais na fase de pré e pós-colheita dos tubérculos 109

Tabela 17- ANOVA dos tubérculos na pré-colheita e imersão de AS (com e sem imersão) e suas interações nos atributos fisico-químicos do tubérculo da batata..... 113

Tabela 18- ANOVA dos tubérculos na pré-colheita e imersão de AS (com e sem imersão) e suas interações nos atributos bioquímicos do tubérculo da batata..... 114

Tabela 19: ANOVA dos tubérculos na pré-colheita e imersão de AS (com e sem imersão) e suas interações no conteúdo de açúcares e amido do tubérculo da batata..... 115

Tabela 20- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS nos parâmetros físico-químicos no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições	116
Tabela 21- Coeficiente correlação de Pearson entre parâmetros físico-químicos e bioquímicos	129
Tabela 22- Cargas fatoriais, autovalores e proporção de variação associados a quatro componentes principais (CP) da ACP de 8 parâmetros bioquímicos em 12 tratamentos	130

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	29
	CAPÍTULO 1 - EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE ÁCIDO SALICÍLICO NAS PROPRIEDADES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DA PLANTA DA BATATA <i>Solanum tuberosum</i> L. SOB ESTRESSE DE DÉFICIT HÍDRICO.....	33
1.1	INTRODUÇÃO.....	34
1.2	MATERIAL E METODOS.....	37
1.2.1	Localização do experimento.....	37
1.2.2	Solo.....	37
1.2.3	Manejo da Irrigação.....	38
1.2.4	Cultivar utilizada.....	41
1.2.5	Delineamento experimental e tratamentos.....	41
1.2.6	Instalação e condução do experimento.....	42
1.2.7	Épocas de avaliação.....	43
1.2.8	ANÁLISES FISIOLÓGICAS E NUTRICIONAL.....	43
1.2.8.1	Número e produtividade dos tubérculos.....	43
1.2.8.2	Quantidade de Materia Seca (MS) acumulada na parte aérea, tubérculos e total, teor e extração de nutrientes.....	44
1.2.8.3	Parâmetros de troca gasosa.....	44
1.2.9	ANÁLISES BIOQUÍMICAS.....	45
1.2.9.1	Compostos bioativos e atividade antioxidante.....	45
1.2.9.1.1	Preparo da amostra de folha e tubérculo.....	45
1.2.9.1.2	Quantificação de compostos fenólicos totais.....	45
1.2.9.1.3	Determinação de flavonóides totais.....	45
1.2.9.1.4	Atividade antioxidante pelo método DPPH.....	45
1.2.9.1.5	Ensaio de redução férrica / poder antioxidante (FRAP).....	46
1.2.9.1.6	Eliminação do radical ABTS.....	46
1.2.9.1.7	Pigmentos fotossintéticos.....	47
1.2.9.1.8	Teor de malonaldeído (MDA).....	47
1.2.9.1.9	Extração de enzimas antioxidantes.....	47
1.2.9.1.10	Atividade de superóxido dismutase (SOD).....	47
1.2.9.1.11	Atividade de peroxidase (POD).....	48
1.2.10	Análise Estatística.....	48
1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
1.3.1	Condições ambientais durante o ensaio.....	49
1.3.2	Dados biométricos e % massa seca.....	54
1.3.3	Acúmulo de nutrientes na parte aérea e tubérculo.....	58
1.3.4	Parâmetros fotossintéticos de troca gasosa.....	66
1.3.5	Pigmentos Fotossintéticos.....	72
1.3.6	Parâmetros bioquímicos.....	75
1.3.7	Coeficiente de correlação de Pearson entre dados bioquímicos...	92
1.3.8	Análise de componentes principais (ACP).....	94
1.4	CONCLUSÃO.....	97

	REFERÊNCIAS.....	98
	CAPÍTULO 2 - EFEITO DO TRATAMENTO PRÉ E PÓS-COLHEITA COM ACIDO SALICÍLICO NOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS DA BATATA.....	105
2.1	INTRODUÇÃO.....	106
2.2	MATERIAL E METODOS.....	108
2.2.1	Local e material vegetal.....	108
2.2.2	Tratamentos e delineamento experimental.....	108
2.2.3	ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICAS.....	109
2.2.3.1	Perda de massa fresca (%).....	109
2.2.3.2	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	109
2.2.3.3	Sólidos Solúveis Totais (SST).....	109
2.2.3.4	Acidez titulavel (AT).....	110
2.2.3.5	Relação SST/AT (Ratio).....	110
2.2.3.6	Açúcares redutores e redutores totais.....	110
2.2.4	ANÁLISES BIOQUÍMICA.....	110
2.2.4.1	Compostos bioativos e atividade antioxidante.....	110
2.2.4.1.1	Preparo da amostra de tubérculo.....	110
2.2.4.1.2	Quantificação de compostos fenólicos totais (CFT).....	110
2.2.4.1.3	Determinação de flavonoides totais (FT).....	111
2.2.4.1.4	Atividade antioxidante pelo método DPPH.....	111
2.2.4.1.5	Ensaio de redução férrica / poder antioxidante (FRAP).....	111
2.2.4.1.6	Eliminação do radical ABTS.....	112
2.2.4.2	Teor de malondialdeído (MDA).....	112
2.2.5	Análise Estatística.....	112
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	113
2.3.1	Análises físico-químicas.....	115
2.3.2	Análise Bioquímicas.....	118
2.3.2.2	Conteúdo de fenólicos totais (CFT) e flavonoides totais (FT).....	119
2.3.3	Coeficiente de correlação de Pearson entre dados bioquímicos...	127
2.3.4	Análise de componentes principais (ACP).....	130
2.4	CONCLUSÃO.....	133
	REFERÊNCIAS.....	134
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	137
	REFERÊNCIAS.....	139

INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* L) é uma das fontes de alimento mais importante e comum para os humanos, sendo um alimento vital para grande parte da população mundial. A batata é amplamente conhecida por seus nutrientes valioso, incluindo carboidratos, minerais, ácidos orgânicos, enzimas, vitaminas e potássio, fornecendo os valores diários recomendados de vários nutrientes com base em uma dieta de 2000 calorias por dieta dia (USDA, 2018).

Alimentos ricos em nutrientes são aqueles que fornecem uma quantidade igual ou maior de valor nutricional em comparação com o teor de calorias. As batatas são aproximadamente 80% de água e 20% de sólidos, embora isso possa variar por cultivar. 20 g de sólidos num tubérculo de 100 g, cerca de 18 g são carboidratos e 2 g de proteína (SHARMA; JAISWAL; JAISWAL, 2020). A qualidade nutricional da proteína da batata está entre as mais altas nas plantas. As proteínas primárias de armazenamento em tubérculos são as patatinas, que respondem por 40% do conteúdo de proteína solúvel. O amido de batata varia por cultivar, é cerca de 80% de amilopectina e 20% de amilose. Quanto maior a porcentagem de amilose em uma batata, mais lentamente o amido foi consumido (NAVARRE; SHAKYA; HELLMANN, 2016).

O amido é o componente principal dos tubérculos de batata, atingindo aproximadamente 15-20% de seu peso. O amido é considerado um fator importante para a funcionalidade da batata em aplicações alimentícias. Em comparação com outros amidos de produtos vegetais, o amido de batata tem propriedades exclusivas que são diretamente atribuídos suas estruturas granulares e moleculares incluindo grânulos muito grandes e lisos, alto conteúdo de fosfato ligado covalentemente, cadeias longas de amilopectina e amilase de alto peso molecular (BERTOFT; BLENNOW, 2016).

Apesar de sua baixa concentração de proteínas de 1,7%, as batatas são a segunda maior fonte proteica que fornece por cultura por hectare cultivado após o trigo. As batatas contêm fibras, muitas proteínas de alta qualidade e várias vitaminas e minerais. Essas proteínas de alta qualidade são compostas por uma alta proporção de lisina, treonina, triptofano e metionina; o último é um aminoácido essencial, muitas

vezes faltante em cereais e vegetais. As proteínas de batata são frequentemente classificadas em três grupos: patatina, inibidores de protease e proteínas de alto peso molecular. Estão associados a vários benefícios para a saúde como menor resposta alérgica, efeitos antimicrobianos, potencial antioxidante, regulação da pressão arterial e soro sanguíneo e comportamento anticarcinogenico (WAGLAY; KARBOUNE, 2016).

Os lipídios totais representam aproximadamente 0,1-0,5% do peso fresco de um tubérculo de batata. Lipídios em batata consistem principalmente de fosfolipídios (47%), glicolipídios (22%) e lipídios neutros (21%). Os principais lipídios e uma porção do triacilglicerol são associados com as membranas dos tubérculos. Embora corpos lipídicos possam ocasionalmente ser encontradas dentro do citoplasma, é improvável que os tubérculos contenham quantidades apreciáveis de reservas lipídicas. Portanto, a composição de ácidos graxos dos tubérculos de batata reflete principalmente a composição das membranas celulares. A composição dos ácidos graxos dos lipídios totais isolados de tubérculos de batata é nutricionalmente vantajosa porque a parte essencial de todos os ácidos graxos é formada por ácidos graxos insaturados com uma a três ligações duplas, principalmente ácido linolênico (RAMADAN, 2016).

Tubérculos de batata contêm metabolitos secundários – compostos fenólicos apresentando substratos para escurecimento enzimático de batatas que ocorre durante o descascamento, corte ou ralação de batata crua, que é causada pela polifenoloxidase. Os compostos mais comuns em tubérculos de batata é o aminoácido tirosina (770-3900 mg/kg), seguido por ácido cafeico (280 mg/kg), escopolina (98 mg/kg), ácido clorogenico (16 – 71 mg/kg), ácido ferulico (28 mg/kg) e ácido criptoclorogenico (11 mg/ kg) (JAROMÍR; KAREL; MATYÁŠ, 2016).

As cultivares de batata pigmentadas são uma rica fonte de antocianinas, em particular os derivados acilados. Esses fitoquímicos tem alta atividade de eliminação de radicais livres, o que ajuda a reduzir o risco de doenças crônicas e degeneração neuronal relacionada à idade. Batatas de polpa roxa e vermelha fornecem uma fonte natural de antocianinas que têm sido associada à promoção da saúde (GUTIÉRREZ-QUEQUEZANA et al., 2018).

Os alcaloides são sintetizados como metabolitos secundários biologicamente ativos, que oferecem proteção contra insetos e fungos. A parte vegetativa da planta é particularmente alta em alcaloides, enquanto o tubérculo comestível é relativamente

baixo e geralmente não é uma preocupação. As batatas contêm principalmente os glicoalcaloides α -solanina e α -chaconina. Algumas batatas de tipo selvagem também contêm glicoalcaloides atípicos. Os glicoalcaloides são importantes devido ao seu potencial de toxicidade (FRIEDMAN; LEVIN, 2016).

A natureza muda constantemente, e as plantas requerem manter sua capacidade de sobreviver dentro do nicho ecológico por meio da variação genética natural e de mecanismos adaptativos. Culturas cultivadas em campos agrícolas são constantemente expostas a uma variedade de estresse bióticos e abióticos (MOHANTA et al., 2017).

Estresses abióticos e bióticos afetam o crescimento, desenvolvimento e a produção, ameaçando assim a segurança alimentar global. As perdas de rendimento agrícola devido ao estresse abiótico e biótico estão bem documentadas e muitos estudos mostraram que é fundamental aumentar os esforços na adaptação de medidas para ajudar as plantas a lidar com tais condições adversas (WANG; FREI, 2011).

O estresse hídrico é um desafio agrícola mundial que limita o crescimento e o desenvolvimento da cultura, reduzindo o crescimento vegetativo, floração e frutificação por meio da diminuição da troca gasosa, alterações metabólicas, e regulação molecular (OSAKABE et al., 2014).

A taxa de crescimento e desenvolvimento da batata depende do meio ambiente. Os tubérculos de batata são muito sensíveis ao estresse hídrico. Se a escassez de água ocorre em qualquer fase de crescimento, isso causará redução no rendimento e na qualidade da batata. Igualmente a deficiência de nitrogênio resulta em pobre desenvolvimento da batata, as folhas ficam verde-claras, então o rendimento e teor de amido nos tubérculos caem. (NURMANOV; CHERNENOK; KUZDANOVA, 2019).

As perdas da batata são devidas a vários processos no tubérculos incluindo transpiração, respiração, brotação, alterações na composição química, danos por temperatura extremas e doenças (HELTOFT; WOLD; MOLTEBERG, 2016).

A qualidade da batata armazenada é determinada principalmente pela saúde e qualidade da batata antes do armazenamento. Uma boa gestão de armazenamento

não pode melhorar a qualidade das batatas fora do armazenamento se a saúde dos tubérculos for comprometida durante as condições de pré-colheita. O comportamento de armazenamento das batatas é ditado principalmente pelas condições de cultivo como fatores bióticos e abióticos, além do manejo e práticas de produção (PINHERO; YADA, 2016).

O ácido salicílico e outros salicilatos afetam várias atividades fisiológicas e bioquímicas das plantas e podem desempenhar um papel fundamental na regulação do seu crescimento e produtividade (KUMAR, 2014).

Ácido salicílico e seus análogos próximos aumentaram a área foliar e a produção de massa seca no milho e na soja. A germinação melhorada e o crescimento de plântulas foram registrados em trigo, quando os grãos foram submetidos ao tratamento pre-semeadura de embebição do ácido salicílico (HAYAT et al., 2010).

O ácido salicílico apresenta um alto potencial em retardar o amadurecimento, preservando a qualidade e controlando as perdas pós-colheita de frutas e vegetais (DOKHANIEH et al., 2013). O ácido salicílico está envolvido no movimento dos estômatos, germinação de sementes, absorção de íons, expressão sexual e estimulação da resistência a doenças. O tratamento com ácido salicílico reduz o dano por frio no milho, tomate e banana (TAREEN; ABBASI; HAFIZ, 2012).

Portanto, é necessário encontrar uma forma eficiente de amenizar os danos da batata causadas pelo déficit hídrico no solo. Estudos anteriores mostraram que a aplicação exógena de ácido salicílico pode melhorar a resistência da planta a estresse abiótico (como salinidade e seca) (HAYAT et al., 2010), mas o papel do ácido salicílico exógeno em plantas de batata submetidas a déficit hídrico e posteriormente na vida de prateleira na pós-colheita não foi relatado até o momento.

A fim de compreender melhor o papel do ácido salicílico na resistência ao déficit hídrico da batata, a influência do ácido salicílico nas mudanças induzidas pelo estresse abiótico nas características fisiológicas e bioquímicas em plantas de batata foram avaliados no presente estudo.

CAPÍTULO 1

EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE ÁCIDO SALICÍLICO NAS PROPRIEDADES FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DA PLANTA DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) SOB ESTRESSE DE DÉFICIT HÍDRICO.

RESUMO

O déficit hídrico é um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produtividade das lavouras no mundo. O ácido salicílico (AS) é considerado um hormônio vegetal que desempenha um papel importante no crescimento, desenvolvimento e resistência das plantas a estresse abiótico. Para descobrir os efeitos de alívio do AS em plantas de batata ao estresse por déficit hídrico, os índices fisiológicos e bioquímicos, incluindo o sistema de defesa antioxidante foram avaliados em plantas de batata sobre déficit hídrico com aplicação foliar de 1mM de AS. Os resultados revelam que o déficit hídrico de 45 kPa afetou negativamente o metabolismo fisiológico e alterou bioquimicamente a planta da batata. A aplicação foliar de AS apresentou efeitos positivos na mitigação do dano oxidativo através da eliminação de espécies reativas de oxigênio (ERO) que impactam diretamente nas plantas, protegendo a membrana celular de danos como menor acúmulo de malonaldeído e síntese de compostos bioativos para aumentar a capacidade antioxidante da planta. Em conjunto, os resultados indicaram que a aplicação foliar de AS pode desempenhar um papel regulador positivo no alívio do déficit hídrico em plantas de batata.

Palavras-chave: ácido salicílico; batata; estresse abiótico; compostos bioativos.

ABSTRACT

Water deficit is one of the main factors that limit the growth and yield of crops in the world. Salicylic acid (SA) is considered a plant hormone that plays an important role in plant growth, development, and resistance to abiotic stress. To discover the relieving effects of SA in potato plants under water stress, physiological and biochemical index, including the antioxidant defense system, were evaluated in potato plants under water

stress with foliar application of 1mM of SA. The results show that the water deficit of 45 kPa negatively affected the physiological metabolism and biochemical altered the potato plant. Foliar application of SA showed positive effects in mitigating oxidative damage through the elimination of reactive oxygen species (ROS) that directly impact plants, protecting the cell membrane from damage such as decline malondialdehyde accumulation and synthesis of bioactive compounds to increase the capacity plant antioxidant. Taken together, the results indicated that foliar application of SA can play a positive regulatory role in relieving water deficit in potato plants.

Keywords: salicylic acid; potato; abiotic stress; bioactive compounds.

1.1 INTRODUÇÃO

O estresse abiótico é causado por qualquer alteração nas condições ambientais onde a planta está crescendo e pode retardar seu desenvolvimento. Os principais estresses abióticos incluem altas e baixas temperaturas, seca, inundação, luz, radiação, salinidade, metais pesados ou alterações no nível de nutrientes (VATS, 2018). O déficit hídrico é um fator abiótico que afeta negativamente o crescimento e a produção das plantas, alterando características morfológicas, bioquímicas e moleculares (BALESTRINI et al., 2018). Um estado de estresse hídrico constante provoca uma interrupção do desenvolvimento reprodutivo, levando à senescência prematuras das folhas, murcha, dessecação e morte (REDDY; CHAITANYA; VIVEKANANDAN, 2004a).

Os danos causados pelo estresse hídrico devem-se principalmente a dois aspectos: o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO) e a alterações das relações hídricas das plantas (KUNDU et al., 2020). ERO tem efeitos prejudiciais, como danos ao DNA, oxidação de aminoácidos e proteínas e peroxidação lipídica. Neste último processo, os lipídios são quebrados, o que afeta sua função na membrana, causando perda de fluidez e inativação das enzimas da membrana (GILL; TUTEJA, 2010).

Portanto, o grau de tolerância ao estresse hídrico depende da capacidade das plantas de neutralizar esse processo de estresse. As plantas desenvolvem

mecanismos de defesa contra a seca, alterando processos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos e metabólicos que as ajudam a sobreviver em um ambiente com baixa disponibilidade hídrica (DEMIDCHIK, 2015).

Manutenção do estado da água e a redução da perda de água nos tecidos são dos processos mais importantes de tolerância a déficit hídrico nas plantas. A deficiência de água causa o fechamento parcial ou total dos estômatos que reduzem a perda de água por transpiração (NOWICKA et al., 2018). Nesse processo também ocorre a redução na quantidade de CO₂ disponível para a fotossíntese, resultando em um desequilíbrio entre a geração e a utilização de elétrons. Essas alterações fotoquímicas juntamente com o acúmulo de ERO prejudicam o desempenho da fotossíntese e resultam na dissipação do excesso de energia no fotossistema II (PSII) como fluorescência (FAROOQI et al., 2020).

O acúmulo de compostos orgânicos de baixo peso molecular, como ajustes osmóticos, são essenciais para a manutenção do potencial osmótico em condições de seca. Parece que a biossíntese e o acúmulo de ajustes osmóticos como prolina, carboidratos solúveis, sacarose e compostos fenólicos, no vacúolo e no citoplasma, estão em correlação positivo com a estabilidade da membrana celular (SINGH et al., 2019).

A batata é uma cultura típica de clima temperado, sensível à deficiência hídrica (LIZANA et al., 2021). No entanto, grande parte da área de plantio de batata no Brasil e no mundo está apresentando carência de recursos hídricos e a deficiência de água influencia muito o crescimento e a produção da batata.

A magnitude dos efeitos do déficit hídrico na produção de batata depende do momento fenológico, duração e severidade do estresse. A emergência e a tuberização são dois períodos críticos onde o estresse hídrico mais afeta a produção final do tubérculo. A seca diminui o crescimento da planta, encurta o ciclo de crescimento e reduz o número e o tamanho dos tubérculos. A limitação de água reduz o crescimento foliar, índice de área foliar, cobertura do solo, taxa de fotossíntese por unidade de área foliar ($\mu\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e índice de colheita. O declínio na taxa fotossintética é rápido e substancial, mesmo em potenciais de água relativamente altos (-0,3 a -0,5 MPa) (MONNEVEUX; RAMÍREZ; PINO, 2013). Ao reduzir a transpiração, a seca leva a um

aumento na temperatura da planta que, por sua vez, é prejudicial à formação de tubérculos (BUSTAN et al., 2004).

Os compostos fenólicos são uma classe importante de metabólitos secundários de plantas com uma ampla variedade de ações medicinais e farmacológicas. A biossíntese dos compostos fenólicos é desencadeada durante diferentes estresses bióticos e abióticos como mecanismo de defesa, principalmente em referência à sua capacidade antioxidante, que neutraliza as espécies reativas de oxigênio (ERO) geradas por diversos fatores de estresse (KHALIL et al., 2018a).

Além da sinalização imunológica da planta, o ácido salicílico (AS) também serve como uma importante molécula de sinalização em várias respostas fisiológicas, como seca, termogênese, fechamento estomático, germinação de sementes, floração, estresse salino, ozônio e resfriamento (KUMAR, 2014).

Ácido salicílico serve como um importante regulador da planta na modulação de características fisiológicas e bioquímicas sob estresse abiótico. Ácido salicílico atenua o estresse oxidativo aumentando as respostas de prolina, enzimas antioxidativas, proteínas de choque térmico, metabólitos secundários e açúcar. Ácido salicílico fornece tolerância às plantas contra estresses como sal, metal pesado, seca, frio, calor e UV (ARIF et al., 2020).

Estudos anteriores mostraram que a aplicação exógena de AS pode melhorar a resistência das plantas a estresse abióticos (como estresse salino e por seca) (CHAKMA et al., 2021; KHALIL et al., 2018b; LIU et al., 2014), mas o papel do AS exógeno em plantas de batata submetidas a estresse por déficit hídrico não foi relatado até agora. A fim de compreender melhor o papel do AS na resistência ao déficit hídrico da batata, a influência do AS nas mudanças induzidas pelo déficit hídrico nos compostos bioativos, clorofila, malonaldeído e metabolismo antioxidante em plantas de batata foram avaliados em no presente estudo.

O objetivo desta pesquisa foi determinar se a aplicação foliar de ácido salicílico pode aliviar os efeitos de estresse oxidativo induzidos pelo déficit hídrico nos componentes de trocas gasosas, medindo enzimas antioxidantes, compostos bioativos, variáveis ligadas ao maquinário fotossintético, resposta anatômicas em batata sobre déficit hídrico.

1.2 MATERIAL E METODOS

1.2.1 Localização do experimento.

O experimento foi conduzido em estufa de plástico tipo túnel, em vasos com capacidade para 50 litros de solo. A precipitação pluvial, irrigação e as temperaturas máximas e mínimas foram registradas durante a condução dos experimentos.

1.2.2 Solo

O solo utilizado foi coletado na Fazenda Experimental de São Manuel (UNESP-FCA). No local foram coletadas amostras de solo com profundidade de 0 - 0,20 m para posterior análise química e granulométrica, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da UNESP-FCA. O resultado da análise está resumido na tabela 1. Com base nos resultados da análise do solo (Tabela 1), foi calculado a necessidade de calcário dolomítico para elevar a saturação de base (V) a 60% bem como a adubação de plantio e de cobertura, de acordo com a recomendação de (TRANI; RAIJ, 1997), para a cultura da batata.

Tabela 1- Análise química e granulométrica do solo utilizado, antes da instalação do experimento

pH	P _{resina} mg dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	Ca	Mg	H+Al	K	SB	CTC	Al ³⁺
					-----mmol _c dm ⁻³ -----				
4,0	3	6	3	1	32	1,02	5	38	14
Granulometria									
S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	V%	Argila	Silte	Areia
							-----%-----		
15	0,24	0,8	5	7,2	0,1	14	163	26	813

De acordo com os resultados da análise, para elevar a saturação de bases (V%) a 60% foi aplicado 45,75 g/vaso de calcário dolomítico (PRNT – 90). A calagem foi realizada 45 dias antes do plantio, mantendo-se os vasos umedecidos e cobertos com plástico visando favorecer a reação do corretivo. Calculou-se a quantidade de nutrientes necessários para o ciclo da batata. Assim foi aplicado 4,44 g/vaso de nitrogênio, 18,20 g/vaso de fosforo (P₂O₅), 6,46 g/vaso (K₂O). Para o micronutriente, 0,22 g/vaso de boro, utilizando as seguintes fontes respectivamente: ureia (45% de N), superfosfato simples (41% de P), cloreto de potássio (58% de K₂O) e borax (11%

B). Foi realizada duas adubações, as quais foram aplicadas o dia do plantio e antes de começar o déficit hídrico (30 dias após da emergência).

1.2.3 Manejo da Irrigação

A irrigação foi manejada via tensiometria. Os tensiômetros foram instalados a 15 cm da planta e o centro da capsula porosa estava a 20 cm de profundidade, com quatro (4) tensímetros por tratamento, totalizando 24 pontos de monitoramento da tensão de água no solo, considerando-se as três lâminas de água estudadas. As leituras foram realizadas diariamente com auxílio de tensímetro digital (Figura 2).

Determinou-se as tensões de água correspondentes as lâminas utilizadas no experimento por meio da curva de retenção de água do solo. Esta curva foi determinada no Departamento de Solos e Recursos Naturais da UNESP-FCA. Assim, foram coletadas amostra indeformadas de solo na profundidade de 0 – 20 cm as quais foram submetidas ao método da câmara de pressão recomendada por RICHARDS (1949) e TOPP; ZEBCHUK (1979). Determinou-se o conteúdo de água no solo para os pontos 10, 30, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa. Os pontos foram modelados no software SWRC v 3.0. Nesta modelagem gerou-se os parâmetros α , n , m , θ_r e θ_s (Tabela 2). A curva de retenção de água foi ajustada pelo método proposto por VAN GENUCHTEN (1980), conforme a equação:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (|\psi_m| * \alpha)^n]^m}$$

Onde:

θ - teor de água atual à base de volume ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_r - teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_s - teor de água de saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

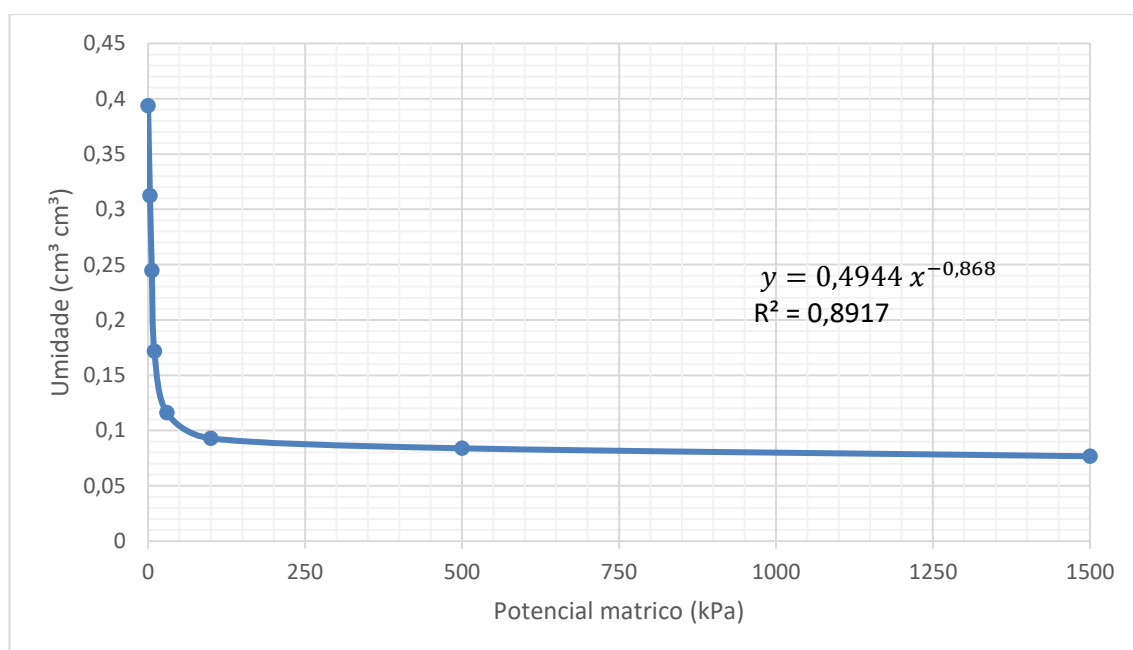
ψ_m - potencial de água no solo (kPa);

α - parâmetro de ajuste (cm^{-1});

m e n - parâmetros empíricos do modelo matemático.

Tabela 2- Parâmetros do modelo de van Genuchten para o solo analisado

Camada (m)	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	α (cm ⁻¹)	M	N
0,20	0,079907	0,39273	0,28805	0,5046	2,0186

Figura 1- Curva de retenção de água do solo.

A curva de retenção de água representa a relação entre a quantidade de água (volume ou massa) e o potencial matricial da água no solo. As leituras com o tensímetro foram realizadas duas vezes ao dia, as oito horas da manhã e às cinco horas da tarde, em seguida as irrigações eram realizadas segundo a necessidade (Figura 1).

Para o cálculo da lâmina líquida foi utilizada a equação:

$$LL = \frac{\theta_c - \theta_a}{10} * Z$$

Onde:

LL – Lâmina líquida de irrigação (mm);

θ_a - teor de água volumétrico atual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_c - teor de água volumétrico no ponto crítico ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

Z - Profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

A irrigação foi realizada e calculada manualmente, de acordo com as recomendações de OLIVEIRA; VALADÃO (1997) e com base na curva de capacidade de retenção de água no solo para elevar o potencial matricial do solo à capacidade de campo de todos os vasos quando as tensões estabelecidas (tratamentos) fossem atingidas (Figura 2).

Figura 2- Tensiômetro instalado próximo a zona radicular das plantas



Fonte: Autor (2021)

1.2.4 Cultivar utilizada

A cultivar da batata utilizada foi Agata (Multiplanta Tecnologia Vegetal), tipo mini tubérculo de batata semente, produzidas em laboratório pelo processo de cultura de meristema, micropropagação e aclimatização em ambiente protegido, categoria básica G0; calibres dos tubérculos ≥ 2 cm de diâmetro. Com um ciclo de 90 – 100 dias dependendo principalmente da época de plantio e clima (Figura 4)

1.2.5 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizado (DBC) em esquema fatorial 3 x 2, com 5 repetições. Os tratamentos consistiram em controle (sem estresse hídrico – 10 kPa), estresse hídrico médio (30 kPa) e estresse hídrico severo (45 kPa) e dois níveis de aplicação foliar de ácido salicílico (sem aplicação e 1 mM). Cada vaso com uma única planta representou uma unidade experimental (ou seja, uma replicação de um único tratamento). Aos 60 dias após a emergência (DAE), cinco repetições foram utilizadas para avaliações destrutivas. As cinco repetições restantes foram cultivadas até o final do experimento (90 DAE).

A aplicação foliar de ácido salicílico por pulverização iniciou-se aos 30 DAE e finalizou aos 90 DAE com intervalo de aplicação de 48 horas, Totalizando 25 aplicações. Nas mesmas datas das aplicações foliares de ácido salicílico, água deionizada foi pulverizada nas plantas dos demais tratamentos.

Tabela 3- Tratamentos experimentais na fase de pré-colheita

Tratamento	Descrição
10 kPa – com AS	Tensão de água no solo de 10 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM)
10 kPa – sem AS	Tensão de água no solo de 10 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico
30 kPa – com AS	Tensão de água no solo de 30 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM)
30 kPa – sem AS	Tensão de água no solo de 30 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico
45 kPa – com AS	Tensão de água no solo de 45 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM)
45 kPa – sem AS	Tensão de água no solo de 45 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico

Nos tratamentos com déficit hídrico, a tensão de água no solo de 30 kPa e 45 kPa foi estabelecido aos 30 DAE e mantido até os 90 DAE (ou seja, durante este período de 60 dias desde o início da tuberização até o volume do tubérculo, os vasos foram regados somente quando o potencial matricial do solo atingiu os potenciais estabelecidos.

Figura 3- Delineamento experimental (DBC)



Fonte: Autor (2021)

1.2.6 Instalação e condução do experimento

A batata cultivar Agata, a mais cultivada no Brasil, foi plantada na profundidade de 12 cm, utilizando-se um tubérculo de semente por vaso com diâmetro entre 30 e 50 mm cada contendo brotações vigorosas (Figura 3).

Foram coletadas amostras de solo na camada de 0,0-0,20 m de profundidade, e analisadas para a determinação do teor de nutrientes (VAN RAIJ et al., 2001). As características granulométricas (EMBRAPA, 2013).

Figura 4- Batata semente cultivar Agata



Fonte: Autor (2021)

1.2.7 Épocas de avaliação

Quando as plantas entraram no estágio de tuberização, foi realizada a programação das épocas de coletas para análises. A primeira época de coleta foi aos 30 dias após a emergência (DAE) quando as plantas estavam no estágio inicial de tuberização, antes do início dos tratamentos. A segunda coleta foi aos 60 dias após a emergência (DAE) quando as plantas estavam no estágio de tuberização. A terceira foi realizada aos 90 dias após a emergência (DAE) quando as plantas estavam no estágio de maturação. As análises de trocas gasosas programadas para o dia anterior de cada época de coleta.

1.2.8 Análises fisiológicas e nutricional

1.2.8.1 Número e produtividade dos tubérculos

Nas datas de colheita foram coletados os tubérculos de cada unidade experimental (vaso). Os tubérculos foram escovados, contados e pesados.

1.2.8.2 Quantidade de Materia Seca (MS) acumulada na parte aérea, tubérculos e total, teor e extração de nutrientes

Para determinar o acúmulo de MS e a extração de nutrientes pela cultura, foram coletadas as plantas ao acaso na área útil de cada unidade experimental aso 30 – 60 e 90 DAE para quantificar o acúmulo de MS e nutrientes. Depois de colhidas, as plantas foram lavadas, separadas em parte aérea (folhas) e tubérculos e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 96 h. Após a secagem, as amostras foram pesadas para obtenção da matéria seca e moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 1 mm. Esta porção triturada foi utilizada para a determinação do teor de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As quantidades totais de nutrientes extraídas foram obtidas pela multiplicação do teor de nutrientes pela quantidade de MS acumulada em cada parte da planta e realizada a somatória.

1.2.8.3 Parâmetros de troca gasosa

Os parâmetros de troca gasosa foram determinados nas terceiras folhas totalmente expandidas entre 10:00 e 11:00 da manhã usando um sistema fotossintético portátil analisador de gás infravermelho (LI-COR 6400, LI-COR, Lincoln, NE, EUA). Para medir a taxa fotossintética líquida (P_n), condutância estomática (g_s), concentração interna de CO_2 (C_i), taxa de transpiração (Tr), e eficiência do uso de água (WUE); a temperatura do ar, umidade relativa, concentração de CO_2 e PPFD (densidade do fluxo de fótons fotossintéticos) foram mantidos a 25 ° C, 85%, 380 $\mu mol\ mol^{-1}$ e 800 $\mu mol\ (fóton)\ m^{-2}\ s^{-1}$, respectivamente mantidos como descrito por (ZHANG et al., 2009). Foram tomadas pelo menos seis plantas de cada tratamento para a medição da clorofila e dos componentes de troca gasosa e, em seguida, a média dos dados.

1.2.9 Análises bioquímicas

1.2.9.1 Compostos bioativos e atividade antioxidante

1.2.9.1.1 Preparo da amostra de folha e tubérculo

As amostras foram pesadas, lavadas e cortadas e congeladas usando nitrogênio líquido. As amostras foram moídas e embaladas em tubos eppendorf e armazenadas num freezer a -20°C até o uso.

1.2.9.1.2 Quantificação de compostos fenólicos totais

O conteúdo de compostos fenólicos totais de acordo com LACHMAN et al. (2008) usando o reagente de Folin-Ciocalteu. A extração de compostos fenólicos foi realizada a partir da amostra congelada (2 g) com solução de metanol (80%) por 24 h. Inicialmente as amostras foram ultrasonificadas durante 15 min e agitadas durante 1h à temperatura ambiente. A amostra foi filtrada e completada para 100 mL. Em seguida, 5 mL de reagente de Folin-Ciocalteu foi adicionado a 5 mL de amostra, após agitação seguida de adição de 7,5 mL de solução de carbonato de sódio a 20%.

1.2.9.1.3 Determinação de flavonóides totais

O conteúdo total de flavonóides foi determinado por um procedimento publicado (DEWANTO et al., 2002). A amostra teste (1 mL) foi colocada em um frasco volumétrico de 10 mL. Etanol (60%, 8 mL) foi adicionado seguido por 5% NaNO₂ (0,2 mL). Após 6 min, AlCl₃ (10%, 0,2 mL) foi adicionado. Após mais 6 min, NaOH (4%, 0,6 mL) foi adicionado e, em seguida, água até um volume de 10 mL. A solução foi misturada e a absorbância medida a 415 nm. As medições foram realizadas em triplicata e os cálculos foram baseados em uma curva padrão obtida com rutina. O conteúdo total de flavonóides foi expresso em microgramas de equivalentes de rutina por miligrama de amostra.

Capacidade Antioxidante: Teste DPPH, FRAP e ABTS

1.2.9.1.4 Atividade antioxidante pelo método DPPH

A atividade antirradical foi medida usando a técnica descrita por (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995), um ensaio modificado do radical 2,2-difenil-

1-picrilhidrazil (DPPH) com 6 ácido -hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) como padrão. Para a atividade antioxidante do DPPH, 0,15 mL do extrato metanólico foi reagido com 2,85 mL de solução 0,1 mmol·L⁻¹ de DPPH preparada em 80% (v/v) metanol por 30 min e a coloração amarela desenvolvida foi registrada em 517 nm. A atividade antioxidante foi calculada usando uma curva padrão de Trolox variando de 50 a 1000 µM de Trolox e expressa em mg de equivalentes de Trolox por g de amostra de folha e tubérculo de batata fresca (mg TE·g⁻¹ PF).

1.2.9.1.5 Ensaio de redução férrica / poder antioxidante (FRAP)

A redução por antioxidantes na amostra de férrico-tripiridiltriázina (Fe³⁺ -TPTZ) para a forma ferrosa (Fe²⁺) foi determinada por um método publicado (BENZIE; STRAIN, 1996). O reagente FRAP foi preparado de fresco misturando tampão de acetato (100 mL, 300 mM, pH 3,6), solução de TPTZ (10 mL de TPTZ 10 mM em 40 mM / HCl), FeCl₃ 6H₂O (10 mL, 20 nM) em uma proporção de 10:1:1 e adição de água destilada (12 mL), a 37° C. Para a realização do ensaio, reagente FRAP (1,8 mL), água deionizada (180 µL) e amostra, padrão ou branco (60 µL) foram então adicionados aos mesmos tubos de ensaio e incubados a 37°C por 4 min; a absorbância foi medida a 593 nm, usando solução de trabalho FRAP como branco. A leitura da absorbância relativa deve estar na faixa de 0 ± 2,0; caso contrário, a amostra deve ser diluída. No ensaio FRAP, o potencial antioxidante da amostra foi determinado a partir de uma curva padrão traçada usando a equação de regressão linear FeSO₄ • 7H₂O para calcular os valores FRAP da amostra.

1.2.9.1.6 Eliminação do radical ABTS

A análise espectrofotométrica da atividade de eliminação de radicais ABTS^{•+} foi determinada usando um método publicado (RE et al., 1999). O radical cátion ABTS^{•+} foi produzido pela reação entre ABTS (7 mM) em H₂O e persulfato de potássio (2,45 mM), armazenado no escuro à temperatura ambiente por 24 h. Antes do uso, a solução ABTS^{•+} foi diluída para uma absorbância de 0,70 ± 0,02 a 732 nm com tampão fosfato (0,1 M, pH 7,4). Em seguida, a solução ABTS^{•+} (990 µL) foi adicionada à amostra (10 µL). Após 1 min, a percentagem de inibição a 732 nm foi calculada para cada concentração em relação a uma absorbância em branco.

1.2.9.1.7 Pigmentos fotossintéticos

Aproximadamente 0,025 g de folha congelada em pó o material foi pesado em copos eppendorf de 2 mL e extração de pigmento foi realizada adicionando 2 mL de 80% de acetona fria de acordo com LICHTENTHALER; BUSCHMANN. (2001). Clorofila a, b e carotenoides foram medidos espectrofotometria em comprimento de onda de 646 nm.

1.2.9.1.8 Teor de malonaldeído (MDA)

Para a determinação dos teores de MDA, 1 g de folha foi misturado a 5 mL de solução de ácido tricloroacético 0,1% e moído em baixa temperatura. O sobrenadante foi adicionado a 5 mL de solução de ácido tiobarbitúrico a 0,5% e fervido por 15 min. A mistura foi colocada em banho de gelo para arrefecimento à temperatura ambiente e em seguida foi centrifugada. A absorbância do sobrenadante foi tomada em 600 nm, 532 nm e 450 nm para calcular o conteúdo de MDA (WU et al., 2014).

1.2.9.1.9 Extração de enzimas antioxidantes

Para atividades de enzimas antioxidantes, 1 g de tubérculo de folha e tubérculo em pó foi homogeneizado em 1,5 mL de tampão de extração contendo 50 mmol·L⁻¹ tampão de fosfato de sódio (pH 7,6), 10 mmol·L⁻¹ metabissulfito de sódio, 1 mmol·L⁻¹ ácido ascórbico, 1 mmol·L⁻¹ ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA), 20% (p/v) sorbitol e 2% (p/v) polivinil polipirrolidona (PVPP), e centrifugado a 12 000 × g por 20 min a 4°C (BAJJI et al., 2007). O sobrenadante coletado e o teor de proteína foi determinado de acordo com (LOWRY et al., 1951). As atividades das enzimas foram medidas imediatamente em extratos frescos.

1.2.9.1.10 Atividade de superóxido dismutase (SOD)

A atividade da SOD foi medida com base na inibição da fotoredução de nitroblue tetrazolium na presença de riboflavina (DHINDSA; PLUMB-DHINDSA; THORPE, 1981). Uma unidade de atividade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para causar 50% de inibição da redução de nitroblue tetrazolium

em 1 min na presença de riboflavina e luz, monitorada a 560 nm e expressada como atividade específica em unidades por mg proteína (U mg^{-1} proteína).

1.2.9.1.11 Atividade de peroxidase (POD)

A atividade da peroxidase foi com base no processo descrito por ZAHARIEVA; YAMASHITA; MATSUMOTO. (1999). O tampão de ensaio continha 3 mL de tampão K-fosfato 50 mM (pH 7,0), contendo 3,35 μL de guiacol, 50 μL de extrato enzimático e 4,51 μL de H_2O_2 (30%). O aumento da absorbância em 470 nm foi monitorado a cada 30 s por 2 min, usando um espectrofotômetro.

1.2.9.1.14 Determinação do acúmulo de prolina

O teor de prolina em amostras de folhas frescas foi determinado conforme descrito por BATES; WALDREN; TEARE (1973). A prolina foi extraída em ácido sulfosalicílico a 3%. No extrato, um volume igual de soluções de ácido acético glacial e ninidrina foi adicionado. A amostra foi aquecida a 100°C , à qual foram adicionados 5 mL de tolueno após resfriamento. A absorbância da camada de tolueno foi lida em 520 nm, por espectrofotômetro.

1.2.10 Análise Estatística

Todos os dados foram obtidos usando dez repetições. A análise estatística foi realizada usando o software estatístico Minitab 17 por meio de análise de variância unilateral. O teste de Tukey ($P < 0,05$) foi aplicado para a análise estatística da diferença significativa entre as lâminas de irrigação e aplicação de ácido salicílico. A análise de componentes principais (ACP) foi aplicada a todos os atributos fisiológicos e bioquímicos, que também foram avaliados pela correlação de Pearson.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Condições ambientais durante o ensaio

As condições ambientais registradas durante o experimento variam de 15 a 45,4°C para temperatura máxima do ar e a temperatura mínima variou de 2 a 25,4 °C. A temperatura média do ar dentro do ambiente protegido foi 23,26 °C (Figura 5). A umidade relativa máxima do ar apresentou variação de 54 a 95%, enquanto a umidade relativa mínima variou de 9 a 43% (Figura 6), apresentado média de 50%.

Figura 5- Temperatura máxima e mínima do ar

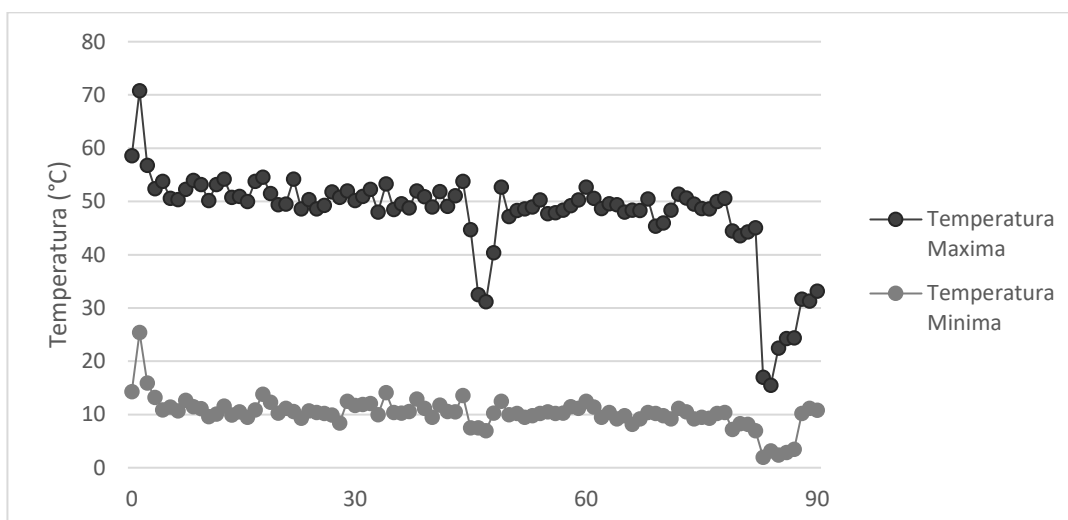
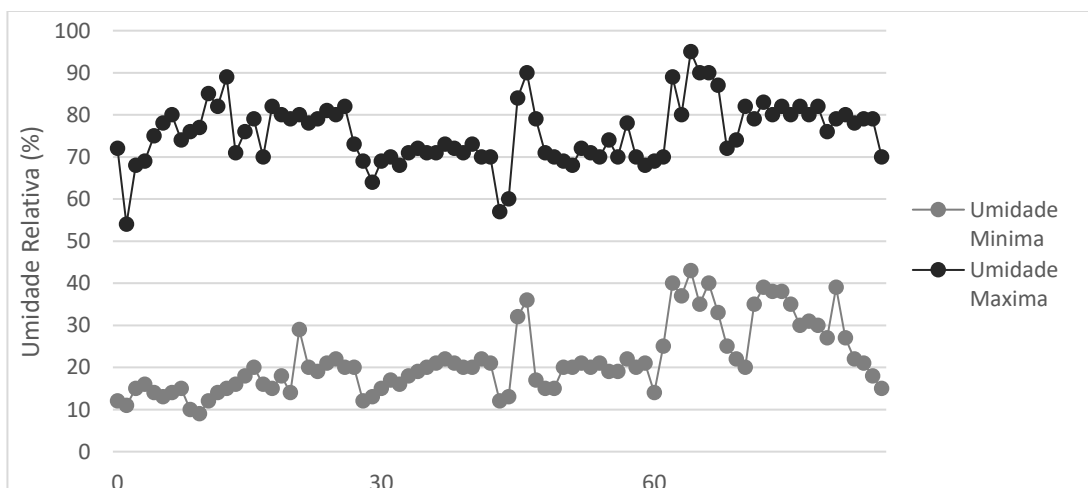


Figura 6- Umidade relativa (UR) máxima e mínima



Os resultados da ANOVA para as tensões de água no solo e aplicação foliar de ácido salicílico e suas interações nos parâmetros biométricos e porcentagem de massa seca do tubérculo na Tabela 4. ANOVA para tensões de água no solo e aplicação foliar de ácido salicílico e suas interações nos parâmetros de pigmentos fotossintéticos na folha de batata na Tabela 5.

Tabela 4- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos atributos biométricos e % massa seca no tubérculo da planta de batata

<i>Variáveis</i>		<i>Efeitos</i>	<i>gL</i>	<i>F-valor</i>	<i>p-valor</i>
Número de tubérculos	60 DAE	Tensão de água (T)	2	0,36 ns	0,7034
		Ácido Salicílico (AS)	1	0,16 ns	0,690
		T x AS	2	0,26 ns	0,774
	90 DAE	T	2	2,15 ns	0,1428
		AS	1	0,46 ns	0,5046
		T x AS	2	0,04 ns	0,9631
Peso de Tubérculos	60 DAE	T	2	2,68 ns	0,0931
		AS	1	0,01 ns	0,9287
		T x AS	2	0,48 ns	0,6284
	90 DAE	T	2	27,03 **	<0,0001
		AS	1	0,01 ns	0,9215
		T x AS	2	2,27 ns	0,1292
% massa seca	60 DAE	T	2	2,97ns	0,074
		AS	1	1,42ns	0,2472
		T x AS	2	2,90ns	0,078
	90 DAE	T	2	1,68ns	0,21
		AS	1	0,53ns	0,47
		T x AS	2	1,61ns	0,22

ns: não significativo

* Significância no nível 0,05.

** Significância ao nível de 0,01.

Tabela 5- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos pigmentos fotossintéticos na folha da batata

<i>Variáveis</i>		<i>Efeitos</i>	<i>gL</i>	<i>F-valor</i>	<i>p-valor</i>
Clorofila a	60 DAE	Tensão de água (T)	2	2,09 ns	0,1503
		Ácido Salicílico (AS)	1	2,26 ns	0,1484
		T x AS	2	0,19 ns	0,8322
	90 DAE	T	2	182,53 **	<0,0001
		AS	1	20,61 **	<0,0002
		T x AS	2	14,72 **	<0,0001
Clorofila b	60 DAE	T	2	0,37 ns	0,6944
		AS	1	0,02 ns	0,9027
		T x AS	2	0,23 ns	0,7952
	90 DAE	T	2	38,26 **	<0,0001

Carotenoides	60 DAE	AS	1	15,71 **	<0,0008
		T x AS	2	3,81 *	0,0397
		T	2	1,33 ns	0,2879
		AS	1	1,20 ns	0,2867
		T x AS	2	0,52 ns	0,6040
		T	2	103,92 **	<0,0001
	90 DAE	AS	1	5,36 *	0,0313
		T x AS	2	9,28 **	0,014

ns: não significativo

* Significância no nível 0,05.

** Significância ao nível de 0,01.

Os resultados da ANOVA para as tensões de água no solo e aplicação foliar de ácido salicílico e suas interações nos parâmetros fotossintéticos na Tabela 6.

Tabela 6- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos parâmetros fotossintéticos na folha da batata

Variáveis	Efeitos	gL	F-valor	p-valor
Taxa Fotossintética (Pn)	60 DAE Tensão de água (T)	2	5,11*	0,0161
	Ácido Salicílico (AS)	1	0,05ns	0,8249
	T x AS	2	0,59	0,5661
Taxa Transpiração (E)	60 DAE T	2	7,86**	0,0030
	AS	1	0,31ns	0,5811
	T x AS	2	2,30	0,1267
Condutância estomática (gs)	60 DAE T	2	7,37**	0,040
	AS	1	0,28ns	0,6013
	T x AS	2	2,05ns	0,1550
Concentração CO ₂ intercelular (Ci)	60 DAE T	2	1,62ns	0,2230
	AS	1	0,01ns	0,9241
	T x AS	2	0,62ns	0,5456
Uso eficiente água (WUE)	60 DAE T	2	2,78ns	0,0860
	AS	1	0,31ns	0,5829
	T x AS	2	0,47ns	0,6326

ns: não significativo

* Significância no nível 0,05.

** Significância ao nível de 0,01.

Tabela 7- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nas enzimas antioxidativas e prolina na folha da batata

Variáveis	Efeitos	gL	F-valor	p-valor
Prolina	60 DAE Tensão de água (T)	2	1,80ns	0,1913
	Ácido Salicílico (AS)	1	1,07ns	0,3126
	T x AS	2	4,81*	0,0197
	90 DAE T	2	703,45**	<0,0001
	AS	1	542,44**	<0,0001
	T x AS	2	1224,23**	<0,0001
SOD	60 DAE T	2	12,52**	0,0003
	AS	1	2,81ns	0,1092

POD	90 DAE	T x AS	2	10,55**	0,0007
		T	2	29,27**	<0,0001
		AS	1	56,94**	<0,0001
		T x AS	2	18,10**	<0,0001
	60 DAE	T	2	1,18ns	0,3272
		AS	1	2,50ns	0,1278
		T x AS	2	1,13ns	0,3417
	90 DAE	T	2	3,91*	0,0370
		AS	1	54,20**	<0,0001
		T x AS	2	0,04ns	0,9585

ns: não significativo

* Significância no nível 0,05.

** Significância ao nível de 0,01.

Tabela 7 apresenta os resultados da ANOVA para as tensões de água no solo e aplicação foliar de ácido salicílico e suas interações nas enzimas antioxidativas e prolina na folha da batata.

Os resultados da ANOVA para as tensões de água no solo e aplicação foliar de ácido salicílico e suas interações nos compostos bioativos e atividade antioxidante na folha da batata (Tabela 8).

Tabela 8- ANOVA das tensões de água no solo (10-30 e 45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos compostos bioquímicos na folha da batata

<i>Variáveis</i>		<i>Efeitos</i>	<i>gL</i>	<i>F-valor</i>	<i>p-valor</i>
<i>Compostos Fenólicos Totais (CFT)</i>	60 DAE	T	2	0,45 ns	0,6423
		AS	1	0,00 ns	0,9648
		T x AS	2	0,51 ns	0,6098
	90 DAE	T	2	99,94**	<0,0001
		AS	1	14,81**	0,0010
		T x AS	2	2,92ns	0,0774
<i>Flavonoides Totais (FT)</i>	60 DAE	T	2	0,17ns	0,8431
		AS	1	0,00ns	0,9825
		T x AS	2	0,07ns	0,9335
	90 DAE	T	2	166,78**	<0,0001
		AS	1	13,34**	0,0016
		T x AS	2	5,19*	0,0153
<i>FRAP</i>	60 DAE	T	2	0,06ns	0,9386
		AS	1	0,11ns	0,7388
		T x AS	2	0,61ns	0,5529
	90 DAE	T	2	168,53**	<0,0001
		AS	1	10,82**	0,0037
		T x AS	2	6,17**	0,0082
<i>ABTS</i>	60 DAE	T	2	1,11 ns	0,3482
		AS	1	1,31 ns	0,2652
		T x AS	2	1,84 ns	0,1852
	90 DAE	T	2	55,31**	<0,0001
		AS	1	0,51 ns	0,4832
		T x AS	2	3,96*	0,0355

<i>DPPH</i>	60 DAE	T	2	1,64 ns	0,2193
		AS	1	0,01 ns	0,9040
		T x AS	2	0,78 ns	0,4703
	90 DAE	T	2	61,83**	<0,0001
		AS	1	30,49**	<0,0001
		T x AS	2	36,01**	<0,0001
	60 DAE	T	2	3,63*	0,0452
		AS	1	1,01ns	0,364
		T x AS	2	1,40 ns	0,2697
<i>Malondialdeído (MDA)</i>	90 DAE	T	2	106,10**	<0,0001
		AS	1	96,49**	<0,0001
		T x AS	2	8,08**	0,0027

ns: não significativo

* Significância no nível 0,05.

** Significância ao nível de 0,01.

Os resultados da ANOVA para as tensões de água no solo e aplicação foliar de ácido salicílico e suas interações nos compostos bioquímicos e atividade antioxidante no tubérculo da batata na Tabela 9.

Tabela 9- ANOVA das tensões de água no solo (10-30-45 kPa), aplicação foliar de AS (com e sem AS) e suas interações nos compostos bioquímicos do tubérculo na planta de batata

Variáveis	Efeitos	gL	F-valor	p-valor
Compostos Fenólicos Totais (CFT)	60 DAE T	2	5,21*	0,0160
	AS	1	0,78ns	0,3874
	T x AS	2	0,02ns	0,9844
	90 DAE T	2	1,44ns	0,2613
	AS	1	0,07ns	0,7985
	T x AS	2	0,78ns	0,4733
Flavonoides Totais (FT)	60 DAE T	2	1,97ns	0,1660
	AS	1	0,01ns	0,9220
	T x AS	2	0,80ns	0,4621
	90 DAE T	2	0,06ns	0,9387
	AS	1	1,14ns	0,2974
	T x AS	2	0,65ns	0,5352
FRAP	60 DAE T	2	3,60*	0,0461
	AS	1	0,17ns	0,6873
	T x AS	2	1,19ns	0,3242
	90 DAE T	2	2,92ns	0,0773
	AS	1	1,50ns	0,2354
	T x AS	2	3,07ns	0,0688
ABTS	60 DAE T	2	3,30ns	0,0577
	AS	1	0,72ns	0,4047
	T x AS	2	1,19ns	0,3246
	90 DAE T	2	2,49ns	0,1085
	AS	1	1,47ns	0,2389
	T x AS	2	2,84ns	0,0821
DPPH	60 DAE T	2	0,63ns	0,5426
	AS	1	0,27nss	0,6107
	T x AS	2	0,82ns	0,4543
	90 DAE T	2	0,32ns	0,7277
	AS	1	1,57ns	0,2242

Malondialdeído (MDA)	60 DAE	T x AS	2	2,44ns	0,1126
		T	2	1,41ns	0,2674
		AS	1	3,80ns	0,0654
		T x AS	2	0,42ns	0,6608
	90 DAE	T	2	0,12ns	0,8836
		AS	1	1,30ns	0,2676
		T x AS	2	4,36*	0,0268
% Amido	60 DAE	T	2	2,19ns	0,1384
		AS	1	0,06ns	0,8020
		T x AS	2	1,71ns	0,2069
	90 DAE	T	2	0,51ns	0,6081
		AS	1	1,62ns	0,2181
		T x AS	2	0,01ns	0,9884

ns: não significativo

* Significância no nível 0,05.

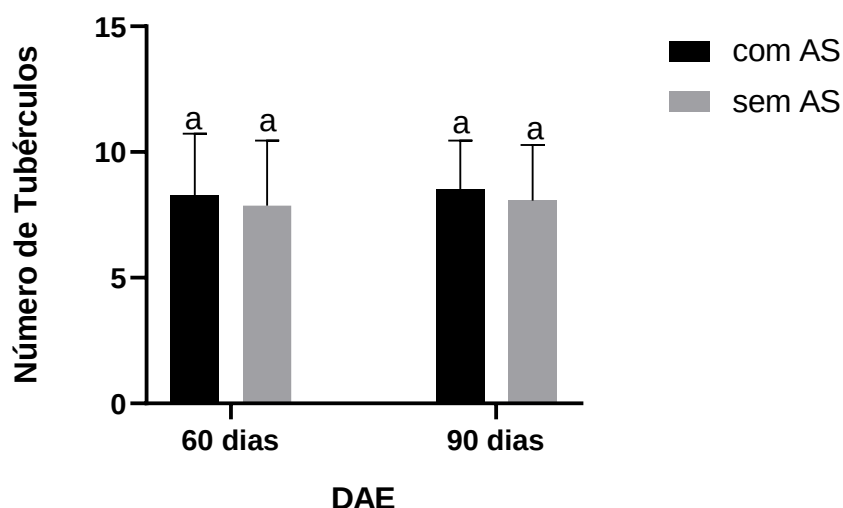
** Significância ao nível de 0,01.

1.3.2 Dados biométricos e % massa seca

1.3.2.1 Número de Tubérculos

O número de tubérculos não foi significativamente afetado pelas diferentes tensões de água no solo e níveis de aplicação de ácido salicílico via foliar durante ambos os períodos de avaliação com $p \leq 0,05$ (Tabela 4).

Figura 7- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) no número de tubérculos na planta de batata. As amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes em $p \leq 0,05$ de acordo com o teste Tukey

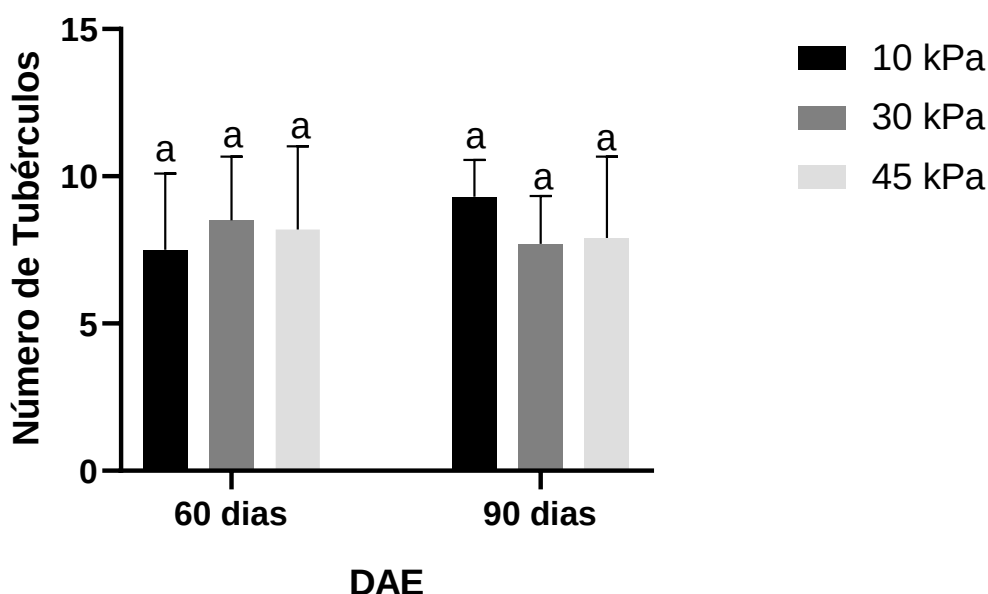


Figuras 7 e 8 apresentam os números de tubérculos de batatas em diferentes condições de déficit hídrico e aplicação de ácido salicílico, evidenciando igual valor no rendimento de número de tubérculos.

O impacto relativamente baixo do déficit de água durante o estágio de crescimento e desenvolvimento para a tuberização pode ser explicado porque as plantas eram relativamente pequenas no estágio de brotação, de modo que a evapotranspiração era baixa e, portanto, a demanda de água pelas plantas para o crescimento não era alta.

VOS; HAVERKORT. (2007) fazem menção que os tubérculos de sementes levam a mais hastes por planta, e as condições de solo úmido geralmente levam a um maior número de tubérculos por hastes.

Figura 8- Efeito das tensões de água no solo no número de tubérculos na planta de batata. As amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes em $p \leq 0,05$ de acordo com o teste Tukey



1.3.2.2 Peso de Tubérculos

O peso de tubérculos por planta foi estatisticamente significativo com relação a tensão de água no solo no segundo período de avaliação ($p \leq 0,05$) (Tabela 4). O maior valor do peso de tubérculos foi observado na tensão de 10 kPa com 0,79 kg, enquanto os resultados da aplicação de ácido salicílico foram estatisticamente não significativos ($p \leq 0,05$) para os dois períodos de avaliação (Figura 9 e 10).

Figura 9- Efeito das tensões de água no solo no peso dos tubérculos na planta de batata. As amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes em $p \leq 0,05$ de acordo com o teste Tukey

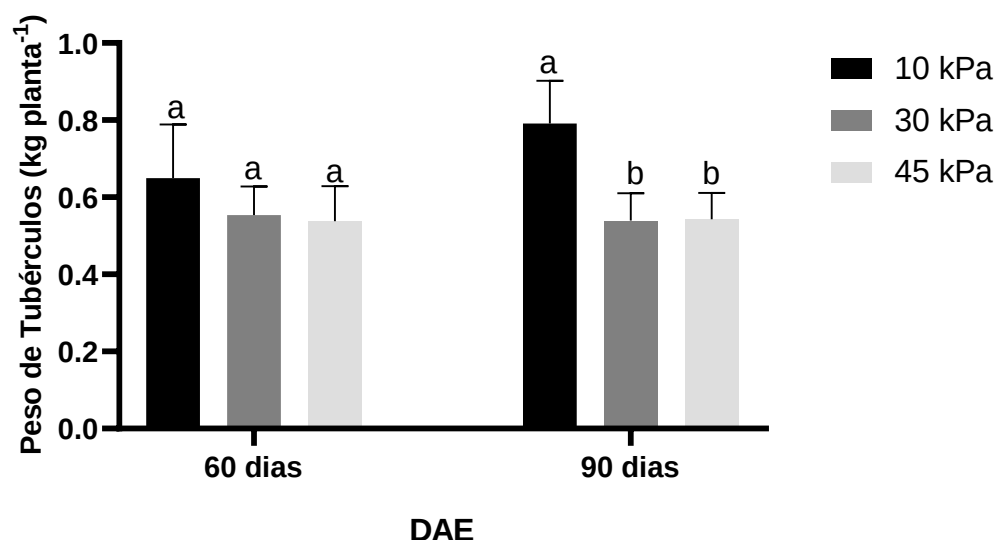
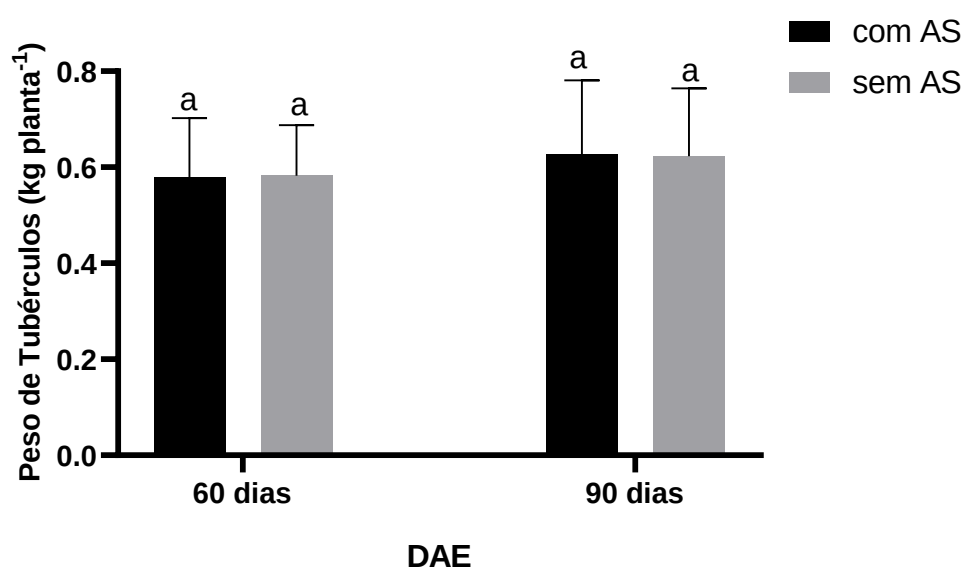


Figura 10- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) no peso dos tubérculos na planta de batata. As amostras com a mesma letra não são significativamente diferentes em $p \leq 0,05$ de acordo com o teste Tukey



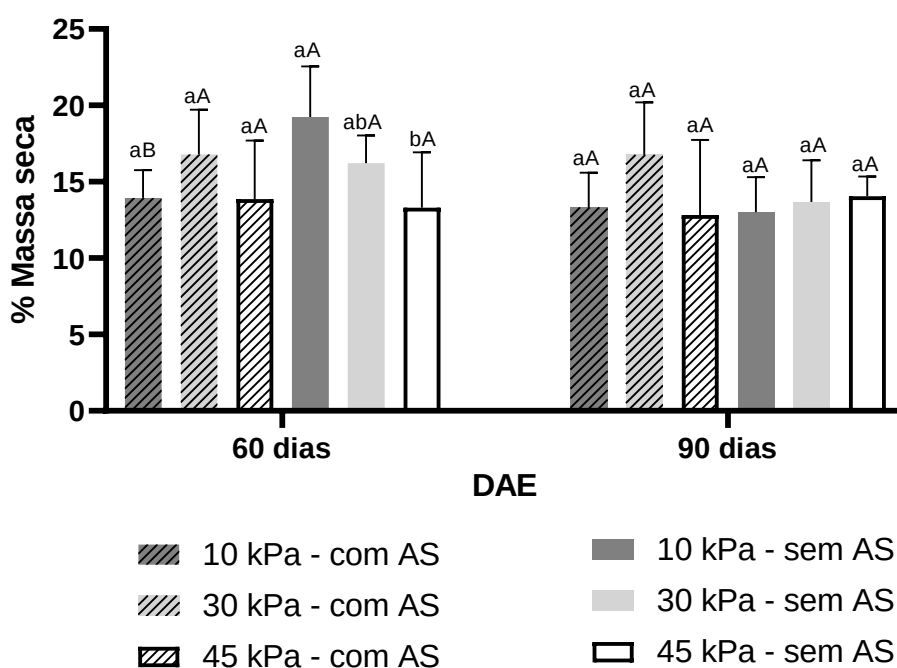
BANIK et al. (2016) faz menção que a caracterização da tolerância à seca em cultivares de batata é complicada pelo fato de que as respostas diferenciais de peso

dos tubérculos não foram consistentemente relacionadas a características fisiológicas ou morfológicas específicas.

1.3.2.3 % Massa seca

A porcentagem de massa seca do tubérculo por planta foi estatisticamente significativa afetada pelas tensões de água no solo e níveis de aplicação de ácido salicílico durante ambos os períodos de avaliação respectivamente com $p \leq 0,05$ (Tabela 4).

Figura 11- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no % massa seca dos tubérculos na planta de batatas. Com letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



No período de avaliação 1 se observa que a tensão de água no solo de 10 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico apresentou maior porcentagem de massa seca com 25,52, seguido pelo tratamento com tensões de água de 30 kPa com e sem aplicação de ácido salicílico. Para o segundo período de avaliação se evidencia um comportamento diferente com relação à primeira avaliação, a tensão de 45 kPa com

aplicação foliar de ácido salicílico foi o que apresentou maior porcentagem (Figura 11).

ALHOSHAN et al. (2019a) indicam que o déficit hídrico afeta a arquitetura fisiológica da planta, reduzindo o tamanho da folha e a taxa de expansão da folha e aumento a taxa de senescência. Consequentemente, o fechamento estomático ocorre como resultado da escassez de água que limita o ingresso de CO₂ da planta e leva à redução da produção de biomassa.

1.3.3 Acúmulo de nutrientes na parte aérea e tubérculo

A aplicação foliar de AS e déficit hídrico no solo afetou significativamente a concentração de nutrientes nas folhas e tubérculos de plantas de batata.

1.3.3.1 Macronutrientes folha e tubérculo

O déficit hídrico diminui a concentração de nitrogênio nas folhas, evidenciando que o tratamento com 45 kPa foi que apresentou menores valores aos 60 DAE. Em contraste, as folhas do tratamento controle com aplicação foliar de AS acumularam 1,55 vezes a mais de nitrogênio que o tratamento com 45 kPa e sem aplicação de AS (Tabela 10).

O acúmulo de nitrogênio aos 60 DAE no tubérculo apresentou mudança significativa, sendo os tratamentos com tensão no solo de 45 kPa os que apresentaram maior acúmulo. Aos 90 DAE se observou que o tubérculo em condições de 45 kPa com AS acumula 1,32 vezes a mais de nitrogênio em comparação com o tratamento de 45 kPa sem aplicação foliar de AS (Tabela 11).

De acordo com o Potash and Phosphate Institute, a absorção precoce de nitrogênio sob condições de baixa umidade aumenta o desenvolvimento da parte aérea e da raiz, o que é crítico para o rendimento final (JONHSTON, 2002). De acordo com BÄNZIGER et al. (2000), cerca de 50% de todo N na folha está diretamente envolvido na fotossíntese como enzimas ou clorofila. Assim, se o suprimento de N for insuficiente, a fotossíntese é diminuída, reduzindo a área foliar e a taxa de fotossíntese, além de acelerar a senescência foliar. PIMRATCH et al. (2008)

referência uma série de estudos em que a seca reduziu a fixação de nitrogênio em espécies leguminosas.

Tabela 10- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no teor de macronutrientes da folha na planta de batata. Com letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

DAE	Tens Solo (kPa)	Trat AS	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)
30			33,14	2,80	57,56	4,60	9,30
60	10	com AS	31,06±0,33 ^{aA}	2,04±0,02 ^{aA}	71,40±0,63 ^{aA}	6,26±0,09 ^{aA}	31,16±0,25 ^{bA}
		sem AS	25,43±0,10 ^{aB}	1,59±0,04 ^{aB}	70,54±0,31 ^{aA}	5,18±0,10 ^{bB}	31,22±0,13 ^{bA}
	30	com AS	19,41±0,26 ^{cB}	0,91±0,00 ^{cB}	62,74±0,33 ^{bB}	6,50±0,14 ^{aB}	38,84±0,23 ^{aA}
		sem AS	23,07±0,08 ^{bA}	1,41±0,02 ^{bA}	66,28±0,19 ^{bA}	7,42±0,10 ^{aA}	33,02±0,14 ^{aB}
	45	com AS	22,86±0,14 ^{bA}	1,41±0,01 ^{bB}	54,06±0,11 ^{cA}	6,60±0,31 ^{aA}	32,14±0,11 ^{bA}
		sem AS	19,16±0,06 ^{cB}	1,53±0,01 ^{aA}	51,36±0,24 ^{cB}	2,80±0,04 ^{cB}	19,10±0,10 ^{cB}
Efeito	gL						
Tens solo	2		**	**	**	**	**
AS	1		**	*	ns	**	**
T x AS	2		**	**	**	**	**
CV			1,98	4,17	1,36	6,71	1,39

*indica significância <0,05

** indica significância <0,001

ns: não significativo

Na área foliar se consegue evidenciar aos 60 DAE que a aplicação foliar com 10 kPa apresenta maior acúmulo de fosforo (P), sendo um 25% maior o acúmulo em comparação com o tratamento de 45 kPa e sem aplicação foliar de AS (Tabela 10).

Pode-se observar no tubérculo aos 60 DAE, o acúmulo de fosforo foi 1,63 vezes a mais no tratamento controle com AS (2,76±0,00 g kg⁻¹) em comparação com o tratamento controle sem aplicação de AS (1,69±0,04 g kg⁻¹). Aos 90 DAE, se consegue evidenciar que o tratamento que apresentou maior acúmulo de fosforo foi 10 kPa sem aplicação foliar de AS (2,72 ±0,02 g kg⁻¹), sendo 32% maior o acúmulo em comparação com o tratamento 30 kPa sem aplicação de AS (1,83±0,00 g kg⁻¹).

O fósforo (P) é um nutriente mineral essencial requerido em quantidade relativamente grande para manter o crescimento. Também desempenha um papel

importante na conservação e transferência de energia no metabolismo celular (AMTMANN; BLATT, 2009). Um bom suprimento de água é necessário para a disponibilidade e absorção de fosfato pelas plantas. Os íons de fosfato se movem através dos solos principalmente por difusão e se o teor de água no solo diminui, os raios dos poros cheios de água diminuem, a tortuosidade aumenta e a mobilidade do P diminui (FAYE et al., 2006).

Déficit hídrico causa uma redução na absorção e transporte de P nas plantas. A diminuição das formas de P disponível e o aumento do P incluído no solo reduzem a absorção de P e, conseqüentemente, induzem um menor teor de P foliar (SARDANS; PEÑUELAS, 2004). Mesmos autores evidenciam que uma redução de 22% na umidade do solo produziu uma diminuição de 40% no teor de P acumulado nas plantas, principalmente porque houve um aumento menor na biomassa aérea.

O acúmulo de potássio (K) na folha aos 60 DAE foi maior no tratamento controle com aplicação de AS ($71,40 \pm 0.63 \text{ g kg}^{-1}$) apresentado diferença significativa com o tratamento 45 kPa com aplicação de AS ($54,06 \pm 0.11 \text{ g kg}^{-1}$). O tubérculo a condições de 10 kPa sem aplicação de AS foi o tratamento que acumulou mais potássio no tecido aos 60 DAE. Na fase final de tuberização observa-se que o tratamento controle sem aplicação de AS continua acumulando maior conteúdo de potássio com $28,42 \pm 0.31 \text{ g kg}^{-1}$.

O potássio (K) é um elemento mineral absorvido em grandes quantidades pelas plantas e desempenha um papel importante na regulação do estado da água (MENGEL et al., 2001). O íon potássio está envolvido em muitos processos fisiológicos, como ativação enzimática, síntese de proteínas, fotossíntese, osmorregulação, extensão celular, movimento estomático e outros processos (FAROOQ et al., 2009). As condições hídricas nas plantas influenciam o acúmulo de K^+ nas folhas e interagem com o estado nutricional de K^+ em algumas espécies vegetais (RESTREPO-DIAZ; BENLLOCH; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, 2008).

A abertura e fechamento dos canais de K^+ são de particular importância para as células-guarda e esse mecanismo de ação é controlado pela recepção de luz vermelha, que induz a abertura estomática (DE MELLO PRADO, 2021). MAHOUACHI. (2007) evidenciou níveis reduzidos de K^+ em bananeiras em condições de seca. Pode-se evidenciar na folha que aos 60 DAE a planta com tensão de água

no solo de 10 e 30 kPa com aplicação de AS, são os tratamentos que apresentaram maior acúmulo de Mg, $6,26 \pm 0,10$ e $6,60 \pm 0,27$ g kg⁻¹ respectivamente, acumulando 2,30 vezes a mais de Mg em comparação com o tratamento de 45 kPa sem aplicação de AS (Tabela 10). Aos 60 DAE pode-se evidenciar que no tubérculo o tratamento com déficit hídrico de 45 kPa com aplicação de AS, acumulou 1,46 g kg⁻¹ Mg. Na avaliação final (90 DAE) se observou que não se apresentou diferença significativa entre tratamentos, sendo os tratamentos com 45 kPa os que acumularam maior conteúdo de Mg (Tabela 11).

Tabela 11- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no teor de macronutrientes do tubérculo na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

DAE	Tens Solo (kPa)	Trat AS	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)
60	10	com AS	14,47±0,04 ^{bA}	2,76±0,00 ^{aA}	20,88±0,05 ^{cB}	1,30±0,01 ^{bB}	5,60±0,44 ^{aA}
		sem AS	14,02±0,20 ^{cB}	1,69±0,05 ^{cB}	27,74±0,07 ^{aA}	1,44±0,03 ^{aA}	4,80±0,40 ^{aA}
	30	com AS	14,25±0,06 ^{bB}	2,45±0,01 ^{bA}	26,36±0,06 ^{bB}	1,26±0,04 ^{bA}	4,40±0,16 ^{aA}
		sem AS	15,83±0,04 ^{bA}	2,15±0,01 ^{bB}	26,62±0,10 ^{bA}	1,36±0,02 ^{aA}	3,80±0,21 ^{aA}
	45	com AS	15,62±0,03 ^{aB}	2,25±0,02 ^{cB}	27,50±0,07 ^{aA}	1,46±0,02 ^{aA}	4,20±0,78 ^{aA}
		sem AS	16,33±0,06 ^{aA}	2,34±0,01 ^{aA}	25,68±0,09 ^{cB}	1,36±0,04 ^{aA}	3,40±0,30 ^{aA}
90	10	com AS	13,88±0,30 ^{bB}	2,64±0,04 ^{aB}	25,42±0,90 ^{aB}	1,28±0,05 ^{aA}	1,28±0,05 ^{aA}
		sem AS	14,81±0,11 ^{aA}	2,72±0,02 ^{aA}	28,42±0,25 ^{aA}	1,38±0,06 ^{aA}	1,38±0,06 ^{aA}
	30	com AS	13,53±0,16 ^{bB}	2,33±0,00 ^{bA}	26,60±0,31 ^{aA}	1,30±0,04 ^{aA}	1,30±0,04 ^{aA}
		sem AS	15,22±0,09 ^{aA}	1,83±0,00 ^{cB}	25,22±0,20 ^{bA}	1,36±0,04 ^{aA}	1,36±0,04 ^{aA}
	45	com AS	17,98±0,18 ^{aA}	2,28±0,01 ^{bA}	25,24±0,22 ^{aB}	1,40±0,02 ^{aA}	1,40±0,02 ^{aA}
		sem AS	13,58±0,12 ^{bB}	2,17±0,01 ^{bB}	27,82±0,25 ^{aA}	1,40±0,06 ^{aA}	1,40±0,06 ^{aA}
Efeito	gL						
Tens solo (60 DAE)	2		**	*	**	*	**
AS(60DA E)	1		**	**	**	ns	ns
TxAS(60 DAE)	2		**	**	**	**	**
CV (60 DAE)			1,54	2,76	0,75	5,88	15,43
Tens solo (90 DAE)	2		**	**	ns	ns	**
AS(90 DAE)	1		**	**	**	ns	ns
TxAS(90 DAE)	2		**	**	**	ns	**
CV (90 DAE)			2,93	2,51	4,03	9,34	21,75

*indica significância <0,05

** indica significância <0,001

ns: não significativo

A principal função do magnésio é seu papel como o átomo central das moléculas de clorofila, mas o magnésio também está envolvido na conservação e conversão de energia, síntese de proteínas, como cofator em muitos processos enzimáticos associados à fosforilação, desfosforilação, hidrólise de vários compostos e como estabilizador estrutural para vários nucleotídeos (AMTMANN; BLATT, 2009; MERHAUT, 2006).

Como o magnésio não está física ou fisiologicamente disponível em condições de déficit hídrico, as raízes das plantas não são capazes de absorver o magnésio adequado para sustentar o crescimento normal da planta. BROWN; PEZESHKI; DELAUNE. (2006) encontraram reduções na absorção de Mg tanto nas raízes quanto na parte aérea de *Spartina alterniflora* (capim lisa costeiro) sob condições de seca.

A concentração de Ca na área foliar aumento significativamente em todos os tratamentos aos 60 DAE com relação à avaliação inicial (30 DAE). Pode-se observar aos 60 DAE os tratamentos que maior aumento na concentração de Ca foram os tratamentos com aplicação foliar de AS, sendo o tratamento com tensão de água no solo de 30 kPa o que apresentou maior valor com $38,84 \pm 0,23 \text{ g kg}^{-1}$, acumulando 2 vezes a mais de Ca na folha em comparação com o tratamento com déficit hídrico de 45 kPa sem aplicação de AS (Tabela 10).

Aos 60 DAE evidenciou um acúmulo baixo de Ca nos tubérculos em todos os tratamentos, sendo o tratamento de 45 kPa o que apresentou maior acúmulo com $0,78 \text{ g kg}^{-1}$. Para os 90 DAE observa-se comportamento diferente principalmente para os tratamentos controle com e sem aplicação de AS, sendo os tratamentos que acumularam mais Ca (Tabela 11).

O cálcio é particularmente importante na fisiologia celular, onde seu movimento para dentro e para fora do citoplasma funciona como um sinal para muitos processos celulares, bem como a síntese de novas paredes celulares no fuso mitótico durante a divisão celular, etc (SHAO; SONG; CHU, 2008).

A condição de déficit de umidade do solo diminui a absorção de nutrientes do solo. A redução na absorção de nutrientes pode ser atribuída à diminuição no

fornecimento de nutrientes por meio da mineralização, redução na difusão e fluxo de massa de nutrientes nos solos (BISTA et al., 2018).

A cinética de absorção de nutrientes pelas raízes também reduziu a taxa de absorção de nutrientes sob estresse hídrico (LUO et al., 2018b). A translocação reduzida de nutrientes da raiz para a parte aérea também contribui para a redução do status de nutrientes de diferentes partes da planta (LUO et al., 2018a). Sob estresse hídrico, as plantas são incapazes de absorver muito K e P, levando ao retardo do crescimento, e os processos bioquímicos ficam mais lentos (Ge et al., 2012).

1.3.3.2 Micronutrientes nas folhas e tubérculos

O acúmulo de Fe na folha foi maior nos tratamentos controle (10 kPa) aos 60 DAE, sendo significativamente maior no tratamento com aplicação foliar de AS ($198,40 \pm 1,12 \text{ g kg}^{-1}$) em comparação com o tratamento sem aplicação foliar de AS ($158,00 \pm 0,57 \text{ g kg}^{-1}$). Observando que o tratamento controle (10 kPa) com aplicação AS tem um aumento de 1,73 vezes com relação ao tubérculo em condições de tensão de água no solo de (45 kPa) sem aplicação de AS (Tabela 12).

Aos 60 DAE o tubérculo em condições de 10 kPa e sem aplicação foliar de AS apresentou o maior acúmulo de Fe com $65,00 \pm 0,35 \text{ g kg}^{-1}$, sendo 1,35 vezes mais do que o tubérculo em condições de déficit hídrico de 45 kPa com aplicação de AS. O tubérculo em condições de tensão de água no solo controle (10 kPa) com AS apresentou valores de $62,20 \pm 1,70 \text{ mg kg}^{-1}$ Fe aos 90 DAE, acumulando 1.82 vezes mais que o tubérculo com déficit hídrico (45 kPa) com AS (Tabela 13).

O Fe é um componente chave nas proteínas heme (por exemplo, citocromos, catalase e proteínas Fe-S, como a ferredoxina) e uma série de outras enzimas (RÖMHELD; NIKOLIC, 2006). O Fe não é facilmente móvel entre os diferentes órgãos da planta. Para garantir o crescimento ideal, as plantas precisam manter um suprimento contínuo de ferro. Os efeitos causados pela deficiência de Fe incluem clorose nas folhas jovens, perdas de rendimento e diminuição da qualidade nutricional das plantas cultivadas (MA, 2005).

A umidade do solo pode afetar o teor e a disponibilidade de Fe. Em solos úmidos, a relação $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ é maior, o que resulta em maior disponibilidade de Fe para as plantas. Em condições de seca, a maior presença de O_2 no solo induz a diminuição da razão $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, levando a uma diminuição em Fe disponível para absorção pelas plantas, uma vez que o Fe^{2+} é mais solúvel que o Fe^{3+} (SARDANS; PEÑUELAS; OGAYA, 2008).

A folha da batata apresentou um aumento significativo do conteúdo de Mn aos 60 DAE com relação aos 30 DAE. Evidenciando que a planta controle (10 kPa) com AS acumulou 25% a mais de Mn no tecido foliar comparação com o tubérculo controle sem AS (Tabela 12). O tubérculo apresentou uma diminuição relevante de acúmulo de Mn em comparação com a folha. Aos 60 DAE o tubérculo com déficit hídrico de 45 kPa sem AS foi o tratamento que mais acumulou Mn. Mudando o comportamento metabólico de acúmulo de Mn aos 90 DAE, sendo o tubérculo controle (10 kPa) com AS foi o tratamento que mais acumulou Mn no tecido (Tabela 13).

Tabela 12- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no teor de micronutrientes da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

DAE	Tensão solo (kPa)	Trat AS	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
30			102,20	78,00	13,60	14,80
60	10	com As	198,40±1,12 ^{aA}	287,80±0,71 ^{aA}	14,60±0,38 ^{bA}	9,80±0,40 ^{aA}
		sem AS	158,00±0,57 ^{aB}	214,20±0,91 ^{cB}	11,60±0,59 ^{aB}	8,00±0,26 ^{aB}
	30	com As	187,60±1,20 ^{bA}	276,80±0,97 ^{bB}	20,40±0,30 ^{aA}	8,40±0,20 ^{bA}
		sem AS	150,00±2,17 ^{bB}	280,40±0,63 ^{aA}	11,80±0,43 ^{aB}	8,00±0,29 ^{aA}
	45	com As	190,40±0,71 ^{bA}	221,60±0,69 ^{cB}	14,40±0,30 ^{bA}	8,00±0,29 ^{bA}
		sem AS	114,20±0,63 ^{cB}	245,20±1,53 ^{bA}	11,60±0,40 ^{aB}	7,60±0,29 ^{aA}
Efeito	gL					
Tensão solo	2		**	**	**	*
AS	1		**	**	**	**
T x AS	2		**	**	**	ns
CV			1,77	0,92	7,21	8,82

* indica significância <0,05

** indica significância <0,001

ns: não significativo

O manganês (Mn) é um oligoelemento essencial para os sistemas vegetais, envolvido na fotossíntese, respiração e ativação de diversas enzimas. Seu principal papel é como transportador de elétrons e está envolvido no metabolismo antioxidante. A baixa umidade do solo também pode induzir a deficiência de Mn. A conversão de Mn em suas formas reduzidas e mais solúveis é aumentada em condições de solo úmido (HU; SCHMIDHALTER, 2005).

Tabela 13- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no teor de micronutrientes do tubérculo na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

DAE	Tens solo (kPa)	Trat AS	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)
60	10	com AS	50,20±0,20 ^{aB}	5,20±0,00 ^{bA}	10,00±0,27 ^{aA}	5,00±0,38 ^{aA}
		sem AS	65,00±0,35 ^{aA}	3,60±0,40 ^{bB}	8,60±0,20 ^{aB}	4,00±0,38 ^{bA}
	30	com AS	40,40±0,39 ^{cA}	6,60±0,24 ^{aA}	7,80±0,16 ^{bB}	4,80±0,24 ^{aA}
		sem AS	41,00±0,27 ^{cA}	3,40±0,20 ^{bB}	9,60±0,57 ^{aA}	3,80±0,37 ^{bA}
	45	com AS	47,80±0,41 ^{bB}	3,80±0,40 ^{cB}	10,80±0,30 ^{aA}	4,60±0,21 ^{aB}
		sem AS	50,20±0,41 ^{bA}	7,60±0,24 ^{aA}	9,40±0,23 ^{aB}	6,60±0,25 ^{aA}
90	10	com AS	62,20±1,70 ^{aA}	5,60±0,44 ^{aA}	8,20±0,57 ^{bA}	5,40±0,28 ^{aA}
		sem AS	36,20±0,85 ^{bB}	4,80±0,40 ^{aA}	8,60±0,12 ^{bA}	3,80±0,29 ^{aB}
	30	com AS	35,40±0,68 ^{bA}	4,40±0,16 ^{aA}	11,80±0,52 ^{aA}	4,00±0,47 ^{aA}
		sem AS	27,20±0,87 ^{cB}	3,80±0,21 ^{aA}	6,80±0,95 ^{bB}	3,80±0,39 ^{aA}
	45	com AS	34,00±1,03 ^{bB}	4,20±0,78 ^{aA}	12,80±1,80 ^{aA}	4,40±0,22 ^{aA}
		sem AS	50,40±0,36 ^{aA}	3,40±0,30 ^{aA}	11,40±0,56 ^{aA}	4,40±0,42 ^{aA}
Efeitos	gL					
Tens solo (60 DAE)	2		**	**	**	**
AS (60 DAE)	1		**	ns	ns	ns
TxAS(60DAE)	2		**	**	**	**
CV(60DAE)			1,74	13,76	8,40	16,27
Tens solo (90DAE)	2		**	*	**	ns
AS (90 DAE)	1		**	ns	**	ns
TxAS(90DAE)	2		**	ns	**	ns
CV (90 DAE)			6,02	24,48	17,49	20,62

*indica significância <0,05

** indica significância <0,001

ns: não significativo

Com tensão de água no solo de 10 kPa e com aplicação foliar de AS evidenciou-se um maior acúmulo significativo de Zn com $14.60 \pm 0,43 \text{ mg kg}^{-1}$ na folha em comparação com os outros tratamentos aos 60 DAE (Tabela 12).

Valores similares no conteúdo de Zn no tubérculo se apresentou aos 60 DAE e 90 DAE no tecido vegetal (Tabela 13). Observando que o tubérculo submetido a tensão de água no solo de 45 kPa com AS acúmulo 1,56 vezes mais que o tratamento controle com AS. O Zn também desempenha um papel importante no metabolismo de carboidratos, síntese de proteínas, metabolismo de auxinas, etc. (BROADLEY et al., 2007).

O nível de Cu diminuiu ao longo do ciclo de crescimento e mais significativamente aos 60 DAE. A planta em condições controle com aplicação de AS acumulou um 22.44% a mais de Cu no tecido foliar da planta em comparação com o tratamento de déficit hídrico (45 kPa) sem aplicação foliar de AS (Tabela 12).

Os níveis de Cu no tubérculo foram constantes durante a tuberização. Evidenciando que aos 90 DAE o tratamento com 10 kPa e com AS apresentou maior diferença significativa com os outros tratamentos. Observando também que o tratamento controle com AS acumulou 30% a mais de Cu que o tratamento sem aplicação foliar de AS (Tabela 13).

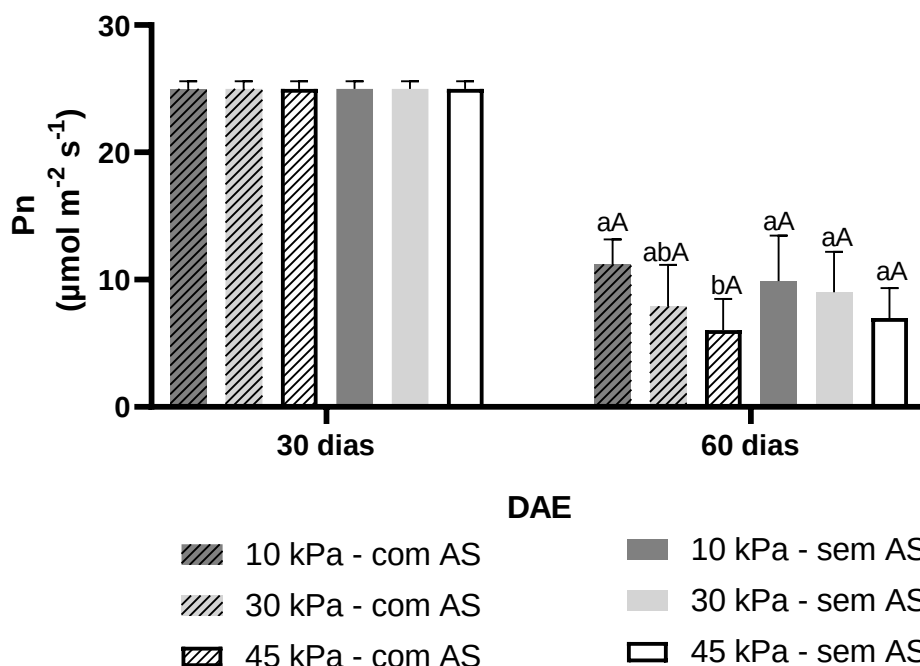
Nas plantas, o cobre (Cu) desempenha um papel importante como elemento estrutural em proteínas reguladoras e como co-fator de muitas enzimas (como Cu/Zn superóxido dismutase, amino oxidase, lacase, plastocianina e polifenol oxidase). Também participa do transporte de elétrons na fotossíntese, respiração mitocondrial e na resposta ao estresse oxidativo, bem como no metabolismo da parede celular, transcrição e translocação de proteínas e sinalização hormonal (CLEMENS, 2001).

1.3.4 Parâmetros fotossintéticos de troca gasosa

Taxa fotossintética (P_n) apresentou mudança significativa aos 60 DAE (Tabela 6). Podendo observar que a planta com tensão de água no solo de 10 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico apresentou maiores valores de taxa fotossintética em comparação com o tratamento (45 kPa) com aplicação de ácido salicílico (Figura 12).

O tratamento com ácido salicílico foi capaz de promover melhor rendimento na taxa fotossintética na área foliar frente diferentes tensões de água no solo. Essas alterações demonstraram o papel do ácido salicílico nas folhas, contribuindo para melhoras dos processos fisiológicos, maximizando P_n e g_s , semelhantes aos resultados de (SEMIDA et al., 2017).

Figura 12- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo na taxa fotossintética (P_n) da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a médias de cinco repetições



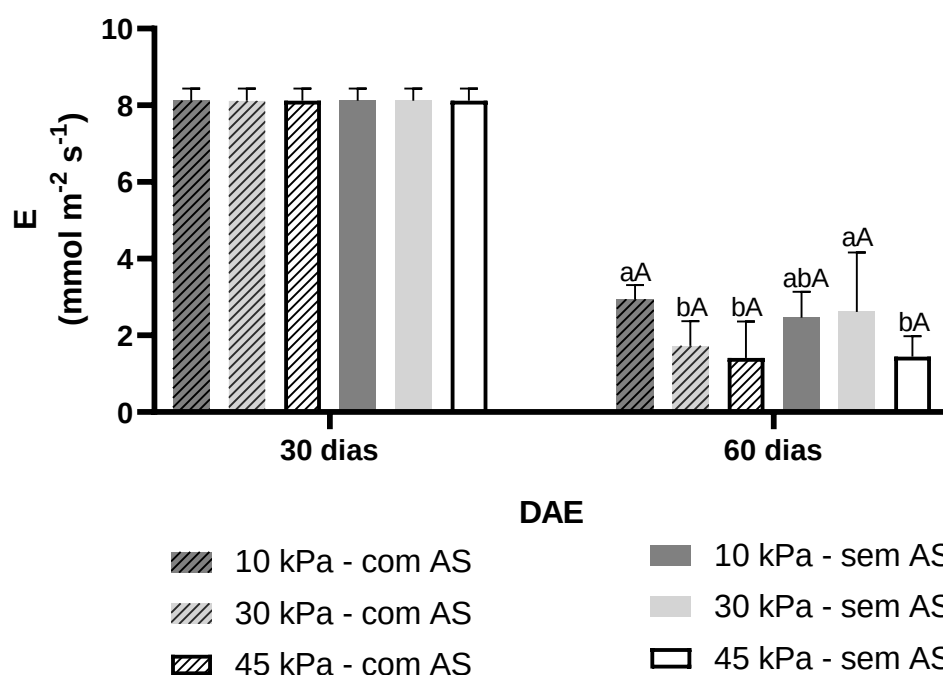
Aos 60 DAE, o déficit hídrico prolongado evidenciou uma diminuição significativa na taxa de transpiração (E) (Tabela 6). A taxa de transpiração das folhas da planta de batata evidencia mudança entre as 3 tensões de água no solo, principalmente entre a tensão de 10 kPa e o resto de tensões. Igualmente, observa-se que a aplicação foliar de ácido salicílico na planta em condições de 10 kPa foi o tratamento que maior valor de taxa de transpiração apresentou (Figura 13).

O estresse hídrico, gera uma diminuição na perda de água foliar por meio de uma redução significativa na taxa de transpiração pela diminuição da condutância estomática e aumento da resistência estomática devido ao fechamento dos estômatos. Em condições de estresse hídrico, uma taxa de transpiração mais alta implica logicamente uma redução na WUE, que geralmente é muito prejudicial, especialmente em condições de seca extrema (NEMESKÉRI; HELYES, 2019).

Portanto, a aplicação de ácido salicílico não afeta o estado hídrico das plantas de batata. Evidenciando que a tensão da água no solo permite maior abertura dos estômatos e, por sua vez, uma maior taxa de fotossíntese em condições de estresse hídrico.

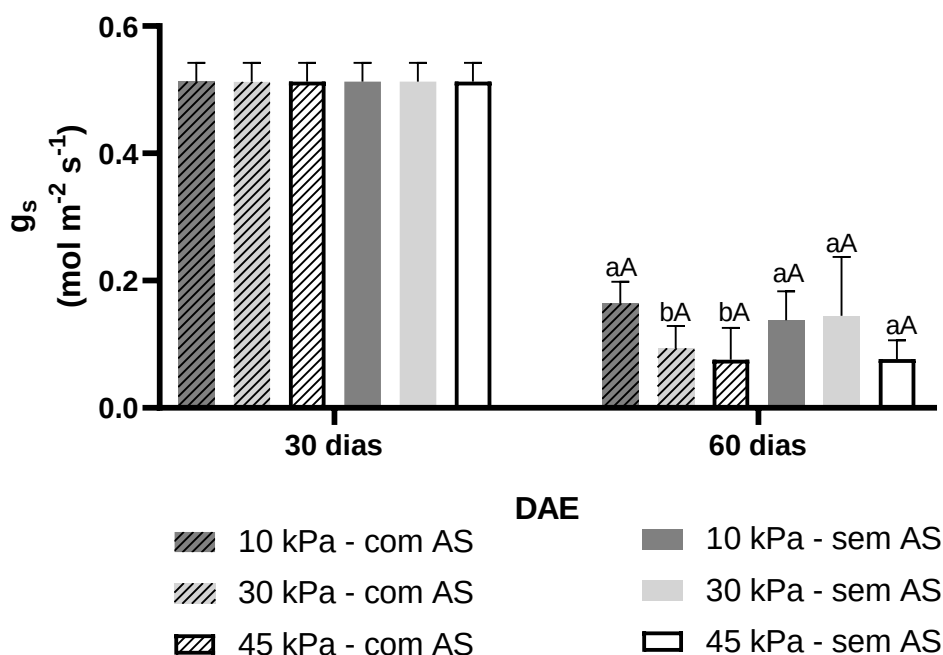
Resultados semelhantes foram observados por estudos que indicam que a aplicação de AS sob condições de estresse hídrico pode manter os estômatos abertos e regular a condutividade hidráulica (LOBATO et al., 2021).

Figura 13- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo na taxa transpiração (E) da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



A deficiência hídrica reduziu significativamente a condutância estomática (g_s) em comparação com condições bem irrigadas aos 60 DAE (Tabela 6). A aplicação exógena de ácido salicílico não evidencia efeito algum no fechamento estomático induzido pela seca. A condutância estomática (g_s) nas folhas da planta de batata foi 53% maior em plantas com tensão de água no solo de 10 kPa com pulverização foliar de ácido salicílico em comparação com as plantas em condições de déficit hídrico de 45 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico (Figura 14).

Figura 14- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo na condutância estomática (g_s) da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

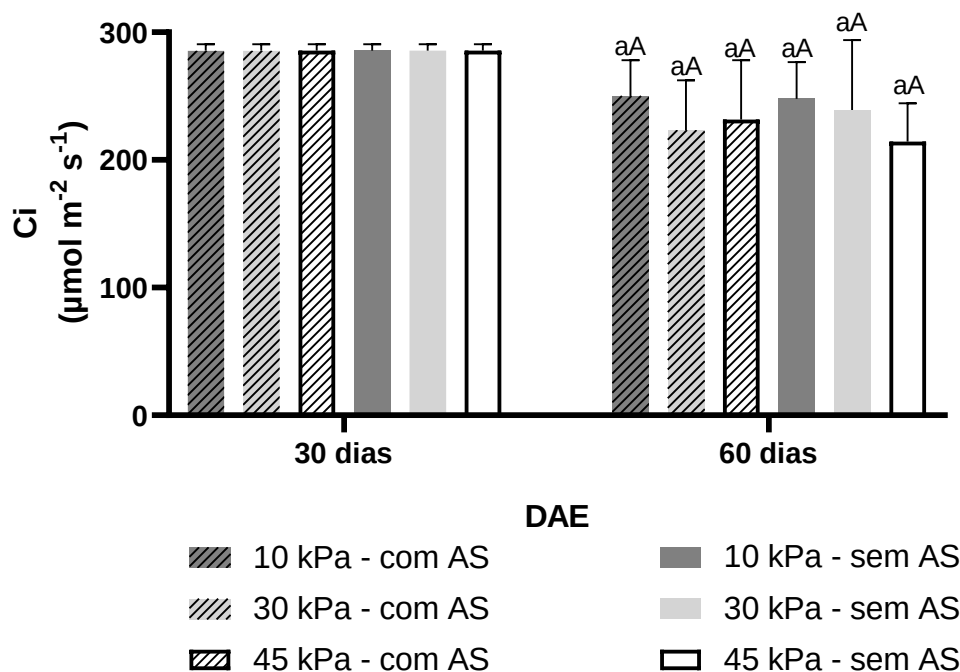


SADEGHIPOUR; AGHAEI. (2012) observaram que as diminuições na condutância estomática foram menores nas plantas tratadas com ácido salicílico do que o controle para ambos cultivares de feijão comum, tanto em condições bem irrigadas quanto em condições de estresse hídrico. A restrição da redução da

condutância estomática pela aplicação de ácido salicílico desempenha um papel importante na manutenção da atividade fotossintética e os danos são reduzidos (IDREES et al., 2010).

O déficit hídrico diminui a concentração interna de CO_2 (Ci) em todos os tratamentos aos 60 DAE (Tabela 6). Podendo evidenciar principalmente que o tratamento controle (10 kPa) com ácido salicílico acumulou um 14% a mais de CO_2 em comparação com o tratamento com déficit hídrico (45 kPa) sem aplicação de AS (Figura 15).

Figura 15- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo na concentração de CO_2 intercelular (Ci) da folha na planta de batata. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



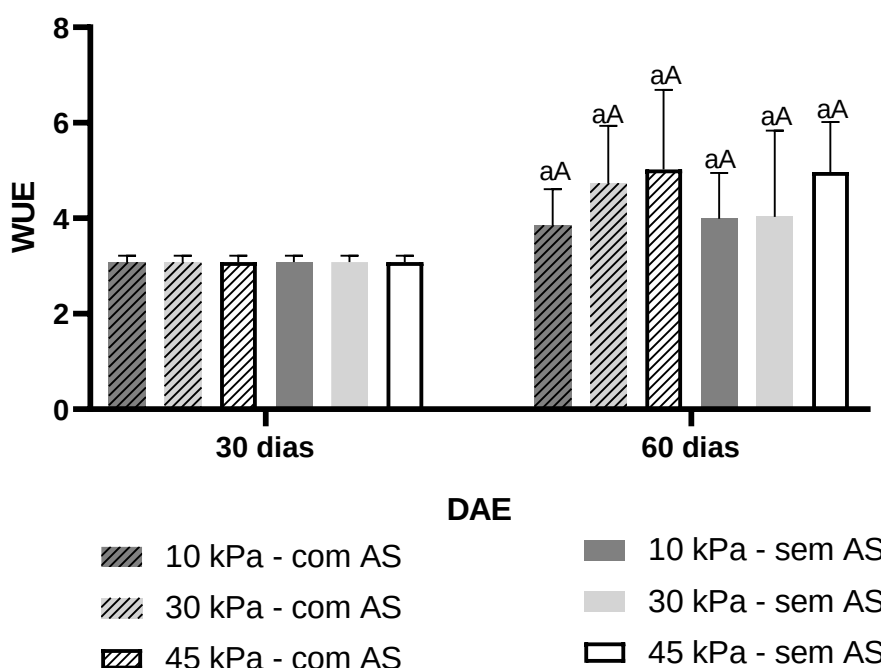
Sob condições restritas de fornecimento de água, o nível interno de CO_2 é reduzido devido ao fechamento precoce do estômato e a exposição contínua à luz solar causa transferência de elétrons para o oxigênio molecular resultando na geração de íons superóxidos na PSI pelo processo chamado de reação Mehler (AHANGER et

al., 2017). Plantas de feijão-caupi sobre condições de estresse hídrico e com aplicação de ácido salicílico evidenciou ampla dependência do fechamento estomático, que diminuiu o CO₂ interno disponível e restringiu a perda de água por transpiração. Sendo eficaz para a prevenção de grandes perdas no potencial hídrico foliar (SADEGHIPOUR; AGHAEI, 2012).

A eficiência do uso (WUE) não apresentou mudança estatística significativa entre tensão de água no solo e aplicação de ácido salicílico (Tabela 6). Pode-se observar que os tratamentos com tensão de solo de 45 kPa com e sem ácido salicílico apresentaram maiores valores de uso eficiente de água (Figura 16).

SHAH JAHAN et al. (2019a) observaram que aplicação foliar de ácido salicílico em plantas de tomate sobre condições de estresse térmico apresentou aumento no uso eficiente da água na folha da planta em comparação com o controle.

Figura 16- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) em tensão de água no solo no uso eficiente da água (WUE) da folha na planta de batata Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

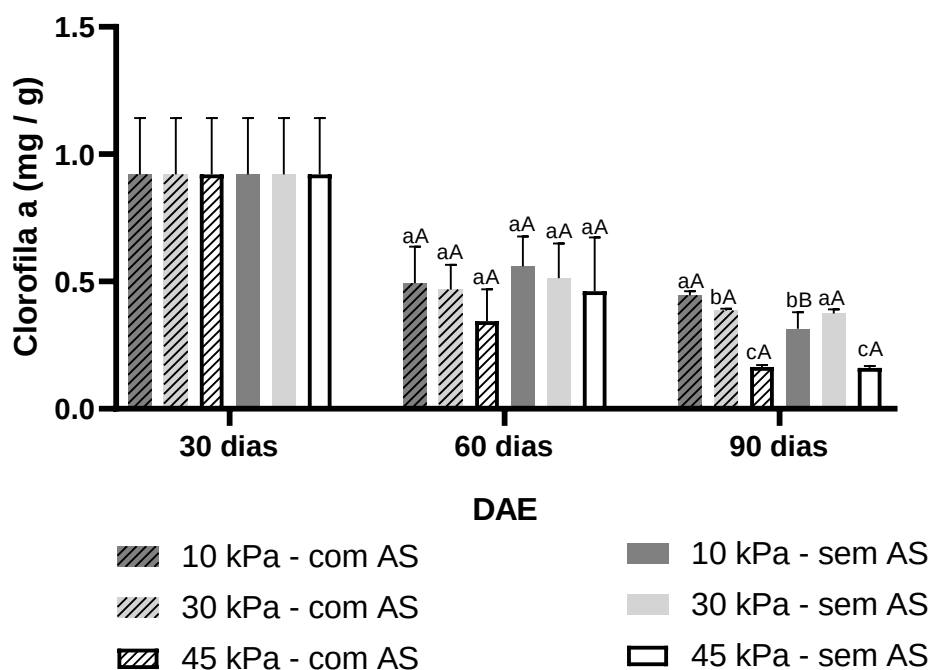


1.3.5 Pigmentos Fotossintéticos

O conteúdo de clorofila mostrou ser um importante indicador da eficiência fotossintética. A clorofila a é o pigmento fotossintético responsável pela absorção da luz na primeira fase da fotossíntese, enquanto a clorofila b e carotenoides, auxiliam na absorção da luz e na transferência de energia para os centros de reação.

A clorofila a e b nas folhas foram diminuídas pelo déficit hídrico em relação ao controle (Figura 17 e 18). A lesão no aparato fotossintético, que inclui as clorofilas e os carotenoides, prejudica o processo fotossintético resultando na redução do crescimento e produtividade das plantas.

Figura 17- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de clorofila a nas folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

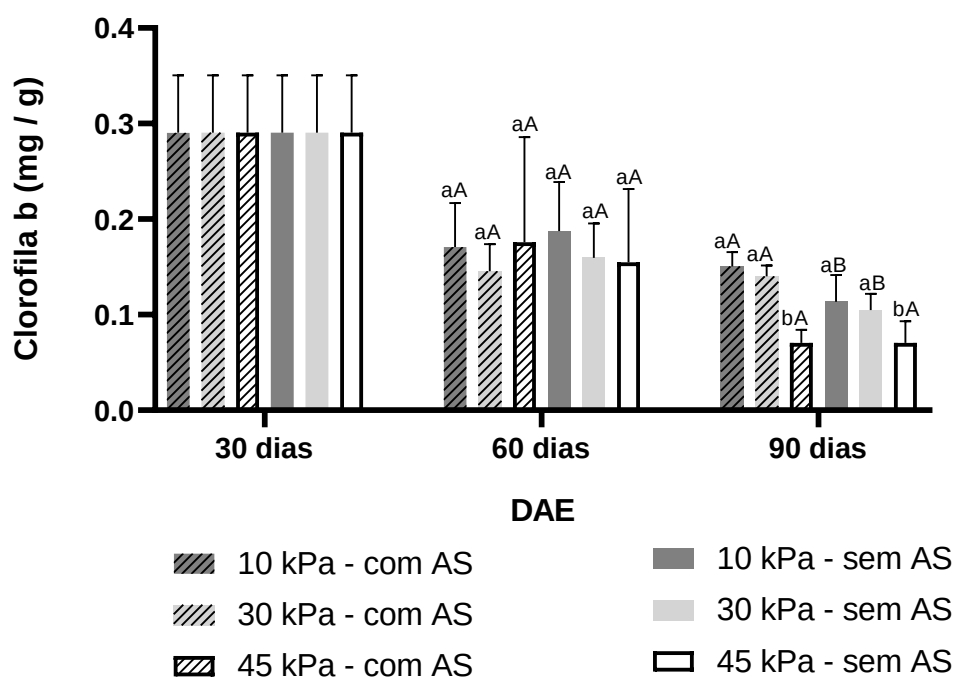


Os efeitos negativos do déficit hídrico sobre os pigmentos fotossintéticos são causados pelo aumento da atividade da enzima clorofilase, que resulta na degradação

da clorofila, bem como a destruição das cloroplastos e instabilidade do complexo proteico provocado pelo aumento do níveis de espécies reativas de oxigênio (ERO) (ASKARI; EHSANZADEH, 2015) .

Além disso, a redução e posterior estabilidade na degradação da clorofila a e b sugere uma redução do processo de oxidação da clorofila (KHAPTE et al., 2019), corroborando o resultado de que o ácido salicílico mitiga efeitos do déficit hídrico. Esses resultados estão de acordo com os achados por LOBATO et al. (2021), que estudaram aplicação exógena de ácido salicílico sobre déficit hídrico em tomate, verificando o aumento nos pigmentos de cloroplastos encontrados no presente estudo.

Figura 18- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de clorofila b nas folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

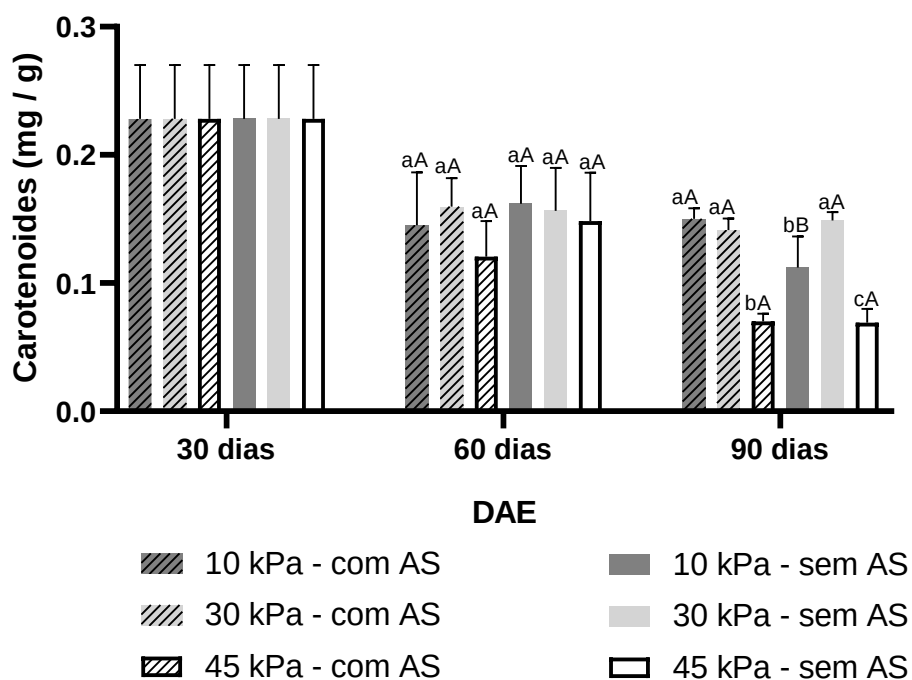


LI et al. (2019) também constataram que a aplicação de ácido salicílico foi capaz de promover positivamente o aumento dos níveis de clorofila a, clorofila b,

clorofila total e carotenoides na cultura da batata sob estresse oxidativo por metais pesados no solo, concordando com os resultados deste estudo.

O conteúdo de carotenoides de todos os tratamentos diminuiu significativamente aos 90 dias de avaliação quando submetidos ao déficit hídrico, em relação ao controle (Figura 19). A aplicação exógena de ácido salicílico provavelmente diminuiu a atividade da clorofilase combinada com concentrações reduzidas de ERO e aumento no conteúdo de carotenoides. Os carotenoides têm funções adicionais na eliminação de ERO, estabilizam complexos fotossintéticos, participam na dissipação de energia e podem ajudar as plantas a reduzir os efeitos adversos do déficit hídrico (RAZMI et al., 2017).

Figura 19- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de carotenoides nas folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

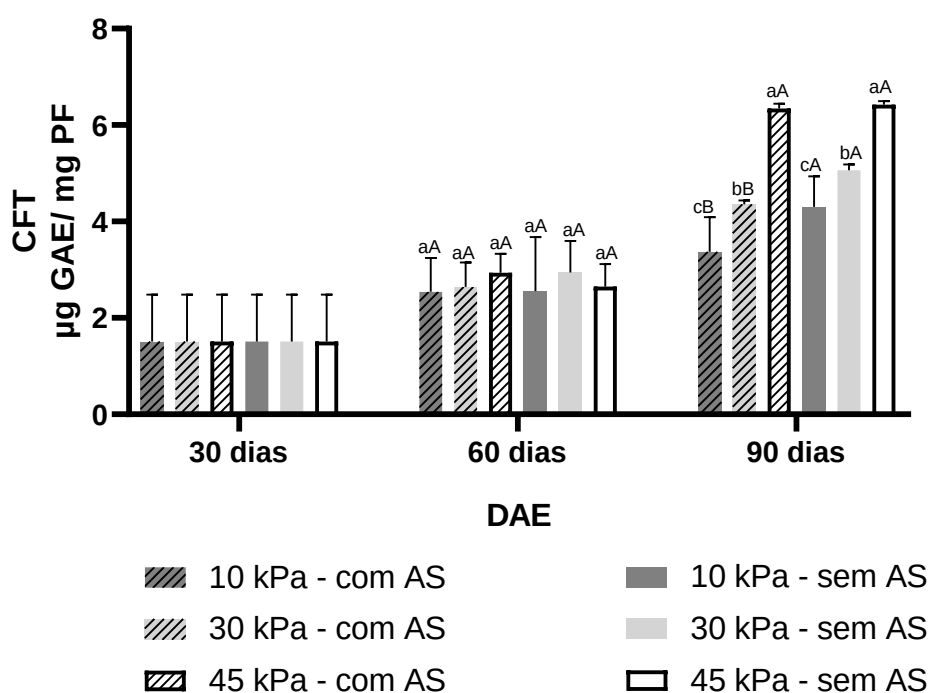


1.3.6 Parâmetros bioquímicos

1.3.6.1 Compostos fenólicos totais (CFT) e Flavonoides totais (FT)

O maior valor para CFT foi registrado para folhas das plantas estressadas pelo déficit hídrico (45 kPa) sem aplicação foliar de AS atingindo 6,42 μg ácido gálico / mg peso fresco em relação com 3,36 μg ácido gálico / mg peso fresco nas plantas sem déficit (10 kPa) e com aplicação foliar de AS; portanto, um aumento de cerca de 2 vezes devido às condições aplicadas aos 90 DAE (Figura 20).

Figura 20- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT) das folhas nas plantas de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

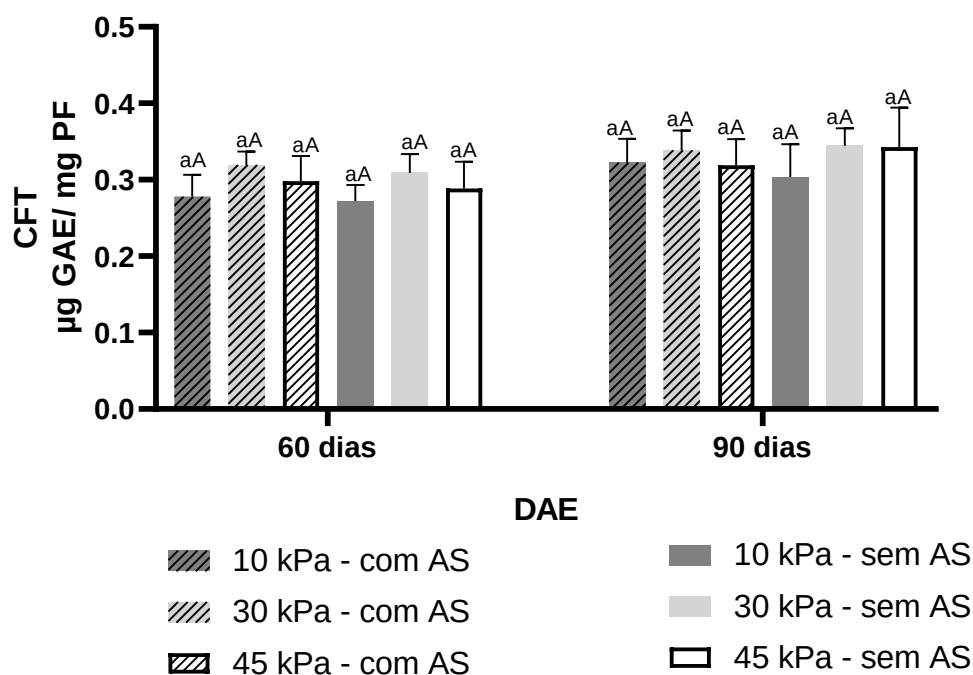


Em geral, os metabólitos secundários desempenham um papel importante na proteção das plantas ao estresse ambiental, como alta intensidade luminosa, fermento, baixo nutriente, baixa temperatura, patógeno e seca (AKULA; RAVISHANKAR, 2011).

Em muitas espécies de plantas, os compostos fenólicos aumentaram quando as plantas foram submetidas ao estresse hídrico. Por exemplo, a seca induziu a produção de compostos fenólicos em folhas de variedades de trigo com resistência ao estresse hídrico (HAMEED; GOHER; IQBAL, 2013). Em folhas de milho, a atividade PAL, enzima chave para a síntese de compostos fenólicos e o conteúdo de fenólicos totais foram aumentados em genótipos resistentes quando a cultura foi submetida à seca na fase de cinco folhas (HURA; HURA; GRZESIAK, 2008).

No entanto, os compostos fenólicos foram reduzidos sob estresse hídrico em algumas espécies de culturas como tomate cereja (SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ et al., 2011). Não se evidenciou mudança significativa no teor de CFT no tubérculo durante os períodos de avaliação (60 e 90 DAE) (Figura 21). Podendo perceber que a maior atividade destes compostos bioativos se apresenta na área foliar e não no tubérculo.

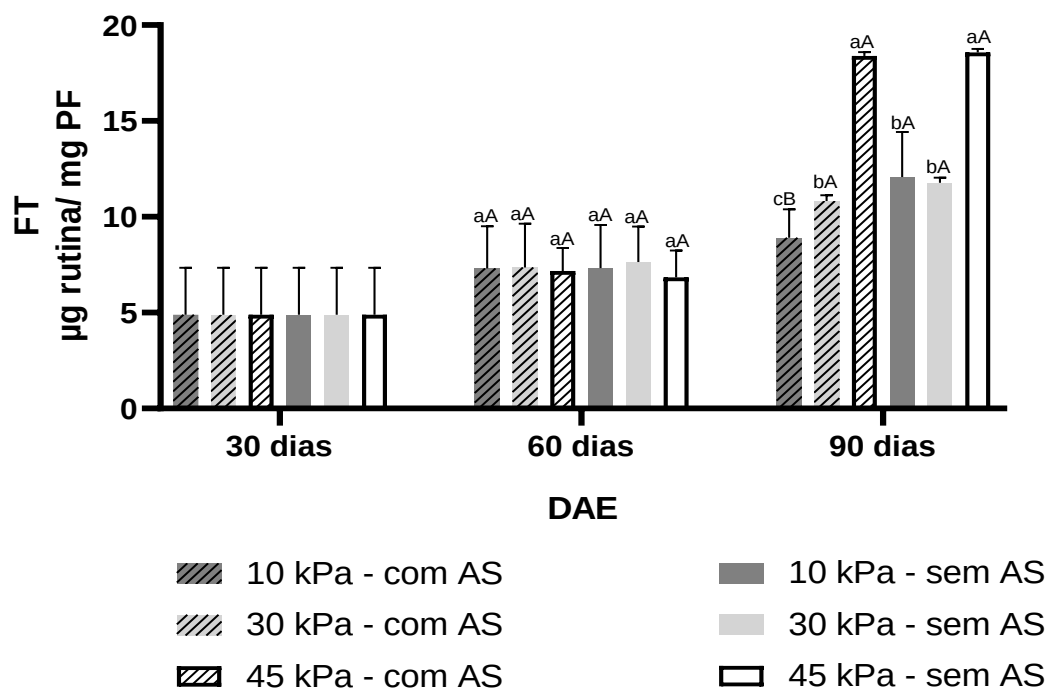
Figura 21- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT) no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a médias de cinco repetições



Os resultados obtidos neste estudo indicam que o estresse hídrico por si só aumentou a síntese de polifenóis na parte aérea da planta da batata, e que a aplicação de ácido salicílico ajuda no controle do estresse oxidativo da planta, reduzindo as espécies reativas de oxigênio.

Flavonoides totais (FT) aumentou de 8,90 µg rutina/ mg peso fresco em folha da planta controle (10 kPa) com ácido salicílico para 18,57 µg rutina/mg de peso fresco em plantas com estresse hídrico (45 kPa) sem aplicação de ácido salicílico; isto é, um aumento de 2 vezes no FT resultou das condições mencionadas até os 90 DAE (Figura 22). Podendo observar que aplicação exógena de ácido salicílico pode ser um sinalizador para a planta sintetizar maior quantidade de compostos fenólicos sob condições de estresse oxidativo.

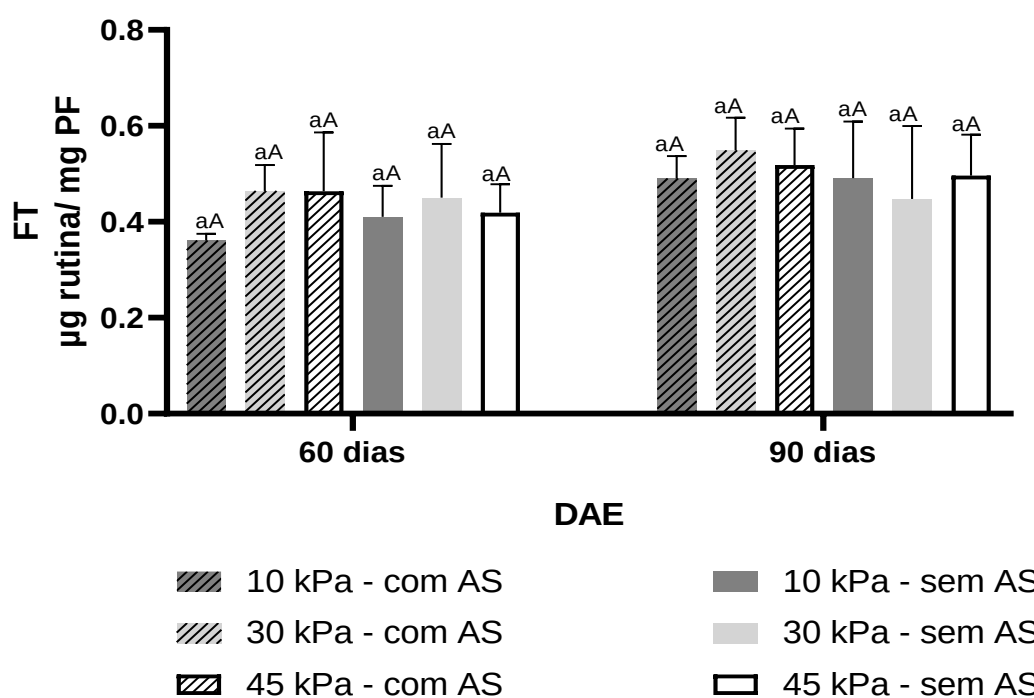
Figura 22- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de flavonoides totais (FT) as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



O conteúdo de FT não apresentou mudança significativa no tubérculo da batata durante os dois estádios de avaliação (60 e 90 DAE) (Figura 23).

Em diferentes estudos, o acúmulo de flavonoides também é relatado como molécula redutora de ERO sob condição de déficit de água (NAKABAYASHI et al., 2014; TREUTTER, 2006).

Figura 23- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de flavonoides totais (CFT) no tubérculo na planta de batatas. As amostras foram avaliadas 60 e 90 dias após a emergência (DAE). Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

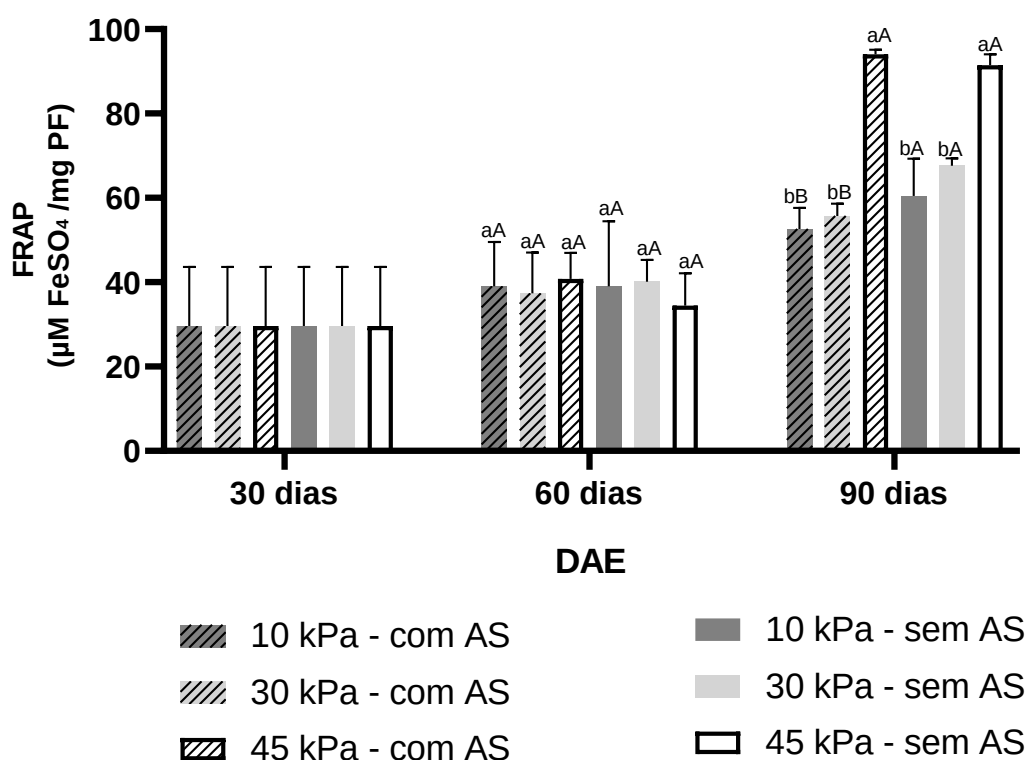


Flavonoides tem sido associado à tolerância ao estresse, seja por fornecer foto-proteção indireta por espalhamento de luz ou por atuar diretamente como antioxidante. Evidenciando neste estudo que na estrutura morfológica da planta da batata, é na área foliar onde se apresenta maior atividade de síntese de flavonoides.

1.3.6.2 Atividade antioxidante (FRAP, ABTS e DPPH)

Ensaio de poder antioxidante redutor de íons férricos (FRAP) foram realizados para determinar se as amostras tem poder redutor eficiente como uma indicação de potencial antioxidante (GULCIN, 2020).

Figura 24- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo atividade antioxidante FRAP as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



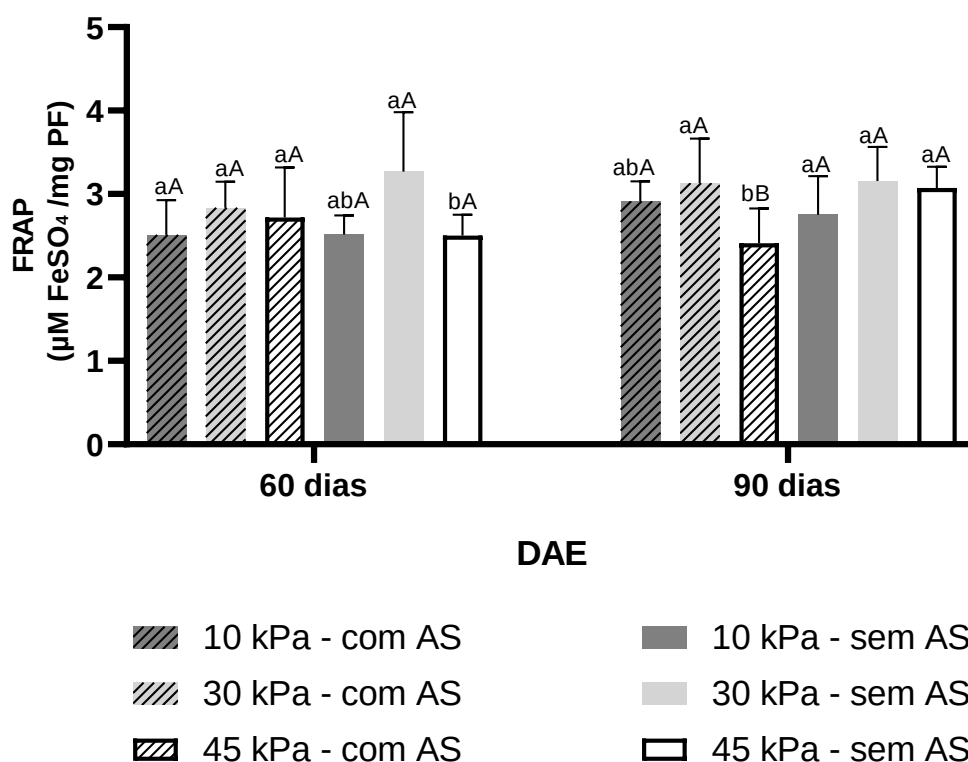
As condições de déficit hídrico induziram na área foliar da planta de batata um aumento significativo nos valores do teste antioxidante FRAP. No entanto, aos 90 DAE as plantas em condição de déficit hídrico (45 kPa) com AS e sem AS atingiram valores de 94,03 $\mu\text{M FeSO}_4 \text{ mg}^{-1}$ peso fresco e 91,44 $\mu\text{M FeSO}_4 \text{ mg}^{-1}$ peso fresco respectivamente em relação com 52,63 $\mu\text{M FeSO}_4 \text{ mg}^{-1}$ peso fresco (10 kPa – com AS) e 60,48 $\mu\text{M FeSO}_4$ (10 kPa – sem AS), por tanto evidenciando um incremento de

1,5 vezes (Figura 24). Evidenciando que a folha da planta inicia o processo de síntese de compostos bioativos frente a percepção de acúmulo de espécies reativas de oxigênio no tecido vegetal.

Aos 60 DAE, observa-se diferença significativa na atividade antioxidante do tubérculo da batata especificamente nos tratamentos sem aplicação foliar de AS, sendo a planta submetida a déficit hídrico de 30 kPa a que apresentou valores de 3,26 $\mu\text{M FeSO}_4 \text{ mg}^{-1}$.

A atividade antioxidante FRAP do tubérculo da batata apresenta diferença significativa também aos 90 DAE, sendo o tratamento com aplicação foliar de AS que apresentou esta mudança, sendo o tratamento com déficit hídrico de 30 kPa o que atinge os maiores valores (3,12 $\mu\text{M FeSO}_4 \text{ mg}^{-1}$) (Figura 25).

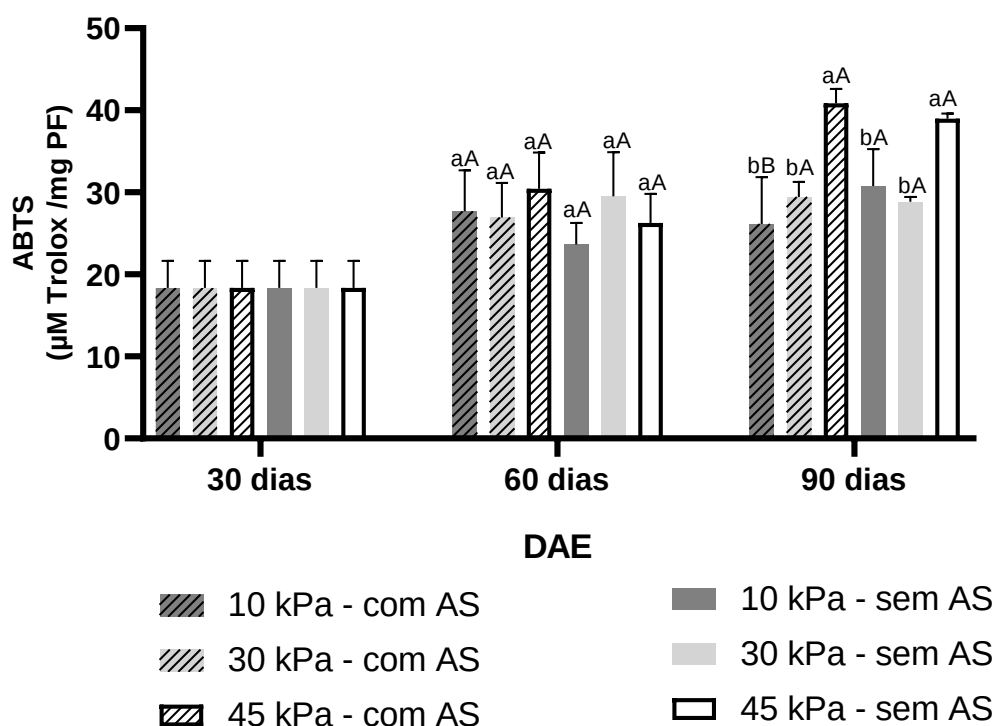
Figura 25- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo na atividade antioxidante FRAP no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



O aumento da quantidade de capacidade antioxidante sob estresse hídrico é variável, dependendo da atividade de síntese e distribuição de diferentes compostos antioxidantes na planta, e também de outros fatores como, por exemplo, a duração e intensidade do estresse (REDDY; CHAITANYA; VIVEKANANDAN, 2004b).

Dentre os fitoquímicos com atividade antioxidante, os compostos fenólicos são um dos grupos mais importantes e muitos autores atribuem suas propriedades antioxidantes à sua relativa abundância em diferentes tecidos (FARES et al., 2010).

Figura 26- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo na atividade antioxidante ABTS as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

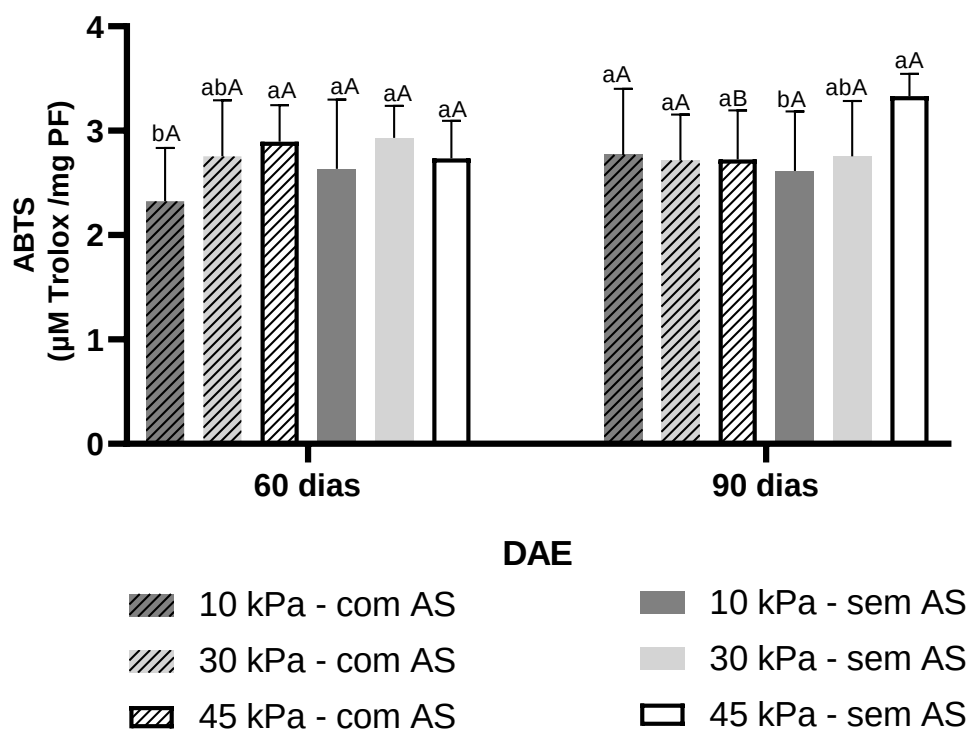


A atividade antioxidante determinada pelo ensaio ABTS⁺ foi afetada significativamente pelo déficit hídrico (45 kPa) com AS (40,84 µM Trolox mg⁻¹) e sem AS (38,96 µM Trolox mg⁻¹) em comparação aos tratamentos controle (10 kPa) com AS (26,16 µM Trolox mg⁻¹) aos 90 DAE (Figura 26). Em condições de estresse oxidativo severo, pode-se evidenciar uma relação direta de síntese de espécies reativas de

oxigênio, gerando uma reação automática da planta de sintetizar compostos bioativos para reduzir as moléculas ERO.

Aos 60 DAE o tubérculo submetido a aplicação foliar de AS e em condições de déficit hídrico de 45 kPa apresentou maior valor de atividade antioxidante pelo ensaio ABTS+ com 2,89 μM Trolox mg^{-1} . Observando um comportamento diferente para o tubérculo aos 90 DAE, sendo o tratamento sem aplicação foliar de AS e em condições de déficit hídrico de 45 kPa o tratamento que apresentou um maior valor de atividade antioxidante com 3,33 μM Trolox mg^{-1} (Figura 27).

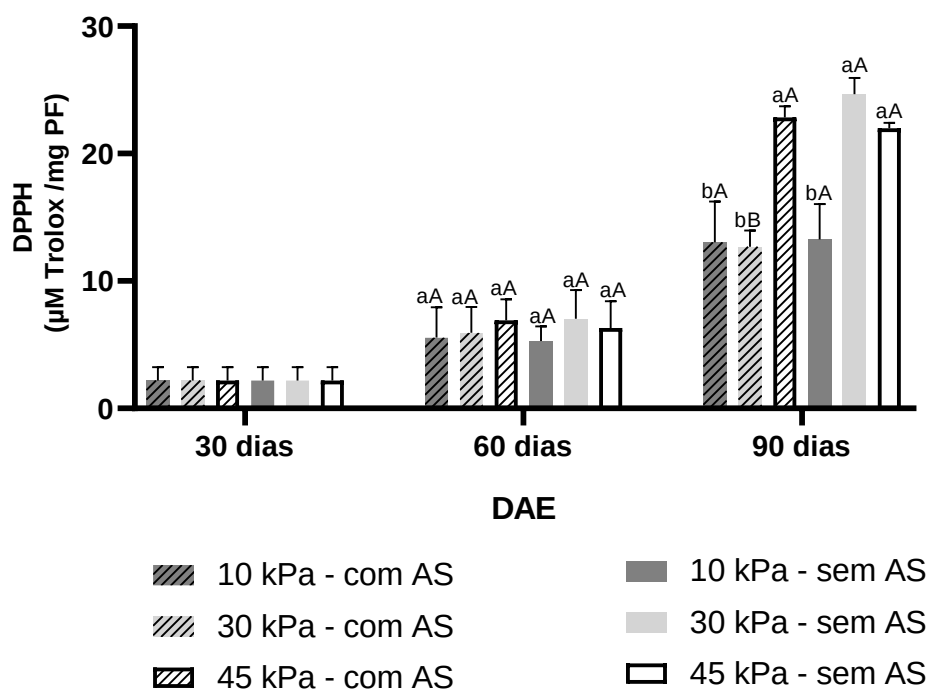
Figura 27- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo na atividade antioxidante ABTS no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



A atividade de eliminação de radicais dos extratos testados sobre o radical livre DPPH aumentou significativamente com o aumento do déficit hídrico e aplicação foliar de AS nos diferentes tratamentos na planta aos 90 DAE.

Fica evidente através do aumento observado no valor da capacidade antioxidante de 13,04 μM Trolox mg^{-1} peso fresco nas folhas das plantas (10 kPa – com AS) para 21,99 μM Trolox mg^{-1} peso fresco em plantas com déficit hídrico (45 kPa – sem AS), sendo um aumento de 1,6 vezes na capacidade antioxidante (Figura 28).

Figura 28- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo atividade antioxidante DPPH as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

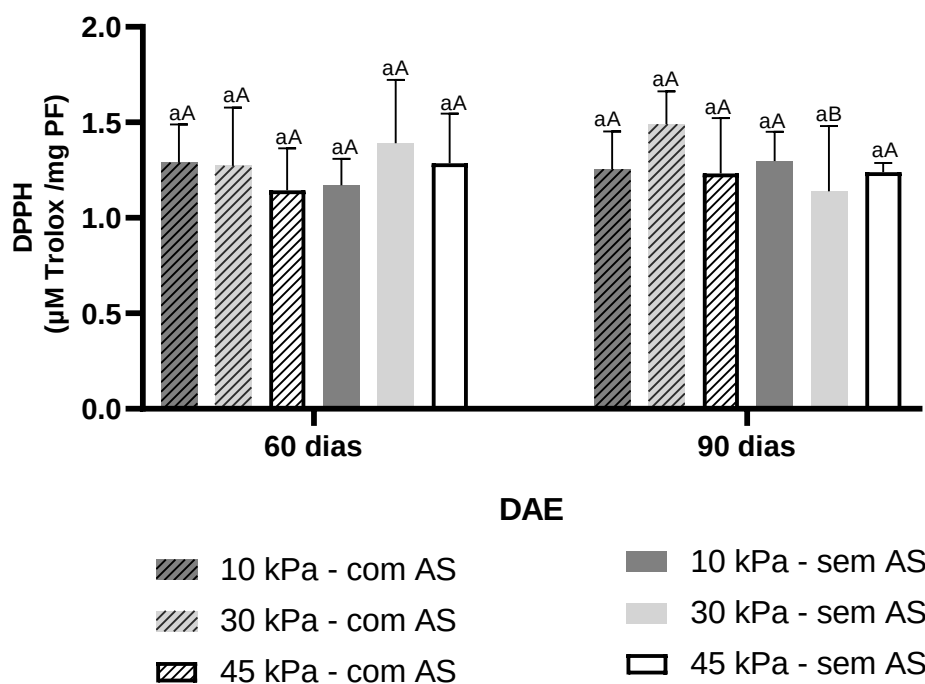


A atividade antioxidante do tubérculo de batata medida pelo método DPPH inicialmente variou entre 1,13 μM Trolox mg^{-1} (30 kPa -sem AS) e 1,49 μM Trolox mg^{-1} (30 kPa -com AS). Durante os dois estádios de avaliação (60 e 90 DAE), as diferenças nas alterações da atividade do DPPH entre as 3 condições de tensão de

água no solo e aplicação de ácido salicílico, só apresentou diferença significativa entre aplicação de AS na tensão de água de 30 kPa aos 90 DAE com um valor máximo de 1,49 μM Trolox mg^{-1} (Figura 29).

Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que o estresse hídrico por si só aumento a síntese de compostos bioativos como compostos fenólicos e flavonoides nas partes aéreas da planta de batata, e que aplicação de AS gerou um controle moderado da síntese de metabolitos secundários. Este comportamento foi apoiado pelo evidente aumento na capacidade de eliminação de radicais dos diferentes ensaios de antioxidante. AS poderia induzir a expressão de genes responsáveis por enzimas envolvidas no acúmulo de metabólitos antioxidantes, como terpenóides e polifenóis, incluindo flavonóides (KUMAR, 2014).

Figura 29- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo na atividade antioxidante DPPH no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

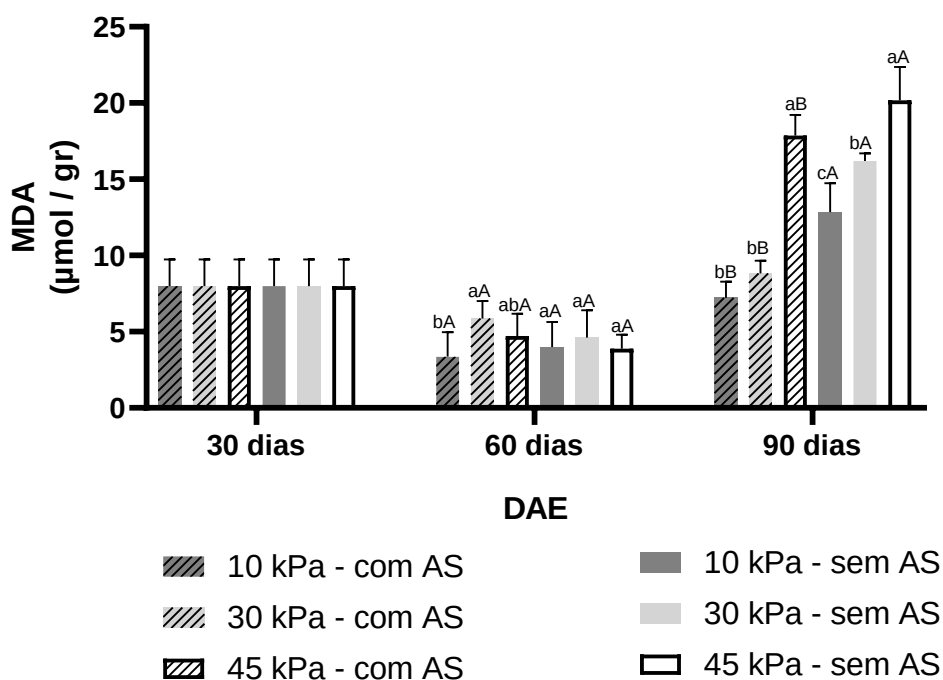


Os valores da atividade antioxidante do DPPH aqui obtidos estão dentro dos valores relatados por ALHOSHAN et al. (2019b) em batata.

1.3.6.3 MDA e Prolina

O conteúdo de MDA é considerado com indicador biológico chave da peroxidação lipídica celular, o que pode indicar a extensão do dano nas membranas das células vegetais. Assim, o teor de MDA das folhas e do tubérculo de batata também foi medido neste estudo. Maior teor de MDA foi detectado nas folhas das plantas com déficit hídrico (30 e 45 kPa) do que em plantas sem déficit hídrico (Figura 30). Quando tratadas com AS, as folhas das plantas apresentam menor teor de MDA em comparação com plantas sem tratamentos com AS especificamente no 90 DAE.

Figura 30- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no conteúdo de MDA as folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



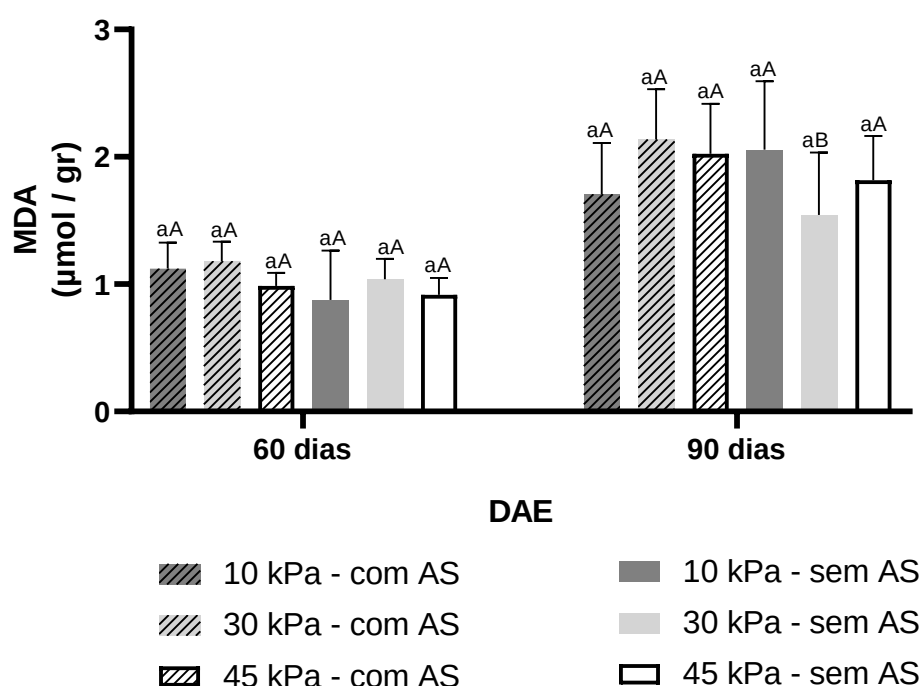
O teor de MDA não apresentou diferença significativa relevante no tubérculo tanto aos 60 DAE. Aos 90 DAE se consegue observar mudança significativa no

conteúdo de MDA entre os tratamentos com tensão de água no solo de 30 kPa e a aplicação de AS (Figura 31).

A concentração de MDA e os danos na membrana celular aumentam em condições de déficit hídrico devido ao aumento da produção de EROs (KUNDU et al., 2020). A aplicação de SA amenizou os efeitos danosos do déficit hídrico nas membranas celulares da batata.

O MDA desencadeia a ação dos radicais livres e os compostos bioativos têm um papel fundamental na proteção contra estes (MOHAREKAR et al., 2003).

Figura 31- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no conteúdo de MDA no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

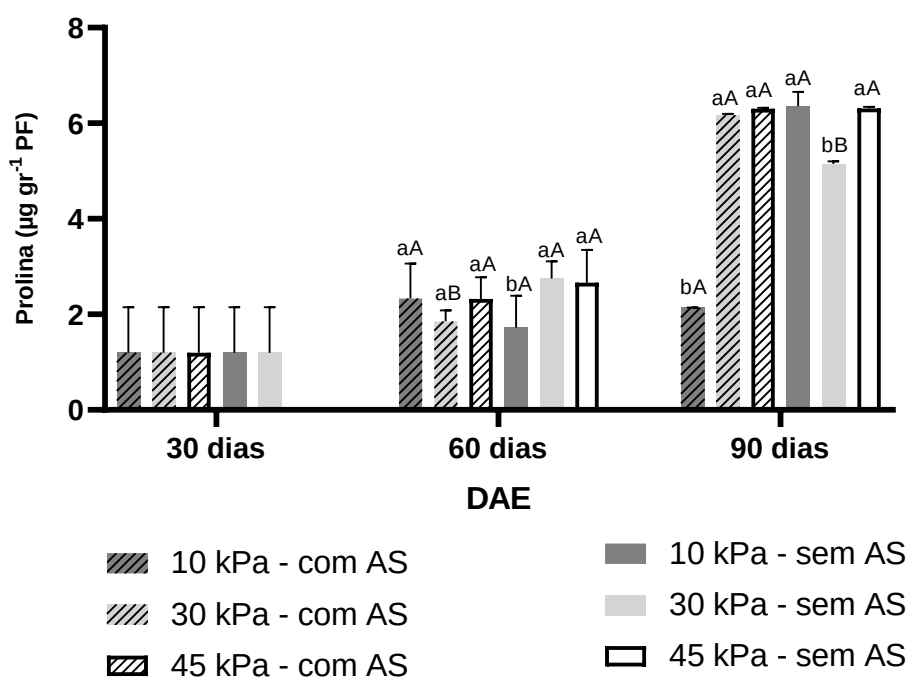


Neste estudo, o aumento de MDA foi detectado em plantas de batata sobre condições de déficit hídrico, o que corrobora estudos anteriores (RAZMI et al., 2017). Menor MDA foi detectado com a aplicação exógena de AS sobre estresse por déficit

hídrico, sugerindo funcionamento para a restauração do dano da peroxidação lipídica em plantas de batata.

A prolina é um aminoácido importante para o ajuste osmótico das plantas, contribui para a concentração de solutos nas células vegetais, reduz o potencial osmótico e alivia o estresse de desidratação, que é propício para manter o progresso normal da água e vários processos fisiológicos das células.

Figura 32- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no conteúdo de prolina nas folhas das plantas de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



Nossos dados mostraram que o teor de prolina não foi significativamente diferente entre as plantas tratadas com ácido salicílico sobre as condições de déficit hídrico aos 60 DAE. No entanto, o teor de prolina apresentou mudança significativa nas folhas da planta aos 90 DAE sendo o tratamento submetido a tensão de água no solo de 10 kPa e com aplicação foliar de AS o que apresentou menores teores de prolina, indicando que o AS promoveu alta produção de prolina em plantas de batata

submetidas a déficit hídrico para aumentar a concentração de soluto nas células, reduzir o potencial osmótico e aliviar o estresse por desidratação.

Altos níveis de prolina livre mantêm baixo potencial hídrico nas plantas, promovendo a absorção de água do ambiente (ALHOSHAN et al., 2019a). A aplicação exógena de AS aumentou o acúmulo de prolina em plantas de batata expostas ao estresse por déficit hídrico (Figura 32), indicando funcionamento para osmoproteção e restauração de água tecidual.

Resultados semelhantes também foram relatados em outras plantas expostas ao tratamento com AS em condições de déficit hídrico (RAZMI et al., 2017; SHAH JAHAN et al., 2019b). Os resultados acima mostraram que o aumento do teor de água e prolina nos tecidos após a suplementação de AS sob condições de estresse por déficit hídrico contribuiu para o aumento da resistência ao estresse hídrico das plantas.

1.3.6.4 Atividade das enzimas antioxidante (SOD e POD)

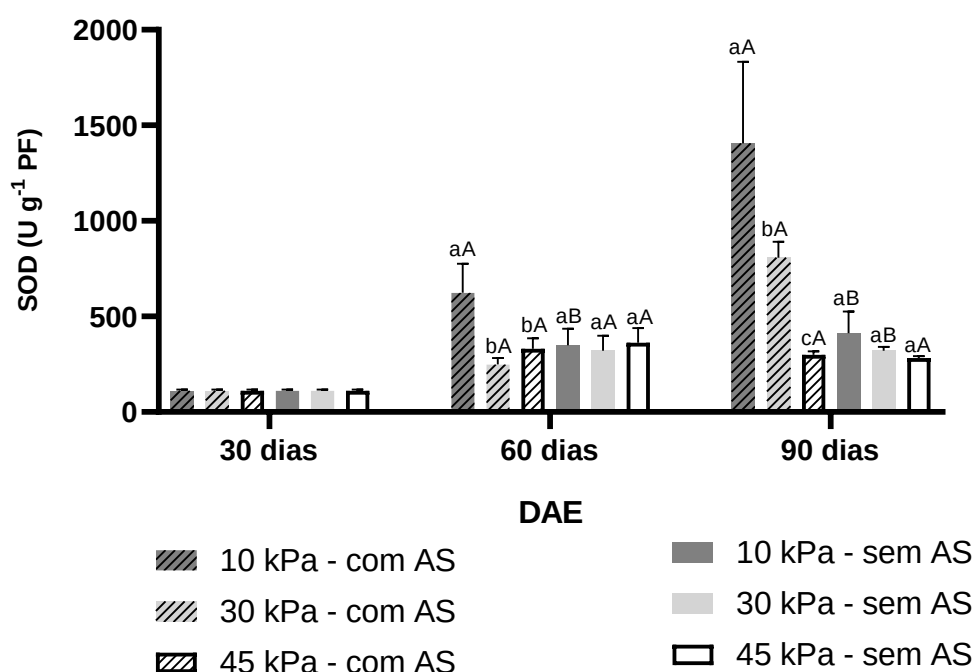
A fim de eliminar a toxicidade das ERO, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa antioxidantes eficazes durante o longo processo evolutivo, entre os quais SOD, CAT, APX e GR são as principais enzimas antioxidantes, que podem se acumular e ser ativadas rapidamente sob estresse por déficit hídrico. Isto regula o equilíbrio de ERO em células e reduz os efeitos de negativos de ERO para as plantas (WU et al., 2017).

Sob estresse abiótico, SOD é a primeira enzima antioxidante que defende a célula contra a oxidação que converteu os radicais de superóxido (O_2^-) em agentes menos tóxicos como o H_2O_2 (GILL; TUTEJA, 2010).

Pode-se observar que para os 90 DAE o tratamento com aplicação foliar de AS e com tensão de solo 10 kPa apresenta um aumento de 20 vezes de conteúdo de SOD em comparação com o tratamento sem aplicação de SOD e com déficit hídrico de 45 kPa (Figura 33).

Algumas pesquisas ilustraram que o AS está envolvido em resposta ao estresse por déficit hídrico através do aprimoramento da defesa enzimática antioxidante (ABABAF; OMIDI; BAKHSHANDEH, 2021).

Figura 33- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água na atividade da SOD das folhas na planta de batatas. As amostras foram avaliadas 30-60 e 90 dias após a emergência (DAE). Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

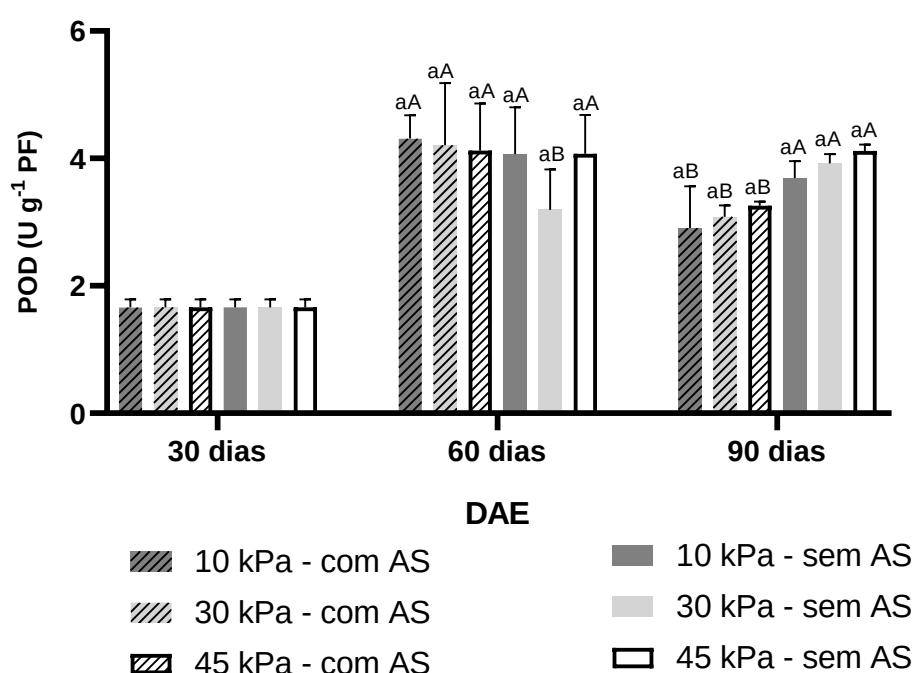


Esses resultados confirmam a hipótese do papel do AS na regulamentação das atividades antioxidantes enzimáticas para proteger as plantas dos danos oxidativos induzidos pelo estresse da seca (WANI et al., 2017).

A atividade da POD resultou em um aumento nas plantas de batata em condições de déficit hídrico em comparação com o controle aos 60 e 90 DAE. Podendo evidenciar que a aplicação foliar de AS aumenta a formação da enzima antioxidante. Em condições de déficit hídrico severo (45 kPa) sem aplicação de AS apresentou

maior acúmulo de POD (4,11 U gr⁻¹ PF) em comparação com as plantas em condições controle (10 kPa) com aplicação de AS (2,90 U gr⁻¹ PF) (Figura 34).

Figura 34- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água na atividade da peroxidase (POD) das folhas na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



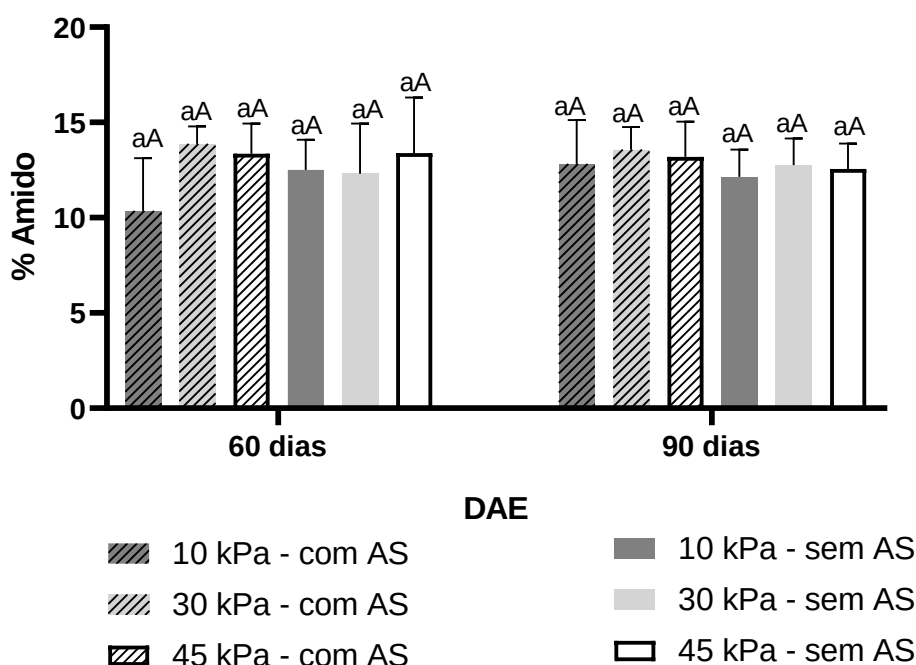
A aplicação de AS também promoveu aumentos nas atividades de SOD, CAT e POD nas plantas tomate sob déficit hídrico, o que foi explicado pelo fato de que as respostas antioxidantes induzidas por SA são essenciais para proteger a planta do estresse oxidativo (FAN et al., 2022). SEDAGHAT et al. (2017) também observaram aumentos nas atividades de POD em plantas de trigo tratadas com AS e sob estresse hídrico, confirmando que a AS pode estimular o mecanismo enzimático antioxidante.

1.3.6.5 % Amido

O teor de amido foi estimado no tubérculo aos 60 e 90 DAE. O teor máximo de amido foi observado em tubérculos em condições de tensão de água no solo de 45 kPa sem aplicação de AS (13,39%) em comparação com o tubérculo com 10 kPa de tensão de solo com AS (10,35%) apresentando um acúmulo de amido de 1,29 vezes a mais.

Aos 90 DAE a maior porcentagem de amido foi registrado para tubérculos com tensão de água no solo de 30 kPa com AS atingindo 13,57% em relação com 12,13% nos tubérculos com 10 kPa sem aplicação de AS (Figura 35).

Figura 35- Efeito da aplicação foliar de ácido salicílico (AS) e tensão de água no solo no % de amido no tubérculo na planta de batatas. Letras maiúsculas diferentes entre as concentrações de AS (com e sem AS em condições de água iguais) e letra minúsculas entre as condições de água (10 – 30 e 45 kPa sobre condições de AS iguais) indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a médias de cinco repetições



Resultados semelhantes foram obtidos por RUDACK et al. (2017). Eles concluíram que o teor de amido não é afetado pelo estresse hídrico, implicando que

as reduções no rendimento de amido foram atribuíveis às reduções no rendimento de tubérculos.

1.3.7 Coeficiente de correlação de Pearson entre dados bioquímicos

Para justificar as correlações entre os componentes bioquímicos e outros parâmetros, realizamos o teste de correlação de Pearson (Tabela 14).

O CFT correlacionou-se positivamente de forma significativa com FT, atividade antioxidante (FRAP, ABTS e DPPH) e conteúdo de MDA, enquanto correlacionou-se negativamente com os pigmentos fotossintéticos (clorofila a e b) e carotenoides. Observou-se tendência similar com FT que se correlacionou significativamente de forma positiva com CFT, atividade antioxidante (FRAP, ABTS e DPPH) e conteúdo de MDA, e negativamente com clorofila a, clorofila b e carotenoides.

Enzima SOD apresentou correlação significativa de forma negativa com CFT, FT e atividade antioxidante, enquanto correlacionou-se positivamente com os pigmentos fotossintéticos. Enzima POD e prolina apresentam correlação positiva com CFT, FT e atividade antioxidante, e correlação negativa com os pigmentos fotossintéticos.

A partir da tabela, concluímos que compostos fenólicos, flavonoides, MDA tem uma correlação positiva com atividade antioxidante, mas pigmentos fotossintéticos e SOD tem correlação negativa.

Tabela 14- Coeficiente de correlação de Pearson entre parâmetros bioquímicos

	CFT	FT	FRAP	ABTS	DPPH	MDA	SOD	POD	Prol	%Am	Clo a	Clo b	Car	% massa seca T
CFT	1													
FT	0,896**	1												
FRAP	0,943**	0,948**	1											
ABTS	0,851**	0,875**	0,860**	1										
DPPH	0,778**	0,602**	0,728**	0,584**	1									
MDA	0,837**	0,805**	0,823**	0,695**	0,794**	1								
SOD	-0,656**	-0,662**	-0,627**	-0,526**	-0,601**	-0,794**	1							
POD	0,557**	0,381*	0,424*	0,326 ^{ns}	0,513**	0,614**	-0,464**	1						
Prol	0,625**	0,609**	0,510**	0,546**	0,272 ^{ns}	0,568**	-0,780**	0,430*	1					
%Am	-0,036 ^{ns}	-0,061 ^{ns}	-0,028 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,047 ^{ns}	-0,036 ^{ns}	-0,051 ^{ns}	-0,312 ^{ns}	-0,006 ^{ns}	1				
Chl a	-0,896**	-0,958**	-0,933**	-0,900**	-0,542**	-0,791**	0,667**	-0,436*	-0,649**	0,080 ^{ns}	1			
Chl b	-0,856**	-0,835**	-0,843**	-0,805**	-0,692**	-0,778**	0,658**	-0,577**	-0,549**	0,099 ^{ns}	0,854**	1		
Car	-0,770**	-0,924**	-0,871**	-0,827**	-0,371*	-0,696**	0,581**	-0,313 ^{ns}	-0,573**	0,117 ^{ns}	0,954**	0,724**	1	
%massa seca T	0,434*	0,335 ^{ns}	0,406*	0,335 ^{ns}	0,267 ^{ns}	0,343 ^{ns}	0,383*	0,005 ^{ns}	0,435*	0,237 ^{ns}	-0,383*	-0,280 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	1

Abreviatura: compostos fenólicos totais [**CFT**], flavonoides totais [**FT**], malondialdeído [**MDA**], superóxido dismutase [**SOD**], peroxidase [**POD**], prolina [**Prol**], clorofila a [**Clo a**], clorofila b [**Clo b**], carotenoides [**Car**], porcentagem massa seca do tubérculo [% **massa seca T**], porcentagem de amido [% **Am**]

*indica significância <0,05

** indica significância <0,001

ns: não significativo

1.3.8 Análise de componentes principais (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada no conjunto de dados dos resultados par os 6 tratamentos, a partir da combinação de três tensões de água no solo e dois doses de aplicação de AS, para as 12 características avaliadas (compostos fenólicos, flavonoides, atividade antioxidante, malondialdeído, enzimas antioxidativas, prolina e pigmentos fotossintéticos) na folha da planta de batata. A variabilidade total foi explicada por 12 componentes principais (CPs). Destes, os dois primeiros (CP1 e CP2) representam 85,50% da variação total (Tabela 15).

Tabela 15- Cargas fatoriais, autovalores e proporção de variação associados a quatro componentes principais (CP) da ACP de 12 parâmetros bioquímicos em 6 tratamentos

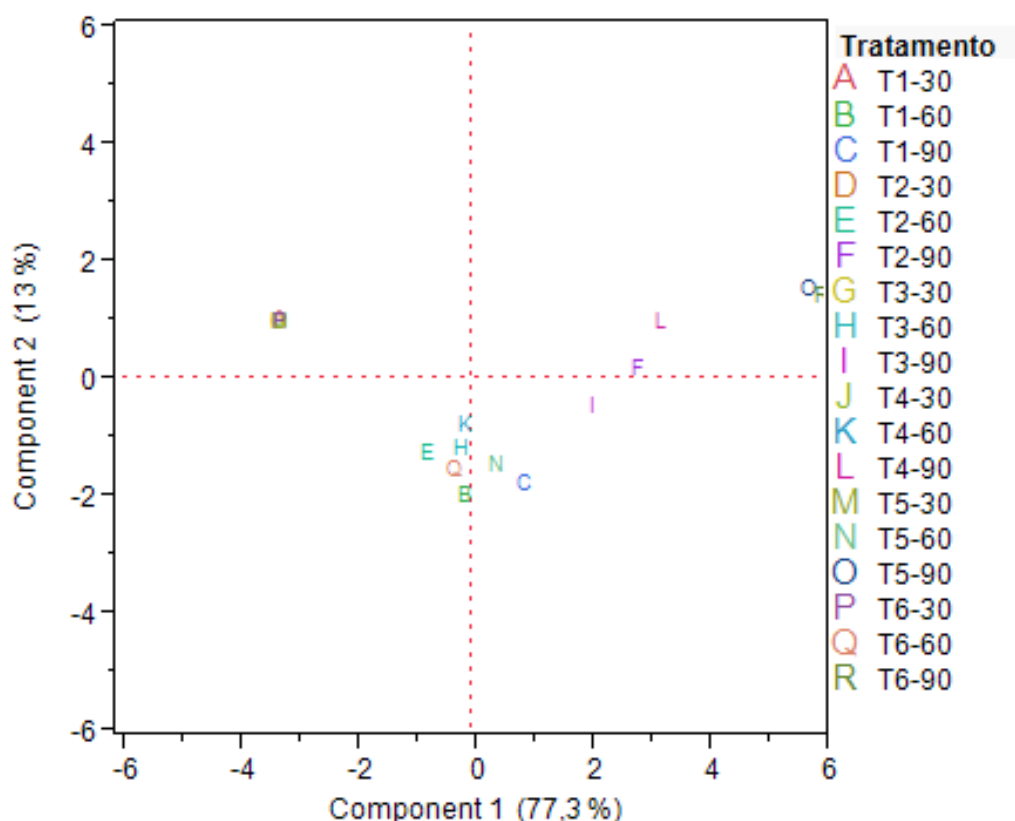
Características	CP1	CP2	CP3	CP4
CFT	0,983	0,160	0,045	0,007
FT	0,964	0,217	0,019	-0,077
FRAP	0,956	0,249	0,086	-0,018
ABTS	0,959	-0,096	-0,137	-0,094
DPPH	0,938	0,180	0,140	-0,009
MDA	0,720	0,666	0,086	-0,032
SOD	0,356	-0,600	0,714	-0,017
POD	0,682	-0,591	-0,369	0,033
Prol	0,913	0,190	0,062	0,337
Clo a	-0,944	0,302	0,092	-0,004
Clo b	-0,953	0,254	0,064	-0,034
Car	-0,958	0,200	0,124	0,064
Autovalor	9,281	1,564	0,735	0,171
Variabilidade (%)	77,35	13,03	6,12	1,42
Acumulativo (%)	77,35	90,38	96,51	97,94

Abreviatura: compostos fenólicos totais [**CFT**], flavonoides totais [**FT**], malondialdeído [**MDA**], superóxido dismutase [**SOD**], peroxidase [**POD**], prolina [**Prol**], clorofila a [**Clo a**], clorofila b [**Clo b**], carotenoides [**Car**].

O CP1, que explicou 77,3% da variação total, foi eficaz na separação dos tratamentos 45 kPa com e sem aplicação foliar de AS dos demais (Figura 36). O exame das cargas de CP1 (Figura 37) sugere que esta separação é devido à compostos fenólicos, flavonoides, atividade antioxidante (FRAP, ABTS e DPPH), prolina, MDA e peroxidase.

As pontuações e cargas de CP1 sugerem que as concentrações ou valores desses compostos foram maiores para as plantas em condições de estresse severo (45 kPa) e menores para as plantas aos 30 DAE onde não se apresenta déficit hídrico na planta, que se localizaram no lado negativo do eixo CP1. O contrário foi observado em relação aos pigmentos fotossintéticos (clorofila a e b) e carotenoides, que contribuíram de forma notável para a separação da condições da planta em CP1, porém com cargas negativas. Os escores e cargas de CP1 sugerem que todos esses componentes estavam presentes em níveis intermediários e semelhantes nos tratamentos 10 e 30 kPa com e sem aplicação foliar de AS, que estavam centrados no eixo CP1.

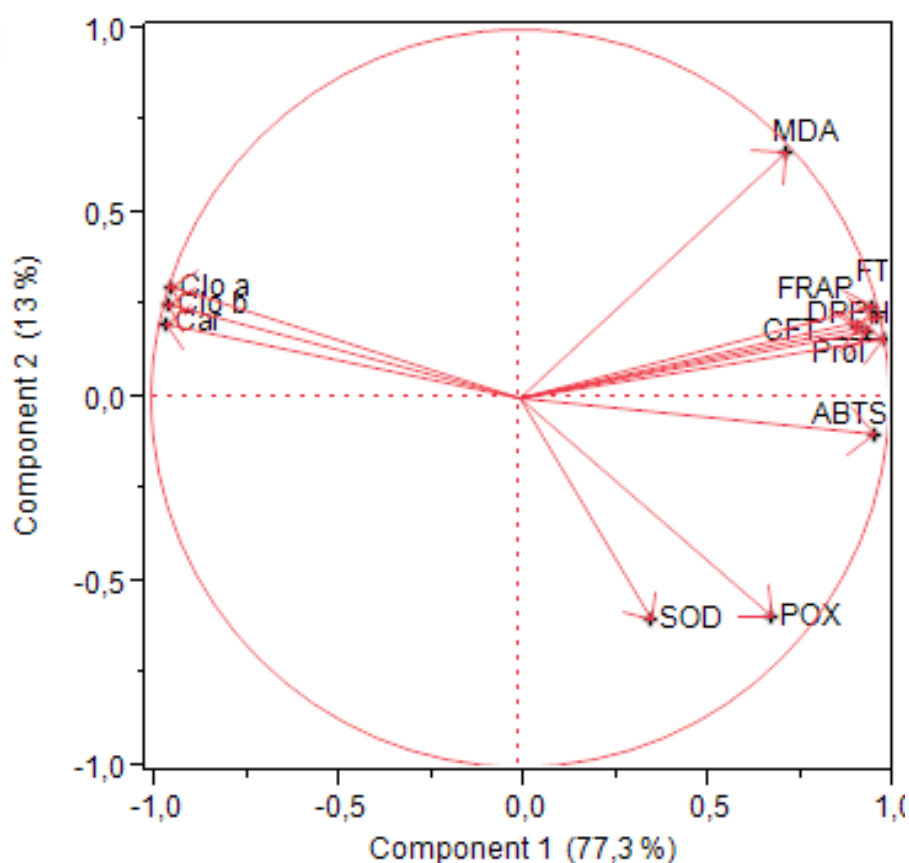
Figura 36- Gráfico de pontuação da análise de componentes principais da folha em 18 combinações de níveis de déficit hídrico e aplicação foliar de AS na cultura da batata durante os períodos de avaliação



Abreviatura: 10 kPa com AS – 30 DAE [A], 10 kPa com AS – 60 DAE [B], 10 kPa com AS – 90 DAE [C], 10 kPa sem AS – 30 DAE [D], 10 kPa sem AS – 60 DAE [E], 10 kPa sem AS – 90 DAE [F], 30 kPa com AS – 30 DAE [G], 30 kPa com AS – 60 DAE [H], 30 kPa com AS – 90 DAE [I], 30 kPa sem AS – 30 DAE [J], 30 kPa sem AS – 60 DAE [K], 30 kPa sem AS – 90 DAE [L], 45 kPa com AS – 30 DAE [M], 45 kPa com AS – 60 DAE [N], 45 kPa com AS – 90 DAE [O], 45 kPa sem AS – 30 DAE [P], 45 kPa sem AS – 60 DAE [Q], 45 kPa sem AS – 90 DAE [R].

O CP2 foi responsável por 13% da variabilidade e foi relacionado principalmente a conteúdo de MDA na planta. O exame do gráfico de carregamentos de CP2 foram MDA com cargas positivas. Foi observado com carga negativa as enzimas antioxidantes (SOD e POD). As pontuações e carregamentos de CP2 indicaram que os tratamentos sem condições de estresse hídrico apresentam menores valores de enzimas antioxidativas

Figura 37- Gráfico de carga da análise de componentes principais da folha em 18 combinações de níveis de déficit hídrico e aplicação foliar de AS na cultura da batata durante os períodos de avaliação



Abreviatura: compostos fenólicos totais [CFT], flavonoides totais [FT], malondialdeído [MDA], superóxido dismutase [SOD], peroxidase [POD], prolina [Prol], clorofila a [Clo a], clorofila b [Clo b], carotenoides [Car].

1.4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado, pode-se concluir que:

- Aplicação foliar de ácido salicílico aliviou os efeitos adversos do déficit hídrico em plantas de batata.
- Diminuiu o acúmulo de malondialdeído (MDA)
- Aumentou a síntese de prolina e compostos bioativos

REFERÊNCIAS

- ABABAF, M.; OMIDI, H.; BAKHSHANDEH, A. Changes in antioxidant enzymes activities and alkaloid amount of *Catharanthus roseus* in response to plant growth regulators under drought condition. **Industrial Crops and Products**, v. 167, n. April, p. 113505, 2021.
- AHANGER, M. A. et al. Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 23, n. 4, p. 731–744, 2017.
- AKULA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1720–1731, nov. 2011.
- ALHOSHAN, M. et al. Effect of Soil Drought on Biomass Production, Physiological Attributes and Antioxidant Enzymes Activities of Potato Cultivars. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 66, n. 2, p. 265–277, 2019a.
- ALHOSHAN, M. et al. Exogenous Application of Salicylic Acid and Glycine Betaine as Tools to Enhance Biomass and Tolerance of Potato Cultivars. **Gesunde Pflanzen**, v. 71, n. 1, p. 25–35, 2019b.
- AMTMANN, A.; BLATT, M. R. Regulation of macronutrient transport. **New Phytologist**, v. 181, n. 1, p. 35–52, 3 jan. 2009.
- ARIF, Y. et al. Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. **Environmental and Experimental Botany**, v. 175, n. November 2019, p. 104040, jul. 2020.
- ASKARI, E.; EHSANZADEH, P. Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid and their interactive effects on physiological characteristics of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) genotypes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 2, 2015.
- BAJJI, M. et al. Catalase inhibition accelerates dormancy release and sprouting in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v. 11, p. 121–131, 2007.
- BALESTRINI, R. et al. Improvement of plant performance under water deficit with the employment of biological and chemical priming agents. **Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 5, p. 680–688, 2018.
- BANIK, P. et al. Effects of drought acclimation on drought stress resistance in potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 126, p. 76–89, 2016.
- BÄNZIGER, M. et al. **Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice**. Mexico D.F: [s.n.].
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205–207, ago. 1973.

- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. Ferric reducing (antioxidant) power as a measure of antioxidant capacity: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70–76, 1996.
- BISTA, D. R. et al. Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient-uptake proteins in roots of drought-sensitive and -tolerant grasses. **Plants**, v. 7, n. 2, 2018.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol**, v. 28, p. 25–30, 1995.
- BROADLEY, M. R. et al. Zinc in plants. **New Phytologist**, v. 173, n. 4, p. 677–702, 7 mar. 2007.
- BROWN, C. E.; PEZESHKI, S. R.; DELAUNE, R. D. The effects of salinity and soil drying on nutrient uptake and growth of *Spartina alterniflora* in a simulated tidal system. **Environmental and Experimental Botany**, v. 58, n. 1–3, p. 140–148, dez. 2006.
- BUSTAN, A. et al. Effects of saline irrigation water and heat waves on potato production in an arid environment. **Field Crops Research**, v. 90, n. 2–3, p. 275–285, dez. 2004.
- CHAKMA, R. et al. Foliar application and seed priming of salicylic acid affect growth, fruit yield, and quality of grape tomato under drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 280, n. September 2020, p. 109904, 2021.
- CLEMENS, S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. **Planta**, v. 212, n. 4, p. 475–486, 19 mar. 2001.
- DE MELLO PRADO, R. Potassium. In: **Mineral nutrition of tropical plants**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 133–147.
- DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. **Environmental and Experimental Botany**, v. 109, p. 212–228, 2015.
- DEWANTO, V. et al. Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 10, p. 3010–3014, maio 2002.
- DHINDSA, R. S.; PLUMB-DHINDSA, P.; THORPE, T. A. Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. **Journal of Experimental Botany**, v. 32, n. 1, p. 93–101, 1981.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. [s.l.: s.n.].
- FAN, S. et al. The salicylic acid mediates selenium-induced tolerance to drought stress in tomato plants. **Scientia Horticulturae**, v. 300, n. January, p. 111092, jun. 2022.
- FARES, C. et al. Effect of processing and cooking on phenolic acid profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta enriched with debranning fractions of wheat. **Food Chemistry**, v. 119, n. 3, p. 1023–1029, 1 abr. 2010.
- FAROOQ, M. et al. Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. In:

- Sustainable Agriculture**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2009. p. 153–188.
- FAROOQI, Z. U. R. et al. **Regulation of drought stress in plants**. [s.l.] INC, 2020.
- FAYE, I. et al. Characterizing Root Responses to Low Phosphorus in Pearl Millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 5, p. 1187–1194, set. 2006.
- FERNANDES, A. M. et al. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 8, p. 826–835, ago. 2010.
- FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de batata: I - macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2039–2056, dez. 2011.
- GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909–930, 2010.
- GULCIN, İ. **Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview**. [s.l.: s.n.]. v. 94
- HAMEED, A.; GOHER, M.; IQBAL, N. Drought induced programmed cell death and associated changes in antioxidants, proteases, and lipid peroxidation in wheat leaves. **Biologia plantarum**, v. 57, n. 2, p. 370–374, 1 jun. 2013.
- HU, Y.; SCHMIDHALTER, U. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, n. 4, p. 541–549, 27 ago. 2005.
- HURA, T.; HURA, K.; GRZESIAK, S. Contents of Total Phenolics and Ferulic Acid, and PAL Activity during Water Potential Changes in Leaves of Maize Single-Cross Hybrids of Different Drought Tolerance. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 2, p. 104–112, abr. 2008.
- IDREES, M. et al. Salicylic acid-induced physiological and biochemical changes in lemongrass varieties under water stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 5, n. 4, p. 293–303, 2010.
- JONHSTON, A. M. Optimizing plant nutrition to minimize crop stress. **AgriBriefs Agronomic News Items**, 2002.
- KHALIL, N. et al. Foliar spraying of salicylic acid induced accumulation of phenolics, increased radical scavenging activity and modified the composition of the essential oil of water stressed *Thymus vulgaris* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 123, n. December 2017, p. 65–74, 2018a.
- KHALIL, N. et al. Foliar spraying of salicylic acid induced accumulation of phenolics, increased radical scavenging activity and modified the composition of the essential oil of water stressed *Thymus vulgaris* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 123, n. September 2017, p. 65–74, 2018b.
- KHAPTE, P. S. et al. Deficit irrigation in tomato: Agronomical and physio-biochemical implications. **Scientia Horticulturae**, v. 248, n. January, p. 256–264, 2019.
- KUMAR, D. Salicylic acid signaling in disease resistance. **Plant Science**, v. 228, p.

127–134, 2014.

KUNDU, P. et al. Reactive oxygen species (ROS) management in engineered plants for abiotic stress tolerance. In: **Advancement in Crop Improvement Techniques**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 241–262.

LACHMAN, J. et al. The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic content and antioxidant activity in potatoes. **Scientia Horticulturae**, v. 117, n. 2, p. 109–114, 2008.

LI, Q. et al. Foliar application of salicylic acid alleviate the cadmium toxicity by modulation the reactive oxygen species in potato. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 172, n. January, p. 317–325, 2019.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. 1, n. 1, p. F4.3.1-F4.3.8, 27 ago. 2001.

LIU, S. et al. Effects of foliar applications of nitric oxide and salicylic acid on salt-induced changes in photosynthesis and antioxidative metabolism of cotton seedlings. **Plant Growth Regulation**, v. 73, n. 1, p. 67–78, 23 maio 2014.

LIZANA, C. X. et al. Potato. In: **Crop Physiology Case Histories for Major Crops**. [s.l.] Elsevier, 2021. p. 550–587.

LOBATO, A. K. DA S. et al. Exogenous salicylic acid alleviates the negative impacts on production components, biomass and gas exchange in tomato plants under water deficit improving redox status and anatomical responses. **Physiologia Plantarum**, n. December 2020, p. 1–16, 2021.

LOWRY, O. et al. PROTEIN MEASUREMENT WITH THE FOLIN PHENOL REAGENT. **Journal of Biological Chemistry**, v. 193, n. 1, p. 265–275, nov. 1951.

LUO, W. et al. Differential responses of canopy nutrients to experimental drought along a natural aridity gradient. **Ecology**, v. 99, n. 10, p. 2230–2239, out. 2018a.

LUO, W. et al. Effects of extreme drought on plant nutrient uptake and resorption in rhizomatous vs bunchgrass-dominated grasslands. **Oecologia**, v. 188, n. 2, p. 633–643, 24 out. 2018b.

MA, J. F. Plant Root Responses to Three Abundant Soil Minerals: Silicon, Aluminum and Iron. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 24, n. 4, p. 267–281, jul. 2005.

MAHOUACHI, J. Growth and mineral nutrient content of developing fruit on banana plants (*Musa acuminata* AAA, 'Grand Nain') subjected to water stress and recovery. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 82, n. 6, p. 839–844, 7 jan. 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MENGEL, K. et al. **Principles of Plant Nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 2001.

MERHAUT, D. J. Magnesium. In: BARKER, A. V; PILBEAM, D. J. (Eds.). **Handbook of Plant Nutrition**. 1. ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. p. 38.

- MOHAREKAR, S. T. et al. Effect of Salicylic Acid on Chlorophyll and Carotenoid Contents of Wheat and Moong Seedlings. **Photosynthetica**, v. 41, n. 2, 1 jun. 2003.
- MONNEVEUX, P.; RAMÍREZ, D. A.; PINO, M. T. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.). Can we learn from drought tolerance research in cereals? **Plant Science**, v. 205–206, p. 76–86, 2013.
- NAKABAYASHI, R. et al. Enhancement of oxidative and drought tolerance in *Arabidopsis* by overaccumulation of antioxidant flavonoids. **The Plant Journal**, v. 77, n. 3, p. 367–379, 17 fev. 2014.
- NEMESKÉRI, E.; HELYES, L. Physiological responses of selected vegetable crop species to water stress. **Agronomy**, v. 9, n. 8, 2019.
- NOWICKA, B. et al. Improving photosynthesis, plant productivity and abiotic stress tolerance – current trends and future perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 231, n. October, p. 415–433, 2018.
- OLIVEIRA, C. A. DA S.; VALADÃO, L. T. **Manejo da água do solo no cultivo da batata**. Brasília: Brasília: EMBRAPA-CNPq, 1997., 1997. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/758610>>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- PIMRATCH, S. et al. Relationship between Biomass Production and Nitrogen Fixation under Drought-Stress Conditions in Peanut Genotypes with Different Levels of Drought Resistance. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 1, p. 15–25, fev. 2008.
- RAZMI, N. et al. Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition. **Journal of Plant Interactions**, v. 12, n. 1, p. 457–464, 2017.
- RE, R. et al. Antioxidant Activity Applying an Improved Abts Radical. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 98, p. 1231–1237, 1999.
- REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 11, p. 1189–1202, 2004a.
- REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 11, p. 1189–1202, nov. 2004b.
- RESTREPO-DIAZ, H.; BENLLOCH, M.; FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. Plant water stress and K⁺ starvation reduce absorption of foliar applied K⁺ by olive leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 116, n. 4, p. 409–413, maio 2008.
- RICHARDS, L. A. METHODS OF MEASURING SOIL MOISTURE TENSION. **Soil Science**, v. 68, n. 1, p. 95, jul. 1949.
- RÖMHELD, V.; NIKOLIC, M. Iron. In: BARKER, A. V; PILBEAM, D. J. (Eds.). . **Handbook of Plant Nutrition**. 1. ed. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. p. 22.
- RUDACK, K. et al. Drought stress-induced changes in starch yield and physiological traits in potato. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 203, n. 6, p. 494–505, 2017.

SADEGHIPOUR, O.; AGHAEI, P. Biochemical changes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to pretreatment with salicylic acid (SA) under water stress conditions. **International Journal of Bioscience**, v. 2, n. 8, p. 14–22, 2012.

SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E. et al. Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: Changes on phenolic metabolites and related enzymes. **Phytochemistry**, v. 72, n. 8, p. 723–729, jun. 2011.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Increasing drought decreases phosphorus availability in an evergreen Mediterranean forest. **Plant and Soil**, v. 267, n. 1–2, p. 367–377, dez. 2004.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J.; OGAYA, R. Drought's impact on Ca, Fe, Mg, Mo and S concentration and accumulation patterns in the plants and soil of a Mediterranean evergreen *Quercus ilex* forest. **Biogeochemistry**, v. 87, n. 1, p. 49–69, 20 jan. 2008.

SEDAGHAT, M. et al. Physiological and antioxidant responses of winter wheat cultivars to strigolactone and salicylic acid in drought. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 119, p. 59–69, 2017.

SEMIDA, W. M. et al. Combined effect of deficit irrigation and foliar-applied salicylic acid on physiological responses, yield, and water-use efficiency of onion plants in saline calcareous soil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, n. 9, p. 1227–1239, 29 jul. 2017.

SHAH JAHAN, M. et al. Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. **Scientia Horticulturae**, v. 247, n. November 2018, p. 421–429, 2019a.

SHAH JAHAN, M. et al. Exogenous salicylic acid increases the heat tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* L) by enhancing photosynthesis efficiency and improving antioxidant defense system through scavenging of reactive oxygen species. **Scientia Horticulturae**, v. 247, n. July 2018, p. 421–429, 2019b.

SHAO, H.-B.; SONG, W.-Y.; CHU, L.-Y. Advances of calcium signals involved in plant anti-drought. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 8, p. 587–596, ago. 2008.

SINGH, P. K. et al. Drought Tolerance in Plants: Molecular Mechanism and Regulation of Signaling Molecules. In: **Plant Signaling Molecules**. [s.l.] Elsevier, 2019. p. 105–123.

TOPP, G. C.; ZEBCHUK, W. THE DETERMINATION OF SOIL-WATER DESORPTION CURVES FOR SOIL CORES. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 59, n. 1, p. 19–26, 1 fev. 1979.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. VAN. Hortaliças. In: RAIJ, B. VAN et al. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola (FundAg), 1997. p. 285.

TREUTTER, D. Significance of flavonoids in plant resistance: A review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 4, n. 3, p. 147–157, 2006.

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892–898, set. 1980.

VAN RAIJ, B. et al. **Chemical analysis for fertility evaluation of tropical soils.** Campinas: Instituto Agronomico, 2001.

VATS, S. **Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants.** 1. ed. Singapore: Springer Singapore, 2018.

VOS, J.; HAVERKORT, A. J. **Water availability and potato crop performance.** [s.l.] Elsevier B.V., 2007.

WANI, A. B. et al. Salicylic acid to decrease plant stress. **Environmental Chemistry Letters**, v. 15, n. 1, p. 101–123, 2017.

WU, Y. et al. Overexpression of SmLEA enhances salt and drought tolerance in *Escherichia coli* and *Salvia miltiorrhiza*. **Protoplasma**, v. 251, n. 5, p. 1191–1199, 5 set. 2014.

WU, Z. et al. Comparative responses to silicon and selenium in relation to antioxidant enzyme system and the glutathione-ascorbate cycle in flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis*) under cadmium stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 133, p. 1–11, jan. 2017.

ZAHARIEVA, T.; YAMASHITA, K.; MATSUMOTO, H. Iron Deficiency Induced Changes in Ascorbate Content and Enzyme Activities Related to Ascorbate Metabolism in Cucumber Roots. **Plant and Cell Physiology**, v. 40, n. 3, p. 273–280, 1 jan. 1999.

ZHANG, R. H. et al. Effects of exogenous putrescine on gas-exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of NaCl-stressed cucumber seedlings. **Photosynthesis Research**, v. 100, n. 3, p. 155–162, 9 jun. 2009.

CAPÍTULO 2

EFEITO DO TRATAMENTO PRÉ E PÓS-COLHEITA COM ACIDO SALICÍLICO NOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS DA BATATA

RESUMO

As condições de cultivo, o estado da colheita e os pré-tratamentos a que as plantas de batata foram submetidas afetam a qualidade pós-colheita da batata. O presente estudo foi conduzido para avaliar os efeitos da aplicação pós-colheita de AS sobre a qualidade de tubérculos que foram submetidos a diferentes condições de déficit hídrico na pré-colheita. Sem AS e com AS (8 mM) foram colocadas em imersão os tubérculos submetidos a déficit hídrico de (10 – 30 – 45 kPa). Os tubérculos foram armazenados a temperatura ambiente por 60 dias e foram coletados dados referentes a diferentes parâmetros de qualidade e compostos bioativos. Os resultados revelam que o tubérculo em condições de déficit hídrico 30 kPa com aplicação foliar de AS na pré-colheita, e com imersão de AS na pós-colheita apresenta maior atividade antioxidante na vida de prateleira. Em termos gerais, os resultados indicaram que a imersão em AS dos tubérculos da pré-colheita não afeta os parâmetros físico-químicos e bioquímicos dos tubérculos durante os 60 dias de pós-colheita.

Palavras-chaves: ácido salicílico; atividade antioxidante; pós-colheita; vida de prateleira.

ABSTRACT

Growing conditions, the state of the harvest and the pre-treatments to which the potato plants were submitted affect the post-harvest quality of the potato. The present study was carried out to evaluate the effects of post-harvest application of AS on the quality of tubers that were submitted to different pre-harvest water deficit conditions. Without AS and with AS (8 mM) the tubers submitted to a water deficit of (10 – 30 – 45 kPa) were placed in immersion. The tubers were stored at room temperature for 60 days and data were collected regarding different quality parameters and bioactive compounds. The results reveal that the tuber under water deficit conditions of 30 kPa with foliar application of AS in the pre-harvest, and with immersion of AS in the post-harvest, presents greater antioxidant activity in the shelf life. In general terms, the results indicated that pre-harvest tubers immersion in AS does not affect the physicochemical and biochemical parameters of the tubers during the 60 days post-harvest.

Keywords: salicylic acid; antioxidant activity; postharvest; shelf life.

2.1 INTRODUÇÃO

O armazenamento de batatas para diversos usos comerciais como (sementes, batata de mesa, batata frita) requer considerável cuidado na pós-colheita devido ao seu alto teor de umidade e atividade metabólica.

Vários fatores afetam a qualidade das batatas durante o armazenamento pós-colheita, tais como o estágio de maturação da safra e sua finalidade, as condições pre-colheita, condições de colheita e manejo, a saúde da cultura, como a incidência de pragas e doenças, alterações bioquímicas, preparações e condições de armazenamento, manejo do ambiente de armazenamento e processamento e qualidade nutricional das batatas (PINHERO; YADA, 2016).

As batatas como organismo vivo, continuam o processo metabólico respiratório durante o armazenamento. Açúcares produzidos durante a hidrólise de amido são

usados para a respiração. Durante a hidrólise do amido, ocorre perda de matéria seca, resultando em perda de peso. A taxa respiratória é afetada pela temperatura e, portanto, irá variar dependendo das condições de armazenamento e do uso final dos tubérculos. A taxa respiratória é mínima próxima aos 5°C e aumenta lentamente até próxima de 15°C, acima do qual a respiração começa a aumentar acentuadamente. O calor gerado pela respiração durante o armazenamento pode aumentar a temperatura de armazenamento (SILVEIRA et al., 2017).

A perda de água durante o armazenamento da batata depende da produção de calor nas batatas, temperatura das batatas, umidade relativa, qualidade da casca da batata, variedade, crescimento dos rebentos e da duração da ventilação. Noventa e oito por cento da umidade que deixa o tubérculo durante o armazenamento é perdido através de sua pele por evaporação. Durante o período de armazenamento, a taxa de perda de umidade da cultura é proporcional à diferença na pressão de vapor água dentro das células das cascas de batata e a pressão de vapor de água do ar nos vazios (HELTOFT; WOLD; MOLTEBERG, 2016).

Durante a pós-colheita devido a fatores internos e externos, ocorrem alterações químicas e físicas em frutas e hortaliças, que resultam em perdas na qualidade nutricional. Para prevenir esses efeitos adversos causados por fatores pós-colheita, foi recomendado o uso de ácido salicílico (AS) como uma molécula sinalizadora natural e segura. O ácido salicílico apresenta um alto potencial para retardar o amadurecimento, melhorando a qualidade e controlando as perdas pós-colheita de frutas e vegetais (ASGHARI; AGHDAM, 2010).

AS regula atividade antioxidante e mantém o valor nutricional durante o armazenamento (HUANG et al., 2008). A regulação da atividade antioxidante como resultado da aplicação de AS pode ser devido à ativação do sistema antioxidante em resposta à sinalização, que resulta em resistência adquirida sistêmica nas células.

Aplicação exógena de AS em concentrações não tóxicas em frutas demonstrou atrasar o amadurecimento e amolecimento da banana (SRIVASTAVA; DWIVEDI, 2000) e kiwis (ZHANG et al., 2003). Reduzindo a peroxidação lipídica da laranja e aumentando a resistência de doenças pós-colheita de cereja doce (QIN et al., 2003).

Alguns estudos relataram os efeitos positivos do ácido salicílico na lesão por frio, demonstrando que os tratamentos com ácido salicílico aumentam a resistência a

lesão por frio pós-colheita em culturas hortícolas, incluindo tomate (DING et al., 2001), manga (DING et al., 2007), pêssago (WANG et al., 2006), romã (SAYYARI et al., 2009) e abacaxi (LU et al., 2010).

O objetivo desta pesquisa foi determinar se a imersão em ácido salicílico dos tubérculos de batata pode preservar significativamente os parâmetros de qualidade e compostos bioativos na pós-colheita.

2.2 MATERIAL E METODOS

2.2.1 Local e material vegetal

O experimento foi conduzido no laboratório de pós-colheita de frutas e hortaliças do departamento de Produção Vegetal da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, SP. Foram utilizados tubérculos de batata (*Solanum tuberosum* L.) colhidos do Experimento 1.

2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tubérculos foram colhidos no estágio de maturação comercial, posteriormente foram selecionados para uniformização do lote, eliminando os que possuem danos físicos (amassados e/ou rachados) e biológicos (doenças e/ou pragas). Estes foram colocados em imersão de ácido salicílico (0 e 8 mM) por um período de 5 minutos e acondicionados em rede plástica para hortaliças de 2 kg e armazenadas em quarto escuro em temperatura ambiente ($20 \pm 3,5$ °C) com umidade relativa (65 ± 5 UR) por um período de 60 dias e avaliados a cada 30 dias.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 6x2 (tratamentos com déficit hídrico pré-colheita e dose de ácido salicílico) com cinco repetições (Tabela 16).

Tabela 16- Tratamentos experimentais na fase de pré e pós-colheita dos tubérculos

Tratamento	Descrição
10 kPa cAS (T1) – sem AS	Tensão de água no solo de 10 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM) em pre-colheita + sem imersão em ácido salicílico na pós-colheita.
10 kPa cAS (T1) – com AS	Tensão de água no solo de 10 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM) em pre-colheita + com imersão em ácido salicílico (8 mM) na pós-colheita.
10 kPa sAS (T2) – sem AS	Tensão de água no solo de 10 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM) em pre-colheita + sem imersão em ácido salicílico na pós-colheita.
10 kPa sAS (T2) – com AS	Tensão de água no solo de 10 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico em pre-colheita + com imersão em ácido salicílico (8 mM) na pós-colheita.
30 kPa cAS (T3) – sem AS	Tensão de água no solo de 30 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM) em pre-colheita + sem imersão em ácido salicílico na pós-colheita.
30 kPa cAS (T3) – com AS	Tensão de água no solo de 30 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM) em pre-colheita + com imersão em ácido salicílico (8 mM) na pós-colheita.
30 kPa sAS (T4) – sem AS	Tensão de água no solo de 30 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM) em pre-colheita + sem imersão em ácido salicílico na pós-colheita.
30 kPa sAS (T4) – com AS	Tensão de água no solo de 30 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico em pre-colheita + com imersão em ácido salicílico (8 mM) na pós-colheita.
45 kPa cAS (T5) – sem AS	Tensão de água no solo de 45 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM) em pre-colheita + sem imersão em ácido salicílico na pós-colheita.
45 kPa cAS (T5) – com AS	Tensão de água no solo de 45 kPa com aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM) em pre-colheita + com imersão em ácido salicílico (8 mM) na pós-colheita.
45 kPa sAS (T6) – sem AS	Tensão de água no solo de 45 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico (1 mM) em pre-colheita + sem imersão em ácido salicílico na pós-colheita.
45 kPa sAS (T6) – com AS	Tensão de água no solo de 30 kPa sem aplicação foliar de ácido salicílico em pre-colheita + com imersão em ácido salicílico (8 mM) na pós-colheita.

2.2.3 Análise físico-químicas

2.2.3.1 Perda de massa fresca (%)

O grupo controle foi analisado sem destruição do material. Para a perda de massa fresca as pesagens foram realizadas utilizando-se balança semi-analítica marca MARTE®, modelo BL 3200 H – carga máxima de 2000g e precisão de 0,01g.

2.2.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico foi determinado utilizando-se o potenciômetro, conforme técnica descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

2.2.3.3 Sólidos Solúveis Totais (SST)

Determinada através de leitura refrato métrica direta (°Brix), de acordo com os procedimentos descritos por Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

2.2.3.4 Acidez titulavel (AT)

O conteúdo de acidez titulável foi expresso em gramas de ácido fólico por 100 gramas de polpa, seguindo a metodologia recomendada pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

2.2.3.5 Relação SST/AT (Ratio)

Determinado pela relação entre o teor de sólidos solúveis e acidez titulável (TRESSLER; JOSLYN, 1961).

2.2.3.6 Açúcares redutores e redutores totais

A determinação dos teores de açúcares foi realizada por metodologia descrita por NELSON. (1944). O aparelho utilizado foi o espectrofotômetro Micronal B 382, sendo a leitura realizada a 535 nm. Os resultados foram expressos em porcentagem.

2.2.4 Análises bioquímica

2.2.4.1 Compostos bioativos e atividade antioxidante

2.2.4.1.1 Preparo da amostra de tubérculo

As amostras foram pesadas, lavadas e cortadas e congeladas usando nitrogênio líquido. As amostras foram moídas e embaladas em tubos eppendorf e armazenadas num freezer a -20°C até o uso.

2.2.4.1.2 Quantificação de compostos fenólicos totais (CFT)

O conteúdo de compostos fenólicos totais de acordo com LACHMAN et al. (2008) usando o reagente de Folin-Ciocalteu. Os compostos fenólicos foram extraídos a partir da amostra congelada (2 g) com solução de metanol (80%) por 24 h. Inicialmente as amostras foram maceradas durante 15 min e agitadas durante 1h numa temperatura ambiente. A amostra foi filtrada e completada para 100 mL. Em seguida, 5 mL de reagente de Folin-Ciocalteu foi adicionado a 5 mL de amostra, após agitação seguida de adição de 7,5 mL de solução de carbonato de sódio a 20%.

2.2.4.1.3 Determinação de flavonoides totais (FT)

O conteúdo total de flavonoides foi determinado por um procedimento publicado (DEWANTO et al., 2002). A amostra teste (1 mL) foi colocada em um frasco volumétrico de 10 mL. Etanol (60%, 8 mL) foi adicionado seguido por 5% NaNO_2 (0,2 mL). Após 6 min, AlCl_3 (10%, 0,2 mL) foi adicionado. Após mais 6 min, NaOH (4%, 0,6 mL) foi adicionado e, em seguida, água até um volume de 10 mL. A solução foi misturada e a absorbância medida a 415 nm. As medições foram realizadas em triplicata e os cálculos foram baseados em uma curva padrão obtida com quercetina. O conteúdo total de flavonoides foi expresso em microgramas de equivalentes de quercetina por miligrama de amostra.

2.2.4.1.4 Atividade antioxidante pelo método DPPH

A atividade antirradical foi medida usando a técnica descrita por (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995), um ensaio modificado do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) com 6 ácido -hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) como padrão. Para a atividade antioxidante do DPPH, 0,15 mL do extrato metanólico foi reagido com 2,85 mL de solução 0,1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de DPPH preparada em 80% (v/v) metanol por 30 min e a coloração amarela desenvolvida foi registrada em 517 nm. A atividade antioxidante foi calculada usando uma curva padrão de Trolox variando de 50 a 1000 μM de Trolox e expressa em mg de equivalentes de Trolox por g de amostra de folha e tubérculo de batata fresca ($\text{mg TE}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$).

2.2.4.1.5 Ensaio de redução férrica / poder antioxidante (FRAP)

A redução por antioxidantes na amostra de férrico-tripiridiltiazina (Fe^{3+} -TPTZ) para a forma ferrosa (Fe^{2+}) foi determinada por um método publicado (BENZIE; STRAIN, 1996). O reagente FRAP foi preparado de fresco misturando tampão de acetato (100 mL, 300 mM, pH 3,6), solução de TPTZ (10 mL de TPTZ 10 mM em 40 mM / HCl), $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (10 mL, 20 mM) em uma proporção de 10:1:1 e adição de água destilada (12 mL), a 37° C. Para a realização do ensaio, reagente FRAP (1,8 mL), água desionizada (180 μL) e amostra, padrão ou branco (60 μL) foi então adicionados aos mesmos tubos de ensaio e incubados a 37°C por 4 min; a absorbância foi medida a 593 nm, usando solução de trabalho FRAP como branco. A leitura da absorbância

relativa deve estar na faixa de $0 \pm 2,0$; caso contrário, a amostra deve ser diluída. No ensaio FRAP, o potencial antioxidante da amostra foi determinado a partir de uma curva padrão traçada usando a equação de regressão linear $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ para calcular os valores FRAP da amostra.

2.2.4.1.6 Eliminação do radical ABTS

A análise espectrofotométrica da atividade de eliminação de radicais ABTS^+ foi determinada usando um método publicado (RE et al., 1999). O radical cátion ABTS^+ foi produzido pela reação entre ABTS (7 mM) em H_2O e persulfato de potássio (2,45 mM), armazenado no escuro à temperatura ambiente por 24 h. Antes do uso, a solução ABTS^+ foi diluída para uma absorbância de $0,70 \pm 0,02$ a 732 nm com tampão fosfato (0,1 M, pH 7,4). Em seguida, a solução ABTS^+ (990 μL) foi adicionada à amostra (10 μL). Após 1 min, a percentagem de inibição a 732 nm foi calculada para cada concentração em relação a uma absorbância em branco.

2.2.4.2 Teor de malondialdeído (MDA)

Para a determinação dos teores de MDA, 1 g de tubérculo foi misturado a 5 mL de solução de ácido tricloroacético 0,1% e moído em baixa temperatura. O sobrenadante foi adicionado a 5 mL de solução de ácido tiobarbitúrico a 0,5% e fervido por 15 min. A mistura foi colocada em banho de gelo para arrefecimento à temperatura ambiente e em seguida foi centrifugada. A absorbância do sobrenadante foi tomada em 600 nm, 532 nm e 450 nm para calcular o conteúdo de MDA (WU et al., 2014).

2.2.5 Análise Estatística

Todos os dados foram obtidos usando cinco repetições. A análise estatística foi realizada usando o software estatístico Minitab 17 por meio de análise de variância unilateral. O teste de Tukey ($P < 0,05$) foi aplicado para a análise estatística da diferença significativa entre as lâminas de irrigação e aplicação de ácido salicílico. A análise de componentes principais (ACP) foi aplicada a todos os atributos físico-químicos e bioquímicos, que também foram avaliados pela correlação de Pearson.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da ANOVA para os tubérculos da pré-colheita, com e sem imersão de ácido salicílico e suas interações nos análise físico-químicos estão expressos na Tabela 17.

Tabela 17- ANOVA dos tubérculos na pré-colheita e imersão de AS (com e sem imersão) e suas interações nos atributos fisico-quimicos do tubérculo da batata

<i>Variáveis</i>		<i>Efeitos</i>	<i>gL</i>	<i>F-valor</i>	<i>p-valor</i>
<i>pH</i>	30 dias	Tubérculo (T)	5	0,95ns	0,4602
		Ácido Salicílico (AS)	1	0,10 ns	0,7495
		T x AS	5	0,63ns	0,6814
	60 dias	T	5	0,33 ns	0,8916
		AS	1	0,03ns	0,8614
		T x AS	5	0,34ns	0,8890
Solidos Soluveis Totais (SST)	30 dias	T	5	0,22ns	0,9500
		AS	1	0,01ns	0,9230
		T x AS	5	0,66ns	0,6588
	60 dias	T	5	5,57**	0,0004
		AS	1	2,13ns	0,1507
		T x AS	5	1,63ns	0,1712
Acidez Titulavel (AT)	30 dias	T	5	0,92ns	0,4773
		AS	1	0,23ns	0,6374
		T x AS	5	0,72ns	0,6082
	60 dias	T	5	2,31 ns	0,0580
		AS	1	1,73ns	0,1951
		T x AS	5	1,08ns	0,3824
Ratio (SST/AT)	30 dias	T	5	0,35ns	0,8803
		AS	1	0,13ns	0,7172
		T x AS	5	1,27ns	0,2926
	60 dias	T	5	5,61**	0,0004
		AS	1	0,56ns	0,4578
		T x AS	5	2,82*	0,0259
% Perda de massa	30 dias	T	5	15,11**	<0,0001
		AS	1	32,30**	<0,0001
		T x AS	5	3,40*	0,0104
	60 dias	T	5	997,80**	<0,0001
		AS	1	2,22ns	0,1431
		T x AS	5	221,46**	<0,0001

Tabela 18 apresenta os resultados da ANOVA para os tubérculos da pré-colheita e imersão de AS (com e sem imersão) e suas interações nos atributos bioquímicos do tubérculo da batata.

Tabela 18- ANOVA dos tubérculos na pré-colheita e imersão de AS (com e sem imersão) e suas interações nos atributos bioquímicos do tubérculo da batata

Variáveis	Efeitos	gL	F-valor	p-valor
Compostos Fenólicos Totais (CFT)	Tubérculo (T)	5	442,30**	<0,0001
	30 dias			
	Ácido Salicílico (AS)	1	744,69**	<0,0001
	T x AS	5	200,21**	<0,0001
	60 dias			
	T	5	578,00**	<0,0001
	AS	1	0,01 ns	0,9382
	T x AS	5	2516,91	<0,0001
Flavonoides Totais (FT)	30 dias			
	T	5	429,01**	<0,0001
	AS	1	24,15**	<0,0001
	T x AS	5	130,49**	<0,0001
	60 dias			
	T	5	348,89**	<0,0001
	AS	1	150,42**	<0,0001
	T x AS	5	651,54**	<0,0001
DPPH	30 dias			
	T	5	182,46**	<0,0001
	AS	1	12,18**	0,0010
	T x AS	5	51,72	<0,0001
	60 dias			
	T	5	46,34**	<0,0001
	AS	1	112,78**	<0,0001
	T x AS	5	110,65	<0,0001
FRAP	30 dias			
	T	5	1381,43**	<0,0001
	AS	1	1303,54**	<0,0001
	T x AS	5	145,29**	<0,0001
	60 dias			
	T	5	191,69**	<0,0001
	AS	1	29,02**	<0,0001
	T x AS	5	319,38**	<0,0001
ABTS	30 dias			
	T	5	876,13**	<0,0001
	AS	1	11,01**	0,0017
	T x AS	5	4,29**	0,0026
	60 dias			
	T	5	53,66**	<0,0001
	AS	1	0,05ns	0,8199
	T x AS	5	16,68	<0,0001
Malondialdeído (MDA)	30 dias			
	T	5	18,01**	<0,0001
	AS	1	7,73**	0,0077
	T x AS	5	12,17**	<0,0001
	60 dias			
	T	5	10,88**	<0,0001
	AS	1	8,19**	0,0062
	T x AS	5	11,16**	<0,0001

Os resultados da ANOVA para os tubérculos da pré-colheita, com e sem imersão de ácido salicílico e suas interações nos análise de açúcares e amido estão expressos na Tabela 19.

Tabela 19- ANOVA dos tubérculos na pré-colheita e imersão de AS (com e sem imersão) e suas interações no conteúdo de açúcares e amido do tubérculo da batata

Variáveis	Efeitos	gL	F-valor	p-valor
% Açúcar Redutor (AR)	Tubérculo (T)	5	146,91**	<0,0001
	30 dias			
	Ácido Salicílico (AS)	1	103,69**	<0,0001
	T x AS	5	109,85**	<0,0001
	60 dias			
	T	5	653,34**	<0,0001
% Açúcar Redutor Total (ART)	AS	1	289,70**	<0,0001
	T x AS	5	73,56**	<0,0001
	30 dias			
	T	5	528,55**	<0,0001
	AS	1	137,83**	<0,0001
	T x AS	5	191,43**	<0,0001
% Amido	60 dias			
	T	5	188,96**	<0,0001
	AS	1	1,17ns	0,2849
	T x AS	5	28,43**	<0,0001
	30 dias			
	T	5	1,20 ns	0,3218
% Amido	AS	1	3,32 ns	0,0746
	T x AS	5	3,10*	0,0167
	60 dias			
	T	5	3,41*	0,0103
	AS	1	2,00ns	0,1638
	T x AS	5	1,46*	0,2211

2.3.1 Análises físico-químicas

2.3.1.1 pH, SST, AT e ratio

No presente experimento, independentemente dos tratamentos, o pH e AT não apresentou diferença significativa durante os 60 dias de pós-colheita. Enquanto, observa-se mudança significativa em SST e ratio, principalmente aos 60 dias de pós-colheita, sendo o tubérculo em condições de 10 kPa cAS (T1) da pré-colheita e com imersão de AS os que apresentaram maiores valores de SST e ratio (Tabela 20).

Tabela 20- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS nos parâmetros físico-químicos no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

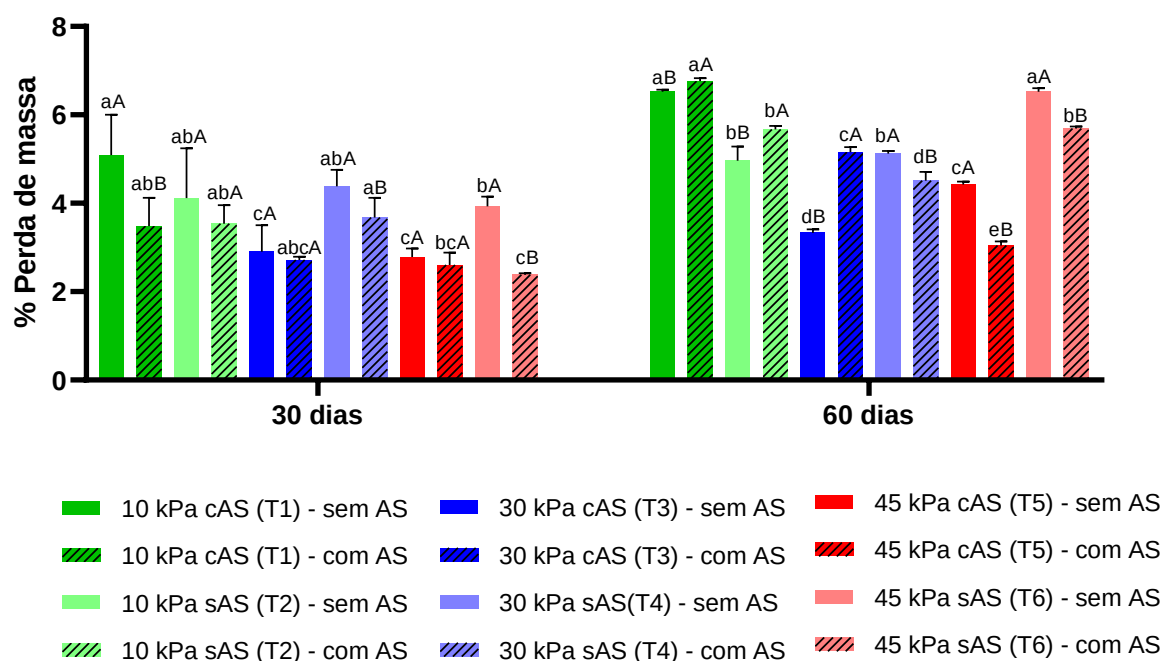
Dias	Tubérculo	AS	pH	TSS	AT	Ratio
30	T1 (10 kPa cAS)	sem AS	5,78±0,03	5,08±0,17	1,09±0,01	4,65±0,17
		com AS	5,83±0,03	4,98±0,14	1,09±0,01	4,55±0,11
	T2 (10kPa sAS)	sem AS	5,79±0,03	5,00±0,08	1,13±0,01	4,40±0,11
		com AS	5,80±0,02	5,14±0,12	1,11±0,03	4,65±0,22
	T3 (30 kPa cAS)	sem AS	5,83±0,02	5,18±0,12	1,07±0,02	4,84±0,21
		com AS	5,84±0,02	5,02±0,12	1,12±0,01	4,47±0,14
	T4 (30 kPa cAS)	sem AS	5,81±0,03	5,06±0,14	1,07±0,02	4,71±0,14
		com AS	5,77±0,02	4,94±0,08	1,10±0,03	4,51±0,17
	T5 (45 kPa cAS)	sem AS	5,81±0,02	4,94±0,07	1,12±0,01	4,39±0,05
		com AS	5,84±0,03	5,08±0,09	1,10±0,01	4,58±0,07
	T6 (45 kPa sAS)	sem AS	5,80±0,02	4,98±0,06	1,08±0,01	4,59±0,04
		com AS	5,79±0,01	5,04±0,13	1,08±0,01	4,65±0,18
60	T1 (10 kPa cAS)	sem AS	5,81±0,04	5,42±0,16 ^{aB}	1,16±0,01	4,64±0,17 ^{aB}
		com AS	5,84±0,02	6,06±0,17 ^{aA}	1,16±0,02	5,20±0,15 ^{aA}
	T2 (10kPa sAS)	sem AS	5,82±0,03	5,36±0,21 ^{aA}	1,12±0,02	4,74±0,13 ^{aA}
		com AS	5,80±0,03	5,66±0,24 ^{abA}	1,10±0,01	5,12±0,28 ^{abA}
	T3 (30 kPa cAS)	sem AS	5,82±0,04	5,10±0,11 ^{aA}	1,12±0,02	4,55±0,16 ^{aA}
		com AS	5,78±0,02	5,00±0,08 ^{bA}	1,15±0,02	4,34±0,07 ^{cA}
	T4 (30 kPa cAS)	sem AS	5,79±0,03	5,28±0,20 ^{aA}	1,08±0,03	4,86±0,11 ^{aA}
		com AS	5,82±0,02	5,14±0,11 ^{bA}	1,15±0,01	4,46±0,08 ^{cA}
	T5 (45 kPa cAS)	sem AS	5,83±0,02	4,96±0,07 ^{aA}	1,14±0,01	4,33±0,12 ^{aA}
		com AS	5,82±0,02	5,20±0,13 ^{bA}	1,15±0,00	4,49±0,12 ^{bcA}
	T6 (45 kPa sAS)	sem AS	5,80±0,02	5,12±0,23 ^{aA}	1,15±0,01	4,41±0,17 ^{aA}
		com AS	5,79±0,03	5,04±0,16 ^{bA}	1,16±0,01	4,32±0,09 ^{cA}

No caso do teor de SST, o aumento na concentração de sólidos solúveis nos tubérculos aos 60 dias da pós-colheita pode ser atribuído à perda de água no tubérculo.

2.3.1.2 % Perda de massa

A porcentagem de perda de massa no tubérculo apresentou mudança significativa em todos os tratamentos durante os 60 dias de pós-colheita. Aos 30 dias de pós-colheita o tubérculo em condições de 10 kPa cAS (T1) e sem imersão em AS apresentou maiores valores de perda de água que o tubérculo em condições de 45 kPa sAS (T6) com imersão em AS que apresentou menores valores de perda de água por transpiração (Figura 38).

Figura 38: Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no % perda de massa no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



Aos 60 dias de pós-colheita pode-se evidenciar que a perda de água é em todos os tubérculos. Os tubérculos em condições de 10 kPa cAS (T1) com e sem imersão de AS foram os que apresentaram maior perda de água e o tubérculo que apresenta menores valores de perda de água é 45 kPa cAS (T5) com imersão de AS.

A perda de água durante o armazenamento da batata depende da produção de calor nas batatas, da temperatura das batatas, da umidade relativa (UR), da qualidade

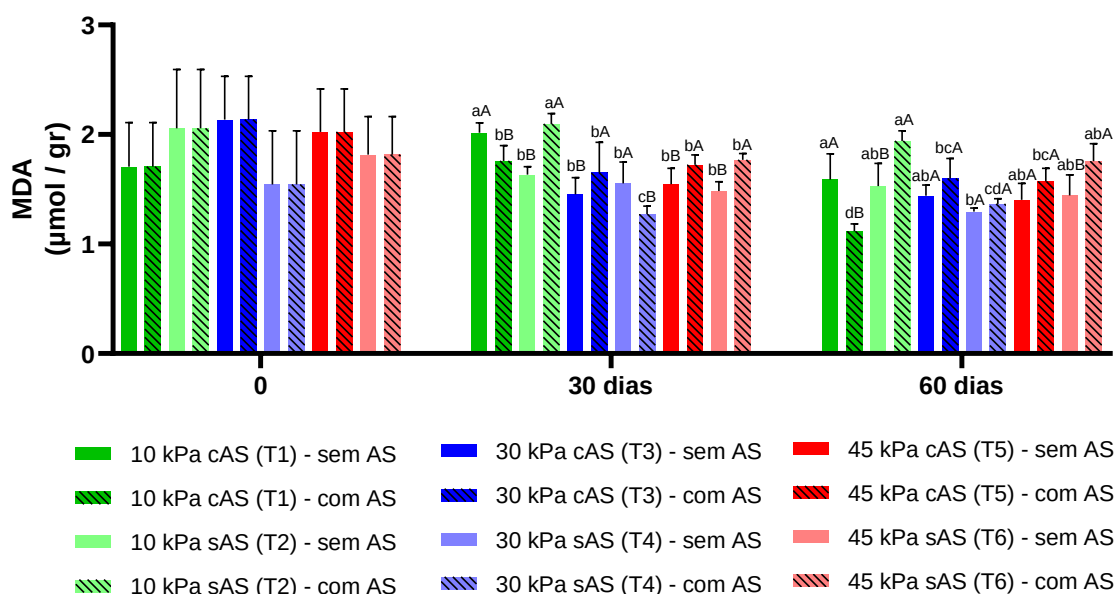
da casca da batata, da variedade, do crescimento dos brotos e da duração da ventilação (PINHERO; YADA, 2016).

2.3.2 Análise Bioquímicas

2.3.2.1 Teor de malondialdeído (MDA)

O teor de MDA no tubérculo durante a pós-colheita apresentou valores mínimos de 1,274 $\mu\text{mol gr}^{-1}$ MDA (30 kPa sAS (T4) – com AS) e máximos de 2,097 $\mu\text{mol gr}^{-1}$ MDA (10 kPa sAS (T2) -com AS) aos 30 dias de armazenamento. Para os 60 dias de armazenamento se evidencia que o tubérculo (10 kPa sAS (T2) -com AS) apresentou o maior teor de MDA com 1,940 $\mu\text{mol gr}^{-1}$ e o tubérculo em condições de 10 kPa cAS (T1) – com AS, apresentou menores valores de acúmulo de MDA. Pode-se observar que os tubérculos que foram submetidos em imersão com AS foram os tratamentos que apresentaram maior acúmulo de MDA (Figura 39).

Figura 39- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no conteúdo de MDA no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

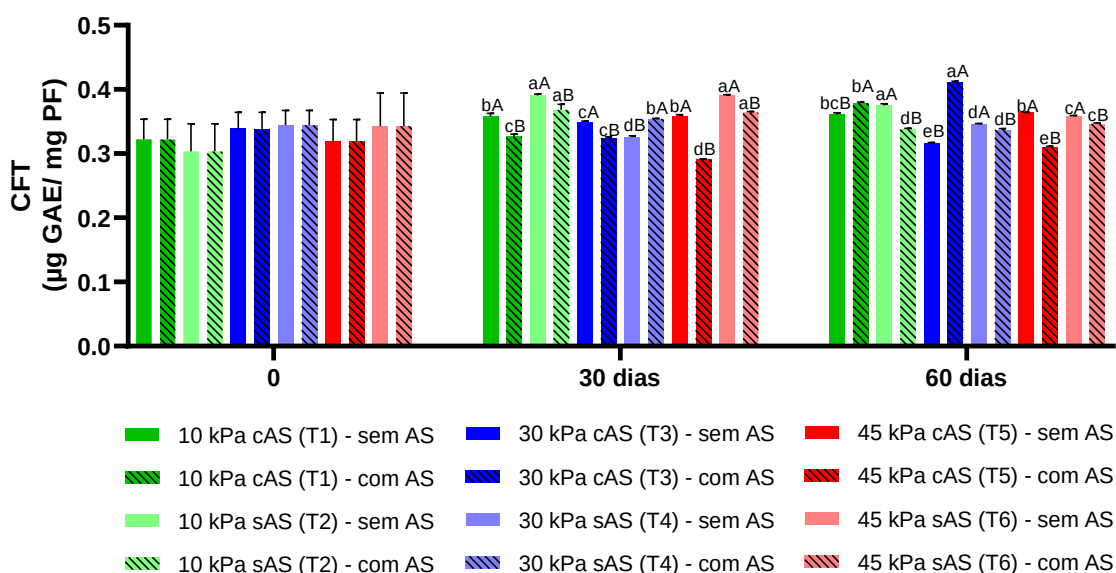


HAN et al. (2017) encontraram efeito benéfico do AS sobre plantas de pepino em condições de estresse por frio, o que promoveu a redução do nível de MDA, confirmando os resultados obtidos nesta pesquisa.

2.3.2.2 Conteúdo de fenólicos totais (CFT) e flavonoides totais (FT)

O conteúdo de CFT no tubérculo aos 30 dias de armazenamento apresentou maiores valores nos tubérculos 10 kPa sAS (T2) e sem imersão de AS (0,39 $\mu\text{g GAE mg}^{-1}$) e 45 kPa sAS (T6) e sem imersão de AS (0,39 $\mu\text{g GAE mg}^{-1}$).

Figura 40- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no conteúdo de compostos fenólicos totais no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



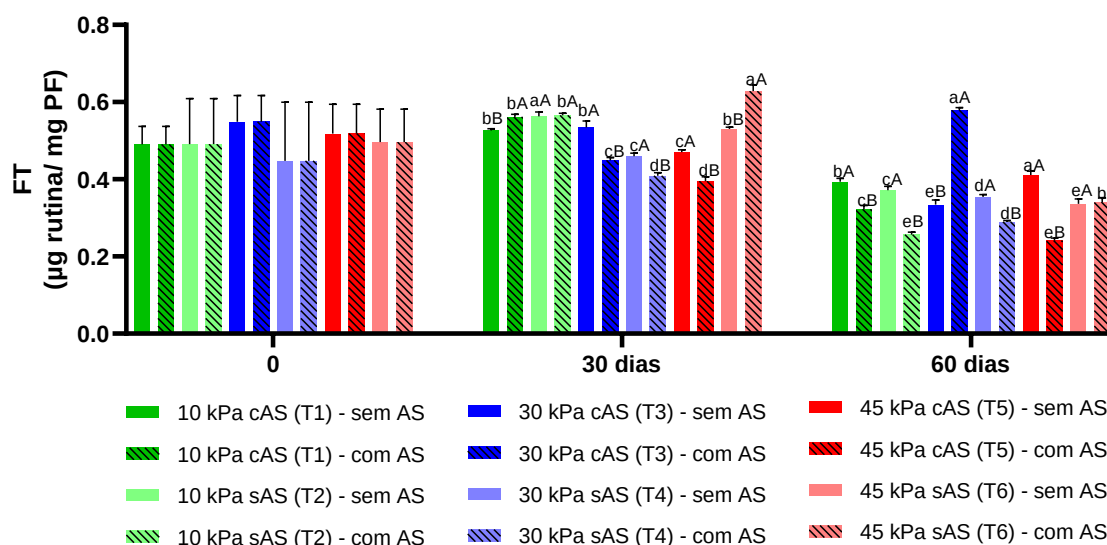
Para os 60 dias de armazenamento os tubérculos 30 kPa cAS (T3) com imersão de AS (0,41 $\mu\text{g GAE mg}^{-1}$) e 10 kPa cAS (T1) com imersão de AS (0,37 $\mu\text{g GAE mg}^{-1}$) foram os tratamentos com maior acúmulo de compostos fenólicos. Pode-se

evidenciar que durante o período de armazenamento a mudança no conteúdo de compostos fenólicos foi relativamente estável (Figura 40).

Compostos fenólicos depende principalmente do genótipo, diferenças no local de cultivo, método de extração e preparação da amostra, pois métodos de extração vigoroso podem levar a um aumento no conteúdo fenólico (MADIWALE et al., 2011).

YAMDEU GALANI et al. (2017) obtiveram teores de compostos fenólicos totais semelhantes em clones de batata de polpa branca e amarela. O conteúdo de FT apresentou mudança significativa no tubérculo durante os todo o período de armazenamento. Aos 30 dias de armazenamento o tubérculo (45 kPa sAS (T6) com imersão de AS) apresentou maior acúmulo de flavonoides com $0,628 \mu\text{g rutina mg}^{-1}$, seguido do tubérculo (10 kPa sAS (T2) com imersão de AS) apresentou valores de $0,565 \mu\text{g rutina mg}^{-1}$.

Figura 41- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no conteúdo de flavonoides totais no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



Em modo geral, aos 60 dias de armazenamento todos os tubérculos apresentaram uma diminuição do conteúdo de flavonoides com exceção do tubérculo (30 kPa cAS (T3) com imersão de AS) apresentando um aumento no teor de flavonoides de $0,579 \mu\text{g rutina mg}^{-1}$ (Figura 41).

Flavonoides têm as funções de antioxidantes, eliminação de radicais livres e inibição da germinação de esporos fúngicos, extensão do tubo germinativo e crescimento de hifas (EZEKIEL et al., 2013).

A diminuição da síntese de flavonoides nos tubérculos pode ser consequência de doses excessivas de AS exógena ou exposição prolongada a doses mais baixas de AS que têm efeitos adversos nas plantas (JUNG et al., 2004).

SMOLEŇ et al. (2018) faz menção que a maior atividade de peroxidase e polifenoloxidase nos tubérculos das plantas com maior dose de AS, foi correlacionada com os menores teores de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas nos tubérculos, uma vez que polifenoloxidase conduz o processo de oxidação desses compostos bioativos.

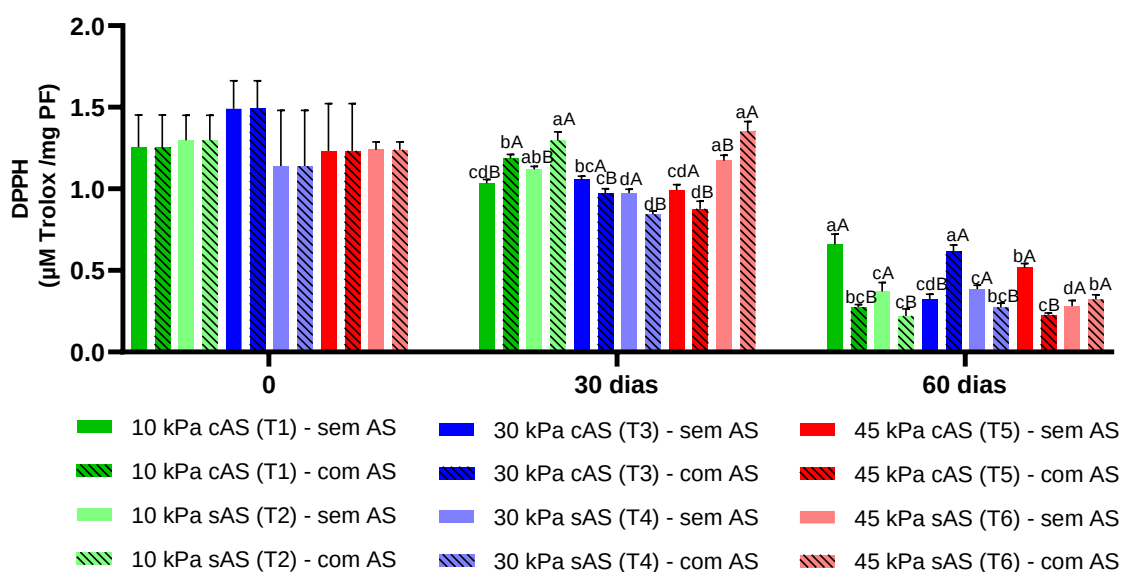
2.3.2.3 Atividade antioxidante (DPPH, FRAP e ABTS⁺)

A atividade de eliminação de radicais dos extratos testados sobre o radical livre DPPH apresentaram mudança significativa aos 30 e 60 dias de armazenamento. Aos 30 dias de armazenamento os tubérculos (45 kPa sAS (T6)) com e sem imersão em AS apresentaram os maiores valores de atividade antioxidante respectivamente com $1,356$ e $1,171 \mu\text{M trolox mg}^{-1}$.

O tubérculo em todos os tratamentos apresentou uma redução na atividade antioxidante aos 60 dias de vida de prateleira. Podendo evidenciar que o tubérculo que apresentou maior atividade antioxidante foi 10kPa cAS (T1) sem imersão em AS, em comparação com o tubérculo (10 kPa sAS (T2) com imersão em AS) que apresentou os menores valores de atividade antioxidante (Figura 42).

A diminuição da capacidade antioxidante total com o aumento progressivo do período de armazenamento pode ser devido à diminuição do teor de compostos fenólicos totais e flavonoides no tubérculo.

Figura 42- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS na atividade antioxidante DPPH no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições

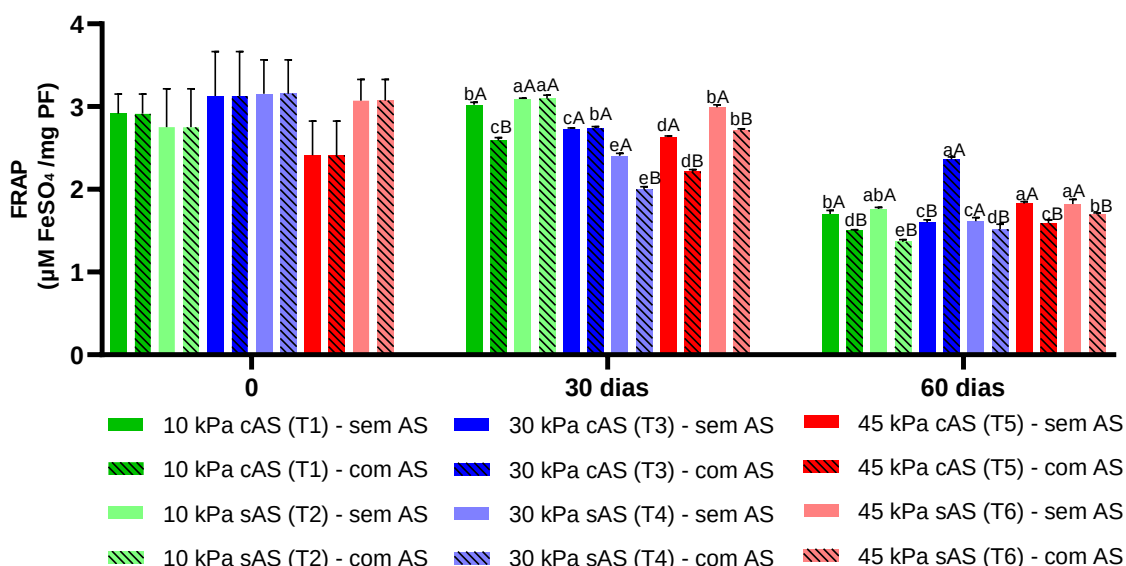


Ensaio de poder antioxidante redutor de íons férricos (FRAP) apresentou mudança significativa na atividade nos dois períodos de avaliação da vida de prateleira (30 e 60 dias).

Pode-se observar que aos 30 dias de prateleira dos tubérculos, os tratamentos (10 kPa sAS (T2)) com e sem imersão de AS apresentaram os maiores valores de atividade de poder antioxidante, 3,091 e 3,095 $\mu\text{M FeSO}_4 \text{ mg}^{-1}$ respectivamente.

Em modo geral, pode-se evidenciar que aos 60 dias de pós-colheita todos os tubérculos tratados com e sem imersão de AS apresentam uma redução na atividade antioxidante redutor de íons férricos. O tubérculo em condições de 30 kPa cAS (T3) e com imersão de AS foi o tratamento que menos reduziu a atividade antioxidante, apresentando 2,362 $\mu\text{M FeSO}_4 \text{ mg}^{-1}$ (Figura 43).

Figura 43- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS na atividade antioxidante FRAP no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



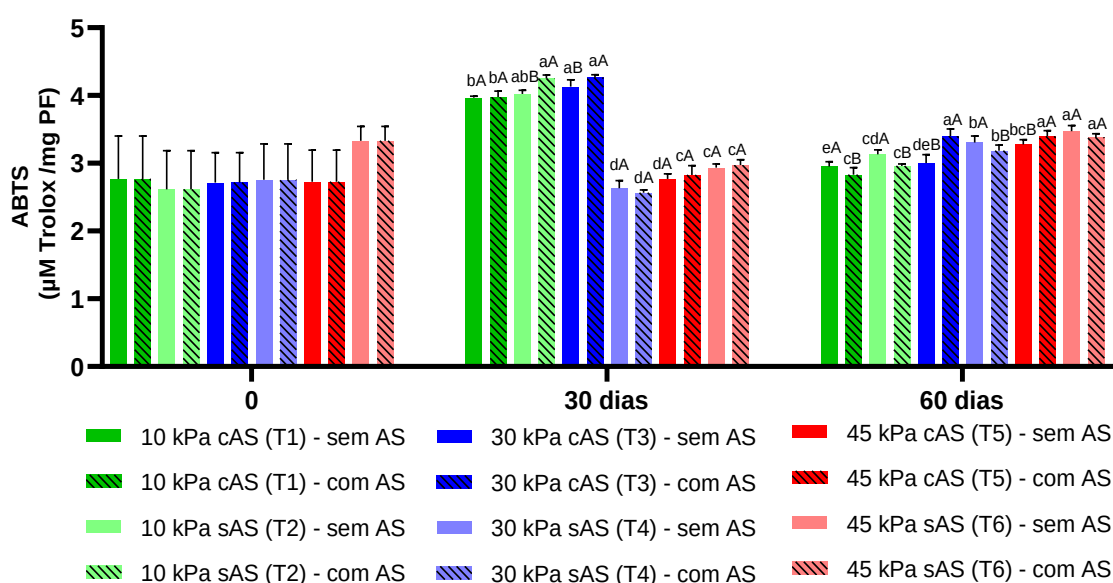
A atividade de eliminação de radicais livres é um dos mecanismos conhecidos pelos quais os antioxidantes inibem a peroxidação lipídica (BLOKHINA; VIROLAINEN; FAGERSTEDT, 2003).

No presente estudo, independentemente dos tratamentos, a atividade de eliminação de radicais no tubérculo diminuiu durante o armazenamento. Os resultados mostraram um padrão semelhante ao observado no teor de fenólicos totais e flavonoides. Segundo (REYES; MILLER; CISNEROS-ZEVALLOS, 2005), os compostos responsáveis pela atividade antioxidante na batata são os polifenóis, antocianinas e a vitamina C.

A atividade antioxidante determinada pelo ensaio ABTS⁺ foi afetada significativamente durante a pós-colheita. Aos 30 dias de vida prateleira observou-se comportamento particularmente significativo nos tubérculos 30 kPa cAS (T3) (sem e com imersão em AS) apresentaram valores de atividade antioxidante de 4,132 e 4,268 µM trolox mg⁻¹, em comparação com os tubérculos em condições de pré-colheita de

30 kPa SAS (T4) (sem e com imersão de AS na pós-colheita) com valores de 2,632 e 2,566 μM trolox mg^{-1} .

Figura 44- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS na atividade antioxidante ABTS no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



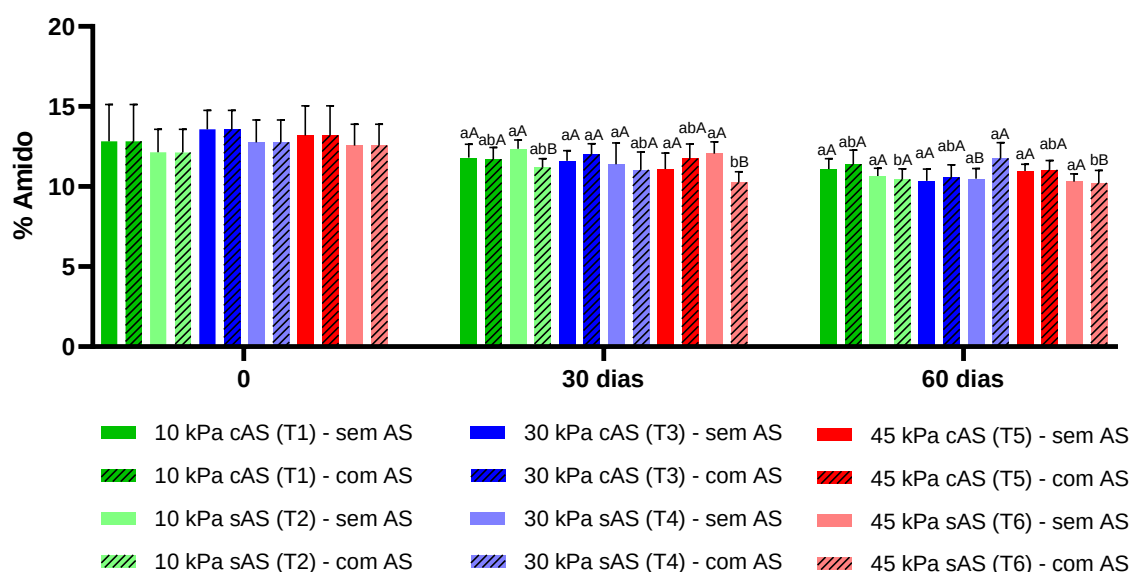
Evidencia-se que aos 60 dias de pós-colheita todos os tubérculos apresentaram uma redução significativa na atividade antioxidante pelo ensaio ABTS⁺, sendo o tubérculo (45 kPa SAS pré-colheita (T6)) sem imersão em AS o tratamento que apresentou maior atividade antioxidante (Figura 44).

MADIWALE et al. (2011) e KÜLEN; STUSHNOFF; HOLM (2013) relataram dados semelhante de atividade antioxidante ABTS em batatas de polpa branca e amarela.

2.3.2.4 Conteúdo de amido e açúcar redutor

A porcentagem de amido no tubérculo em todos os tratamentos apresentou uma redução significativa no conteúdo durante toda a vida de prateleira. O carboidrato, basicamente amido, compreende cerca de 30% da massa fresca total. O amido é encapsulado em grânulos em duas formas de amido: amilose (polímero de glicose de cadeia reta) e amilopectina (polímero de glicose de cadeia ramificada) (SHARMA; JAISWAL; JAISWAL, 2020).

Figura 45- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no % de amido no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



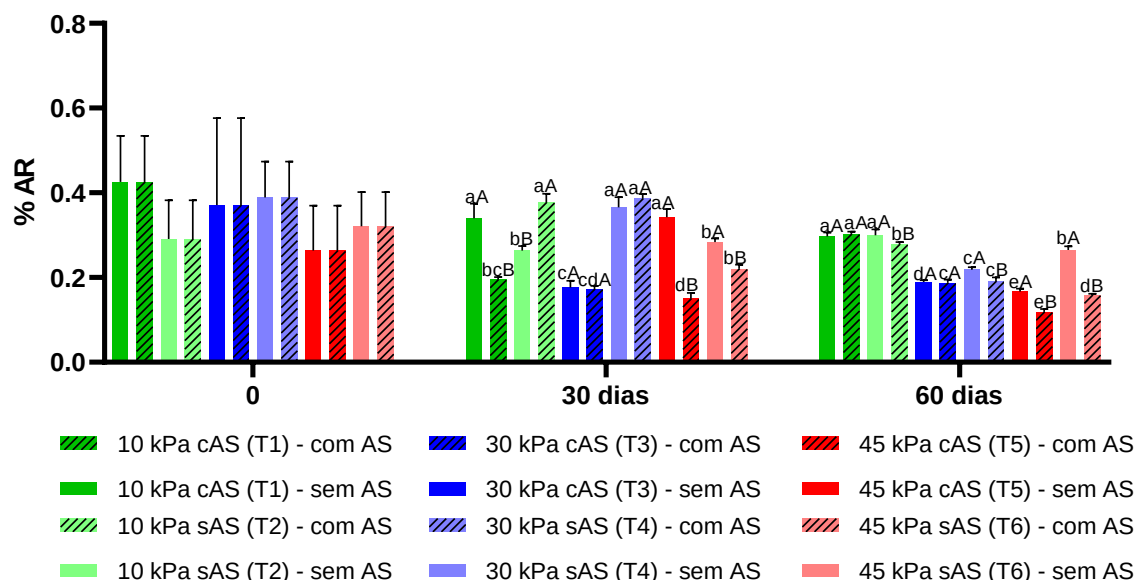
Como um organismo vivo, as batatas continuam a respirar no armazenamento. Os açúcares produzidos durante a hidrólise do amido são usados para a respiração. Durante a hidrólise do amido, ocorre perda de matéria seca, resultando em perda de peso (PINHERO; YADA, 2016).

A variação na concentração de amido em tubérculo de batata em resposta a imersão em AS apresentou diferença significativa durante os 60 dias de pós-colheita.

Aos 60 dias, os tubérculos em condições pré-colheita (30 kPa sAS (T4) e 45 kPa cAS (T5)) com imersão de AS apresentaram maiores concentrações de amido durante o período de vida de prateleira (Figura 45).

A tendência geral em todos os tubérculos foi o aumento da concentração do açúcar redutor total com o passar do tempo, o nível máximo foi atingido nos tubérculos no final do período de armazenamento (Figura 46).

Figura 46- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no % de açúcar redutor no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



Os efeitos do AS, em condições do tubérculo na pré-colheita e sua interação foram significativos para a concentração de açúcar redutor. Entre os tratamentos com AS, a concentração mínima de açúcar redutor ao final da vida de prateleira foi registrada no tubérculo em condições de 45 kPa cAS (T5) com imersão em AS (0,118%) em comparação com o tubérculo 10 kPa cAS (T1) com imersão de AS (0,302%) que apresentou maior acúmulo de açúcar redutor.

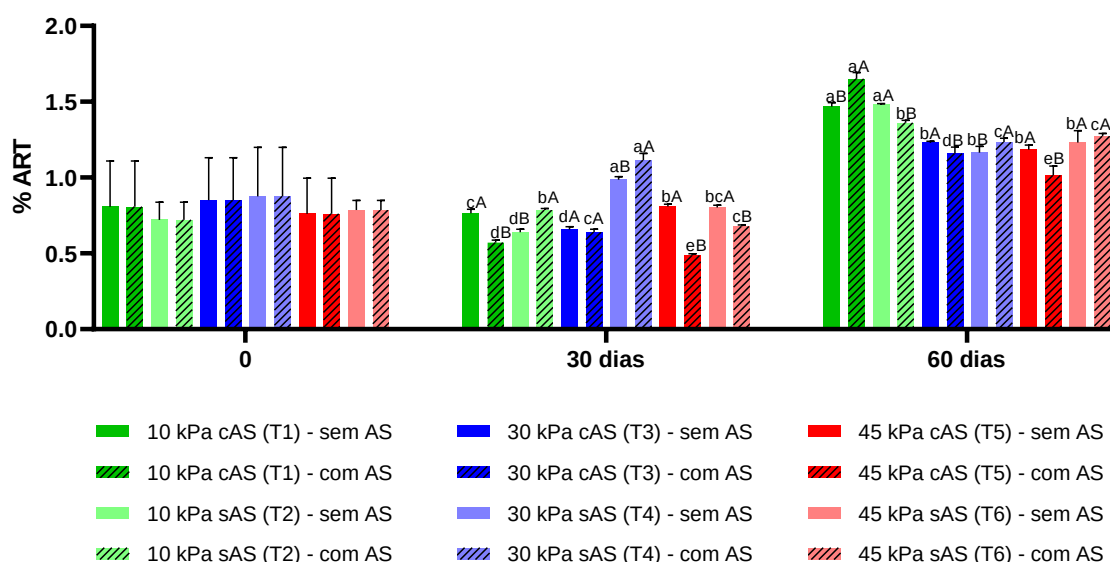
As concentrações totais de açúcar nos tubérculos de batata estão presentes principalmente como sacarose não redutora, glicose e frutose (BLENKINSOP et al.,

2002). Esse acúmulo de açúcares redutores pode ser devido ao aumento da quebra do amido durante o amadurecimento, conforme relatado por (BEAUDRY et al., 1989).

A concentração de açúcar redutor total foi afetada significativamente durante a vida de prateleira na pós-colheita. Aos 60 dias de vida prateleira observou-se aumento significativo em todos os tratamentos em comparação aos 30 dias de pós-colheita.

Pode-se observar aos 60 dias de vida de prateleira que os tubérculos em condições de pré-colheita de 10 kPa cAS (T1) e 10 kPa sAS (T2) com e sem imersão de AS, apresentaram maiores acúmulos de porcentagem de açúcar redutor total (Figura 47).

Figura 47- Efeito das condições do tubérculo na pré-colheita e imersão pós-colheita em AS no % de açúcar redutor total no tubérculo de batata. As amostras foram avaliadas 30 e 60 dias pós-colheita. Com letra maiúscula diferentes entre as concentrações de AS (com e sem imersão de AS) e letra minúscula entre as condições do tubérculo na pré-colheita indicam diferenças significativas do teste Tukey ($p \leq 0,05$). Dados correspondentes a medias de cinco repetições



2.3.3 Coeficiente de correlação de Pearson entre dados bioquímicos

Para justificar as correlações entre os componentes físico-químicos e bioquímicos, realizamos o teste de correlação de Pearson (Tabela 21). FT correlacionou-se positivamente de forma significativa com CFT, atividade antioxidante

(DPPH e FRAP). Observou-se para AR e ART correlação positiva para SST, ratio e % perda de massa.

A partir da tabela, concluímos que o acúmulo de compostos fenólicos e flavonoides está diretamente correlacionado com atividade antioxidante do tubérculo durante os 60 dias de pós-colheita. Igualmente, pode-se perceber que a perda de água pela transpiração do tubérculo durante a pós-colheita correlaciona diretamente com o acúmulo de açúcares redutores (glicose e frutose), sacarose e em geral com os sólidos solúveis totais.

Tabela 21- Coeficiente correlação de Pearson entre parâmetros 129alond-quimicos e bioquímicos

	pH	SST	AT	ratio	%perda massa	MDA	CFT	FT	DPPH	FRAP	ABTS	%AR	%ART	%Amido
pH	1													
SST	0,123 ^{ns}	1												
AT	0,047 ^{ns}	0,146 ^{ns}	1											
Ratio	0,092 ^{ns}	0,886 ^{**}	-0,326 [*]	1										
%perda massa	-0,0609 ^{ns}	0,334 ^{**}	0,144 ^{ns}	0,249 ^{ns}	1									
MDA	-0,077 ^{ns}	-0,095 ^{ns}	-0,002 ^{ns}	-0,079 ^{ns}	0,032 ^{ns}	1								
CFT	-0,070 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,124 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,560 ^{**}	-0,128 ^{ns}	1							
FT	-0,118 ^{ns}	-0,223 ^{ns}	0,081 ^{ns}	-0,251 ^{ns}	0,163 ^{ns}	-0,049 ^{ns}	0,803 ^{**}	1						
DPPH	-0,014 ^{ns}	-0,239 ^{ns}	0,094 ^{ns}	-0,271 [*]	0,182 ^{ns}	0,014 ^{ns}	0,578 ^{**}	0,804 ^{**}	1					
FRAP	-0,101 ^{ns}	-0,329 [*]	0,128 ^{ns}	-0,375 ^{**}	0,028 ^{ns}	0,018 ^{ns}	0,693 ^{**}	0,904 ^{**}	0,661 ^{**}	1				
ABTS	-0,099 ^{ns}	-0,501 ^{**}	0,005 ^{ns}	-0,479 ^{**}	-0,228 ^{ns}	0,119 ^{ns}	0,024 ^{ns}	0,215 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,510 ^{**}	1			
% AR	0,026 ^{ns}	0,478 ^{**}	-0,024 ^{ns}	0,463 ^{**}	0,725 ^{**}	-0,065 ^{ns}	0,397 ^{**}	-0,003 ^{ns}	0,061 ^{ns}	-0,191 ^{ns}	-0,586 ^{**}	1		
% ART	0,082 ^{ns}	0,531 ^{**}	0,114 ^{ns}	0,446 ^{**}	0,662 ^{**}	-0,129 ^{ns}	0,380 ^{**}	-0,037 ^{ns}	0,029 ^{ns}	-0,275 [*]	-0,721 ^{**}	0,833 ^{**}	1	
% Amido	0,183 ^{ns}	0,067 ^{ns}	-0,040 ^{ns}	0,077 ^{ns}	-0,022 ^{ns}	-0,225 ^{ns}	0,007 ^{ns}	-0,135 ^{ns}	0,003 ^{ns}	-0,155 ^{ns}	-0,158 ^{ns}	0,019 ^{ns}	0,160 ^{ns}	1

Abreviatura: potencial de hidrogênio [**pH**], sólidos solúveis totais [**SST**], acidez titulavel [**AT**], índice de maturação [**ratio**], compostos fenólicos totais [**CFT**], flavonoides totais [**FT**], 129alondialdeído [MDA], porcentagem massa seca do tubérculo [% massa seca T], açúcar redutor [**AR**], açúcar redutor total [**ART**]

*indica significância <0,05

** indica significância <0,001

ns: não significativo

2.3.4 Análise de componentes principais (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada no conjunto de dados dos resultados para os 12 tratamentos, a partir da combinação de seis tratamentos dos tubérculos em condições de déficit hídrico da pré-colheita e dois níveis de imersão em ácido salicílico, para 8 características avaliadas (compostos fenólicos, flavonoides, atividade antioxidante, % de açúcar redutor, % de açúcar redutor total e % de amido). A variabilidade total foi explicada por 8 componentes principais (CPs). Destes, os dois primeiros (PC1 e PC2) representaram 72,27% da variação total (Tabela 22).

Tabela 22- Cargas fatoriais, autovalores e proporção de variação associados a quatro componentes principais (CP) da ACP de 8 parâmetros bioquímicos em 12 tratamentos

Características	CP1	CP2	CP3	CP4
CFT	-0,170	0,533	0,787	-0,064
FT	0,846	0,340	0,160	-0,291
DPPH	0,980	-0,0009	-0,001	-0,108
FRAP	0,951	0,175	0,105	0,076
ABTS	-0,072	0,890	-0,162	0,390
AR	0,544	-0,433	0,604	0,215
ART	-0,814	-0,240	0,464	0,104
Amido	0,794	-0,324	-0,078	0,334
Autovalor	4,206	1,575	1,271	0,428
Variabilidade (%)	52,58	19,69	15,89	5,354
Acumulativo (%)	52,58	72,27	88,17	93,52

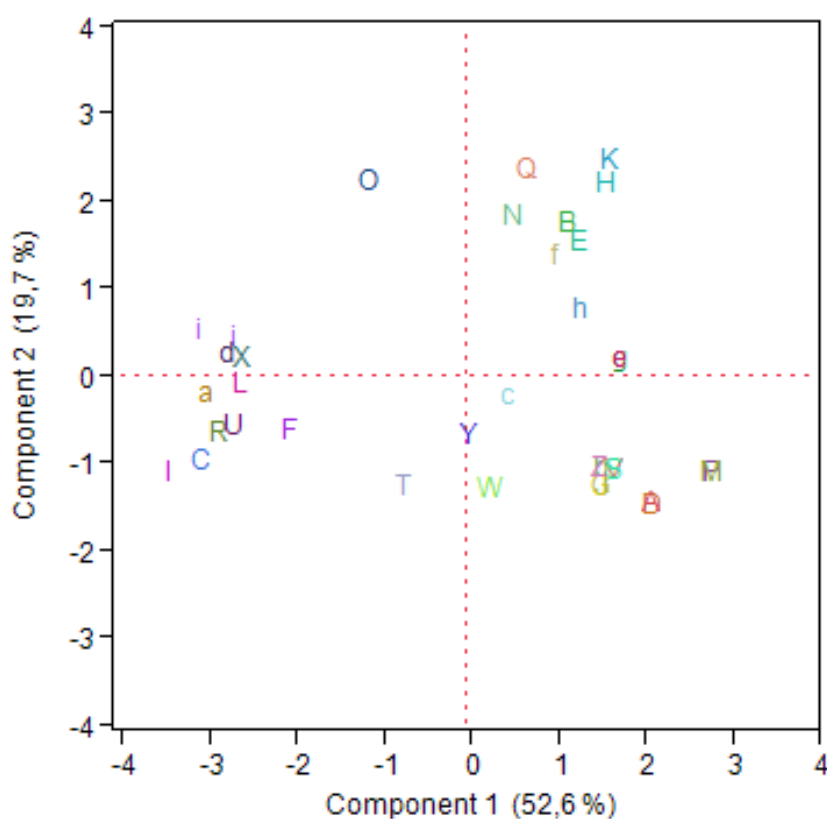
Abreviatura: compostos fenólicos totais [**CFT**], flavonoides totais [**FT**], 130alondialdeído [**MDA**], açúcar redutor [**AR**], açúcar redutor total [**ART**]

O CP1, que explicou 52,58% da variação total, foi eficaz na separação de todos os tratamentos do dia 0 de pós-colheita (Figura 48). O exame de cargas de CP1 (Figura 49) sugere que esta separação é devido a flavonoides totais, atividade antioxidante (DPPH e FRAP) e % de amido.

As pontuações e cargas de CP1 sugerem que as concentrações desses compostos foram maiores para os tubérculos no dia 0 devido que em esta etapa da pós-colheita é a fase em que maior acúmulo de compostos bioativos apresenta o tubérculo para continuar com seu processo oxidativo durante o transcorrer do tempo de vida de prateleira. E menor valores de acúmulo se observou nos tratamentos aos

60 dias de pós-colheita, que se localizaram no lado negativo do eixo CP1. Em relação ao açúcar redutor total, que contribuiu de forma notável para a separação dos tubérculos em CP1, porém com cargas negativas. Os escores e cargas de CP1 sugerem que todos esses componentes estavam presentes em níveis intermediários e semelhantes em todos os tratamentos aos 30 dias de pós-colheita, que estavam centrados no eixo CP1.

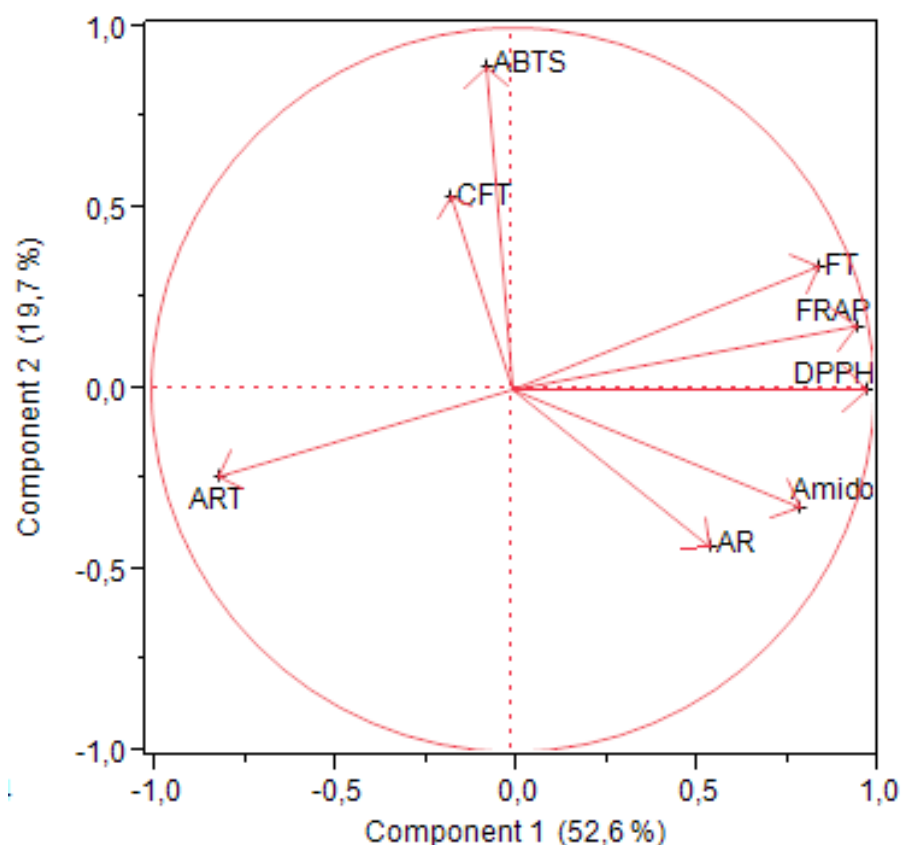
Figura 48- Gráfico de pontuação da análise de componentes principais do tubérculo em 35 combinações de tubérculo da pré-colheita e imersão em AS na cultura da batata durante os períodos de avaliação



T1 cAS – 0 dias [A], T1 cAS – 30 dias [B], T1 cAS – 60 dias [C], T1 sAS – 0 dias [D], T1 sAS – 30 dias [E], T1 sAS – 60 dias [F], T2 cAS – 0 dias [G], T2 cAS – 30 dias [H], T2 cAS – 60 dias [I], T2 sAS – 0 dias [J], T2 sAS – 30 dias [K], T2 sAS – 60 dias [L], T3 cAS 0 dias [M], T3 cAS – 30 dias [N], T3 cAS – 60 dias [O], T3 sAS – 0 dias [Q], T3 sAS – 30 dias [R], T3 sAS – 60 dias [S], T4 cAS – 0 dias [T], T4 cAS – 30 dias [U], T4 cAS – 60 dias [V], T4 sAS – 0 dias [W], T4 sAS – 30 dias [X], T4 sAS – 60 dias [Y], T5 cAS – 0 dias [Z], T5 cAS – 30 dias [a], T5 cAS – 60 dias [b], T5 sAS – 0 dias [c], T5 sAS – 30 dias [d], T5 sAS – 60 dias [e], T6 cAS – 0 dias [f], T6 cAS – 30 dias [g], T6 cAS – 60 dias [h], T6 sAS – 0 dias [i], T6 sAS – 30 dias [j], T6 sAS – 60 dias [k].

O CP2 foi responsável por 19,69% da variabilidade e foi eficaz na separação dos tubérculos 10 kPa sAS com e sem imersão de AS aos 30 dias de pós-colheita e o tubérculo 30 kPa cAS com imersão de AS aos 30 dias de pós-colheita dos demais tratamentos. O exame de cargas de CP2 indica que esta separação se deve principalmente a principalmente a atividade antioxidante ABTS e aos compostos fenólicos totais. Do lado negativo do PC2, as cargas responsáveis pela separação corresponderam ao açúcar redutor, açúcar redutor total e amido. Os escores e carregamentos de CP2 sugerem que os tubérculos 30kPa sAS com e sem imersão de AS aos 30 dias de pós-colheita.

Figura 49- Gráfico de carga da análise de componentes principais do tubérculo em 8 características de níveis de tubérculo da pré-colheita e imersão em AS na cultura da batata durante os períodos de avaliação



Abreviatura: compostos fenólicos totais [CFT], flavonoides totais [FT], malondialdeído [MDA], açúcar redutor [AR], açúcar redutor total [ART]

2.4 CONCLUSÃO

Nas condições em que presente trabalho foi realizado, pode-se concluir que:

- Aplicação foliar de ácido salicílico na planta, favorece ao tubérculo de batata na pós-colheita para evitar a perda de água por transpiração.
- Imersão do tubérculo em ácido salicílico não altera o conteúdo de amido.
- Imersão do tubérculo em ácido salicílico na pós-colheita, não altera significativamente o conteúdo de compostos fenólicos e flavonoides totais

REFERÊNCIAS

- ASGHARI, M.; AGHDAM, M. S. Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. **Trends in Food Science and Technology**, v. 21, n. 10, p. 502–509, 2010.
- BEAUDRY, R. M. et al. Banana Ripening: Implications of Changes in Glycolytic Intermediate Concentrations, Glycolytic and Gluconeogenic Carbon Flux, and Fructose 2,6-Bisphosphate Concentration. **Plant Physiology**, v. 91, n. 4, p. 1436–1444, 1989.
- BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. Ferric reducing (antioxidant) power as a measure of antioxidant capacity: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70–76, 1996.
- BLENKINSOP, R. W. et al. Changes in Compositional Parameters of Tubers of Potato (*Solanum tuberosum*) during Low-Temperature Storage and Their Relationship to Chip Processing Quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 16, p. 4545–4553, 1 jul. 2002.
- BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen Deprivation Stress: a Review. **Annals of Botany**, v. 91, n. 2, p. 179–194, 1 jan. 2003.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol**, v. 28, p. 25–30, 1995.
- DEWANTO, V. et al. Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 10, p. 3010–3014, maio 2002.
- DING, C.-K. et al. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate. **Plant Science**, v. 161, n. 6, p. 1153–1159, nov. 2001.
- DING, Z.-S. et al. Responses of reactive oxygen metabolism and quality in mango fruit to exogenous oxalic acid or salicylic acid under chilling temperature stress. **Physiologia Plantarum**, v. 130, n. 1, p. 112–121, maio 2007.
- EZEKIEL, R. et al. Beneficial phytochemicals in potato - a review. **Food Research International**, v. 50, n. 2, p. 487–496, 2013.
- HAN, C. et al. Salicylic acid alleviates postharvest chilling injury of sponge gourd (*Luffa cylindrica*). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 3, p. 735–741, 2017.
- HELTOFT, P.; WOLD, A. B.; MOLTEBERG, E. L. Effect of ventilation strategy on storage quality indicators of processing potatoes with different maturity levels at harvest. **Postharvest Biology and Technology**, v. 117, p. 21–29, 2016.
- HUANG, R. et al. Effect of pre-harvest salicylic acid spray treatment on post-harvest antioxidant in the pulp and peel of ‘Cara cara’ navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 2, p. 229–236, 30 jan. 2008.

- JUNG, V. et al. Response of young hydroponically grown tomato plants to phenolic acids. **Scientia Horticulturae**, v. 100, n. 1–4, p. 23–37, mar. 2004.
- KÜLEN, O.; STUSHNOFF, C.; HOLM, D. G. Effect of cold storage on total phenolics content, antioxidant activity and vitamin C level of selected potato clones. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 10, p. 2437–2444, 2013.
- LACHMAN, J. et al. The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic content and antioxidant activity in potatoes. **Scientia Horticulturae**, v. 117, n. 2, p. 109–114, 2008.
- LU, X. H. et al. Effects of post-harvest salicylic acid treatment on fruit quality and antioxidant metabolism in pineapple during cold storage. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 85, n. 5, p. 454–458, 7 jan. 2010.
- MADIWALE, G. P. et al. Storage Elevates Phenolic Content and Antioxidant Activity but Suppresses Antiproliferative and Pro-apoptotic Properties of Colored-Flesh Potatoes against Human Colon Cancer Cell Lines. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 15, p. 8155–8166, 10 ago. 2011.
- NELSON, N. A photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 03, n. 2, p. 375–380, 1944.
- PINHERO, R. G.; YADA, R. Y. Postharvest Storage of Potatoes. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**. 2. ed. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 283–314.
- QIN, G. Z. et al. Enhancement of biocontrol efficacy of antagonistic yeasts by salicylic acid in sweet cherry fruit. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 62, n. 3, p. 147–154, mar. 2003.
- RE, R. et al. Antioxidant Activity Applying an Improved Abts Radical. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. 98, p. 1231–1237, 1999.
- REYES, L. F.; MILLER, J. C.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Antioxidant capacity, anthocyanins and total phenolics in purple-and red-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes. **American Journal of Potato Research**, v. 82, n. 4, p. 271–277, jul. 2005.
- SAYYARI, M. et al. Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. **Postharvest Biology and Technology**, v. 53, n. 3, p. 152–154, set. 2009.
- SHARMA, S.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. Potato. In: **Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 339–347.
- SILVEIRA, A. C. et al. Effect of genotype, raw-material storage time and cut type on native potato suitability for fresh-cut elaboration. **Postharvest Biology and Technology**, v. 128, p. 1–10, 2017.
- SMOLEŇ, S. et al. The effect of salicylic acid on biofortification with iodine and selenium and the quality of potato cultivated in the NFT system. **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 530–543, out. 2018.
- SRIVASTAVA, M. K.; DWIVEDI, U. N. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. **Plant Science**, v. 158, n. 1–2, p. 87–96, set. 2000.

TRESSLER, D.; JOSLYN, M. **Fruit and vegetable juice processing technology**. Westport CT: AVI Publishing Co, 1961.

WANG, L. et al. Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage.

Postharvest Biology and Technology, v. 41, n. 3, p. 244–251, set. 2006.

WU, Y. et al. Overexpression of SmLEA enhances salt and drought tolerance in *Escherichia coli* and *Salvia miltiorrhiza*. **Protoplasma**, v. 251, n. 5, p. 1191–1199, 5 set. 2014.

YAMDEU GALANI, J. H. et al. Effect of Storage Temperature on Vitamin C, Total Phenolics, UPLC Phenolic Acid Profile and Antioxidant Capacity of Eleven Potato (*Solanum tuberosum*) Varieties. **Horticultural Plant Journal**, v. 3, n. 2, p. 73–89, 2017.

ZHANG, Y. et al. The role of salicylic acid in postharvest ripening of kiwifruit.

Postharvest Biology and Technology, v. 28, n. 1, p. 67–74, abr. 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Evidenciando os efeitos benéficos do ácido salicílico no manejo do estresse abiótico, mais pesquisas devem ser orientadas para a identificação de reguladores moleculares e de sinalização de tolerância ao estresse abiótico para compreender os mecanismos e o desenvolvimento de reguladores vegetais para o melhoramento das culturas sobre condições de estresse.

Poder identificar as vias de sinalização do ácido salicílico durante estresse abiótico e as diferentes facetas do ácido salicílico na tolerância das plantas seria de grande importância. Diversas pesquisas envolvendo análise bioquímicas e moleculares precisam ser realizados para poder identificar as vias envolvidas na interação do ácido salicílico com outros hormônios, metabolitos e diferentes compostos durante condições de estresse.

REFERÊNCIAS

- BERTOFT, E.; BLENNOW, A. Structure of Potato Starch. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**. Second Edi ed. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 57–73.
- DOKHANIEH, A. Y. et al. Postharvest salicylic acid treatment enhances antioxidant potential of cornelian cherry fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 154, p. 31–36, 2013.
- FRIEDMAN, M.; LEVIN, C. E. Glycoalkaloids and Calystegine Alkaloids in Potatoes. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**. Second Edi ed. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 167–194.
- GUTIÉRREZ-QUEQUEZANA, L. et al. Improved analysis of anthocyanins and vitamin C in blue-purple potato cultivars. **Food Chemistry**, v. 242, n. March 2017, p. 217–224, 2018.
- HAYAT, Q. et al. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, n. 1, p. 14–25, 2010.
- HELTOFT, P.; WOLD, A. B.; MOLTEBERG, E. L. Effect of ventilation strategy on storage quality indicators of processing potatoes with different maturity levels at harvest. **Postharvest Biology and Technology**, v. 117, p. 21–29, 2016.
- JAROMÍR, L.; KAREL, H.; MATYÁŠ, O. Colored Potatoes. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**. 2. ed. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 249–281.
- KUMAR, D. Salicylic acid signaling in disease resistance. **Plant Science**, v. 228, p. 127–134, 2014.
- MOHANTA, T. K. et al. Systems biology approach in plant abiotic stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 121, n. September, p. 58–73, 2017.
- NAVARRE, D. A.; SHAKYA, R.; HELLMANN, H. Vitamins, Phytonutrients, and Minerals in Potato. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**. Second Edi ed. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 117–166.
- NURMANOV, Y. T.; CHERNENOK, V. G.; KUZDANOVA, R. S. Potato in response to nitrogen nutrition regime and nitrogen fertilization. **Field Crops Research**, v. 231, n. December 2018, p. 115–121, 2019.
- OSAKABE, Y. et al. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. MAR, p. 1–8, 2014.
- PINHERO, R. G.; YADA, R. Y. Postharvest Storage of Potatoes. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**. 2. ed. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 283–314.
- RAMADAN, M. F. Potato Lipids. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**. Second Edi ed. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 105–116.
- SHARMA, S.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. Potato. In: **Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 339–347.

TAREEN, M. J.; ABBASI, N. A.; HAFIZ, I. A. Postharvest application of salicylic acid enhanced antioxidant enzyme activity and maintained quality of peach cv. "Flordaking" fruit during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 142, p. 221–228, 2012.

USDA. **National Nutrient Database for Standard Reference Release Legacy April 2018 Basic Report 09216 , Durian**. Disponível em: <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/11362?fgcd=&manu=&format=&count=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=potato&ds=&qt=&qp=&qd=&qn=&qv=&ing=>>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

WAGLAY, A.; KARBOUNE, S. Potato Proteins: Functional Food Ingredients. In: **Advances in Potato Chemistry and Technology**. Second Edition. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 75–104.

WANG, Y.; FREI, M. Stressed food - The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 141, n. 3–4, p. 271–286, 2011.