



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**TESE DE DOUTORADO**

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO E APLICAÇÃO  
FOLIAR DE ÁCIDO ASCÓRBICO NO CULTIVO DE MARACUJAZEIRO-  
AZEDO**

REYNALDO TEODORO DE FATIMA

Campina Grande, PB

Fevereiro de 2024

REYNALDO TEODORO DE FATIMA

Engenheiro Agrícola

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO E APLICAÇÃO  
FOLIAR DE ÁCIDO ASCÓRBICO NO CULTIVO DE MARACUJAZEIRO-  
AZEDO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientadores: Prof. D. Sc. Geovani Soares de Lima

Profa. D. Sc. Lauriane Almeida dos Anjos Soares

F253e      Fatima, Reynaldo Teodoro de.  
Estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico no cultivo de maracujazeiro-azedo / Reynaldo Teodoro de Fatima. – Campina Grande, 2025.  
135 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.  
"Orientação: Prof. Dr. Geovani Soares de Lima, Prof. Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares".  
Referências.

1. *Passiflora edulis* Sims. 2. Estratégias de Irrigação. 3. Déficit Hídrico. 4. Aplicação Foliar de Ácido Ascórbico. 5. Semiárido Paraibano. I. Lima, Geovani Soares de. II. Soares, Lauriane Almeida dos Anjos. III. Título.

CDU 634.776.3(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA  
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

## FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

REYNALDO TEODORO DE FATIMA

**“ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO E APLICAÇÃO FOLIAR DE ÁCIDO ASCÓRBICO NO CULTIVO DE MARACUJAZEIRO-AZEDO”**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 26/02/2024

Geovani Soares de Lima - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

Lauriane Almeida dos Anjos Soares - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

Hans Raj Gheyi - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

Vera Lucia Antunes de Lima - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFMG

Walter Esfrain Pereira - Examinador(a) Externo(a) - CCA/UFPB

Reginaldo Gomes Nobre - Examinador(a) Externo(a) - DCT/UFERSA

Antônio Gustavo de Luna Souto - Examinador(a) Externo(a) - UFERSA



Documento assinado eletronicamente por **Hans Raj Gheyi, Usuário Externo**, em 05/03/2024, às 15:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Walter Esfrain Pereira, Usuário Externo**, em 05/03/2024, às 15:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Reginaldo Gomes Nobre, Usuário Externo**, em 05/03/2024, às 21:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **GEOVANI SOARES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR-VISITANTE**, em 25/03/2024, às 14:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **LAURIANE ALMEIDA DOS ANJOS SOARES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/04/2024, às 09:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 07/04/2024, às 18:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antônio Gustavo de Luna Souto, Usuário Externo**, em 25/02/2025, às 07:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4260086** e o código CRC **6AD36D62**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela saúde, força, proteção, oportunidades e por ter me guiado em todas as minhas decisões.

Agradeço aos meus pais, José Teodoro Neto e Maria de Fatima de Oliveira, que sempre foram minha maior fonte de inspiração e força. Sou grato aos meus familiares, por acreditarem e apoiarem meu sonho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso.

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

Aos meus orientadores, Geovani Soares de Lima e Lauriane Almeida dos Anjos Soares, pelas suas orientações, conselhos, paciência e pelo tempo dedicado a esse trabalho.

Aos meus amigos do Grupo de Pesquisa em manejo de água, solo e planta em sistemas de produção irrigados, Jackson Nobrega, Jean Paiva, J. Telvio, Larissa, Luderlandio, Cassiano, Smyth, Patrick, Valeska, Amanda, André, Dias, Saulo, Maila, Paulinha, Iara... enfim, a todos que fazem parte da família MASP.

Aos membros avaliadores que se dispuseram à avaliação do trabalho e pelas sugestões para melhoria.

A toda a minha família, por todo apoio, carinho e incentivo concedidos durante toda minha formação. Meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram com essa conquista. Muito obrigado.

## **DEDICATÓRIA**

*A todos aqueles que, de alguma forma, estiveram  
e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer  
cada vez mais a pena*

# Sumário

	Pág.
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	14
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Geral.....	17
2.2 Específicos.....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	18
3.1. Aspectos gerais e econômicos do maracujazeiro .....	18
3.1. Disponibilidade de água em regiões semiáridas .....	19
3.2. Efeitos do déficit hídrico nas plantas.....	21
3.3. Ácido ascórbico como elicitador de estresse em plantas .....	22
4. REFERÊNCIAS .....	25
RESUMO:.....	35
ABSTRACT:.....	36
1. INTRODUÇÃO .....	37
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3. RESULTADO .....	46
4. DISCUSSÃO .....	60
5. CONCLUSÕES .....	63
6. REFERÊNCIAS .....	63
RESUMO:.....	71
ABSTRACT .....	72
1. INTRODUÇÃO .....	73
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
3. RESULTADOS.....	79
4. DISCUSSÃO .....	92
5. CONCLUSÕES .....	97
6. REFERÊNCIAS .....	98
RESUMO .....	104
ABSTRACT .....	105
1. INTRODUÇÃO .....	106
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	107



<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>112</b>
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>120</b>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>125</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>125</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>130</b>

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo II - Aspectos fisiológicos de maracujazeiro-azedo sob estratégias de manejo da irrigação e aplicação foliar de ácido ascórbico

---

	Pág.
<b>Tabela 1.</b> Composição física e química do solo (profundidade 0-0,20 m) da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos.....	41
<b>Tabela 2.</b> Consumo de água do maracujazeiro-azedo cultivar BRS GA1 sob cada estratégia de irrigação, calculado pela evapotranspiração da cultura até 220 dias após o transplantio.....	43
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para condutância estomática (gs), concentração intercelular de CO <sub>2</sub> (Ci), transpiração (E), taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> (A), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso de água (EiUA), eficiência instantânea de carboxilação (EiCi), clorofila a (Cl a), clorofila b (Cl b), clorofila total (Chl t), carotenoides (Car), relação clorofila a/b (chl a/b), relação clorofila total / carotenoides (Chl t/Car), conteúdo relativo de água (CRA), extravasamento de eletrólitos (EE), fluorescência inicial (F <sub>0</sub> ), fluorescência máxima (F <sub>m</sub> ), fluorescência variável (F <sub>v</sub> ) e eficiência quântica do PSII (F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub> ) do maracujazeiro-azedo cultivado sob estratégias de manejo da irrigação com déficit hídrico (E) e concentrações de ácido ascórbico (AsA), aos 200 dias após o transplantio.....	47

### Capítulo III - Produção e qualidade pós-colheita de frutos de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação e aplicação foliar de ácido ascórbico

---

<b>Tabela 1.</b> Composição física e química do solo (profundidade 0-0,20 m) da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos.....	77
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para número de frutos por planta (NFP), produção por planta (PROD), peso médio de fruto (PMF), polpa (PMP) e casca (PMC), rendimento de polpa (RP), diâmetro equatorial (DE), longitudinal (DL) e espessura de casca (EC) de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 cultivado sob estratégias de irrigação com déficit hídrico (E) e aplicações foliares de ácido ascórbico (C), no período de 160 a 220 dias após o transplantio (DAT).	

80

<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para as variáveis de potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), vitamina C (Vit. C), açúcares totais (A), açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR) de frutos de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 cultivado sob estratégias de irrigação com déficit hídrico (E) e aplicações foliares de ácido ascórbico (C), aos 220 dias após o transplantio.....	87
--	----

#### **Capítulo IV - Composição mineral e produtividade de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação deficitária e aplicação foliar de ácido ascórbico**

---

<b>Tabela 1.</b> Composição física e química do solo (profundidade 0-0,20 m) da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos.....	109
<b>Tabela 2.</b> Consumo hídrico do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 em cada estratégia de irrigação, conforme o calculado pela evapotranspiração da cultura dos 30 aos 220 dias após o transplantio.....	112
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), sódio (Na), Cloreto (Cl) aos 200 DAT, bem como a produtividade (PROD) e eficiência no uso da água (EUA) do maracujazeiro-azedo cultivado sob estratégias de manejo da irrigação com déficit hídrico (E) e concentrações de ácido ascórbico (AsA), aos 220 dias após o transplantio.....	112

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo II - Aspectos fisiológicos de maracujazeiro-azedo sob estratégias de manejo da irrigação e aplicação foliar de ácido ascórbico

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Dados de temperaturas máximas e mínimas diárias, umidade relativa média do ar e precipitação durante o período de condução do experimento (1 – 220 dias após o transplântio).....	40
<b>Figura 2.</b> Condutância estomática – $g_s$ (A), concentração interna de $CO_2$ – $C_i$ (B), transpiração – $E$ (C) e taxa de assimilação de $CO_2$ – $A$ (D) do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, em função da interação entre os fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico, aos 200 dias após o transplântio.....	49
<b>Figura 3.</b> Interação dos fatores estratégias de irrigação deficitária e concentrações de ácido ascórbico na eficiência do uso da água – $EUA$ (A), eficiência intrínseca do uso da água – $EiUA$ (B) e eficiência instantânea da carboxilação – $EiCi$ (C) do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplântio.....	51
<b>Figura 4.</b> Interação dos fatores estratégias de irrigação deficitária e concentrações de ácido ascórbico nos teores de clorofila $a$ – $Cl a$ (A), clorofila $b$ – $Cl b$ (B), clorofila total – $Cl t$ (C) e carotenoides – $Car$ (D) do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplântio.....	53
<b>Figura 5.</b> Interação dos fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico na relação clorofila $a/b$ – $Chl a/b$ (A), clorofila total/carotenoides – $Cl t/Car$ (B), extravasamento de eletrólitos – $EE$ (C) e conteúdo relativo de água – $CRA$ (D) de plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplântio.....	55
<b>Figura 6.</b> Interação dos fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico na fluorescência inicial – $F_0$ (A) e fluorescência máxima – $F_m$ (B) de plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplântio.....	57
<b>Figura 7.</b> Interação dos fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico na fluorescência variável – $F_v$ (A), eficiência quântica do PSII – $F_v/F_m$ (B) e índice de estabilidade de produção (IEP) de plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplântio.....	59

**Figura 8.** Matrizes de correlação de Pearson para as variáveis fisiológicas e índice de colheita do maracujá dentro das estratégias de irrigação e concentrações de ácido ascórbico..... 60

**Capítulo III - Produção e qualidade pós-colheita de frutos de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação e aplicação foliar de ácido ascórbico**

---

**Figura 1.** Dados de temperaturas máximas e mínimas diárias, umidade relativa média do ar e precipitação durante o período de condução do experimento (1 – 220 dias após o transplantio)..... 75

**Figura 2.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no número de frutos por planta – NFP (A) e produção por planta - PROD (B) de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, no período de 160 - 220 dias após o transplantio..... 81

**Figura 3.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no peso médio da polpa – PMP (A), casca – PMC (B), fruto – PMF (C) e rendimento de polpa -RP (D) de maracujazeiro-azedo, no período de 160 a 220 dias após o transplantio..... 83

**Figura 4.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no diâmetro longitudinal – DL (A), equatorial – DE (B) e espessura da casca – EC (C) de maracujazeiro-azedo, no período de 160 a 220 dias após o transplantio..... 86

**Figura 5.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no potencial hidrogeniônico – pH (A) e ácido ascórbico – Vit. C (B) de maracujazeiro-azedo aos 220 dias após o transplantio..... 88

**Figura 6.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) na acidez titulável – AT (A), sólidos solúveis – SS (B) e ratio – SS/AT (C) de maracujazeiro-azedo aos 220 dias após o transplantio..... 89

**Figura 7.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no teor de açúcar total – A (A), redutor – AR (B) e não-redutor – ANR(C) de maracujazeiro-azedo aos 220 dias após o transplantio..... 91

## Capítulo IV - Composição mineral e produtividade de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação deficitária e aplicação foliar de ácido ascórbico

---

<b>Figura 1.</b> Dados de temperaturas máximas e mínimas diárias, umidade relativa média do ar e precipitação durante o período de condução do experimento (1 – 220 dias após o transplântio) .....	108
<b>Figura 2.</b> Teores foliares de nitrogênio – N (A), fósforo – P (B) e potássio – K (C) das plantas de maracujazeiro-azedo, em função da interação entre os fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico, aos 200 dias após o transplântio.....	113
<b>Figura 3.</b> Teores foliares de enxofre – S (A), sódio – Na (B) e cloreto – Cl (C) das plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, em função da interação entre os fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico, aos 200 dias após o transplântio.....	115
<b>Figura 4.</b> Produtividade – PROD (A) e eficiência no uso da água – EUA (B) do maracujazeiro-azedo, em função da interação entre os fatores estratégias de manejo da irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico, aos 220 dias após o transplântio.....	117
<b>Figura 5.</b> Matrizes de correlação de Pierson para as variáveis de composição mineral foliar, produtividade e eficiência do uso da água do maracujazeiro-azedo dentro das estratégias de irrigação com déficit hídrico na concentração de 0,0 mM (A), 0,5 mM (B) e 1,0 mM (C) de ácido ascórbico (AsA) no período de 200-220 dias após o transplântio.....	119

### Apêndice

---

<b>Figura 1.</b> Preparo das sacolas, disposição nas bancadas nas distintas fases de desenvolvimento das plantas.....	133
<b>Figura 2.</b> Preparo da área experimental, sistema de irrigação e transplântio.....	134
<b>Figura 3.</b> Detalhes da pesquisa nas diferentes etapas de condução.....	135

FATIMA, R. T. de. **Estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico no cultivo de maracujazeiro-azedo**. 2024. 135p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem). Universidade Federal de Campina Grande. Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. Campina Grande, PB.

## RESUMO

Os prolongados períodos de estiagem ocorridos nos últimos anos no semiárido brasileiro têm dificultado a expansão das áreas irrigadas, afetando diversas culturas, a exemplo do cultivo do maracujazeiro-azedo, tornando necessária a adoção de estratégias que visem atenuar os efeitos do déficit hídrico, a qual parte da identificação da suscetibilidade das fases fenológicas, até a aplicação de elicitores de atenuação do estresse, como o ácido ascórbico. Nesse contexto, objetivou-se com esse estudo, avaliar a fisiologia, a nutrição mineral, a produção e a qualidade pós-colheita dos frutos de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 em função das estratégias de manejo de irrigação deficitária e aplicação foliar de ácido ascórbico, em condições de semiárido Paraibano. O estudo, por sua vez, foi conduzido em condições de campo, no delineamento de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, sendo cada uma constituída de seis estratégias de irrigação com déficit hídrico, baseadas na evapotranspiração da cultura - ETc (lâmina da irrigação equivalente a 100% da ETc durante todo ciclo de cultivo – E1; irrigação com 50% da ETc nas fases: vegetativa – E2; floração – E3; frutificação – E4; nas fases sucessivas vegetativa/floração – E5; e vegetativa/frutificação – E6) e aplicações de três concentrações de ácido ascórbico - AsA (0; 0,5 e 1,0 mM), com três repetições e três plantas por parcela. Os resultados indicam que, a condição de déficit hídrico nas estratégias de irrigação, de forma geral, provocou alterações na atividade fotossintética das plantas de maracujazeiro-azedo, com redução na produção e teores foliares de nutrientes. A redução da produtividade na condição de déficit hídrico é superior as alterações observadas nas trocas gasosas, sendo a fluorescência e teor de pigmentos fotossintéticos pouco afetados pela condição de estresse. O maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 é sensível ao déficit hídrico na fase de floração, com perdas significativas na produção e qualidade pós-colheita dos frutos de maracujazeiro-azedo. Por isso, a aplicação de AsA, em ambas as concentrações, contribuiu de forma positiva na atividade fotossintética, nutrição, produção e qualidade pós-colheita de frutos de maracujazeiro-azedo, atenuando o déficit hídrico aos 220 dias após o transplântio (DAT).

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* Sims, déficit hídrico, elicitor, vitamina C.

FATIMA, R. T. de. **Irrigation strategies with water deficit and foliar application of ascorbic acid in sour passion fruit cultivation.** 2024. 135p. Thesis (Doctoral in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande, Academic Unit of Agricultural Engineering. Campina Grande, PB.

#### ABSTRACT

The prolonged periods of drought occurring in the Brazilian semi-arid region have hampered the expansion of sour passion fruit cultivation, making it necessary to adopt strategies aimed at mitigating the effects of water deficit, which starts from identifying the susceptibility of the phenological phases, to the application of elicitors, such as ascorbic acid. In this context, the objective of this study was to evaluate the physiology, mineral nutrition, production and quality of yellow passion fruit cv. BRS GA1 depending on the management strategies of deficient irrigation and foliar application of ascorbic acid in semi-arid conditions in Paraíba. The study was conducted under field conditions, in a randomized block design in a split-plot scheme, with the plots consisting of six irrigation management strategies with water deficit, based on crop evapotranspiration -  $ET_c$  (irrigation depth equivalent to 100% of  $ET_c$  throughout the cultivation cycle – S1; irrigation with 50% of  $ET_c$  in the different phases: vegetative – S2; flowering – S3; fruiting – S4; in the successive vegetative/flowering phases – S5; and vegetative/fruiting – S6) and three AsA concentrations (0, 0.5 and 1.0 mM), with three replications and three plants per plot. The condition of water deficit in irrigation strategies, in general, led to changes in the photosynthetic activity of passion fruit plants, with losses in production and foliar nutrient content. The loss of productivity in the water deficit condition is greater than the changes observed in gas exchange, with fluorescence and pigment content being little affected by the stress condition. The sour passion fruit cv. BRS GA1 is sensitive to water deficit in the flowering phase, causing damage to the production and post-harvest quality of sour passion fruit fruits. AsA, in both concentrations, contributed positively to the photosynthetic activity, nutrition, production and post-harvest quality of sour passion fruit fruits, being effective in alleviating water deficit at 220 days after transplanting (DAT).

**Key words:** *Passiflora edulis* Sims, water deficit, elicitors, fruit growing.



## **CAPÍTULO I**

---

### **CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA**

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O maracujazeiro consiste em uma variedade de espécies pertencente ao gênero das passifloráceas, que possui mais de 400 espécies catalogadas, com aproximadamente 150 encontradas em território brasileiro (Tomazzoli et al., 2019; Borges et al., 2020). O Brasil, por sua vez, ocupa o posto de maior produtor e consumidor dessa frutífera, com destaque para o cultivo da *Passiflora edulis* Sims, popularmente conhecida como maracujazeiro amarelo ou azedo, que representa mais de 95% dos pomares do país (Morais et al., 2020). Em 2022, a produção nacional do maracujazeiro-azedo chegou a 697.859 t, com destaque para região Nordeste, contribuindo com 69,77% de toda a produção, proveniente em grande parte dos estados da Bahia (227.867 t) e Ceará (148.013 t), sendo, portanto, os maiores produtores do país (IBGE, 2023).

A importância econômica do maracujazeiro-azedo está associada diretamente ao fruto, cuja polpa é apreciada pelo seu sabor característico e qualidade nutricionais, apresentando em sua composição elevados teores carboidratos, açúcares, vitaminas, minerais e compostos orgânicos, que contribuem para sua comercialização e industrialização (Sanchez et al., 2020; Biswas et al., 2021). Além disso, as necessidades de tratos culturais fazem com que a atividade seja exigente em mão de obra, o que gera emprego ao longo de todo o ano (Silva et al., 2016). Dessa forma, o incentivo para seu cultivo pode contribuir para o desenvolvimento regional, tanto pela geração de emprego e renda para o homem do campo, quanto pela característica fundiária local, que possui predominância de pequenas propriedades de agricultores familiares (Celestrino et al., 2020).

No entanto, dentre os entraves para a expansão das áreas produtivas no semiárido brasileiro, está a irregularidade e má distribuições das chuvas e a elevada taxa de evapotranspiração, que resultam em limitações na disponibilidade hídrica durante o ciclo das culturas, levando a perdas de produção e na qualidade dos frutos (Pereira, 2017; Maciel et al., 2021). O desbalanço agroclimático associado à falta de manejo adequado, reflete nas baixas produtividades observadas nos últimos anos no Nordeste brasileiro, com produtividade de 13,53 t ha<sup>-1</sup>, inferior à média nacional (15,30 t ha<sup>-1</sup>), e ao potencial produtivo da cultura que é de 45 t ha<sup>-1</sup> (Meletti, 2011; Freire et al., 2015; IBGE, 2023).

A perda de produtividade em condições de déficit hídrico é ocasionada pelas alterações fisiológicas, metabólicas e nutricionais provenientes da redução da absorção e fluxo de solutos no xilema, que intensificam os danos oxidativos (Wang et al., 2017;

Araújo Júnior et al., 2019; Figueiredo et al., 2019; Zombardo et al., 2020). Os impactos na produção pela condição de déficit hídrico já foram observados na cultura do maracujazeiro (Gaturuku et al., 2011; Gomes et al., 2012). No entanto, os seus efeitos podem variar em função do manejo de irrigação e adubação, condições edafoclimáticas, espécie e fase de desenvolvimento da cultura (Deka et al., 2018; Lima et al., 2023). Por isso, é essencial o desenvolvimento de pesquisas com o propósito de identificar a fase de desenvolvimento de maior sensibilidade e/ou tolerância do maracujazeiro-azedo ao déficit hídrico para que sejam criadas estratégias de irrigação para a cultura, que considerem a limitação de água na região.

Nesse contexto, há de se considerar a aplicação de substâncias elicitoras como alternativa para mitigação dos efeitos dos estresses abióticos em plantas, a exemplo da aplicação foliar de ácido ascórbico - AsA (Alves et al., 2022; Chen et al., 2023). Que é um composto não enzimático que atua na regulação osmótica, fotoproteção, divisão e expansão celular, além de ser cofator na ativação de enzimas relacionadas a biossíntese de hormônios e regeneração dos antioxidantes (Bilska et al., 2019; Celi et al., 2023). Os seus benefícios em plantas cultivadas sob déficit hídrico são comprovados na fisiologia de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) por Aziz et al. (2018), na produtividade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) por Gaafar et al. (2020) e na qualidade pós-colheita de pimentão (*Capsicum annum*) por Fateh et al. (2019). No entanto, em frutíferas, as pesquisas ainda são incipientes na literatura, o que torna fundamental o desenvolvimento de estudos visando analisar os efeitos do AsA na cultura da maracujazeiro-azedo ao longo do ciclo de cultivo.

Diante da importância da cultura do maracujazeiro-azedo no cenário frutícola brasileiro e a necessidade de pesquisas que identifiquem a (s) fase (s) fenológica (s) de menor ou maior sensibilidade e/ou tolerância ao déficit hídrico, além do efeito do AsA na atenuação do estresse ao longo do ciclo da cultura, são necessárias pesquisas que avaliem o desenvolvimento das estratégias de manejo da irrigação deficitária considerando a fase de desenvolvimento da cultura e definir a concentração economicamente viável de AsA para o maracujazeiro-azedo na atenuação do déficit hídrico nas condições de semiárido Paraibano.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar a fisiologia, a nutrição mineral, a produção, a produtividade e a qualidade pós-colheita de frutos de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 em função das estratégias de irrigação deficitária e aplicação foliar de ácido ascórbico em condições de semiárido Paraibano.

### **2.2 Específicos**

- Analisar as trocas gasosas, os teores de pigmentos fotossintéticos, a fluorescência da clorofila *a* e relações hídricas do maracujazeiro-azedo submetido às estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico;
- Determinar a produção, produtividade e a qualidade pós-colheita em frutos de maracujazeiro-azedo com estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico.
- Estabelecer a relação entre a composição mineral das folhas e a produtividade de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 em função das estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico.
- Identificar a fase do ciclo do cultivo em que o maracujazeiro-azedo é mais sensível e/ou tolerante ao déficit hídrico;
- Determinar a concentração de ácido ascórbico capaz de amenizar os efeitos do déficit hídrico no maracujazeiro-azedo.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Aspectos gerais e econômicos do maracujazeiro

O maracujazeiro é botanicamente classificado como *Passiflora* spp., pertence à família Passifloraceae, da qual fazem parte cerca de 16 gêneros, sendo o gênero *Passiflora* o mais expressivo em número de espécies e de importância, com aproximadamente 400 espécies identificadas (Oliveira et al., 2019; Tomazzoli et al., 2019). Dentre as suas características, apresenta espécies trepadeiras, herbáceas ou lenhosas, com folhas inteiras ou lobadas e flores grandes e coloridas, com pétalas membranáceas e frutos em baga ou cápsula deiscente, altamente adaptada ao clima tropical e subtropical, com o melhor desenvolvimento sob temperaturas entre 21 e 25 °C, necessidade hídrica de 1300 a 1400 mm por ciclo (Junqueira et al., 2001; Silva et al., 2006; Jesus & Faleiro, 2012). Em termos de exigência nutricional, inicialmente, apresenta uma demanda baixa, com aumento a partir dos 120 dias, sobretudo, dos nutrientes nitrogênio (N), potássio (K) e cálcio (Ca), sendo que a máxima demanda de nitrogênio ocorre próximo aos 210 dias, enquanto os demais nutrientes são extraídos continuamente até o término do período de frutificação (Almeida, 2012).

De forma geral, os nutrientes extraídos pelo maracujazeiro-azedo são apresentados pela ordem N>K>Ca>S>P>Mg para os macronutrientes e Fe>Zn>Mn>B>Cu para os micronutrientes (Dutra et al., 2015; Rolim et al., 2019). Mattar et al. (2018), observaram que a extração dos macronutrientes, ao fim do ciclo, em kg ha<sup>-1</sup>, apresentou a ordem: N (148,7) > K (135,2) > Ca (59) > Mg (12,4) > S (11,1) > P (9,1), e os micronutrientes em g ha<sup>-1</sup>: Fe (689,4) > Mn (108,9) > Zn (58,1) > B (47,3) > Cu (6,2), já a exportação ao fruto se deu através da ordem em kg ha<sup>-1</sup>: K (50,92)> N (42,82)> Ca (5,03)> P (3,69)> Mg (3,33)> S (2,57) e em g ha<sup>-1</sup>: Fe (119,5)> Zn (20,8)> B (17,3) > Mn (16,3)> Cu (14,8).

Essa frutífera tem como centro de origem o Brasil, com mais de 150 espécies nativas em todo território nacional (Borges et al., 2020), contribuindo para o país apresentar a maior e mais diversificada coleção de germoplasma (Silveira et al., 2019) e ser considerado o maior produtor e consumidor de maracujá do mundo (Morais et al., 2020). Dentro do cenário nacional, o maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims) representa mais de 95% de toda a área cultivada (Melletti, 2011), com uma produção estimada de 697.859 t e uma área de aproximadamente 46.602 ha, com maior destaque

para os estados da Bahia e Ceará, que contribuem juntos com 53,86% da produção (IBGE, 2023).

A sua importância socioeconômica está relacionada ao consumo *in natura* e na industrialização da polpa do fruto, que é rica em ácidos graxos poli-insaturados e compostos fenólicos com atividade antioxidante, e, nos últimos anos, apresenta potencial no aproveitamento dos resíduos do fruto, como casca, mesocarpo e sementes no combate à diabetes e doenças cardíacas (Santos et al., 2019; Ferreira & Souza, 2020). Além de contribuir fortemente para o desenvolvimento socioeconômico devido a necessidade de mão de obra, principalmente, nas fases de plantio, floração (polinização artificial) e colheita dos frutos (Pimentel et al., 2009; Silva et al., 2016). Nesse sentido, o investimento para a expansão da cultura do maracujazeiro no Nordeste brasileiro pode contribuir para a fixação do homem no campo e o enriquecimento regional, através da geração de emprego e renda para os pequenos e médios produtores (Celestrino et al., 2020).

No entanto, apesar da região Nordeste possuir condições favoráveis para o cultivo e ser a maior produtora de maracujazeiro-azedo do país, ainda possui um dos menores rendimentos médios por região (13,53 t ha<sup>-1</sup>), tendo a Paraíba um dos menores, apenas 9,66 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2023). É o resultado das limitações climáticas ocorridas nos últimos anos na disponibilidade hídrica pelos baixos índices pluviométricos para as culturas, associadas às condições de elevada temperatura, baixa umidade relativa do ar, e o manejo inadequado de fertilidade e irrigação no ciclo da cultura, que ajudam a reduzir a expressão produtiva da cultura (Simsek et al., 2017; Santos et al., 2018).

Assim, o estabelecimento de estratégias de manejo de irrigação associado a aplicação foliar de ácido ascórbico, tende a fortalecer a passicultura do Nordeste brasileiro, em especial, dos pequenos produtores do sertão paraibano, trazendo retorno econômico, além de uma receita bem distribuída ao longo do ciclo, o que permite não apenas o aumento da rentabilidade do cultivo por unidade de área, mas também a melhor distribuição dos lucros aferidos durante o ano, por gerar até seis empregos por hectare, sendo dois de forma direta e quatro de forma indireta (Hafle et al., 2010; Silva et al., 2012).

### **3.1. Disponibilidade de água em regiões semiáridas**

A seca consiste em um fenômeno natural causada por alterações do regime hidrometeorológico que atingem de forma marcante as regiões semiáridas no mundo, trazendo prejuízos à agricultura e, conseqüentemente, ao âmbito social, econômico e

ambiental (Melo & Sousa, 2021). De acordo com dados da FAO, estima-se que a escassez hídrica global corresponde a 80% de todas as perdas na produção agrícola proveniente dos desastres naturais, e que pode aumentar abruptamente nas próximas décadas com a necessidade de aumento da produção de alimentos para acompanhar o crescimento populacional no planeta (Rojas, 2020).

Diante do contexto mencionado, o Semiárido brasileiro, está localizado na região Nordeste do país, com área aproximada de 1,2 mi km<sup>2</sup>, abrangendo os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, grande parte da Paraíba e Pernambuco, Sudeste do Piauí, Oeste de Alagoas e Sergipe, região central da Bahia, parte do Maranhão e uma faixa que se estende até o norte de Minas Gerais (Souza et al., 2016). A região, geralmente, apresenta pluviosidade irregular durante todo o ano, com precipitações médias anuais inferiores a 800 mm e elevada taxa evaporativa, ocasionando déficit hídrico severo (Santos et al., 2017).

A situação se agravou pelos baixos índices de precipitações registrados na última década, como mostra o estudo de Gondim et al. (2017), que analisando o balanço hídrico do Nordeste até o ano de 2017, constataram que dos 533 reservatórios hídricos registrados da região, 312 estavam abaixo de 30% da capacidade e apenas 19 com volume acima de 90% da capacidade. Todavia, o cenário apresentou melhorias pelo processo de transposição do Rio São Francisco, que contribuiu para beneficiar a população dos centros urbanos, sendo limitado o uso na atividade agropecuária (Brito et al., 2020; Medeiros et al., 2021).

O estado da Paraíba por apresentar cerca de 80% de sua área inserida nas condições semiáridas compromete de forma marcante a economia da região, que se trata basicamente das atividades advindas da agricultura e pecuária (Silva & Moura, 2018). Segundo Moura et al. (2017), a Paraíba é um dos estados que mais apresentou desastres climáticos (estiagem e seca) em todo o território nacional entre os anos de 2003 e 2015. Os dados do Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba – PAE-PB (2011), demonstram que 93,7% do território do Estado da Paraíba encontra-se em processo de desertificação, sendo, desse total, 56,48% classificados como alto nível de desertificação.

O agravamento da seca levou à necessidade de adoção de regras de restrição de uso para irrigação em diversos sistemas hídricos do Semiárido, que variaram desde a captação de água em dias alternados, passando por limitação de áreas irrigadas e tipos de cultura, culminando, em alguns casos, na interrupção total da irrigação (Gondim et al.,

2017). Esse fato provocou a procura por alternativas para o uso eficiente da água para a irrigação, com o intuito de elevar a produção de alimento com uma menor demanda hídrica, tornando-se assim, um dos principais desafios para estudiosos e pesquisadores em todo mundo (Brito et al., 2012).

### **3.2. Efeitos do déficit hídrico nas plantas**

A escassez de água consiste no principal problema para o desenvolvimento da agricultura irrigada, trazendo prejuízos expressivos na produção de alimentos (Pereira, 2017). Em resposta ao déficit hídrico, as plantas mostram alterações nos processos fisiológicos e morfológicos, o que influencia a sua capacidade de tolerar as condições adversas do meio (Sourour et al., 2017; Sun et al., 2020). Assim, o efeito do déficit hídrico pode ser observado diretamente sob o crescimento da planta, desde as limitações no desenvolvimento dos ramos, caule, emissão de folhas e expansão de área foliar, até a redução da produção e qualidade dos frutos (Boumenjel et al., 2020; Wu et al., 2021).

No processo fotossintético, a água é indispensável para a liberação de prótons e elétrons da etapa fotoquímica, assim como na regulação da abertura e fechamento estomático, conseqüentemente, na absorção de CO<sub>2</sub> e na mobilização de fotoassimilados pela planta (Gambetta et al., 2020). Em condições de baixa disponibilidade de água no solo, a pressão osmótica contribui para o fechamento estomático e, por conseguinte, na interrupção do fluxo transpiratório e na fixação de carbono no ciclo de Calvin, como apontado por García-Castro et al. (2017) e Lozano-Montaña et al. (2021) em maracujazeiro roxo (*P. edulis Sims f. Edulis*). Além dos efeitos nas trocas gasosas, ocorre a dissipação irregular de energia luminosa produzida na fase fotoquímica da fotossíntese, que seria destinada para a fase de fixação de CO<sub>2</sub>, gerando assim, a formação de espécies reativas de oxigênio - EROs (Khorobrykh et al., 2020). As EROs provocam a desintegração de proteínas, lipídeos e enzimas, afetando todo o metabolismo da planta, podendo, em casos severos, ocasionar a morte celular e, em casos graves, da planta (Janků et al., 2019).

Os efeitos do estresse hídrico também se associam as limitações no aporte nutricional das plantas (Chai et al., 2016; Wang et al., 2017) e relacionados à redução na absorção e transporte dos minerais, sendo atribuído à diminuição da mineralização dos nutrientes no solo em razão do baixo conteúdo de água, assim como pelo fechamento estomático e redução na transpiração, mecanismo responsável pelo transporte de



nutrientes para a parte aérea (He & Dijkstra, 2014; Kudoyarova et al., 2015; Bárzana & Carvajal, 2020).

Tais respostas contribuem para fundamentar as discussões sobre os efeitos do estresse hídrico na morfologia e produção das plantas (Bianchi et al., 2016; Araújo Júnior et al., 2019). Em estudo Figueiredo et al. (2019), sobre o crescimento inicial de cajueiro (*Anacardium occidentale* L), constataram reduções na biomassa da parte aérea e da raiz pelo estresse hídrico. Processo semelhante evidenciado por Souza (2018), na análise do comportamento de genótipos de maracujazeiro (*Passiflora* spp.) a restrição hídrica no solo, com redução de 50 a 75% no crescimento vegetativo inicial. Morales et al. (2015), observaram redução na produção de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) com estresse hídrico. Enquanto alterações da qualidade de fruto foram constatadas por Reid & Kalcsits (2020), em macieira (*Malus x domestica* Borkh) e Zombardo et al. (2020), em videira (*Vitis vinifera*).

Com base nos estudos percebe-se que os efeitos são variados, a intensidade vai depender das condições climáticas, manejo cultural, do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (Deka et al., 2018). No entanto, pesquisas que demonstrem os efeitos do estresse hídrico nas fases de desenvolvimento do maracujazeiro-azedo ainda são escassas na literatura, podendo apresentar respostas distintas de acordo com a época de estresse (Gaturuku et al., 2011; Gomes et al., 2012). Por isso, é necessário compreender e trazer alternativas que visem atenuar as complicações advindas da redução de água no solo nas distintas fases fenológicas da planta, principalmente, em condições semiáridas, que apresentam limitações provenientes do estresse térmico (Kumar et al., 2019).

### **3.3. Ácido ascórbico como elicitador de estresse em plantas**

O ácido ascórbico (AsA) popularmente conhecido como vitamina C (ácido 2,3-enediol-L-gulônico), é um composto não-enzimático que atua na sinalização do estresse em plantas, podendo ser de ordem biótica ou abiótica, podendo agir no combate do estresse oxidativo e também na modulação de uma série de funções bioquímicas na planta, que partem desde cofator enzimático a modulador da divisão celular (Fateh & Sadek, 2020; Foyer et al., 2020; Celi et al., 2023).

O AsA tem sua biossíntese nas mitocôndrias pela via D-manose/L-galactose, mas também é associado via do d-galacturonato e d-Glucuronato (Ishikawa et al., 2018). Seus teores são considerados abundantes nas plantas, podendo ocorrer em todos os

compartimentos celulares, tendo os cloroplastos como principais acumuladores, que podem atingir quantidades que superam 20 mM, sobretudo, em três formas: a reduzida como ácido L-ascórbico e intermediárias instáveis como ácido mono-desidroascórbico e ácido L-desidroascórbico, sendo o ascorbato a forma fisiologicamente ativa (Smirnoff & Wheeler 2000; Foyer et al., 2020).

O ascorbato apresenta função antioxidante, eficiente no controle de espécies reativas de oxigênio (EROs), principalmente, oxigênio singlete ( $^1\text{O}_2$ ), ânion superóxido ( $\text{O}_2^-$ ), radical hidroxila (OH) e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) (Smirnoff, 2018). Essa ação ocorre devido ao potencial redox do AsA, que por meio da ativação de enzimas antioxidantes, em especial, da ascorbato peroxidase (APx), neutralizando as EROs do peróxido de hidrogênio no chamado ciclo ascorbato-glutationa (Bilska et al., 2019). Atua também como cofator de enzimas, a exemplo das associadas a hidroxilase, que participam na formação da parede celular (Celi et al., 2023) e a violaxantina deepoxidase, que atua na biossíntese de zeaxantina, a qual se associa a proteção contra a fotoinibição e fotodestruição (Smirnoff, 2018). Além disso, a síntese hormonal também se associa a funções do AsA (Zheng et al., 2022; Arábia et al., 2024). Outra função bastante estudada é a de doador de elétrons, em grande parte, na sua forma monodeidroascorbato, por ser estável pode deslocar elétrons sobressalentes em torno de um anel de carbono central e seus três grupos carbonila (Bielski, 1982).

No entanto, mesmo que a literatura relate o aumento na concentração natural de AsA pela planta, as quantidades em plantas cultivadas sob estresse são consideradas insuficientes para manter suas funções normais da substância nas plantas (Akram et al., 2017), sendo uma alternativa a suplementação exógena do AsA (Alves et al., 2022; Chen et al., 2023). Sobre o assunto, Gaafar et al. (2020) relatam que, a aplicação foliar de AsA em concentrações variando de 200 a 400 mg L<sup>-1</sup> em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob condições de estresse hídrico, permitiram incrementos nos teores de pigmentos fotossintéticos, crescimento, rendimento de sementes e produtividade, por causa da atividade da anidrase carbônica, fenólicos, flavonóides e taninos, bem como da redução de malondialdeído, que estão ligados direta ou indiretamente às propriedades antioxidantes. Aziz et al. (2018) também notaram benefícios para quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), a aplicação de AsA na concentração de 150 mg L<sup>-1</sup> via foliar melhorou o crescimento das plantas, permeabilidade relativa da membrana, taxa fotossintética, carotenoides totais, prolina, AsA, glicinabetaína, proteínas solúveis totais, aminoácidos

livres, superóxido dismutase, peroxidase, açúcares solúveis totais, açúcares redutores, não redutores e flavonóides totais.

O AsA também é importante na cadeia transportadora de elétrons na membrana dos tilacoides dos cloroplastos, pois o fechamento estomático proveniente da condição de estresse ocasiona desbalanço na quebra da molécula da água, sendo o ascorbato doador alternativo de elétrons, já que não requer qualquer estrutura especial para sua oxidação, além de não produzir oxigênio, evita a produção de EROs e competição de moléculas de O<sub>2</sub> com moléculas de CO<sub>2</sub> pelos sítios catalíticos da Rubisco (Celi et al., 2013; Ivanov, 2014). É um fato que ajuda a explicar os ganhos nas trocas gasosas pela aplicação de AsA na condição de estresse hídrico, como indica os estudos de Malik e Ashraf (2012) em trigo (*Triticum aestivum* L.) e Santos et al. (2018) em rabanete (*Raphanus sativus* L.).

No entanto, mesmo com respostas promissoras da aplicação foliar de AsA na fisiologia, produção, nutrição, e qualidade pós-colheita em plantas sob estresse (El-Sayed et al., 2014; Hafez & Gharib, 2016; Khazaei & Estaji, 2020; Awad et al., 2021), nas frutíferas, de um modo em geral, são escassas informações que demonstrem os efeitos ao longo do ciclo da cultura, o que deixa evidente a necessidade de experimentos que tenham como propósito elucidar os benefícios da aplicação exógena do AsA em plantas submetidas ao déficit hídrico, considerando as diferentes fases fenológicas.

#### 4. REFERÊNCIAS

- Akram, N. A.; Shafiq, F.; Ashraf, M. Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, e613, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00613>
- Almeida, R. F. Nutrição de maracujazeiro. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, p. 12-17, 2012. <https://doi.org/10.18378/rvads.v7i3.1155>
- Alves, R.C.; Oliveira, K. R.; Lúcio, J. C. B.; Silva, J. S.; Carrega, W. C.; Queiroz, S. F.; Gratão, P. I. Exogenous foliar ascorbic acid applications enhance salt-stress tolerance in peanut plants throughout an increase in the activity of major antioxidant enzymes. *South African Journal of Botany*, v. 150, p. 759-767, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.08.007>
- Arabia, A.; Munné-Bosch, S.; Muñoz, P. Ascorbic acid as a master redox regulator of fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*, v. 207, e112614, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112614>
- Araújo Júnior, G. D. N. A.; Gomes, F. T.; Da Silva, M. J.; Jardim, A. M. F. R.; Simões, V. J. L. P.; Izidro, J. L. P. S.; Silva, T. G. F. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. *Pubvet*, v. 13, p. 1-10, 2019. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n01a241.1-10>
- Awad, A. A.; Sweed, A. A.; Rady, M. M.; Majrashi, A.; Ali, E. F. Rebalance the nutritional status and the productivity of high CaCO<sub>3</sub>-stressed sweet potato plants by foliar nourishment with zinc oxide nanoparticles and ascorbic acid. *Agronomy*, v. 11, e1443, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071443>
- Aziz, A.; Akram, N. A.; Ashraf, M. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 123, p. 192-203, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.004>
- Bárzana, G.; Carvajal, M. Genetic regulation of water and nutrient transport in water stress tolerance in roots. *Journal of Biotechnology*, v. 324, p. 134-142, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.10.003>
- Bianchi, L.; Germino, G. H.; Silva, M. A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. *Acta Iguazu*, v. 5, p. 15-32, 2016. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v5i4.16006>

- Bielski, B. H. Chemistry of ascorbic acid radicals. American Chemical Society, 200, p. 81-100, 1982. <https://doi.org/10.1021/ba-1982-0200.ch004>
- Bilska, K.; Wojciechowska, N.; Alipour, S.; Kalemba, E. M. Ascorbic acid—The little-known antioxidant in woody plants. *Antioxidants*, v. 8, p. 645, 2019. <https://doi.org/10.3390/antiox8120645>
- Biswas, S.; Mishra, R.; Bist, A. S. Passion to Profession: A review of Passion fruit Processing. *Aptisi Transactions on Technopreneurship*, v. 3, p. 48-57, 2021. <http://dx.doi.org/10.34306/att.v3i1.143>
- Borges, A. L.; Souza, L. D. Recomendações de calagem e adubação para maracujazeiro. Embrapa Mandioca e Fruticultura - Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2010. 4p.
- Boumenjel, A.; Papadopoulos, A.; Ammari, Y. Growth response of *Moringa oleifera* (Lam) to water stress and to arid bioclimatic conditions. *Agroforestry Systems*, v. 95, p. 823-833, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00509-2>
- Brito, H. C.; Brito, Y. M. A.; Assis, W. D.; Ferreira, Y. B. C.; Vasconcelos, R. S.; Rufino, I. A. A. Análise temporal da disponibilidade hídrica nos estados beneficiados pela transposição do Rio São Francisco. *Caminhos de Geografia*, v. 21, p. 102-116, 2020. <https://doi.org/10.14393/RCG217550733>
- Brito, L. T. L.; Cavalcanti, N. B.; Silva, A. S.; Pereira, L. A. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. *Engenharia Agrícola*, v. 32, p. 102-109, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000100011>
- Celestrino, R. B.; Cavichioli, J. C.; Luppi, V. A. S.; Vitorino, R. A.; Contiero, L. A. F. Tipos de condução do maracujazeiro amarelo e suas influências sobre as características produtivas. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 10, p. 213-218, 2020. <https://doi.org/10.21206/rbas.v10i1.9663>
- Celi, G. E. A.; Gratão, P. L.; Lanza, M. G. D. B.; Reis, A. R. Physiological and biochemical roles of ascorbic acid on mitigation of abiotic stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 202, p. 1-13, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107970>
- Chai, Q.; Gan, Y.; Zhao, C.; Xu, H. L.; Waskom, R. M.; Niu, Y.; Siddique, K. H. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 36, p. 1-21, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6>
- Chen, X.; Han, H.; Cong, Y.; Li, X.; Zhang, W.; Wan, W.; Cui, j.; Xu, W.; Diao, M.; Liu, H. The protective effect of exogenous ascorbic acid on photosystem inhibition of

- tomato seedlings induced by salt stress. *Plants*, v. 12, e1379, 2023.  
<https://doi.org/10.3390/plants12061379>
- Deka, D.; Singh, A. K.; Singh, A. K. Effect of drought stress on crop plants with special reference to drought avoidance and tolerance mechanisms: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 7, p. 2703-2721, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.336>
- Dutra, G. A. P.; Carvalho, A. J. C.; Freitas, M. S. M.; Santos, P. C.; Freitas, J. A. A. Estimativa da exportação de nutrientes pelos frutos do maracujazeiro doce em função da aplicação de ureia e de esterco bovino. *Revista Ifes Ciência*, v. 1, p. 5-18, 2015.  
<https://doi.org/10.36524/ric.v1i1.234>
- El-Sayed, O.M.; El-Gammal, O.H.M.; Salama, Asm. Effect of ascorbic acid, proline and jasmonic acid foliar spraying on fruit set and yield of Manzanillo olive trees under salt stress. *Scientia Horticulturae*, v. 176, p. 32-37, 2014.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.031>
- Fateh, M.; Barzegar, T. A. H. E. R.; Razavi, F. A. R. H. A. N. G. The effect of foliar application of ascorbic acid and calcium lactate on growth, yield and fruit quality of sweet pepper. *Journal of Horticultural Science*, v. 33, p. 79-87, 2019.  
<https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i1.70145>
- Ferreira, W. S.; Souza, M. L. R. Os benefícios do maracujá (*Passiflora* spp.) no Diabetes Mellitus. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 3, p. 19523-19539, 2020.  
<https://doi.org/10.34119/bjhrv3n6-331>
- Figueiredo, L. C.; Oliveira, L. M.; Sousa, V. F. O.; Bomfim, M. P.; Castro, I. C. S. Substratos e lâminas de irrigação na produção de porta-enxertos de cajueiro crioulo. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 18, p. 168-174, 2019.
- Foyer, C. H.; Kyndt, T.; Hancock, R. D. Vitamin C in plants: novel concepts, new perspectives, and outstanding issues. *Antioxidants & Redox Signaling*, v. 32, p. 463-485, 2020. <https://doi.org/10.1089/ars.2019.7819>
- Freire, J. D. O.; Cavalcante, L. F.; Dias, T. J.; Dantas, M. M. M.; Macedo, L. P. M.; Azevedo, T. A. O. Teores de micronutrientes no solo e no tecido foliar do maracujazeiro amarelo sob uso de atenuantes do estresse salino. *Revista Agropecuária Técnica*, v. 36, p. 65- 81, 2015. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v36i1.22814>
- Gaafar, A. A.; Ali, S. I.; El-Shawadfy, M. A.; Salama, Z. A.; Şekara, A.; Ulrichs, C.; Abdelhamid, M. T. Ascorbic acid induces the increase of secondary metabolites,

- antioxidant activity, growth, and productivity of the common bean under water stress conditions. *Plants*, v. 9, p. 627, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9050627>
- Gambetta, G. A.; Herrera, J. C.; Dayer, S.; Feng, Q.; Hochberg, U.; Castellarin, S. D. The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*, v. 71, p. 4658-4676, 2020. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa245>
- García-Castro, A.; Volder, A.; Restrepo-Díaz, H.; Starman, T. W.; Lombardini, L. Evaluation of different drought stress regimens on growth, leaf gas exchange properties, and carboxylation activity in purple passionflower plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 142, p. 57-64, 2017. <https://doi.org/10.21273/JASHS03961-16>
- Gaturuku, G. K.; Isutsa, D. K.; Aguyoh, J. N. Irrigation rate and mulch type significantly increase growth and flowering of purple passion fruit under drought stress. *African Journal of Horticultural Science*, v. 5, p. 1-11, 2011.
- Gomes, M. T. G.; Luz, A. C.; Santos, M. R.; Batitucci, M. D. C. P.; Silva, D. M.; Falqueto, A. R. Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP chlorophyll a fluorescence transient. *Scientia Horticulturae*, v. 142, p. 49-56, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.026>
- Gondim, J.; Fioreze, A. P.; Alves, R. F. F.; Souza, W. G. D. A seca atual no Semiárido nordestino—Impactos sobre os recursos hídricos. *Parcerias Estratégicas*, v. 22, p. 277-300, 2017.
- Hafez, E. M.; Gharib, H. S. Effect of exogenous application of ascorbic acid on physiological and biochemical characteristics of wheat under water stress. *International Journal of Plant Production*, v. 10, p. 579-596, 2016. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2016.3051>
- Hafle, O. M.; Ramos, J. D.; Araújo Neto, S. E. D.; Mendonça, V. Rentabilidade econômica do cultivo do maracujazeiro-amarelo sob diferentes podas de formação. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, p. 1082-1088, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452010005000116>
- He, M.; Dijkstra, F. A. Drought effect on plant nitrogen and phosphorus: a meta-analysis. *New Phytologist*, v. 204, p. 924-931, 2014. <https://doi.org/10.1111/nph.12952>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Produção agrícola municipal 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 15 de jan. 2024.

- Ishikawa, T.; Maruta, T.; Yoshimura, K.; Smirnoff, N. Biosynthesis and regulation of ascorbic acid in plants. In: Gupta, D. K.; Palma, J. M.; Corpas, F. J. (Eds). Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants, 2018. p. 163-179. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75088-0_8)
- Ivanov, B. N. Role of ascorbic acid in photosynthesis. *Biochemistry*, v. 79, p. 282-289, 2014. <https://doi.org/10.1134/s0006297914030146>
- Janků, M.; Luhová, L.; Petřivalský, M. On the origin and fate of reactive oxygen species in plant cell compartments. *Antioxidants*, v. 8, p. 1 -15, 2019. <https://doi.org/10.3390%2Fantiox8040105>
- Jesus, O. N.; Faleiro, F. G. Classificação Botânica e Biodiversidade. In: Faleiro, F. G.; Junqueira, N. T. V. (Eds.) Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, v. Coleção 500 Perguntas 500 Respostas, 2017. p. 23-25.
- Junqueira, N. T. V.; Veras, M. C. M.; Nascimento, A. C.; Chaves, E. C.; Matos, A. P.; Junqueira, K. P. A importância da polinização manual para aumentar a produtividade do maracujazeiro. *Documentos 41 (Embrapa Cerrados)*, 2001.16p.
- Khazaei, Z.; Estaji, A. Effect of foliar application of ascorbic acid on sweet pepper (*Capsicum annuum*) plants under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 42, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03106-z>
- Khorobrykh, S.; Havurinne, V.; Mattila, H.; Tyystjärvi, E. Oxygen and ROS in Photosynthesis. *Plants*, v. 9, p. 1 - 63, 2020. <https://doi.org/10.3390%2Fplants9010091>
- Kudoyarova, G. R.; Dodd, I. C.; Veselov, D. S.; Rothwell, S. A.; Yu. Veselov, S. Common and specific responses to availability of mineral nutrients and water. *Journal of Experimental Botany*, v. 66, p. 2133-2144, 2015. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv017>
- Kumar, V.; Joshi, S.; Pant, N. C.; Sangwan, P.; Yadav, A. N.; Saxena, A.; Singh, D. Molecular approaches for combating multiple abiotic stresses in crops of arid and semi-arid region. In: Singh, S., Upadhyay, S., Pandey, A., Kumar, S. (eds). *Molecular Approaches in Plant Biology and Environmental Challenges*. Springer, p. 149-170, 2019. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0690-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0690-1_8)
- Lima, G. S.; Silva, A. A. R.; Torres, R. A. F.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Silva, F. A.; Nobre, R. G.; Azevedo, C. A. V.; Lopes, K. P.; Chaves, L. H. G.; Lima, V. L. A. Accumulation, physiology, and production of sour passion fruit under salt stress irrigated with brackish water in the phenological stages and k fertilization. *Plants*, v. 12, p. 1573, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12071573>



- Lozano-Montaña, P. A.; Sarmiento, F.; Mejía-Sequera, L. M.; Álvarez-Flórez, F.; Melgarejo, L. M. Physiological, biochemical and transcriptional responses of *Passiflora edulis* Sims f. *edulis* under progressive drought stress. *Scientia Horticulturae*, v. 275, p. 109655-109665, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109655>
- Maciel, H. M.; Maciel, W. M.; Gomes, M. A. A desertificação e a seca: efeitos sobre a produção e renda agrícolas no estado do Ceará. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, p. 17824-17843, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-430>
- Malik, S.; Ashraf, M. Exogenous application of ascorbic acid stimulates growth and photosynthesis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought. *Soil & Environment*, v. 31, p. 72-77, 2012.
- Mattar, G. S.; Moraes, C. C. D.; Meletti, L. M. M.; Purquerio, L. F. V. Accumulation and exportation of nutrients by yellow Passion fruit cv. IAC 275. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, p. 1-10. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018178>
- Medeiros, R. M.; Holanda, R. M.; França, M. V.; Saboya, L. M. F.; Rolim Neto, F. C.; Araújo, W. R. Escassez de água e sua variabilidade pluviométrica nos últimos 20 anos em São Bento do Una–Pernambuco, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, p. 46432-46446, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.29516>
- Meletti, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, p. 83-91, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500012>
- Melo, V. D. S.; Sousa, F. D. A. S. Análise de frequência de secas utilizando técnica de agrupamento e distribuições de probabilidades. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, p. 53-60, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152193499>
- Morais, R. R.; Macêdo, J. P. S.; Cavalcante, L. F.; Lobo, J. T.; Souto, A. G. L.; Mesquita, E. F. Arranjo espacial e poda na produção e qualidade química de maracujá irrigado com água salina. *Irriga*, v. 25, p. 549-561, 2020. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n3p549-561>
- Morales, R. G. F.; Resende, L. V.; Bordini, I. C.; Galvão, A. G.; Rezende, F. C. Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. *Scientia Agraria*, v. 16, p. 9-17, 2015. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v16i1.41042>
- Moura, M. O; Cunico, C; Temoteo, K. K. S; Silva, N. T. Desastre natural associado à ocorrência de chuva extrema na cidade de Patos, Paraíba. In: Paraíba: pluralidade e representações geográficas. In: Silva, A. B.; Gutierrez, H. E. P. Galvão, J. C. (Orgs.)

- Paraíba 2: Pluralidades e representações geográficas. Campina Grande: EDUEFCG, 2017. p. 357-373.
- Oliveira, J.D.S.; Faleiro, F.G, Junqueira, N.T.V.; Fonseca, K.G.; Araya, S. Genetic variability of *Passiflora* spp. based on issr and rapd. *Asian Journal of Science and Technology*, v. 10, p. 9375-9378, 2019.
- PAE-PB - Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca no Estado da Paraíba. João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia/SUDEMA, 2011.
- Pereira, L. S. Water. Agriculture and food: challenges and issues. *Water Resources Management*, v. 31, p. 2985-2999, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1664-z>
- Pimentel, L. D.; Santos, C. E. M.; Ferreira, A. C. C.; Martins, A. A.; Wagner Júnior, A.; Bruckner, C. H. Custo de produção e rentabilidade do maracujazeiro no mercado agroindustrial da Zona da Mata Mineira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.31, p.397-407, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000200013>
- Reid, M.; Kalcsits, L. Water deficit timing affects physiological drought response, fruit size, and bitter pit development for ‘Honeycrisp’ apple. *Plants*, v. 9, p. 874-891, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9070874>
- Rojas, O. Agricultural extreme drought assessment at global level using the FAO-Agricultural Stress Index System (ASIS). *Weather and Climate Extremes*, v. 27, p. 100184, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.09.001>
- Rolim, G. G.; Andrade, W.C.; Abrantes, D.S. Hafle, O.M. Almeida, G.P. Morfologia, nutrição e principais pragas do maracujazeiro doce (*Passiflora alata* Curtis). *Revista de Agroecologia no Semiárido*, v. 3, p. 1-13, 2019.
- Sanchez, B. A. O.; Celestino, S. M. C.; Gloria, M. B. A.; Celestino, I. C.; Lozada, M. I. O.; Júnior, S. D. A.; Oliveira, L. D. L. Pasteurization of passion fruit *Passiflora setacea* pulp to optimize bioactive compounds retention. *Food chemistry: X*, v. 6, p. 1-35, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2020.100084>
- Santos, G. P.; Cavalcante, L. F.; Nascimento, J. A. M.; Lima Neto, A. J.; Merdeiros, S. A. S.; Cavalcante, Í. H. L. Nutritional status of yellow passion fruit fertilized with phosphorus sources and doses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 18, p. 388-342, 2018. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005001204>
- Santos, O. F.; Broetto, F.; Oliveira, D. P. F.; Galvão, Í. M.; Souza, M. L. C.; Basílio, J. J. N. Ácido ascórbico, uma alternativa para minimizar os efeitos da deficiência hídrica

- em rabanete. Irriga, v. 1, p. 79-91, 2018. <https://doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p79-91>
- Santos, O. V.; Vieira, E. L. S.; Soares, S. D.; Lisboa, L. R. C.; Pinto, D. M. L.; Costa Maciel, A. C.; Nascimento, F. D. C. A. Efeitos do consumo de produtos e subprodutos do maracujá (*Passiflora edulis*) nas doenças crônicas não degenerativas. Brazilian Journal of Health Review, v. 2, p. 6226-6244, 2019. <https://doi.org/10.34119/bjhrv2n6-116>
- Santos, W. M.; Souza, R. M. S.; Souza, E. S. de; Almeida, A. Q. de; Antonino, A. C. D. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 2, p. 368-376, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1466.368-376>
- Silva, M. G. M.; Viana, A. P.; Amaral Júnior, A. T.; Gonçalves, L. S. A.; Reis, R. V. Biometria aplicada ao melhoramento intrapopulacional do maracujazeiro amarelo. Revista Ciência Agronômica, v. 43, p. 493-499, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300011>
- Silva, M. S.; Ataíde, E. M.; Dos Santos, A. K. E.; Souza, J. M. A. Qualidade de frutos de maracujazeiro amarelo produzidos na safra e entressafra no Vale do São Francisco. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, v. 17, p. 41-49, 2016.
- Silva, T. J. A.; Folegatti, M. V.; Da Silva, C. R.; Júnior, J. A.; Pires, R. C. M. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do maracujazeiro amarelo conduzido sob duas orientações de plantio. Irriga, v. 11, p. 90-106, 2006. <https://doi.org/10.15809/irriga.2006v11n1p90-106>
- Silveira, G. F.; Rossi, A. A. B.; De Oliveira, U. A.; Varella, T. L.; Rossi, F. S.; Cavallari, A. A.; Galvanin, E. A. S. Análise biométrica de frutos e sementes de *Passiflora cristalina* Vanderplank & Zappi. Nativa, v. 7, p. 138-144, 2019. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6554>
- Simsek, U.; Erdel, E.; Barik, K. Effect of mulching on soil moisture and some soil characteristics. Fresenius Environmental Bulletin, v. 26, p. 6974-6978, 2017.
- Smirnoff, N.; Wheeler, G. L. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. Critical Reviews in Plant Sciences, v.19, p. 267-290, 2000. <https://doi.org/10.1080/10409230008984166>
- Smirnoff, N. Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. Free Radical Biology and Medicine, v.122, p.116-129, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.03.033>

- Sourour, A.; Afef, O.; Mounir, R.; Mongi, B. Y. A review: morphological, physiological, biochemical and molecular plant responses to water deficit stress. *International Journal of Engineering Science*, v. 6, p. 1-4, 2017. <http://dx.doi.org/10.9790/1813-0601010104>
- Souza, N. G.; Silva, J. A.; Maia, J. M.; Silva, J. B.; Júnior, E. D. S. N.; Meneses, C. H. S. G. Tecnologias sociais voltadas para o desenvolvimento do semiárido brasileiro. *Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management*, v. 12, 1 -12, 2016.
- Souza, P. U.; Lima, L. K. S.; Soares, T. L.; Jesus, O. N.; Coelho Filho, M. A.; Girardi, E. A. Biometric, physiological and anatomical responses of *Passiflora* spp. to controlled water deficit. *Scientia Horticulturae*, v. 229, p. 77-90, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.019>
- Sun, Y.; Wang, C.; Chen, H. Y.; Ruan, H. Response of plants to water stress: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 1-8, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00978>
- Tomazzoli, M. M.; Fagundes, C.F.; Amatussi, J. O.; Breiter, B. S. K.; Zuffellato-Ribas, K. C. Enraizamento de estacas caulinares de *Passiflora actinia* Hook: concentrações de IBA e formas de aplicação. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 18, p. 250-253, 2019. <https://doi.org/10.5965/223811711812019250>
- Wang, Y.; Jensen, C. R.; Liu, F. Nutritional responses to soil drying and rewetting cycles under partial root-zone drying irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 179, p. 254-259, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.015>
- Wu, Y.; Yan, S.; Fan, J.; Zhang, F.; Xiang, Y.; Zheng, J.; Guo, J. Responses of growth, fruit yield, quality and water productivity of greenhouse tomato to deficit drip irrigation. *Scientia Horticulturae*, v. 275, p. 109710-109720, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109710>
- Zheng, X.; Gong, M.; Zhang, Q.; Tan, H.; Li, L.; Tang, Y.; Li, Z.; Peng, M.; Deng, W. Metabolism and regulation of ascorbic acid in fruits. *Plants*, v. 11, p. 1602, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11121602>
- Zombardo, A.; Mica, E.; Puccioni, S.; Perria, R.; Valentini, P.; Mattii, G. B.; Storchi, P. Berry quality of grapevine under water stress as affected by rootstock–Scion interactions through gene expression regulation. *Agronomy*, v. 10, p. 680-705, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050680>

## **CAPÍTULO II**

---

### **Aspectos fisiológicos do maracujazeiro-azedo sob estratégias de manejo da irrigação e aplicação foliar de ácido ascórbico**

## **Aspectos fisiológicos do maracujazeiro-azedo sob estratégias de manejo da irrigação e aplicação foliar de ácido ascórbico**

**RESUMO:** O cultivo do maracujazeiro-azedo apresenta potencial na expansão de áreas de cultivo no Nordeste do Brasil, mas os baixos índices pluviométricos nos últimos anos reduzem a disponibilidade hídrica e o rendimento da cultura na região, necessitando de estratégias que visem minimizar os efeitos deletérios do déficit hídrico através do manejo de irrigação dos aspectos fisiológicos das plantas e da produtividade. Nessa perspectiva, o objetivo do presente estudo angariou-se em avaliar os efeitos de estratégias de irrigação deficitária durante estádios fenológicos e da aplicação foliar de ácido ascórbico nas trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila, extravasamento de eletrólitos, teor relativo de água e índice de produtividade do maracujazeiro-azedo 'BRS GA1'. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas constituídas por seis estratégias de manejo de irrigação deficitária, baseadas na evapotranspiração da cultura – Etc (irrigação com 100% ETc – E1; irrigação com 50% ETc na fase vegetativa – E2 ; estágio de floração – E3; estágio de frutificação – E4; sucessivamente nos estádios vegetativo/florescente – E5; e estágio vegetativo/frutífero – E6) e subparcelas representadas por três concentrações de ácido ascórbico - AsA (0, 0,5 e 1,0 mM). ). Conforme os dados do estudo, o déficit hídrico induz mudanças na atividade fotossintética em todos os estágios de desenvolvimento do maracujazeiro-azedo, resultando em uma redução no índice de colheita aos 200 dias após o transplante. A fase de floração apresenta a maior aclimatação fisiológica às condições de déficit hídrico, embora com perdas mais pronunciadas no índice de colheita. Quando o déficit hídrico ocorre durante as fases vegetativa e de frutificação e é combinado com a aplicação foliar de ácido ascórbico a 0,5 mM, há um aumento na síntese de pigmentos fotossintéticos no maracujá-azedo 'BRS GA1'. No geral, a aplicação foliar de ácido ascórbico nas concentrações de 0,5 e 1,0 mM emerge como uma estratégia viável para mitigar os efeitos adversos do déficit hídrico na fisiologia e produtividade do maracujá-azedo aos 200 dias após o transplante.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* Sims, déficit hídrico, fases fenológicas, elicitores.

## **Physiological aspects of sour passion fruit under irrigation management strategies and foliar application of ascorbic acid**

**ABSTRACT:** Sour passion fruit cultivation has potential for expansion in Northeastern Brazil, but water scarcity reduces the yield of this crop in the region, requiring strategies aimed at minimizing the deleterious effects of water deficit on plant physiology and consequently on yield. From this perspective, the objective of this study was to evaluate the effects of deficit irrigation strategies during phenological stages and foliar application of ascorbic acid on gas exchange, photosynthetic pigments, chlorophyll fluorescence, electrolyte leakage, relative water content and yield sour of ‘BRS GA1’ sour passion fruit. Treatments were distributed in randomized blocks, in a split-plot scheme, with plots consisting of six deficit irrigation management strategies, based on crop evapotranspiration – Etc (irrigation with 100% ETc – S1; irrigation with 50% ETc in the vegetative stage – S2; flowering stage – S3; fruiting stage – S4; successively in the vegetative/flowering stages – S5; and vegetative/fruiting stages – S6) and subplots represented by three concentrations of ascorbic acid - AsA (0, 0.5 and 1.0 mM). Water deficit induces changes in photosynthetic activity across all developmental stages of sour passion fruit, resulting in reduced harvest index at 200 days after transplanting. Notably, flowering exhibits the greatest physiological acclimatization to water deficit conditions, albeit with more pronounced losses in the harvest index. When water deficit occurs during the vegetative and fruiting stages and is coupled with foliar application of ascorbic acid at 0.5 mM, there is an enhancement in the synthesis of photosynthetic pigments in ‘BRS GA1’ sour passion fruit. Overall, foliar application of ascorbic acid at concentrations of 0.5 and 1.0 mM emerges as a viable strategy to mitigate the adverse effects of water deficit on the physiology and productivity of sour passion fruit at 200 days after transplanting.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* Sims, water deficit, phenological phases, elicitors.

## 1. INTRODUÇÃO

O maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims), é uma das frutíferas de maior expressão econômica do gênero das passifloráceas, sendo amplamente cultivada em território brasileiro e representa mais de 90% dos pomares do país (Faleiro et al., 2019). Essa aceitação está associada diretamente ao fruto, cuja polpa é apreciada pelo seu sabor característico e qualidade nutricionais, apresentando em sua composição elevados teores carboidratos, açúcares, vitaminas, minerais e compostos orgânicos, contribuindo para sua comercialização e industrialização (Pereira et al., 2023). Além disso, as necessidades de tratamentos culturais fazem com que a atividade seja exigente em mão de obra, gerando emprego ao longo do ano, fortalecendo o desenvolvimento econômico regional (Celestrino et al., 2020).

Em razão da sua adaptação ao clima tropical, o maracujazeiro-azedo tem apresentado destaque na região Nordeste, no ano de 2022, por exemplo, foi responsável por 69,77% de toda a produção nacional (697.859 t), em uma área de aproximadamente 46.602 ha (IBGE, 2023). Porém, a região possui grande parte de seu território inserido em zona semiárida, caracterizado pelas altas temperaturas e baixos índices pluviométrico, e a taxa de evapotranspiração supera a precipitação anual, por isso, o rendimento produtivo fica abaixo do rendimento médio nacional de 15.303 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2023).

De uma perspectiva geral, os impactos do déficit hídrico têm se tornado um problema recorrente para manutenção da agricultura em todo mundo e com acentuado agravamento nas últimas décadas, especialmente, em regiões de clima tropical, como a região Nordeste do Brasil, que podem chegar a reduções de até 30% na taxa de precipitação nos próximos anos (Dinar et al., 2019). Dentre os efeitos do déficit hídrico nas plantas, destacam-se as perdas na eficiência fotossintética (Kaur et al., 2021), com limitações estomáticas decorrentes da redução do fluxo de água via xilema, redução da entrada de CO<sub>2</sub> no ciclo de Calvin e dissipação irregular de energia nos centros de reação da luz (Salmon et al., 2020; Sharma et al., 2020). Além disso, a deficiência no fornecimento de água ocasiona desequilíbrio no potencial osmótico e de nutrientes a nível celular (Deka et al., 2018). Tais impactos estabelecem produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (ERO) capazes de danificar o aparato fotossintético e o equilíbrio metabólico (Ahmad et al., 2023), sendo expressas no crescimento das culturas e perdas na produção (Dinar et al., 2019; Xiong et al., 2021).



Para o maracujazeiro-azedo, estudos que evidenciem os impactos do déficit hídrico durante o ciclo da cultura são escassos, contudo, em seu trabalho Souza et al. (2018), relataram a susceptibilidade das *Passiflora edulis*, *P. alata*, *P. setacea*, *P. gibertii* e *P. cincinnata* a condição de seca, sendo a adaptação fisiológica distinta conforme a espécie estudada. É um fato que corrobora com pesquisas recentes, que apontam que a intensidade desses efeitos pode variar em função de diversos fatores, dentre eles, as condições edafoclimáticas, espécie ou até mesmo fase de desenvolvimento da cultura (Deka et al., 2018; Hao et al., 2019), o que estabelece a necessidade de elucidação do comportamento fisiológico das diversas condições de estresse, bem como a adoção de estratégias que visem a redução do déficit hídrico no cultivo do maracujazeiro-azedo.

Assim, a utilização de elicitores tem se tornado cada vez mais comum em pesquisas relacionadas aos estresses abióticos (Chattha et al., 2015; Iqbal et al., 2021; Wu et al., 2021), com destaque para o ácido ascórbico (AsA), um composto não enzimático que atua na regulação osmótica, fotoproteção, divisão e expansão celular, além de participar como cofator na ativação de enzimas relacionadas a biossíntese de hormônios e regeneração de antioxidantes (Akram et al., 2017; Bilaska et al., 2019; Celi et al., 2023). Os efeitos benéficos na atividade fotossintética pela aplicação de AsA em plantas cultivadas sob déficit hídrico foram constatados por Aziz et al. (2018), em quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) e Khazaei et al. (2020), em pimenta (*Capsicum annuum* L). No entanto, em frutíferas, as pesquisas são escassas na literatura, o que demonstra a necessidade de estabelecer os impactos da aplicação contínua de AsA ao longo do ciclo das culturas.

Com base no contexto apresentado, levanta-se a hipótese de que o déficit hídrico durante as fases fenológicas pode provocar diversas respostas na atividade fisiológica do maracujazeiro-azedo, que podem incluir alterações no fluxo de solutos dentro do xilema devido aos ajustes estomáticos, impactando potencialmente a fotossíntese líquida. Adicionalmente, o excesso de energia fotoquímica nas condições climáticas semiáridas da pesquisa aqui apresentada pode afetar os teores de pigmentos fotossintéticos, com perdas no rendimento produtivo do maracujazeiro-azedo. Porém, esses efeitos poderiam ser mitigados pela aplicação foliar de ácido ascórbico, que potencializa a sinalização em condições de estresse, aumentando o índice de colheita. Como resultado, o fluxo de transpiração é mantido e a entrada de CO<sub>2</sub> nas câmaras subestomáticas é equilibrada,

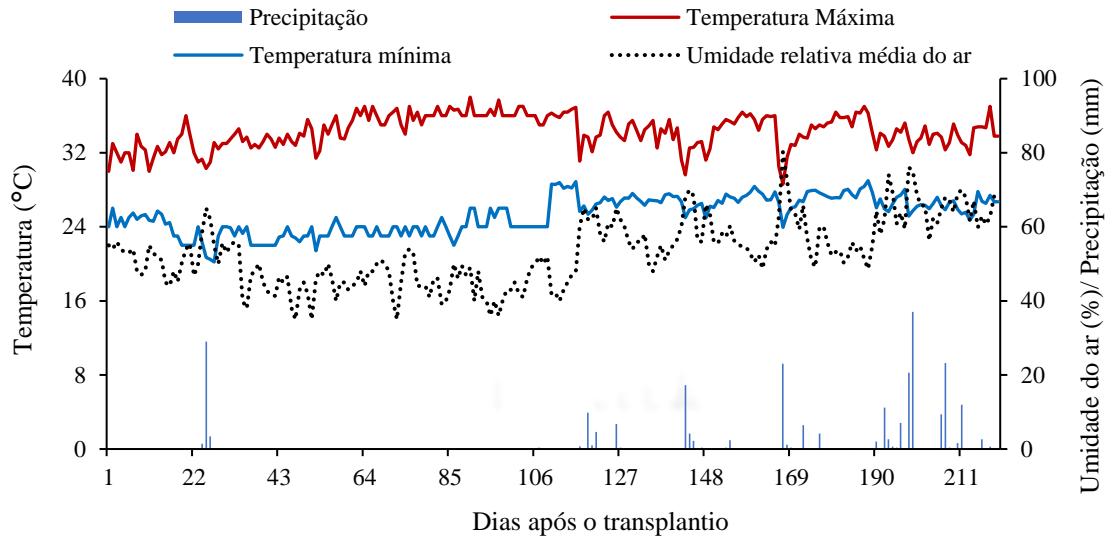
levando a uma melhor atividade fotossintética e a dissipação de energia nos centros de reação.

Considerando a importância do maracujazeiro-azedo no cenário da fruticultura brasileira, torna-se necessário a elucidação dos impactos fisiológicos do déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas, além de estabelecer alternativas para atenuar os efeitos ao longo do ciclo da cultura. Diante disso, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar os efeitos das estratégias de irrigação deficitária nas fases fenológicas e aplicação foliar de ácido ascórbico nas trocas gasosas, nos teores de pigmentos fotossintéticos e fluorescência da clorofila a do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O período de execução do experimento ocorreu de maio de 2022 a fevereiro de 2023, no setor 1 lote 35 do perímetro irrigado das Várzeas de Sousa, localizado no município de Aparecida, Paraíba, cujas coordenadas geográficas estão situadas em: 6° 49' 21,2" de latitude Sul, 38° 6' 3,9" de longitude a oeste, com altitude de 237 m, inserido na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Bsh (quente), com temperatura média anual de 27 °C e índice pluviométrico em média de 840 mm anuais e evapotranspiração de 1280 mm anuais, com chuva concentrada no primeiro semestre do ano, resultantes da atuação das frentes de convergência intertropical (Alvares et al., 2013).

Durante a condução do experimento em campo, todos os dias foram coletados os dados referentes à temperatura máxima, mínima, umidade relativa média do ar e precipitação obtidos da estação meteorológica de São Gonçalo (Sousa - PB), localizada a 25 km da área experimental, cujos dados estão na Figura 1.



**Figura 1.** Dados de temperaturas máximas e mínimas diárias, umidade relativa média do ar e precipitação durante o período de condução do experimento (1 – 220 dias após o transplante).

Os tratamentos, por sua vez, foram distribuídos em blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, sendo a principal constituída de seis estratégias de irrigação deficitária, baseadas na evapotranspiração da cultura - ETc (irrigação com 100% da ETc durante todo ciclo de cultivo - E1; irrigação com 50% da ETc nas fases vegetativa - E2; floração - E3; frutificação - E4; sucessivamente nas fases vegetativa/floração - E5; e vegetativa/frutificação - E6) e a subparcela representada por três concentrações de ácido ascórbico - AsA (0; 0,5 e 1,0 mM), com três repetições e três plantas por parcela, totalizando 162 unidades experimentais.

A área total do experimento abrangeu 2178 m<sup>2</sup>, tendo uma linha de plantio adicional ao redor de área experimental considerada como bordadura para evitar a interferência de plantas invasoras. As concentrações de AsA usadas foram baseadas nos estudos de Khazaei et al. (2020), para a cultura do pimenteiro (*Capsicum annuum* L.).

As mudas de maracujazeiro-azedo foram formadas em sacolas de polietileno com dimensões de 18 cm de altura e 13 cm de diâmetro, contendo substrato formado a partir de duas partes de mesmo solo da área experimental e uma parte de esterco bovino curtido (base de volume). Em cada sacola foram semeadas três sementes do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 na profundidade de 2 cm da superfície do solo. A cultivar ‘BRS GA1’ possui características de frutos em formato oblongo, com a base e o ápice ligeiramente achatados, peso entre 120 e 350 g, rendimento de polpa em torno de 40% e teor de sólidos solúveis de 13 a 15° Brix (Andrade Neto et al., 2008). O desbaste ocorreu após

emergência das plântulas, deixando apenas a planta de maior vigor. Após o surgimento da primeira gavinha (70 dias após o semeio), momento em que as plantas apresentavam altura de 30 cm, foi realizado o transplântio das mudas para o campo.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (Santos et al., 2018), sendo a amostra coletada na profundidade de 0 – 20 cm, e as características físicas e químicas determinadas conforme metodologia contida em Teixeira et al. (2017), Tabela 1. O preparo foi realizado por uma gradagem, visando o destorroamento e nivelamento do solo, seguindo da demarcação, instalação do sistema de irrigação e estaqueamento da espaldeira.

**Tabela 1.** Composição física e química quanto a fertilidade do solo (profundidade 0-0,20 m) da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos.

Física	Valor	Fertilidade	Valor
Areia (%)	61,49	pH em água (1:2,5)	7,72
Silte (%)	30,15	CEes (mmhos/cm)	0,12
Argila (%)	8,36	K <sup>+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	54,10
Classe textural	Franco	Na <sup>+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	2,20
	Arenoso	Al <sup>+3</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	0,00
ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,33	H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	0,00
dp (g cm <sup>-3</sup> )	2,65	Ca <sup>+2</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	65,70
P (%)	49,81	Mg <sup>+2</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	52,80
U (% base solo seco)		SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	174,80
Natural	0,50	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	174,80
0,33 atm	16,75	MO (%)	1,38
15,0 atm	6,50		
Água disponível	10,25		

CEes = Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC = Capacidade de troca catiônica = SB + (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>); dp = densidade de partícula; ds = Densidade do solo; MO = Matéria orgânica; PST = Percentagem de sódio trocável (100 × Na<sup>+</sup>/ CTC); RAS = Relação de adsorção de sódio = Na<sup>+</sup> × [(Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>)/2] -1/2; SB = Soma de bases (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>); U = Umidade do solo.

A abertura das covas de forma manual, com auxílio de uma cavadeira, nas dimensões de 40 × 40 × 40 cm. No material retirado dos primeiros 20 cm de solo foi adicionado 50 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, com superfosfato simples (18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 16% Ca<sup>2+</sup>; 10% S). As adubações com macro e micronutrientes foram baseadas nas recomendações de Costa et al. (2008). Sendo assim, a adubação nitrogenada e potássio ocorreram semanalmente por fertirrigação a partir dos 15 dias após o transplântio (DAT), tendo como fonte a ureia (45% N) e o cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O), com 75 g de N e K<sub>2</sub>O por planta nas fases vegetativa e de floração; e frutificação de 160 e 280 g de N e K<sub>2</sub>O por planta. Enquanto a adubação fosfatada em cobertura foi com 10, 20 e 20 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aos 30, 120 e 210 DAT,

com superfosfato simples, macerado antes da aplicação para facilitar a mineralização e absorção. A adubação com boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco foi feita mensalmente via foliar, através do produto comercial Dripsol micro<sup>®</sup>, em sua constituição: 1,2% Magnésio, 0,85 % Boro, 3,4% Ferro, 4,2% Zinco, 3,2 % Manganês, 0,5% Cobre e 0,06% Molibdênio.

Após o transplântio das mudas no campo, as plantas foram conduzidas em haste única até atingirem o arame de sustentação n° 12, instalado no topo das estacas distanciadas entre si em 3 m e com altura de 2,2 m do solo. Quando chegaram ao topo da espaldeira, foi feita a poda da haste principal e a condução de dois ramos laterais em sentidos opostos do arame. Os ramos laterais conduzidos até o comprimento de 1,5 m quando atingiu a estaca, sendo o momento da poda dos ramos laterais para que novos ramos fossem emitidos formando uma cortina. A poda dos ramos produtivos foi realizada a 30 cm do solo, como forma de evitar possíveis doenças de solo.

A prática de remoção de gavinhas, galhos e folhas com sintomas de doenças ou mortas se deu ao longo do experimento de acordo com a necessidade. Para o controle de pragas foram usados os defensivos Evidence<sup>®</sup> 700WG e Actara<sup>®</sup> 250WG, constituídos pela molécula imidacloprido e tiametoxam, respectivamente. A calda bordalesa foi aplicada como preventiva ao surgimento de doenças fúngicas que acometem o maracujazeiro-azedo.

O sistema de irrigação foi o por gotejamento, com tubos de PVC de 50 mm na linha principal e tubos de polietileno de baixa densidade de 16 mm nas linhas laterais com gotejadores de vazão 10 L h<sup>-1</sup>. Em cada planta foram inseridos dois gotejadores autocompensantes (modelo GA 10 Grapa), cada um a 15 cm do caule. As estratégias de irrigação seguiram conforme lâmina estimada com base na evapotranspiração da cultura, sendo a lâmina 100% da ET<sub>c</sub> calculada de acordo com Bernardo et al. (2019), a lâmina de 50% da ET<sub>c</sub> pela divisão da ET<sub>c</sub>, encontrada conforme a Eq. 1:

$$ET_c = E_{To} \times K_c \quad (1)$$

Em que:

ET<sub>c</sub> - evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>;

E<sub>To</sub> - evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia<sup>-1</sup>; e,

K<sub>c</sub> - coeficiente de cultivo, adimensional.

Todos os dias a evapotranspiração de referência (E<sub>To</sub>) foi determinada a partir de dados climáticos coletados na Estação Meteorológica de São Gonçalo, localizada no município de Sousa – PB (25 km da área do experimento), sendo os dados aplicados para

encontrar a ETo pelo método de Penman-Monteith. Adotando o coeficiente de cultivo (Kc) de 0,4 para a fase vegetativa (15-120 DAT), 0,8 para a fase de floração (121-160 DAT) e 1,2 na fase de frutificação (161-220 DAT), de acordo com a recomendação contida em Nunes et al. (2016). As fases fenológicas definidas com base nas características morfológicas das plantas: Vegetativa - do transplântio até o surgimento do primórdio floral; Floração - do surgimento do primórdio floral e o total desenvolvimento do botão floral (antese); Frutificação - da fecundação do botão floral até o surgimento dos frutos com manchas amarelas entremeadas, com a mudança de fase concretizada quando 50% das plantas apresentavam as características fenológicas pertinentes a próxima etapa de desenvolvimento (Pinheiro et al., 2023).

A Tabela 2 aponta o volume total de água necessário em cada estratégia de irrigação, ajustado pela precipitação durante o período experimental. Vale ressaltar que, a área experimental apresentava sistema de drenagem subterrânea, composto por tubos corrugados com diâmetro de 60 mm a 1,30 m de profundidade. Esses tubos são espaçados a cada 20 m, o que facilita o controle sobre a distribuição da água de irrigação ao longo do ciclo da cultura. A água de irrigação utilizada no experimento apresentou condutividade elétrica de 0,2 dS m<sup>-1</sup>, pH de 7,1 e composição química de 0,15, 0,43, 0,75, 0,30, 0,19, 0, 0,33 e 0,62 mmolc L<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup>, respectivamente.

**Tabela 2.** Consumo de água do maracujazeiro-azedo cultivar BRS GA1 sob cada estratégia de irrigação, calculado pela evapotranspiração da cultura até 220 dias após o transplântio.

Irrigation strategies	DAT	Water consumption (mm)
FULL	30-220	1212
VEG	30 - 120	1004
FLO	121-160	1090
FRU	161-220	936
VEG + FLO	15 -160	882
VEG + FRU	30 – 120 /161-220	729

E1 - Irrigação com 100% de evapotranspiração da cultura - ETc durante todo o ciclo da cultura; E2 - irrigação com 50% ETc nos estádios vegetativo, E3 – floração, E4 - frutificação; E5 - sucessivamente nos estádios vegetativo/floração e E6 - vegetativo/frutificação

As estratégias de manejo da irrigação com déficit hídrico começaram aos 30 DAT, quando as mudas já se apresentavam aclimatadas às condições de campo. A aplicação do AsA teve início 20 dias após o transplântio (DAT), através de pulverizador costal Jacto<sup>®</sup> PJH, com capacidade de 20 L, pressão de serviço de 100 psi e bico JD 12 (770 ml/min),

tendo início a partir das 17:00 horas, visando o molhamento completo da área foliar conforme os tratamentos. Para fixação da solução a folha, foi usado o espalhante adesivo WIL FIX<sup>®</sup>, o preparo da solução feito em cada evento de aplicação, diluído em água de abastecimento local. Ao total foram 18 aplicações dos tratamentos ao longo do ciclo da cultura, intercaladas a cada 10 dias, com o volume final de 5,6 L por planta.

A avaliação fisiológica das plantas aconteceu aos 200 DAT, correspondendo a 40 dias após o início da fase de frutificação através das trocas gasosas do maracujazeiro-azedo, na folha mediana e intacta do ramo produtivo, com auxílio do analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo “CIRAS-3” da PP Systems Ltda, com irradiação de 1200  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e fluxo de ar de 300  $\text{mL min}^{-1}$ , no período de 07:00 às 10:00, para saber: condutância estomática -  $g_s$  ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  -  $C_i$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração -  $E$  ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  -  $A$  ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A partir desses dados foram quantificadas a eficiência do uso da água -  $EUA$  ( $A/E$ ) [ $(\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ], eficiência intrínseca no uso da água -  $EiUA$  ( $A/g_s$ ) [ $(\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ] e a eficiência instantânea da carboxilação -  $EiCi$  ( $A/C_i$ ) [ $(\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ].

A quantificação dos pigmentos fotossintéticos (clorofila  $a$ ,  $b$ , total e carotenoides) seguiu de acordo com Arnon (1949), com uso de extratos de amostras de discos da folha mediana e intacta do ramo produtivo. Em cada amostra, adicionado 6,0 mL de acetona PA a 80%. Através dos extratos, foram determinados os teores de clorofila e carotenoides usando espectrofotômetro (UV/VIS—UV17030, AKSO<sup>®</sup>, São Leopoldo - RS, Brasil) no comprimento de onda de absorbância - ABS (470, 647 e 663 nm), nas Eqs. 2, 3, 4 e 5, com resultados expressos em  $\text{g m}^{-2}$ . Com os valores apresentados foi possível saber a relação clorofila  $a/b$  (cl  $a/b$ ) e clorofila total / carotenoides (Chl t / Car),

$$\text{Clorofila } a \text{ (Cl } a) = 12,21 \text{ ABS}_{663} - 2,79 \text{ ABS}_{646} \quad (2)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (Cl } b) = 21,5 \text{ ABS}_{646} - 5,10 \text{ ABS}_{663} \quad (3)$$

$$\text{Carotenóides (Car)} = (1000 \text{ ABS}_{470} - 1,82 \text{ Cl } a - 85,02 \text{ Cl } b) / 198 \quad (4)$$

$$\text{Clorofila total (Cl t)} = 7,15 \text{ ABS}_{646} + 7,18 \text{ ABS}_{663} \quad (5)$$

Para encontrar o conteúdo relativo de água (CRA) e extravasamento de eletrólitos (EE) foram retiradas duas folhas do terço médio do ramo produtivo, obtendo-se dez discos de 12 mm de diâmetro. Para o CRA, cinco discos foram imediatamente pesados quanto à massa fresca (MF) e transferidos para um Becker e imerso em 50 mL de água destilada

por 24 h. Após esse período, com papel toalha, o excesso água foi removido dos discos para determinação da massa túrgida (MT). Os discos foram secos a temperatura de  $\approx 65 \pm 3$  °C em estufa até atingir peso constante para obtenção da massa seca (MS). O conteúdo relativo de água foi conseguido usando a Eq. 6, conforme recomendado por Weatherley (1950).

$$CRA = \frac{(MF-MS)}{(MT-MS)} \times 100 \quad (6)$$

Em que:

CRA = Conteúdo relativo de água (%);

MF = massa fresca dos discos (g);

MT = massa túrgida dos discos (g); e,

MS = Massa seca dos discos (g).

Para saber o EE foram necessários cinco discos foliares, com uma área de 1,54 cm<sup>2</sup> cada, que passaram a ser acondicionados em Beckers com 50 mL de água destilada e mantidos em temperatura de 25 °C por 24 h. Transcorrido esse tempo, com o auxílio de um condutivímetro de bancada foi mensurada a condutividade elétrica inicial do meio (Ci). Posteriormente, os Beckers foram colocados em estufa de secagem e mantidos em temperatura de 80 °C por 120 min, para posterior aferição da condutividade final (Cf). O extravasamento de eletrólitos no limbo foliar seguiu de acordo com Scotti-Campos et al. (2013), conforme Eq. 7.

$$EE = \frac{Ci}{Cf} \times 100 \quad (7)$$

Em que:

EE = extravasamento de eletrólitos (%);

Ci = condutividade elétrica inicial (dS m<sup>-1</sup>); e,

Cf = condutividade elétrica final (dS m<sup>-1</sup>).

A fluorescência da clorofila *a* foi mensurada através da fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), fluorescência variável (F<sub>v</sub>) e eficiência quântica do PSII (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) em folhas pré-adaptadas ao escuro mediante uso de pinças foliares durante 30 minutos, entre às 07:00 e 10:00 horas da manhã, na folha mediana do ramo produtivo, de modo a garantir que todos os aceptores primeiros estivessem oxidados, com aparato do fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science.

Para estabelecer os efeitos dos tratamentos na produção de maracujá azedo, estimou-se o Índice de Estabilidade de Produção (IEP) conforme a metodologia descrita por Nautyal et al. (2002), Eq. 8.



$$IEP = \frac{Ps}{Pt} \quad (8)$$

Where:

IEP = Índice de estabilidade de produção;

Ps = produtividade sob tratamentos (kg ha<sup>-1</sup>); e

Pt = produtividade das plantas testemunhas (kg ha<sup>-1</sup>).

Os dados coletados passaram pelo teste de normalidade da distribuição (Shapiro-Wilk). Em seguida, pela análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). Nos casos de significância, foi utilizado o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) para as estratégias de manejo de irrigação com déficit hídrico e Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para as concentrações de AsA, com o software estatístico SISVAR-ESAL versão 5.6 (Ferreira, 2019). A correlação de Pearson foi empregada para estabelecer relações entre as variáveis analisadas, com auxílio do programa estatístico R.

### 3. RESULTADO

O efeito foi significativo para interação dos fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico (E) e das concentrações de ácido ascórbico (AsA) para condutância estomática ( $g_s$ ), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ), transpiração ( $E$ ), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A$ ), eficiência do uso da água ( $EUA$ ), eficiência intrínseca do uso de água ( $EiUA$ ), eficiência instantânea de carboxilação ( $EiCi$ ), clorofila a (Cl  $a$ ), clorofila b (Cl  $b$ ), clorofila total (Cl  $t$ ), carotenoides (Car), relação clorofila a/b (Cl  $a/b$ ), relação clorofila total / carotenoides (Cl  $t/Car$ ), conteúdo relativo de água (CRA), extravasamento de eletrólitos (EE), fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ), eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ) e índice de estabilidade de produção (IEP) do maracujazeiro-azedo, aos 200 DAT (Tabela 3).

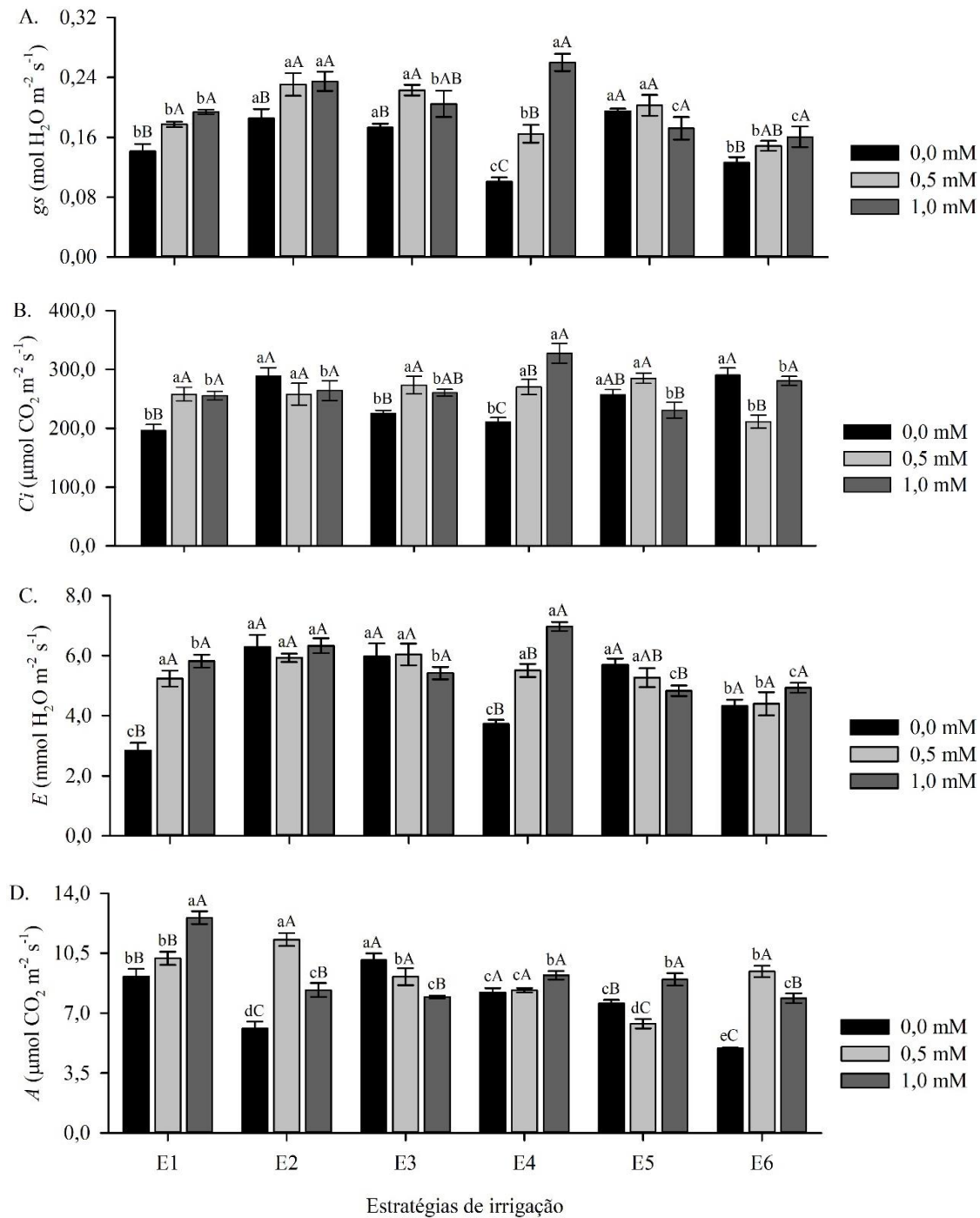
**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para condutância estomática (*gs*), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (*Ci*), transpiração (*E*), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*), eficiência do uso da água (*EUA*), eficiência intrínseca do uso de água (*EiUA*), eficiência instantânea de carboxilação (*EiCi*), clorofila a (*Cl a*), clorofila b (*Cl b*), clorofila total (*Cl t*), carotenoides (*Car*), relação clorofila a/b (*Cl a/b*), relação clorofila total / carotenoides (*Cl t/Car*), conteúdo relativo de água (*CRA*), extravasamento de eletrólitos (*EE*), fluorescência inicial (*F<sub>0</sub>*), fluorescência máxima (*F<sub>m</sub>*), fluorescência variável (*F<sub>v</sub>*), eficiência quântica do PSII (*F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>*) e índice de estabilidade de produção (*IEP*) do maracujazeiro-azedo cultivado sob estratégias de irrigação com déficit hídrico (*E*) e concentrações de ácido ascórbico (*AsA*), aos 200 dias após o transplântio.

Variáveis	Quadrado médio							
	Estratégias (E)	AsA (A)	E × AsA	Bloco	Erro 1	Erro 2	CV1 (%)	CV2 (%)
<i>gs</i>	0,0056**	0,0125**	0,0029**	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0006	0,0002	13,06	8,77
<i>Ci</i>	1393,60*	2879,22**	4312,41**	225,33 <sup>ns</sup>	618,66	339,39	9,65	7,14
<i>E</i>	3,71**	3,81**	2,59**	0,75*	0,26	0,14	9,56	7,26
<i>A</i>	11,98**	12,80**	8,35**	0,63 <sup>ns</sup>	0,36	0,27	6,96	6,08
<i>EUA</i>	1,32**	0,021 <sup>ns</sup>	0,77**	0,021 <sup>ns</sup>	0,041	0,024	12,00	9,21
<i>EiUA</i>	706,61**	193,69**	582,46**	13,08 <sup>ns</sup>	54,49	18,24	14,93	8,64
<i>EiCi</i>	0,00028**	0,00004 <sup>ns</sup>	0,00030**	0,00002 <sup>ns</sup>	0,00002	0,00001	13,30	11,17
<i>Cl a</i>	0,0023**	0,016**	0,003**	0,004**	0,0001	0,0002	5,11	6,18
<i>Cl b</i>	0,00029**	0,00129**	0,00064**	0,00035**	0,00002	0,00002	6,52	7,17
<i>Cl t</i>	0,0032**	0,0250**	0,0058**	0,0072**	0,00018	0,00023	4,65	5,28
<i>Car</i>	0,00039**	0,00070**	0,00033**	0,00042**	0,000008	0,00002	4,76	7,88
<i>Cl a/b</i>	1,74**	1,41**	1,58**	0,02 <sup>ns</sup>	0,14	0,23	10,79	13,41
<i>Cl t/Car</i>	0,62**	0,68**	1,69**	0,27 <sup>ns</sup>	0,028	0,100	3,43	6,48
<i>CRA</i>	46,10**	158,89**	30,65**	3,89 <sup>ns</sup>	5,37	4,41	3,02	2,74
<i>EE</i>	126,74**	58,43**	54,61**	0,45 <sup>ns</sup>	2,90	3,35	7,97	8,55
<i>F<sub>0</sub></i>	240,45**	145,23**	129,65**	7,50 <sup>ns</sup>	45,56	41,39	5,56	5,30
<i>F<sub>m</sub></i>	7203,24**	1372,72*	2569,77**	1950,72*	458,50	433,15	4,11	3,99
<i>F<sub>v</sub></i>	6070,43**	1476,05**	2360,92**	2145,72 <sup>ns</sup>	393,19	376,42	4,96	4,86
<i>F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub></i>	0,00117**	0,00065*	0,00074**	0,00062 <sup>ns</sup>	0,00015	0,00018	2,63	3,77
<i>IEP</i>	2748,88**	8702,38**	1733,81**	84,26 <sup>ns</sup>	56,91	51,53	8,93	8,50
GL	5	2	10	2	34	-	-	-

ns, \*\*, \* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$

A condutância estomática das plantas de maracujazeiro-azedo foi elevada na condição de déficit hídrico (50% da ETc) na fase vegetativa/frutificação (E6) intercalada com reposição de 100% da ETc na fase de floração, apresentando valor 37,79% superior ao encontrado nas plantas sem déficit hídrico ao longo do ciclo (E1) e sem aplicação de AsA. O ácido ascórbico influenciou de forma positiva as condições de cultivo sem e com déficit hídrico na fase vegetativa, floração e frutificação, que puderam ser observados na E6 pela aplicação da concentração de 1,0 mM (Figura 2A). Na fase de frutificação (E4) a concentração de 1,0 mM proporcionou maior  $g_s$  ( $0,260 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), diferindo das plantas sem aplicação de AsA na mesma estratégia de irrigação, com o menor valor da  $g_s$  ( $0,101 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). O déficit hídrico aplicado na fase vegetativa/ floração (E5) não diferiu dentre as aplicações de AsA, mas apresentaram diferenças expressivas em relação a E6, com as concentrações de 0,0 e 0,5 mM de AsA resultando em médias superiores na estratégia E5.

Para a concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Figura 2B), a aplicação de ácido ascórbico, independente da concentração, aumenta a  $C_i$  das plantas de maracujazeiro-azedo cultivadas com 100% da ETc durante todo o ciclo (E1) e sob déficit hídrico na fase de floração (E3) e frutificação (E4) quando comparadas as plantas sem aplicação de AsA, diferindo das que foram submetidas ao déficit hídrico na fase vegetativa (E2) que não divergiram entre as aplicações de AsA. O déficit hídrico na fase vegetativa/floração (E5), associado a aplicação de AsA não possui diferenças notáveis em relação as que não receberam aplicação foliar de AsA, porém, com a concentração de 0,5 mM houve incremento na  $C_i$  em relação a concentração de 1,0 mM, condição que difere das plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa/frutificação (E6), que apresentaram as maiores reduções na  $C_i$  em comparação a concentração de 0,5 mM ( $211,11 \text{ } \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), sendo o menor valor da concentração dentre as estratégias de manejo de irrigação nessa concentração.



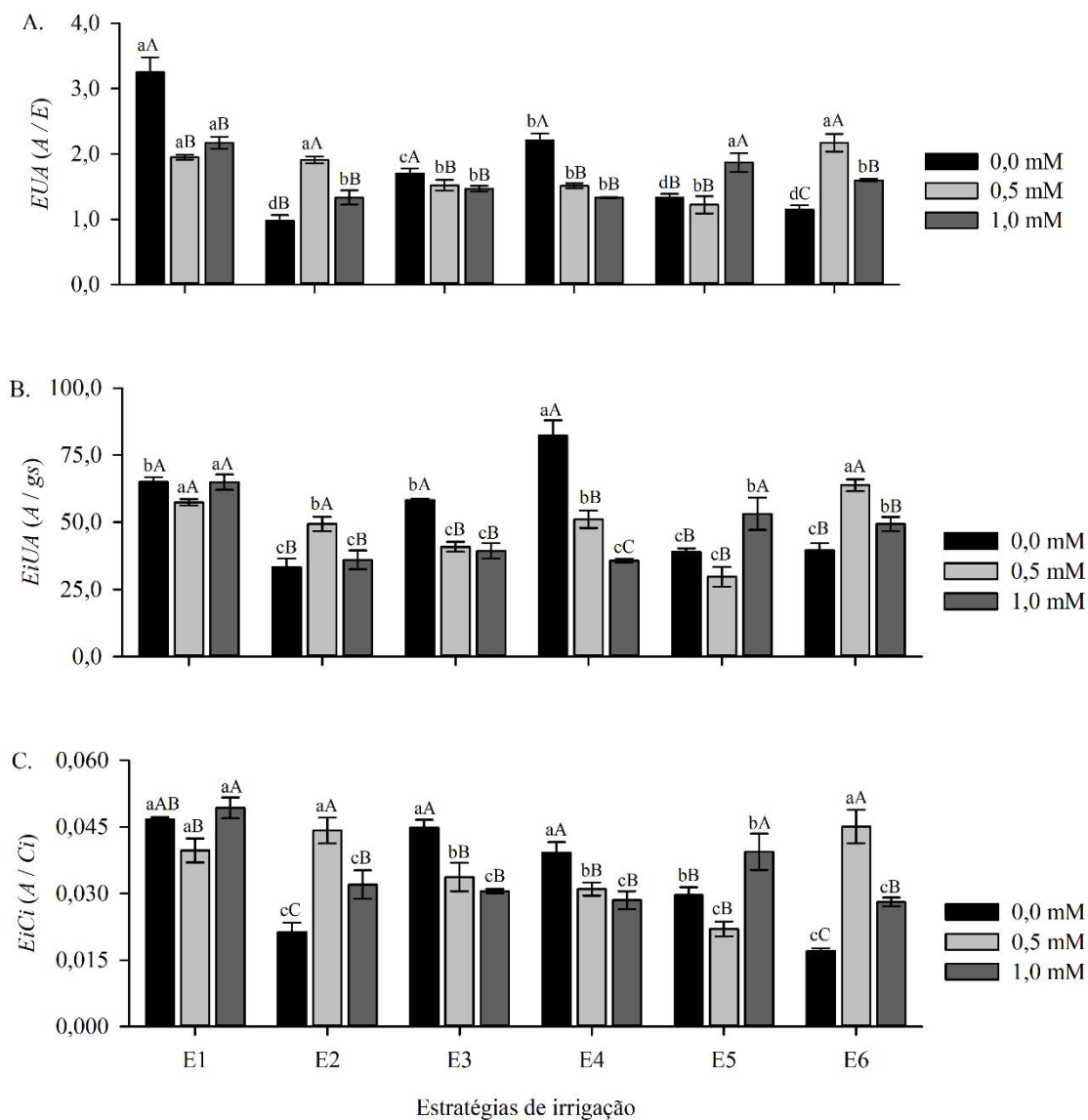
Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 2.** Condutância estomática –  $g_s$  (A), concentração interna de  $\text{CO}_2$  –  $C_i$  (B), transpiração –  $E$  (C) e taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  –  $A$  (D) do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, em função da interação entre os fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico, aos 200 dias após o transplântio.

Na transpiração do maracujazeiro-azedo (Figura 2C), os menores valores pertenceram as plantas sem aplicação de AsA e sob as estratégias de manejo E1 (2,84 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e E4 (3,73 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), sendo que nas estratégias E2, E3, E5 e E6 não tiveram grandes diferenças pela aplicação de AsA. Sendo assim, o ácido ascórbico contribuiu para elevar a *E* na E1, independente da concentração de AsA, diferente da E4, que apresentou aumento gradual pela aplicação do AsA, com a concentração de 1,0 mM estabelecendo o maior valor da variável, de 6,97 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

A aplicação de ácido ascórbico contribuiu para elevar a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*) do maracujazeiro-azedo sob irrigação plena (100% da ET<sub>c</sub> durante todo o ciclo de cultivo - E1), a aplicação de 1,0 mM resultou em maior valor (12,06 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), superior ao obtido na mesma concentração nas demais estratégias de irrigação (Figura 2D). Em comparação entre os efeitos do AsA nas estratégias sob déficit hídrico, os efeitos são positivos na *A* das plantas que receberam irrigação deficitária na fase vegetativa, com a concentração de 0,5 mM com os maiores valores na E2 e E6, diferindo da E5 com o menor valor na concentração de 0,5 mM (5,95 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), sendo o maior valor (8,97 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) obtido nessa estratégia ao aplicar a concentração de 1 mM de AsA.

A aplicação de AsA nas plantas sob irrigação plena durante o ciclo (E1) e com déficit hídrico na fase de floração (E3) e frutificação (E4) reduziu a eficiência do uso da água, sendo os maiores valores das plantas sob 100% da ET<sub>c</sub> durante todo o ciclo (Figura 3A). No entanto, as que passaram pelo déficit hídrico na fase vegetativa (E2) e nas fases vegetativa/frutificação (E6), apresentaram respostas positivas a aplicação do AsA, com a concentração 0,5 mM resultando em aumentos de 16,10 e 24,16 [(μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup>], respectivamente. Enquanto a concentração de 1,0 mM de AsA, apresentou os maiores valores de *EUA* nas plantas irrigadas com 50% da ET<sub>c</sub> sucessivamente nas fases vegetativa/floração (E5), resultando em incremento de 36,47% em relação as que não receberam aplicação foliar de AsA na mesma estratégia de irrigação (Figura 3A).



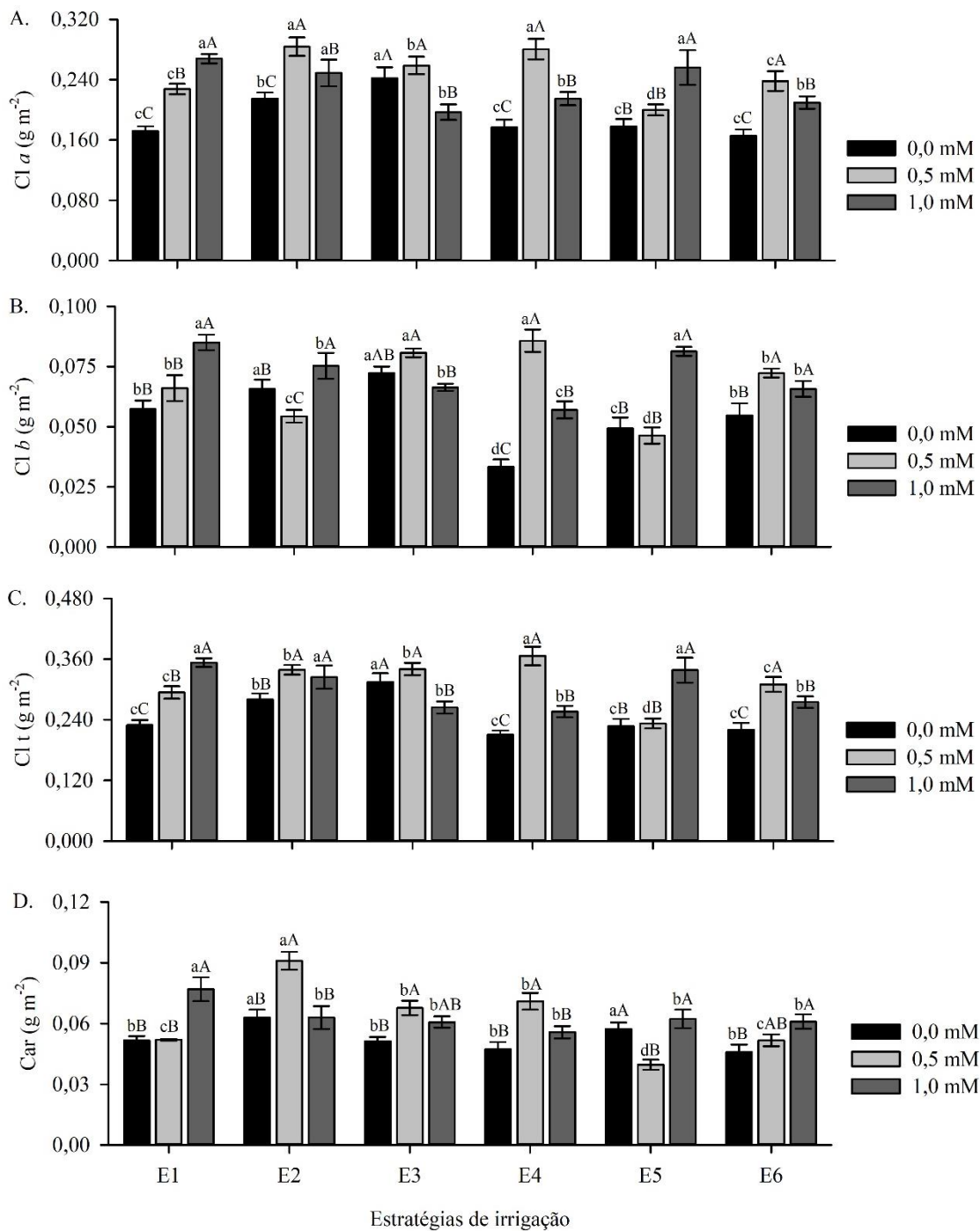
Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 3.** Interação dos fatores estratégias de irrigação deficitária e concentrações de ácido ascórbico na eficiência do uso da água – *EUA* (A), eficiência intrínseca do uso da água – *EiUA* (B) e eficiência instantânea da carboxilação – *EiCi* (C) do maracujazeiro cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplantio.

Para a eficiência intrínseca do uso da água (Figura 3B), as concentrações de AsA não diferiram de forma significativa dos valores obtidos nas plantas cultivadas sob irrigação plena durante todo o ciclo (E1). Na comparação entre as estratégias de irrigação sem aplicação de AsA, aquelas cujo déficit hídrico ocorreu apenas na fase de floração (E3) e frutificação (E4) mostraram valores elevados de *EiUA*, diferindo bastante das estratégias que receberam restrições hídricas envolvendo a fase vegetativa do maracujazeiro-azedo (E2, E5 e E6), pois resultaram nos menores valores. De um modo geral, com a aplicação de AsA, os efeitos benéficos foram observados apenas nas plantas que iniciaram o déficit hídrico na fase vegetativa, sendo a aplicação foliar de 0,5 mM de AsA nas plantas submetidas ao déficit hídrico na fase vegetativa (E2) e vegetativa/frutificação (E6), no entanto, as que receberam estresse contínuo na vegetativa/floração (E5) tiveram os maiores valores de *EiUA* com aplicação da concentração de 1,0 mM de AsA.

De forma similar ao que pôde ser visto entre *EUA* e *EiUA* (Figura 3A e B), ao comparar as plantas sem aplicação de AsA nas estratégias de irrigação, o déficit hídrico na fase vegetativa resulta em redução acentuada na eficiência da carboxilação do maracujazeiro-azedo (Figura 3C). O comportamento é amenizado pela aplicação de AsA, na concentração de 0,5 mM, para as estratégias E2 e E6, e de 1,0 mM para E5, diferindo das estratégias que receberam déficit hídrico após a fase vegetativa (E3 e E4), pois o AsA trouxe perdas para *EiCi*. Nas plantas sob manejo de irrigação plena (E1), a aplicação de AsA não diferiu das plantas testemunhas.

O AsA elevou os teores de clorofila *a* nas folhas de maracujazeiro-azedo sob irrigação com 100% da ETc (Figura 4A), sendo a concentração de 1,0 mM (0,268 g m<sup>-2</sup>) a que apresenta o maior acréscimo, com ganho de 55,81% em comparação ao obtido nas plantas sem aplicação de AsA (0,172 g m<sup>-2</sup>). Benefícios também foram observados nas plantas sob déficit hídrico (50% da ETc), com a concentração de 1,0 mM sendo benéfica na estratégia E5, enquanto a de 0,5 mM para as estratégias E2, E4 e E6. Dentre as estratégias, o déficit hídrico apenas na fase de floração (E3) proporcionou os maiores teores de clorofila *a* (0,242 g m<sup>-2</sup>), mas, sendo a única estratégia que não apresentou efeitos positivos do AsA, contudo, a concentração de 0,5 mM manteve os teores superiores aos obtidos nas plantas testemunhas, similar a concentração de 1,0 mM, que mesmo reduzindo em 18,60% os teores de clorofila *a* em relação as plantas sem aplicação de AsA, estabeleceu teores similares aos observados nas E4 e E6.



Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 4.** Interação dos fatores estratégias de irrigação deficitária e concentrações de ácido ascórbico nos teores de clorofila *a* – Cl *a* (A), clorofila *b* – Cl *b* (B), clorofila total – Cl *t* (C) e carotenoides – Car (D) do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplante.



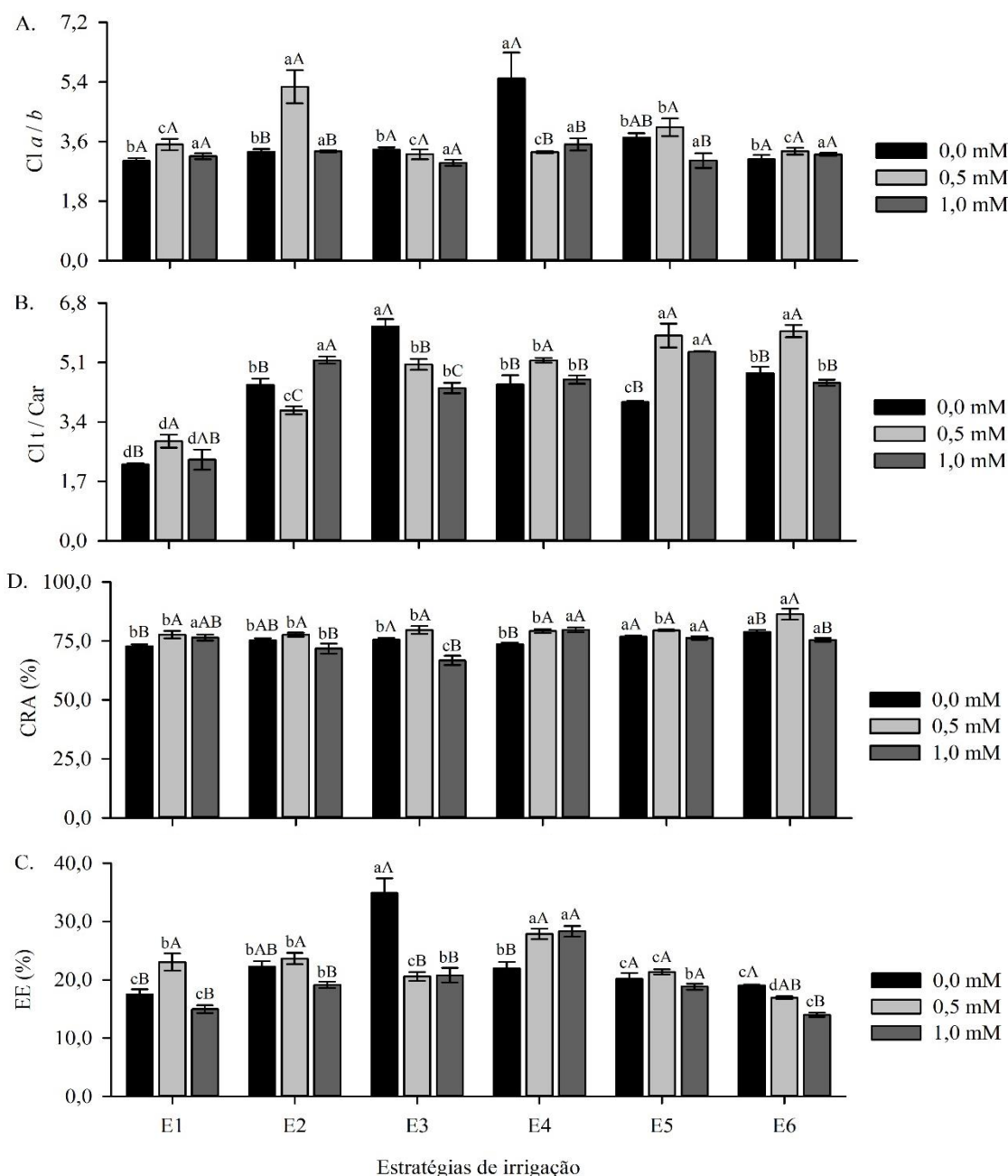
Os teores de clorofila *b*, nas plantas sem aplicação de AsA, são elevados pela condição de déficit hídrico na fase vegetativa (E2) e floração (E3), mas reduzidos quando submetidos ao déficit hídrico na fase de frutificação (E4) (Figura 4B). Por outro lado, a aplicação de AsA contribuiu para elevar os teores de Cl *b*, de forma similar ao que ocorreu para a Cl *a*, dentre as estratégias E1, E2, E4, E5 e E6, sendo déficit hídrico na floração (E3) a que não apresenta diferenças significativas entre as plantas sem e com aplicação foliar de AsA.

Para os teores de clorofila total (Figura 4C), as plantas sob déficit hídrico na fase de floração (E3) apresentaram os maiores valores ( $0,315 \text{ g m}^{-2}$ ), em sequência pelas estratégias sob déficit hídrico na fase vegetativa ( $0,280 \text{ g m}^{-2}$ ), com clorofila total de 37,00 e 22,03% valores superiores as plantas testemunhas (E1), respectivamente. As demais estratégias de irrigação não diferiram da E1. Com a aplicação de AsA, a concentração de 0,5 mM nas plantas sob E3 apresenta valores superiores, sendo inferior apenas as plantas sob déficit hídrico na fase de frutificação (E4), com os maiores valores nessa concentração de AsA ( $0,366 \text{ g m}^{-2}$ ). Nas demais estratégias de irrigação, o AsA contribuiu positivamente no aumento dos teores de clorofila total, apenas variando a concentração que ofereceu os maiores valores, com as plantas sob déficit hídrico na frutificação (E4 e E6) e concentração de 0,5 mM, enquanto as plantas sob E1 e E5 tiveram os maiores teores na concentração de 1,0 mM.

Dentre as estratégias de manejo de irrigação, as plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa (E2) foram as que tiveram os maiores teores de carotenoides ( $0,063 \text{ g m}^{-2}$ ) em relação as plantas testemunhas ( $0,051 \text{ g m}^{-2}$ ), ou seja, acréscimo de 21,86% (Figura 4D). Comportamento que se manteve com a aplicação de AsA, com a concentração de 0,5 mM, resultando em teores de  $0,091 \text{ g m}^{-2}$  na estratégia de irrigação E2, diferindo das plantas sob déficit hídrico nas fases vegetativa/floração (E5), as quais exibiram os menores teores de carotenoides ao aplicar a concentração de 0,5 mM ( $0,0397 \text{ g m}^{-2}$ ). Nas demais estratégias, a aplicação do AsA resultou em respostas positivas nos teores de carotenoides, sendo essa dependente da concentração utilizada.

A aplicação de AsA não altera a relação clorofila *a/b* do maracujazeiro-azedo nas plantas sem déficit hídrico (E1), comportamento que foi mantido nas plantas sob E3, E5 e E6 ao serem comparadas com as sem aplicação de AsA (Figura 5A). No entanto, o déficit hídrico apenas na fase de frutificação (E4) alterou a relação clorofila *a/b* das plantas de maracujazeiro-azedo sem aplicação do AsA, proporcionando aumento de 82,54% em relação as plantas sob E1, divergindo das plantas de maracujazeiro-azedo sob

déficit hídrico na fase vegetativa (E2), sendo o incremento de 59,61% nas plantas sob aplicação de 0,5 mM em relação as que não receberam aplicação do AsA.



Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

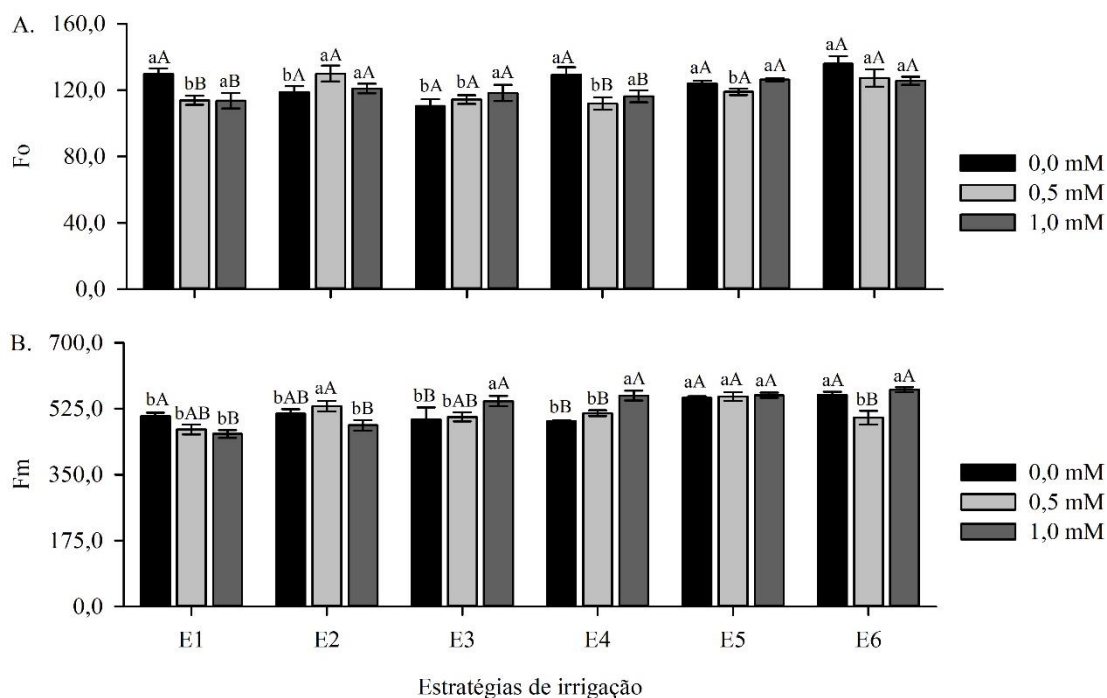
**Figura 5.** Interação dos fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico na relação clorofila *a/b* – Chl *a/b* (A), clorofila total/carotenoides – Cl t/Car (B), extravasamento de eletrólitos – EE (C) e conteúdo relativo de água – CRA (D) de plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplântio.

A relação clorofila total/carotenoides aumentou nas plantas cultivadas sob déficit hídrico (Figura 5B), passando pela estratégia de irrigação na fase de floração (E3) as que apresentaram os maiores valores ( $6,13 \text{ (g m}^{-2}) \text{ (g m}^{-2})^{-1}$ ), 180,90% superior ao das plantas testemunhas (E1), ambas sem aplicação de AsA. Com o aumento da concentração de AsA, as plantas da E3 diminuíram de 17,77 e 28,75% para plantas sem aplicação do AsA, porém, com valores elevados na relação Chl/Car em comparação com plantas na E1. Nas demais estratégias, a aplicação de AsA resulta em aumento na proporção clorofila/carotenoides, sendo os maiores valores obtidos na concentração de 0,5 mM na E1 ( $2,85 \text{ (g m}^{-2}) \text{ (g m}^{-2})^{-1}$ ), E4 ( $5,16 \text{ (g m}^{-2}) \text{ (g m}^{-2})^{-1}$ ) e E6 ( $6,00 \text{ (g m}^{-2}) \text{ (g m}^{-2})^{-1}$ ), enquanto a de 1,0 mM na E2 ( $5,16 \text{ (g m}^{-2}) \text{ (g m}^{-2})^{-1}$ ). As plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa/floração (E5), obtiveram os menores valores dentre as estratégias com déficit hídrico, mas resultando nas maiores médias com aplicações de concentrações de AsA, com aumentos de 47,86 e 36,27% no uso de 0,5 e 1,0 mM, respectivamente.

Com base na Figura 5C, percebe-se que nas plantas sem aplicação de AsA, o extravasamento de eletrólitos das folhas de maracujazeiro-azedo foi elevado pela irrigação deficitária nas fases vegetativa (E2), frutificação (E4) e com maior intensidade na floração (E3), com respectivos aumentos de 27,30; 25,57 e 99,52% em relação as plantas que tiveram irrigação plena durante todo o ciclo de cultivo (E1). Sendo assim, a aplicação de AsA na concentração de 0,5 mM contribuiu para elevar o EE das plantas sob manejo sem (E1) e ambas as concentrações sob déficit hídrico na fase de frutificação (E4), diferindo bastante do que foi visto nas plantas sob déficit hídrico na fase de floração (E3), reduções de 41,04 e 40,45% na concentração de 0,5 e 1,0 mM em relação as que não receberam AsA, respectivamente.

Para o conteúdo relativo de água (Figura 5D), a condição de déficit hídrico não prejudicou o CRA das plantas de maracujazeiro-azedo, pois ocorreu aumentos de 5,52 e 8,30%, nas fases sucessivas com a vegetativa/floração (E5) e vegetativa/frutificação (E6), respectivamente, em relação as sob irrigação plena (E1). Com a aplicação de AsA, as plantas sob irrigação com 100% da ETc (E1) e com déficit hídrico na fase de frutificação (E4) apresentaram aumento com a aplicação de ambas as concentrações, os mesmos benefícios foram observados nas plantas cultivadas sob aplicação foliar de 0,5 mM de AsA e déficit hídrico na fase vegetativa/frutificação (E6). No que diz respeito, as demais estratégias entre as plantas sem e com aplicação do AsA, apenas a E3 apresentou redução de 11,63% sob aplicação da concentração de 1,0 mM em relação as que não receberam AsA.

A fluorescência inicial das plantas de maracujazeiro-azedo sem aplicação de AsA reduziu na condição de déficit hídrico na fase de floração (E3), com menos 14,99% em relação as que receberam irrigação plena durante todo o ciclo de cultivo (Figura 6A). Comportamento parecido com o observado na aplicação de AsA, com redução da  $F_0$  das plantas irrigadas sem (E1) e com déficit hídrico na fase de frutificação (E4). Nas demais estratégias não foram observadas diferenças na  $F_0$  pela aplicação de AsA.



Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 6.** Interação dos fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico na fluorescência inicial –  $F_0$  (A) e fluorescência máxima –  $F_m$  (B) de plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplantio.

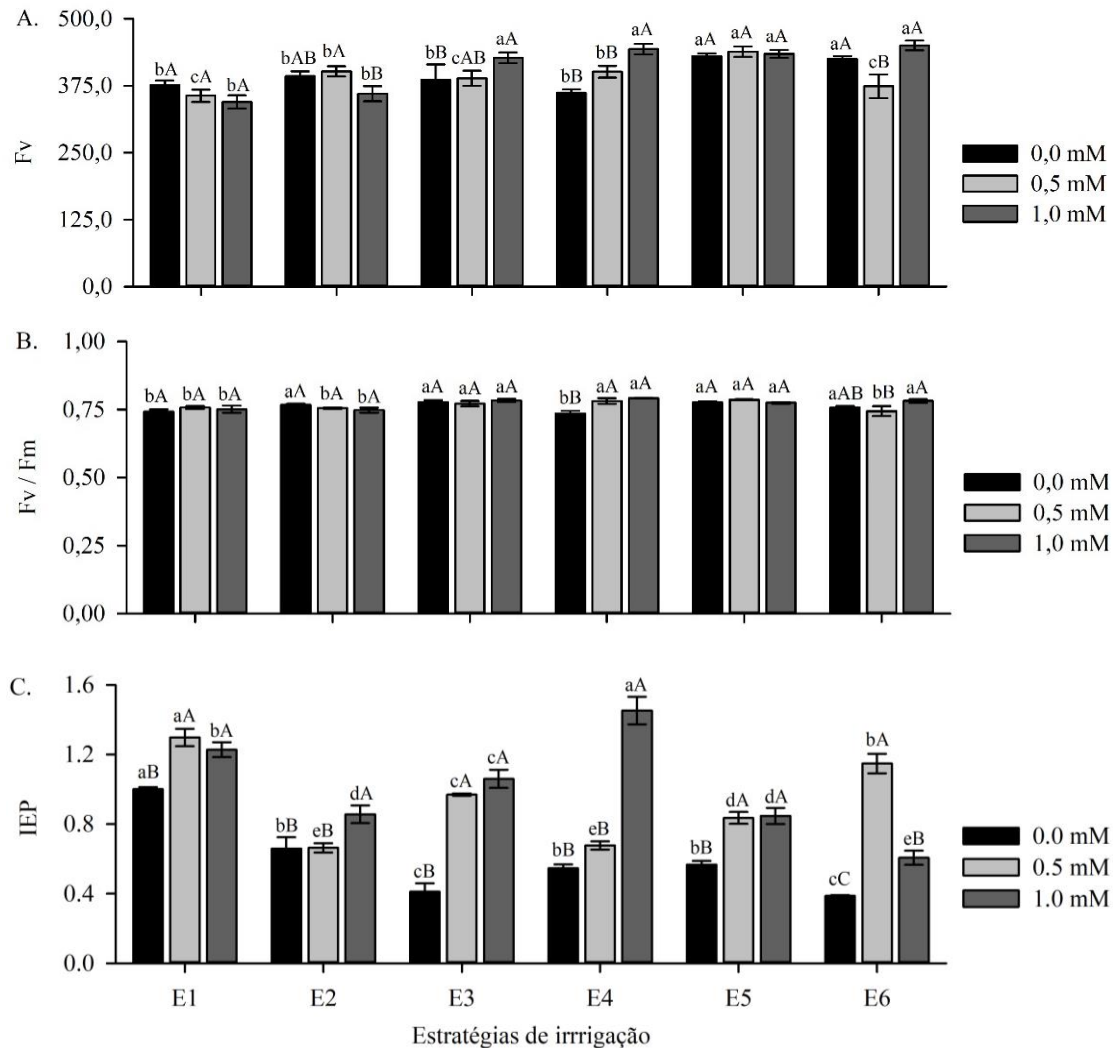
O déficit hídrico nas fases vegetativa/floração (E5) e frutificação (E6) resultou nos maiores valores de fluorescência máxima (Figura 6B), com incrementos de 9,60 e 10,98% em relação ao obtido nas plantas sob irrigação plena (100% da ETC) durante todo o ciclo (E1). Entretanto, a aplicação foliar de AsA na concentração de 1,0 mM contribuiu para reduzir  $F_m$  das plantas sem (E1) e com déficit hídrico na fase vegetativa (E2), com diminuições de 9,36 e 6,05%, respectivamente. Comportamento similar foi observado nas plantas sob déficit hídrico na fase de floração/frutificação (E6) com a concentração de 0,5 mM, com redução de 10,66% em relação as plantas sem aplicação de AsA, o que difere

das plantas sob déficit hídrico na floração (E3) e frutificação (E4), que apresentaram aumentos de 9,87 e 13,85% com aplicação da concentração de 1,0 mM em relação as que não receberam aplicação de AsA. Para a E5, não foram observadas diferenças entre as concentrações de AsA.

Para a fluorescência variável (Figura 7A), o déficit hídrico na fase vegetativa/floração (E5) e vegetativa/ frutificação (E6) proporcionou incrementos de 14,45 e 13,14%, respectivamente, quando comparadas as plantas sob irrigação com 100% da ETc (E1), diferindo das submetidas ao déficit hídrico apenas na fase de frutificação (E4), que tiveram os menores valores de Fv (362,09). A aplicação de AsA nas concentrações de 0,5 e 1,0 mM contribuiu para reduzir a Fv nas plantas sob E2 e E6, respectivamente. A aplicação foliar de AsA na concentração de 1,0 mM resultou nos maiores de Fv nas plantas sob déficit hídrico na fase de floração (E3) e frutificação (E4).

A eficiência quântica do fotossistema foi elevada pela condição de déficit hídrico (50% da ETc) na fase de floração (E3) e vegetativa/floração (E5), com aumentos de 4,50 e 4,44% em relação as plantas sob irrigação plena (E1) (Figura 7B). Com a aplicação de AsA, as plantas sob déficit hídrico na fase de frutificação (E4), em ambas as concentrações, apresentaram incrementos de 6,12 e 7,60%, nas respectivas concentrações de 0,5 e 1,0 mM, em relação as sem aplicação de AsA. As demais estratégias não tiveram diferenças notáveis entre os valores com e sem aplicação de AsA.

As estratégias de irrigação deficitária nas plantas sem aplicação de AsA prejudicaram o rendimento produtivo do maracujazeiro-azedo (Figura 7C), sendo as maiores limitações das estratégias com irrigação de 50% da ETr nas fases de floração (E3) e vegetativa/frutificação (E6), que resultaram em perdas de 61,39 e 58,95% em relação as plantas sob irrigação completa. Com a aplicação do AsA, foram observadas melhorias no rendimento produtivo do maracujazeiro-azedo em todas as estratégias de irrigação pela aplicação da concentração de 1,0 mM, sendo o destaque para os efeitos da estratégia com déficit hídrico na fase de frutificação (E4), com aumento de 45,00% em relação as plantas testemunhas. A concentração de 0,5 mM também permitiu ganhos, com exceção apenas das estratégias que tiveram déficit hídrico na fase vegetativa (E2) e frutificação (E4), contudo, apresentando os maiores valores nas plantas sob estratégia E6, com aumento de 197,00% ao obtido nas plantas sem aplicação de AsA na mesma estratégia de irrigação e 14,73% em relação as plantas testemunhas.

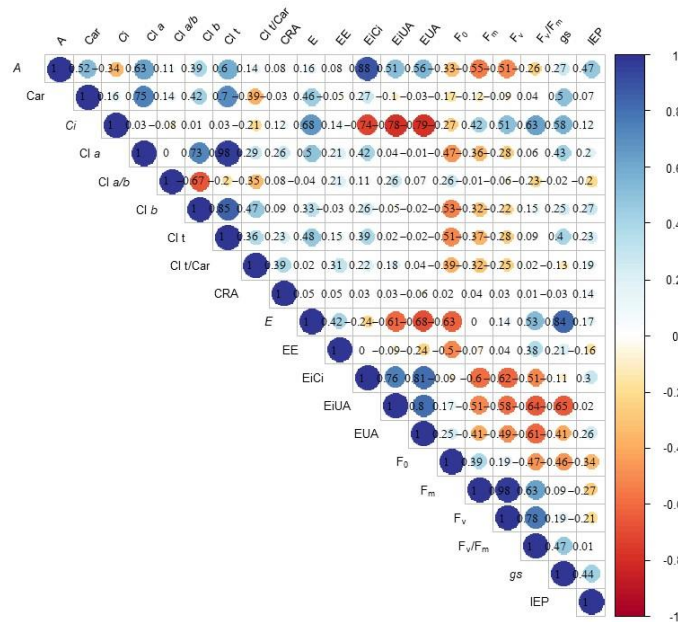


Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 7.** Interação dos fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico na fluorescência variável – Fv (A), eficiência quântica do PSII – Fv /Fm (B) e índice de estabilidade de produção (IEP) de plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 200 dias após o transplantio.

Para a matriz de correlação (Figure 8), o rendimento produtivo do maracujazeiro-azedo apresenta correlação positiva forte com A (+0,78), comportamento similar ao obtido para  $g_s$  (+0,51), teores de Chl. a (+0,53) e, conseqüentemente, Chl. T (+0,55), sendo os principais limitantes, a correlação com  $C_i$  (-0,67) e  $F_o$  (-0,63). Vale ressaltar que, A apresenta correlação negativa forte com  $C_i$  (-0,83) e fraca com E (-0,48), E1 (-0,37),  $F_o$  (-0,40), Fm (-0,37) e Fv (-0,26), enquanto a correlação positiva foi com os

pigmentos fotossintéticos, a forte apenas com a Chl a (+0,63) e Chl. To (+0,67). Os teores de chl b apresentam correlação negativa com a Fm (-0,58) e Fv (-0,50), comportamento amenizado na Chl. T, que apresentou correlação negativa na respectiva ordem de -0,41 e -0,32, devido a Chl. T positiva forte com a Chl a (+0,97), sem ligação significativa com os teores de chl b (+0,08).



**Figura 8.** Matrizes de correlação de Pearson para as variáveis fisiológicas e índice de colheita do maracujá dentro das estratégias de irrigação e concentrações de ácido ascórbico.

#### 4. DISCUSSÃO

No presente estudo, a condição de irrigação deficitária (50% ETc), independentemente da estratégia, manteve a abertura estomática em valores maiores ou próximos aos obtidos em plantas sob irrigação total, exceto para as plantas submetidas ao déficit hídrico apenas na fase de frutificação (E4), que reduziram a condutância estomática (gs). Nesse caso, o período pós-déficit hídrico pode ter contribuído para o restabelecimento do turgor foliar, considerando os valores de CRA, demonstrando a eficiência da atividade estomática, conforme relatado por Soares et al. (2018), no algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e Hao et al. (2019), no tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

A manutenção da abertura estomática em plantas sob déficit hídrico contribuiu para manter a transpiração e a entrada de carbono nas câmaras subestomáticas, mesmo em plantas que passaram por déficit hídrico apenas na fase de frutificação (E4), reduzindo

a eficiência do uso da água. No entanto, os valores de transpiração observados no presente estudo para plantas sob manejo ideal de irrigação ( $2,84 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) se destacam, pois, além de apresentarem valores inferiores a outras estratégias de irrigação, estão longe de outros estudos com maracujazeiro-azedo, que indicam valores de transpiração sob condições ideais de irrigação e fertilização próximos a 4,73 (Araújo et al., 2022) e 5,43 (Nunes et al., 2017)  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Isso reforça a ideia de uma regulação hídrica superior em plantas cultivadas em condições semiáridas (Sobhanian et al., 2020), reduzindo o fluxo de transpiração como forma de estabelecer um equilíbrio entre a perda de água para o ambiente e a absorção da solução do solo (Chaves et al., 2016; BurrIDGE et al., 2022).

Assim, o consumo de carbono dentro da câmara subestomática durante o processo fotossintético estabelece uma correlação negativa entre essas variáveis. Vale ressaltar que, em condições ideais de  $\text{CO}_2$ , o processo de carboxilação da RuBisCo prevalece sobre o processo de oxigenação (Salmon et al., 2020). No entanto, com base nos resultados da pesquisa, é evidente que o déficit hídrico durante a fase vegetativa (E2, E5 e E6) afeta de forma negativa a atividade de carboxilação, no rendimento do maracujazeiro-azedo, eles estão relacionados ao processo de fotorrespiração, que serve para manter a integridade do fotossistema (Treves et al., 2022). Mesmo com níveis reduzidos de irrigação, os valores de clorofila e fluorescência permaneceram próximos ou excederam a condição de irrigação ideal, isso demonstra que o déficit hídrico durante as fases fenológicas não compromete a eficiência fotossintética do maracujazeiro-azedo, apesar dos efeitos comuns relacionados ao estresse (Sun et al., 2020; Xiong et al., 2021).

Diferente de outras estratégias, a condição de déficit hídrico durante a fase de floração manteve a atividade fotossintética. Nesse caso, como as plantas já estavam em pleno desenvolvimento vegetativo, o período de 40 dias de déficit hídrico durante a floração foi insuficiente para alterar permanentemente a atividade fotoquímica, apesar de um aumento no extravasamento de eletrólitos, o que acabou por contribuir para a recuperação no ciclo de Calvin por meio da manutenção da abertura estomática e da melhoria na eficiência do aparato fotossintético. No entanto, devido à fase de formação do tubo polínico, os ganhos fisiológicos não se traduziram em aumento da produtividade do maracujá-azedo. Em vez disso, maiores perdas no índice de estabilidade do rendimento em comparação com outras estratégias de déficit hídrico, o que reduziu a translocação de assimilados para o fruto, enquanto mantinha o potencial energético para a integridade das folhas (Pshybytko, 2023).



Corroborando a hipótese da pesquisa, o ácido ascórbico possibilitou atenuar os efeitos do déficit hídrico no maracujá-azedo, resultando em um aumento na taxa de colheita e na atividade fotoquímica das plantas. Esse efeito está associado ao seu papel na manutenção dos níveis de clorofila (Aziz et al., 2018; Khazaei et al., 2020). A literatura existente relata a ação do ácido ascórbico (AsA) na ativação do ascorbato em níveis abaixo da catalase, melhorando assim, a dissipação de energia térmica dentro da matriz de pigmentos (Celi et al., 2023). Além disso, o AsA tem sido relatado como um cofator para a enzima violaxantina desepoxidase, auxiliando na biossíntese de zeaxantina, que é conhecida por seu papel protetor contra a fotoinibição e danos fotoquímicos (Senn et al., 2016; Akram et al., 2017).

No entanto, a aplicação foliar de AsA não colaborou para o fechamento estomático no maracujazeiro-azedo. Isso se relaciona ao papel do AsA na redução do sinal originado do  $H_2O_2$  induzido pelo ácido abscísico (ABA) sob condições de estresse. Pois, ele impede um aumento na concentração de  $Ca^{2+}$  citosólico, que, de outra forma, levaria à despolarização das células-guarda, efluxo de potássio, perda de turgor e redução do volume das células-guarda (Chen et al., 2004; Iqbal et al., 2021; Liu et al., 2022). Os ganhos foram significativos na entrada de carbono nas câmaras subestomáticas e na transpiração, devido ao aumento da condutância estomática (gs) com a aplicação de AsA foram mais pronunciados em plantas de controle e naquelas que apresentaram déficit hídrico pela primeira vez durante o período de avaliação (E4). Os dados encontrados apoiados pelos dados de potencial hídrico foliar, sugerem que condições de déficit hídrico equilibram a absorção e a perda de água, melhorando a atividade fotossintética nas plantas de controle e mantendo a atividade fotossintética nas plantas sob estresse hídrico.

Em geral, no presente estudo, o déficit hídrico durante as fases fenológicas do maracujazeiro-azedo permitiu apenas pequenas alterações na atividade fotoquímica. Os efeitos mais perceptíveis ocorreram nas trocas gasosas, que ao longo do dia podem induzir a fotoinibição do fotossistema em resposta às condições semiáridas, caracterizadas por altas temperaturas e baixa umidade (Figura 1). No entanto, a aplicação de AsA mitigou esses efeitos. O ácido ascórbico regula a produção de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) ativando a ascorbato peroxidase e a ascorbato oxidase, além disso, serve como doador alternativo de elétrons para a cadeia de transporte de elétrons (Khazaei et al., 2020; Celi et al., 2023). Assim, o AsA contribuiu para a manutenção da atividade dos centros de reação, como evidenciado pelos ganhos em clorofila e fluorescência, mesmo nas

condições de déficit hídrico propostas e no estresse térmico predominante na região, resultando em um índice de colheita mais alto para o maracujazeiro-azedo.

## 5. CONCLUSÕES

O déficit hídrico induz mudanças na atividade fotossintética em todos os estágios de desenvolvimento do maracujazeiro-azedo, resultando em uma redução no índice de colheita aos 200 dias após o transplante. A fase de floração apresenta a maior aclimatação fisiológica às condições de déficit hídrico, embora com perdas mais pronunciadas no índice de colheita. Quando o déficit hídrico ocorre durante as fases vegetativa e de frutificação e é combinado com a aplicação foliar de ácido ascórbico a 0,5 mM, há um aumento na síntese de pigmentos fotossintéticos no maracujá-azedo 'BRS GA1'. No geral, a aplicação foliar de ácido ascórbico nas concentrações de 0,5 e 1,0 mM emerge como uma estratégia viável para mitigar os efeitos adversos do déficit hídrico na fisiologia e produtividade do maracujá-azedo aos 200 dias após o transplante.

## 6. REFERÊNCIAS

- Abdalla, M.; Ahmed, M. A.; Cai, G.; Wankmüller, F.; Schwartz, N.; Litig, O.; Carminati, A. Stomatal closure during water deficit is controlled by below-ground hydraulics. *Annals of Botany*, v. 129, p. 161-170, 2022. <https://doi.org/10.1093/aob/mcab141>
- Abid, M.; Ali, S.; Qi, L. K.; Zahoor, R.; Tian, Z.; Jiang, D.; Dai, T. Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, v. 8, e4615, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21441-7>
- Ahmad, S.; Belwal, V.; Punia, S. S.; Ram, M.; Dalip, Rajput, S. S.; Mohamed, H. I. Role of plant secondary metabolites and phytohormones in drought tolerance: A Review. *Gesunde Pflanzen*, v. 75, p. 729-746, 2023.
- Akram, N. A.; Shafiq, F.; Ashraf, M. Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, e613, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00613>
- Alagoz, S. M.; Hadi, H.; Toorchi, M.; Pawłowski, T. A.; Shishavan, M. T. Effects of water deficiency at different phenological stages on oxidative defense, ionic content, and yield of triticale (*Triticosecale Wittmack*) irrigated with saline water. *Journal of*

- Soil Science and Plant Nutrition, v. 22, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00635-5>
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. D. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Andrade Neto, R. C.; Negreiros, J. R.S.; Faleiro, F. G.; Junqueira, K. P.; Nogueira, S. R. Híbrido de maracujazeiro azedo BRS Gigante Amarelo: Recomendações básicas de cultivo. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrado, 2008. 2 p.
- Araújo, D. L.; Souto, A. G. L.; Cavalcante, A. G.; Cavalcante, L. F.; Pereira, W. E.; Melo, A. S. de. Physiological aspects of yellow passion fruit with use of hydrogel and mulching. *Revista Caatinga*, v. 35, p. 382-392, 2022. <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n214rc>
- Arnon, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology*, v. 24, p. 1-15, 1949. <https://doi.org/10.1104%2Fpp.24.1.1>
- Aziz, A.; Akram, N. A.; & Ashraf, M. Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 123, p. 192-203, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.004>
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 9.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2019. 545p.
- Bilska, K.; Wojciechowska, N.; Alipour, S.; Kalemba, E. M. Ascorbic acid—The little-known antioxidant in woody plants. *Antioxidants*, v. 8, e645, 2019. <https://doi.org/10.3390/antiox8120645>
- Burrige, J. D.; Grondin, A.; Vadez, V. Optimizing crop water use for drought and climate change adaptation requires a multi-scale approach. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, e824720, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.824720>
- Celestrino, R. B.; Cavichioli, J. C.; Luppi, V. A. S.; Vitorino, R. A.; Contiero, L. A. F. Tipos de condução do maracujazeiro amarelo e suas influências sobre as características produtivas. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 10, p. 213-218, 2020. <https://doi.org/10.21206/rbas.v10i1.9663>
- Celi, G. E. A.; Gratão, P. L.; Lanza, M. G. D. B.; Reis, A. R. Physiological and biochemical roles of ascorbic acid on mitigation of abiotic stresses in plants. *Plant*

- Physiology and Biochemistry, e107970, 2023.  
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107970>
- Chattha, M. U.; Sana, M. A.; Munir, H.; Ashraf, U.; Zamir, S. I.; Ul-Haq, I. Exogenous application of plant growth promoting substances enhances the growth, yield and quality of maize (*Zea mays* L.). *Plant Knowledge Journal*, v. 4, p. 1-6, 2015. <https://doi.org/10.3316/informit.340838440670725>
- Chaves, M. M.; Costa, J. M.; Zarrouk, O.; Pinheiro, C.; Lopes, C. M.; Pereira, J. S. Controlling stomatal aperture in semi-arid regions—The dilemma of saving water or being cool?. *Plant Science*, v. 251, p. 54-64, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.06.015>
- Chen, Z.; Gallie, D. R. The ascorbic acid redox state controls guard cell signaling and stomatal movement. *The Plant Cell*, v. 16, p. 1143-1162, 2004. <https://doi.org/10.1105/tpc.021584>
- Costa, A. F. S.; Costa, A. N.; Ventura, J. A.; Fanto, C. J.; Lima, I. de M.; Caetano, L. C. S.; Santana, E. N. Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro. Vitória, ES: Incaper, 2008.56 p. (Incaper. Documentos, 162).
- Deka, D.; Singh, A. K.; Singh, A. K. Effect of drought stress on crop plants with special reference to drought avoidance and tolerance mechanisms: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 7, p. 2703-2721, 2018. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.336>
- Dhami, N.; Tissue, D. T.; Cazzonelli, C. I. Leaf-age dependent response of carotenoid accumulation to elevated CO<sub>2</sub> in *Arabidopsis*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v. 647, p. 67-75, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2018.03.034>
- Dinar, A.; Tieu, A.; Huynh, H. Water scarcity impacts on global food production. *Global Food Security*, v. 23, p. 212-226, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.07.007>
- Faleiro, F. G.; Junqueira, N. T. V.; Junghans, T. G.; Jesus, O. N. D.; Miranda, D.; Otoni, W. C. Advances in passion fruit (*Passiflora* spp.) propagation. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 41, e155, 2019. <https://doi.org/10.1590/0100-29452019155>
- Ferreira, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split-plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 37, p. 529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>
- Hao, S.; Cao, H.; Wang, H.; Pan, X. The physiological responses of tomato to water stress and re-water in different growth periods. *Scientia Horticulturae*, v. 249, p. 143-154, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.045>

- Iqbal, N.; Umar, S.; Khan, N. A.; Corpas, F. J. Crosstalk between abscisic acid and nitric oxide under heat stress: exploring new vantage points. *Plant Cell Reports*, v. 40, p. 1429-1450, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02695-4>
- Jin, Y.; Hao, G.; Hammond, W. M.; Yu, K.; Liu, X.; Ye, Q.; Wang, C. Aridity-dependent sequence of water potentials for stomatal closure and hydraulic dysfunctions in woody plants. *Global Change Biology*, v. 29, p. 2030-2040, 2023. <https://doi.org/10.1111/gcb.16605>
- Kaur, H.; Kohli, S. K.; Khanna, K.; Bhardwaj, R. Scrutinizing the impact of water deficit in plants: Transcriptional regulation, signaling, photosynthetic efficacy, and management. *Physiologia Plantarum*, v. 172, p. 935-962, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13389>
- Khazaei, Z.; Esmailpour, B.; Estaji, A. Ameliorative effects of ascorbic acid on tolerance to drought stress on pepper (*Capsicum annuum* L) plants. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v. 26, p. 1649-1662, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12298-020-00846-7>
- Lichtenthaler, H. K.; Babani, F. Contents of photosynthetic pigments and ratios of chlorophyll a/b and chlorophylls to carotenoids (a+b)/(x+c) in C4 plants as compared to C3 plants. *Photosynthetica*, v. 60, p. 3-9, 2022. <https://doi.org/10.32615/ps.2021.041>
- Lima Neto, M. C.; Cerqueira, J. V. A.; Cunha, J. R.; Ribeiro, R. V.; Silveira, J. A. G. Cyclic electron flow, NPQ and photorespiration are crucial for the establishment of young plants of *Ricinus communis* and *Jatropha curcas* exposed to drought. *Plant Biology*, v. 19, p. 650-659, 2017. <https://doi.org/10.1111/plb.12573>
- Liu, H.; Song, S.; Zhang, H.; Li, Y.; Niu, L.; Zhang, J.; Wang, W. Signaling transduction of ABA, ROS, and Ca<sup>2+</sup> in plant stomatal closure in response to drought. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 23, e14824, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijms232314824>
- Nunes, J. C. Trocas gasosas, composição mineral, produção e qualidade de maracujazeiro amarelo irrigado com água salina e adubado com potássio e biofertilizante. 2016. 164p. (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.
- Nunes, J. C.; Cavalcante, L. F.; Pereira, W. E.; Souza, J. T.; Almeida, D. J.; Oresca, D.; Fernandes, P. D. Gas exchange and productivity of yellow passion fruit irrigated with saline water and fertilized with potassium and biofertilizer. *Ciencia e Investigación*

- Agraria: Revista Latinoamericana de Ciencias de La Agricultura, v. 44, p. 168-183, 2017. <https://doi.org/10.7764/rcia.v44i2.1742>
- Pereira, Z.C.; Cruz, J. M. A.; Corrêa, R.F.; Sanches, E. A.; Campelo, P. H.; Araújo Bezerra, J. Passion fruit (*Passiflora* spp.) pulp: A review on bioactive properties, health benefits and technological potential. *Food Research International*, e112626, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112626>
- Pinheiro, F. W.; Lima, G. S.; Sousa, P. F. N.; Souza, W. B.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Felix, C. M.; Paiva, F. J. S. Potassium fertilization in the cultivation of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, p. 42-50, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n1p42-50>
- Pshybytko, N. L. Non-photochemical quenching of chlorophyll a fluorescence as an indicator of the state of a plant photosynthetic apparatus under abiotic stress. *Journal of Applied Spectroscopy*, v. 90, p. 60-65, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10812-023-01503-z>
- Salmon, Y.; Lintunen, A.; Dayet, A.; Chan, T.; Dewar, R.; Vesala, T.; Hölttä, T. Leaf carbon and water status control stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis in trees. *New phytologist*, v. 226, p. 690-703, 2020. <https://doi.org/10.1111/nph.16436>
- Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumberras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araújo Filho, J. C.; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. (5a ed.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2018. 356p.
- Scotti-Campos, P.; Pham-Thi, A. T.; Smedo, J. N.; Pais, I. P.; Ramalho, J. C.; Matos, M. dos C. Physiological responses and membrane integrity in three *Vigna* genotypes with contrasting drought tolerance. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v. 25, p. 1002-1013, 2013. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i12.16733>
- Senn, M. E.; Grozeff, G. G.; Alegre, M. L.; Barrile, F.; De Tullio, M. C.; Bartoli, C. G. Effect of mitochondrial ascorbic acid synthesis on photosynthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 104, p. 29-35, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.03.012>
- Sharma, S.; Joshi, J.; Kataria, S.; Verma, S. K.; Chatterjee, S.; Jain, M.; Pathak, K.; Rastogi, A.; Brestic, M. Regulation of the Calvin cycle under abiotic stresses: An overview. *Plant life under changing environment*, p. 681-717, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818204-8.00030-8>

- Silva, R. J. A. B.; Silva, Y. J. A. B.; Van Straaten, P.; Nascimento, C. W. A.; Biondi, C. M.; Silva, Y. J. A. B.; Araújo Filho, J. C. Influence of parent material on soil chemical characteristics in a semi-arid tropical region of Northeast Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, e331, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09914-9>
- Soares, L. A. A.; Fernandes, P. D.; Lima, G. S.; Brito, M. E. B.; Nascimento, R.; Arriel, N. H. C. Physiology and production of naturally-colored cotton under irrigation strategies using salinized water. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, p. 746-755, 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000600011>
- Sobhanian, H., Pahlavan, S., and Meyfour, A. How does proteomics target plant environmental stresses in a semi-arid area?. *Molecular Biology Reports*, v. 47, p. 3181-3194, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05406-6>
- Souza, P. U.; Lima, L. K. S.; Soares, T. L.; Jesus, O. N.; Coelho Filho, M. A.; Girardi, E. A. Biometric, physiological and anatomical responses of *Passiflora* spp. to controlled water deficit. *Scientia Horticulturae*, v. 229, p. 77-90, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.019>
- Sun, Y.; Wang, C.; Chen, H. Y.; Ruan, H. Response of plants to water stress: A meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, v. 11, e978, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00978>
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 627p.
- Treves, H.; Küken, A.; Arrivault, S.; Ishihara, H.; Hoppe, I.; Erban, A.; Stitt, M. Carbon flux through photosynthesis and central carbon metabolism show distinct patterns between algae, C3 and C4 plants. *Nature Plants*, v. 8, p. 78-91, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41477-021-01042-5>
- Weatherley, P. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. *New Phytologist*, v. 49, p. 81-97, 1950. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x>
- Wu, P.; Xiao, C.; Cui, J.; Hao, B.; Zhang, W.; Yang, Z.; Ahmed, G. J.; Cui, H. Nitric oxide and its interaction with hydrogen peroxide enhance plant tolerance to low temperatures by improving the efficiency of the calvin cycle and the ascorbate–glutathione cycle in cucumber seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 40, p. 2390-2408, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10242-w>

Xiong, R.; Liu, S.; Considine, M. J.; Siddique, K. H.; Lam, H. M.; Chen, Y. Root system architecture, physiological and transcriptional traits of soybean (*Glycine max* L.) in response to water deficit: A review. *Physiologia Plantarum*, v. 172, p. 405-418, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13201>



## **CAPÍTULO III**

---

### **Produção e qualidade pós-colheita de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação e aplicação foliar de ácido ascórbico**

## **Produção e qualidade pós-colheita de frutos de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação e aplicação foliar de ácido ascórbico**

**RESUMO:** O maracujazeiro-azedo é uma frutífera altamente difundida no Nordeste do Brasil, devido a sua importância social e econômica, contribuindo para a geração de emprego e renda. Contudo, a ocorrência de períodos prolongados de seca na região tem limitado o rendimento da cultura, tornando necessário o desenvolvimento de alternativas que possam amenizar os impactos do déficit hídrico no seu desenvolvimento. Assim, objetivou-se com a pesquisa avaliar os efeitos da aplicação foliar de ácido ascórbico na produção e qualidade pós-colheita de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação deficitária. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, sendo as parcelas constituídas de seis estratégias de manejo de irrigação com déficit hídrico, baseadas na evapotranspiração da cultura - E<sub>Tc</sub> (lâmina da irrigação equivalente a 100% da E<sub>Tc</sub> durante todo ciclo de cultivo – E1; irrigação com 50% da E<sub>Tc</sub> nas fases: vegetativa – E2; floração – E3; frutificação – E4; nas fases sucessivas vegetativa/floração – E5; e vegetativa/frutificação – E6) e três concentrações de AsA (0; 0,5 e 1,0 mM), com três repetições e três plantas por parcela. Os dados mostram que déficit hídrico reduziu a produção de maracujazeiro-azedo sem aplicação de AsA independente da fase fenológica. A irrigação com déficit hídrico na fase de floração diminuiu a qualidade física e química dos frutos do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1. O ácido ascórbico, nas concentrações de 0,5 e 1,0 mM, contribuiu para reduzir os efeitos deletérios do déficit hídrico na produção e pós-colheita em todas as estratégias avaliadas, no período de 160 a 220 dias após o transplante. O déficit hídrico na fase de floração e vegetativa/frutificação inviabilizou a produção nas condições de semiárido, pois reduz em mais de 58% a produtividade. A aplicação de AsA em ambas as concentrações na fase de floração, 1,0 mM na fase de frutificação e 0,5 mM na fase vegetativa/frutificação sob déficit hídrico colaborou para obtenção de produção semelhante e superiores as plantas sob manejo com lâmina equivalente a 100% da E<sub>Tc</sub> em todo ciclo.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* Sims, déficit hídrico, semiárido, composto não enzimático

## **Production and post-harvest quality of passion fruit under irrigation strategies and foliar application of ascorbic acid**

**ABSTRACT:** The sour passion fruit is highly disseminated in northeastern Brazil, due to its social and economic importance, contributing to the generation of employment and income. However, the occurrence of prolonged periods of drought in the region has limited crop yields, making it necessary to develop alternatives that can mitigate the impacts of water deficits on its development. Thus, the objective of the research was to evaluate the effects of foliar application of ascorbic acid - AsA on the production and post-harvest quality of sour passion fruit under deficit irrigation strategies. The experimental design used was that of randomized blocks, in a split-plot scheme, with the plots consisting of six irrigation management strategies with water deficit, based on crop evapotranspiration - ETc (irrigation depth equivalent to 100% of ETc throughout cultivation cycle – S1; irrigation with 50% of ETc in different phases: vegetative – S2, flowering – S3, fruiting – S4, in the successive vegetative/flowering – S5, and vegetative/fruiting – S6) and three concentrations of AsA (0, 0.5 and 1.0 mM), with three replications and three plants per plot. Water deficit reduces passion fruit production regardless of the phenological phase in plants without AsA application. Irrigation with water deficit during the flowering phase (50% of the crop's evapotranspiration) reduces the physical and chemical quality of the sour passion fruit. Ascorbic acid, in concentrations of 0.5 and 1 mM, contributed to reducing the harmful effects of water deficit in the production and post-harvest quality of sour passion fruit, 160 to 220 days after transplanting. The water deficit in the flowering and vegetative/fruitification phase makes the cultivation of sour passion fruit in semi-arid conditions unfeasible, as it reduces productivity by more than 58%. The application of AsA in both concentrations in the flowering phase, 1.0 mM in the fruitification phase, and 0.5 mM in the vegetative/fruitification phase under water deficit contributes to obtaining similar and superior production to plants under management with a lamina equivalent to 100% ETc throughout the cycle.

**Key words:** *Passiflora edulis* Sims, water deficit, semiarid, non-enzymatic compound

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta diversidade climática que favorece o desenvolvimento de espécies tropicais, sendo a família das passifloráceas altamente beneficiada por essas condições, sobretudo, o maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims), espécie de maior importância da família, que é responsável por grande parte da área cultivada no país e considerado o maior produtor e consumidor em todo o mundo (Turazi et al., 2020). No ano de 2022, o Brasil apresentou uma área plantada de 46.602 ha com 697.859 toneladas colhidas, sendo a região Nordeste, responsável por 69,77% de toda a produção nacional (IBGE, 2023).

A expansão das áreas de produção de maracujazeiro-azedo está relacionada a elevada aceitação dos seus frutos, que são ricos em fibras, vitaminas, minerais e nutracêuticos, como antocianinas e flavonoides, apresenta sabor característico, que impulsiona o consumo *in natura* e industrializados, como sucos, geleias, doces, entre outros (Biswas et al., 2021). Além disso, a demanda de mão de obra e a valorização no comércio, faz com que agricultores e produtores passem a ter como renda principal, impulsionando os ganhos socioeconômicos (Hagel et al., 2019).

No entanto, a disponibilidade de água para irrigação tem sido uma limitação global, especialmente, devido aos impactos de períodos prolongados de seca, que tendem a ser mais severos no cenário das mudanças climáticas (Lu et al., 2019; Vicente-Serrano et al., 2022). De acordo com Rosa et al. (2020), cerca de 56% (611 km<sup>3</sup> por ano) dos volumes globais de irrigação sejam aplicados de maneira insustentável, abrangendo uma área que pode chegar a 0,15 bilhões de hectares. Esses efeitos são ainda mais graves em regiões com clima semiárido, que representam aproximadamente 1.143.491 km<sup>2</sup> do território brasileiro (Bezerra et al., 2020), a exemplo do Nordeste, que possui má distribuição das chuvas e evapotranspiração superior à precipitação anual (Silva et al., 2023). As condições ambientais adversas resultam em baixa produtividade, com rendimento de 13,53 t/ha, que é inferior à média nacional de 15,30 t/ha, sendo a Paraíba um dos estados com menor produtividade, registrando 9,66 t/ha (IBGE, 2023).

Assim, o déficit hídrico se torna problema recorrente a obtenção de elevadas produtividades, gerando perdas de características físicas e qualitativas do fruto. Para o semiárido brasileiro, além dos problemas advindos na absorção de água pelas plantas, é intensificado pelo estresse térmico, ocasionando desequilíbrio na regulação oxidativa do fotossistema (Ghani et al., 2023). Contudo, a expressão desses fatores é dependente de

outros, que partem desde a condição climática, cultivar utilizada, manejos de adubação e irrigação, com destaque a fase fenológica da cultura, que a depender do nível de estresse ocasiona impactos na produção mesmo que em curtos períodos, como demonstrado por Lima et al. (2023), em maracujazeiro-azedo sob estresse salino em diferentes fases fenológicas. Fato que estabelece a necessidade de elucidação dos impactos do déficit hídrico ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, já que pesquisas nesse sentido são escassas na literatura.

No contexto apresentado é preciso considerar também aplicação de substâncias elicitoras como estratégias de mitigação dos efeitos do estresse hídrico, destacando-se a aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) (Gaafar et al., 2020; Khazaei & Estaji, 2020), um composto não-enzimático e que participa como cofator de enzimas, melhorando a defesa antioxidante, síntese hormonal e atividade metabólica da planta (Akram et al., 2017; Aziz et al., 2018; Zheng et al., 2022). Os seus benefícios puderam ser observados em aumento na produção e qualidade pós-colheita em plantas sob déficit hídrico, na pesquisa feita por Fateh et al. (2019) em pimentão (*Capsicum annuum* L.) e El-Sayed et al. (2014) em oliveira (*Olea europeae* L.).

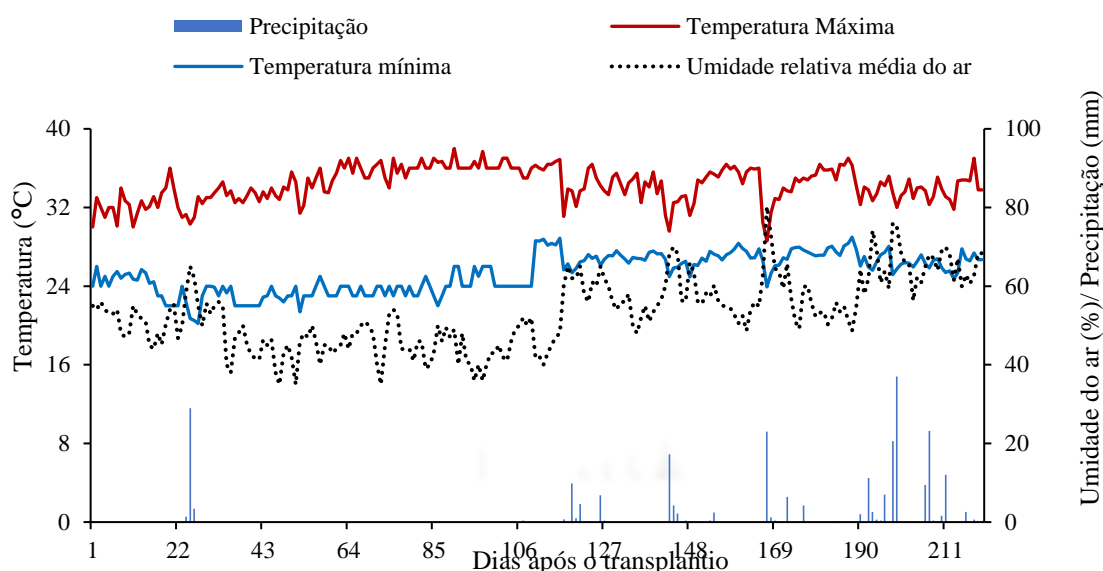
Nesse sentido, a hipótese desse estudo é que o déficit hídrico impacta de forma distinta a produção e qualidade pós-colheita de frutos do maracujazeiro-azedo, sendo os efeitos atenuados pela aplicação foliar do ácido ascórbico, que atua equilibrando a atividade fotossintética e translocação de fotoassimilados ao fruto. Dessa forma, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar os efeitos da aplicação foliar de ácido ascórbico na produção e pós-colheita de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação com déficit hídrico variando as fases de desenvolvimento.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no período de maio de 2022 a fevereiro de 2023 no Setor 1 Lote 35 do Perímetro Irrigado das Várzeas de Sousa, localizado no município de Aparecida, Paraíba, cujas coordenadas geográficas estão situadas a 6° 49' 21,2" de latitude Sul, 38° 6' 3,9" de longitude a oeste do Meridiano de Greenwich, com altitude de 237 m, inserido na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Bsh (quente), com temperatura média anual por volta dos 27 °C, índice pluviométrico médio de 840 mm anuais e

evapotranspiração de 1280 mm anuais, com chuvas de verão no outono, resultantes da atuação das frentes de convergência intertropical (Alvares et al., 2013).

Durante a condução do experimento em campo, todos os dias foram coletados os dados referentes à temperatura máxima e mínima, umidade relativa e precipitação, obtidos na estação meteorológica de São Gonçalo (Sousa - PB), localizada a 25 km da área experimental, cujas informações estão apresentadas na Figura 1.



**Figura 1.** Dados de temperaturas máximas e mínimas diárias, umidade relativa média do ar e precipitação durante o período de condução do experimento (1 – 220 dias após o transplante).

Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, sendo as parcelas constituídas de seis estratégias de manejo de irrigação com déficit hídrico em diferentes fases, baseadas na evapotranspiração da cultura - ETC (irrigação com 100% da ETC durante todo ciclo de cultivo – E1; irrigação com 50% da ETC nas fases: vegetativa – E2; floração – E3; frutificação –E4; nas fases sucessivas vegetativa/floração - E5; e vegetativa/frutificação – E6) e três concentrações de AsA (0; 0,5 e 1,0 mM), com três repetições e três plantas por parcela, correspondendo ao total de 162 unidades experimentais. A área total do experimento foi de 2178 m<sup>2</sup>, sendo empregada uma linha de plantio adicional ao redor de cada bloco como bordadura. As concentrações de AsA tiveram por base os estudos de Khazaei e Estaji (2020), com a cultura do pimentão sob condições de estresse hídrico.

O sistema de irrigação foi por gotejamento, com tubos de PVC de 50 mm na linha principal e tubos de polietileno de baixa densidade de 16 mm nas linhas laterais com gotejadores de vazão 10 L h<sup>-1</sup>. Em cada planta dois gotejadores autocompensantes (modelo GA 10 Grapa), cada um a 15 cm do caule. As estratégias de irrigação foram baseadas na lâmina estimada com base na evapotranspiração da cultura - ET<sub>c</sub>, de acordo com Bernardo et al. (2019), obtida pela equação:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Em que:

ET<sub>c</sub> - evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>;

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm d<sup>-1</sup>; e

K<sub>c</sub> - coeficiente de cultivo, adimensional.

A partir de dados climáticos coletados na Estação Meteorológica de São Gonçalo, todos os dias a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET<sub>o</sub>) foi determinada. Adotando o coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) de 0,4 para a fase vegetativa (15-120 DAT), 0,8 para a fase de floração (121-160 DAT) e 1,2 na fase de frutificação (161-220 DAT), de acordo com a recomendação contida em Nunes et al. (2016). As fases fenológicas foram definidas considerando os aspectos morfológicos em que : Vegetativa - do transplântio até o surgimento do primórdio floral; Floração - do surgimento do primórdio floral e o total desenvolvimento do botão floral (antese); Frutificação - da fecundação do botão floral até o surgimento dos frutos com manchas amarelas entremeadas, sendo a mudança de fase realizada quando 50% das plantas apresentavam as características fenológicas pertinentes a próxima etapa de desenvolvimento (Pinheiro et al., 2023).

A área experimental apresentava sistema de drenagem subterrânea, com tubos corrugados com diâmetro de 60 mm a uma profundidade de 1,30 m, espaçados a cada 20 m. A água de irrigação usada no experimento tinha uma condutividade elétrica de 0,2 dS m<sup>-1</sup>, com pH de 7,1 e composição química de 0,15, 0,43, 0,75, 0,30, 0,19, 0, 0,33 e 0,62 mmolc L<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup>, respectivamente.

As mudas foram formadas em sacolas de polietileno com dimensões de 18 cm de altura e 13 cm de diâmetro, contendo substrato formado na proporção de 2:1 (em base volume) de solo da área experimental e esterco bovino curtido. Em cada sacola semeadas três sementes do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, que apresenta como principais características: frutos em formato oblongo, com a base e o ápice ligeiramente achatados, peso entre 120 e 350 g, rendimento de polpa em torno de 40% e teor de sólidos solúveis

de 13 a 15° Brix (Andrade Neto et al., 2008). Após emergência das plântulas, foi realizado o desbaste, deixando apenas as plantas mais vigorosas, para depois serem levadas ao campo 70 dias após o semeio, período do início do surgimento das gavinhas.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (Santos et al., 2018), sendo a amostra de solo coletada na profundidade de 0 – 20 cm, para determinação das características físicas e químicas (Tabela 1), conforme metodologias citadas em Teixeira et al. (2017). A preparação ocorreu por uma gradagem, visando o destorroamento e nivelamento do solo, seguindo da demarcação, instalação do sistema de irrigação e estaqueamento da espaldeira.

**Tabela 1.** Composição física e química do solo (profundidade 0-0,20 m) da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos.

Física	Valor	Fertilidade	Valor
Areia (dag kg <sup>-1</sup> )	61,49	pH em água (1: 2,5)	7,72
Silte (dag kg <sup>-1</sup> )	30,15	P (mg dm <sup>-3</sup> )	52,60
Argila (dag kg <sup>-1</sup> )	8,36	K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	54,10
Classe textural	Franco	Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,20
	Arenoso	Al <sup>+3</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,00
ds (kg dm <sup>-3</sup> )	1,33	H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,00
dp (kg dm <sup>-3</sup> )	2,65	Ca <sup>+2</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	65,70
P (%)	49,81	Mg <sup>+2</sup> (mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	52,80
U (% base solo seco)		SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	174,80
Natural	0,50	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	174,80
0,33 atm	16,75	MO (%)	1,38
15,0 atm	6,50	CEes (dS m <sup>-1</sup> )	0,45
Água disponível	10,25	Salinidade	Não salino

CEes = Condutividade elétrica do extrato da pasta saturada; dp = densidade de partícula; ds = Densidade do solo; MO = Matéria orgânica; PST = Percentagem de sódio trocável ( $100 \times \text{Na}^+ / \text{CTC}$ ); RAS = Relação de adsorção de sódio =  $\text{Na}^+ \times [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{-1/2}$ ; SB = Soma de bases trocáveis ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ); CTC = Capacidade de troca catiônica =  $\text{SB} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+})$ ; U = Umidade do solo.

De forma manual foram abertas as covas, com auxílio de uma cavadeira, nas dimensões de 40 × 40 × 40 cm. As adubações com macro e micronutrientes basearam-se em Costa et al. (2008). Por isso, o material retirado dos primeiros 20 cm de solo foi adicionado 50 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando superfosfato simples. As adubações de nitrogênio e potássio foram realizadas de forma semanal, tendo como fonte a ureia (45% de N) e o cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O), sendo 75 g de N e K<sub>2</sub>O por planta na fase de formação da cultura (fase vegetativa) e floração; e frutificação de 160 e 280 g de N e K<sub>2</sub>O por planta. A adubação fosfatada em cobertura foi com 10, 20 e 20 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aos 30, 120 e 210 DAT, com o adubo superfosfato simples, macerado para facilitar a absorção pela planta. A adubação com micronutrientes foi via foliar com o produto comercial Dripsol micro<sup>®</sup>,



composto por: 1,2% Magnésio, 0,85 % Boro, 3,4% Ferro, 4,2% Zinco, 3,2 % Manganês, 0,5% Cobre e 0,06% Molibdênio

As mudas foram transplantadas para o campo com altura entre 20 e 30 cm, conduzidas em sistema de espaldeira vertical, em haste única até atingirem 10 cm acima do arame de sustentação, instalado no topo das estacas distanciadas entre si em 3 m e com altura de 2,2 m do solo. Quando as plantas chegarem ao topo da espaldeira, foi o momento da poda da haste principal e a condução de dois ramos laterais em sentidos opostos do arame. Os ramos laterais foram conduzidos até o comprimento de 1,5 m, para ser efetuada a poda, para emissão de novos ramos e formação de uma cortina. A poda dos ramos produtivos foi realizada a 30 cm do solo, como forma de evitar possíveis doenças de solo. A prática de remoção de gavinhas, galhos e folhas com sintomas de doenças ou mortas ao longo do experimento seguiu conforme necessidade.

A aplicação do AsA se iniciou 20 dias após o transplântio (DAT), através de pulverizador costal com capacidade de 20 L, tendo início a partir das 17:00 horas, visando o molhamento completo da área foliar conforme os tratamentos. Para fixação da solução a folha, foi utilizado o espalhante adesivo WIL FIX<sup>®</sup>, sendo o preparo da solução realizado em cada evento de aplicação, diluída em água de abastecimento local. Ao total foram 18 aplicações dos tratamentos ao longo do ciclo da cultura, com intervalos a cada 10 dias, com o volume final de calda aplicada de 5,4 L por planta. As estratégias de manejo da irrigação com déficit hídrico se iniciaram aos 30 DAT, quando as mudas já se apresentavam aclimatadas às condições de campo.

Os componentes de produção do maracujazeiro-azedo foram mensurados no período de 160 a 220 dias após o transplântio (DAT), após a colheita dos frutos completamente maduros, de coloração de casca totalmente amarela ou avermelhada. Para então saber o número de frutos por planta (NFP), através da contagem direta de todos os frutos colhidos; o peso médio de fruto (PMF) casca (PMC) e polpa (PMP), por meio de pesagem em balança analógica, sendo o rendimento em polpa (RP) pelo quociente da massa da polpa pela massa fresca de frutos. A produção por planta (PROD), foi calculada pela multiplicação do NFP pelo PMF. No mesmo período foi feita a caracterização física dos frutos por meio do diâmetro longitudinal (DL) e transversal (DT), e da espessura da casca (EC), com auxílio de um paquímetro digital.

Após a colheita, a extração das polpas foi feita de forma manual, e imediatamente, armazenadas em freezer a -10 °C, em recipientes hermeticamente fechados. Os parâmetros de qualidade pós-colheita foram determinados através o potencial

hidrogeniônico (pH), teores de vitamina C (Vit. C) - mg 100g<sup>-1</sup> de polpa, sólidos solúveis (SS) - °Brix, acidez titulável (AT) - % ácido cítrico, relação teor de sólidos solúveis e acidez titulável - (SS/AT), além dos açúcares totais (A), redutores (AR) e não redutores (ANR) da polpa de maracujazeiro-azedo, expressos em mg 100g<sup>-1</sup> de polpa.

Os teores de sólidos solúveis foram verificados por um refratômetro digital portátil, marca Atago®, modelo PAL-1. A acidez titulável quantificada através da titulometria com NaOH 0,1N, segundo Brasil (2005). A relação SS/AT foi obtida pela razão entre os teores de sólidos solúveis e de acidez titulável. O potencial hidrogeniônico através de leitura direta, em peagâmetro modelo pH-1900®, calibrado a cada utilização com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0, conforme metodologia proposta pelo AOAC (2005).

Os açúcares totais e redutores seguiram o método de Antrona, por meio de metodologia descrita por Yemn & Willis (1954), sendo os açúcares não-redutores obtidos pela diferença entre os totais e redutores. Os teores de ácido ascórbico encontrados por titulometria com solução de DFI (2,6 dicloro-fenolindofenol), segundo metodologia proposta por Strohecker & Henning (1967).

Os dados coletados passaram pelo teste de normalidade da distribuição (Shapiro-Wilk) ao nível de 0,05 de probabilidade. Em seguida, pela análise de variância  $p \leq 0,05$ . Nos casos de significância, foi aplicado o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) para as estratégias de manejo de irrigação e Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para as concentrações de AsA, o software estatístico SISVAR-ESAL (Ferreira, 2019).

### **3. RESULTADOS**

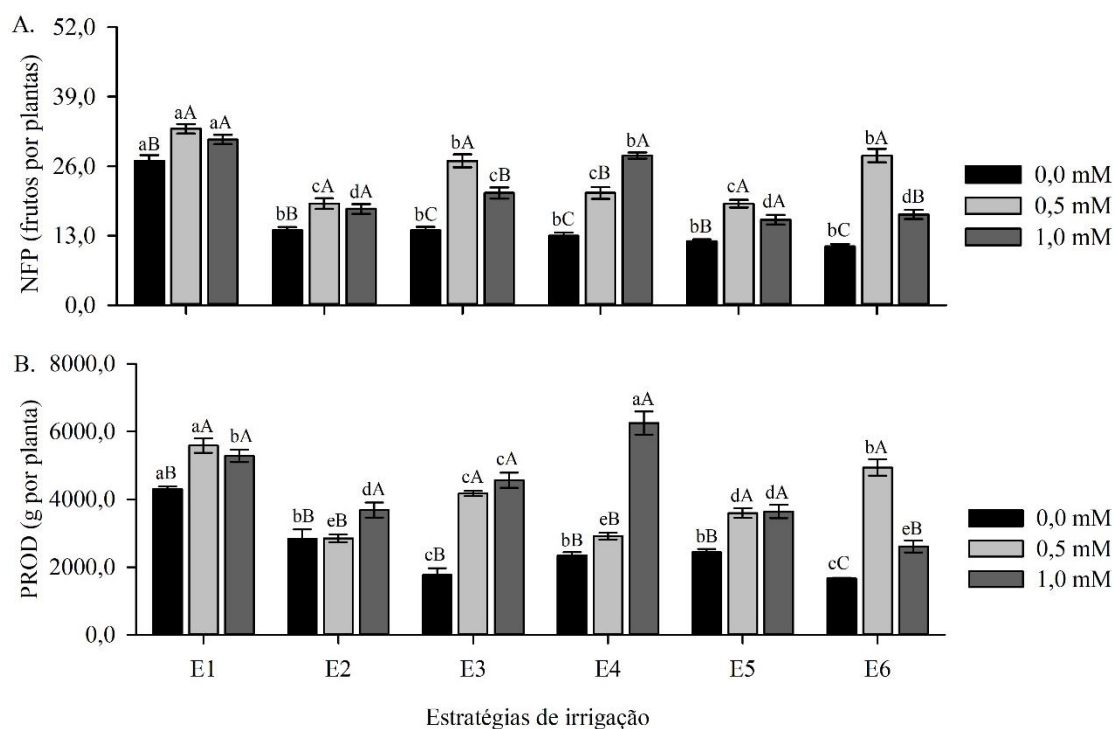
Para interação dos fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicações foliares de ácido ascórbico (E × C) para número de frutos por planta (NFP), produção por planta (PROD), peso médio de fruto (PMF), polpa (PMP) e casca (PMC), rendimento de polpa (RP), diâmetro equatorial (DE), longitudinal (DL) e espessura de casca (EC) do fruto de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 constata-se efeito significativo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para número de frutos por planta (NFP), produção por planta (PROD), peso médio de fruto (PMF), polpa (PMP) e casca (PMC), rendimento de polpa (RP), diâmetro equatorial (DE), longitudinal (DL) e espessura de casca (EC) de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 cultivado sob estratégias de irrigação com déficit hídrico (E) e aplicações foliares de ácido ascórbico (C), no período de 160 a 220 dias após o transplantio (DAT).

Fonte de variação	GL	Quadrados médios								
		NFP	PROD	PMF	PMP	PMC	RP	DE	DL	EC
Estratégias (E)		407,94**	860696**	2762,14**	299,32**	1703,41**	88,39**	28,53 <sup>ns</sup>	119,83*	1,09 <sup>ns</sup>
AsA (C)	5	928,67**	35725948 <sup>ns</sup>	5784,14**	328,08**	3563,08**	65,32**	113,60**	226,07**	5,49**
E × C	2	60,98**	5709101**	2258,73**	316,82**	1191,78**	46,91**	68,88**	49,40*	2,16**
Blocos	10	3,55 <sup>ns</sup>	297877 <sup>ns</sup>	223,49 <sup>ns</sup>	131,35*	32,00 <sup>ns</sup>	7,60 <sup>ns</sup>	10,87 <sup>ns</sup>	12,43 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
CV1 (%)		8,18	8,76	9,45	7,18	13,03	6,89	4,70	6,27	10,16
CV2 (%)		10,84	10,46	8,02	6,75	9,23	4,91	4,53	4,96	7,14
Média		26,61	4747,85	179,26	78,66	100,18	44,43	78,33	83,62	8,88

ns, \*\*, \* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$

Dentre as estratégias de irrigação, a com 100% da ETc durante todo o ciclo (E1) resultou no maior número de frutos (33 frutos por planta), sendo que entre as estratégias de irrigação deficitária não se observou diferença expressiva no NFP nas plantas sem aplicação de AsA (Figura 2A). No entanto, com a aplicação de AsA, aumentou o número de frutos em todas elas, com a concentração de 1,0 mM apresentando de 14, 28, 50, 115, 33 e 54% em relação as plantas sem aplicação de AsA (0 mM) para as estratégias de E1 a E6, respectivamente. A concentração de 0,5 mM de AsA também aumentou no NFP em relação as plantas do tratamento controle (0 mM), sendo que seu benefício superou o encontrado na concentração de 1,0 mM na E3 e E6, com ganhos de 28,57 e 64,71%, respectivamente. Pela aplicação de AsA, a E3 e E6, na concentração de 0,5 mM e E4, na concentração de 1,0 mM, apresentaram valores similares aos encontrados nas plantas sem aplicação de AsA e sob irrigação plena (100% da ETc).



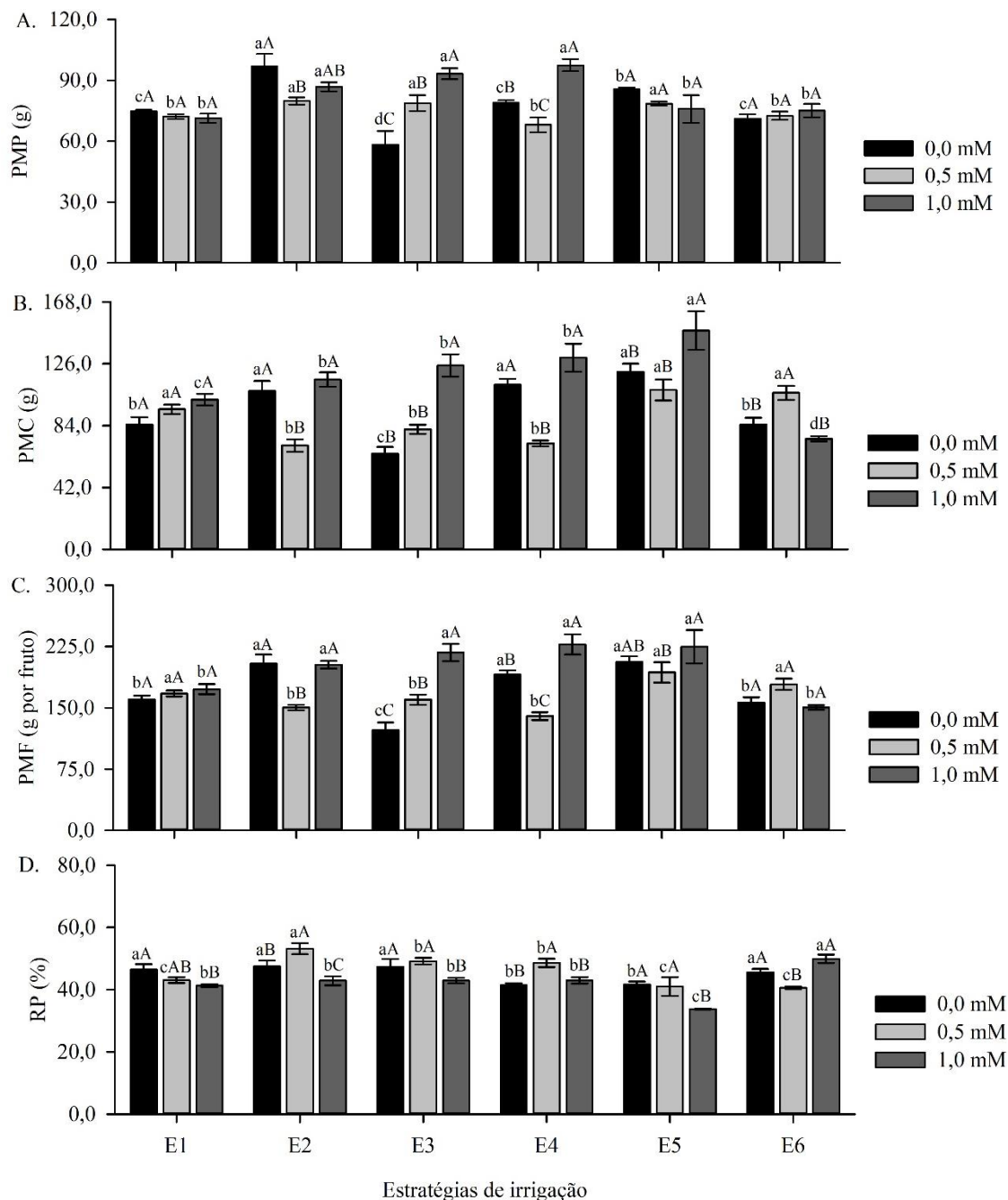
Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 2.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no número de frutos por planta – NFP (A) e produção por planta - PROD (B) de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, no período de 160 - 220 dias após o transplantio.

Para a produção por planta (PROD) sem aplicação de AsA, as plantas sob déficit hídrico apresentaram valores inferiores em relação as cultivadas sob irrigação durante todo o ciclo (E1), sendo que a irrigação deficitária (50% da ETc) nas fases de floração (E3) e vegetativa/frutificação (E6) com a respectiva produção de 1767,74 e 1662,93 g por planta, resultando em decréscimos de 58,95 e 61,39% em relação as plantas sob E1 (Irrigação plena durante o ciclo de cultivo) com produção de 4306,64 g por planta (Figura 2B). Contudo, a aplicação de AsA na concentração de 1,0 mM resultou em aumento de produção em todas as estratégias de irrigação, sendo o déficit hídrico na fase de frutificação (E4), essa concentração contribuiu com o maior valor observado para variável, com média de 6254,49 g por planta, sendo superior a PROD em 45,23 e 18,37% em relação as plantas sem e com aplicação de AsA na mesma concentração sob irrigação plena - E1 (100% da ETc), respectivamente. A aplicação de AsA na concentração de 0,5

mM amenizou os efeitos do déficit hídrico nas plantas submetidas a estratégia E6, resultando na PROD de 4940,92 g por planta, valor inferior em 11,56% ao encontrado nas plantas sem déficit hídrico nessa concentração, porém superior em 14,73% as plantas sem aplicação de AsA na E1.

Dentre as estratégias avaliadas, o déficit hídrico na fase vegetativa (E2) ofereceu o maior peso de polpa sem aplicação de AsA (96,99 g por planta), seguida pela condição de déficit hídrico na fase vegetativa/floração (E5) com 85,71 g por planta, resultando em acréscimos de 29,68 e 14,60% em relação as plantas cultivadas sob irrigação plena durante todo o ciclo (E1), respectivamente (Figura 3A). O menor peso de polpa pertenceu ao tratamento de déficit hídrico na fase de floração e sem aplicação de AsA (58,31 g por planta), sendo que nas demais estratégias de irrigação não foram observadas grandes diferenças entre si. Com a aplicação de AsA, as plantas submetidas a estratégia E4 obtiveram incremento no peso de polpa com o aumento das concentrações de AsA, alcançando o peso médio da polpa de 97,52 g por planta sob aplicação foliar de 1,0 mM, superior em 59,95% ao encontrado sem aplicação de AsA (0 mM). Benefícios que também foram observados na E5, com incremento de 26,57% na mesma concentração. Nas demais estratégias de irrigação não foram observadas diferenças com aplicação da concentração de 1,0 mM, mas, sob aplicação foliar de 0,5 mM (AsA), ocorreu decréscimo de 17,65% nas plantas cultivadas sob as estratégias E2 e 13,74% na E4 em relação as sem aplicação de AsA (0 mM), contudo, são valores superiores e iguais, respectivamente, ao alcançado nas plantas cultivadas sob irrigação plena durante todo o ciclo de cultivo (E1) na mesma concentração.



Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 3.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no peso médio da polpa – PMP (A), casca – PMC (B), fruto – PMF (C) e rendimento de polpa -RP (D) de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, no período de 160 a 220 dias após o transplante.

De forma similar ao PMP (Figura 3A), nas plantas sem aplicação de AsA, o peso da casca (PMC) reduziu pela condição de déficit hídrico na fase de floração - E4 (Figura 3B), com redução de 23,42% em relação as cultivadas sob irrigação plena durante todo o ciclo de desenvolvimento - E1. Para as demais estratégias de irrigação, com exceção das plantas submetidas a E6, aumentos de 26,73; 31,80 e 42,15% no PMC do maracujazeiro-azedo, respectivamente, sob E2, E4 e E5 em relação ao obtido na E1. Já com a aplicação do AsA, a concentração de 1,0 mM elevou o PMC das plantas sob E4, valor 28,05% superior ao obtido nas plantas sob E1, esta concentração aplicada durante a fase E5 resultou em maior PMC (148,54 g por planta). A concentração de 0,5 mM proporcionou redução no PMC nas estratégias E2 e E4, entretanto, quando aplicada na E6 possibilitou aumento de 25,44% quando comparado ao valor obtido nas plantas sem aplicação de AsA (84,72 g por planta).

Por causa do déficit hídrico o peso médio do fruto alterou (Figura 3C), nas plantas sem aplicação de AsA, a restrição hídrica na fase vegetativa (E2), frutificação (E4) e vegetativa/floração (E5) tiveram incremento, sendo o aumento de 27,31; 18,97 e 28,60% em relação as plantas cultivadas sob irrigação plena durante todo o ciclo (E1) (100% da E1). Enquanto a condição de déficit hídrico na fase de floração (E3) resultou no menor valor dentre as estratégias de irrigação, com perda de 23,57% em a estratégia E1. Com a aplicação de AsA, não foram observadas diferenças significativas no peso médio de frutos em relação a não aplicação de AsA (0 mM) nas estratégias sem (E1) e com déficit hídrico em fases combinadas com a vegetativa (E5 e E6). Nas estratégias E3 e E4 a aplicação foliar de 1,0 mM de AsA aumentou em 77,67 e 19,26% no PMF em relação as que não receberam aplicação de AsA (0 mM). Já a aplicação de AsA de 0,5 mM incrementou o peso médio de frutos nas plantas cultivadas sob a estratégia E3, mas ocorreram perdas no peso dos frutos das plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa (E2) e de frutificação (E4).

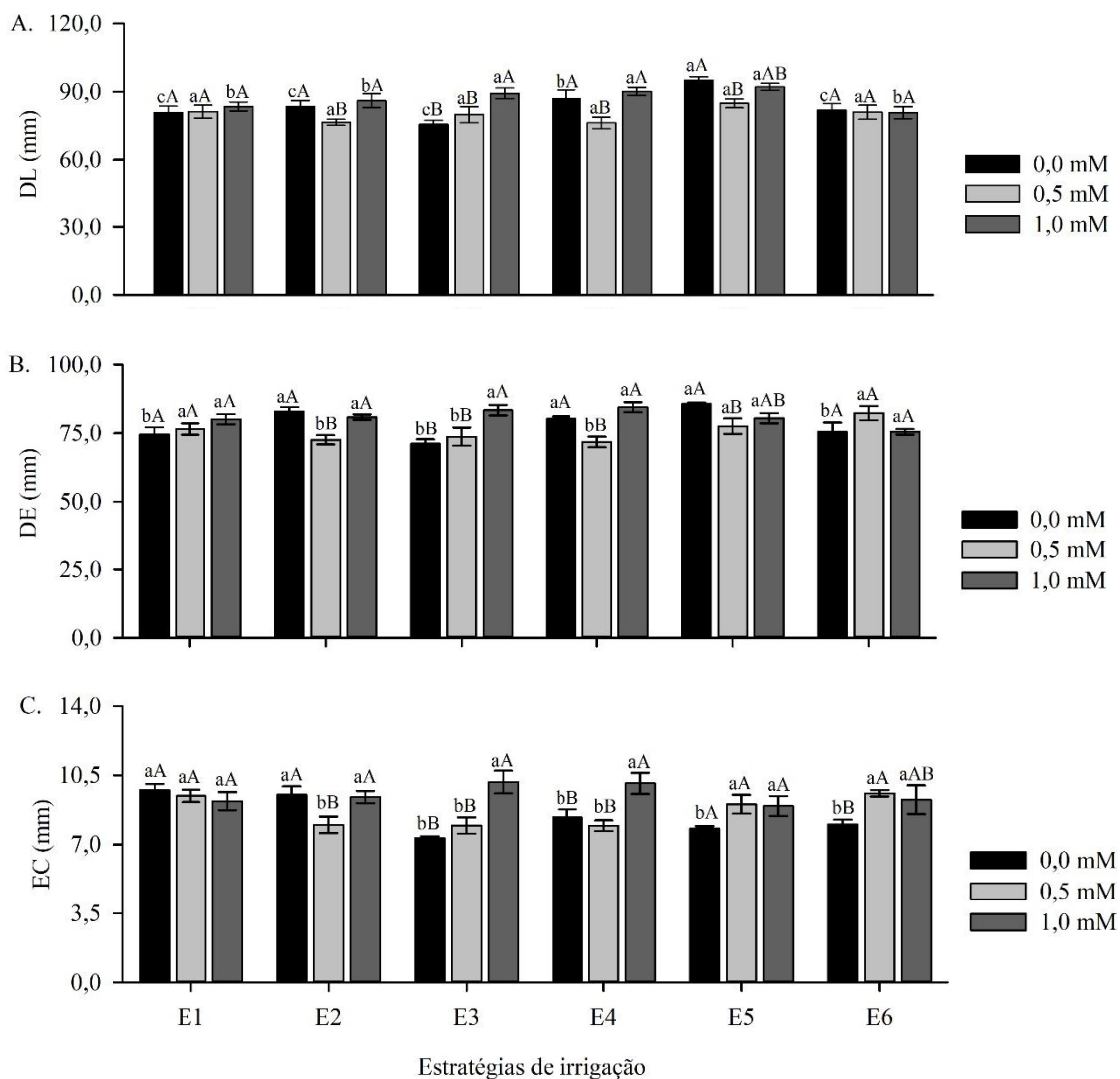
O déficit hídrico afetou o rendimento de polpa (RP), nas plantas sem aplicação de AsA na fase de frutificação (E4) e vegetativa/floração (E5), com decréscimos de 11,35 e 10,92% em comparação ao obtido nas plantas cultivadas sob irrigação plena durante todo o ciclo - E1 (Figura 3D). O AsA na concentração de 0,5 mM contribuiu para elevar em 11,87 e 17,46% o RP das plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa (E2) e de frutificação (E4) em relação as plantas que não receberam aplicação de AsA (0 mM) nas mesmas condições hídricas, comportamento que distingue das plantas cultivadas sob a estratégia E6, pois, essa concentração proporcionou o menor rendimento de polpa de

frutos do maracujazeiro-azedo. A aplicação foliar de AsA na concentração de 1,0 mM, aumentou o RP em relação a concentração de 0,5 mM nas plantas que receberam 50% da ETc nas fases vegetativa/frutificação (E6), porém sem diferenças das plantas testemunhas (0,0 mM), similar ao obtido na E4, sendo que para as demais estratégias a aplicação de 1,0 mM de AsA proporcionou o menor RP.

O maior diâmetro longitudinal dos frutos de maracujazeiro-azedo, sem aplicação de AsA, foi de 95,10 mm, obtido nas plantas cultivadas sob déficit hídrico nas fases sucessivas vegetativa/floração (E5), depois a frutificação (E4) com 87,08 mm, sendo 17,68 e 7,76% acima do obtido nas plantas cultivadas sob irrigação plena durante todo o ciclo de cultivo (E1), respectivamente (Figura 4A). A aplicação de AsA resultou em aumento no diâmetro longitudinal dos frutos das plantas submetidas a estratégia de irrigação E3 e concentração de 1,0 mM, proporcionando incremento de 18,21% em relação as plantas do tratamento testemunha na mesma condição hídrica. A aplicação foliar de AsA na concentração de 0,5 mM reduziu o DL nas plantas cultivadas sob as estratégias E2, E4 e E5 em comparação as respectivas plantas testemunhas de cada estratégia (0,0 mM), mas, sem diferenças significativas em relação as submetidas a irrigação plena durante todo o ciclo (E1).

Para o diâmetro equatorial (Figura 4B), nas plantas sem aplicação de AsA, o déficit hídrico na fase vegetativa (E2), de frutificação (E4) e vegetativa/floração (E5) resultou nos maiores valores de DE, com 11,13; 7,77 e 14,79% as plantas sob irrigação plena durante todo o ciclo de cultivo (E1), respectivamente. A aplicação foliar de AsA na concentração de 0,5 mM nas plantas cultivadas sob estratégias E2, E4 e E5 resultou em reduções de 12,43; 10,68 e 9,42% no DE em relação as plantas que não receberam aplicação de AsA na mesma estratégia de irrigação. Ganhos pela aplicação de AsA foram observados nas plantas cultivadas sob a E3, com a aplicação foliar da concentração de 1,0 mM apresentando aumento de 17,12% em relação as que não receberam aplicação de AsA. Sendo que na E1, o DE dos frutos não apresentou diferenças entre os tratamentos sem e com aplicação de AsA.





Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 4.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no diâmetro longitudinal – DL (A), equatorial – DE (B) e espessura da casca – EC (C) de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, no período de 160 a 220 dias após o transplantio.

Em razão do déficit hídrico a espessura da casca reduziu a partir da fase de floração nas plantas sem aplicação de AsA (Figura 4C), valores similares entre as plantas submetidas as estratégias E2 e E1. No entanto, o comportamento teve alteração pela aplicação foliar de 0,5 mM de AsA, que proporcionou redução de 15,97% na EC dos

frutos obtidos na E2 sem aplicação de AsA (0 mM). Nas demais estratégias com a condição de déficit hídrico, a aplicação de AsA na concentração de 1,0 mM permitiu aumento, mantendo a EC com valores próximos das plantas cultivadas sob irrigação plena - E1 (100% da ETc), comportamento similar ao da aplicação de 0,5 mM de AsA nas estratégias com déficit hídrico na fase vegetativa (E5 e E6).

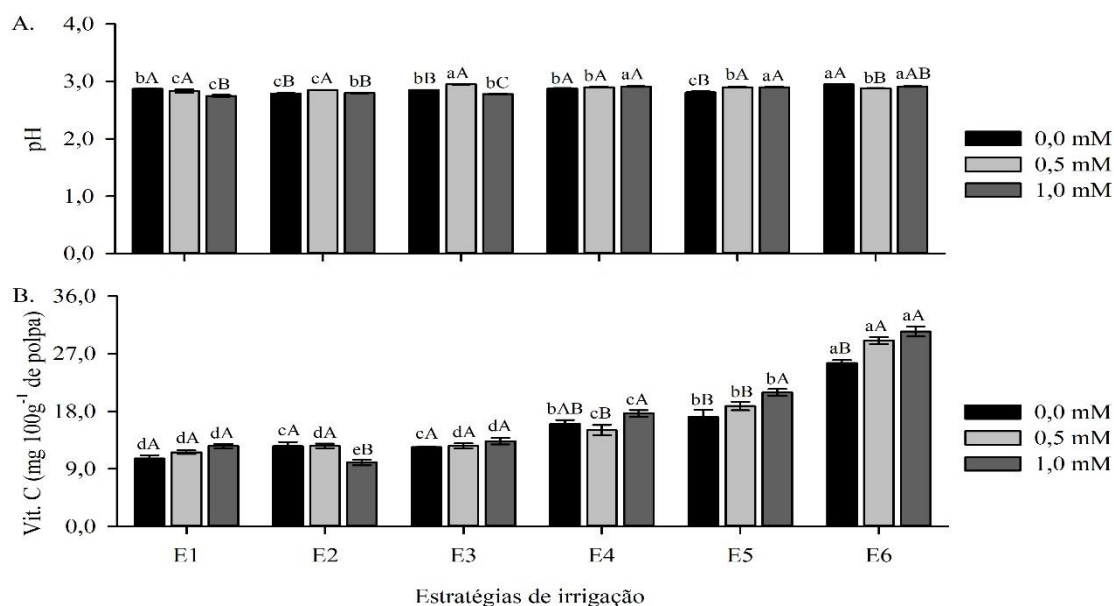
De acordo com o resumo de análise de variância para as variáveis de qualidade química do fruto de maracujazeiro-azedo (Tabela 3), nota-se efeito significativo da interação dos fatores em todos os parâmetros avaliados aos 220 DAT.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para as variáveis de potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), vitamina C (Vit. C), açúcares totais (A), açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR) de frutos de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 cultivado sob estratégias de irrigação com déficit hídrico (E) e aplicações foliares de ácido ascórbico (C), aos 220 dias após o transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios							
		pH	Vit. C	AT	SS	SS/AT	A	AR	ANR
Estratégias (E)	5	0,015**	373,90**	6,60**	5,44**	0,017**	98,42**	0,379**	95,99**
Concentrações (C)	2	0,010**	14,38**	0,16 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	20,34**	0,2502**	17,30**
E × C	10	0,008**	6,29**	3,67**	3,15**	0,0422**	65,61**	0,2729**	24,37**
Blocos	2	0,001 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,0115 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>
CV1 (%)		0,62	6,10	1,98	2,22	2,13	8,86	3,50	9,97
CV2 (%)		0,75	5,94	1,67	2,02	2,85	8,78	4,67	9,66
Média		2,86	16,61	16,51	13,98	0,851	19,22	2,16	17,06

ns, \*\*, \* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$

O déficit hídrico reduziu o pH da polpa do maracujazeiro-azedo, nas plantas sem aplicação de AsA, na fase vegetativa e aumentada pelo déficit hídrico associado entre vegetativa/frutificação (Figura 5A), sendo que nas demais estratégias manteve valores similares ao obtido nas plantas submetidas a irrigação plena durante todo o ciclo de desenvolvimento - E1(100% da ETc). A aplicação foliar de AsA na concentração de 0,5 mM elevou o pH da polpa nas estratégias E2 e E3, sendo observado efeito independente da concentração na E5. No entanto, o AsA reduziu o pH da polpa na E1 pela aplicação da concentração de 1,0 mM de AsA, efeito similar ao da aplicação da concentração de 0,5 mM nas plantas cultivadas sob a estratégia E6.

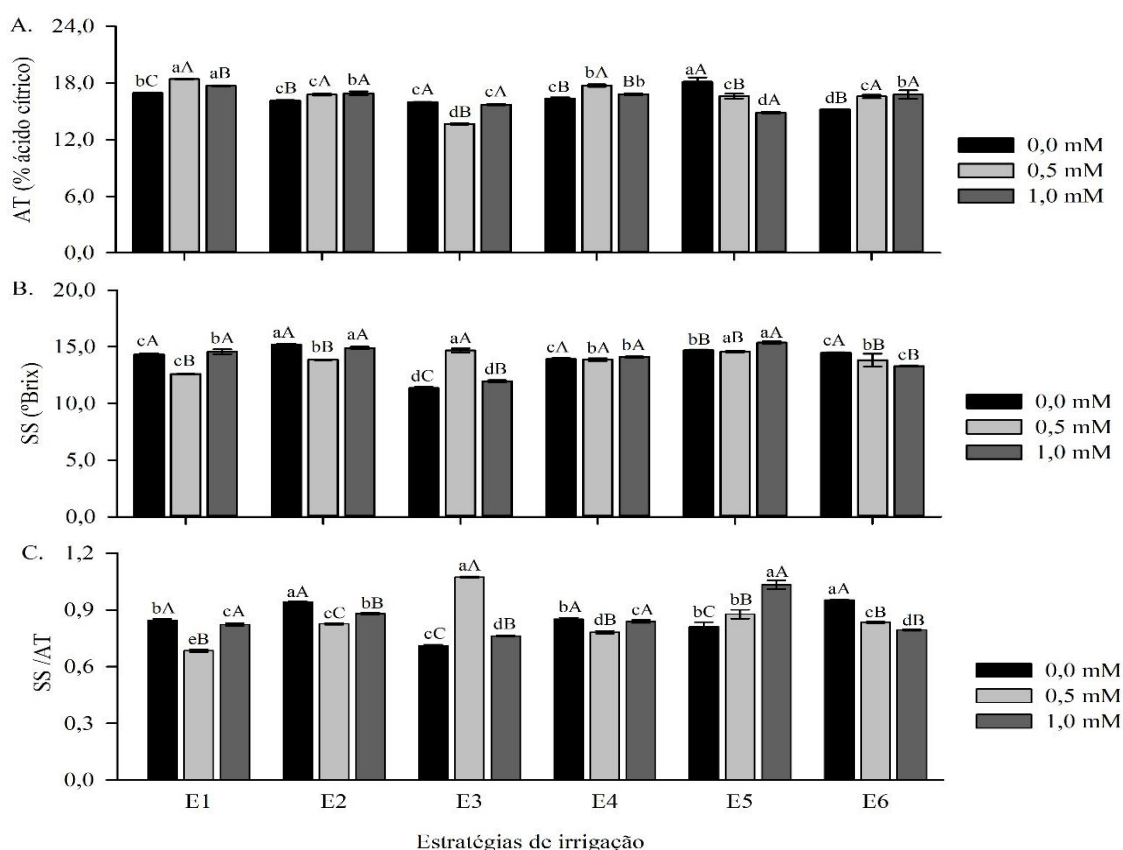


Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 5.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no potencial hidrogeniônico – pH (A) e ácido ascórbico – Vit. C (B) de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 220 dias após o transplante.

O déficit hídrico elevou o teor de vitamina C da polpa de maracujazeiro-azedo nas plantas sem aplicação AsA, independente da estratégia de irrigação utilizada (Figura 5B), sendo o maior valor obtido nas plantas cultivadas sob E6 (25,55 mg 100g<sup>-1</sup> de polpa), com aumento de 140,81% em relação as irrigadas com 100% da ETc durante todo o ciclo de cultivo - E1 (10,61 mg 100g<sup>-1</sup> de polpa). Além disso, as plantas das estratégias E5 e E4 apresentaram valores superiores aos da E2 e E3. A aplicação foliar de AsA na concentração de 1,0 mM na E2 resultou em menor valor de Vit. C (10,00 mg 100g<sup>-1</sup> de polpa), similar ao obtido nas plantas irrigadas com 100% da ETc (E1) durante todo o ciclo de cultivo sem aplicação de AsA (0 mM). Nas demais estratégias de irrigação, a aplicação foliar de 1,0 mM de AsA manteve os teores de Vit. C em relação as plantas que não receberam AsA, elevando nas estratégias de irrigação E5 e E6, proporcionando aumentos de 22,38 e 19,29% em relação as plantas sem aplicação de AsA (0 mM). A aplicação foliar de 0,5 mM de AsA contribuiu para elevar em 13,82% os teores de Vit. C na estratégia E6, sendo que nas demais manteve valores similares com plantas que receberam 0 mM de AsA.

Para a acidez titulável (Figura 6A) da polpa de maracujazeiro-azedo, a condição de déficit hídrico nas fases vegetativa/floração (E5) resultou em maior valor (18,13% de ácido cítrico) dentre as estratégias de irrigação sem aplicação de AsA. As demais estratégias com déficit hídrico apresentaram valores inferiores de AT em relação as plantas sob irrigação plena durante todo o ciclo de cultivo (E1). O menor valor de AT foi obtido na estratégia E6, que resultou em perda de 10,33% em relação as plantas cultivadas sob irrigação com lâmina de 100% da ETc (E1). Ambas as concentrações de AsA proporcionaram aumento na AT da polpa dos frutos provenientes da E1, E2 e E6; nas plantas da estratégia E4 a aplicação foliar de 0,5 mM de AsA permitiu o maior valor de AT dentre as estratégias com déficit hídrico (17,72% de ácido cítrico), sendo que na E5 foram observadas reduções na AT com o aumento das concentrações de AsA. Além disso, na E3 a aplicação foliar de 0,5 mM de AsA proporcionou redução de 14,46% em relação as plantas que não receberam AsA (0 mM).



Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

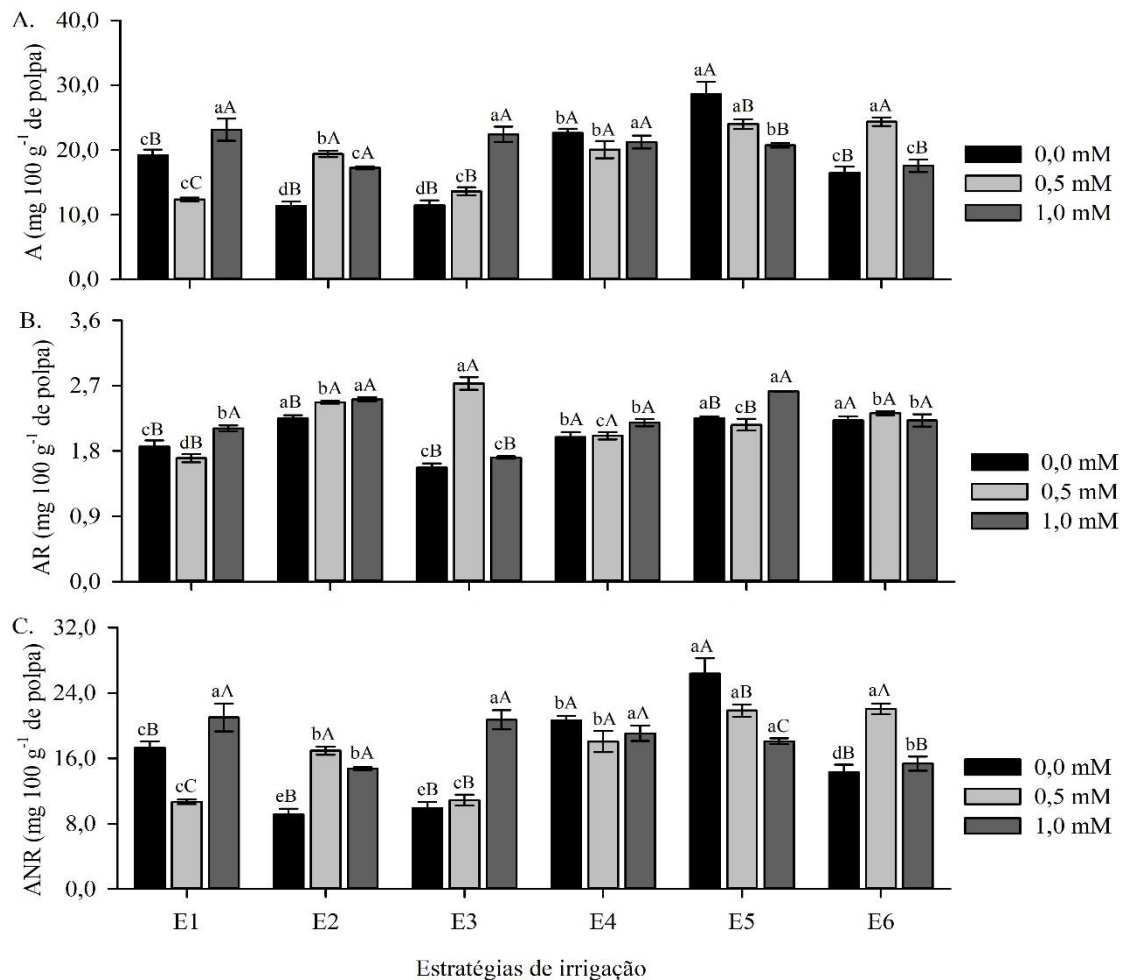
**Figura 6.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) na acidez titulável – AT (A), sólidos solúveis – SS (B) e ratio – SS/AT (C) de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 220 dias após o transplantio.

Os teores de sólidos solúveis apresentaram respostas distintas nas estratégias de irrigação com déficit nas plantas sem aplicações de AsA (Figura 6B), sendo o maior valor (15,2 °Brix) obtido nas plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa (E2), seguido pelas com estratégia E5 com SS de 14,7°Brix. Os menores teores de SS foram da condição de déficit hídrico na fase de floração (11,37 °Brix), com perda de 20,65% em relação as plantas sob irrigação com 100% da ETc durante todo o ciclo de desenvolvimento (E1). A aplicação foliar de AsA na concentração de 0,5 mM elevou para 14,67 °Brix, aumento de 29,02% em relação as que não receberam aplicação de AsA (0 mM), comportamento que difere de E1, E2 e E6, em que a concentração de 0,5 mM de AsA provocou perdas de 12,07; 8,75 e 4,42% nos teores de SS. A concentração de 1,0 mM reduziu em 8,08% o teor SS na E6, no entanto, nas demais estratégias foram mantidos valores similares as plantas sem aplicação de AsA.

Na condição de déficit hídrico nas estratégias E2 e E6 sem aplicação de AsA foram obtidos valores superiores a E1 para a relação SS/AT, aumentos de 11,35 e 12,61% (Figura 6C), diferindo da E3, com perda de 15,86% em relação as plantas com irrigação plena - E1 (100% da ETc). O AsA permitiu os maiores valores na relação SS/AT na estratégia de irrigação E3 e aplicação foliar de 0,5 mM (1,074) de AsA e na E5 sob a concentração de 1,0 mM (1,033), o que resultou em incrementos de 56,97 e 25,48% em comparação as plantas sem aplicação de AsA (0 mM) nas respectivas estratégias de irrigação. Nas demais estratégias, o AsA na concentração de 0,5 mM resultou em decréscimo na relação SS/AT, enquanto a concentração de 1,0 mM apresentou valores inferiores as plantas sem aplicação de AsA (0 mM) nas estratégias de irrigação E2 e E6.

Os teores de açúcares totais na polpa das plantas sob déficit hídrico nas fases vegetativa/floração (E5) alcançou o maior valor (28,63 mg g<sup>-1</sup>) entre as estratégias de irrigação sem aplicação de AsA, com aumento de 49,27% em relação ao obtido nas plantas cultivadas com irrigação de 100% da ETc -E1 (Figura 7A). O aumento nos teores de açúcares totais em relação as plantas cultivadas sob 100% da ETc (E1), também observado nas plantas mantidas sob déficit hídrico na fase de frutificação (E4), com aumento de 18,09%. Por outro lado, as plantas cultivadas com as estratégias E2 e E3 tiveram os menores valores de A, sendo de 11,37 e 11,45 mg g<sup>-1</sup> de polpa, com reduções de 40,72 e 40,30% em comparação as que receberam irrigação plena durante todo o ciclo (E1), respectivamente. Com a aplicação foliar de AsA, as plantas submetidas a E2 apresentaram aumentos de 70,62 e 51,71% nos teores de A. Para as plantas cultivadas sob as estratégias E1 e E3 a aplicação de AsA na concentração de 1,0 mM resultou em

aumentos de 20,54 e 95,81% em relação as que não receberam AsA (0 mM) na mesma condição de irrigação. A aplicação foliar de 0,5 mM permitiu acréscimo de 47,52% nos teores de açúcares totais sob estratégia E6 em relação as plantas sem aplicação de AsA, sendo que na E1 essa concentração reduziu em 35,50% os teores de A em comparação as plantas que não receberam AsA. Nas demais estratégias, sem grandes diferenças pela aplicação de AsA nos teores de açúcares totais.



Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 7.** Interação entre fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e aplicação foliar de ácido ascórbico (AsA) no teor de açúcar total – A (A), redutor – AR (B) e não-redutor – ANR(C) de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, aos 220 dias após o transplantio.

As estratégias associadas a condição de déficit hídrico e sem aplicação de AsA, com exceção da E3, resultaram em aumento nos teores de açúcares redutores na polpa do maracujazeiro-azedo em relação as cultivadas sob condição de 100% da ETc (Figura 7B).

O déficit hídrico aplicado de forma concomitante ou intercalado com a fase vegetativa resultou nos maiores valores, com incrementos em relação a E1 de 19,35% na E6 e 20,97% na E2 e E5. Com a aplicação de AsA na estratégia E3, a concentração de 0,5 mM proporcionou os maiores teores de AR (2,73 mg 100g<sup>-1</sup> de polpa), resultando em aumento de 73,88% ao comparar com as plantas sem aplicação de AsA (0 mM). Efeitos benéficos da aplicação foliar de AsA também foram observadas por ambas as concentrações na estratégia E2, sendo que na E1 e E5 os incrementos foram de 13,44 e 16,44% ao aplicar a concentração de 1,0 mM de AsA. Para as plantas cultivadas sob as estratégias E4 e E6 as distintas concentrações de AsA não resultaram em diferenças significativas nos teores de AR da polpa de maracujazeiro-azedo.

Comportamento similar aos teores de açúcares totais (Figura 7A) foram observados nos açúcares não redutores (Figura 7C), com a condição de déficit hídrico nas fases vegetativa/floração (E5) apresentando o maior valor dentre as estratégias de irrigação sem aplicação de AsA, seguida pela E4, com aumentos de 52,40 e 19,35% em comparação as plantas cultivadas sob 100% da ETc (E1). Contudo, ao relacionar as plantas submetidas a E1 em relação as que receberam E2 e E3, as reduções de 47,31 e 42,86% nos teores de ANR. As aplicações de AsA na estratégia E5, mesmo que reduzindo os teores de ANR, mantiveram as maiores médias entre as estratégias. Nas plantas cultivadas sob a E4, o AsA não resultou em diferenças nos teores de ANR, contudo, diferiu das que receberam E2, as concentrações de 0,5 e 1,0 mM resultaram em valores 85,63 e 61,62% superiores as plantas sem aplicação de AsA (0 mM), na aplicação de 0,5 mM na estratégia E6 o ganho de 54,19% em relação as plantas que não receberam AsA. Já a concentração de 1,0 mM aumentou os teores de ANR de 21,37% na E1 e 109,40% na E3 em relação as plantas sem aplicação de AsA nas mesmas estratégias de irrigação.

#### **4. DISCUSSÃO**

A condição de déficit hídrico tem sido um problema recorrente entre os produtores em regiões semiáridas, o que impulsionou a realização de pesquisas que demonstrem os efeitos deletérios da escassez de água na produção das culturas (Lozano-Montaña et al., 2021; Dietz et al., 2021), sendo que para o maracujazeiro-azedo, normalmente, se associa aos efeitos negativos no metabolismo e crescimento da planta, que reduzem o número de ramos e brotações, inviabilizando o surgimento de frutos e a qualidade da produção (Souza et al., 2018).

Esses efeitos são consistentes com os resultados obtidos em plantas submetidas ao déficit hídrico na fase vegetativa (E2, E5 e E6), pois, mostraram crescimento reduzido e, conseqüentemente, afetaram a quantidade de frutos, tendo como resultado perdas na produção por planta. Nas estratégias com déficit hídrico nas fases de floração (E3) e frutificação (E4), em razão da falta de períodos anteriores de aclimação ao estresse (E5 e E6), ocorreram grandes perdas associadas ao abortamento de flores e frutos, resultando em impactos negativos na produção, comportamento comumente observado em plantas sob restrições hídricas (Bourbia et al., 2020; Silva et al., 2021).

Além disso, a condição climática vigente na época da pesquisa, com temperaturas acima de 36 °C e umidade relativa abaixo de 40% (Figura 1), intensificou o abortamento de flores em plantas sob déficit hídrico, além de afetar as plantas sob irrigação plena (100% ETc), que, apesar de atenderem às necessidades hídricas e nutricionais, obtiveram uma produção de 5,32 kg por planta, consistente com os resultados de Lima et al. (2020), para a mesma condição climática, mas números inferiores aos 10,76 kg por planta obtidos por Dias et al. (2011) em condições climáticas mais favoráveis. Ghani et al. (2023), alertam que os problemas de estresse térmico em regiões semiáridas, intensificam a atividade fotoquímica e a seca fisiológica em plantas, ocasionando distúrbios na produção de espécies reativas de oxigênio que afetam a homeostase oxidativa e, como consequência, o desenvolvimento das plantas.

No entanto, a condição pôde melhorar através da aplicação de AsA, que além de atuar como agente antioxidante no controle do estresse oxidativo (Aziz et al., 2018), elevado sob condições de estresse abiótico (Garcia-Caparrós et al., 2021), contribui para a formação de flores (Akram et al., 2017; Barth et al., 2006). Isso justifica o aumento significativo no número de frutos e, possivelmente, na produção em plantas sob déficit hídrico, especialmente, na fase de floração. Os efeitos benéficos também puderam ser percebidos em plantas sob condições de irrigação plena (100% ETc) na condição semiárida. No estudo realizado por Sajid et al. (2017), a aplicação foliar de 800 ppm de AsA contribuiu para aumentar a produção de pêssogo (*Prunus persica* L.), sendo o efeito benéfico associado ao aumento da atividade antioxidante na casca do fruto, resultante da regulação da síntese de antocianina e hidroxiprolina.

A manutenção ou o aumento dos pesos médios dos frutos de maracujazeiro-azedo, assim como da polpa e da casca sob déficit hídrico, pode estar relacionada ao equilíbrio na assimilação e translocação de fotoassimilados, uma vez que, a quantidade de frutos reduziu pela menor frutificação. No entanto, os efeitos negativos do déficit hídrico na fase



de floração, provavelmente, ocorreram devido às mudanças na viabilidade do processo de polinização (Cobra et al., 2015). É um comportamento informado por Formagio et al. (2021), alterações na fase de floração tendem a resultar em malformação do tubo polínico, com perdas na curvatura do estilete e no comprimento do nectário, características diretamente correlacionadas com as propriedades físicas do fruto. Além disso, estratégias que alternam fases de déficit hídrico afetam o crescimento vegetativo das plantas, tornando-as mais resilientes à escassez de água durante a floração (Singh et al., 2020; Jan et al., 2021)

O rendimento de polpa do maracujazeiro-azedo em todas as estratégias de irrigação foi inferior a 50%, o qual tem sido associado ao valor mínimo desejado para o processamento do fruto no mercado consumidor (Aguiar et al., 2017). No entanto, esse comportamento tem sido observado em pesquisas na região semiárida (Figueiredo et al., 2015; Lima et al., 2023), podendo ser proveniente dos impactos climáticos (Figura 1) que interferem na polinização do fruto, afetando a capacidade produtiva e qualitativa dos frutos de maracujazeiro-azedo, como demonstrado por Junqueira e Augusto (2017). A perda de rendimento de polpa foi ainda mais expressiva no tratamento com déficit hídrico na fase vegetativa/floração e de frutificação, classificada no grupo dos maiores frutos, podendo ser justificada pelo gasto energético para a regulação do fluxo hídrico no xilema, comprometendo a atividade de translocação no floema e o armazenamento do carbono assimilado no fruto (Patono et al., 2023).

As concentrações de ácido ascórbico se mostraram eficazes na recuperação do peso médio dos frutos das plantas que apresentaram déficit hídrico durante a fase de floração, reforçando o papel do AsA na síntese de ácido giberélico (Akram et al., 2017; Ye & Zhang, 2012), necessário na formação de flores e frutos (Mutasa-Göttgens & Hedden, 2009), benefícios observados, sobretudo, na concentração de 1,0 mM. No entanto, os ganhos no peso dos frutos pelo AsA mantiveram o equilíbrio entre polpa e casca, com o rendimento da polpa elevado apenas pela concentração de 0,5 mM em plantas que sofreram déficit hídrico nas fases vegetativa e de frutificação, mantendo altos valores de polpa, características desejáveis para o processo comercial (Aguiar et al., 2017).

As variáveis referentes ao diâmetro do fruto foram condizentes com o aumento no peso médio do fruto para todas as estratégias de manejo da irrigação, com valores próximos aos mencionados por Figueiredo et al. (2015), para o diâmetro longitudinal (79,8 a 96,9 mm) e equatorial (66,4 a 81,9 mm), até mesmo nas plantas sob aplicação

foliar de AsA. Assim, independente do tratamento, os frutos exibiram características externas para atender o padrão do mercado consumidor. A espessura da casca foi superior ao valor médio observado para o genótipo de maracujazeiro-azedo BRS Gigante Amarelo (Aguiar et al., 2017), contudo, houve redução pela condição de estresse após a fase vegetativa, o que se correlaciona com os impactos do déficit hídrico na fase de formação e enchimento do fruto, aumentando o investimento para produção de polpa em relação a casca como processo adaptativo (Ripoll et al., 2014). O aumento na EC pelas aplicações de AsA pode estar relacionado ao equilíbrio na indução de fotoassimilados, que mesmo aumentando a espessura da casca, eleva a cavidade para enchimento do fruto.

De acordo com a instrução normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018, os frutos de maracujazeiro-azedo devem apresentar os valores mínimos de 2,7 para o pH, 11 de °Brix e acidez total superior a 2,5 (Brasil, 2018). Os tratamentos avaliados atenderam a todos os requisitos, o que demonstra que para o processamento do fruto a condição de déficit hídrico não compromete os parâmetros exigidos para a indústria. No entanto, ele estimula a produção de vitamina C dos frutos, principalmente, em fases intercaladas com a frutificação, o que pode estar relacionado a transformação dos açúcares hexoses, sobretudo, pela via L-galactose, como forma de defesa a condição de estresse, já que o ácido ascórbico pode atuar como doador de elétrons alternativo, além de ativar a ascorbato peroxidase que age em concentrações baixas de EROs (Zheng et al., 2022).

A aplicação foliar de AsA concedeu aumento nos teores de vitamina C apenas nas fases de déficit hídrico nas fases intercaladas (vegetativa/floração e vegetativa/frutificação), provavelmente, pelo fato de que nas demais condições, exista um equilíbrio com o metabolizado para o fruto, situação contrária a E5 e E6, que expuseram maior período de déficit hídrico a planta, alterando o processo metabólico e elevando o acúmulo de vitamina C como forma de manter a translocação de açúcares.

Considerando a instrução normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018 do Ministro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2018), a acidez titulável dos frutos teve valores elevados. É um incremento na AT que pode estar associado à concentração total de prótons livres e ácidos indissociados, que podem reagir com uma base forte e ser neutralizado, inibindo a via metabólica, qualidade desejável a confecção de industrializados, já que reduz o gasto de aditivos para conservação da polpa (Obi et al., 2018). É possível que o aumento na acidez total resultou em alterações na proporção com os sólidos solúveis, fazendo o fruto apresentar uma SS/AT inferior ao que aponta estudos recentes (Jesus et al., 2018).

No entanto, na presente pesquisa, os valores de brix são elevados na condição de déficit hídrico na fase vegetativa, alterando a relação SS/AT na E2 e E5, o que pode estar relacionado ao aumento da pressão osmótica como forma de regular o fluxo de água, sobretudo, nas fases iniciais de desenvolvimento, o que estimula a via de síntese de osmólitos relacionados a defesa secundária da planta (Ripoll et al., 2014). Essa aclimatação não foi estabelecida na E3, apresentando os menores valores na SS/AT dos frutos de maracujazeiro-azedo, demonstrando que danos na floração resultam em desequilíbrio tanto na formação quanto na qualidade química do fruto, possivelmente, por apresentar alterações no transporte de fotoassimilados, já que a restrição hídrica estabelece alterações na atividade fisiológica e metabólica da planta (Dietz et al., 2021), condição amenizada pela aplicação contínua de AsA, que mesmo as plantas sob estresse, teve uma regulação metabólica capaz de manter a fotossíntese, equilibrando o aporte de sólidos solúveis ao fruto (Patono et al., 2023).

As condições de déficit hídrico têm sido associadas a mudanças no potencial hídrico da planta, levando a perdas metabólicas por causa de alterações na turgidez celular e na atividade fotossintética (Silva et al., 2021). Isso gera uma condição de estresse oxidativo, considerando que a regulação desses processos requer gasto de energia através do consumo de açúcares, como monossacarídeos (glicose e frutose), amido e sacarose, usados para as mais diversas funções, desde a base estrutural de vias metabólicas e crescimento até a produção de osmoprotetores sob condições de estresse (Saddhe et al., 2021).

Dessa forma, o período pós-déficit hídrico observado nas fases vegetativa e de floração tende a equilibrar a atividade metabólica da planta, conforme a literatura (Xu et al., 2010; Chai et al., 2016), o que afetou o acúmulo de reservas de açúcar no fruto. Esse comportamento difere das fases prolongadas de déficit hídrico (E5 e E6), que equilibram a homeostase com investimento no fruto, uma condição que pode estar associada aos níveis de AsA presentes nos frutos, regulando vias metabólicas e a translocação de açúcares (Fenech et al., 2019). Isso é similar ao que ocorreu com o déficit hídrico na fase de frutificação, relacionado as reservas que a planta já apresentava antes de iniciar com a restrição da lâmina de irrigação.

Por outro lado, a aplicação foliar de AsA está associada à regulação de espécies reativas de oxigênio (Akram et al., 2017), precursoras do estresse oxidativo, que ocorre devido às funções deste composto no ciclo ascorbato-glutationa, que mantém a planta antioxidante em altos níveis (Zheng et al., 2022). Além disso, o AsA contribui como

doador alternativo de elétrons na cadeia de transporte de elétrons, prevenindo a liberação de oxigênio normalmente observada pela quebra da molécula de água, reduzindo a produção de ROS e, talvez, o processo de fotorrespiração (Gaafar et al., 2020; Celi et al., 2023), normalmente acelerado em condições de estresse abiótico, limitando a síntese de carbono em açúcares (Souza et al., 2018; Ünlüsoy et al., 2023). Essa regulação justifica os ganhos observados na aplicação de AsA nos níveis de açúcares do fruto, visando reduzir o gasto energético para a regulação metabólica da planta, com exceção de S5, que já apresenta altos valores de açúcares.

Nesse contexto, vale destacar que a síntese de açúcares solúveis está relacionada a atividades metabólicas complexas, servindo como agentes de sinalização de curta e longa distância, fazendo parte do sistema antioxidante que controla a produção de espécies reativas de oxigênio (Saddhe et al., 2021). Essa situação explica a manutenção de altos valores de açúcares redutores nos frutos das plantas sob todas as estratégias com déficit hídrico, bem como sob a aplicação de AsA, uma característica desejável, pois estão relacionados ao sabor doce detectável pelo paladar (Xu et al., 2022).

Enquanto os açúcares não redutores estão associados à conservação do fruto, pois precisam passar pelo processo de hidrólise para que ocorra a oxidação (Melo et al., 2018), o déficit hídrico prolongado de E5 e durante a fase de frutificação leva a uma proporção maior de açúcares totais em relação aos açúcares não redutores, diferindo das outras estratégias, que apresentaram reduções, pela provável quebra de açúcares não redutores para o investimento na produção de açúcares solúveis, como uma forma de proteção contra a condição de déficit hídrico e estresse térmico. Nas estratégias não associadas ao déficit hídrico na fase de frutificação, o AsA contribuiu para aumentar os conteúdos de açúcares redutores, reforçando a possibilidade de regulação metabólica causada pelas aplicações foliares do composto bioativo (Zheng et al., 2022; Singh et al., 2018).

## **5. CONCLUSÕES**

O maracujá-azedo BRS GA1 se mostrou sensível às condições de déficit hídrico apresentadas no estudo, tendo seus danos diretamente associados às perdas na emissão de frutos em plantas sem aplicação de AsA, sendo de forma mais drástica na fase de floração e vegetativa/frutificação, que inviabiliza a produção, pois, reduz em mais de 58% a produtividade por planta. A caracterização física e química do fruto foi afetada de forma diferente pelas estratégias de irrigação, em grande parte de forma negativa pelo déficit

hídrico ocorrido na fase de floração, em parte consistente com a hipótese proposta. Entretanto, a aplicação foliar de ácido ascórbico comprova sua ação mitigadora frente às condições de déficit hídrico, benefícios que foram observados em ambas as concentrações testadas. Entretanto, mais estudos são necessários para elucidar os benefícios do ácido ascórbico em condições de déficit hídrico no cultivo do maracujá-azedo, bem como em condições climáticas semiáridas sobre o desempenho produtivo das plantas, tendo em vista que, mesmo plantas sob sistema de manejo de irrigação ideal apresentaram melhorias devido à aplicação de ácido ascórbico, o que demonstra a necessidade de alternância na condução das pesquisas, como cultivares, condições climáticas e amplitude das concentrações de ácido ascórbico.

## 6. REFERÊNCIAS

- Aguiar, A. V. M. D.; Cavalcante, L. F.; Silva, R. M. D.; Dantas, T. A. G.; Santos, E. C. D. Effect of biofertilization on yellow passion fruit production and fruit quality. *Revista Caatinga*, v. 30, p. 136-148, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n115rc>
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. D. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 9.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2019. 545p
- Cobra, S. S. D. O.; Silva, C. A.; Krause, W.; Dias, D. C.; Karsburg, I. V.; Miranda, A. F. D. Características florais e polinizadores na qualidade de frutos de cultivares de maracujazeiro-azedo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, p. 54-62, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000100006>
- Costa, A. De F. S. Da.; Costa, A. N.; Ventura, J. A.; Fanto, C. J.; Lima, I. M.; Caetano, L. C. S.; Santana, E. N. Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro. Vitória, ES: Incaper, 2008.56 p. (Incaper. Documentos, 162).
- Dias, T. J.; Cavalcante, L. F.; Leon, M. J.; Santos, G. P.; Albuquerque, R. P. D. F. Produção do maracujazeiro e resistência mecânica do solo com biofertilizante sob irrigação com águas salinas. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, p. 644-651, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300010>

- Diniz, A. A.; Cavalcante, L. F.; Rebequi, A. M.; Nunes, J. C.; Brehm, M. A. S. Esterco líquido bovino e uréia no crescimento e produção de biomassa do maracujazeiro amarelo. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, p. 597, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300004>
- El-Sayed, O.M.; El-Gammal, O.H.M.; Salama, Asm. Effect of ascorbic acid, proline and jasmonic acid foliar spraying on fruit set and yield of Manzanillo olive trees under salt stress. *Scientia Horticulturae*, v. 176, p. 32-37, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.031>
- Fateh, M.; Barzegar, T. A. H. E. R.; Razavi, F. A. R. H. A. N. G. The Effect of Foliar Application of Ascorbic Acid and Calcium Lactate on Growth, Yield and Fruit Quality of Sweet Pepper. *Journal Of Horticultural Science*, v. 33, p. 79-87, 2019. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v33i1.70145>
- Fenn, M. A.; Giovannoni, J. J. Phytohormones in fruit development and maturation. *The Plant Journal*, v. 105, p. 446-458, 2021. <https://doi.org/10.1111/tpj.15112>
- Figueiredo, F. R.; Hafle, O. M.; Rodrigues, M. H. B. S.; Pereira Júnior, E. B.; & Delfino, F. I. Produtividade e qualidade dos frutos do maracujazeiro-amarelo sob diferentes formas de condução das plantas. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 11, p. 23-32, 2015. <https://doi.org/10.30969/acsa.v11i4.672>
- Formagio, M. G.; Fachi, L. R.; Dezengrini, E. M. B.; Krause, D. P.; Campos, T. N. V.; Lima, K. S.; Krause, W. Rede de correlações entre características de flor e de fruto do maracujazeiro-azedo. *Scientific Electronic Archives*, v. 14, p. 49-54, 2021. <https://doi.org/10.36560/14520211404>
- Gaafar, A. A.; Ali, S. I.; El-Shawadfy, M. A.; Salama, Z. A.; Şekara, A.; Ulrichs, C.; Abdelhamid, M. T. Ascorbic acid induces the increase of secondary metabolites, antioxidant activity, growth, and productivity of the common bean under water stress conditions. *Plants*, v. 9, p. 627, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9050627>
- Ghani, A.; Yousaf, M.; Hussain, K.; Hussain, S.; Razaq, A.; Akhtar, N.; Ibrar, I.; Kamal, N.; Ali, B.; Khan, A.; Shah, S.; Khanum, S.; Hassan, R. Relationship between high-temperature stress and key physio-chemical, reactive oxygen species and antioxidants in spring maize hybrids under semi-arid conditions. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*, v. 2023, p. 199-199, 2023. <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2023i1.199>
- Hagel, H.; Hoffmann, C.; Irmão, J. F.; Doluschitz, R. Socio-economic aspects of irrigation agriculture as livelihood for rural families in Brazil's semi-arid northeast.

- Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS), v. 120, p. 157-169, 2019. <https://doi.org/10.17170/kobra-20191127814>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Produção agrícola municipal 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 18 de out. 2023.
- Jesus, C. A. S. D.; Carvalho, E. V. D.; Girardi, E. A.; Rosa, R. C. C.; Jesus, O. N. D. Fruit quality and production of yellow and sweet passion fruits in northern state of São Paulo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, p. 1-7, 2018. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018968>
- Junqueira, C. N.; Augusto, Sc. Bigger and sweeter passion fruits: effect of pollinator enhancement on fruit production and quality. *Apidologie*, v. 48, p. 131-140, 2017. <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0458-2>
- Khazaei, Z.; Estaji, A. Effect of foliar application of ascorbic acid on sweet pepper (*Capsicum annuum*) plants under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 42, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03106-z>
- Lima, G. S. D.; Silva, J. B. D.; Pinheiro, F. W. A.; Soares, L. A. D. A.; Gheyi, H. R. Potassium does not attenuate salt stress in yellow passion fruit under irrigation management strategies. *Revista Caatinga*, v. 33, p. 1082-1091, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n423rc>
- Lima, G. S.; Silva, A. A. R.; Torres, R. A. F.; Soares, L. A. D. A.; Gheyi, H. R.; Silva, F. A.; Nobre, R. G.; Azevedo, C. A. V.; Lopes, K. P.; Chaves, L. H. G.; Lima, V. L. A. NPK Accumulation, Physiology, and Production of Sour Passion Fruit under Salt Stress Irrigated with Brackish Water in the Phenological Stages and K Fertilization. *Plants*, v. 12, p. 1-18, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12071573>
- Melo, T. A. D.; Serra, I. M. R. D. S.; Sousa, A. A.; Sousa, T. Y. O.; Pascholati, S. F. Effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract on post-harvest 'Tommy Atkins' mangoes. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, p. 1-12, 2018. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018621>
- Nunes, J. C. Trocas gasosas, composição mineral, produção e qualidade de maracujazeiro amarelo irrigado com água salina e adubado com potássio e biofertilizante. 2016. 164p. (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.
- Obi, V.I.; Barriuso, J.J.; Gogorcena, Y. Effects of pH and titratable acidity on the growth and development of *Monilinia laxa* (Aderh. & Ruhl.) in vitro and in vivo. *European*

- Journal of Plant Pathology, v. 151, p. 781-790, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1413-4>
- Patono, D. L.; Said-Pullicino, D.; Eloi Alcatrão, L.; Firbus, A.; Ivaldi, G.; Chitarra, W.; Ferrandino, A.; Aimonino, D. R.; Celi, L.; Gambino, G.; Perrone, I.; Lovisoló, C. Photosynthetic recovery in drought-rehydrated grapevines is associated with high demand from the sinks, maximizing the fruit-oriented performance. *The Plant Journal*, v. 112, p. 1098-1111, 2023. <https://doi.org/10.1111/tpj.16000>
- Pinheiro, F. W. A.; Lima, G. S.; Sousa, P. F. N.; Souza, W. B. B.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Felix, C. M.; Paiva, F. J. S. Potassium fertilization in the cultivation of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, p. 42-50, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n1p42-50>
- Ripoll, J.; Urban, L.; Staudt, M.; Lopez-Lauri, F.; Bidel, L. P.; Bertin, N. Water shortage and quality of fleshy fruits—making the most of the unavoidable. *Journal of Experimental Botany*, v. 65, p. 4097-4117, 2014. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru197>
- Saddhe, A. A.; Manuka, R.; Penna, S. Plant sugars: Homeostasis and transport under abiotic stress in plants. *Physiologia plantarum*, v. 171, p. 739-755, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13283>
- Sajid, M.; Ali Khan, M.; Bilal, W.; Rab, A.; Iqbal, Z. Anti-Oxidant Activities, Chemical Attributes and Fruit Yield of Peach Cultivars as Influenced by Foliar Application of Ascorbic Acid. *Gesunde Pflanzen*, v. 69, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10343-017-0395-7>
- Silva, L. A. P.; Silva, C. R.; Souza, C. M. P.; Bolfe, É. L.; Souza, J. P. S.; Leite, M. E. Mapping of aridity and its connections with climate classes and climate desertification in future scenarios-Brazilian semi-arid region. *Sociedade & Natureza*, v. 35, p. e67666, 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-67666x>
- Souza, P. U.; Lima, L. K. S.; Soares, T. L.; De Jesus, O. N.; Coelho Filho, M. A.; Girardi, Ea. Biometric, physiological and anatomical responses of *Passiflora* spp. to controlled water deficit. *Scientia Horticulturae*, v. 229, p. 77-90, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.019>
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 627p.



- Turazi, C.M.V.; Fernandes, P.C.C.; Faleiro, F.G.; Costa, Am. Analysis of collaboration networks for scientific and technological research on passion Fruit. *Ciência Rural*, v. 54, p. e20220443, 2023. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220443>
- Xu, L.; Zang, E.; Sun, S.; Li, M. Main flavor compounds and molecular regulation mechanisms in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, p. 1-21, 2022. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2097195>
- Zheng, X.; Gong, M.; Zhang, Q.; Tan, H.; Li, L.; Tang, Y.; Li, Z.; Peng, M.; Deng, W. Metabolism and regulation of ascorbic acid in fruits. *Plants*, v. 11, p. 1602, 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11121602>

## **CAPÍTULO IV**

---

### **Composição mineral e produtividade de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação deficitária e aplicação foliar de ácido ascórbico**

## **Composição mineral e produtividade de maracujazeiro-azedo sob estratégias de irrigação deficitária e aplicação foliar de ácido ascórbico**

**RESUMO:** A escassez hídrica tem se tornado um problema recorrente em todo o mundo, sendo que seus efeitos nas plantas variam de acordo com a fase desenvolvimento. Contudo, a intensidade do estresse pode ser amenizada pela aplicação de elicitores, sendo o ácido ascórbico um dos mais promissores. Nessa perspectiva, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar a composição mineral e a produtividade do maracujazeiro-azedo cultivado sob estratégias de irrigação deficitária e aplicações foliares de ácido ascórbico em área semiárida do Brasil. Sendo assim, os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, no esquema de parcela subdividida, sendo as parcelas constituídas de seis estratégias de irrigação deficitária com base nas fases fenológicas do maracujazeiro-azedo (irrigação com 100% da ETc durante todo ciclo de cultivo - E1; irrigação com 50% da ETc nas fases vegetativa - E2; floração - E3; frutificação - E4; sucessivamente nas fases vegetativa/floração - E5 e vegetativa/frutificação - E6) e as subparcelas representadas por três concentrações de ácido ascórbico - AsA (0; 0,5 e 1,0 mM), com três repetições e três plantas por parcela. As plantas, em geral, apresentaram teor foliar dos nutrientes abaixo dos níveis ótimos relatados na literatura. Os teores de nutrientes foliar tiveram ordem de concentração de Cl>N>K>S>P>Na nas plantas sob irrigação plena durante todo o ciclo (100% da ETc) e nas que receberam AsA, alterada para Cl>N>K> P>S> Na nas plantas sob déficit hídrico e sem aplicação de AsA, aos 200 dias após o transplântio. As condições de déficit hídrico, independente da estratégia utilizada resultou na diminuição na produtividade, eficiência no uso da água e teores foliares de nutrientes. O déficit hídrico na fase de floração e vegetativa/frutificação proporcionou maior redução na produtividade aos 220 dias após o transplântio. E o AsA na concentração de 0,5 e 1,0 mM contribuiu para melhorar a eficiência nos teores de nutrientes foliares e produtivo.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* Sims, déficit hídrico, semiárido, composto não enzimático

## **Mineral composition and productivity of passion fruit under deficit irrigation strategies and foliar application of ascorbic acid**

**ABSTRACT:** Water scarcity has become a recurring problem throughout the world, and its effects vary according to the plant's development stage. However, the intensity of stress can be alleviated by the application of elicitors, with ascorbic acid being one of the most promising. From this perspective, the objective of this research was to evaluate the mineral composition and productivity of sour passion fruit cultivated under deficient irrigation strategies and foliar applications of ascorbic acid in a semi-arid area. The treatments were distributed in randomized blocks, in a split-plot scheme, with the plots consisting of six deficit irrigation strategies, based on crop evapotranspiration - E<sub>Tc</sub> (irrigation with 100% of E<sub>Tc</sub> during the entire crop cycle - E1; irrigation with 50 % of E<sub>Tc</sub> in the vegetative phases - E2; flowering - E3; fruiting - E4; successively in the vegetative/flowering phases - E5 and vegetative/fruiting phases - E6) and the subplots represented by three concentrations of ascorbic acid - AsA (0; 0.5 and 1.0 mM), with three replications and three plants per plot. The plants, in general, presented leaf nutrient content below the optimal levels reported in the literature. Leaf nutrient contents showed order of concentration of Cl>N>K>S>P>Na in plants under ideal irrigation management and in those that received AsA, changed to Cl>N>K> P>S> Na in plants under water deficit and without application of AsA, 200 days after transplanting. Water deficit conditions, regardless of the strategy used, result in damage to productivity, water use efficiency and foliar nutrient content of sour passion fruit. The water deficit in the flowering and vegetative/fruiting phases presented the greatest damage to the productivity of the sour passion fruit at 220 DAT. AsA at concentrations of 0.5 and 1.0 mM contributed to improving the efficiency of foliar nutrient content and productivity of sour passion fruit.

**Key words:** *Passiflora edulis* Sims, water deficit, semiarid, non-enzymatic compound

## 1. INTRODUÇÃO

A escassez hídrica consiste em um fenômeno que ocorre periodicamente em diversas zonas climáticas, no entanto, as estimativas alertam para o agravamento dessa condição para os próximos anos, sobretudo, em áreas áridas e semiáridas, que já possuem problemas recorrentes do estresse térmico provocado pela baixa umidade do ar e elevadas temperaturas ao longo do ano (Meza et al., 2020; Chaudhry & Sidhu, 2022). Essa situação é frequentemente observada no nordeste brasileiro, visto que apresenta 1.006.654 km<sup>2</sup> do seu território classificado como semiárido (Marengo et al., 2020).

No entanto, mesmo com as adversidades climáticas, a agricultura da região apresenta potencial de expansão por meio da irrigação, especialmente, de frutíferas tropicais, como as plantas do gênero das passifloráceas (Silva et al., 2018). Nesse grupo, destaca-se o maracujazeiro-azedo, com a maior expressão econômica da família, por apresentar frutos de qualidade nutricional e sabor característico, chama atenção do mercado consumidor tanto para o fruto *in natura* quanto para industrializados (Biswas et al., 2021). A sua aceitação impulsiona o seu cultivo na região nordeste, sendo a maior área de passicultura do país, representando 69,77% de toda a produção nacional, estimada em 697.859t no ano de 2022 (IBGE, 2023). Entretanto, a produtividade se encontra abaixo da média nacional (15,30 t ha), fato que pode estar relacionado as adversidades climáticas, principalmente, do semiárido, como observado Lima et al. (2020) em maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1.

Dentre os impactos do déficit hídrico nas plantas destaca-se a redução na absorção e translocação de água, o que resulta em perdas de turgidez e diminuição da fotossíntese, ocasionando desbalanço energético na membrana do tilacóides e perdas metabólicas, causando problemas no controle da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), agravada em condições de semiárido, provocando perdas na produtividade, além de desbalanço nutricional pelas restrições hídricas (Kumar et al., 2019; Seleiman et al., 2021). No entanto, a intensidade desses efeitos varia de acordo com a espécie e cultivares de plantas, ambiente, pelo estado desenvolvimento da cultura e duração a exposição ao estresse, manejo de irrigação, condições climáticas e aplicação substâncias foliares (Ozturk et al., 2020). Fato que estabelece a necessidade de elucidação dos impactos do déficit hídrico na nutrição e produção em condições adversas em fases fenológicas específicas.

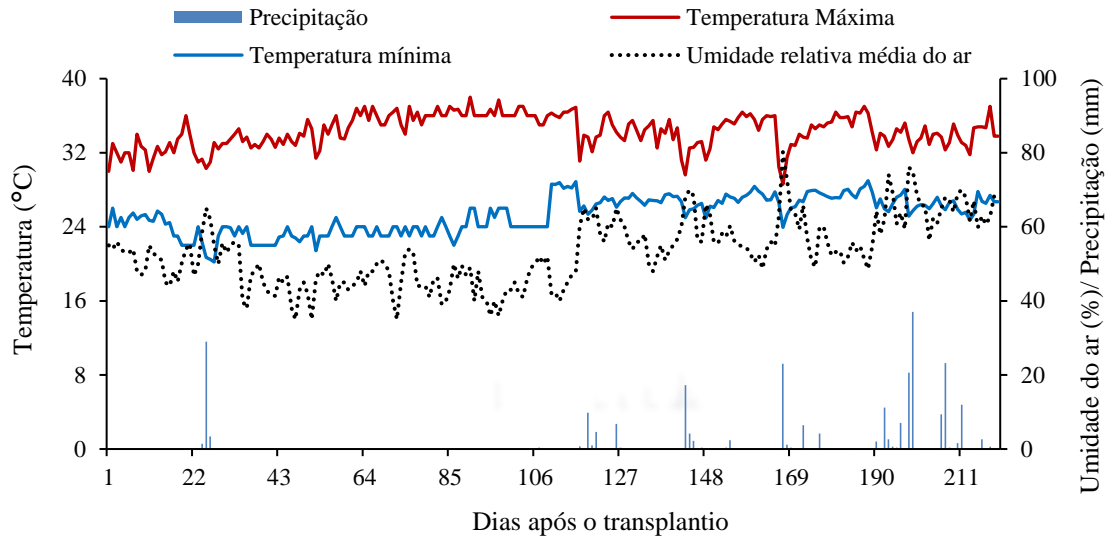
Além disso, a utilização de elicitores tem demonstrado ser um aliado promissor na redução dos impactos negativos nas condições de estresse abiótico, tendo como destaque o ácido ascórbico na condição de déficit hídrico (Gaafar et al., 2020; Khazaei & Estaji 2020). Por se tratar de um composto não enzimático, o AsA tem sido efetivo no combate de EROs, devido a sua atuação na síntese de antioxidantes, além de evitar a fotodegradação, melhorando a atividade metabólica da planta sob condições de estresse (Foyer et al., 2020; Celi et al., 2023). Além disso, contribui com o aumento na absorção de nutrientes e produção, como demonstrado por Awad et al. (2021) em batata doce (*Ipomoea batatas*).

No entanto, estudos com AsA em frutíferas sob condições déficit hídrico são escassos, sobretudo, quando a condição de estresse ocorre em fases específicas de desenvolvimento da cultura. Assim, considerando a importância do maracujazeiro-azedo para o nordeste brasileiro e a falta de estudos que comprovem os efeitos do AsA na atenuação do déficit hídrico variando os estádios de desenvolvimento objetivou-se com a presente pesquisa avaliar a composição mineral e a produtividade do maracujazeiro-azedo cultivado sob estratégias de irrigação deficitária e aplicações foliares de ácido ascórbico em área semiárida.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no período de maio de 2022 a fevereiro de 2023 no setor 1 lote 35 do perímetro irrigado das Várzeas de Sousa, localizado no município de Aparecida, Paraíba, cujas coordenadas geográficas estão situadas a 6° 49' 21,2" de latitude Sul, 38° 6' 3,9" de longitude a oeste, com altitude de 237 m, inserido na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Bsh (quente), com temperatura média anual por volta dos 27 °C e índice pluviométrico em média de 840 mm anuais e evapotranspiração de 1280 mm anuais, com chuvas de verão no outono, resultantes da atuação das frentes de convergência intertropical (Alvares et al., 2013).

Durante a condução do experimento em campo, foram coletadas diariamente os dados referentes à temperatura máxima, mínima e umidade relativa média do ar, obtidos na estação meteorológica de São Gonçalo (Sousa - PB), localizada a 25 km da área experimental e estão apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Dados de temperaturas máximas e mínimas diárias, umidade relativa média do ar e precipitação durante o período de condução do experimento (1 – 220 dias após o transplântio).

Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, sendo as parcelas constituídas de seis estratégias de manejo de irrigação deficitária, baseadas na evapotranspiração da cultura - ET<sub>c</sub> (irrigação com 100% da ET<sub>c</sub> durante todo ciclo de cultivo - E1; irrigação com 50% da ET<sub>c</sub> nas fases vegetativa - E2; floração - E3; frutificação - E4; sucessivamente nas fases vegetativa/floração - E5; e vegetativa/frutificação - E6) e as subparcelas representadas por três concentrações de ácido ascórbico - AsA (0; 0,5 e 1,0 mM), com três repetições e três plantas por parcela, correspondendo ao total de 162 unidades experimentais. A área total do experimento foi de 2178 m<sup>2</sup>, com uma linha de plantio adicional ao redor de área experimental considerada como bordadura para evitar a interferência de plantas invasoras. As concentrações de AsA foram estabelecidas a partir dos resultados do estudo de Khazaei e Estaji (2020) com a cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.).

As mudas de maracujazeiro-azedo foram formadas em sacolas de polietileno com dimensões de 18 cm de altura e 13 cm de diâmetro contendo substrato formado a partir de duas partes de mesmo solo da área experimental e uma parte de esterco bovino curtido (em base de volume). Em cada sacola foram semeadas três sementes do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 na profundidade de 2 cm da superfície do solo. A ‘BRS GA1’ possui frutos em formato oblongo, com a base e o ápice ligeiramente achatados, peso entre 120 e 350 g, rendimento de polpa em torno de 40% e teor de sólidos solúveis de 13 a 15° Brix (Andrade Neto et al., 2008). Após emergência das plântulas, foi realizado o desbaste,

deixando apenas a planta de maior vigor. Após o surgimento das gavinhas (70 dias após o semeio), momento em que as plantas apresentavam altura de 30 cm, foi feito o transplântio das mudas para o campo.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (Santos et al., 2018), sendo a amostra de solo coletada na profundidade de 0 – 20 cm para determinar as características físicas e químicas, conforme metodologia de Teixeira et al. (2017), conforme Tabela 1. O preparo do solo ocorreu por uma gradagem, visando o destorroamento e nivelamento do solo, seguindo da demarcação, instalação do sistema de irrigação e estaqueamento da espaldeira.

**Tabela 1.** Composição física e química do solo (profundidade 0-0,20 m) da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos.

Física	Valor	Fertilidade	Valor
Areia (%)	61,49	pH em água (1: 2,5)	7,72
Silte (%)	30,15	CEes (mmhos/cm)	0,12
Argila (%)	8,36	K <sup>+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	54,10
Classe textural	Franco	Na <sup>+</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	2,20
	Arenoso	Al <sup>+3</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	0,00
ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,33	H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	0,00
dp (g cm <sup>-3</sup> )	2,65	Ca <sup>+2</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	65,70
P (%)	49,81	Mg <sup>+2</sup> (mmolc kg <sup>-1</sup> )	52,80
U (% base solo seco)		SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	174,80
Natural	0,50	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	174,80
0,33 atm	16,75	MO (%)	1,38
15,0 atm	6,50		
Água disponível	10,25		

CEes = Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC = Capacidade de troca catiônica = SB + (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>); dp = densidade de partícula; ds = Densidade do solo; MO = Matéria orgânica; PST = Percentagem de sódio trocável (100 × Na<sup>+</sup>/ CTC); RAS = Relação de adsorção de sódio = Na<sup>+</sup> × [(Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>)/2] -1/2; SB = Soma de bases (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup> + Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>); U = Umidade do solo.

A abertura das covas foi de forma manual, com auxílio de uma cavadeira, nas dimensões de 40 × 40 × 40 cm. No material retirado dos primeiros 20 cm de solo foi adicionado 50 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando superfosfato simples (18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 16% Ca<sup>2+</sup>; 10% S). As adubações de nitrogênio e potássio foram realizadas semanalmente via fertirrigação a partir dos 15 dias após o transplântio (DAT), tendo como fonte a Ureia (45% N) e o cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O), aplicando 75 g de N e K<sub>2</sub>O por planta nas fases vegetativa e de floração; e frutificação de 160 e 280 g de N e K<sub>2</sub>O por planta. A adubação fosfatada em cobertura foi com 10, 20 e 20 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aos 30, 120 e 210 DAT, com adubo superfosfato simples, antes da aplicação para facilitar a mineralização e absorção pelas plantas. A adubação com boro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco foi feita mensalmente via foliar, através do produto comercial Dripsol micro<sup>®</sup> (1,2% Magnésio, 0,85 % Boro,



3,4% Ferro, 4,2% Zinco, 3,2 % Manganês, 0,5% Cobre e 0,06% Molibdênio). As adubações com macro e micronutrientes foram baseadas nas recomendações de Costa et al. (2008) para a cultura do maracujazeiro-azedo.

Após o transplântio das mudas no campo, as plantas foram conduzidas em haste única até atingirem o arame de sustentação nº 12, instalado no topo das estacas distanciadas entre si em 3 m e com altura de 2,2 m do solo. Quando chegaram ao topo da espaldeira, foi efetuada a poda da haste principal e a condução de dois ramos laterais em sentidos opostos do arame. Os ramos laterais foram conduzidos até o comprimento de 1,5 m quando atingiu a estaca, momento da poda dos ramos laterais para que ramos produtivos fossem emitidos para a formação da “cortina”. A poda dos ramos produtivos foi realizada a 30 cm do solo, para evitar possíveis doenças de solo. Ao longo do experimento ocorreu a prática de remoção de gavinhas, galhos e folhas com sintomas de doenças ou mortas conforme necessidade. Para o controle de pragas foram usados os defensivos evidence® 700WG e actara® 250WG, constituídos pela molécula imidacloprido e tiametoxam, respectivamente.

O sistema de irrigação localizado por gotejamento, com tubos de PVC de 50 mm na linha principal e tubos de polietileno de baixa densidade de 16 mm nas linhas laterais com gotejadores de vazão 10 L h<sup>-1</sup>. Em cada planta inseridos dois gotejadores autocompensantes (modelo GA 10 Grapa), cada um a 15 cm do caule. As estratégias de irrigação seguiram de acordo com a evapotranspiração da cultura, sendo a lâmina 100% da ET<sub>c</sub> calculada com base em Bernardo et al. (2013), a lâmina de 50% da ET<sub>c</sub> pela divisão da ET<sub>c</sub>, conforme a Eq. 1:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Em que:

ET<sub>c</sub> - evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>;

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia<sup>-1</sup>; e,

K<sub>c</sub> - coeficiente de cultivo, adimensional.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) determinada diariamente a partir de dados climáticos coletados na Estação Meteorológica de São Gonçalo, os dados aplicados para determinação ET<sub>o</sub> pelo método de Penman-Monteith. Para a fase vegetativa adotou-se o coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) de 0,4 (de 15-120 DAT), 0,8 para a fase de floração (de 121-160 DAT) e 1,2 na fase de frutificação (de 161-220 DAT), de acordo com a recomendação contida em Nunes et al. (2016). A fase vegetativa compreendeu o período do transplântio até o surgimento do primórdio floral; Floração - do surgimento do primórdio floral e o

total desenvolvimento do botão floral (antese); Frutificação - da fecundação do botão floral até o surgimento dos frutos com manchas amarelas entremeadas, sendo a mudança de fase aplicada quando 50% das plantas apresentavam as características fenológicas pertinentes a próxima etapa de desenvolvimento (Pinheiro et al., 2023).

A aplicação do AsA se iniciou 20 dias após o transplantio (DAT), com auxílio do pulverizador costal Jacto<sup>®</sup> PJH, com capacidade de 20 L, pressão de serviço de 100 psi e bico JD 12 (770 ml/min), tendo início a partir das 17:00 horas, visando o molhamento completo da área foliar conforme os tratamentos. Para fixação da solução a folha foi empregado o espalhante adesivo WIL FIX<sup>®</sup>, sendo o preparo da solução realizado em cada evento de aplicação através de diluição em água de abastecimento local (CEa = xx dS m<sup>-1</sup>). Ao total foram 18 aplicações de AsA ao longo do ciclo da cultura, em intervalos de 10 dias, com o volume final de calda aplicada de 5,6 L por planta. As estratégias de manejo da irrigação com déficit hídrico se iniciaram aos 30 DAT, quando as mudas já estavam aclimatadas às condições de campo.

Aos 200 DAT foram coletadas folhas de maracujazeiro-azedo para avaliação da composição mineral, sendo selecionadas apenas as sadias do terço médio dos ramos produtivos para determinação dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), sódio (Na) e cloreto (Cl), expressos em g kg<sup>-1</sup>. Para tanto, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel tipo Kraft e postas para secar em estufa de circulação de ar a 65°C até peso constante. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho de facas Tipo Willye. A metodologia de determinação dos elementos seguiu o proposto por Silva (1999) por meio da digestão nítrica (P, Na, K, S) e sulfúrica (N). Os teores de sódio e potássio foram obtidos pela técnica de fotometria de chama e o fósforo pelo método colorimétrico do molibdato-vanadato, no espectrofotômetro.

O período de colheita foi mensurado entre os 160 aos 220 DAT, de forma manual, quando os frutos apresentavam coloração amarelada ou avermelhada. Os dados de produtividade (PROD), em t ha<sup>-1</sup>, foram obtidos multiplicando o valor médio obtido por planta em cada repetição pela quantidade de plantas correspondente a 1 hectare, sendo considerado a densidade de 1.111 plantas/ha. A eficiência do uso da água (EUA) seguiu a razão entre a PROD e o consumo hídrico das plantas em cada estratégia de irrigação, cujos valores estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Consumo hídrico do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1 em cada estratégia de irrigação, conforme o calculado pela evapotranspiração da cultura dos 30 aos 220 dias após o transplântio.

Estratégias de irrigação	DAT	Consumo hídrico (mm)
E1	30-220	1212
E2	30 - 120	1004
E3	121-160	1090
E4	161-220	936
E5	15 -160	882
E6	30 – 120 /161-220	729

E1 - Irrigação com 100% da evapotranspiração da cultura - ETc durante todo ciclo de cultivo; E2 - irrigação com 50% da ETc nas fases vegetativa; E3 - floração; E4 - frutificação; E5 -sucessivamente nas fases vegetativa/floração; E6 - vegetativa/frutificação

Os dados coletados passaram pelo teste de normalidade da distribuição (Shapiro-Wilk), para então ser feita análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). Nos casos de significância, foi usado o teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ) para comparação das médias relativas as estratégias de manejo de irrigação com déficit hídrico e Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para as concentrações de AsA, pelo software estatístico SISVAR-ESAL (Ferreira, 2019). A correlação de Pearson foi empregue para estabelecer as relações dentre as variáveis analisadas com o programa estatístico R.

### 3. RESULTADOS

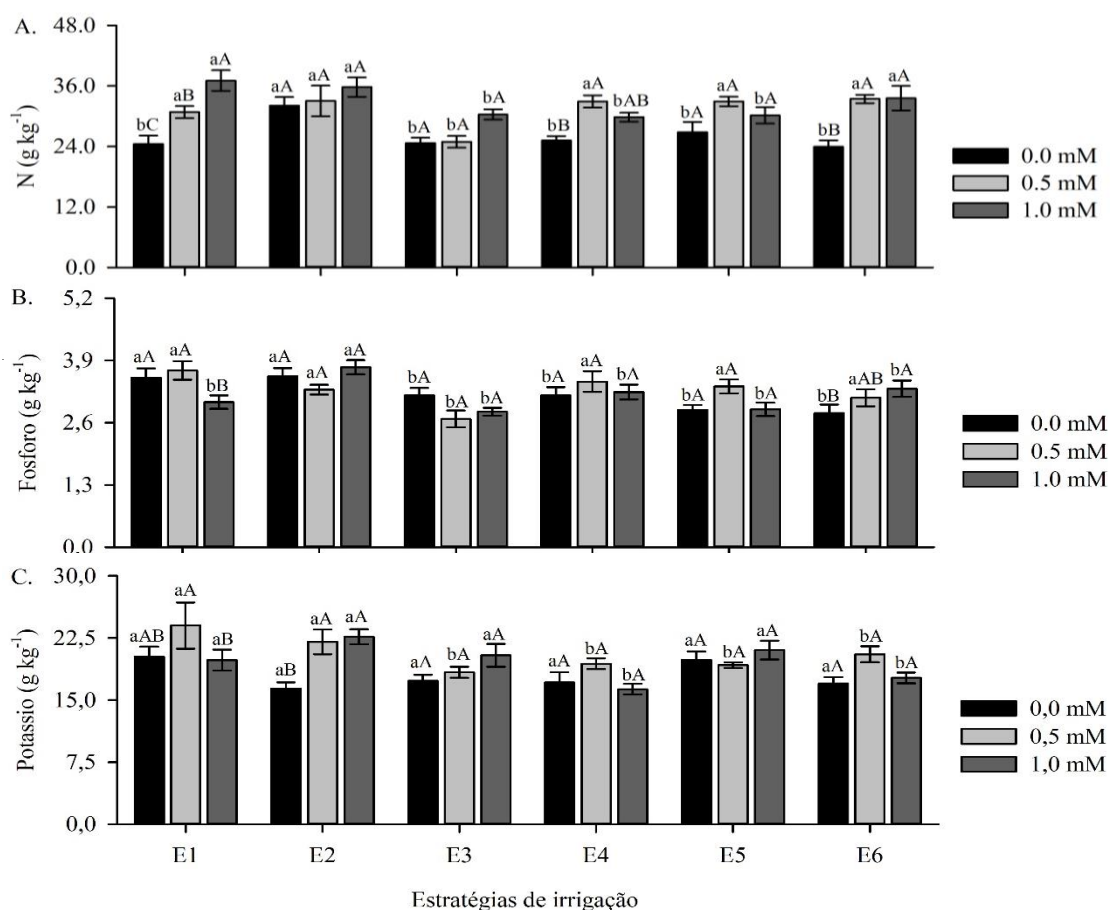
De acordo com os valores de quadrado médio da análise de variância (Tabela 3), constata-se efeito significativo da interação entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (E) e as concentrações de ácido ascórbico (AsA) em todas as variáveis da composição mineral e na produtividade do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), sódio (Na), Cloreto (Cl) aos 200 DAT, bem como a produtividade (PROD) e eficiência no uso dá água (EUA) do maracujazeiro-azedo cultivado sob estratégias de manejo da irrigação com déficit hídrico (E) e concentrações de ácido ascórbico (AsA), aos 220 dias após o transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios							
		N	P	K	S	Na	Cl	PROD	EUA
Estratégias (E)	5	0,48**	0,55*	17,74**	1,77**	0,057**	110,73**	6,75**	2,91**
AsA (A)	2	2,05**	0,04 <sup>ns</sup>	8,60**	1,94**	0,022**	84,89**	21,32**	24,05**
E × A	10	0,20*	0,23**	9,70**	2,32**	0,013**	24,44**	4,25**	5,91**
Blocos	2	0,034 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	3,11 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
CV1 (%)		8,96	10,76	12,24	7,26	14,43	9,65	8,94	9,22
CV2 (%)		9,72	7,61	9,79	12,89	7,84	7,09	8,49	8,75
Média		2,99	3,21	19,41	3,27	0,41	33,21	4,18	4,31

ns, \*\*, \* respectivamente não significativo, significativo a  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$ ;

As plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa apresentaram os maiores teores de nitrogênio nas folhas, (32,12 g kg<sup>-1</sup>), superior em 31,21% ao obtido nas plantas que passaram pela irrigação plena (100% da ETc), que obtiveram 24,48 g kg<sup>-1</sup> (Figura 2A). Para as demais estratégias de irrigação, não foram identificadas grandes diferenças em comparação ao observado na E1. Com a aplicação de AsA, os teores de N cresceram na E1 e E6 em ambas as concentrações avaliadas, semelhantes aos valores obtidos na E2, que não diferiu de forma significativa das plantas sem e com aplicação da concentração de AsA. É uma resposta similar a E3 e E5. As plantas cultivadas sob estratégia E4 e aplicação foliar de AsA na concentração de 0,5 mM alcançaram teores de N de 32,93 g kg<sup>-1</sup>, resultando em incremento de 30,73% em relação as plantas sem aplicação de AsA.



Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

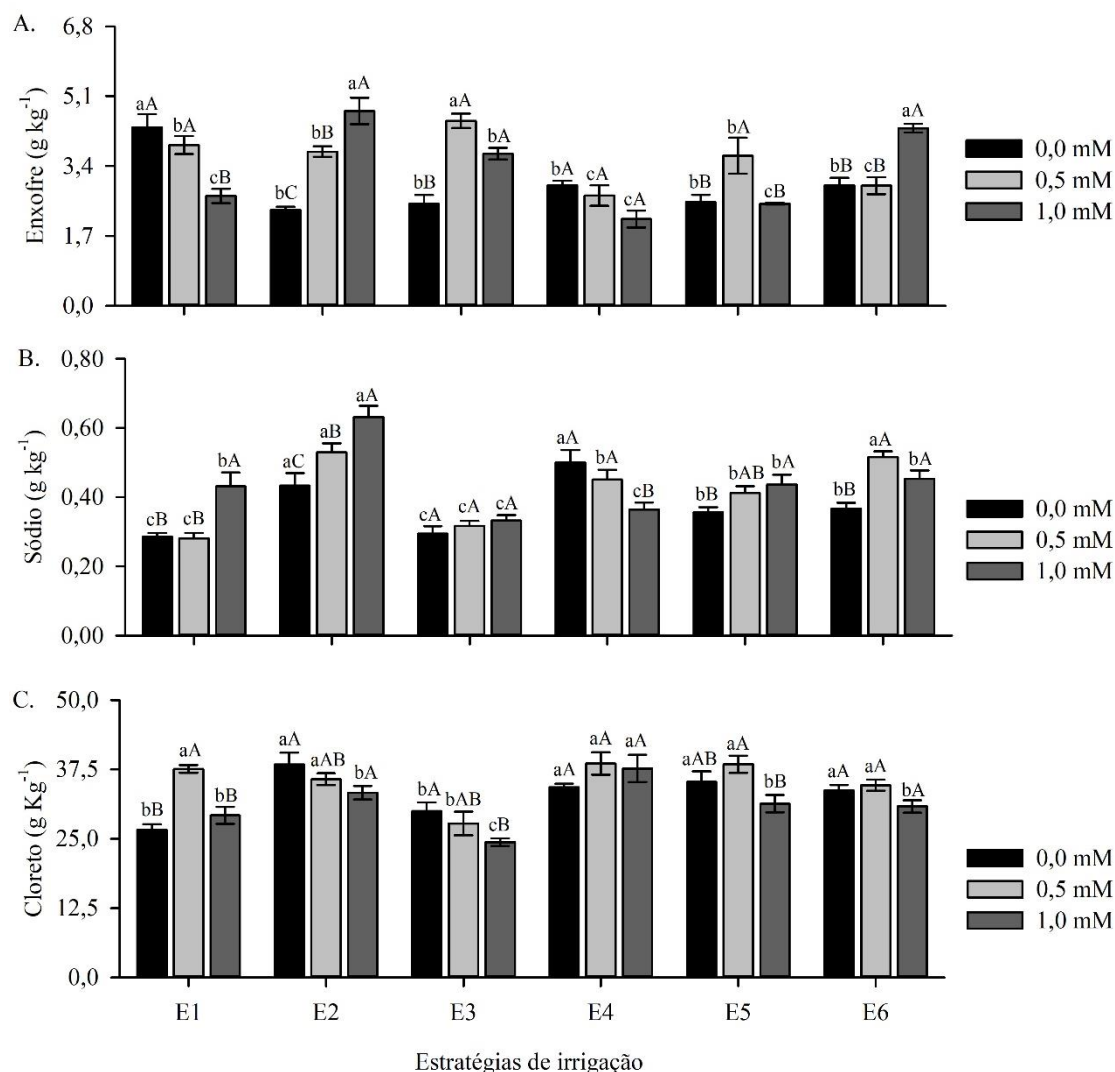
**Figura 2.** Teores foliares de nitrogênio – N (A), fósforo – P (B) e potássio – K (C) das plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, em função da interação entre os fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico, aos 200 dias após o transplantio.

Para os teores de fósforo foliar (Figura 2B), nas plantas sob irrigação plena, as plantas sem (E1) e com déficit hídrico na fase vegetativa (E2) alcançaram as maiores médias dentre as estratégias sem aplicação de AsA, com valores de 3,54 e 3,57 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. As plantas cultivadas sob E2 e aplicação de AsA, não tiveram diferença estatística nos teores de P, independente da concentração de AsA. Situação semelhante nas estratégias E3, E4 e E5, mas, diferindo do obtido na E1, em que a concentração de 1,0 mM de AsA reduziu 14,41% os teores de P em comparação ao obtido nas plantas cultivadas sob 0 mM de AsA. A E2 permitiu o maior valor (3,76 g kg<sup>-1</sup>) dentre as estratégias de irrigação nas plantas que receberam a concentração de AsA de 1,0 mM. Os teores foliares de P das plantas cultivadas sob a estratégia E6, diferiram de forma significativa das submetidas a E1, a aplicação foliar de AsA na concentração de 1,0 mM aumentou em 18,21% em relação as plantas sem aplicação de AsA.

Os teores foliares de potássio não receberam tanta influência das estratégias de irrigação testadas (Figura 2C). Contudo, as diferenças foram significativas com aplicação foliar de AsA nas concentrações de 0,5 e 1,0 mM em relação a testemunha na estratégia E2, com ambas as concentrações resultando em aumento no teor de K foliar, passando do valor de 16,39 g kg<sup>-1</sup> para 22,04 e 22,66 g kg<sup>-1</sup> nas respectivas concentrações de 0,5 e 1,0 mM, com incremento de 34,47 e 38,25% em comparação com as plantas sem aplicação de AsA. As concentrações de AsA nas plantas cultivadas sob irrigação plena (E1) não diferiram das plantas testemunhas (0,0 mM).

A condição de déficit hídrico prejudicou o acúmulo de enxofre nas folhas das plantas de maracujazeiro-azedo sem AsA (Figura 3A), sendo observado em todas as estratégias de irrigação valores inferiores (4,34 g kg<sup>-1</sup>) aos obtidos sob irrigação plena durante todo o ciclo (E1). Por outro lado, a aplicação de AsA na concentração de 1,0 mM reduziu S em 38,48% em relação as plantas cultivadas que não receberam aplicação de AsA na E1, diferindo das demais estratégias, destacando-se as plantas cultivadas sob E2 e E3 que mostraram incremento em ambas as concentrações de AsA. Contudo, a aplicação foliar de AsA nas concentrações de 1,0 mM resultou no maior valor de S (4,74 g Kg<sup>-1</sup>) na E2 e de 0,5 mM nas plantas cultivadas sob E3 (4,5 g kg<sup>-1</sup>), aumentos de 103,43 e 81,45% em comparação as que não receberam aplicação de AsA, nas respectivas estratégias de irrigação. Respostas positivas para a E5 foram obtidas nas plantas sob aplicação da concentração de 0,5 mM, resultando no valor de 3,65 g Kg<sup>-1</sup>. Enquanto na E6, ganho de

47,44% nas plantas sob aplicação de 1,0 mM em relação as plantas testemunhas. A E4 não resultou em diferenças significativas pelo fator AsA.



Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 3.** Teores foliares de enxofre – S (A), sódio – Na (B) e cloreto – Cl (C) das plantas de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, em função da interação entre os fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico, aos 200 dias após o transplantio.

Na Figura 3B, nota-se que as plantas cultivadas sob déficit hídrico na fase de floração apresentaram teores de sódio similares aos obtidos sob irrigação plena (100% da ETc), diferindo de forma significativa das demais estratégias de irrigação deficitária, que tiveram aumento nos teores de Na foliares, com destaque para E2 (0,433 g kg<sup>-1</sup>) e E4

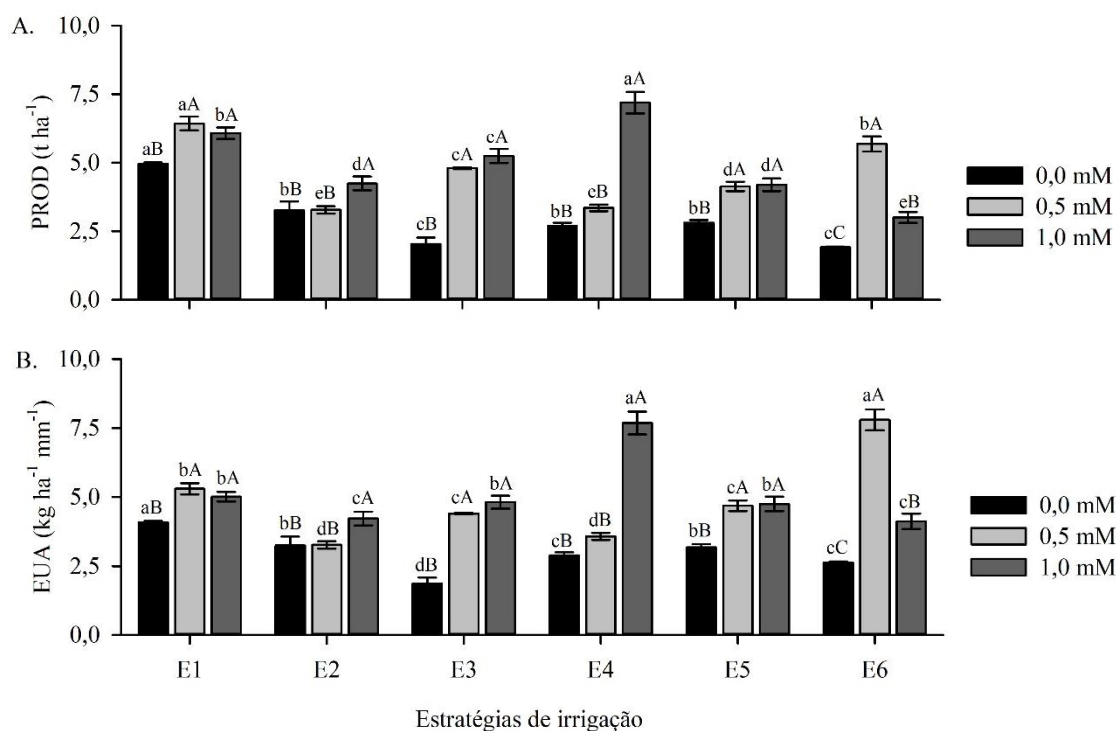
(0,501 g kg<sup>-1</sup>) com os maiores valores sem aplicação de AsA, equivalente aos aumentos de 51,66 e 75,25% em relação ao obtido nas folhas de maracujazeiro-azedo sob E1 (0,286 g kg<sup>-1</sup>), respectivamente.

Com a aplicação de AsA, os teores de Na diminuíram nas plantas cultivadas sob E4 e concentração de 1,0 mM, com decréscimo de 27,24% em relação as plantas testemunhas (0,0 mM). Enquanto na E2, aumentos de 22,24 e 45,79% com os acréscimos na concentração de AsA, sendo o valor (0,632 g kg<sup>-1</sup>) obtido nas plantas cultivadas sob aplicação foliar de 1,0 mM. As plantas que passaram pela concentração de 1,0 mM de AsA diferiram significativamente das que não receberam ácido ascórbico (0 mM) nas estratégias E1 e E5, resultando em ganhos de 51,10 e 22,56%, respectivamente. Nas plantas cultivadas sob E6, ambas as concentrações de AsA resultaram em aumento nos teores de sódio, com incrementos de 40,68 e 23,51%, respectivamente, quando receberam 0,5 e 1,0 mM em relação as plantas sem aplicação de AsA (0 mM). Entretanto, sem diferenças significativas nos teores de sódio pela aplicação de AsA nas plantas submetidas a estratégia a E3.

Os menores teores de cloreto nas folhas do maracujazeiro-azedo cultivado sem aplicação de AsA, foram obtidos sob irrigação plena durante todo o ciclo de cultivo - E1 (26,6 g kg<sup>-1</sup>) e E3 (29,97 g kg<sup>-1</sup>). Contudo, nas demais estratégias de irrigação com déficit hídrico foram alcançados valores superiores as plantas cultivadas sob irrigação plena (100% da ETc) durante todo o ciclo (Figura 3C). A aplicação de 1,0 mM de AsA contribuiu para reduzir os teores de Cl nas folhas do maracujazeiro-azedo sob E2 e E3, com reduções de 13,28 e 18,58% em relação as plantas do tratamento testemunha (0,0 mM) em cada estratégia de irrigação. Aumento nos teores de Cl pela aplicação de AsA obtido na E1 sob concentração de 0,5 mM, que resultou em acréscimo de 41,35% em comparação as plantas sem aplicação de AsA. Nas demais estratégias não foram observadas diferenças significativas nos teores de Cl nas plantas sem e com aplicação de AsA. Contudo, nas plantas cultivadas sob E5 e aplicação foliar de 0,5 mM de AsA, houve um aumento nos teores foliares de Cl de 22,66% em relação ao valor encontrado na concentração de 1,0 mM.

Dentre as estratégias de irrigação, o déficit hídrico reduziu a produtividade em todas as fases de desenvolvimento do maracujazeiro-azedo (Figura 4A), com a maior interferência ocorrendo na fase de floração (E3) e vegetativa/produção (E6), com valores de 58,92 e 61,35% inferiores a E1, que apresentou o valor de 4,95 t ha<sup>-1</sup>. Com a aplicação de AsA, efeitos positivos foram constatados em todas as estratégias de irrigação, ambas

as concentrações elevaram a PROD na E1, E3, E5 e E6, sendo que nessa última, a concentração de 0,5 mM estabeleceu aumento de 197,04% em relação as plantas sem aplicação de AsA, resultando no valor de 5,68 t ha<sup>-1</sup>. Já a concentração de 1,0 mM resultou em adição de 30,06 % na E2 em relação as plantas que não receberam aplicação de AsA, comportamento similar da E4, porém, com essa concentração, ocasionando aumento de 165,97% ao obtido nas plantas testemunhas (0,0 mM), representando o maior valor nessa concentração, de 7,19 t ha<sup>-1</sup>.



Letra minúscula e maiúscula idêntica, indica não haver diferença significativa entre as estratégias de irrigação com déficit hídrico (Scott-Knott,  $p \leq 0,05$ ) e concentrações de ácido ascórbico (Tukey,  $p \leq 0,05$ ), respectivamente. Barras na vertical representam o erro padrão da média ( $n = 3$ ); E1 – sem déficit hídrico ao longo do ciclo da cultura; E2, E3, E4, E5 e E6 correspondem ao déficit hídrico nas fases vegetativa; floração; frutificação; vegetativa/floração; e vegetativa/frutificação, respectivamente.

**Figura 4.** Produtividade – PROD (A) e eficiência no uso da água – EUA (B) do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, em função da interação entre os fatores estratégias de irrigação com déficit hídrico e concentrações de ácido ascórbico, aos 220 dias após o transplantio.

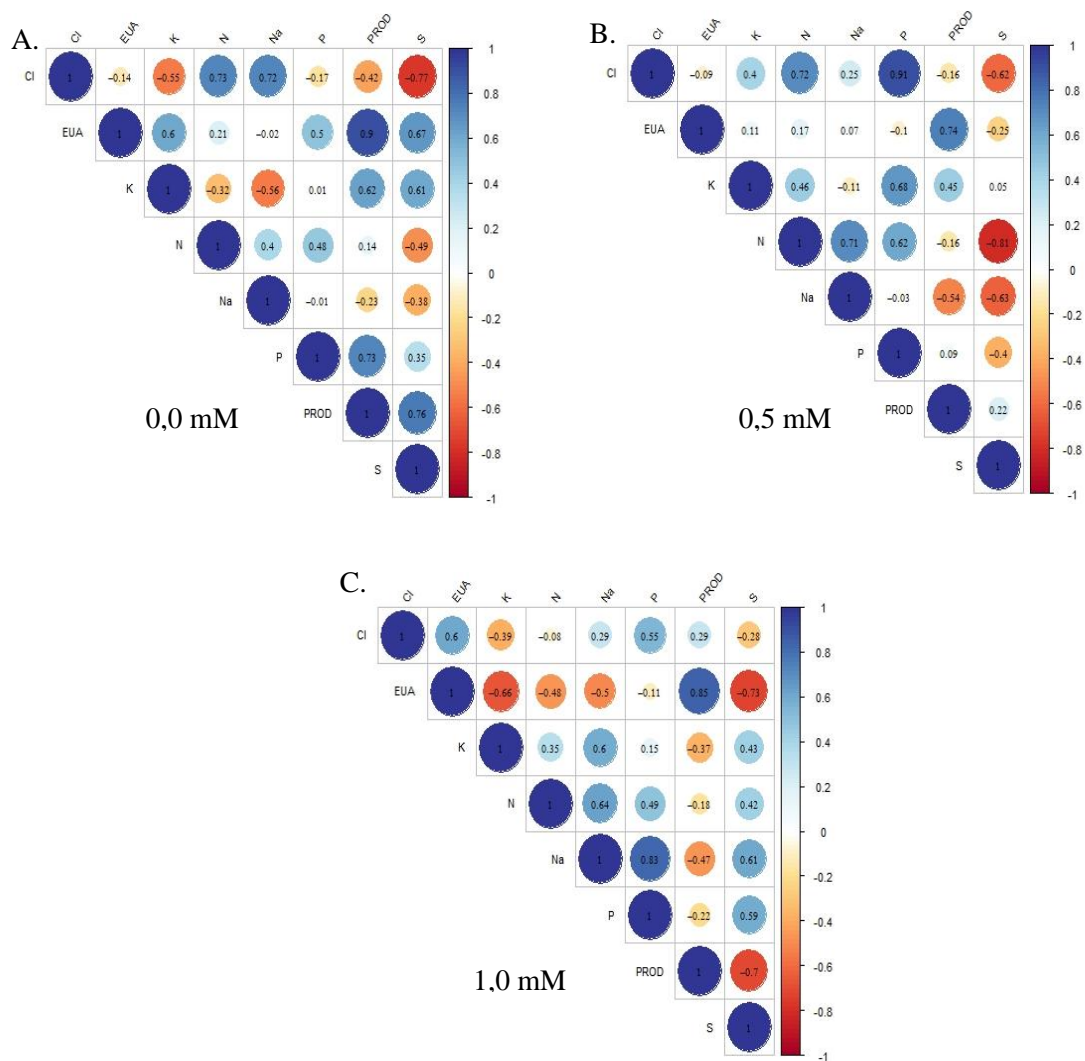
De forma semelhante ao observado para PROD (Figura 4A), as plantas de maracujazeiro-azedo cultivadas sob irrigação plena durante todo o ciclo (E) obtiveram a maior EUA (4,09 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), conforme verificado na Figura 4B, com decréscimos de 54,32 e 35,81% em relação as submetidas ao déficit hídrico na fase de floração (E3) e vegetativa/frutificação (E6), respectivamente. O AsA contribuiu para elevar a EUA com



a concentração de 1,0 mM na E4 resultando no maior valor (7,68 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), com aumentos de 166,48 e 88,00% em comparação as plantas do tratamento testemunha (0 mM) na mesma estratégia e em relação ao observado nas plantas sob E1, respectivamente. As plantas cultivadas sob aplicação foliar de 0,5 mM de AsA alcançaram a maior EUA na E6 (7,8 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), que mesmo apresentando respostas positivas na concentração de 1,0 mM (4,12 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), não se compara ao aumento de 197,33% da menor concentração em relação as plantas sem aplicação de AsA. Para as plantas cultivadas sob E1, E3 e E5, a aplicação foliar de AsA nas concentrações de 0,5 e 1,0 mM contribuíram para elevar a EUA. Enquanto a aplicação de AsA de 1,0 mM na E2, o valor superior em 29,95% ao encontrado nas plantas do tratamento testemunha (0 mM).

Para a matriz de correlação entre as variáveis, nas plantas sem aplicação de AsA (Figura 5A), nota-se que os teores de Cl foliar interagiram negativamente com os teores foliares de K (-0,55) e S (-0,77), e produtividade do maracujazeiro-azedo (-0,42). A relação entre os teores de K e Na foliar demonstrou ser antagônica (-0,56), comportamento similar, porém de forma fraca, aos teores de N × S (-0,49) e Na × S (0,38). Enquanto, que correlações positivas fortes foram estabelecidas entre a produtividade com a EUA (+0,90), teor foliar de P (+0,76), K (+0,62) e S (+0,76). Relação positiva fraca pode ser observada pelos teores de P em relação aos de N (+0,48) e S (+0,35).

Na concentração de 0,5 mM de AsA, foi alterada a intensidade da matriz de correlação das variáveis de maracujazeiro-azedo (Figura 5B), com menor interferência nos teores foliares de Cl na PROD e nos teores de K, esse passando a ser positivo (+0,40), sendo que a correlação negativa com os valores de S continua, mas, com menor intensidade em relação as plantas do tratamento testemunha. Além disso, a PROD reduz a correlação positiva com a EUA (+0,74) e K foliar (+0,45), além de não apresentar correlação expressiva com os teores foliares de P e S. Nessa concentração, os teores de S foliares demonstram forte correlação negativa com os teores de N (-0,81) e Na (-0,63), enquanto que fraca, foram obtidas com os teores de P (-0,40). Vale ressaltar, que os teores de K tiveram apenas correlações neutras e positivas nessa concentração.



**Figura 5.** Matrizes de correlação de Pierson para as variáveis de composição mineral foliar, produtividade e eficiência do uso da água do maracujazeiro-azedo dentro das estratégias de irrigação com déficit hídrico na concentração de 0,0 mM (A), 0,5 mM (B) e 1,0 mM (C) de ácido ascórbico (AsA) no período de 200-220 dias após o transplantio.

Para a concentração de 1,0 mM de AsA (Figura 5C), os teores de cloreto foliar proporcionaram correlação positiva com a EUA (+0,60) e P (+0,55), sendo que correlações negativas foram observadas com os teores de K (-0,39) e S (-0,28). Enquanto os teores foliares de S ofereceram correlação negativa forte com a PROD (-0,70) e EUA (-0,73), comportamento distinto ao relacionado com o P (+0,59), Na (+0,61), e com menor força com o N (+0,42) e Na (+0,61). Correlações positivas fortes também foram observados entre P × Na (+0,83), N × Na (+0,64) e K × Na (+0,60). Porém, com os teores foliares dos macronutrientes resultando em decréscimos na PROD e EUA, com maior força com S e K, enquanto N e P apresentam correlação negativa fraca.

#### 4. DISCUSSÃO

A condição de déficit hídrico estabelece alterações na relação de absorção de água e nutrientes do solo, o que afeta o estado nutricional das plantas, já que são elementos que participam da produção de compostos orgânicos de forma direta, pela constituição de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e fosfolipídios, como também indireta, pela ativação enzimática (Étienne et al., 2018; Barzana et al., 2020). Por isso, alterações nos teores de nutriente em folhas na condição de déficit hídrico podem indicar a condição de estresse, como relatado por Lobato et al. (2020) em feijão Guandu (*Cajanus cajan*) e Hussain et al. (2019) em milho (*Zea mays*).

Na presente pesquisa, as plantas submetidas ao déficit hídrico em fases específicas de desenvolvimento exibiram respostas distintas no acúmulo de nutrientes nas folhas, no entanto, em todas as estratégias com irrigação deficitária ocorreram perdas de produtividade em comparação com plantas sob condição de irrigação plena. É um fato que reforça os impactos advindos de danos metabólicos na planta em condição de seca, visto que, a restrição hídrica afeta o ajustamento osmótico e o controle de EROs, o que restringe a translocação de fotoassimilados como forma de manter a produção de metabolitos secundários, os quais agem na atividade antioxidante e osmótica, para equilibrar o fluxo de solutos no xilema (Scharwues & Dinneny, 2019; Ozturk et al., 2020).

Para os teores de nutrientes foliares, a manutenção na quantidade de nitrogênio e potássio na condição de déficit hídrico das plantas sob irrigação plena pode estar relacionada a função desses nutrientes na regulação metabólica da planta, pois o nitrogênio é um constituinte de aminoácidos responsável pela produção de proteínas, enzimas e osmólitos, como prolina e glicina-betaina (Iqbal et al., 2020), enquanto que o potássio, além de participar da ativação enzimática, atua na regulação dos estômatos, podendo ser mantido na condição de seca para que ocorra uma melhor condutância estomática e permita regulação no fluxo transpiratório da planta (Scharwues & Dinneny, 2019). Além disso, o aumento nos teores foliares de nitrogênio nas plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa pode ser explicado pela redução do crescimento da planta, além do aumento na suplementação de N por meio da adubação, a qual coincidiu com o retorno da irrigação plena (100% ETC).

No entanto, os teores foliares de nitrogênio e potássio estão abaixo do sugerido para a cultura, pois Malavolta (1997), estabeleceu na faixa de 40 a 50 g kg<sup>-1</sup> para o N e de 25 a 35 g kg<sup>-1</sup> para o K, porém teores inferiores a essa recomendação têm sido encontrados

na literatura (Moura et al., 2017; Diniz et al., 2020;). Em condições climáticas similares ao da presente pesquisa, destaca-se o trabalho de Lima et al. (2023), que analisando o manejo com água salina em fases fenológicas do maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, obtiveram teores que variaram de 19,21 a 24,07 g kg<sup>-1</sup> para o N e de 10,01 a 21,05 g kg<sup>-1</sup> para o K, assim os teores obtidos, de 23,95 a 37,08 para o N e de 16,39 a 24 g Kg<sup>-1</sup> para o K, estão abaixo do recomendado, mas com faixa superior ao obtido pelos autores, sobretudo para o nitrogênio.

O aumento nos teores de nitrogênio foliar pode ser observado pela aplicação de AsA, o que corrobora com a função do AsA na redução da degradação de clorofilas, já que, o N foliar está associado a constituição desses pigmentos (Skudra & Ruza, 2017). Por outro lado, a falta de resposta da aplicação de AsA na condição de déficit hídrico na fase vegetativa, floração e vegetativa/floração pode ser um indicativo de aclimatação das plantas, sendo suficiente para regularizar a entrada de nitrogênio após a condição de seca. Os teores de K foram mantidos com a aplicação de AsA, com aumento apenas com o déficit hídrico na fase vegetativa, chegando em valores próximos do recomendado (Diniz et al., 2020), o que condiz com o aumento na adubação com potássio nas fases de floração e frutificação, demonstrando uma regulação no fluxo de K, já que ele está envolvido no transporte de água e nutrientes na planta (Johnson et al., 2022).

Os teores de fósforo foram mantidos em plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa em relação as plantas sob condições de irrigação plena durante todo o ciclo, contribuindo com a recuperação no aporte nutricional, já que se passaram 80 dias após o término da restrição hídrica, além da suplementação de fósforo ter ocorrido logo após a retomada da irrigação com 100% da ETc (120 DAT).

Nas demais condições de déficit hídrico, os teores de P foliar reduziram, podendo estar relacionado ao processo de absorção, que ocorre, principalmente, por meio de difusão, visto que o fluxo difuso de fósforo é afetado pela umidade do solo (Costa et al., 2006). Comportamento mantido pela aplicação de AsA, sendo elevado apenas na condição de déficit hídrico na fase vegetativa/frutificação, condição que apresentou a maior restrição hídrica, além de restrição de água na época de coleta, o que reforça a ideia de manutenção do fotossistema pelo AsA, elevando a translocação de fósforo a folha como forma de manter a taxa energética, para a produção de ATP e NADP (Celi et al., 2023).

Segundo Malavolta (1997), os teores adequados para P foliar situa-se na faixa de 4 a 5 g Kg<sup>-1</sup>, demonstrando que os valores obtidos na pesquisa se encontram inferiores ao

recomendado (2,8 – 3,76 g Kg<sup>-1</sup>), mas, s superiores aos de Cavalcante et al (2012), em maracujazeiro-azedo sob manejo convencional de adubação (1,8 – 2,3 g Kg<sup>-1</sup>) e por Moura et al. (2017) em maracujazeiro-azedo IAC 273 (1,6 g kg<sup>-1</sup>), o que reforça a ideia da suplementação de fósforo mesmo sob a condição de déficit hídrico.

Os teores de enxofre foram os mais afetados pela condição de déficit hídrico, com valores na faixa de 2,33 a 2,93 g kg<sup>-1</sup>, inferiores a faixa de 3 - 4 g kg<sup>-1</sup> proposta por Malavolta (1997), o que pode estar relacionado a mobilidade desse nutriente na planta, que pela condição de déficit hídrico, prejudica a absorção radicular e, por conseguinte, o acúmulo em folhas jovens (Étienne et al., 2018). No entanto, teores adequados de S foliar foram estabelecidos nas plantas sob irrigação com 100% da ETc e pela aplicação de AsA nas estratégias com déficit hídrico.

Assim, a aplicação de AsA contribuiu para regularizar o transporte de enxofre para folhas nas estratégias associadas ao déficit hídrico na fase vegetativa e floração (E2, E3, E5 e E6), o que pode ser explicado pela função na abertura estomática e regulação osmótica radicular, o que eleva o fluxo de absorção (Foyer et al., 2020). Todavia, o decréscimo obtido nas plantas pode ter ocorrido devido o enxofre participar na formação de sementes (Narayan et al., 2022), que pelo aumento observado na produtividade, ter sido transportado diretamente ao fruto, reduzindo os teores foliares, o que explicaria a correlação negativa entre os teores foliares de S com a PROD. Tal situação demonstra que, as funções do S na formação de ligações dissulfeto podem ter sido afetadas pela condição de déficit hídrico, o que ocasiona desbalanço no controle redox em proteínas e enzimas, reduzindo a proteção da glutathione a danos oxidativos, como consequência dos impactos metabólicos a condição de seca (Narayan et al., 2022).

Os teores de sódio na pesquisa foram bem inferiores aos de Carvalho et al. (2002), 0,77 - 3,53 g kg<sup>-1</sup>, em pesquisa com o maracujazeiro-azedo sob manejo de irrigação entre 826 a 1733 mm, condizentes com o manejo de adubação utilizado no presente experimento, já que não apresentou problemas de salinidade do solo (Tabela 1), resposta similar obtida por Diniz et al. (2020), já que, o Na em altas concentrações pode interferir na absorção e funções do K na planta (Kumari et al., 2021).

No entanto, os teores de cloreto, com exceção a fase de floração, foram elevados nas plantas sob déficit hídrico, o que pode ser justificado pela adubação semanal ocorrida com o cloreto de potássio, contribuindo para absorção do nutriente, que pela correlação negativa observada, prejudicou a absorção de S, como relatado por Alam et al. (2022) em *Nicotiana tabacum* L. O que eleva os teores a valores superiores aos de Carvalho et al.

(2002), que estimou a faixa de 13,1 a 32,4 g kg<sup>-1</sup>, sendo que a aplicação de AsA na concentração de 1,0 mM de AsA proporcionou os valores na faixa considerada adequada de cloreto nas plantas sob déficit hídrico na fase vegetativa, floração e vegetativa/floração, provavelmente, como forma de equilibrar o acúmulo de cloreto. No entanto, esse aumento pode estar relacionado a função desse elemento na planta, por participar na regulação estomática, fotoproteção e ativação enzimática, além de contribuir para a expansão celular, mantendo um gradiente entre o citosol e o vacúolo, facilitando o influxo de ânions e, conseqüentemente, água (Geilfus, 2018).

Por isso, a aplicação de AsA nas estratégias com déficit hídrico contribuiu para manter a ordem de acúmulo foliar de nutrientes estabelecida nas plantas sob manejo irrigação plena, essa que foi Cl>N>K>S>P>Na, enquanto nas estratégias com déficit hídrico sem aplicação de AsA foi Cl>N>K>P >S>Na, confirmando os impactos do déficit hídrico no acúmulo de S foliar.

O desbalanço nutricional da presente pesquisa refletiu na produtividade, que mesmo em condições de irrigação plena (100% necessidade hídrica da cultura), se encontra abaixo da média estadual, que é de 9,66t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2023), respostas similares foram observadas em condições de semiárido por Lima et al. (2020), reforçando os problemas recorrentes das elevadas temperaturas (> 36°C) e baixa umidade do ar (< 40%), presentes durante a condução da pesquisa (Figura 1), que, provavelmente, impulsionaram o desbalanço oxidativo na fase fotoquímica, ocasionando desequilíbrio na defesa antioxidante da planta, provocando alterações na translocação de fotoassimilados aos drenos, afetando a formação de frutos (Hussain et al., 2019), além de ter estabelecer danos metabólicos que comprometem a absorção de nutrientes a planta (Kumari et al., 2022).

A eficiência do uso da água se mantém similar ao obtido para a produtividade, com os impactos do déficit hídrico se sobressaindo ao aproveitamento da água, visto que, mesmo as plantas que receberam restrição hídrica na fase vegetativa apresentaram uma redução abrupta na produção de frutos, o que pode estar relacionado aos impactos do déficit hídrico no crescimento das plantas, que foi reduzida em relação as cultivadas sob condições de irrigação plena. As plantas sob déficit hídrico na floração e frutificação podem estar relacionadas ao abortamento de flores e frutos, sobretudo, na E3, considerando que o déficit hídrico pode afetar a formação do tubo polínico (Formagio et al., 2021).

Logo, a associação do déficit hídrico em fases sucessivas induz uma maior proteção na vegetativa/floração em relação a restrição ocorrida apenas na floração, o que

pode estar relacionado ao processo adaptativo da planta a condição de estresse (Seleiman et al., 2021). Tal situação não foi observada ao associar o déficit hídrico na fase vegetativa/frutificação, com os menores valores de produtividade, afetando o aproveitamento de água pela planta, nesse caso, a inibição do crescimento e a escassez hídrica durante o enchimento do fruto resulta em impactos na regulação osmótica da planta para manutenção da turgescência celular (Ozturk et al., 2020).

A utilização de AsA contribuiu para elevar a produtividade do maracujazeiro-azedo, o que resultou em maior aproveitamento de água, em todas as estratégias de irrigação. Fato que se relaciona as funções do composto não-enzimático na regulação da defesa antioxidante da planta, sobretudo, na ativação da ascorbato peroxidase, que age mesmo em baixas concentrações de EROs (Foyer et al., 2020), além disso, o AsA tem sido associado como doador alternativo de elétrons no fotossistema, reduzindo a produção de oxigênio singlete, e na síntese de zeaxantina, a qual está atrelada a redução de danos da fotodegradação dos pigmentos fotossintéticos (Celi et al., 2023).

Esses benefícios melhoram a defesa da planta a condição de déficit hídrico, proporcionando a manutenção da atividade fotossintética, a qual resulta em aumento na produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, maior regulação osmótica a planta. As funções do AsA na regulação da energia luminosa se demonstraram vantajosas na presente pesquisa, considerando os aumentos na PROD e EUA, mesmo nas plantas sob condições ideais de irrigação, reforçando a ideia da vulnerabilidade térmica das plantas a condição de semiárido (Kumar et al., 2019).

O aumento observado na produtividade do maracujazeiro-azedo pela aplicação de AsA, bem como na EUA, apresenta correlação negativa com os teores de nutrientes presente nas folhas, sobretudo, na concentração de 1,0 mM, provavelmente, pela regulação metabólica proporcionada pela aplicação de AsA ser suficiente para estabelecer o melhor aproveitamento dos nutrientes na planta, intensificando no transporte de fotoassimilados como forma de manter desenvolvimento do fruto (Barzana et al., 2020; Celi et al., 2023). Enquanto o aumento na relação positiva entre teores foliares dos nutrientes, principalmente, K, P e S, na condição sem aplicação de AsA consiste em uma alternativa de manter a condutância e turgescência foliar, visto as funções desses nutrientes na planta (Étienne et al., 2018; Johnson et al., 2022; Narayan et al., 2022).

## 5. CONCLUSÕES

As plantas, em geral, expuseram teores foliares dos nutrientes abaixo dos níveis adequados relatados na literatura, sendo apresentados a ordem de concentração de N>K>S>P nas plantas sob manejo de irrigação plena e em todas que receberam AsA, alterada para N>K>P>S nas plantas sob déficit hídrico e sem aplicação de AsA. As condições de déficit hídrico, independente da estratégia utilizada, resultam em diminuição na produtividade, eficiência no uso da água e teores foliares de nutrientes do maracujazeiro-azedo. O déficit hídrico na fase de floração e vegetativa/frutificação proporciona maior redução na produtividade aos 220 DAT. Contudo, a aplicação foliar de ácido ascórbico na concentração de 0,5 e 1,0 mM contribuiu para melhorar a eficiência nos teores de nutrientes foliar e produtivo do maracujazeiro-azedo aos 200 dias após o transplantio.

## 6. REFERÊNCIAS

- Alam, A.; Tariq, M.; Haq, I.; Ali, J.; Adnan, M.; Fahad, S.; Ahmad, S.; Romman, M.; Salim, M. H. Co-application of phosphorus and sulfur improve yield, quality, and nutrients uptake in *Nicotiana tabaccum* L. *Philipp Agricultural Scientist*, v. 105, p. 61-68, 2022.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. D. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Awad, A. A.; Sweed, A. A.; Rady, M. M.; Majrashi, A.; Ali, E. F. Rebalance the nutritional status and the productivity of high CaCO<sub>3</sub>-stressed sweet potato plants by foliar nourishment with zinc oxide nanoparticles and ascorbic acid. *Agronomy*, v. 11, e1443, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071443>
- Barzana, G.; Rios, J. J.; Lopez-Zaplana, A.; Nicolas-Espinosa, J.; Yepes-Molina, L.; Garcia-Ibañez, P.; Carvajal, M. Interrelations of nutrient and water transporters in plants under abiotic stress. *Physiologia Plantarum*, v. 171, p. 595-619, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13206>
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 9.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2019. 545p.



- Biswas, S.; Mishra, R.; Bist, A. S. Passion to profession: A review of passion fruit processing. *Aptisi Transactions on Technopreneurship*, v. 3, p. 48-57, 2021. <https://doi.org/10.34306/att.v3i1.143>
- Carvalho, A. J. C. D.; Monnerat, P. H.; Martins, D. P.; Bernardo, S.; Silva, J. A. D. Teores foliares de nutrientes no maracujazeiro amarelo em função de adubação nitrogenada, irrigação e épocas de amostragem. *Scientia Agricola*, v. 59, p. 121-127, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100018>
- Cavalcante, L. F.; Cavalcante, Í. H. L.; Rodolfo Júnior, F.; Beckmann-Cavalcante, M. Z.; Santos, G. P. D. Leaf-macronutrient status and fruit yield of biofertilized yellow passion fruit plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 35, p. 176-191, 2012. <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.636121>
- Celi, G. E. A.; Gratão, P. L.; Lanza, M. G. D. B.; Reis, A. R. Physiological and biochemical roles of ascorbic acid on mitigation of abiotic stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, e107970, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107970>
- Chaudhry, S.; Sidhu, G. P. S. Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. *Plant Cell Reports*, v. 41, p. 1-31, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5>
- Costa, A. De F. S.; Costa, A. N.; Ventura, J. A.; Fanto, C. J.; Lima, I. M.; Caetano, L. C. S.; Santana, E. N. *Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro*. Vitória, ES: Incaper, 2008.56 p. (Incaper. Documentos, 162).
- Costa, J. P.; Barros, N. F. D.; Albuquerque, A. W. D.; Moura Filho, G.; Santos, J. R. Influence of phosphorus doses and soil moisture on diffusion flow. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 828-835, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000400007>
- Diniz, A. A.; Cavalcante, L. F.; Souto, A. G. L.; Cardoso, E. A.; Souto, P. C.; Mendonca, R. M. N.; Dias, N. S. Leaf composition and productivity of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* Sims.) Access" Guinezinho" in soil with bovine biofertilizer and nitrogen. *Australian Journal of Crop Science*, v. 14, p. 133-139, 2020. <https://doi.org/10.3316/informit.099071526806301>
- Étienne, P.; Diquelou, S.; Prudent, M.; Salon, C.; Maillard, A.; Ourry, A. Macro and micronutrient storage in plants and their remobilization when facing scarcity: The case of drought. *Agriculture*, v. 8, e14, 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture8010014>

- Formagio, M. G.; Fachi, L. R.; Dezengrini, E. M. B.; Krause, D. P.; Campos, T. N. V.; Lima, K. S.; Krause, W. Network of correlations between flower and fruit characteristics of yellow passion fruit. *Scientific Electronic Archives*, v. 14, p. 49-54, 2021. <https://doi.org/10.36560/14520211404>
- Foyer, C. H.; Kyndt, T.; Hancock, R. D. Vitamin C in plants: novel concepts, new perspectives, and outstanding issues. *Antioxidants & Redox Signaling*, v. 32, p. 463-485, 2020. <https://doi.org/10.1089/ars.2019.7819>
- Gaafar, A. A.; Ali, S. I.; El-Shawadfy, M. A.; Salama, Z. A.; Şekara, A.; Ulrichs, C.; Abdelhamid, M. T. Ascorbic acid induces the increase of secondary metabolites, antioxidant activity, growth, and productivity of the common bean under water stress conditions. *Plants*, v. 9, e627, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9050627>
- Geilfus, C. M. Review on the significance of chlorine for crop yield and quality. *Plant Science*, v. 270, p. 114-122, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.02.014>
- Hussain, HA, Men, S.; Hussain, S.; Chen, Y.; Ali, S.; Zhang, S.; Li, Y.; Xu, Q.; Liao, C.; Wang, L. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*, v. 9, e3890, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Produção agrícola municipal 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 18 de out. 2023.
- Iqbal, A.; Dong, Q.; Wang, X.; Gui, H.; Zhang, H.; Zhang, X.; Song, M. High nitrogen enhance drought tolerance in cotton through antioxidant enzymatic activities, nitrogen metabolism and osmotic adjustment. *Plants*, v. 9, e178, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9020178>
- Johnson, R.; Vishwakarma, K.; Hossen, M. S.; Kumar, V.; Shackira, A. M.; Puthur, J. T.; Abdi, G.; Sarra, M.; Hasanuzzaman, M. Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 172, p. 56-69, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.001>
- Khazaei, Z.; Estaji, A. Effect of foliar application of ascorbic acid on sweet pepper (*Capsicum annuum*) plants under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 42, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03106-z>
- Kumar, V.; Joshi, S.; Pant, N. C.; Sangwan, P.; Yadav, A. N.; Saxena, A.; Singh, D. Molecular approaches for combating multiple abiotic stresses in crops of arid and

- semi-arid region. In: *Molecular approaches in plant biology and environmental challenges*. Singapore: Springer Singapore, 2019. p. 149-170.
- Kumari, S.; Chhillar, H.; Chopra, P.; Khanna, R.R.; Khan, M. I. R. Potassium: A track to develop salinity tolerant plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 167, p. 1011-1023, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.09.031>
- Kumari, V. V.; Banerjee, P.; Verma, V. C.; Sukumaran, S.; Chandran, M. A. S.; Gopinath, K. A.; Venkatesh, G.; Yadav, S. K.; Singh, V. K.; Awasthi, N. K. Plant nutrition: An effective way to alleviate abiotic stress in agricultural crops. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 23, e8519, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijms23158519>
- Lima, G. S. D.; Silva, J. B. D.; Pinheiro, F. W. A.; Soares, L. A. D. A.; Gheyi, H. R. Potassium does not attenuate salt stress in yellow passion fruit under irrigation management strategies. *Revista Caatinga*, v. 33, p. 1082-1091. 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n423rc>
- Lima, G. S.; Silva, A. A. R.; Torres, R. A. F.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Silva, F. A.; Nobre, R. G.; Azevedo, C. A. V.; Lopes, K. P.; Chaves, L. H. G.; Lima, V. L. A. Accumulation, physiology, and production of sour passion fruit under salt stress irrigated with brackish water in the phenological stages and k fertilization. *Plants*, v. 12, e1573, 2023. <https://doi.org/10.3390/plants12071573>
- Lobato, S. M. S.; Santos, L. R.; Silva, B. R. S.; Paniz, F. P.; Batista, B. L.; Lobato, A. K. S. Root-differential modulation enhances nutritional status and leaf anatomy in pigeonpea plants under water deficit. *Flora*, v. 262, e151519, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151519>
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. D. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.
- Marengo, J. A.; Cunha, A. P. M.; Nobre, C. A.; Ribeiro Neto, G. G.; Magalhaes, A. R.; Torres, R. R.; Sampaio, G.; Alexandre, F.; Alves, L. M.; Deusdará, K. R. L.; Álvala, R. C. Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4 °C. *Natural Hazards*, v. 103, p. 2589-2611, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>
- Meza, I.; Siebert, S.; Döll, P.; Kusche, J.; Herbert, C.; Eyshi Rezaei, E.; Nouri, H.; Gerdener, H.; Popat, E.; Frischen, J.; Naumann, G.; Vogt, J. V.; Walz, Y.; Sebesvari, Z.; Hagenlocher, M. Global-scale drought risk assessment for agricultural systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 20, p. 695-712, 2020. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-695-2020>

- Moura, R. S.; Marques, A. S.; Silva, E. J. S.; Silva Junior, G. B.; Sousa, T. M.; Silva, E. M. Nutritional status of yellow passion fruit submitted to nitrogen sources by fertigation. *Comunicata Scientiae*, v. 8, p. 562-569, 2017. <https://doi.org/10.14295/cs.v8i4.1900>
- Narayan, O. P.; Kumar, P.; Yadav, B.; Dua, M.; Johri, A. K. Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, v. 18, p. 2030082, 2023. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>
- Nunes, J. C. Trocas gasosas, composição mineral, produção e qualidade de maracujazeiro amarelo irrigado com água salina e adubado com potássio e biofertilizante. 2016. 164p. (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2016.
- Pinheiro, F. W.; Lima, G. S.; Sousa, P. F. N.; Souza, W. B. B.; Soares, L. A. A.; Gheyi, H. R.; Felix, C. M.; Paiva, F. J. S. Potassium fertilization in the cultivation of sour passion fruit under irrigation strategies with brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 27, p. 42-50, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n1p42-50>
- Scharwies, J. D.; Dinneny, J. R. Water transport, perception, and response in plants. *Journal of plant research*, v. 132, p. 311-324, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10265-019-01089-8>
- Seleiman, M. F.; Al-Suhaibani, N.; Ali, N.; Akmal, M.; Alotaibi, M.; Refay, Y.; Dindaroglu, T.; Wajid, H. H. A.; Battaglia, M. L. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, v. 10, p. 259, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Silva, E. O.; Milward-de-Azevedo, M. A.; Sá, N. A. S.; Sousa, D. A.; Coceição, G. M. New records of *Passiflora* L. (Passifloraceae) species from Maranhão state and northeastern Brazil. *Check List*, v. 14, e347, 2018. <https://doi.org/10.15560/14.2.347>
- Silva, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- Skudra, I.; Ruza, A. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on chlorophyll content in winter wheat. *Rural Sustainability Research*, v. 37, p. 29-37, 2017. <https://doi.org/10.1515/plua-2017-0004>
- Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 627p.

## **CAPÍTULO V**

---

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A condição de déficit hídrico demonstrou ser prejudicial ao cultivo do maracujazeiro-azedo no semiárido Paraibano, bem como a época de condução da pesquisa, com temperaturas elevadas (superior a 35°C), superando a média dos anos anteriores, que associada a umidade relativa baixa, acarretou em produtividades inferiores a média do estado e ao potencial produtivo da cultura (42 t ha<sup>-1</sup>), inclusive, nas plantas sob irrigação plena durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, reforçando a ação do estresse térmico, cada vez mais frequente no sertão nordestino.

É importante ressaltar que os teores de nutrientes obtidos nos tecidos foliares na pesquisa foram inferiores a margem considerada adequada na literatura, sendo um indicativo de distúrbios no processo de absorção de nutrientes, tendo em vista que, se adotou a adubação recomendada para a cultura. Além disso, o déficit hídrico na fase de floração proporcionou diminuição na produção e qualidade pós-colheita dos frutos, contrastando com os ganhos obtidos na atividade fotossintética, o que corrobora com a justificativa dessa fase ser a mais sensível a condição de estresse, provavelmente, pelo abortamento de flores, o que foi observado visualmente na pesquisa, contudo sem avaliação, ficando como informação adicional para pesquisas futuras.

No entanto, o ácido ascórbico se apresentou como uma alternativa promissora na mitigação do déficit hídrico, melhorando a fisiologia das plantas, os teores de nutrientes foliar, a produção e qualidade pós-colheita dos frutos de maracujazeiro-azedo cv. BRS GA1, sendo as duas concentrações, de 0,5 mM e 1,0 mM, recomendadas. Porém, pesquisas adicionais são necessárias para elucidar os efeitos benéficos do ácido ascórbico no maracujazeiro-azedo, através de análises mais aprofundadas da atividade fotossintética e enzimática da planta, em especial, no acompanhamento com maior frequência durante o desenvolvimento da cultura, bem como a necessidade de alternância na condução da pesquisa, como cultivares, condições climáticas e concentrações de AsA.

---

## **APÊNDICE**



**Figura 1.** Preparo das sacolas, disposição nas bancadas nas distintas fases de desenvolvimento das plantas





**Figura 2.** Preparo da área experimental, sistema de irrigação e transplântio.



**Figura 3.** Detalhes da pesquisa nas diferentes etapas de condução.