

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE *Hippeastrum reticulatum* var.
striatifolium (Herb.) Herb, E *Angelonia integerrima* Spreng EM DIFERENTES
CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Kassia Cauana Trapp
Bióloga/UFSM
Mestre em Agrobiologia/UFSM

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutora em Fitotecnia
Área de Concentração: Sistemas de Produção Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Setembro de 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Trapp, Kássia Cauana
ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb, E *Angelonia integerrima* Sprengel EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA / Kássia Cauana Trapp. -- 2022.

155 f.

Orientador: Gilmar Schafer.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Disponibilidade Hídrica. 2. Ornamentais Nativas.
3. Ajuste osmótico. 4. Trocas Gasosas . I. Schafer, Gilmar, orient. II. Título.

KÁSSIA CAUANA TRAPP
Bióloga - UFSM
Mestre em Agrobiologia - UFSM

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR(A) EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 30 de setembro de 2022
Pela Banca Examinadora

GILMAR SCHAFFER
Orientador- PPG FITOTECNIA
de
Fitotecnia

CARLA ANDRÉA DELATORRE
Coordenadora do Programa
Pós-Graduação em

ANDRÉ LUIS THOMAS
PPG Fitotecnia- UFRGS

VIVIANE DAL-SOUTO FRESCURA
UFSM

MARÍLIA TEDESCO
UFSC

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de
Agronomia

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por serem meus grandes mestres e me apoiarem em todas as minhas decisões e auxiliarem na realização dos meus sonhos, por mais difíceis que parecessem ser. Por serem o maior exemplo de honestidade, dignidade, respeito e amor que poderia ter. Por cada noite mal dormida, cada madrugada fria enfrentada para trabalhar, cada dia chuvoso ou de extremo calor que enfrentavam para que nada nos faltasse. Tenho imenso orgulho de vocês!

A todos os meus familiares, especialmente meus avós Helio e Dalia von Mühlen, meu irmão Pablo, minha tia Leila Kohl e seu esposo, meu tio Leonir von Mühlen e sua esposa, por toda a paciência e ajuda que me proporcionaram nestes últimos anos, estendendo a mão e me ajudado a caminhar sempre que necessário fosse.

Aos meus afilhados Nathan, Lorenzo e principalmente Luiza e Vicente por serem as crianças mais incríveis, darem todo amor e carinho e deixar que eu lhes fizesse meu porto seguro. Por serem minha inspiração na busca por um mundo melhor.

Ao meu noivo Luciano Somavilla, que sempre me apoiou, me deu forças e confiou em mim para que corresse atrás da realização desta etapa, mesmo que isso significasse uma distância de mais de 400 km entre nós. Te amo e te amarei sempre.

Ao meu orientador, Gilmar Schafer, que embarcou comigo nesta jornada, sem nem me conhecer direito e me auxiliou em tudo que precisei. Por embarcar comigo nesse projeto cheio de dúvidas e incertezas para ambos e construir comigo este

experimento em todos os aspectos. Por cada instalação elétrica e hidráulica, cada conselho, cada “puxão de orelha” e principalmente cada palavra de apoio. És um exemplo de pessoa e de profissional que todos deveriam seguir, a pesquisa e o mundo acadêmica precisam urgentemente de mais profissionais como o senhor. Este trabalho só foi possível graças ao senhor, muito obrigada.

À minha amiga Marília Tedesco, por todo apoio e todas as dúvidas tiradas antes, durante e após o processo seletivo. Ao meu amigo Anderson Christ por tudo, por cada poso em sua casa, cada janta, cada almoço proporcionado. Por ter feito minha jornada em Porto Alegre mais alegre e menos solitária.

Aos colegas da floricultura por terem me recebido de braços abertos.

Ao setor de floricultura por ter me dado grandes amigos: Daniele (melhor bolsista do mundo), Juliana, Pedro Deniculi, Mara, Bibiana e principalmente Monique e Luciano (sabem do quanto são fundamentais para minha vida)

Ao professor André Thomas por todo apoio durante este processo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia e ao departamento de Horticultura e Silvicultura, pela formação que me proporcionou, e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

Enfim, a todos que de uma maneira ou outra, permitiram que este momento fosse possível.

Aos meus pais por cada renuncia que fizeram para que este trabalho fosse possível. Por me apoiarem desde sempre e fazerem do meu sonho o seu.

ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb, E *Angelonia integerrima* Spreng EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA¹

Autor: Kassia Cauana Trapp

Orientador: Gilmar Schafer

RESUMO

A floricultura brasileira ainda é refém da comercialização de espécies exóticas. Apesar da grande diversidade de espécies nativas com potencial ornamental, poucas são as espécies exploradas comercialmente no setor ornamental. A utilização de espécies brasileiras na floricultura e paisagismo, além de manter a identidade regional, pode ser usada como ferramenta para a conservação da flora nativa. Há também o fato de espécies nativas serem mais adaptadas ao local onde estão inseridas, assim sua utilização acarretaria na redução da necessidade de insumos e numa maior adaptação às variações ambientais da região. Um dos fatores que dificulta o comércio destas espécies é a falta de pesquisas básicas acerca das suas necessidades fisiológicas. Sendo a água um dos fatores mais limitantes para o crescimento e desenvolvimento de espécies e tendo em vista o aumento nas variações de disponibilidade hídrica, objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes regimes hídricos no crescimento e desenvolvimento das espécies nativas *Angelonia integerrima* Sprengel e *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb., bem como analisar os efeitos das variações hídricas nas trocas gasosas destas espécies e determinar a utilização do mecanismo de ajuste osmótico para estas espécies. O estudo ocorreu em duas épocas, a época 1 caracterizada pelos meses de março a julho e a época 2 entre janeiro e maio. Para os experimentos foram utilizadas mudas padronizadas de ambas as espécies. Testou-se quatro frequências de irrigação ao longo de 123 dias: irrigadas diariamente, a cada três, seis e nove dias. Foram realizadas coletas mensais de plantas, onde se verificou aspectos de crescimento, parâmetros de trocas gasosas, potencial hídrico e concentrações de glicose e prolina. A partir da coleta e análise dos dados se averiguou que para a maioria das variáveis analisadas houve interação entre os fatores frequências de irrigação e época de cultivo, demonstrando que as condições ambientais e a intensidade do estresse influenciam no crescimento e desenvolvimento de ambas as espécies. Tal influência ocorreu diferencialmente para *A. integerrima* e *H. reticulatum* var. *striatifolium*, enquanto a primeira teve seu crescimento favorecido pelas condições da época 1, a segunda foi beneficiada pelas maiores incidências solares da época 2. Além disso, quando cultivada na primeira época *H. reticulatum* var. *striatifolium* parece não necessitar de irrigações diárias, uma vez que seu crescimento foi superior em plantas cujas irrigações ocorriam a cada três dias. Ambas as espécies mantiveram suas concentrações de prolina e glicose elevadas mesmo em condições de menor disponibilidade hídrica, indicando que ambas devem acionar mecanismos de ajustamento osmótico para garantir a sua sobrevivência.

¹Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (155 f.) Setembro, 2022.

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb, AND *Angelonia integerrima* Spreng IN DIFFERENT WATER AVAILABILITY CONDITIONS¹

Author: Kassia Cauana Trapp

Adviser: Gilmar Schafer

ABSTRACT

Brazilian floriculture is still hostage to the commercialization of exotic species. Despite the great diversity of native species with ornamental potential, few species are commercially exploited in the ornamental sector. The use of Brazilian species in floriculture and landscaping, in addition to maintaining regional identity, can be used as a tool for the conservation of native flora. There is also the fact that native species are more adapted to the place where they are inserted, so their use would lead to a reduction in the need for inputs and a greater adaptation to the environmental variations of the region. One of the factors that hinders the trade of these species is the lack of basic research on their physiological needs. Since water is one of the most limiting factors for the growth and development of species and in view of the increase in water availability variations, the objective was to evaluate the effects of different water regimes on the growth and development of native species *Angelonia integerrima* Sprengel and *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb., as well as to analyze the effects of water variations on the gas exchange of these species and to determine the use of the osmotic adjustment mechanism for these species. The study took place in two seasons, season 1 characterized by the months of March to July and season 2 between January and May. For the experiments, standardized seedlings of both species were used. Four irrigation frequencies were tested over 123 days: irrigated daily, every three, six and nine days. Monthly collections of plants were carried out, where growth aspects, gas exchange parameters, water potential and concentrations of glucose and proline were verified. From the collection and analysis of data, it was found that for most of the variables analyzed there was an interaction between the factors irrigation frequency and growing season, demonstrating that environmental conditions and the intensity of stress influence the growth and development of both species. Such influence occurred differentially for *A. integerrima* and *H. reticulatum* var. *striatifolium*, while the first had its growth favored by the conditions of season 1, the second was benefited by the higher solar incidence of season 2. In addition, when cultivated in the first season *H. reticulatum* var. *striatifolium* seems not to need daily irrigation, since its growth was superior in plants whose irrigation occurred every three days. Both species maintained their high proline and glucose concentrations even under conditions of lower water availability, indicating that both must trigger osmotic adjustment mechanisms to ensure their survival.

¹Doctoral Thesis in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (155 p.) September, 2022.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Floricultura nacional.....	5
2.2 Espécies estudadas.....	7
2.2.1 <i>Hippeastrum reticulatum</i> var. <i>striatifolium</i> (Herb.) Herb.....	7
2.2.2 <i>Angelonia integerrima</i> Sprengel.....	9
2.3 Efeitos do estresse hídrico.....	10
2.4 Ajuste osmótico.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Espécies estudadas	16
3.2 Material vegetal, local, condições iniciais do experimento e tratos culturais.....	17
3.3 Execução e tratamentos	18
3.4 Análise do crescimento, desenvolvimento e bioquímica.....	20
3.5 Acompanhamento da salinidade e pH do meio de cultivo.....	25
3.6 Delineamento experimental e análises estatísticas.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Temperatura e umidade.....	27
4.2 <i>Angelonia integerrima</i> Sprengel.....	30
4.2.1 Características do meio de cultivo.....	30
4.2.2 Potencial hídrico.....	35
4.2.3 Crescimento e desenvolvimento.....	37
4.2.4 Trocas gasosas.....	59
4.2.5 Ajuste osmótico.....	72
4.3 <i>Hippeastrum reticulatum</i> var. <i>striatifolium</i> (Herb.) Herb.....	79
4.3.1 Substrato de cultivo.....	79
4.3.2 Crescimento e desenvolvimento.....	83
4.3.3 Trocas gasosas.....	103
4.3.4 Ajuste osmótico.....	113
5. CONCLUSÕES.....	120
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	122
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123

8. APÊNDICES.....	Página 130
-------------------	---------------

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
1. <i>Hippeastrum reticulatum</i> var. <i>striatifolium</i> (Herb.) Herb. cultivado em vaso e mantido em estufa plástica do DHS/UFRGS. Fonte: TRAPP, K.C., 2020.....	8
2. <i>Angelonia integerrima</i> Sprengel cultivado em vaso, detalhes de suas flores e racemos terminais. Fonte: TRAPP, K.C., 2020.....	9
MATERIAL E MÉTODOS	
3. Disposição de <i>Angelonia integerrima</i> Sprengel e <i>Hippeastrum reticulatum</i> var <i>striatifolium</i> (Herb.) Herb. nos tratamentos, onde a cada duas mangueiras de irrigação é caracterizada uma parcela, ou seja, um regime hídrico. Fonte: TRAPP, K. C., 2019.....	20
4. Análise de trocas gasosas de <i>Hippeastrum reticulatum</i> var. <i>stiatifolium</i> (Herb.) Herb. utilizando Analisador Portátil de Fotossíntese por infravermelho LI-6400. Fonte: TRAPP, K.C., 2020.....	22
5. Local de inserção do pecíolo da folha (esquerda) em uma câmara de Scholander, mostrando a seiva do xilema sendo exsudada após a aplicação de pressão (seta à direita). Fonte: TRAPP, K. C., 2019.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO	
6. Temperatura (A) e Umidade Relativa (B) do local do experimento entre 06 de março e 09 de julho de 2019 (Época 1: março a julho de 2019).....	28
7. Temperatura (A) e Umidade Relativa (B) do local do experimento entre 05 de janeiro de 2020 e 11 de maio de 2020 (Época 2: janeiro a maio de 2020).....	29

8. pH (A) e condutividade elétrica (CE) do substrato pelo método PourThru no cultivo de *Angelonia integerrima* Sprengel em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (pH: $y=-0,0001x^2+0,038x+3,22$; $R^2=0,91$; CE: $y=0,0003x^2-0,053x+2,66$; $R^2=0,96$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (pH: $y=0,0002x^2+0,023x+5,007$; $R^2=0,75$; CE: $y=-0,0013x^2+0,22x-5,57$; $R^2=0,96$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (pH: $y=0,0180x+3,94$; $R^2=0,73$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (CE: $y=-0,0165x+3,8159$; $R^2=0,36$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (pH: $y=-0,0044x+5,61$; $R^2=0,55$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (pH: $y=-0,0042+6,04$; $R^2=0,64$; CE: $y=0,0004x^2-0,071x+4,49$; $R^2=0,59$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (pH: $y=0,015x+4,33$; $R^2=0,66$; CE: $y=0,0001x^2-0,032x+2,11$; $R^2=0,98$). Época 1: março a julho de 2019. Época 2: janeiro a maio de 2020..... 32
9. Potencial Hídrico de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,0005x^2+0,0963x-4,3477$; $R^2=0,91$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2; 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,008x^2+0,1297x-6,245$; $R^2=0,88$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2; 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=-0,0009x^2+0,1523x-7,6324$; $R^2=0,96$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=0,0008x^2-0,1323x+3,965$; $R^2=0,52$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=-0,0004x^2+0,0608x-6,6292$; $R^2=0,35$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=0,0012x^2-0,197x+5,7247$; $R^2=0,49$). Época 1: março a julho de 2019. Época 2: janeiro a maio de 2020..... 36
10. Massa fresca (A) e seca (B) da parte aérea de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (MFPA: $y=0,98x-27,16$; $R^2=0,98$; MSPA: $y=0,19x-5,21$; $R^2=0,98$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (MFPA: $y=0,67x-17,91$; $R^2=0,98$; MFPA: $y=0,10x-2,05$; $R^2=0,93$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (MFPA: $y=0,31x-2,81$; $R^2=0,97$; MSPA: $y=0,06x-0,35$; $R^2=0,96$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (MFPA: $y=0,44x-12,86$; $R^2=0,95$; MSPA: $y=0,07x-1,37$; $R^2=0,86$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (MFPA: $y=0,19x-2,31$; $R^2=0,95$; MSPA: $y=0,05x-0,81$; $R^2=0,97$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2; 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2. MFPA: massa fresca da parte aérea. MSPA: massa seca da parte aérea. Época 1: março a julho de 2019. Época 2: janeiro a maio de 2020..... 39

11. Desenvolvimento da parte aérea de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada em diferentes frequências de irrigação ao longo de 123 dias entre março e julho de 2019 (época 1). Em A *A. integerrima* aos 35 dias (da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis, nove dias e irrigada diariamente). Em B plantas coletadas aos 88 dias (da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis, nove dias e irrigada diariamente). Em C plantas à esquerda com menor disponibilidade hídrica e à direita irrigada diariamente aos 88 dias. Em D plantas irrigadas a cada três e seis dias e irrigada diariamente aos 123 dias de tratamentos..... 40
12. Desenvolvimento da parte aérea de *Angelonia integerrima* Sprengel ao longo dos 123 dias de tratamentos durante os meses de janeiro e maio de 2020 (época 2). De A até D as quatro coletas realizadas: 35, 62, 88 e 123 dias de tratamentos respectivamente. Em cada imagem da direita para esquerda estão dispostas plantas irrigadas a cada três, seis e nove dias e irrigadas diariamente..... 41
13. Massa fresca (A) e seca (B) do sistema radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, sob influências de diferentes frequências de irrigação. 0: plantas irrigadas diariamente (MFR: $y=0,39x-13$; $R^2=0,97$; MSR: $y=0,06x-1,74$; $R^2=0,91$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias (MFR: $y=0,25x-3,36$; $R^2=0,98$; MSR: $y=0,03x-1,05$; $R^2=0,96$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias; 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. MFR: massa fresca do sistema radicular. MSR: massa seca do sistema radicular..... 43
14. Desenvolvimento radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel em diferentes frequências de irrigação ao longo de 123 dias de tratamento entre os meses de março e julho de 2019 (época 1). Em A e B desenvolvimento radicular de *A. integerrima* 35 e 123 dias de tratamentos, respectivamente, durante os meses de março a julho (época 1). Em A da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis e nove dias e irrigada diariamente. Em B da esquerda para a direita irrigada a cada três e seis dias e irrigada diariamente..... 44
15. Massa fresca (A) e seca (B) do sistema radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias na época 1, de março a julho de 2019 (MFR: $y=0,178x-2,99$; $R^2=0,94$; MSR: $y=0,126x-2,651$; $R^2=0,92$) e época 2, de janeiro a maio de 2020 (MFR: $y=0,0011x^2-0,0618x+1,99$; $R^2=0,99$; MSR: $y=0,0006x^2-0,0245x+0,902$; $R^2=0,98$). MFR: massa fresca do sistema radicular. MSR: massa seca do sistema radicular..... 45

16. Desenvolvimento do sistema radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada em diferentes frequências de irrigação ao longo de 123 dias de tratamentos durante os meses de janeiro e maio de 2020 (época 2). Em A sistema radicular da coleta realizada aos 62 dias. Em B sistema radicular referentes a terceira coleta (88 dias) e em C sistema radicular de plantas aos 123 dias de tratamentos. Em cada imagem da direita para esquerda estão dispostas plantas irrigadas a cada três, seis e nove dias e irrigadas diariamente..... 46
17. Comprimento radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,002x^2-0,16x+20,52$; $R^2=0,97$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,078x+14,91$; $R^2=0,71$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y=0,05x+11,93$; $R^2=0,74$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,1631x+81,49$; $R^2=0,94$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,3138x+39,25$; $R^2=0,94$)..... 48
18. Volume radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,002x^2-0,024x+4,24$; $R^2=0,95$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,12x+0,09$; $R^2=0,92$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias; 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,4865x+4,767$; $R^2=0,92$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,387x-2,3997$; $R^2=0,96$)..... 50
19. Altura da parte aérea de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,39x+20,06$; $R^2=0,98$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,36x+16,81$; $R^2=0,96$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias; 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,7051x+89,15$; $R^2=0,94$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,9767x+67,60$; $R^2=0,96$)..... 52
20. Área foliar de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=15,31x-345,13$; $R^2=0,99$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=9,35x-155,81$; $R^2=0,93$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=6,05x-12,65$; $R^2=0,87$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=0,12x^2-9,77x+333,22$; $R^2=0,99$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=3,91x-40,23$; $R^2=0,95$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2; 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2..... 54

21. Razão Raiz/Parte Aérea de *Angelonia integerrima* cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,0022x+0,2001$; $R^2=0,95$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,000005x^2-0,0051x+0,3374$; $R^2=0,99$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias $y=0,002x+0,2293$; $R^2=0,90$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y=0,0026x+0,164$; $R^2=0,91$). Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,0064x+1,142$; $R^2=0,94$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,0002x^2-0,0167x+1,173$; $R^2=0,97$). R/PA: razão entre a massa do sistema radicular e a massa da parte aérea..... 56
22. Teor de água de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes regimes hídricos. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2; 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1; 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2; 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=0,0091x^2-1,33x+112,96$; $R^2=0,83$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=0,0094x^2-1,718x+132,11$; $R^2=0,95$)..... 58
23. Taxa de Assimilação Líquida de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=-0,107x+17,29$; $R^2=0,87$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=-0,095x+15,25$; $R^2=0,93$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y=-0,054x+9,16$; $R^2=0,95$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y=-0,071x+10,28$; $R^2=0,96$). Época 1: março a julho de 2019 ($y=-0,00784x+10,55$; $R^2=0,95$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=-0,0852x+15,43$; $R^2=0,81$). A: taxa de assimilação líquida de CO_2 60
24. Condutância estomática de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=-0,0001x^2+0,0063x+0,1028$; $R^2=0,98$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=-0,00003x^2+0,0045x+0,042$; $R^2=0,49$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias $y=-0,00003x^2+0,0052x-0,089$; $R^2=0,74$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. Época 1: março a julho de 2019 ($y=-0,00003x^2+0,0032x+0,0053$; $R^2=0,88$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=-0,00003x^2+0,0037x+0,0323$; $R^2=0,98$). GS: condutância estomática. 62

25. Transpiração de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,028x+3,8$; $R^2= 0,96$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=-0,0005x^2+0,05x+1,62$; $R^2= 0,89$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,0152x^2+2,41$ $p=0,00007$; $R^2= 0,89$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,0143x+3,68$; $R^2= 0,37$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=-0,013x+1,83$; $R^2= 0,91$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,0003x^2+0,0414x-0,5953$; $R^2= 0,22$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,012x+1,62$; $R^2= 0,82$). E: taxas de transpiração..... 65
26. Concentração interna de CO₂ de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias ($y=-0,039x^2+6,72x+33,39$; $R^2= 0,83$). Ci: concentração interna de CO₂..... 67
27. Eficiência da Carboxilação da Rubisco de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias ($y=-0,0004x-0,064$; $R^2= 0,95$). A/Ci: eficiência de carboxilação da Rubisco..... 68
28. Eficiência do Uso da Água de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=0,0043x^2-0,507x+18,36$; $R^2= 0,97$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1; 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2; 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=0,0035x^2-0,46x+18,03$; $R^2= 0,98$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,009x^2+1,27x-13,88$; $R^2= 0,3$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,0067x^2+1,025x-19,14$; $R^2= 0,89$). EUA: eficiência do uso da água..... 69
29. Temperatura foliar de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,138x+31,15$; $R^2= 0,95$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=-0,07x+30,65$; $R^2= 0,79$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,143x+32,34$; $R^2= 0,93$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,05x+31,87$; $R^2= 0,58$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=-0,151x+33,24$; $R^2= 0,94$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,07x+31,75$; $R^2= 0,71$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=-0,149x+33,81$; $R^2= 0,95$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,05x+31,68$; $R^2= 0,46$)..... 71

30. Concentração foliar (A) e radicular (B) de prolina em *Angelonia integerrima* cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (PF: $y=0,0021x^2-0,307x+15,18$; $R^2= 0,93$; PR: $y=0,0009x^2-0,193x+17,92$; $R^2= 0,98$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (PF: $y=0,0024x^2-0,435x+30,14$; $R^2= 0,98$; PR: $y=0,006x^2-1,027x+48,35$; $R^2= 0,97$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (PF: $y=-0,0003x^3+0,0643x^2-4,467x+99,12$; $R^2= 1$; PR: $y=0,004x^2-0,779x+38,71$; $R^2= 0,83$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (PF: $y=-0,0017x^2+0,309x-1,83$; $R^2= 0,45$; PR: $y=0,0003x^3-0,06x^2+4,57x-86,16$; $R^2= 1$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (PF: $y=-0,0013x^2+0,15x+4,54$; $R^2= 0,86$; PR: $y=0,0015x^2-0,399x+27,47$; $R^2= 0,91$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (PF: $y=0,0015x^2-0,229x+16,6$; $R^2= 0,41$; PR: $y=0,0002x^3-0,035x^2+2,42x-43,07$; $R^2= 1$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (PF: $y=0,0015x^2-0,229x+16,6$; $R^2= 0,41$; PR: $y=0,0009x^2-0,182x+18,55$; $R^2= 0,88$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (PF: $y=-0,005x^2+0,86x=20,61$; $R^2=0,64$; PR: $y=-0,0001x^3+0,0312x^2-2,19x+56,01$; $R^2= 1$). PF: concentração foliar de prolina. PR: concentração radicular de prolina..... 74
31. Concentração foliar (A) e radicular (B) de glicose em *Angelonia integerrima* cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (GF: $y=0,083x^2-10,595x+391,35$; $R^2= 0,97$; GR: $y=-0,0985x^2-17,768x-425,69$; $R^2= 0,98$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (GF: $y=0,178x^2-29,41x+1254,71$; $R^2= 0,98$; GR: $y=0,0725x^2-7,596x+301,19$; $R^2= 0,89$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (GF: $y=-0,087x^2+14,758x-301,71$; $R^2= 0,42$; GR: $y=0,0535x^2-7,393x+465,48$; $R^2= 0,58$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (GF: $y=0,0364x^2-2,078x+166,08$; $R^2= 0,81$; GR: $y=0,0322x^2-2,413x+183,21$; $R^2= 0,91$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (GF: $y=-0,134x^2+20,62x=451,92$; $R^2= 0,98$; GR: $y=0,0049x^3-1,144x^2+80,119x-1506,05$; $R^2= 1$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (GF: $y=0,0019x^3-0,439x^2+29,40x-455,11$; $R^2= 1$; GR: $y=0,0041x^3-0,987x^2+72,756x-1477,91$; $R^2= 1$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (GF: $y=-0,066x^2+11,37x-239,71$; $R^2= 0,61$; GR: $y=-0,0179x^2+3,366x+53,725$; $R^2= 0,89$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (GF: $y=0,011x^2-5,79x+697,73$; $R^2= 0,99$; GR: $y=0,0096x^3-2,368x^2+177,17x-3688,96$; $R^2= 1$). GF: concentração foliar de glicose. GR: concentração radicular de glicose..... 77

32. pH (A) e condutividade elétrica (B) determinado pelo método PourThru, no substrato de cultivo, de plantas de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada em vaso durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências hídricas. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (CE: $y=-0,01x+1,634$; $R^2= 0,64$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (CE: $y=-0,0144x+1,82$; $R^2= 0,85$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1; 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (pH: $y=0,0065x + 4,16$; $R^2= 0,85$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (CE; $y=0,0002x^2-0,0007x+1,61$; $R^2= 0,55$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=0,0002x^2-0,03x+6,46$; $R^2= 0,99$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (pH: $y=0,007x+4,32$; $R^2= 0,84$)..... 81
33. Massa fresca da parte aérea (A) e massa seca da parte aérea (B) de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivado sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas. Época 1 de março a julho de 2019 (MFPA: $y=-1,87x^2+8,92x+93,67$; $R^2= 0,81$; MSPA: $y=-0,382x^2+2,247x+12,14$, $R^2= 0,69$). Época 2 de janeiro a maio de 2020 (MFPA: $y=-21,43x+256,56$; $R^2= 0,84$; MSPA: $y= -0,937x+15,43$; $R^2= 0,76$). MFPA: massa fresca da parte aérea; MSPA: massa seca da parte aérea..... 84
34. Massa fresca do sistema radicular (A) e massa seca do sistema radicular (B) de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada sob influência de diferentes frequências hídricas em duas épocas. Época 1 de março a julho de 2019 (MFR: $y=-1,32x^2+1,77x+159,7$; $R^2= 0,52$). Época 2 de janeiro a maio de 2020 (MFR: $y=0,74x^2-11,21x+97,01$; $R^2= 0,89$; MSR: $y=-48,13x+691,1$; $R^2= 0,94$). MFR: massa fresca do sistema radicular; MSR: massa seca do sistema radicular..... 86
35. Massa seca (A) e Massa fresca (B) total de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 sob influência de diferentes frequências de irrigação, em duas épocas. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1(MFT: $y=0,323x+18,92$; $R^2= 0,89$; MST: $y= 0,1127x-0,3604$; $R^2= 0,91$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (MFT: $y=0,025x^2-2,05x+163,27$; $R^2= 0,96$; MST: $y = 0,0051x^2 - 0,7652x + 46,591$; $R^2= 0,95$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (MFT: $y=0,486x + 13,28$; $R^2= 0,81$; MST: $y = 0,1992x - 3,2766$; $R^2= 0,81$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (MFT: $y=0,0129x^2-1,482x+148,65$; $R^2= 0,97$; MST: $y = 0,0527x + 12,455$; $R^2= 0,95$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (MFT: $y= 0,261x+17,45$; $R^2= 0,84$; MST: $y = 0,043x + 4,3506$; $R^2= 0,93$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (MFT: $y=0,012x^2-1,105x+98,6$; $R^2= 0,99$; MST: $y = 0,0635x + 9,755$; $R^2= 0,97$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (MFT: $y=0,092x+27,01$; $R^2= 0,97$; MST: $y = 0,0539x + 2,9708$; $R^2= 0,52$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (MFT: $y=-0,0006x^2+0,13x+92,69$; $R^2= 0,92$; MST: $y = -0,0582x + 21,211$; $R^2= 0,72$). MFT: massa fresca total; MST: massa seca total..... 88

36. Desenvolvimento vegetativo de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivadas em diferentes frequências de irrigação durante os meses de março a julho de 2019 (época 1). Da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis, nove dias e irrigada diariamente. Em A plantas aos 62 dias e B plantas aos 123 dias..... 89
37. Desenvolvimento da parte aérea de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada em diferentes frequências de irrigação ao longo de 123 dias de tratamentos durante os meses de janeiro a maio de 2020 (época 2). De A até D as quatro coletas realizadas: 35, 62, 88 e 123 dias após os tratamentos respectivamente. Em cada imagem da direita para esquerda estão dispostas plantas irrigadas a cada três, seis e nove dias e irrigadas diariamente..... 90
38. Comprimento radicular de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 sob influência de diferentes frequências de irrigação, em duas épocas. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=0,36x+4,69$; $R^2= 0,97$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=0,16x+8,38$; $R^2= 0,91$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,0053x^2+0,79x+3,75$; $R^2= 0,98$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=0,1052x+11,56$; $R^2= 0,81$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2; 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=0,17x+4,37$; $R^2= 0,90$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2. CR: comprimento radicular..... 92
39. Diâmetro do bulbo (DB) de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação (A) e em duas épocas (B). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,0005x^2-0,053x+14,329$; $R^2= 0,98$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y= 0,0002x^2-0,014x+12,88$; $R^2= 0,97$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y=0,028x+9,88$; $R^2= 0,91$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y=-0,0001x^2+0,03x+10,34$; ; $R^2= 0,96$). Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,0234x+8,773$; ; $R^2= 0,84$), Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,0223x+13,83$; ; $R^2=0,97$) 94
40. Desenvolvimento radicular de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. aos 123 dias de tratamentos durante os meses de março a julho de 2019 (época 1). Da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis, nove dias e irrigada diariamente..... 95
41. Desenvolvimento do sistema radicular de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada em diferentes frequências de irrigação ao longo dos 123 dias de tratamentos durante os meses de janeiro a maio de 2020 (época 2). Em A sistema radicular da coleta realizada aos 62 dias. Em B sistema radicular referentes a terceira coleta (88 dias) e em C sistema radicular de plantas aos 123 dias de tratamentos. Em cada imagem da direita para esquerda estão dispostas plantas irrigadas a cada três, seis e nove dias e irrigadas diariamente..... 96

42. Volume radicular (VL) de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação (A) e em duas épocas (B). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,0009x^2-0,782x+72,88$; $R^2= 0,97$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,0047x^2-0,963x+97,98$; $R^2= 0,99$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y= 0,0035x^2-0,291x+44,44$; $R^2= 0,95$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y=0,031x+47,36$; $R^2= 0,97$). Época 1: março a julho de 2019. Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,015x^2-1,97x+136,06$; $R^2= 0,94$)..... 97
43. Área foliar de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=1,58x+107,43$; $R^2= 0,81$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 $y=0,0185x^2-2,171x+412,41$; $R^2= 0,96$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=0,029x^2-3,19x+330,03$; $R^2= 0,97$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=0,0268x^2-2,553x+318,91$; $R^2= 0,96$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=-1,035x+295,65$; $R^2= 0,85$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-1,46x+254,29$; $R^2= 0,82$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=-1,27x+240,06$; $R^2= 0,93$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=1,35x+108,37$; $R^2= 0,87$). AF: área foliar..... 98
44. Razão R/PA de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y= 0,035x+0,56$; $R^2= 0,99$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=0,0004x^2-0,0404x+6,29$; $R^2= 0,96$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=0,0137x+1,91$; $R^2= 0,94$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,0004x^2+0,0756x+3,42$; $R^2= 0,93$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=0,0011x^2-0,228x+15,43$; $R^2= 0,98$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=0,0283x+2,59$; $R^2= 0,82$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=-0,0304x+4,76$; $R^2= 0,95$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=0,0301x+3,37$; $R^2= 0,87$). R/PA: razão raiz/parte área..... 100
45. Teor de água de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação (A) e em duas épocas de cultivo (B). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=-0,0011x^2+0,2208x+75,432$; $R^2= 0,92$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=-0,0668x+80,68$; $R^2= 0,92$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y=-0,0017x^2-0,386x+90,44$; $R^2= 0,98$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y=0,0008x^2-0,1641x+72,008$; $R^2=0,94$). Época 1: março a julho de 2019 ($y=-0,0024x^2+0,25x+76,34$; $R^2= 0,90$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=-0,0005x^2+0,15x+75,58$; $R^2= 0,84$)..... 102

46. Taxa de Assimilação Líquida de CO₂ de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,025x+4,44$; $R^2= 0,85$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=-0,0011x^2+0,16x+2,48$; $R^2= 0,57$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,0009x^2+0,13x-1,66$; $R^2= 0,99$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,0014x^2+0,19x+1,71$; $R^2= 0,99$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,0019x^2+0,31x-6,22$; $R^2= 0,97$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=-0,0009x^2+0,16x-4,03$; $R^2= 0,82$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,0014x^2+0,19x-1,34$; $R^2= 0,99$). A: taxa de assimilação líquida de CO₂..... 104
47. Condutância estomática de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,00003x^2+0,0043-0,0908$; $R^2= 0,88$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2; 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,00002x^2+0,0037x-0,090$; $R^2= 0,95$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,00002x^2+0,0041x-0,085$; $R^2= 0,45$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,00003x^2+0,0057x-0,17$; $R^2= 0,41$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,00001x^2+0,0022x-0,058$; $R^2= 0,34$). GS: condutância estomática 106
48. Transpiração de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,0002x^2+0,024x-0,201$; $R^2= 0,99$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=-0,0051x+1,12$; $R^2= 0,85$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,0002x^2+0,03x-0,59$; $R^2= 0,97$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,00003x^3+0,0061x^2-0,420x+9,34$; $R^2= 1$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,00003x^3+0,0057x^2-0,372x+7,34$; $R^2= 1$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,00001x^3+0,0032x^2-0,214x+4,42$; $R^2= 1$). E: transpiração..... 109

49. Temperatura foliar de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=0,0008x^2-0,29x+37,34$; $R^2= 0,96$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=-0,0003x^2-0,0172x+28,13$; $R^2= 0,85$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=0,0008x^2-0,277x+37,58$; $R^2= 0,97$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=0,0005x^2-0,1475x+35,04$; $R^2= 0,69$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=0,0007x^2-0,263x+37,85$; $R^2= 0,97$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=0,0003x^2-0,113x+32,83$; $R^2= 0,72$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=0,0008x^2-0,297x+39,66$; $R^2= 0,97$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=0,0006x^2-0,153x+35,55$; $R^2= 0,57$)..... 111
50. Eficiência de Carboxilação da Rubisco de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=0,00001x^3-0,0025x^2+0,19x-3,95$; $R^2= 1$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1; 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2; 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2; 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2. A/Ci: eficiência de carboxilação da Rubisco..... 113
51. Concentração foliar (A) e concentração radicular (B) de prolina em *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (PF: $y=0,0001x^2-0,03x+3,29$; $R^2= 0,95$; PR: $y=0,0026x^2-0,47x+24,14$; $R^2= 0,95$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (PF: $y=0,0001x^3-0,03x^2+2,03x-34,52$; $R^2= 1$; PR: $y=0,0001x^3-0,017x^2+1,16x-17,16$; $R^2= 1$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (PF: $y=-0,00003x^3+0,008x^2-0,55x+13,93$; $R^2=1$; PR: $y=-0,0013x^2+0,21x+0,31$; $R^2= 0,82$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (PF: $y=0,0013x^2-0,21x+11,51$; $R^2= 0,54$; PR: $y=-0,0014x^2+0,23x-3,02$; $R^2= 0,91$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (PF: $y=-0,0023x^2+0,36x-8,23$; $R^2= 0,96$; PR: $y=0,0002x^2-0,006x+1,47$; $R^2= 0,41$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (PF: $y=-0,003x^2+0,45x-10,83$; $R^2= 0,98$; PR: $y=0,0009x^2-0,195x+13,31$; $R^2= 0,71$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (PF: $y=0,00004x^3-0,0082x^2+0,547x-7,95$; $R^2= 1$; PR: $y=0,001x^2-0,14x+5,77$; $R^2= 0,82$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (PF: $y=0,0003x^2-0,05x+7,63$; $R^2= 0,51$; PR: $y=-0,0001x^3+0,012x^2-0,835x+22,94$; $R^2= 1$). PF: concentração foliar de prolina. PR: concentração radicular de prolina..... 115

52.	Concentração foliar (A) e concentração radicular (B) de glicose em <i>Hippeastrum reticulatum</i> var. <i>striatifolium</i> cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (GF: $y = -0,016x^2 + 2,55x - 27,18$; $R^2 = 0,58$; GR: $y = -0,029x^2 + 4,65x + 206,72$; $R^2 = 0,99$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (GR: $y = 0,004x^3 - 0,99x^2 + 67,39x - 923,76$; $R^2 = 1$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (GF: $y = 0,0048x^2 + 2,03x - 56,88$; $R^2 = 0,90$; GR: $y = 0,0139x^2 - 1,54x + 375,55$; $R^2 = 0,51$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (GF: $y = 0,0064x^2 - 1,46x + 114,29$; $R^2 = 0,67$; GR: $y = 0,0059x^3 - 1,35x^2 + 94,01x - 1553,32$; $R^2 = 1$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (GF: $y = 0,018x^2 - 0,65x + 57,54$; $R^2 = 0,77$; GR: $y = 0,0029x^3 - 0,69x^2 + 49,18x - 671,58$; $R^2 = 1$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (GF: $y = 0,122x^2 - 14,88x + 441,47$; $R^2 = 0,97$; GR: $y = 0,02x^2 + 4,88x + 260,83$; $R^2 = 0,92$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (GF: $y = -0,011x^2 + 1,59x + 0,74$; $R^2 = 0,54$; GR: $y = 0,0082x^2 + 9,524x + 93,59$; $R^2 = 0,99$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (GF: $y = 0,038x^2 - 4,98x + 184,17$; $R^2 = 0,99$; GR: $y = 0,0087x^3 - 1,95x^2 + 129,17x - 2108,56$; $R^2 = 1$). GF: concentração foliar de açúcares solúveis. GR: concentração radicular de açúcares.....	118
-----	--	-----

APÊNDICES

53.	Amostras preparadas a partir do sistema radicular de <i>Hippeastrum reticulatum</i> var. <i>striatifolium</i> cultivada em diferentes frequências de irrigação para análise de absorvância de carboidratos. Em tubos Falcon preparação da curva padrão de glicose.....	130
54.	Amostras preparadas a partir da parte aérea de <i>Hippeastrum reticulatum</i> var. <i>striatifolium</i> cultivada em diferentes frequências de irrigação para análise de absorvância de prolina. Em tubos Falcon preparação da curva padrão de prolina.....	131

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
MATERIAL E MÉTODOS	
1. Características físicas e químicas de substrato para plantas a base de turfa de esfagno e casca de pinus, utilizada no cultivo de <i>Angelonia integerrima</i> Sprengel e de <i>Hippeastrum reticulatum</i> var. <i>striatifolium</i> (Herb.) Herb.....	18
2. Tratamentos e coletas realizadas durante o estudo para <i>Angelonia integerrima</i> Sprengel e <i>Hippeastrum reticulatum</i> var. <i>striatifolium</i> (Herb.) Herb.....	21

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos fatores determinantes para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Sua disponibilidade é fundamental para a distribuição das espécies ao redor do mundo, determinando as paisagens características dos diferentes biomas. Devido a grande amplitude geográfica, o Brasil apresenta, ao longo de seu território, regiões com características ambientais bem distintas entre si, muito devido às variações na disponibilidade hídrica ao longo do país. Isso o torna um país com uma ampla gama de diversidade, estima-se que 12% das espécies vegetais sejam nativas do Brasil (Ribeiro, 2022).

O estado do Rio Grande do Sul é formado pelos biomas Pampa e Mata Atlântica e a presença destes com características ambientais tão distintas, faz com que o estado apresente extensa riqueza de espécies vegetais, muitas das quais endêmicas. Apesar disso pouco se explora a beleza destas espécies, conforme já descrito por Coradin *et al.*, (2011), os quais citam que, para a região sul, apenas 149 espécies de sua flora são utilizadas para diferentes finalidades. Quando se trata do ramo ornamental, apenas 20 destas espécies têm seu potencial explorado, número extremamente baixo, uma vez que Stumpf *et al.*, (2009) catalogaram, apenas para o Pampa, 100 espécies com potencial ornamental.

O aumento constante dos períodos de restrição hídrica atrelados a elevação nas temperaturas, pode acarretar na perda de parte da diversidade destas espécies se não

ocorrer seu manejo adequado, uma vez que, a frequência e a velocidade com a qual as alterações no clima estão ocorrendo, são superiores a capacidade de aclimação destas espécies. Assim, a utilização desta diversidade na floricultura, por exemplo, pode ser uma maneira de conservação da diversidade, agregando conhecimento sobre seu cultivo e valor a estas espécies.

Apesar do setor de floricultura brasileiro ser considerado um dos mais promissores dentro da horticultura, a exploração de espécies nativas neste meio ainda é pouco difundida. Sendo a floricultura um setor amplamente competitivo e altamente dependente da aparência de seus produtos, este é um mercado cuja introdução de novas cultivares e espécies é fundamental (Ibraflor, 2022). Assim, um maior conhecimento acerca da flora nativa e sua utilização são um ponto fundamental para o desenvolvimento da floricultura, pois devido ao desconhecimento de tais espécies, sua utilização pode trazer vantagens ao mercado (Junqueira & Peetz, 2007).

Porém, a comercialização em larga escala de espécies nativas com potencial ornamental, esbarra na falta de informações sobre seu manejo. Pesquisas sobre a correta disponibilidade hídrica são fundamentais devido a importância da água para as plantas. Tanto irrigações abaixo do adequado quanto excessivas interferem no crescimento e desenvolvimento e na floricultura isto é ainda mais importante devido ao fator qualidade das plantas (Farias, 2006). Por se tratar de um setor, cujo valor de mercado está atrelado ao visual das plantas, o manejo inadequado leva a materiais fora dos padrões comerciais e conseqüentemente a uma redução nos ganhos do produtor. Assim, para se estimular a produção em escala comercial de espécies ainda não utilizadas para este fim é necessário que se tenham estabelecidos protocolos de manejo destas espécies.

Além disso, há uma preocupação cada vez maior no consumo de baixo impacto ambiental. Neste ponto a substituição de espécies ornamentais exóticas por uma flora nativa tem se tornado a grande tendência do paisagismo moderno. Assim, o conhecimento sobre as condições locais, a cadeia produtiva do segmento e as espécies nativas regionais tem se tornado fundamentais para obtenção de êxito nesta área (Stumpf *et al.*, 2008). De modo geral as espécies nativas são mais rústicas e mais adaptadas do que as exóticas, requerendo menor manutenção (Campos & Petry, 2009).

A utilização de espécies nativas de maneira adequada em cada região, leva a um menor impacto ambiental, maior preservação da diversidade local, promove uma identidade florística regional, além de, reduzir o consumo de água, pois as espécies locais estão mais adaptadas ao tipo de solo e clima, e são mais resistentes a doenças e pragas locais. Espécies como *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb., e *Angelonia integerrima* Sprengel, são nativas da América Latina, apresentam grande potencial ornamental e vem sendo estudadas nos últimos anos a fim de se determinar os melhores processos de propagação e domesticação para torná-las disponíveis no mercado.

Estima-se que cerca de 67% da produção de flores no Brasil se dá a céu aberto, sendo assim este setor é dependente das condições climáticas. Dadas as projeções de aumentos nas temperaturas médias e de grandes variações pluviométricas, poderá a floricultura sofrer por perdas devido ao estresse hídrico. Assim, conhecer os mecanismos de tolerância à seca de espécies e reconhecer genótipos tolerantes dentro da floricultura é essencial.

Estresses abióticos, diferentes dos causados por fatores bióticos, podem ser prejudiciais, tanto dentro de uma faixa considerada limitante quanto pelo seu excesso. O comportamento de espécies em respostas a diferentes regimes hídricos é uma das

áreas de maior interesse da comunidade científica, principalmente para compreender os mecanismos fisiológicos envolvidos na resistência ao déficit ou excesso de água. Por meio do conhecimento de tais mecanismos é possível se estabelecer estratégias de manejo das culturas existentes ou estabelecimento de novas espécies para que elas apresentem uma exploração sustentável e rentável, pois a correta disponibilidade de água poderá causar economias a viveiristas e floricultores.

O ajuste osmótico tem se mostrado uma das principais respostas das plantas ao estresse hídrico, relacionado principalmente à resistência ao déficit. Tal mecanismo consiste na biossíntese e acúmulo de substâncias orgânicas ditas solutos compatíveis, que apresentam função osmoprotetora, mantendo um equilíbrio hídrico e preservando as principais estruturas celulares, mantendo as atividades vitais dos vegetais (Abdul Jaleel *et al.*, 2007). As principais moléculas envolvidas no ajuste osmóticos são açúcares, ácidos orgânicos, íons, álcoois e aminoácidos (Bray, 1997). Espécies e variedades diferem do modo de acúmulo e de quais substâncias são as responsáveis pelo ajuste osmótico.

Assim, os objetivos deste trabalho foram avaliar os efeitos de diferentes frequências de irrigação no crescimento e desenvolvimento de *A. integerrima* e *H. reticulatum* var. *striatifolium*, bem como analisar os efeitos das variações hídricas nas trocas gasosas e determinar a utilização do mecanismo de ajuste osmótico para estas espécies.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Floricultura nacional

A floricultura é definida segundo o Sebrae (2015), como o conjunto de atividades tanto produtivas quanto comerciais relacionadas ao mercado de espécies cultivadas com a finalidade ornamental. No Brasil, o setor de floricultura movimentou em 2021 um total de R\$ 10,9 bilhões, demonstrando a importância deste setor na economia brasileira (Ibraflor, 2022). Assim, a produção comercial de plantas ornamentais desempenha funções econômicas, culturais, ecológicas e sociais importantes para o país (Terra & Züge, 2013).

O Brasil é formado por biomas com as mais diversas características ambientais resultando numa imensa biodiversidade. São mais de 46 mil espécies vegetais já catalogadas para o país. Dentre estas, 33.108 são Angiospermas, sendo 50% delas endêmicas do Brasil (IBGEeduca, 2022). Apesar da grande riqueza florística, poucas são as espécies nativas exploradas comercialmente para fins de floricultura ou paisagismo (Heiden *et al.*, 2006). A quase totalidade de espécies ornamentais utilizadas no Brasil são plantas exóticas trazidas pelos imigrantes europeus. Tem-se que a introdução de espécies exóticas para uso ornamental é uma das principais formas de se iniciar o processo de invasão biológica, interferindo no hábitat natural da região (Hulme *et al.*, 2018; Blackburn *et al.*, 2011).

Em contrapartida, muitas espécies brasileiras são comercializadas no exterior. Muitas empresas têm investido em pesquisas básicas sobre as espécies nativas do Brasil com potencial ornamental devido a beleza incomum de muitas dessas espécies, além de utilizarem-se delas como inovação no meio ornamental. No Brasil a identificação e pesquisas básicas acerca da propagação e das necessidades de cultivo de espécies com potencial ornamental ainda é mínima. A comercialização destas espécies poderia alavancar o setor de floricultura, sempre ávido por novidades (Barroso *et al.*, 2007). Porém para a utilização sustentável deste recurso ainda são necessários muitos investimentos para viabilização da sua comercialização (Coradin *et al.*, 2011).

Além disso, a utilização consciente das espécies nativas em finalidades comerciais é uma das estratégias para preservação destas espécies (Nahoum & Fraga, 2015). O emprego destas espécies em projetos de paisagismo também reduz a necessidade de recursos para manutenção destes jardins, uma vez que espécies nativas são mais bem adaptadas às condições ambientais locais além de manterem as características vegetais do local (Oliveira Júnior *et al.*, 2013). Boldrini (2009), em estudos com a fauna do Rio Grande do Sul (RS), também destaca a importância da utilização das espécies nativas do estado para sua conservação.

Atualmente o chamado paisagismo sustentável já está mais presente nas paisagens das cidades. Muito disto se deve ao aumento nos estudos acerca destas espécies, como os realizados por Stumpf *et al.*, (2009), que identificaram nove espécies nativas do RS com elementos estéticos satisfatórios para uso no paisagismo, bem como disponibilizaram informações sobre as características das mesmas. Em 2012, Carrion & Brack, estruturaram estudos para realização de um levantamento de espécies

ornamentais nativas do Pampa Gaúcho no qual foram identificadas 177 espécies com potencial ornamental.

O Rio Grande do Sul apresenta cerca de 3.273 estabelecimentos envolvidos tanto na produção quanto na comercialização de flores e plantas ornamentais, o que deixa o estado como o 9º maior do país (IBGE, 2017). Porém, a presença de espécies nativas ornamentais nestes espaços de comercialização ainda é incomum. Para que a presença dessas espécies se faça constante nos jardins brasileiros, é fundamental que se tenham cada vez mais pesquisas sobre as necessidades culturais das mesmas.

2.2 Espécies estudadas

2.2.1 *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb

O gênero *Hippeastrum*, Amaryllidaceae, é composto por 39 espécies, com hábito herbáceo e origem na América Central, sendo distribuídas do México à Argentina e Bolívia. O maior número é encontrado do Brasil ao centro sul dos Andes (Flora e Funga do Brasil, 2022). No Brasil, as espécies de *Hippeastrum* estão distribuídas em todos os estados do país e presentes em todos os domínios fitogeográficos, sendo 21 espécies endêmicas (Dutilh & Oliveira, 2014). As espécies mais representativas do gênero são popularmente conhecidas como amarílis e suas flores são comercializadas em todo mundo, estima-se que anualmente são comercializados mais de 3 milhões de bulbos de amarílis (Mateus *et al.*, 2010).

Dentre as espécies do gênero com potencial ornamental, tem-se destacado *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb (Figura 1), nativa de florestas úmidas da mata Atlântica.



FIGURA 1. *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivado em vaso e mantido em estufa plástica do DHS/UFRGS. Fonte: TRAPP, K.C., 2020.

Esta é uma espécie ornamental pouco exigente em tratos culturais, podendo ser cultivada em ambientes internos com o mínimo de luminosidade necessário para a sua sobrevivência. *H. reticulatum* var. *striatifolium* é uma planta bulbosa, com raízes fasciculadas, filotaxia alterna dística e normalmente apresenta de quatro a sete folhas contemporâneas por planta. Uma de suas principais características é a presença de uma nervura central de coloração branca muito evidente na face adaxial. Seu florescimento ocorre anualmente no período que abrange o fim do verão até o início do outono. As inflorescências do tipo umbela, variam no número de flores (de quatro a seis), as quais são homoclamídeias com perigônio formado por seis tépalas de coloração rosa-clara na base que vai escurecendo em direção ao ápice (Heintze, 2014; Dole & Wilkins, 2004).

No que diz respeito à necessidade hídrica, esta espécie apresenta baixo requerimento de água. Ao analisar a interrupção de irrigação durante 2, 4 e 8 semanas em *Hippeastrum x hybridum* Red Lion, Boyle & Stimart (1987), destacaram que quanto maior o período de restrição hídrica mais rapidamente ocorria o florescimento

após a reidratação. Demonstrando assim, ser uma espécie tolerante à deficiência hídrica.

2.2.2 *Angelonia integerrima* Sprengel

Angelonia integerrima Sprengel (Figura 2) é uma das 140 espécies representantes da família Plantaginaceae e pode ser encontrada na região neotropical, correspondendo desde a parte central do México até o extremo sul da América do Sul (Flora e Funga do Brasil, 2022; Boff *et al.*, 2014). O gênero *Angelonia* é representado no Brasil por 18 espécies, sendo 15 destas endêmicas de todas as regiões do país e encontradas em todos os biomas (Angelonia, 2022).



FIGURA 2. *Angelonia integerrima* Sprengel cultivado em vaso, detalhes de suas flores e racemos terminais. Fonte: TRAPP, K.C., 2020.

A. integerrima é popularmente conhecida como angelônia, caracol-do-campo ou violeta-do-campo. Tem sua ocorrência em campos do Mato Grosso do Sul e da Região Sul do Brasil, no Paraguai e Argentina. É uma espécie herbácea com altura entre 20 a 80 cm, ereta ou subereta. Suas flores estão dispostas em racemos terminais de 11 a 30 cm de comprimento e sua corola apresenta coloração lilás a roxa, com pontuações roxa-escuras externamente e com bolsas de óleos bem desenvolvidas e

com florescimento de outubro a março (Martins *et al.*, 2013; Souza & Giulietti, 2009; Stumpf *et al.*, 2009; Burkart, 1979).

A. integerrima é mais uma das espécies nativas com amplo potencial ornamental, podendo ser cultivada em canteiros, floreiras, vasos e arranjos florais (Stumpf *et al.*, 2009). O contraste causado entre coloração diferencial entre o caule e as folhas, os racemos com as flores podendo ser encontradas em diversos estágio de maturação proporcionando maior tempo de floração e as características pouco comuns de suas flores a tornam um diferencial para o setor da floricultura. Podendo ser encontrada em afloramentos rochosos e campos pedregosos o que pode ser um indicativo de que a mesma seja tolerante a deficiência hídrica. Outro ponto que corrobora com isso é o fato de ser encontrada em biomas com características bem distintas, tais como Cerrado, Mata Atlântica e Pampa (Flora e Funga do Brasil, 2022). Porém, ainda não se tem conhecimento acerca da resistência desta espécie ao estresse hídrico e quais os mecanismos envolvidos.

2.3 Efeitos do estresse hídrico

O estresse hídrico é caracterizado como uma condição em que a disponibilidade hídrica se encontra abaixo ou acima da faixa dita como tolerável (Sousa e Sousa, 2017).

A deficiência hídrica é resultante de uma disponibilidade hídrica abaixo da necessidade da espécie seja por redução na quantidade de água disponível ou por aumentos na temperatura ambiente o que resulta em maior demanda evapotranspirativa. Além disso, redução na temperatura ao ponto de congelamento da água intracelular e salinização do meio de cultivo também resultam em deficiência hídrica (Taiz *et al.*, 2017).

As respostas ao déficit hídrico dependem da quantidade de água disponível no solo e a capacidade de retenção deste, da demanda atmosférica e consequente perda de água por transpiração, da radiação solar, fase de desenvolvimento e genótipo vegetal bem como da duração e intensidade do estresse (Bray, 1997, Araújo *et al.*, 2010).

Um dos principais efeitos da restrição hídrica é a perda de homeostase, caracterizada pelo componente osmótico. Consequentemente haverá alterações no processo de absorção, acúmulo e manutenção dos níveis de água e íons nos tecidos, levando ao processo de desidratação e consequentemente perda de turgor (Flowers *et al.*, 2014; Melo *et al.*, 2016). A perda de turgor leva a redução do crescimento celular, bem como nas taxas de expansão vegetal e crescimento, uma vez que o processo de divisão e expansão celular são dependentes da disponibilidade hídrica.

Como maneira de garantir o status hídrico adequado por mais tempo, mesmo que em situações de restrição hídrica, as plantas reduzem sua área de transpiração, ou seja, a área foliar, o que reduz a perda de água pelo processo transpiratório, porém também acarreta na redução da assimilação fotossintética (Taiz *et al.*, 2017). Já foi constatado em diversos estudos que as espécies reduzem sua área foliar em condições de estresse hídrico com a finalidade de manter a eficiência do uso da água (proporção entre o acúmulo de massa e o consumo de água) (Shao *et al.*, 2008; Farooq *et al.*, 2009).

Outro mecanismo utilizado pelas plantas para reduzir a perda de água é a redução da condutância estomática, o que em contrapartida reduz a disponibilidade de CO₂ nos espaços intercelulares, levando a reduções nas taxas de assimilação e aumentos nas taxas respiratórias (Ying *et al.*, 2020). Por outro lado, o fechamento estomático leva a uma série de reações bioquímicas e fisiológicas para equilibrar o processo fotossintético e estimula a produção de compostos que podem auxiliar na

defesa das plantas (Kapoor *et al.*, 2020). Mecanismos ditos não-estomáticos também são afetados pelo estresse hídrico, tais como a síntese de clorofila, alterações funcionais e estruturais nos cloroplastos e variações no acúmulo, transporte e distribuição dos assimilados (Taiz *et al.*, 2017).

O sistema radicular também é afetado pela restrição hídrica, como o acúmulo de carboidratos na raiz e transporte de água via aquaporinas (Jones, 2007). Sob deficiência hídrica as plantas tendem a priorizar a alocação de fotoassimilados para o crescimento radicular, aumentando a razão raiz/parte área para conseguir explorar áreas mais profundas e úmidas do solo, procurando água disponível (Cabral *et al.*, 2004).

A redução do conteúdo de água celular torna o citoplasma mais viscoso o que aumenta a chance de interação entre as moléculas celulares levando à desnaturação de proteínas e fusão de estruturas, além de ocorrer redução na estabilidade da membrana, podendo acarretar na morte celular. Para tentar reduzir tais efeitos, as plantas estão propensas a alterar o metabolismo de carbono, nitrogênio e ciclos de síntese e catabolismo de moléculas para alterar a concentração osmótica das células (Lawlor & Cornic, 2002, Taiz *et al.*, 2017; Chaves, 1991).

Além do déficit hídrico, o excesso de água também se traduz em prejuízos para o crescimento e desenvolvimento vegetal. O excesso de água reduz os níveis de oxigênio disponíveis, reduzindo a respiração radicular e elevando os níveis de fermentação. Isto pode ocasionar um esgotamento na energia disponível bem como a acidificação do citosol e a toxicidade devido ao aumento nas concentrações dos produtos fermentativos (Taiz *et al.*, 2017).

Irrigações em excesso reduzem a qualidade e a produtividade, além de, levarem a lixiviação de nutrientes, causando deficiência nutricional. Além disso, níveis

superiores aos necessários levam a queda precoce de flores e maior ocorrência de doenças, o que na floricultura, setor cuja compra é baseada na condição visual de seus produtos, causa sérios prejuízos. A utilização desnecessária de água também leva ao aumento de custos relacionados com energia, além de se desperdiçar um recurso natural que a cada dia torna-se mais escasso.

2.4 Ajuste osmótico

O ajuste osmótico é um mecanismo de tolerância ao estresse hídrico que consiste em alterações no metabolismo vegetal, seja na degradação ou na síntese *de novo* de moléculas, com a finalidade de aumentar a concentração de solutos na célula e assim reduzir o potencial hídrico celular. Isso resulta na força necessária para induzir o influxo de água mesmo que ela esteja em menor disponibilidade no solo, pois incrementa o gradiente de energia livre/potencial hídrico entre o *continuum* solo-planta-atmosfera (Taiz *et al.*, 2017; Marijuan & Bosch, 2013). O tipo de soluto, sua concentração e o órgão em que ele ocorre preferencialmente variam de acordo com a espécie (Martins *et al.*, 2018).

A alteração no metabolismo vegetal pode ocorrer em um estresse curto ou mais permanente em diferentes intensidades e culmina na produção de solutos orgânicos, chamados de solutos compatíveis ou osmorreguladores (Blum, 2017; Chaves, 1991). Tais compostos são eletricamente neutros, permanecem estáveis em pH 7 e são altamente solúveis em água, assim, mesmo que presente em altas concentrações, não exercem nenhum tipo de influência sobre os processos celulares ou interações com macromoléculas (Ballantyne & Chamberlin, 1994).

Esses osmorreguladores são importantes para o balanço osmótico e ao mesmo tempo, compatíveis com o metabolismo celular e podem se concentrar distintamente em

diferentes partes da planta e cada um deles pode apresentar um efeito fisiológico diferente, ou seja, enquanto alguns podem proteger enzimas e estruturas órgão-específicas, outros podem contribuir para o balanço osmótico parcial da planta, evitando o acúmulo de solutos inorgânicos (Albuquerque *et al.*, 2013).

Tal mecanismo é fundamental, pois permite a manutenção da turgescência foliar, da abertura estomática e das taxas fotossintéticas próximas às encontradas em condições favoráveis e conseqüentemente o crescimento (Kramer, 1995; Nilsen & Orcutt, 1996; Turner *et al.*, 2007). Porém, acredita-se que em muitos casos o ajuste osmótico tem a primordial função de manter o organismo celular sem que haja qualquer incremento no crescimento, pois tal processo ocorre sob o custo de fotoassimilados, assim, mesmo que mantidas as taxas fotossintéticas, seus produtos seriam usados para o ajustamento osmótico e não para o crescimento (Blum, 2017).

Dentre os compostos osmoticamente ativos destacam-se prolina e outros aminoácidos solúveis, glicina-betaína, carboidratos solúveis (frutose, glicose e sacarose) e insolúveis (amido) (Saglam *et al.*, 2010, Azevedo Neto *et al.*, 2010). A prolina é considerado uma das macromoléculas mais importantes no ajuste osmótico sendo acumulada em resposta a vários estresses ambientais (Nazarli *et al.*, 2011). Além de atuar na redução do potencial hídrico a prolina atua na hidratação de macromoléculas, como fonte de energia utilizável e de nitrogênio, como chaperona molecular e molécula antioxidante (Szabados & Saviouré, 2010).

A maior disponibilidade de prolina livre pode se dar devido a maior atividade de enzimas proteolíticas o que leva à quebra de proteínas e conseqüente liberação de aminoácidos. Este aminoácido também pode ter sua formação acelerada durante o processo de estresse, o que utiliza como energia NADPH, resultando em NADP⁺ que pode ser utilizado como receptor de elétrons durante o processo fotoquímico e assim

reduz a formação de espécies reativas de oxigênio (Harir & Mittler, 2009; Szabados & Saviouré, 2010).

Os açúcares também são citados como osmólitos de suma importância. Durante o processo de quebra de polissacarídeos no processo respiratório, os açúcares são acumulados e atuam auxiliando na defesa ao estresse (Seyyed Nejad *et al.*, 2011). Além de atuarem para a redução do potencial hídrico na célula e com isso gerar a diferença energética necessária para que ocorra o processo osmótico de entrada de água, eles atuam reduzindo a atividade de espécies reativas de oxigênio (Rosa *et al.*, 2005). Algumas espécies tendem a translocar uma maior quantidade de carboidratos para as raízes para permitir seu crescimento para profundidades que contenham água. Além de atuar no ajuste osmótico, mantendo o turgor celular, os açúcares são antioxidantes importantes para redução de danos foto-oxidativos (Miller *et al.*, 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Espécies estudadas

Para os experimentos foram utilizadas as espécies *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb, e *Angelonia integerrima* Sprengel, ambas espécies nativas do Brasil e com grande potencial de uso na floricultura. *A. integerrima*, nativa da América do Sul, é popularmente conhecida como angelônia, á uma espécie herbácea, cujas flores estão dispostas em racemos terminais que apresentam coloração lilás a roxa e presença de bolsas de óleo bem desenvolvidas. Pode ser encontrada em ambientes com características edafoclimáticas bem distintas podendo ser uma espécie com ampla capacidade de adaptação as variações climáticas.

H. reticulatum var. *striatifolium*, espécie nativa da Mata Atlântica, é pouco exigente em tratos culturais. Morfologicamente apresenta uma nervura central branca que contrastando com o verde de suas folhas faz essa uma de suas principais características. Suas inflorescências rosáceas ocorrem em número de quatro a seis, sendo do tipo umbela. O fato de ser uma espécie bulbosa, ou seja, que apresenta um órgão de reserva a torna uma espécie com potencial de sobrevivência a condições de restrições hídricas.

3.2 Material vegetal, local, condições iniciais do experimento e tratamentos culturais

As mudas de *A. integerrima* foram propagadas por estaquia, obtidas de um minijardim clonal, mantido em estufa plástica, pertencente ao setor de floricultura do Departamento de Horticultura e Silvicultura (DHS) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para produção dessas estacas foram utilizados ramos apicais com aproximadamente 8cm de comprimento. Nesses ramos, manteve-se apenas as duas folhas superiores. Após esse preparo, as estacas foram dispostas em bandejas de polietileno com 50 células de 50cm³, as quais estavam preenchidas com casca de arroz carbonizada. As estacas permaneceram em sala de nebulização até o enraizamento, processo que teve duração aproximada de 90 dias. Após enraizadas, foi realizada a padronização destas mudas, as quais foram podadas para que todas iniciassem o estudo com parte aérea de 15 cm⁻¹.

As mudas de *H. reticulatum* var. *striatifolium*, utilizadas neste estudo já estavam disponíveis no setor de floricultura do DHS/UFRGS, provenientes de processos de multiplicação anteriores. Para padronização destas mudas, inicialmente mediu-se o diâmetro do bulbo das plantas utilizadas. Foram adotados diâmetros entre 10 e 18 cm⁻¹ para este estudo. Para cada tratamento foram distribuídas mudas de acordo com o seu perímetro com o objetivo de que inicialmente os tratamentos fossem compostos por mudas de todos os tamanhos disponíveis de maneira uniforme.

Após a padronização do material vegetal, as mudas obtidas foram dispostas em recipiente plásticos com capacidade de 2,6 litros. Os quais foram preenchidos com substrato formulado misturando-se um substrato comercial a base de turfa de esfagno e casca de pinus compostada na proporção 3:1 (v/v). A análise química e física deste

substrato foi realizada no Laboratório de Substrato para Plantas, do DHS/UFRGS e podem ser visualizadas na Tabela 1.

Neste momento o material vegetal foi conduzido para estufa de aço galvanizado com cobertura plástica pertencente ao DHS/UFRGS, a qual está localizada nas mediações da Faculdade de Agronomia da UFRGS, na cidade de Porto Alegre – RS, local onde foi conduzido o estudo.

TABELA 1. Características físicas e químicas* de substrato para plantas a base de turfa de esfagno e casca de pinus, utilizada no cultivo de *A. integerrima* e de *H. reticulatum* var. *striatifolium*.

pH (H₂O)	6,81
Condutividade elétrica** (ms.cm ⁻¹)	0,69
Densidade úmida*** (kg.m ⁻³)	387,88
Densidade seca (kg.m ⁻³)	268,91
Umidade Atual (%)	28,78
Porosidade Total (%)	79,49
Espaço de Aeração (%)	36,54
Água Facilmente Disponível (%)	12,57
Água Tamponante (%)	2,45
Água Remanescente (%)	27,93

* Média dos valores das análises dos dois experimentos. **Método 1:5.

***Método da auto compactação.

Ao substrato foram adicionadas 4g/L de adubo de liberação lenta (Basacote®) NPK 16-08-12, 6 meses, constituindo a única adubação proporcionada às espécies durante o experimento. Por um período de 21 dias, os recipientes foram mantidos em sua capacidade de vaso, recebendo regas diárias até iniciar a lixiviação (10% de taxa de lixiviado). Durante o cultivo destas plantas o controle de espécies daninhas se deu de maneira manual. Não houve a necessidade de controle de pragas.

3.3 Execução e tratamentos

O estudo foi realizado em duas épocas distintas, aqui denominadas época 1 (06 de março de 2019 a 09 de julho de 2019) e época 2 (05 de janeiro de 2020 a 11 de maio de 2020). Ambas espécies foram dispostas em bancadas com sistema de irrigação por

gotejamento em delineamento inteiramente casualizado (Figura 3). A parcela foi constituída de 6 mudas de cada espécie, totalizando 26 mudas por tratamento e 104 mudas por espécie em cada época.

As frequências de irrigações testadas foram diárias, a cada três, seis e nove dias. As regas eram realizadas por gotejamento durante quatro minutos, em quatro momentos diários, totalizando 400 mL por dia de aplicação. Optou-se por esta aplicação de irrigação, por facilitar o manejo das mudas, pensando em posterior aplicação em viveiros, cuja disponibilidade de mão-de-obra e equipamentos muitas vezes não permitiria a utilização de métodos mais acurados. Durante os 123 dias de experimento foram monitoradas a temperatura e umidade dentro da estufa, com auxílio de termo hidrômetro digital.



FIGURA 3. Disposição de *Angelonia integerrima* Sprengel e *Hippeastrum reticulatum* var *striatifolium* (Herb.) Herb. nos tratamentos, onde a cada duas mangueiras de irrigação é caracterizada uma parcela, ou seja, um regime hídrico. Fonte: TRAPP, K. C., 2019.

3.4 Análise do crescimento, desenvolvimento e bioquímica

As análises eram realizadas mensalmente (Tabela 2). A cada coleta era realizado sorteio de quatro plantas por tratamento, as quais eram utilizadas para as análises. Inicialmente foram efetuadas as medições das trocas gasosas utilizando-se o Analisador Portátil de Fotossíntese por infravermelho LI-6400 (LI-COR Biosciences Inc., Nebraska, USA). Para que os dados coletados melhor expressem às condições naturais das plantas é indicado que os mesmos sejam coletados nas primeiras horas de um dia sem nebulosidade e que este dia tenha sido precedido de ao menos um dia de pleno sol. Devido a tais exigências climáticas para coleta dos dados, não foi possível

que se realizassem as coletas com intervalos exatos de 30 dias, sendo estas realizadas aos 35, 62, 88 e 123 dias.

TABELA 2. Tratamentos e coletas realizadas durante o estudo para *Angelonia integerrima* Sprengel e *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb.

Irrigações diárias na época 1, coleta 1
Irrigações diárias na época 1, coleta 2
Irrigações diárias na época 1, coleta 3
Irrigações diárias na época 1, coleta 4
Irrigações diárias na época 2, coleta 1
Irrigações diárias na época 2, coleta 2
Irrigações diárias na época 2, coleta 3
Irrigações diárias na época 2, coleta 4
Irrigações a cada 3 dias na época 1, coleta 1
Irrigações a cada 3 dias na época 1, coleta 2
Irrigações a cada 3 dias na época 1, coleta 3
Irrigações a cada 3 dias na época 1, coleta 4
Irrigações a cada 3 dias na época 2, coleta 1
Irrigações a cada 3 dias na época 2, coleta 2
Irrigações a cada 3 dias na época 2, coleta 3
Irrigações a cada 3 dias na época 2, coleta 4
Irrigações a cada 6 dias na época 1, coleta 1
Irrigações a cada 6 dias na época 1, coleta 2
Irrigações a cada 6 dias na época 1, coleta 3
Irrigações a cada 6 dias na época 1, coleta 4
Irrigações a cada 6 dias na época 2, coleta 1
Irrigações a cada 6 dias na época 2, coleta 2
Irrigações a cada 6 dias na época 2, coleta 3
Irrigações a cada 6 dias na época 2, coleta 4
Irrigações a cada 9 dias na época 1, coleta 1
Irrigações a cada 9 dias na época 1, coleta 2
Irrigações a cada 9 dias na época 1, coleta 3
Irrigações a cada 9 dias na época 1, coleta 4
Irrigações a cada 9 dias na época 2, coleta 1
Irrigações a cada 9 dias na época 2, coleta 2
Irrigações a cada 9 dias na época 2, coleta 3
Irrigações a cada 9 dias na época 2, coleta 4

As medições das trocas gasosas foram realizadas na terceira folha totalmente formada a partir do ápice para *A. integerrima*, para que não se utilizasse tecido fotossintético com idade fisiológica muito avançada ou muito jovem, e na maior folha

para *H. reticulatum* var. *stiatifolium*. Foi utilizada intensidade luminosa de densidade de fluxo de fótons de $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e câmara de fluxo foliar ajustada a uma concentração de $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}$ de CO_2 . Estes valores foram determinados após testes preliminares com as plantas (Figura 4).

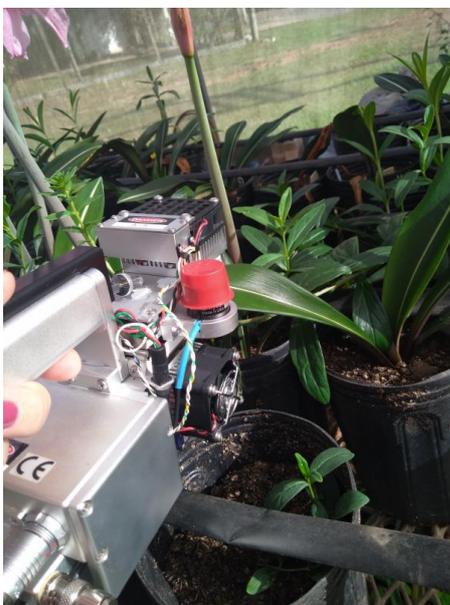


FIGURA 4. Análise de trocas gasosas de *Hippeastrum reticulatum* var. *stiatifolium* (Herb.) Herb. utilizando Analisador Portátil de Fotossíntese por infravermelho LI-6400. Fonte: TRAPP, K.C., 2020.

Em cada momento, as medições eram realizadas em quatro plantas por tratamento, as quais eram escolhidas por meio de sorteio. Para o sorteio de *H. reticulatum* var. *stiatifolium*, se teve o cuidado de que as plantas medidas em cada tratamento tivessem iniciado o experimento com o mesmo perímetro de bulbo, ou seja, se realizava o sorteio para o primeiro tratamento e nos restantes o sorteio ocorria apenas entre as plantas com tamanho de bulbo inicial similar a estas.

Foram analisadas a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A - $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), condutância estomática (G_s - $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i - ppm). Com estes valores foram calculadas a eficiência do uso da água (EUA), que expressa a razão entre a quantidade

de biomassa produzida e a consumida (A/E) e a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i). Além disso, utilizando o mesmo aparelho mediu-se a temperatura foliar.

Mensalmente as mesmas plantas sorteadas para medições de trocas gasosas eram coletadas para análise das variáveis de crescimento. Inicialmente eram mensuradas a altura máxima das plantas para *A. integerrima* e comprimento da maior folha para *H. reticulatum* var. *stiatifolium*. A parte aérea das plantas era rapidamente acondicionada em sacos de papel e armazenada em caixas térmicas e então levada para análise do potencial hídrico (Ψ_{H_2O}) foliar. Tal medição ocorreu em uma câmara de pressão (Câmara de Scholander), onde utilizou-se a terceira folha totalmente expandida a partir do ápice (para *A. integerrima*). Para verificação deste valor é aplicada uma pressão (bars) no interior da câmara, por meio da aplicação de gás nitrogênio, até o ponto de exsudação da seiva do xilema (Figura 5). A pressão aplicada necessária para ocorrer a exsudação é considerado o potencial hídrico do xilema. Para *H. reticulatum* var. *stiatifolium* não foi necessária tal análise, pois ao se destacar a folha já era possível visualizar a seiva sendo exsudada.



FIGURA 5. Local de inserção do pecíolo da folha (esquerda) em uma câmara de Scholander, mostrando a seiva do xilema sendo exsudada após a aplicação de pressão (seta à direita). Fonte: TRAPP, K. C., 2019.

Após análise do potencial hídrico, eram aferidas a massa de matéria fresca da parte aérea e do sistema radicular, volume e comprimento do sistema radicular e a área foliar das plantas sorteadas. Para *H. reticulatum* var. *stiatifolium* também foi medida a circunferência de bulbo. Posteriormente o material vegetal foi colocado em estufa de secagem onde permaneceu até peso constante a uma temperatura de 65 °C. Com estes valores estimou-se ainda a razão entre a massa da matéria seca do sistema radicular e da parte aérea (R/PA) e o teor de água (expresso pela razão entre a diferença entre a massa de matéria fresca e seca total e a massa de matéria fresca total, multiplicado por 100).

Além disso, duas plantas de cada tratamento por espécie, foram coletadas, lavadas e congeladas imediatamente, para posterior avaliação da capacidade de ajustamento osmótico por meio da quantificação de açúcares totais e prolina em folhas e raízes. Para determinar o teor de carboidratos solúveis foi utilizada a técnica de Bates *et al.*, (1973). Para tal 0,1g de material fresco foram colocados em tubos de ensaio e homogeneizados com 5 mL de água destilada para posterior banho-maria por 30 minutos a uma temperatura de 100°C. Após o banho-maria os tubos foram centrifugados por 10 minutos em 2000 rpm. Em uma alíquota de 100 µL do sobrenadante resultante do processo foram adicionados 400 µL de água destilada e houve a homogeneização. À solução foram adicionados 0,5 mL de fenol 5% (p/v), sendo novamente agitada. No centro de cada tubo foram adicionados 2,5 mL de H₂SO₄ concentrado, novamente agitados e então permaneceram em repouso por 20 minutos na ausência de luz. Todas as soluções foram analisadas em espectrofotômetro, sendo a leitura realizada em 490nm. Para o branco foi utilizada água destilada + reagentes (adicionados na proporção de 0,5 mL de água destilada, 0,5 mL de fenol 5% e 2,5 mL de H₂SO₄). Para calcular o teor de carboidratos solúveis totais presentes foi utilizada

uma curva-padrão de glicose e os resultados expressos em mg de glicose por g⁻¹ de massa de matéria fresca.

Para quantificação de prolina em folhas e raízes e/ou bulbo foi utilizada uma adaptação da técnica de Bates *et al.*, (1973). Nesta 0,1g de material fresco foram homogeneizados com 1mL de ácido sulfossalicílico 3%. Esta solução foi centrifugada por 10 minutos a 3000 rpm. Foram retiradas 200µL desta mistura e acrescidos a eles 100 µL de ácido sulfossalicílico 3%, 200 µL de ninhidrina ácida 2,5% (solubilizada em ácido acético a 80%). A solução foi incubada por uma hora a 100°C em banho-maria. Para parar a reação, os tubos de ensaio foram transferidos para banho de gelo até atingirem o ponto de resfriamento. Foram adicionados 600 µL de tolueno na solução que foi homogeneizada e permaneceu em repouso por 20 minutos na ausência de luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro em 520 nm, utilizando-se uma curva-padrão de prolina 1nM. Como branco foi utilizada água destilada acrescida dos reagentes ácido sulfossalicílico 3%, ninhidrina ácida 2,5% e tolueno. Os resultados foram expressos em g de prolina por g⁻¹ de massa de matéria fresca.

3.5 Acompanhamento da salinidade e pH do meio de cultivo

Nas análises mensais eram realizadas medições do pH e condutividade elétrica (CE) do substrato por meio da técnica Pour Thru que consiste em uma técnica de coleta de lixiviado descrita por Cavins *et al.*, (2000). O lixiviado foi coletado e levado para medição em potenciômetro e condutivímetro de bancada.

3.6 Delineamento experimental e análises estatísticas

Os dados obtidos tiveram sua normalidade testada pelo teste de Barlett e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Anova. Foram realizadas análises de

regressão, onde quando houve interação significativa entre os fatores época de coleta e intervalos de irrigação foi realizado desdobramento, realizando ajuste de uma regressão por tratamento. Quando os fatores não apresentaram interação significativa, ambos foram apresentados separadamente. Tratamentos, cujas regressões não foram significativas, foram alocados nos gráficos sem linha de tendência.

Todos os testes foram realizados com auxílio do software RStudio. Os dados de umidade e temperatura da estufa foram alocados em gráficos de dispersão dos dados executados em Excel 2016.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente serão apresentados os dados de temperatura e umidade de ambos experimentos. Posteriormente esta seção será subdividida de acordo com as espécies estudadas.

4.1 Temperatura e umidade

A maneira como as plantas respondem ao estresse hídrico depende da espécie ou cultivar estudada, da intensidade e duração do estresse, do estágio fenológico das plantas e das condições ambientais em que elas se encontram. É evidente que a condição hídrica de uma planta depende da disponibilidade hídrica do solo e das condições atmosféricas.

A umidade relativa do ar diz respeito a quantidade de vapor de água que existe na atmosfera e a quantidade máxima que poderia estar disponível em uma determinada temperatura. Assim, para cada temperatura há um valor relativo para a ocorrência da saturação do ar, situação em que a evaporação das plantas seria zero. A variação entre a quantidade de ar existente e a máxima possível é chamada de déficit de pressão de saturação de vapor de água no ar (DPV). Quanto maior este valor, maior será a força exercida pela atmosfera sobre a planta para que ocorra o processo evaporativo (Vieira e Piculli, 2009).

Na primeira época de avaliação (06 de março a 09 de julho de 2019) as temperaturas variaram entre 8,1 e 29,7°C, enquanto que as umidades relativas ficaram entre 60,1 e 95,3% (Figura 6). A menor temperatura encontrada também corresponde ao dia em que se foi determinada a maior umidade relativa (30 de junho), caracterizando assim, um dia de baixo DPV e conseqüentemente de baixa demanda evaporativa.

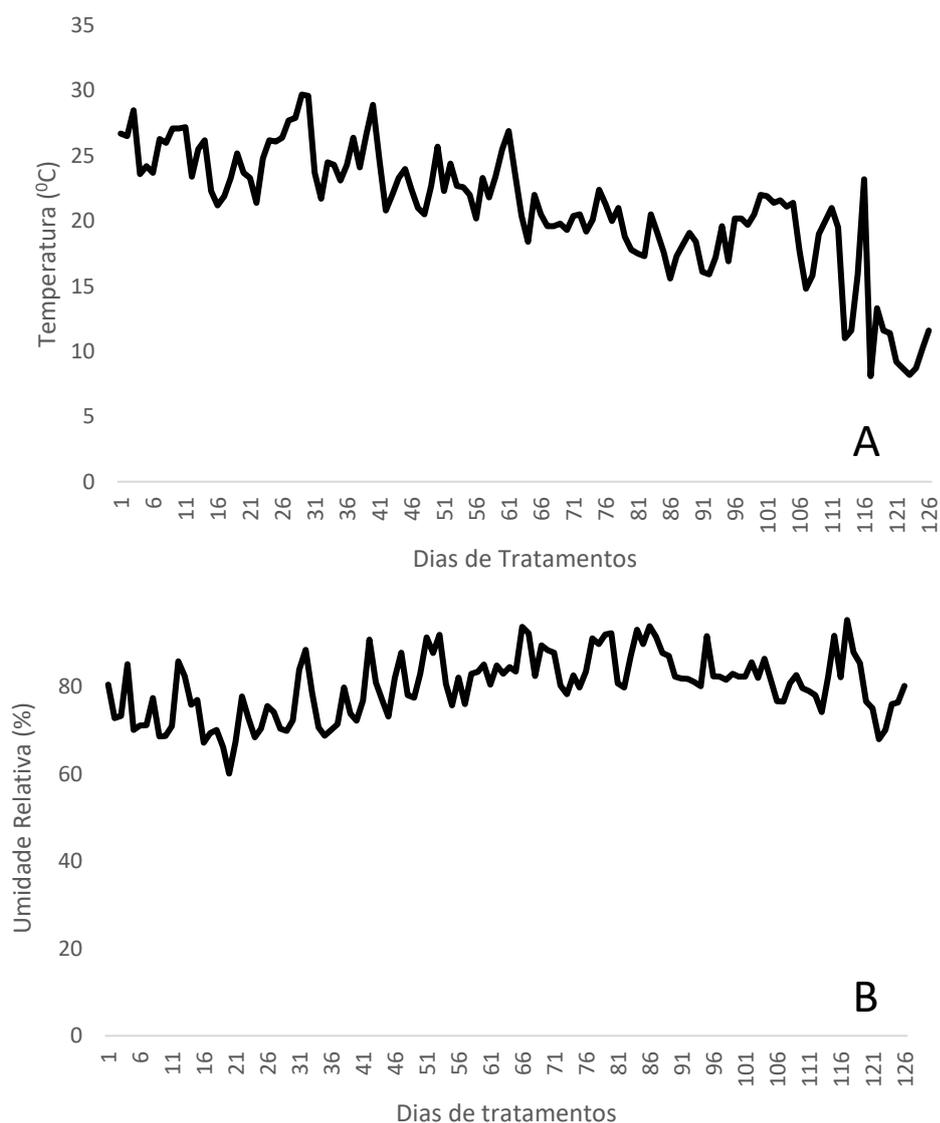


FIGURA 6. Temperatura (A) e Umidade Relativa (B) do local do experimento entre 06 de março e 09 de julho de 2019 (Época 1: março a julho de 2019).

Para a segunda época de avaliação (05 de janeiro de 2020 a 11 de maio de 2020) as temperaturas variaram entre 14,9 e 31,7°C e as umidades relativas apresentaram valores entre 55,8 e 88,6% (Figura 7). Em contrapartida ao encontrado para a primeira época, nesta segunda avaliação não houve uma relação direta entre a menor temperatura e a maior umidade relativa.

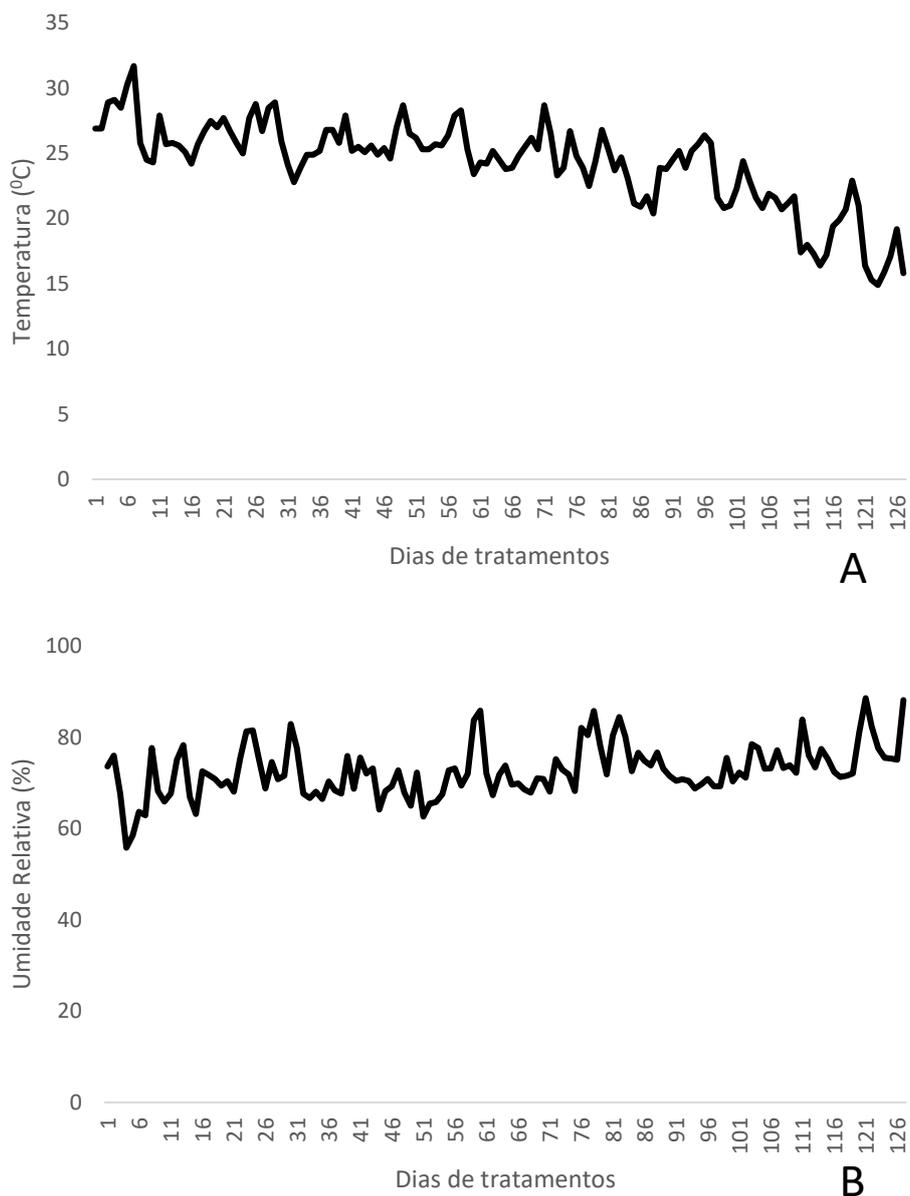


FIGURA 7. Temperatura (A) e Umidade Relativa (B) do local do experimento entre 05 de janeiro de 2020 e 11 de maio de 2020 (Época 2: janeiro a maio de 2020).

Comparativamente a temperatura mínima apresentada na época 2 em relação a da primeira época, foi 6,8°C superior. A variação entre as temperaturas máximas foi de 2°C superior na segunda época. No que diz respeito às umidades relativas, a mínima para a época 1 foi 4,3% superior à da época 2. Para as máximas encontradas a primeira época se apresentou 6,7% superior.

Tais condições demonstram que a demanda evapotranspirativa para a segunda época foi superior à da primeira época.

4.2 *Angelonia integerrima* Sprengel

4.2.1 Características do meio de cultivo

O cultivo satisfatório das plantas é dependente de diversos fatores, tais quais, nutrição, disponibilidade hídrica, incidência luminosa e características inerentes ao meio de cultivo (solo, substrato ou soluções). Dentre as características desejáveis de um substrato, as propriedades químicas são fundamentais, pois influenciam diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Análises de PourTrhu permitem avaliar a condutividade elétrica (CE) e o pH do meio de cultivo durante o desenvolvimento das plantas. Tal método foi utilizado para verificar a influência de diferentes disponibilidades hídricas nas características químicas do substrato. Os valores de pH e CE ideais dependem da espécie, genótipo e estágio de desenvolvimento. Mas, para a maioria das espécies ornamentais considera-se como ideal pH na faixa entre 5 a 6,5, ou seja, levemente ácido (Cavins *et al.*, 2000).

Para o cultivo de *A. integerrima*, nas condições deste experimento, houve interação significativa dos fatores época de cultivo e disponibilidade hídrica para os valores de pH e CE (Figura 8). O pH foi variável na faixa de 6,49 (plantas irrigadas diariamente na primeira época) e 4,44 (plantas irrigadas diariamente na segunda

época). O maior e o menor valor de pH foram encontrados para o cultivo de plantas irrigadas diariamente, na época 1 e 2, respectivamente, aos 35 dias após o início dos tratamentos.

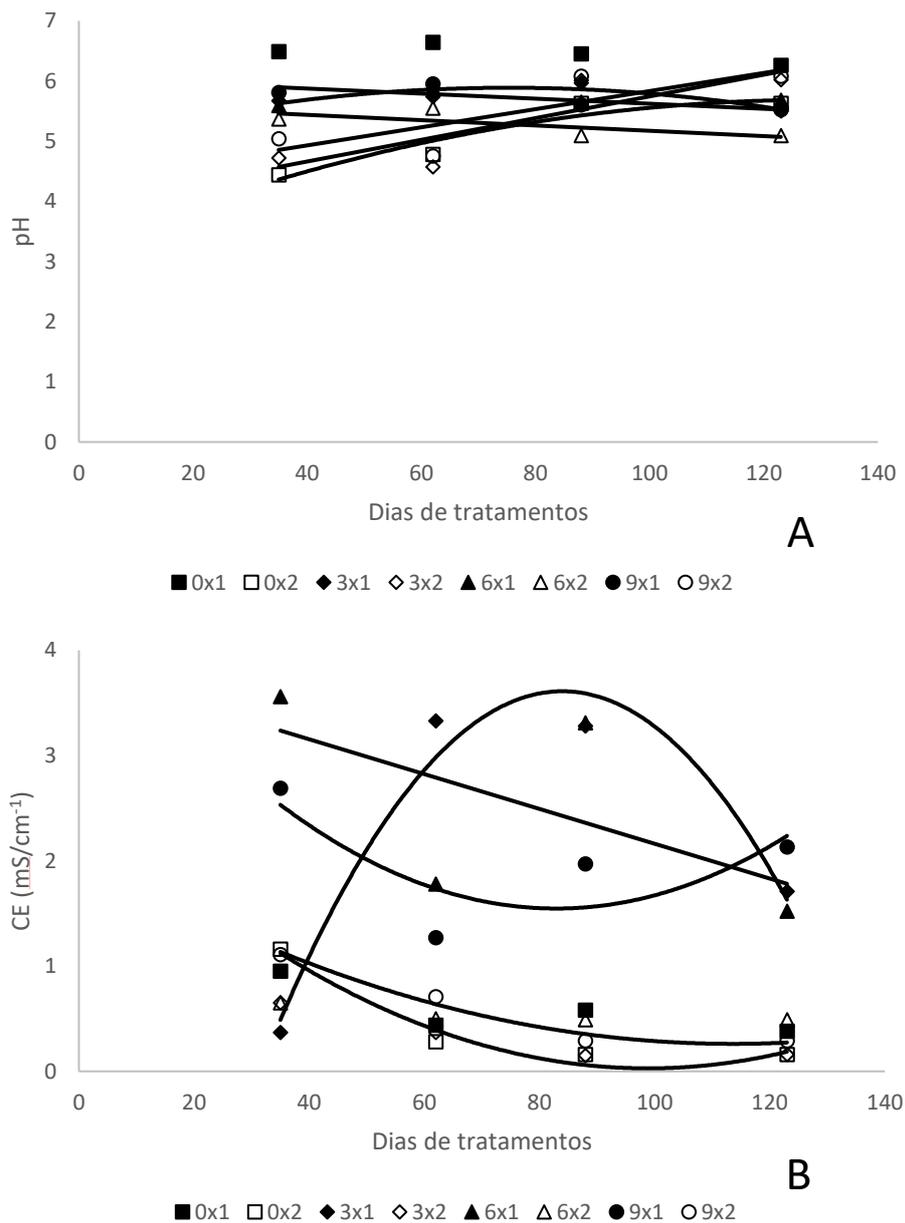


FIGURA 8. pH (A) e condutividade elétrica (CE) do substrato pelo método PourThru no cultivo de *Angelonia integerrima* Sprengel em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (pH: $y = -0,0001x^2 + 0,038x + 3,22$; $R^2 = 0,91$; CE: $y = 0,0003x^2 - 0,053x + 2,66$; $R^2 = 0,96$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (pH: $y = -0,0002x^2 + 0,023x + 5,007$; $R^2 = 0,75$; CE: $y = -0,0013x^2 + 0,22x - 5,57$; $R^2 = 0,96$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (pH: $y = 0,0180x + 3,94$; $R^2 = 0,73$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (CE: $y = -0,0165x + 3,8159$; $R^2 = 0,36$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (pH: $y = -0,0044x + 5,61$; $R^2 = 0,55$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (pH: $y = -0,0042x + 6,04$; $R^2 = 0,64$; CE: $y = 0,0004x^2 - 0,071x + 4,49$; $R^2 = 0,59$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (pH: $y = 0,015x + 4,33$; $R^2 = 0,66$; CE: $y = 0,0001x^2 - 0,032x + 2,11$; $R^2 = 0,98$). Época 1: março a julho de 2019. Época 2: janeiro a maio de 2020.

Elevações de pH podem estar relacionadas às características da água de irrigação, principalmente pela alcalinidade estabelecendo um forte poder tampão do meio de cultivo. Neste estudo, o pH da água de irrigação foi verificado no momento das análises do substrato e variou entre 7,2 e 7,6. Como plantas irrigadas diariamente na época 1 foi o tratamento com maior disponibilidade hídrica, pode ter sido este o fator que elevou seu pH. A disponibilidade de água superior na época 1 se comparada à época 2, pode ser devido às temperaturas mais elevadas e menores umidades relativas durante a época 2 o que aumenta a demanda evapotranspirativa para as plantas. Isto faz com que a água seja mais rapidamente consumida quando comparada à época 1.

Na maioria das coletas o pH se apresentou fora da faixa considerada ideal, porém este não pareceu influenciar o crescimento e desenvolvimento de *A. integerrima*, pois os dados encontrados para as análises fisiológicas e morfológicas não tem relação com as variações de pH. O tratamento com maior variação de pH durante os 123 dias, foi o cultivo de plantas irrigadas a cada nove dias da segunda época (4,75 a 6,08). Tal resultado pode ter ocorrido devido a menor atividade metabólica destas plantas ao final do período experimental devido ao estresse causado pela redução de disponibilidade hídrica, o que fez com que houvesse aumento da quantidade de água no substrato e com isso o mesmo teve sua alcalinidade elevada.

A condutividade elétrica demonstra, de maneira geral, a quantidade de sais presentes na solução do substrato. Assim, quanto maior a CE, maior será a quantidade de íons presentes, porém isto não significa que tais íons estarão disponíveis para as plantas. Segundo Cavins *et al.* (2000), plantas ornamentais podem ser consideradas, em relação a sua exigência nutricional, como de baixa, média ou alta exigência. Plantas com alta exigência toleram até $0,65 \text{ mS cm}^{-1}$ (método 1:5) ou $4,6 \text{ mS cm}^{-1}$ (método PourThru).

Alterações nos valores de CE são reflexo da mudança no conteúdo de água no substrato uma vez que esta determina a solubilização dos íons. Oliveira *et al.*, (2011), ao avaliarem a condutividade elétrica do solo em função da lâmina de irrigação, observaram que à medida que se aumentou a disponibilidade hídrica houve aumento no valor da CE. Segundo estes autores tal resultado foi decorrente da maior solubilização de íons presentes nas micelas do solo, que são moléculas anfipáticas, ou seja, formadas por substância hidrofóbicas e hidrofílicas. Porém, caso ocorra um aumento exagerado no valor da lâmina de irrigação e conseqüentemente do lixiviado isto resultaria numa redução da CE devido a perdas por lixiviação.

Para este experimento as menores médias foram encontradas para a época 2, devido à maior demanda evapotranspirativa nesta época, pode ter ocorrido um rápido consumo dos íons disponíveis no substrato (Figura 8). Vale ressaltar que durante o período experimental não foi realizada nenhuma reposição nutricional, assim, os íons disponíveis para o cultivo durante os 123 dias são provenientes dos íons já presentes no substrato ou adubo de liberação lenta incorporado na instalação do experimento. Em comparação, a época 1 obteve as menores CE, devido ao menor fluxo de trocas gasosas, reduzindo assim o consumo dos íons presentes no substrato. Além disso, as maiores temperaturas da segunda época aceleram a disponibilidade de nutrientes por parte do adubo de liberação lenta adicionado ao substrato.

O esgotamento dos íons também explica o fato de que houve redução nos valores de condutividade elétrica ao final do experimento. Apenas amostras do tratamento irrigado a cada nove dias, da primeira época, apresentaram acréscimos na CE. Uma menor atividade metabólica destas plantas devido à baixa disponibilidade hídrica, levou a redução na necessidade de utilização dos íons presentes no substrato e

com isso houve aumento em sua concentração e conseqüentemente na condutividade elétrica.

Os valores de CE também demonstraram que *A. integerrima* pode ser considerada uma planta de alta exigência nutricional e tolera valores de CE muito próximos aos valores superiores citados por Cavins *et al.* (2000).

4.2.2 Potencial hídrico

O potencial hídrico foliar é responsável por indicar o estado energético da folha e é por meio de seus valores que se pode explicar os fluxos de água no sistema solo-planta-atmosfera. O valor crítico ou mínimo está relacionado a características do genótipo e ambiente e da idade fisiológica da planta. Para *A. integerrima* o potencial hídrico foi dependente da interação entre os fatores frequências de irrigação e época de cultivo (Figura 9). Conforme observado, as plantas com menor disponibilidade hídrica, apresentaram os menores valores de potencial hídrico. Tais reduções indicam que a planta está perdendo água, via transpiração, numa escala superior à que absorve do meio de cultivo, o que pode resultar na redução da condutância estomática e conseqüentemente na taxa de assimilação fotossintética (Bergamaschi & Bergonci, 2017).

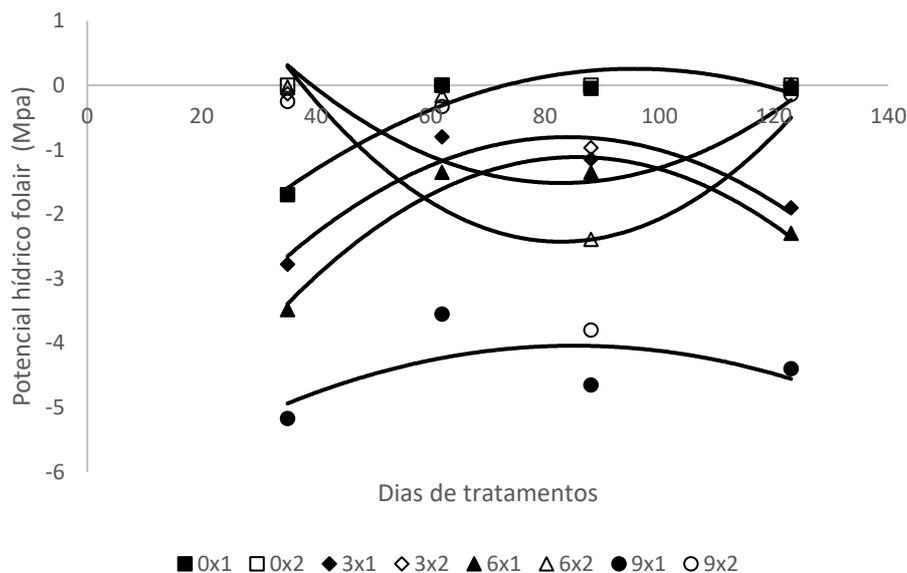


FIGURA 9. Potencial Hídrico de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y = -0,0005x^2 + 0,0963x - 4,3477$; $R^2 = 0,91$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2; 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y = -0,008x^2 + 0,1297x - 6,245$; $R^2 = 0,88$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2; 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y = -0,0009x^2 + 0,1523x - 7,6324$; $R^2 = 0,96$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y = 0,0008x^2 - 0,1323x + 3,965$; $R^2 = 0,52$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y = -0,0004x^2 + 0,0608x - 6,6292$; $R^2 = 0,35$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y = 0,0012x^2 - 0,197x + 5,7247$; $R^2 = 0,49$). Época 1: março a julho de 2019. Época 2: janeiro a maio de 2020.

Os menores valores de potencial hídrico foram encontrados para as plantas cultivadas na época 1 (março-julho). Temperaturas inferiores nesta época podem ter permitido maior atividade fotossintética destas plantas e consequentemente condutância estomática superior em relação as plantas da época 2 o que pode ter levado a um consumo superior de água nesta situação. *Angelonia angustifolia* Benth teve sua temperatura base estimada em 7°C (Nau, 2011), assim, temperaturas muito superiores a estas na segunda época podem ter prejudicado as trocas gasosas e consequentemente reduzindo o consumo de água e mantendo o potencial hídrico foliar em *A. integerrima*.

O menor valor foi observado para plantas irrigadas a cada nove dias na coleta aos 35 dias (-5,17 MPa), a elevação deste valor ao decorrer do experimento pode ter sido devido a mecanismos de defesa ao estresse que reduziram a perda de água. Algumas espécies conseguem manter seus potenciais hídricos próximos a zero (plena hidratação) por meio da redução da condutância estomática, porém o mesmo resultará numa redução da taxa de assimilação e assim na taxa de crescimento, como o que ocorreu para *Plectranthus barbatus* em estudo realizados por Silva (2021). Nas condições analisadas, a espécie manteve seu potencial entre -0,4 e -0,6 MPa mesmo em condições de estresse hídrico, devido à redução na condutância estomática, porém o mesmo resultou em menor crescimento.

As reduções do potencial hídrico após 123 dias, para os todos os tratamentos na época 1, podem ter ocorrido devido ao menor DPV do ambiente o que favoreceu a abertura estomática até para as plantas com menor disponibilidade hídrica. Para a época 2 (janeiro a maio) os valores aos 123 dias foram, com exceção de plantas irrigadas a cada nove dias (-0,14 MPa), 0MPa, indicando plena hidratação. Apenas na coleta 3 (88 dias) plantas irrigadas a cada seis e nove dias apresentaram valores inferiores a -1MPa, nas demais coletas e tratamentos da segunda época as plantas apresentaram elevada hidratação.

4.2.3 Crescimento e desenvolvimento

Os processos de crescimento são particularmente sensíveis ao efeito do déficit hídrico, por ser dependente da turgescência celular. Assim, análises de crescimento tais como massa fresca e seca, altura, área foliar e comprimento radicular, são bons critérios para a avaliação da gravidade do estresse bem como da capacidade da planta em superá-lo (Santos Júnior *et al.*, 2011).

Para as variáveis de massa fresca e seca da parte aérea de *A. integerrima*, houve interação entre os fatores frequência de irrigação e época de cultivo conforme demonstrado na Figura 10. É possível verificar que as delimitações de tempo, também, influenciaram no desenvolvimento da parte aérea e que em todas as situações analisadas o crescimento se deu de maneira linear, aumentando ao longo do período experimental.

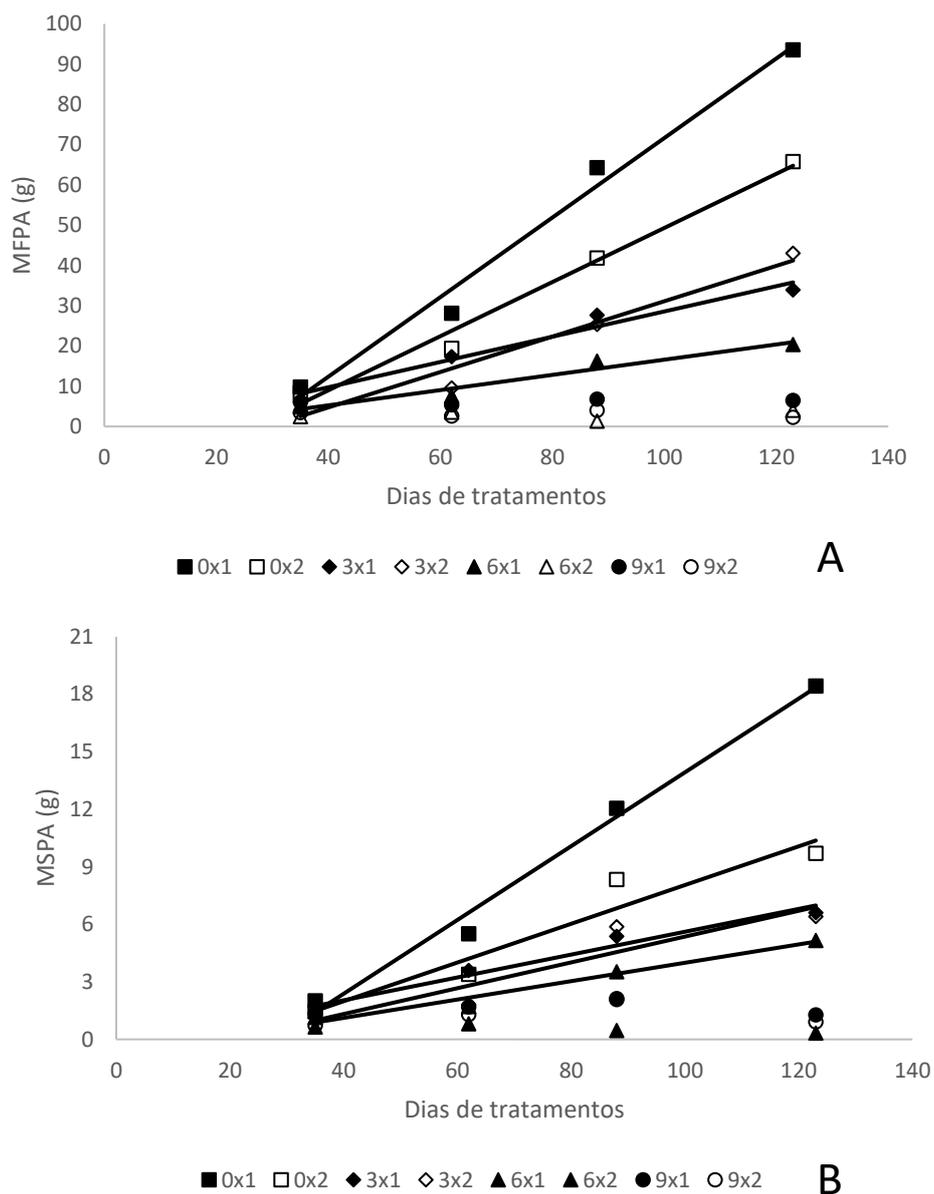


FIGURA 10. Massa fresca (A) e seca (B) da parte aérea de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (MFPA: $y=0,98x-27,16$; $R^2=0,98$; MSPA: $y=0,19x-5,21$; $R^2=0,98$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (MFPA: $y=0,67x-17,91$; $R^2=0,98$; MFPA: $y=0,10x-2,05$; $R^2=0,93$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (MFPA: $y=0,31x-2,81$; $R^2=0,97$; MSPA: $y=0,06x-0,35$; $R^2=0,96$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (MFPA: $y=0,44x-12,86$; $R^2=0,95$; MSPA: $y=0,07x-1,37$; $R^2=0,86$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (MFPA: $y=0,19x-2,31$; $R^2=0,95$; MSPA: $y=0,05x-0,81$; $R^2=0,97$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2; 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2. MFPA: massa fresca da parte aérea. MSPA: massa seca da parte aérea. Época 1: março a julho de 2019. Época 2: janeiro a maio de 2020.

Conforme esperado, plantas irrigadas diariamente foram as que obtiveram maior média de massa fresca da parte aérea ao longo dos 123 dias (Figuras 10, 11 e 12). Apesar da época 2 (janeiro a maio de 2020) ser caracterizada com maior incidência solar o que consequentemente favorece o processo fotossintético e assim a produção de fotoassimilados disponíveis para o crescimento, foi na época 1 (janeiro a julho de 2019) que se obteve o maior crescimento para todos os tratamentos. Para a última coleta (123 dias) a época 1 apresentou massa fresca da parte área 30% superior em relação à época 2 para plantas irrigadas diariamente. O menor crescimento na segunda época pode ser em decorrência do aumento no processo de fotorrespiração. O aumento da temperatura, faz com que o rendimento quântico da fotossíntese decresça e consequentemente há um aumento na fotorrespiração e aumento no catabolismo de matéria orgânica (Taiz *et al.*, 2017).

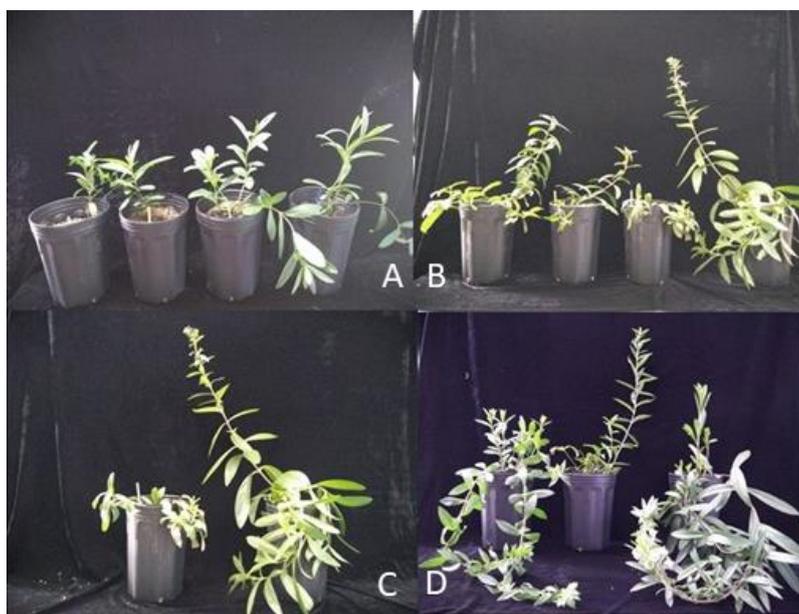


FIGURA 11. Desenvolvimento da parte aérea de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada em diferentes frequências de irrigação ao longo de 123 dias entre março e julho de 2019 (época 1). Em A *A. integerrima* aos 35 dias (da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis, nove dias e irrigada diariamente). Em B plantas coletadas aos 88 dias (da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis, nove dias e irrigada diariamente). Em C plantas à esquerda com menor disponibilidade hídrica e à direita irrigada diariamente aos 88 dias. Em D plantas irrigadas a cada três e seis dias e irrigada diariamente aos 123 dias de tratamentos.

Estima-se que plantas ornamentais possam ser cultivadas a temperaturas com 11 a 17 °C acima de sua temperatura base. Para *A. angustifolia* a temperatura base foi definida como 7 °C, assim seu crescimento ótimo se daria em temperaturas até 24 °C (Nau, 2011). Então, o crescimento e desenvolvimento de *A. integerrima* em temperaturas acima de 24 °C pode ser prejudicado. Tal condição climática foi observada com frequência na segunda época, na qual 80 dos 123 dias de tratamento, atingiram temperatura superior aos 24 °C. O que indica que para esta época a temperatura ambiente afetou o crescimento e desenvolvimento de *A. integerrima*.



FIGURA 12. Desenvolvimento da parte aérea de *Angelonia integerrima* Sprengel ao longo dos 123 dias de tratamentos durante os meses de janeiro e maio de 2020 (época 2). De A até D as quatro coletas realizadas: 35, 62, 88 e 123 dias de tratamentos respectivamente. Em cada imagem da direita para esquerda estão dispostas plantas irrigadas a cada três, seis e nove dias e irrigadas diariamente.

Para a massa seca da parte aérea, novamente as plantas irrigadas diariamente foram as com maiores médias (18,43 e 9,41 para as épocas 1 e 2 aos 123 dias, respectivamente). Plantas cultivadas entre março e julho de 2019 (época 1) obtiveram médias superiores às das épocas 2 (janeiro a maio de 2020) para todos os tratamentos.

Os fatores frequência de irrigação e época de cultivo não tiveram interação significativa para as variáveis massa fresca e seca do sistema radicular de *A.*

integerrima (Figura 13 e 15). Para a massa fresca do sistema radicular, plantas irrigadas diariamente e a cada três dias tiveram crescimento linear positivo ao longo dos 123 dias, sendo os valores daquelas irrigadas diariamente superiores aos das irrigadas a cada três dias. Plantas, cujas irrigações ocorreram a cada seis dias, obtiveram acréscimo significativo no sistema radicular apenas se comparada a primeira e a segunda coleta (1,53 e 3,06, respectivamente). Para as demais coletas os valores se mantiveram constantes.

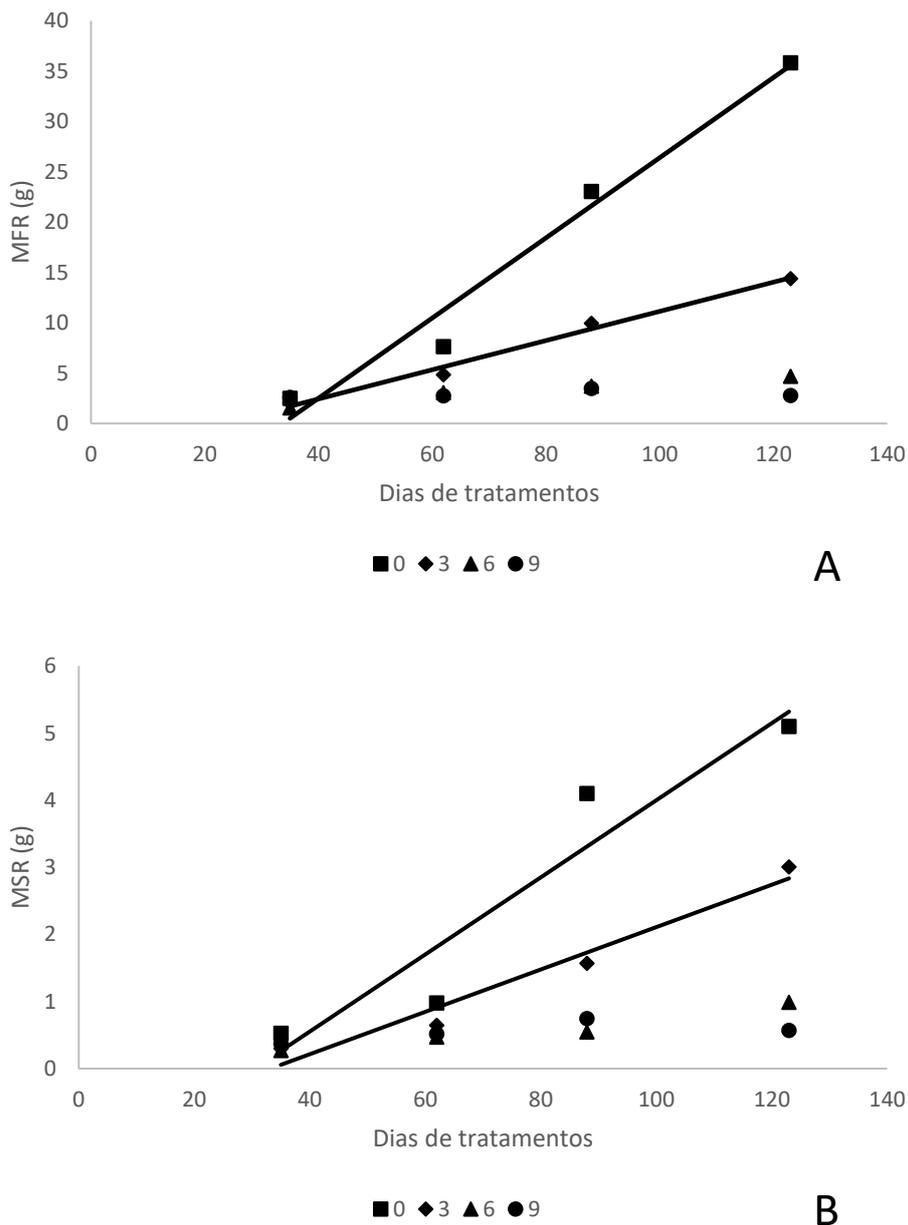


FIGURA 13. Massa fresca (A) e seca (B) do sistema radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, sob influências de diferentes frequências de irrigação. 0: plantas irrigadas diariamente (MFR: $y = 0,39x - 13$; $R^2 = 0,97$; MSR: $y = 0,06x - 1,74$; $R^2 = 0,91$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias (MFR: $y = 0,25x - 3,36$; $R^2 = 0,98$; MSR: $y = 0,03x - 1,05$; $R^2 = 0,96$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias; 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. MFR: massa fresca do sistema radicular. MSR: massa seca do sistema radicular.

Observou-se que aos 123 dias os valores de massa fresca do sistema radicular de plantas irrigadas a cada nove dias começaram a decair (0,72 gramas em relação a coleta aos 88 dias). Isto demonstra que assim como ocorreu para plantas irrigadas a

cada seis dias, plantas deste tratamento estão sofrendo danos no crescimento devido à redução na disponibilidade hídrica (Figuras 14 e 16).



FIGURA 14. Desenvolvimento radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel em diferentes frequências de irrigação ao longo de 123 dias de tratamento entre os meses de março e julho de 2019 (época 1). Em A e B desenvolvimento radicular de *A. integerrima* 35 e 123 dias de tratamentos, respectivamente, durante os meses de março a julho (época 1). Em A da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis e nove dias e irrigada diariamente. Em B da esquerda para a direita irrigada a cada três e seis dias e irrigada diariamente.

Assim como ocorreu para massa fresca da parte aérea, nas médias para a massa fresca do sistema radicular, a época 1 obteve resultados superiores aos da época 2. Isso reforça a ideia de que as elevadas temperaturas na segunda época e a baixa disponibilidade hídrica afetaram o crescimento de *A. integerrima*.

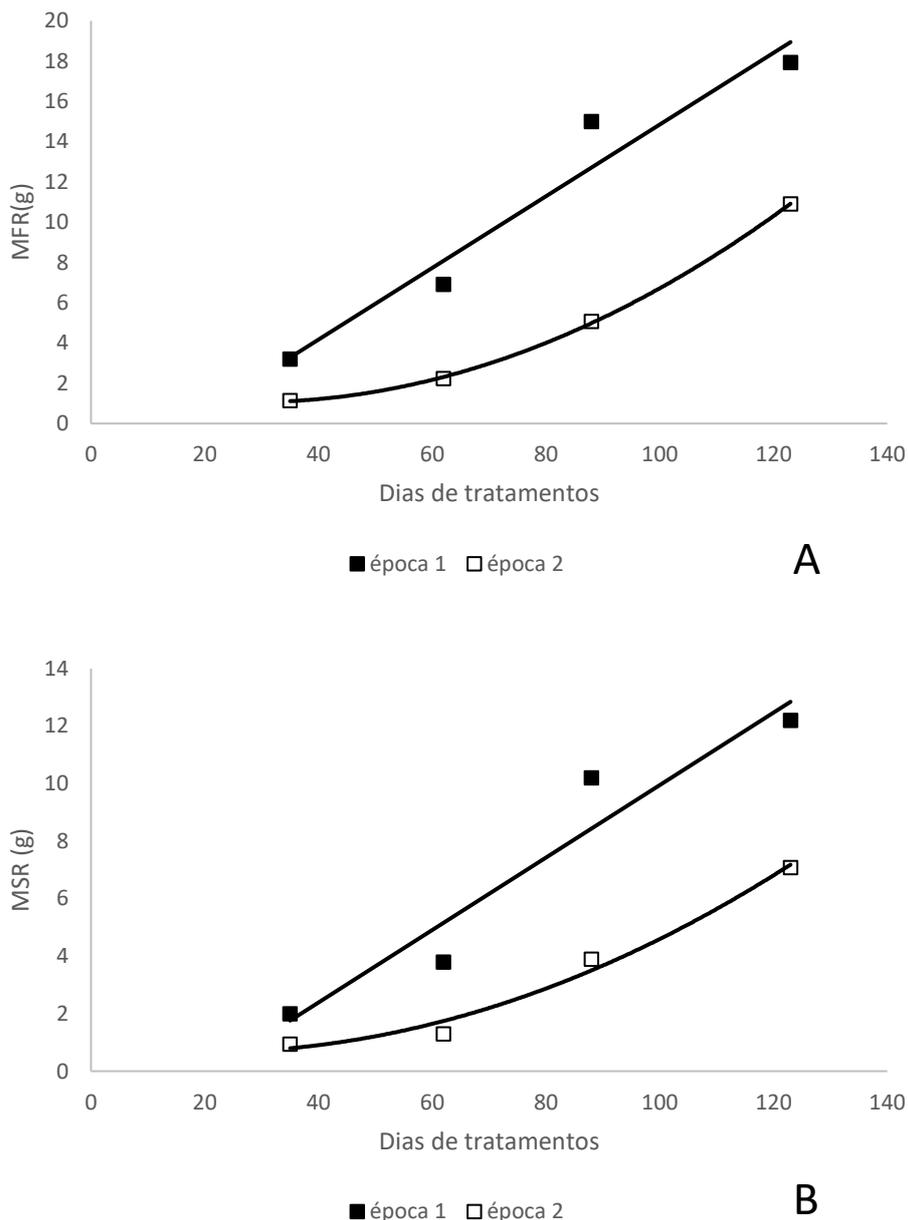


FIGURA 15. Massa fresca (A) e seca (B) do sistema radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias na época 1, de março a julho de 2019 (MFR: $y=0,178x-2,99$; $R^2=0,94$; MSR: $y=0,126x-2,651$; $R^2=0,92$) e época 2, de janeiro a maio de 2020 (MFR: $y=0,0011x^2-0,0618x+1,99$; $R^2=0,99$; MSR: $y=0,0006x^2-0,0245x+0,902$; $R^2=0,98$). MFR: massa fresca do sistema radicular. MSR: massa seca do sistema radicular.

Para a massa seca, novamente plantas irrigadas diariamente a cada três dias, foram as com as maiores médias (5,1 e 3,1 gramas aos 123 dias). Também foram os dois tratamentos com maior crescimento ao longo do período experimental. Diferente da massa fresca, para a massa seca do sistema radicular plantas irrigadas a cada seis

dias obtiveram crescimento significativo entre a penúltima e última coleta (88 e 123 dias: 12,95 e 16,94 gramas, respectivamente). Em ambas as épocas, a última coleta foi aquela com menores temperaturas ambientes, o que pode ter favorecido o processo fotossintético, devido a redução da demanda evapotranspirativa e consequentemente há um aumento na produção de fotoassimilados e assim da massa fresca. Para plantas irrigadas a cada nove dias, a massa seca foi reduzida aos 123 dias, indicando que para tal tratamento a baixa disponibilidade hídrica reduziu a taxa de crescimento das plantas, mesmo em condições ambientais mais favoráveis.



FIGURA 16. Desenvolvimento do sistema radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada em diferentes frequências de irrigação ao longo de 123 dias de tratamentos durante os meses de janeiro e maio de 2020 (época 2). Em A sistema radicular da coleta realizada aos 62 dias. Em B sistema radicular referentes a terceira coleta (88 dias) e em C sistema radicular de plantas aos 123 dias de tratamentos. Em cada imagem da direita para esquerda estão dispostas plantas irrigadas a cada três, seis e nove dias e irrigadas diariamente.

Para o fator época os resultados de massa seca obtiveram comportamento semelhante ao apresentado para a massa fresca. A primeira época (março a julho) foi superior à segunda época (janeiro a maio).

Para o sistema radicular também foram mensurados o comprimento da maior raiz e o volume radicular (Figuras 17 e 18). Para ambas não houve interação entre as frequências de irrigação e as épocas do experimento. Uma das estratégias de defesa utilizadas por espécies tolerantes ou resistentes à deficiência hídrica é alocar uma quantidade maior de recursos e fotoassimilados para seu sistema radicular tornando mais comprido ou ramificado (Scalon *et al.*, 2011).

Para *A. integerrima*, esta parece não ser uma estratégia de defesa, pois os tratamentos com menores disponibilidades hídricas não mantiveram o crescimento radicular na mesma proporção que os tratamentos sem restrição hídrica. Demonstrando também que tal redução no crescimento nestes tratamentos não foi em decorrência da delimitação do espaço, uma vez que os plantar irrigadas diariamente obtiveram crescimento radicular superior.

Diferente do que foi encontrado para *A. integerrima* nas condições deste estudo, para *Guazuma ulmifolia* Lam., Scalon *et al.*, (2011), relataram a manutenção dos valores de comprimento radicular em detrimento das variações de disponibilidade hídrica. Tais resultados indicam que *G. ulmifolia* sustenta seu crescimento radicular afim de tolerar o estresse hídrico. Já para aroeira (*Schinus terebinthifolia*), planta conhecida tolerante, a deficiência hídrica promove o maior alocamento de fotoassimilados para suas raízes, as tornando maiores que as raízes de plantas hidratadas (Spadeto, 2016).

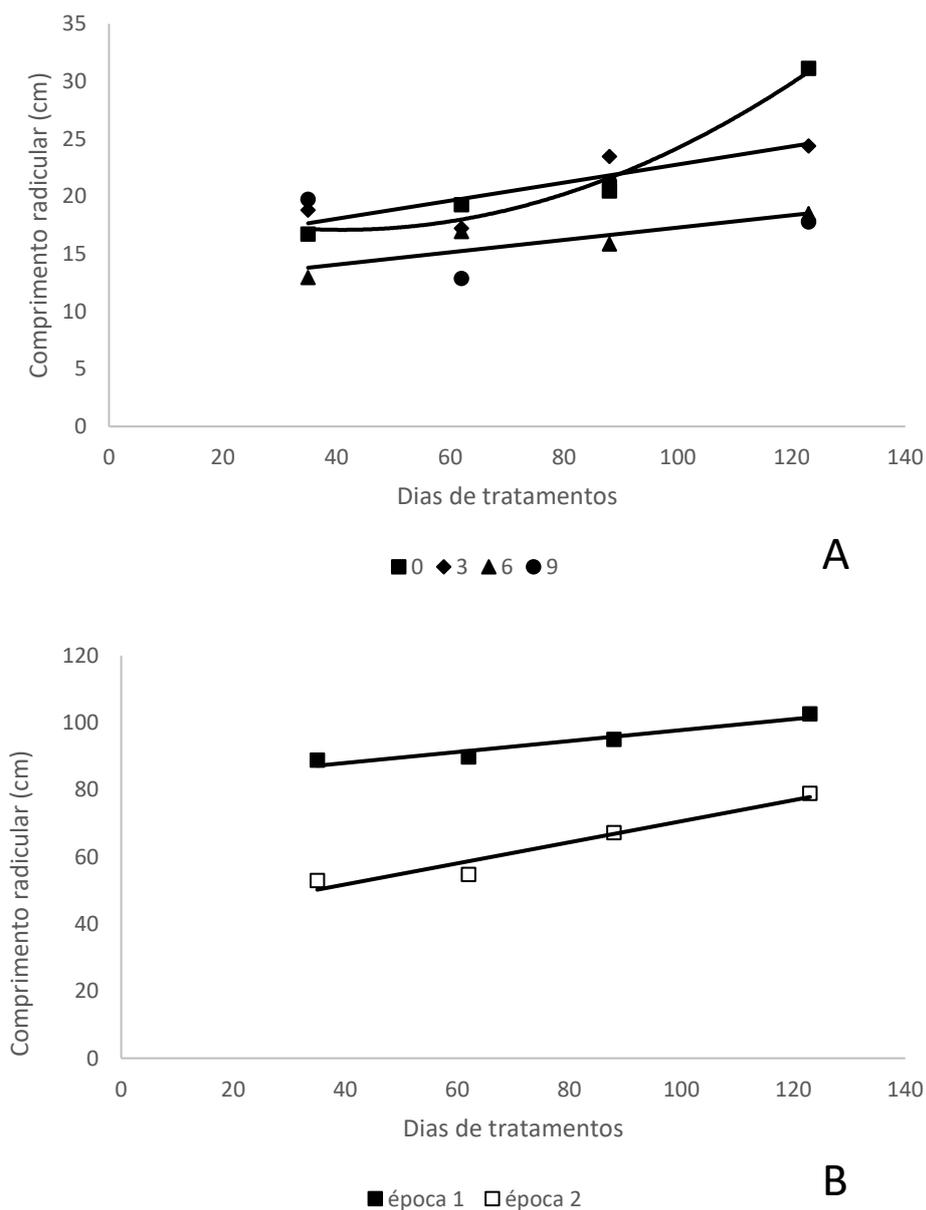


FIGURA 17. Comprimento radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,002x^2-0,16x+20,52$; $R^2=0,97$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,078x+14,91$; $R^2=0,71$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y=0,05x+11,93$; $R^2=0,74$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,1631x+81,49$; $R^2=0,94$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,3138x+39,25$; $R^2=0,94$).

Aos 123 dias se comparadas as médias das plantas com maior e menor frequência de irrigação, teremos uma redução de 56% no comprimento radicular (31,21 e 16,79 cm, respectivamente). Apenas plantas irrigadas a cada nove dias

apresentaram redução no comprimento radicular. Para plantas irrigadas a cada três e seis dias, houve crescimento linear, sendo para as plantas irrigadas a cada seis dias em menor escala. Enquanto que para plantas irrigadas diariamente o crescimento se deu de forma exponencial, com aumento mais expressivo entre os 88 e 123 dias. Assim como o que ocorreu para as variáveis já apresentadas, para o comprimento radicular, a época 1 (março a julho) teve crescimento superior ao da época 2 (janeiro a maio) em todas as coletas.

O volume radicular teve comportamento semelhante ao do comprimento radicular, diferindo apenas que para plantas irrigadas a cada nove dias, não ocorreu redução no volume aos 123 dias, mas se mantendo constante (Figura 18). Esta diferença pode inferir que os recursos alocados ao sistema radicular em plantas irrigadas a cada nove dias promoveram aumento na ramificação deste sistema radicular e não no comprimento do mesmo. Sistemas radiculares mais ramificados são verificados em plantas estressadas por deficiência hídrica.

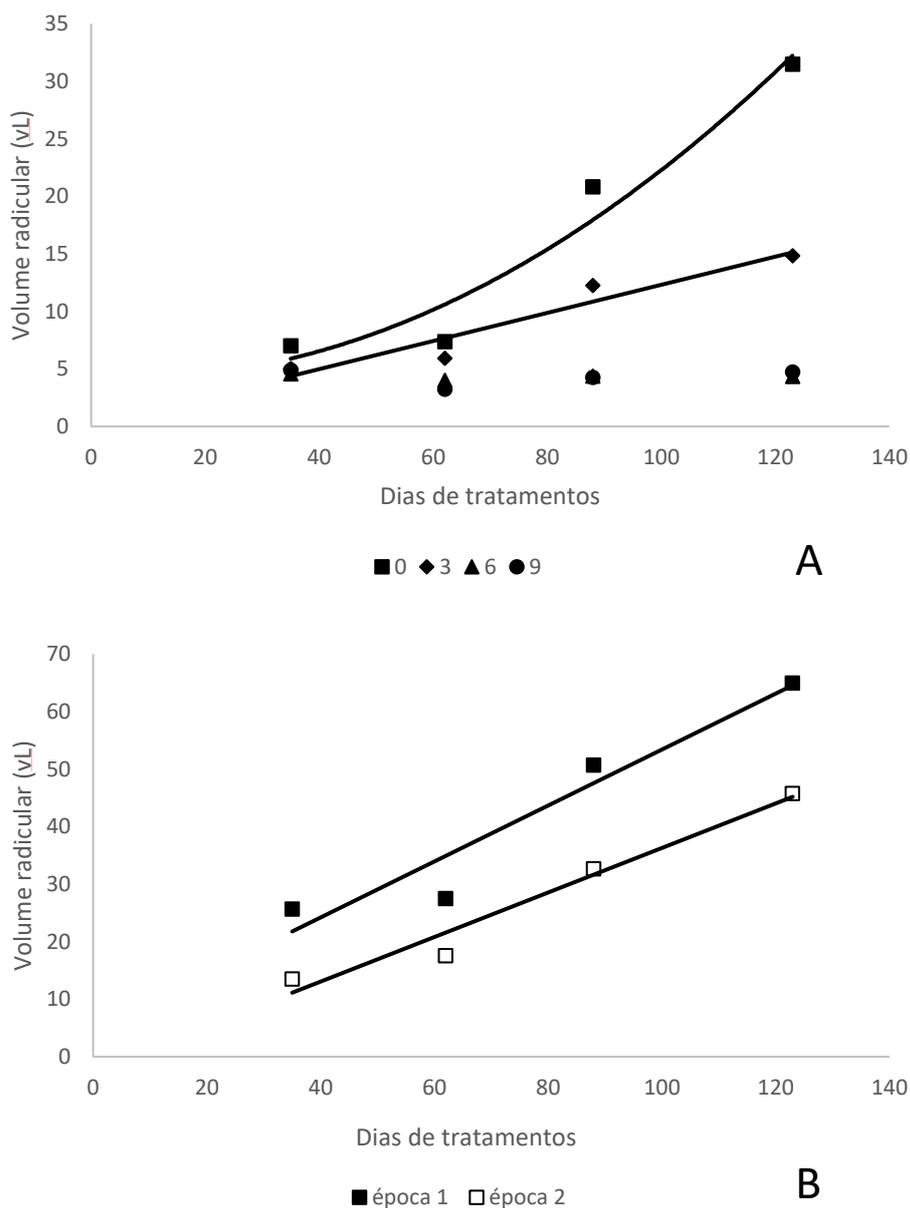


FIGURA 18. Volume radicular de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,002x^2-0,024x+4,24$; $R^2=0,95$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,12x+0,09$; $R^2=0,92$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias; 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,4865x+4,767$; $R^2=0,92$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,387x-2,3997$; $R^2=0,96$).

A altura e área foliar das plantas também são dependentes do *status* hídrico da planta, pois são reflexo da turgescência ou multiplicação celular que estão diretamente relacionados à abundância de água. Assim, os níveis adequados de água mantêm a

parede celular expandida e o balanço hormonal responsável pela extensão da parede celular (Larcher, 2004).

Novamente não houve significância entre as interações dos fatores frequências de irrigação e época de cultivo para a altura de *A. integerrima* (Figura 19). Plantas irrigadas diariamente e a cada três dias tiveram crescimento linear ao longo de todo período experimental. Ambos tratamentos quadruplicaram suas alturas, sendo a altura aos 123 dias para tais tratamentos foi de 67,29 e 61,53 cm, respectivamente. Lembrando que no início do experimento, todas as mudas foram padronizadas em 15 cm, assim o acréscimo em altura para estes tratamentos foi de 52,29 e 46,53 cm.

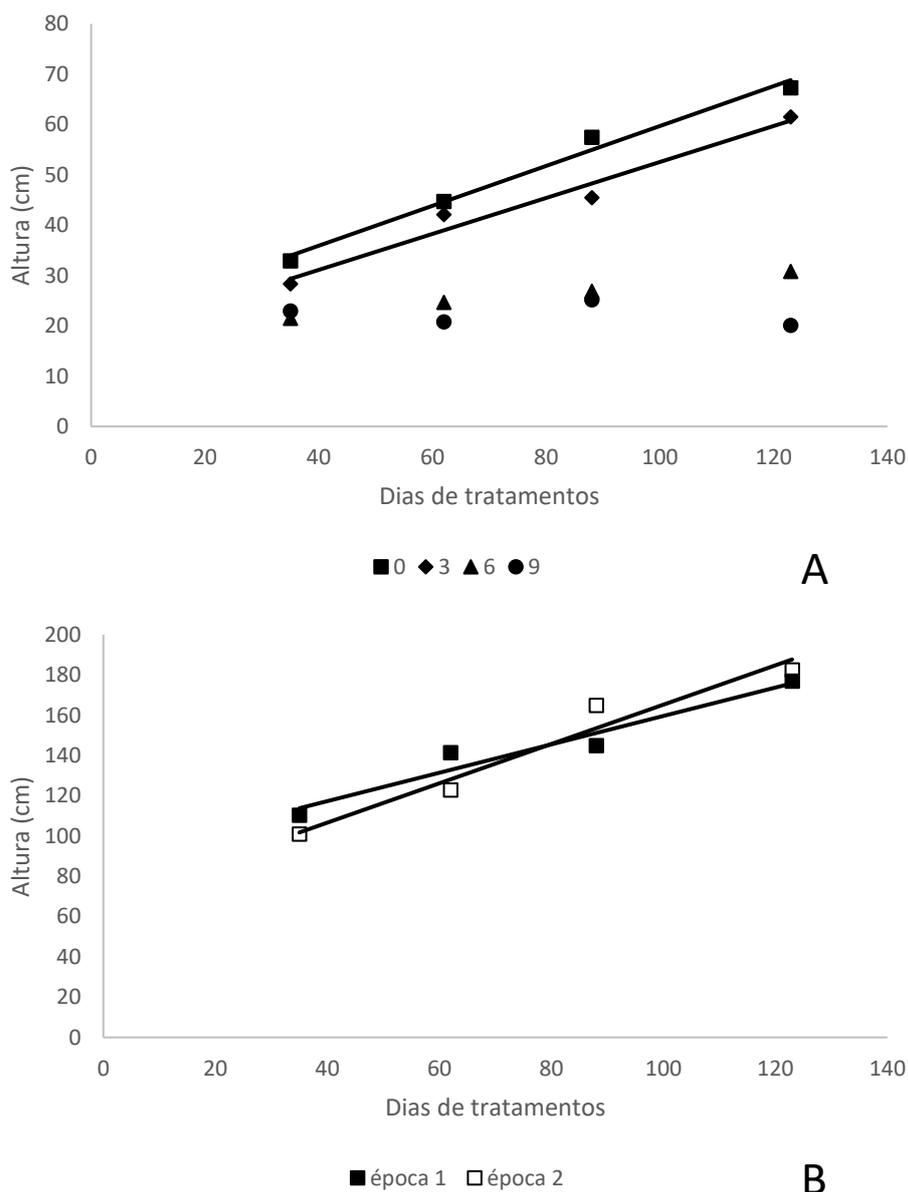


FIGURA 19. Altura da parte aérea de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,39x+20,06$; $R^2= 0,98$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,36x+16,81$; $R^2= 0,96$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias; 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,7051x+89,15$; $R^2= 0,94$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,9767x+67,60$; $R^2= 0,96$).

Aos 123 dias a altura das plantas irrigadas a cada seis dias correspondia apenas a metade do valor aferido para a altura das plantas irrigadas diariamente e a cada três dias. Para as plantas irrigadas a cada nove dias observou-se decréscimo na altura das

plantas entre a terceira e a quarta coleta. Tal redução, entre as coletas 88 e 123 dias, pode ter sido resultado do sorteio realizado para escolha das plantas, onde o mesmo favoreceu a escolha de plantas mais altas aos 88 dias se comparadas às medidas aos 123 dias. Para o fator época, a partir dos 62 dias, plantas cultivadas de janeiro a maio (época 2) passaram a apresentar maior altura.

Para a área foliar houve interação entre frequência de irrigação e época de tratamento (Figura 20). Plantas cujas irrigações ocorriam diariamente, na época 1, foram as com maior média ao longo do período experimental, com diferença mais significativa observada na última coleta. Nesta, a diferença entre plantas irrigadas diariamente e a cada nove dias, na época 1 e 2, foi respectivamente de 92 e 95%. Os menores valores foram encontrados para plantas irrigadas a cada três, seis e nove dias, na segunda época.

Tal resultado pode ter ocorrido devido a um aumento no processo respiratório das plantas, menores taxas de assimilação de CO₂ e menores eficiências de carboxilação da Rubisco em relação às da primeira época. Isso pode ter ocorrido em razão da menor disponibilidade hídrica e maior incidência solar e temperatura neste período. Conforme acima citado, as temperaturas observadas na segunda época foram muito superiores à temperatura base encontrada para espécies do gênero *Angelonia*. Durante janeiro a maio de 2020 (época 2), foram registrados 80 dias com temperaturas superiores aos 24 °C indicados para o crescimento e desenvolvimento do gênero, o que influenciou negativamente o crescimento de *A. integerrima*.

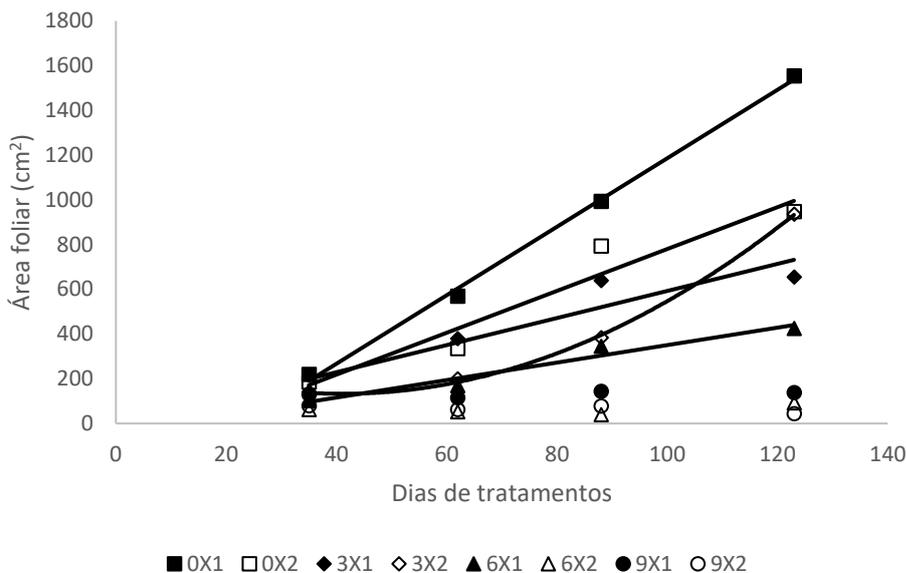


FIGURA 20. Área foliar de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=15,31x-345,13$; $R^2= 0,99$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=9,35x-155,81$; $R^2= 0,93$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=6,05x-12,65$; $R^2= 0,87$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=0,12x^2-9,77x+333,22$; $R^2= 0,99$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=3,91x-40,23$; $R^2= 0,95$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2; 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2.

Plantas sob efeito do estresse hídrico tendem a reduzir sua área foliar como forma de limitar a área disponível para interceptação da energia necessária para o processo fotossintético e reduzir a área evapotranspirativa, consequentemente reduzir a necessidade hídrica da mesma (Ferrari *et al.*, 2015). Assim, a redução da área foliar e subsequente da produção de fotoassimilados, geram um decréscimo geral no crescimento da planta (Van Ieisel & Nemali, 2004) o que foi verificado para *A. integerrima* nas condições testadas.

A razão entre a massa fresca do sistema radicular e da parte aérea (R/PA), estabelece uma relação entre a biomassa que a planta aloca para o sistema radicular e para a parte aérea. Quanto mais próxima de 1 for esta razão, maior será o equilíbrio da partição dos fotoassimilados, consequentemente, quanto menor esta razão, maior será

a alocação para a parte aérea em relação ao sistema radicular. Observou-se para *A. integerrima* que para as épocas de cultivo não houve diferença significativa para a R/PA (Figura 21). Inicialmente houve um decréscimo na razão R/PA, isto pode ter sido uma resposta rápida à imposição do estresse no estágio inicial de desenvolvimento das plantas. O avançar da idade fisiológica ao longo dos 123 dias induziu a ativação de mecanismos de tolerância ao estresse hídrico e pode ter auxiliado o crescimento de *A. integerrima* nas condições do cultivo e assim, elevando a R/PA.

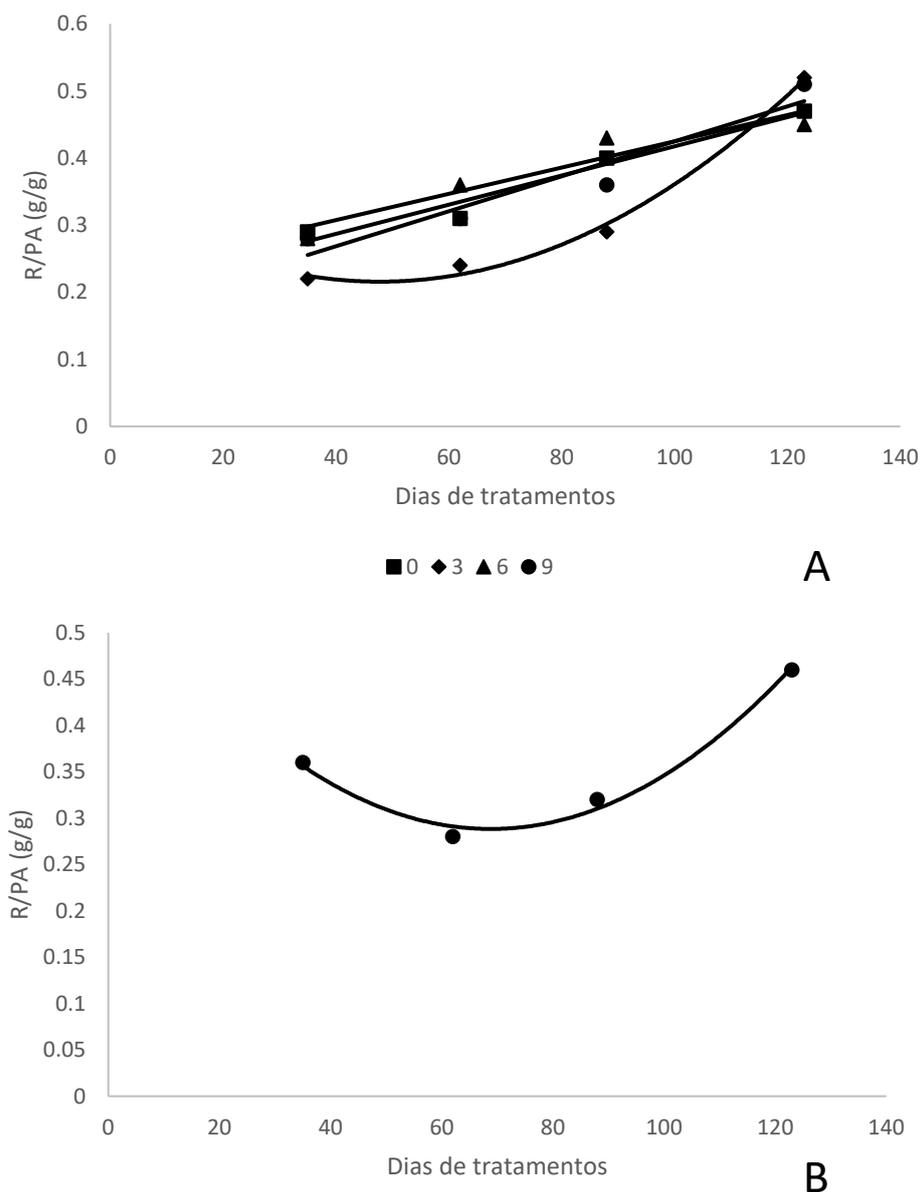


FIGURA 21. Razão Raiz/Parte Aérea de *Angelonia integerrima* cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,0022x+0,2001$; $R^2=0,95$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,000005x^2-0,0051x+0,3374$; $R^2=0,99$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias $y=0,002x+0,2293$; $R^2=0,90$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y=0,0026x+0,164$; $R^2=0,91$). Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,0064x+1,142$; $R^2=0,94$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,0002x^2-0,0167x+1,173$; $R^2=0,97$). R/PA: razão entre a massa do sistema radicular e a massa da parte aérea.

Em relação as frequências hídricas testadas, plantas irrigadas a cada três dias apresentaram crescimento exponencial na R/PA, nas demais há acréscimo linear ao longo dos 123 dias. Os maiores valores na última avaliação foram observados para as

plantas, cujas irrigações ocorriam a cada nove dias. Isto demonstra que tais plantas, mantiveram seu crescimento radicular ao longo dos 123 dias para melhor explorar a área a área de cultivo em busca de recursos hídricos. Ao mesmo tempo que a parte aérea das plantas com menor disponibilidade hídrico foi reduzida, para reduzir sua área evapotranspirativa.

Para o teor de água houve interação entre os fatores avaliados (época de cultivo e frequências de irrigação). Plantas irrigadas diariamente e a cada três dias mantiveram seus tecidos com teores de água superiores a 80% em ambas as épocas, demonstrando que a hidratação dos tecidos nestes casos foi satisfatória (Figura 22). Os teores foram inferiores na época 2, o fato deste período (janeiro-maio) ter apresentado temperaturas superiores e umidades relativas inferiores em relação à época 1 (março a julho) eleva a demanda evapotranspirativa nestas plantas. Isto faz com que tais plantas eliminem maior conteúdo hídrico reduzindo a hidratação dos tecidos.

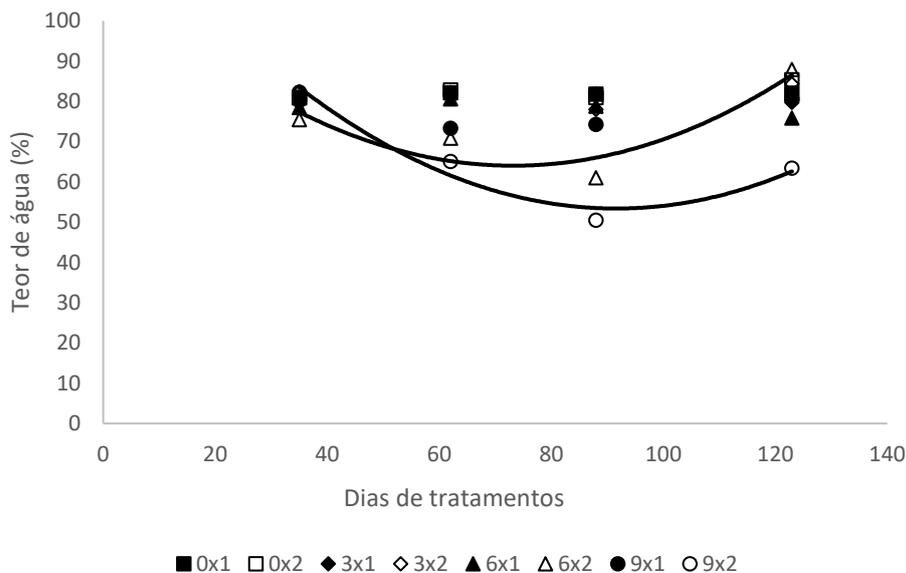


FIGURA 22. Teor de água de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes regimes hídricos. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2; 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1; 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2; 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=0,0091x^2-1,33x+112,96$; $R^2= 0,83$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=0,0094x^2-1,718x+132,11$; $R^2= 0,95$).

Os menores teores foram observados em plantas irrigadas a cada 9 dias, onde apenas para a primeira coleta de ambas as épocas o teor de água foi superior a 80%. Na primeira coleta da segunda época este tratamento apresentou teor de 50,47%, demonstrando baixa hidratação do tecido. A posterior elevação deste valor pode ter ocorrido devido a uma capacidade destas plantas em ativar mecanismos de defesa responsáveis por reduzir a perda de água. Por ter menos disponibilidade hídrica já esperávamos que este tratamento apresentasse plantas com menor hidratação dos tecidos.

Ao longo dos primeiros 88 dias se observou um decréscimo nos teores de água, com elevação a partir deste ponto o que deve ter ocorrido devido ao menor DPV (déficit de pressão de saturação de vapor de água no ar) nos últimos dias em ambos os

experimentos, reduzindo as taxas transpiratórias e conseqüentemente elevando a quantidade de água disponível nos tecidos.

4.2.4 Trocas Gasosas

As taxas de crescimento de uma espécie estão atreladas às trocas gasosas da mesma. Assim, neste estudo se avaliou também a influência das frequências hídricas nas trocas gasosas de *A. integerrima*. Para a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) não houve interação entre os fatores frequência de irrigação e épocas de coleta (Figura 23). Plantas irrigadas diariamente foram as com maior taxa de assimilação, seguidas das irrigadas a cada três, seis e nove dias (sendo 12,91; 11,41; 6,95 e 7,27 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, os maiores valores encontrados para cada tratamento). Tal comportamento coincide ao encontrado para as taxas de crescimento (Figuras 10, 19 e 20), demonstrando que plantas com maior assimilação foram, conseqüentemente, as com maior crescimento. Pode-se observar uma queda nas taxas de A aos 123 dias, momento em que para todos os tratamentos a assimilação de CO₂ decaiu pela metade se comparada aos valores da coleta aos 35 dias. Tal desempenho pode ser explicado devido a menor incidência solar aos 123 dias se comparada ao início do período experimental o que pode ser inferido pelas maiores temperaturas observadas no início de ambas as épocas.

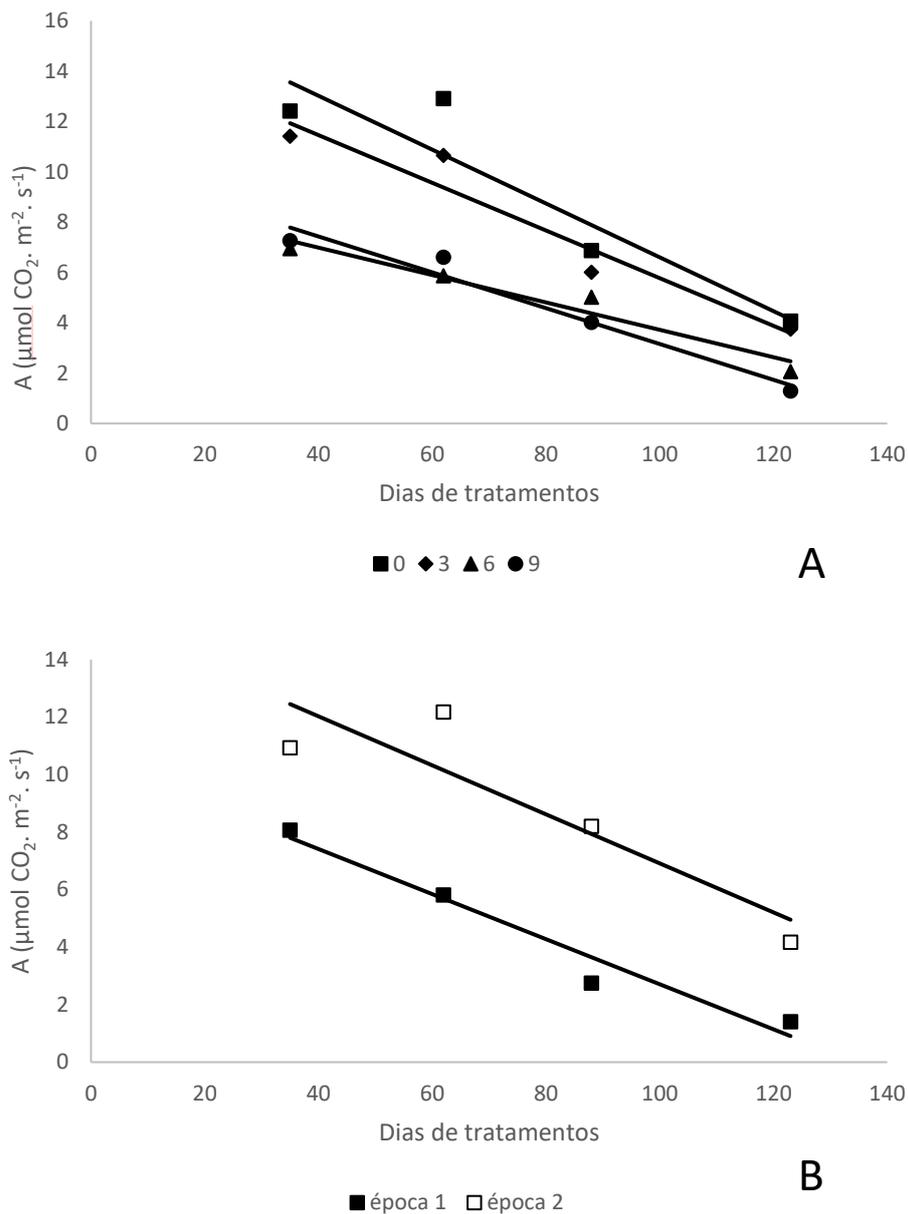


FIGURA 23. Taxa de Assimilação Líquida de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y = -0,107x + 17,29$; $R^2 = 0,87$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y = -0,095x + 15,25$; $R^2 = 0,93$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y = -0,054x + 9,16$; $R^2 = 0,95$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y = -0,071x + 10,28$; $R^2 = 0,96$). Época 1: março a julho de 2019 ($y = -0,00784x + 10,55$; $R^2 = 0,95$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y = -0,0852x + 15,43$; $R^2 = 0,81$). A: taxa de assimilação líquida de CO₂.

Diferente do que ocorreu para as características de crescimento, nas quais as médias na primeira época (março a julho) eram superiores a segunda (janeiro a maio), para a assimilação o comportamento apresentado foi inverso. Tal resposta demonstra

que devido a elevação nas temperaturas e radiação as plantas cultivadas de janeiro a maio assimilaram CO₂ numa quantidade relativamente superior as da primeira época. Porém, as características ambientais (temperatura e umidade relativa) devem ter favorecido o processo fotorrespiratório para *A. integerrima*, o que justifica o fato de, apesar das maiores taxas de assimilação para esta época (janeiro a maio de 2020), para acúmulo de massa fresca e seca, as plantas cultivadas neste período não serem as com maiores médias.

Para a época 2 o decréscimo mais acentuado nas taxas de assimilação se deu entre a segunda e a terceira coleta (62 e 88 dias), período em que houve a mudança de estação (verão para outono), caracterizada por uma queda na temperatura e radiação fotossinteticamente ativa.

As taxas de assimilação de CO₂ estão diretamente relacionadas a condutividade dos estômatos, pois a condutância estomática (GS) mede a abertura dos estômatos e com isso aponta a capacidade das folhas realizarem as trocas gasosas (vapor d'água e CO₂) com o meio. Por estarem posicionados na epiderme foliar, os estômatos respondem rapidamente às variações ambientais alterando os fluxos gasosas em resposta. Uma das primeiras e principais respostas frente a redução na disponibilidade hídrica é o fechamento estomático para reduzir o processo transpiratório e assim a perde de água.

Para *A. integerrima*, assim como o observado para a taxa de assimilação, para a condutância estomática também não houve interação entre os fatores avaliados (época e frequência de irrigação). Para a frequência de irrigação os tratamentos, com exceção das plantas irrigadas a cada 9 dias, obtiveram, inicialmente, crescimento significativo nos valores de GS, indicando bom fluxo de CO₂ e H₂O (Figura 24). A partir dos 60 dias, estes tratamentos exibiram uma queda exponencial nos valores de

GS, sendo a maior redução observada para plantas irrigadas diariamente, cuja diferença entre a primeira e a quarta coleta foi de $0,19 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

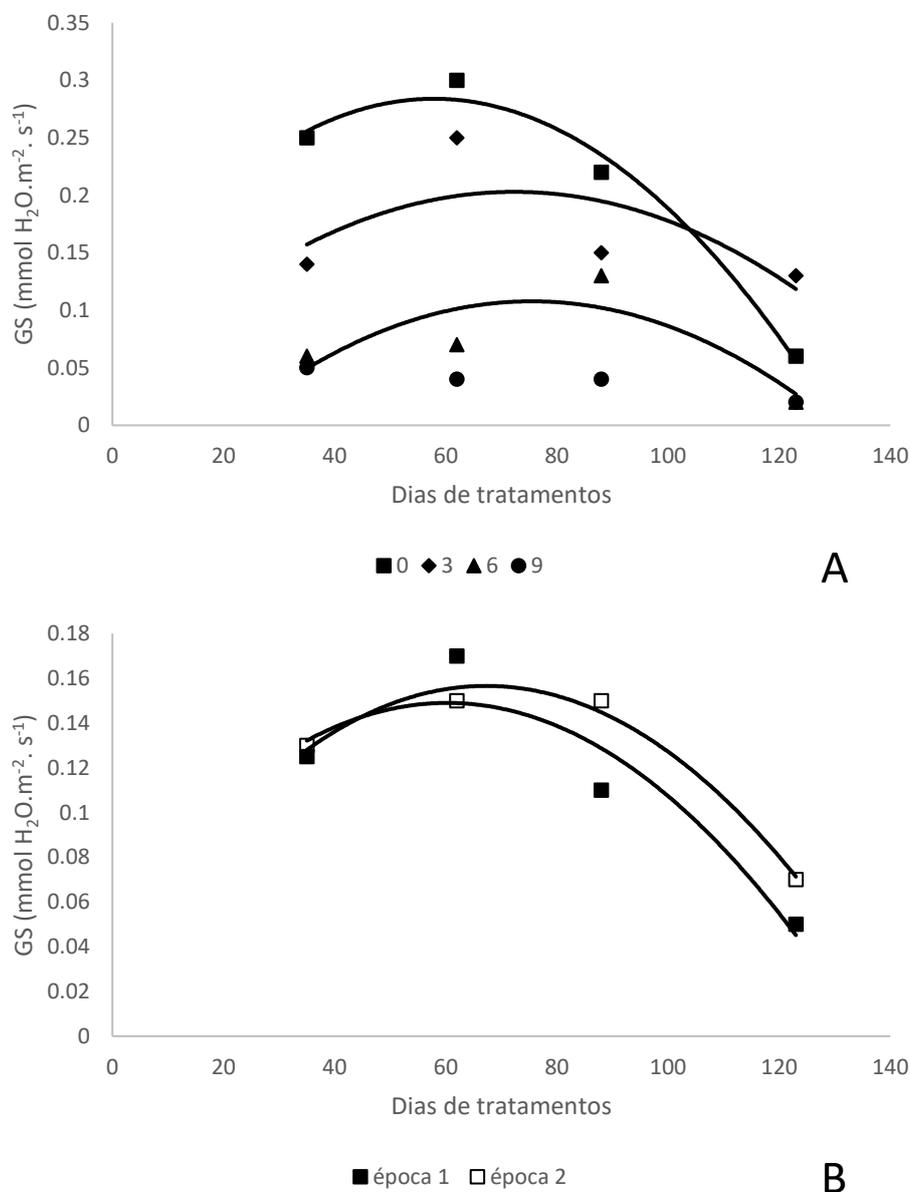


FIGURA 24. Condutância estomática de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas (B), sob influência de diferentes frequências de irrigação (A). 0: plantas irrigadas diariamente ($y = -0,0001x^2 + 0,0063x + 0,1028$; $R^2 = 0,98$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y = -0,00003x^2 + 0,0045x + 0,042$; $R^2 = 0,49$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y = -0,00003x^2 + 0,0052x - 0,089$; $R^2 = 0,74$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias. Época 1: março a julho de 2019 ($y = -0,00003x^2 + 0,0032x + 0,0053$; $R^2 = 0,88$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y = -0,00003x^2 + 0,0037x + 0,0323$; $R^2 = 0,98$). GS: condutância estomática.

Apesar da boa hidratação, plantas irrigadas diariamente ao final do experimento não apresentaram a maior condutância estomática. Aos 123 dias aquelas irrigadas a cada três dias apresentaram o dobro de condutância se comparado aquelas irrigadas todos os dias (0,13 e 0,06 mmol H₂O.m⁻². s⁻¹, respectivamente). Este pode ser um indicador de que plantas irrigadas diariamente foram influenciadas pelas condições ambientais mais do que as restantes. A redução da radiação (fator desencadeante para abertura estomática) pode ter levado a menor GS e nestas condições os mecanismos de defesa utilizados pelos demais tratamentos para suportar a redução na disponibilidade hídrica, quando em condições ambientais menos estressantes tiveram suas trocas gasosas favorecidas.

Para plantas irrigadas a cada nove dias a condutância estomática se manteve baixa, porém constante ao longo dos 123 dias (0,05 a 0,02). Tais resultados corroboram com os encontrados por Silva (2019), para *Vigna unguiculata* (L.) Welp (feijão-caupi), onde a partir do quinto dia de imposição do estresse os valores de GS se mantiveram em 0,03 mmol H₂O.m⁻². s⁻¹. Enquanto plantas de feijão-caupi hidratadas apresentaram 0,07 mmol H₂O.m⁻². s⁻¹.

Em relação à época (Figura 24), assim como para a taxa de assimilação, para a condutância estomática a época 2 (janeiro a maio) obteve as maiores taxas de condutância. Inicialmente o comportamento para ambas épocas é muito semelhante. A partir dos 50 dias após o início dos tratamentos a maior incidência de radiação leva a uma maior GS para a época 2. Isto porque tais condições levam a necessidade das plantas em elevarem a perda de água para manutenção da temperatura foliar em relação às da época 1 (março a julho).

Mais uma vez o período entre 60 e 80 dias foi o marco para o decréscimo mais proeminente da condutância para *A. integerrima*. Notoriamente o comportamento

observado em *A. integerrima* para a taxa de assimilação e a condutância estomática é semelhante, onde a redução na condutância culminou com reduções na assimilação. Isto ocorre porque o fechamento estomático ou a maior resistência para as trocas gasosas reduzem a perda de água, mas também reduzem a entrada de CO₂ (Nascimento, 2009). Consequentemente haverá queda na produção de fotoassimilados e menor crescimento, conforme verificado neste experimento.

Assim como a taxa de assimilação, as taxas de transpiração estão também diretamente relacionadas à condutância estomática, por inferirem as trocas de vapor d'água entre as plantas e o ambiente. Neste estudo para a taxa de transpiração (E) de *A. integerrima*, houve interação significativa entre os fatores frequências de irrigação e época de cultivo. Como esperado reduções na condutância resultaram em menores taxas de transpiração (Figura 25). O fechamento estomático é uma das primeiras respostas à deficiência hídrica o que repercute no fluxo de vapor de água e assim nas taxas transpiratórias.

Majoritariamente, as plantas cultivadas na segunda época (janeiro a maio de 2020) apresentaram taxas de transpiração superiores as da primeira época (março a julho de 2019). Isto porque as maiores temperaturas na segunda época elevaram a necessidade destas plantas em aumentar o fluxo de água para a atmosfera afim de manter a temperatura foliar em valores adequados.

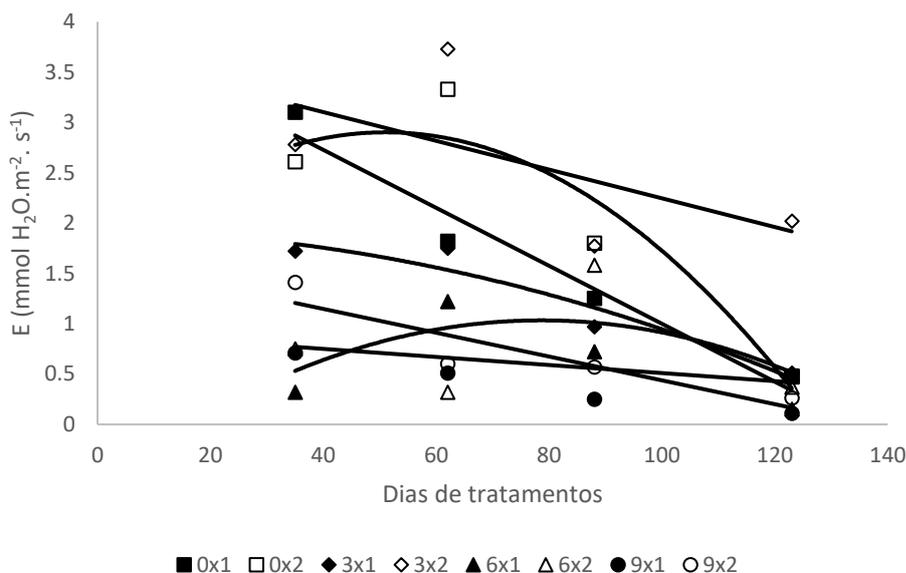


FIGURA 25. Transpiração de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,028x+3,8$; $R^2= 0,96$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=-0,0005x^2+0,05x+1,62$; $R^2= 0,89$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,0152x^2+2,41$ $p=0,00007$; $R^2= 0,89$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,0143x+3,68$; $R^2= 0,37$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=-0,013x+1,83$; $R^2= 0,91$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,0003x^2+0,0414x-0,5953$; $R^2= 0,22$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,012x+1,62$; $R^2= 0,82$). E: taxas de transpiração.

No início do período experimental as variações entre as épocas analisadas eram superiores às encontradas aos 123 dias. Para plantas irrigadas diariamente, por exemplo, aos 35 dias tal diferença era de $0,50 \text{ H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, enquanto que aos 123 dias, esta diferença foi de $0,01 \text{ H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Tal comportamento pode estar novamente relacionado as condições ambientais, onde aos 123 dias menores DPVs levam a menor necessidade de trocas de vapor d'água.

Quanto aos tratamentos, os com maior disponibilidade hídrica foram também os com maiores taxas transpiratórias. A maior quantidade de água permite maiores trocas gasosas, seja pela disponibilidade de água para as reações quanto para manter a turgescência das células-guarda e assim manter a abertura estomática. Quanto maiores

as taxas transpiratórias, maior será a área foliar e a biomassa destas plantas, pois a taxa de transpiração indica que há maior condutância estomática e assim maiores taxas de assimilação podem ser alcançadas. Porém, quanto mais tecido fotossinteticamente ativo, maior a necessidade de água. Este comportamento não foi observado neste estudo para *A. integerrima*, uma vez que os tratamentos com maiores produções de biomassa, não foram aquelas com maiores taxas de condutância e transpiração. O que indica que para estas condições tais taxas estão relacionadas na manutenção da temperatura foliar e não na produção de biomassa.

Alguns autores relataram que tratamentos com restrição hídrica, reduzem suas trocas gasosas através do fechamento estomático o que leva a redução da transpiração e entrada de CO₂. Ao mesmo tempo que algumas plantas apresentam aumento nas suas concentrações internas de CO₂ (C_i), em consequência da baixa condutância do mesofilo, o que reduzirá a capacidade de difusão do CO₂ ou da eficiência de carboxilação da Rubisco (Peeva & Cornic, 2009). Para *A. integerrima* a C_i foi alterada apenas em função do tempo. As frequências de irrigação ou as condições diferenciais das épocas não influenciaram o comportamento da espécie em relação aos valores de concentração interna de CO₂ (Figura 26).

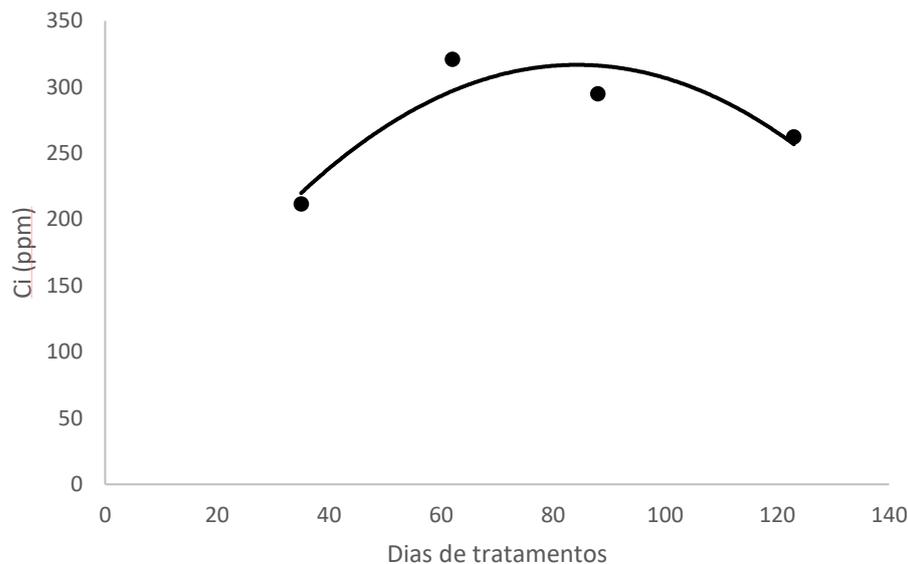


FIGURA 26. Concentração interna de CO₂ de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias ($y=-0,039x^2+6,72x+33,39$; $R^2= 0,83$). Ci: concentração interna de CO₂.

Inicialmente *A. integerrima* apresentou elevação nas concentrações de CO₂ e a partir dos 80 dias este valor começa a decair. As reduções de condutância estomática e transpiração, conforme verificado anteriormente, podem ter auxiliado para que houvesse aumento da Ci. Ao final, com DPV (déficit de pressão de saturação de vapor de água no ar) menor, ocorreu favorecimento das trocas gasosas o que pode ter levado ao consumo do CO₂ interno e assim sua concentração começa a decair.

Verificou-se que no final do experimento nem as taxas de assimilação, nem a condutância estomática ou as taxas de transpiração apresentaram elevações que corroborassem com o consumo de CO₂. Porém o comportamento de Ci para *A. integerrima* demonstrou-se relacionado apenas ao tempo de experimento, ou seja, com a idade fisiológica da planta ou seu estágio de desenvolvimento. Assim, uma maior área foliar ao final do tempo de estudo leva a um maior consumo de CO₂, devido a maior área fotossinteticamente ativa e assim reduz a quantidade deste gás nos tecidos.

Assim como para a concentração interna de CO₂, para a eficiência de carboxilação da Rubisco (A/C_i) novamente as variações nas frequências de irrigação

ou as épocas de cultivo não interferiram na variável para *A. integerrima* (Figura 27). Podemos inferir que a idade fisiológica ou estágio de desenvolvimento é fundamental para esta variável, nas condições aqui testadas. A A/Ci relaciona a quantidade de CO₂ disponível e a quantidade de CO₂ assimilada, indicando o quanto a Rubisco foi eficiente.

Aumentos nas concentrações de CO₂ (Ci) podem estar relacionados a redução na quantidade que está sendo fixada durante a fase carboxilativa do processo fotossintético (Larcher, 2004) Isto pode ter ocorrido até os 80 dias para *A. integerrima*, quando aumento nas concentrações de CO₂ são relacionadas a queda na A/Ci. Porém no restante do período as taxas de Ci se elevaram enquanto que a eficiência de carboxilação permaneceu em decadência.

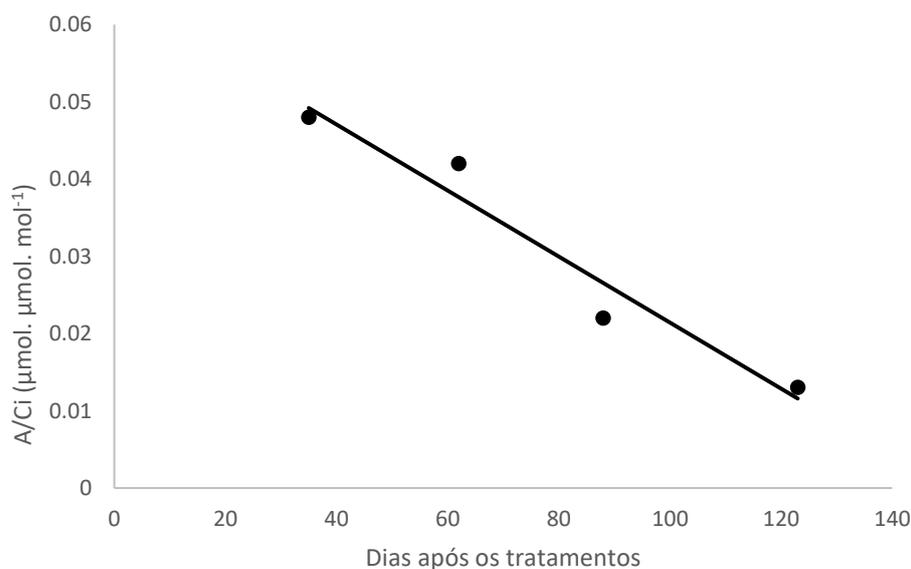


FIGURA 27. Eficiência da Carboxilação da Rubisco de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias ($y=-0,0004x-0,064$; $R^2= 0,95$). A/Ci: eficiência de carboxilação da Rubisco.

Outro fator importante de ser avaliado quando se avalia a tolerância ou resistência de uma espécie ao estresse hídrico é a eficiência do uso da água (EUA). Este é um indicador da capacidade das espécies em se estabelecerem sob menores disponibilidades hídricas (Ferreira *et al.*, 2012). A EUA relaciona a quantidade de água

que a planta utiliza para assimilar uma molécula de CO_2 , assim, espera-se que plantas tolerantes tenham maior eficiência no uso da água e assim reduzam seu consumo mantendo as taxas assimilatórias altas (Taiz *et al.*, 2017).

Para *A. integerrima* os fatores frequência de irrigação e época de cultivo exibiram interação significativa sob EUA (Figura 28). Plantas irrigadas diariamente na segunda época (janeiro a maio) e a cada seis dias na época 1 (março a julho) demonstraram leve redução na EUA entre a primeira e a segunda coleta e posterior crescimento exponencial, sendo que estes foram os tratamentos que ao final dos 123 dias expressaram os maiores valores (21,56 e 15,13 $\mu\text{mol}.\text{CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$).

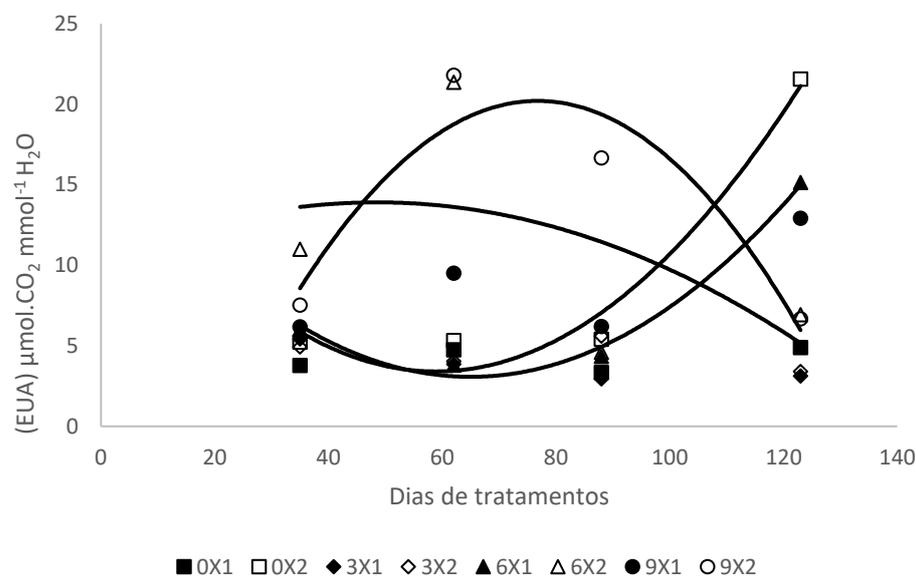


FIGURA 28. Eficiência do Uso da Água de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=0,0043x^2-0,507x+18,36$; $R^2=0,97$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1; 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2; 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=0,0035x^2-0,46x+18,03$; $R^2=0,98$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,009x^2+1,27x-13,88$; $R^2=0,3$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,0067x^2+1,025x-19,14$; $R^2=0,89$). EUA: eficiência do uso da água.

A EUA é alterada devido as condições de difusão do CO_2 ou do vapor d'água, ou seja, uma melhor relação entre a absorção do CO_2 e a perda de água é favorecida

quando os estômatos estão parcialmente fechados. Tal condição pode ter beneficiado os tratamentos com menor disponibilidade hídrica a partir dos 60 dias, quando plantas irrigadas a cada seis dias da primeira coleta apresentaram crescimento exponencial. Plantas irrigadas a cada nove dias para ambas as épocas também obtiveram valores de EUA satisfatórios. Os mesmos foram superiores nas coletas finais devido a menor demanda evapotranspirativa das plantas vinculado a mecanismos de defesa acionados anteriormente, o que em condições ambientais menos estressantes acabaram por favorecer a utilização da água em *A. integerrima*.

Assim como a eficiência do uso da água a manutenção da temperatura foliar também é indicativo de tolerância ao déficit hídrico. Isto porque quando do déficit hídrico ocorre o fechamento estomático, porém a radiação continua a ser interceptada pelas folhas. A incidência de radiação somada a redução da perda de vapor d'água pode provocar o aquecimento foliar, podendo este chegar a níveis prejudiciais ao metabolismo celular interferindo na velocidade das reações e na estrutura das organelas ou moléculas (Taiz *et al.*, 2017). Para o cultivo de *A. integerrima* obtivemos interação significativa entre os fatores frequências de irrigação e épocas de cultivo para os efeitos na temperatura foliar (Figura 29).

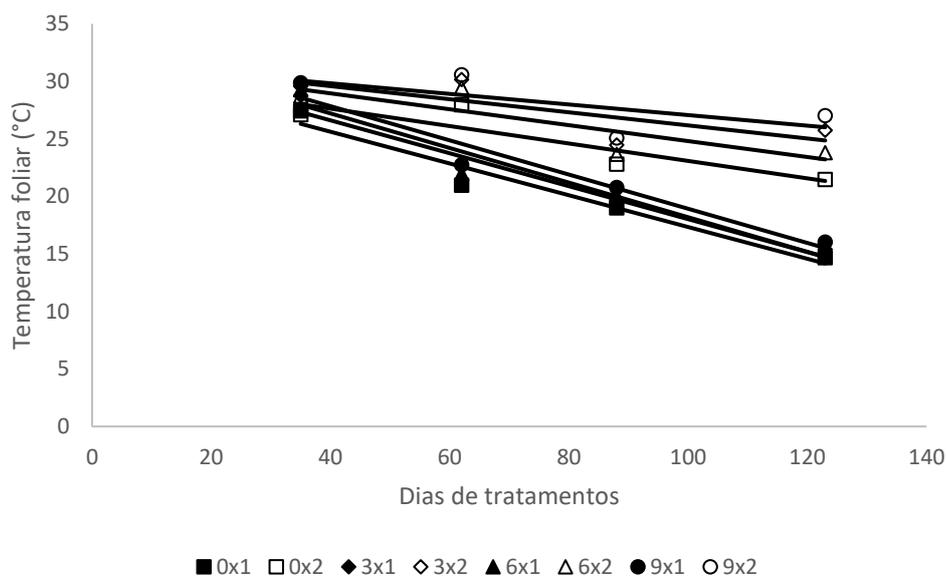


FIGURA 29. Temperatura foliar de *Angelonia integerrima* Sprengel cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y = -0,138x + 31,15$; $R^2 = 0,95$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y = -0,07x + 30,65$; $R^2 = 0,79$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y = -0,143x + 32,34$; $R^2 = 0,93$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y = -0,05x + 31,87$; $R^2 = 0,58$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y = -0,151x + 33,24$; $R^2 = 0,94$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y = -0,07x + 31,75$; $R^2 = 0,71$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y = -0,149x + 33,81$; $R^2 = 0,95$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y = -0,05x + 31,68$; $R^2 = 0,46$).

Conforme observado as temperaturas foliares para todos os tratamentos em ambas as épocas de cultivo apresentaram redução ao longo do período experimental, assim, à medida que a temperatura atmosférica decaía, *A. integerrima* reduziu sua temperatura foliar. As plantas da segunda coleta (janeiro a maio) exibiram temperaturas superiores às encontradas para a primeira época (março a julho) devido as maiores temperaturas destas. Para a primeira coleta os valores foram próximos para todos os tratamentos (variação de 2,7 °C) o que pode ser decorrente das condições atmosféricas similares durante os primeiros 35 dias de cada época. O tempo de exposição ao estresse pode também ter influenciado na não diferenciação entre os tratamentos neste momento, sendo que 35 dias de diferenciação hídrica não foram significativos para alteração da temperatura foliar.

Subsequentemente os tratamentos foram se diferenciando quanto à variável temperatura foliar, onde para a última coleta a diferença entre as temperaturas já era de 12 °C. Plantas irrigadas a cada nove dias da segunda época apresentaram, a partir dos 62 dias, as maiores temperaturas. Grandes incidências solares somada a menor disponibilidade hídrica favoreceram o aumento das temperaturas nestas condições. Como visto anteriormente as mesmas plantas apresentaram baixas taxas transpiratórias e baixa condutância estomática, fatores que favorecem a resistência ao estresse, pois reduzem a perda de água, porém o mesmo reduz as trocas gasosas e com isso diminui a capacidade de manter a temperatura foliar.

Plantas irrigadas a cada nove dias foram seguidas pelos demais tratamentos cultivados na segunda época de forma decrescente de acordo com a frequência de irrigação. Para a primeira época as frequências de irrigação levaram a temperaturas muito similares entre os tratamentos, demonstrando novamente que o fator ambiente é crucial para determinar o efeito do estresse hídrico sob *A. integerrima*.

4.2.5 Ajuste osmótico

Um dos mecanismos de resistência ou tolerância ao déficit hídrico que está presente em algumas espécies é o ajustamento osmótico. Pelo fato de as espécies variarem quanto ao osmólito utilizado para o ajustamento osmótico e o órgão em que ocorre tal mecanismo, foi determinada para *A. integerrima* a concentração de prolina e glicose, dois dos principais solutos compatíveis, no sistema radicular e na parte aérea.

As concentrações de prolina no sistema radicular e foliar foram influenciadas pela interação entre frequência de irrigação e época de cultivo (Figura 30). Para ambos órgãos vegetais houve grande variação ao longo dos 123 dias, demonstrando que a variável foi dependente das condições ambientais. Os tratamentos com maior

disponibilidade hídrica cultivados na segunda época (janeiro a maio) foram os com maiores concentrações tanto foliares quanto radiculares ao final do experimento. Para a concentração foliar, inicialmente este tratamento apresentou as maiores médias, posterior queda até os 70 dias de cultivo com aumento a partir deste momento. Já para plantas cultivadas sob mesma condição hídrica na primeira época (março a julho) as médias de concentração foliar apresentaram média final intermediária entre os demais tratamentos, apresentando uma pequena queda nos valores até os 60 dias e posterior crescimento. Já para as concentrações radiculares o comportamento apresentado foi uma queda constante ao longo dos 123 dias, porém novamente ao final tal tratamento apresentou concentrações medianas se comparadas as demais.

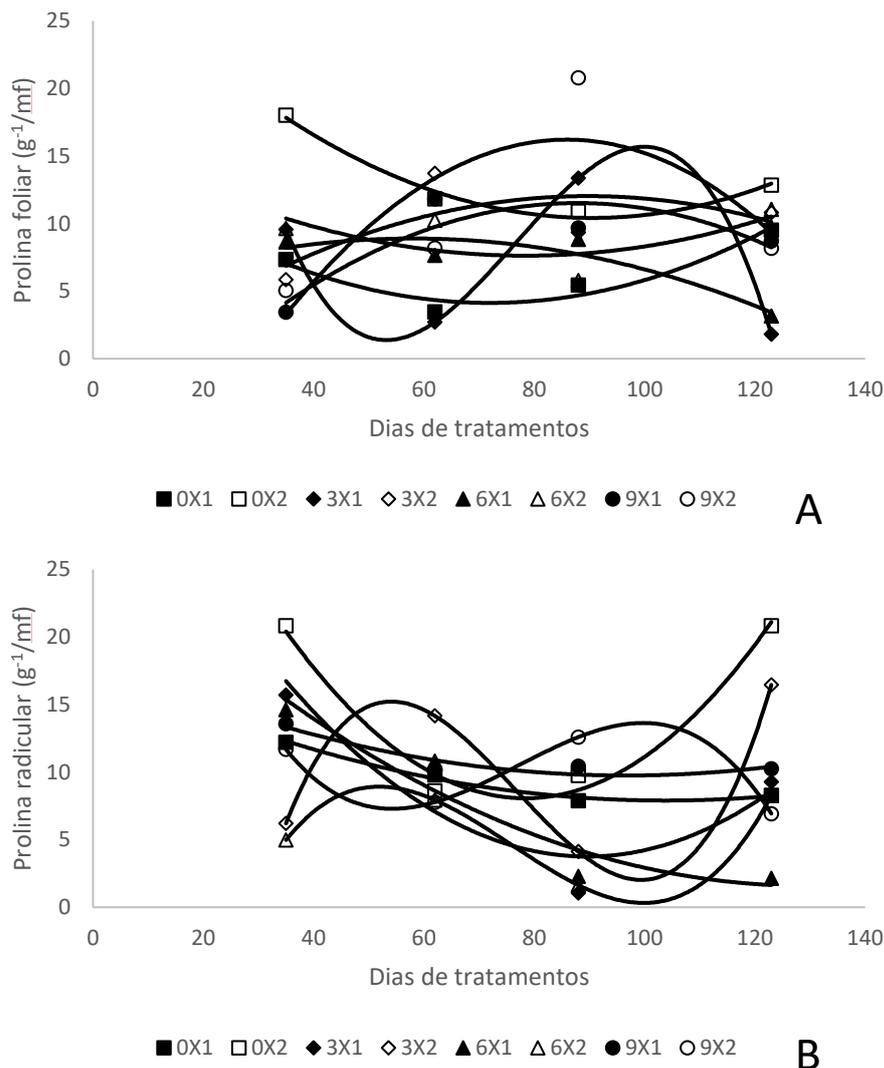


FIGURA 30. Concentração foliar (A) e radicular (B) de prolina em *Angelonia integerrima* cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (PF: $y=0,0021x^2-0,307x+15,18$; $R^2= 0,93$; PR: $y=0,0009x^2-0,193x+17,92$; $R^2= 0,98$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (PF: $y=0,0024x^2-0,435x+30,14$; $R^2= 0,98$; PR: $y=0,006x^2-1,027x+48,35$; $R^2= 0,97$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (PF: $y=-0,0003x^3+0,0643x^2-4,467x+99,12$; $R^2= 1$; PR: $y=0,004x^2-0,779x+38,71$; $R^2= 0,83$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (PF: $y=-0,0017x^2+0,309x-1,83$; $R^2= 0,45$; PR: $y=0,0003x^3-0,06x^2+4,57x-86,16$; $R^2= 1$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (PF: $y=-0,0013x^2+0,15x+4,54$; $R^2= 0,86$; PR: $y=0,0015x^2-0,399x+27,47$; $R^2= 0,91$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (PF: $y=0,0015x^2-0,229x+16,6$; $R^2= 0,41$; PR: $y=0,0002x^3-0,035x^2+2,42x-43,07$; $R^2= 1$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (PF: $y=0,0015x^2-0,229x+16,6$; $R^2= 0,41$; PR: $y=0,0009x^2-0,182x+18,55$; $R^2= 0,88$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (PF: $y=-0,005x^2+0,86x+20,61$; $R^2=0,64$; PR: $y=-0,0001x^3+0,0312x^2-2,19x+56,01$; $R^2= 1$). PF: concentração foliar de prolina. PR: concentração radicular de prolina.

O tratamento irrigado a cada três dias da primeira época obteve a menor concentração foliar de prolina aos 123 dias. Durante este período as médias foram bastante variáveis. Para o mesmo tratamento cultivado na segunda época a média inicial e final esteve entre as intermediárias, onde as plantas tiveram crescimento até o momento da terceira coleta e posterior queda. Variações nas concentrações de prolina podem ter ocorrido devido ao crescimento destas plantas, onde plantas com maior biomassa apresentaram menores concentrações celulares de prolina livre, pois a mesma estava alocada em aminoácidos formando os novos tecidos vegetais. Por isso, plantas da época 1 podem ter médias inferiores as da época dois, uma vez que estas obtiveram as maiores taxas de crescimento.

Além disso, as maiores concentrações podem ser produto do maior mecanismo catabólico dos vegetais devido a algum estresse e com isso havendo a quebra de moléculas, tais quais os aminoácidos, liberando a prolina. Aumentos nas concentrações de solutos compatíveis não são sinônimos de manutenção das taxas de crescimento no montante de plantas não estressadas. Muitas vezes as plantas alteram suas concentrações com a finalidade de tolerar o estresse e reduzir os danos causados. As maiores concentrações durante a época de maior incidência solar, pode ser um indicativo que *A. integerrima* utiliza-se do mecanismo de ajustamento osmótico para defesa ao estresse térmico.

Para plantas irrigadas a cada nove dias as concentrações foliares apresentadas foram as menores aos 35 dias, porém as mesmas apresentaram crescimento significativo até os 90 dias com posterior queda até o final, onde as médias para ambas as épocas foi intermediária. Na maioria dos tratamentos analisados, para a concentração foliar de prolina, 90 dias foi um período marcante seja para crescimento ou redução nas concentrações foliares. Para a época 1 este momento marca a troca de

estação (outono para inverno). Por ser um período de menor incidência de radiação fotossinteticamente ativa, o mesmo promove uma redução no processo fotossintético e conseqüentemente na formação de fotoassimilados e novos tecidos, reduzindo assim a produção de aminoácidos. Já para a segunda época (janeiro a maio) a partir dos 90 dias, observou-se queda na temperatura o que é indicativo de redução na incidência solar.

Para as concentrações radiculares, o comportamento foi similar, porém as variações foram mais marcantes ao longo do período experimental. Para este órgão vegetal o tratamento irrigado a cada seis dias da primeira época foi o com menor média final, mas novamente plantas com menor disponibilidade hídrica apresentaram médias intermediárias. Tal comportamento pode indicar que apesar de ter menor disponibilidade hídrica as plantas mantêm as concentrações de prolina elevadas com a finalidade de garantir a sua sobrevivência.

Para as concentrações de glicose novamente as concentrações foram altamente variáveis ao longo dos 123 dias (Figura 31). Diferente do observado para prolina, para glicose os valores, se comparadas às épocas, exibiram concentrações bem distintas, não podendo se fazer uma relação quanto a época e as maiores ou menores concentrações. A concentração foliar inicial foi superior no tratamento irrigado a cada nove dias para a segunda época. Porém as mesmas apresentaram queda exponencial e aos 123 dias eram a terceira menor média observada. Ao final do período experimental a maior média foi encontrada para plantas irrigadas a cada três dias também da segunda época.

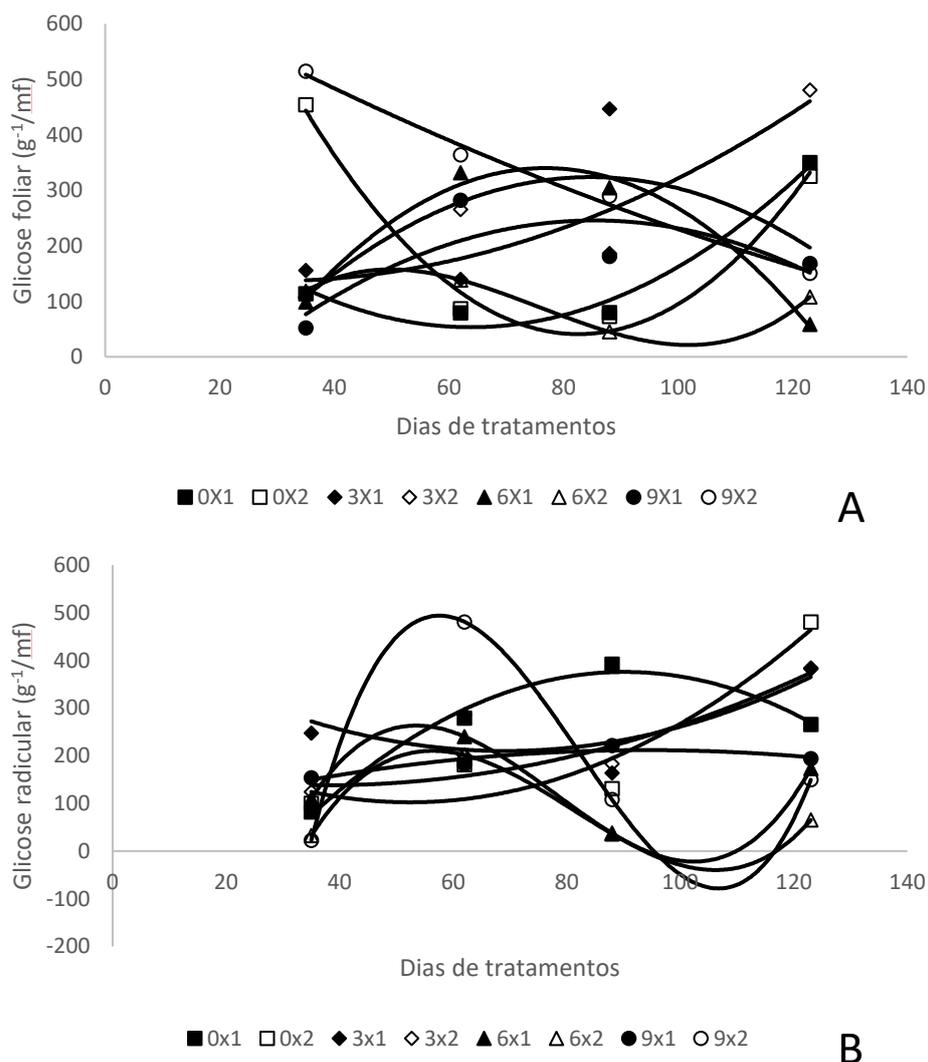


FIGURA 31. Concentração foliar (A) e radicular (B) de glicose em *Angelonia integerrima* cultivada durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências de irrigação. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (GF: $y=0,083x^2-10,595x+391,35$; $R^2= 0,97$; GR: $y=-0,0985x^2-17,768x-425,69$; $R^2= 0,98$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (GF: $y=0,178x^2-29,41x+1254,71$; $R^2= 0,98$; GR: $y=0,0725x^2-7,596x+301,19$; $R^2= 0,89$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (GF: $y=-0,087x^2+14,758x-301,71$; $R^2= 0,42$; GR: $y=0,0535x^2-7,393x+465,48$; $R^2= 0,58$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (GF: $y=0,0364x^2-2,078x+166,08$; $R^2= 0,81$; GR: $y=0,0322x^2-2,413x+183,21$; $R^2= 0,91$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (GF: $y=-0,134x^2+20,62x+451,92$; $R^2= 0,98$; GR: $y=0,0049x^3-1,144x^2+80,119x-1506,05$; $R^2= 1$) 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (GF: $y=0,0019x^3-0,439x^2+29,40x-455,11$; $R^2= 1$; GR: $y=0,0041x^3-0,987x^2+72,756x-1477,91$; $R^2= 1$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (GF: $y=-0,066x^2+11,37x-239,71$; $R^2= 0,61$; GR: $y=-0,0179x^2+3,366x+53,725$; $R^2= 0,89$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (GF: $y=0,011x^2-5,79x+697,73$; $R^2= 0,99$; GR: $y=0,0096x^3-2,368x^2+177,17x-3688,96$; $R^2= 1$). GF: concentração foliar de glicose. GR: concentração radicular de glicose.

Inicialmente as concentrações de glicose foliar para as plantas irrigadas diariamente e a cada nove dias da segunda época exibiram médias discrepantes dos demais tratamentos. Ao final dos experimentos nenhum destes tratamentos manteve as altas concentrações. A glicose é o primeiro fotoassimilado produzido pelo processo fotossintético. Sua alta concentração pode ser relacionada as grandes taxas fotossintéticas, porém em nenhum momento ao longo do tempo os tratamentos com maiores taxas assimilatórias, foram os com maior concentração de glicose. As concentrações podem ser menores devido a utilização da glicose na formação de tecidos vegetais uma vez que a análise bioquímica determina a concentração de glicose livre. Assim, tratamentos com crescimento alto, apresenta glicose fixada em outras moléculas.

A queda ao longo do tempo de tratamentos também pode estar relacionada ao aumento nas taxas respiratórias, quando os fotoassimilados são consumidos e não produzidos. Com exceção das plantas cuja irrigação ocorreu a cada três dias na segunda época, os demais tratamentos com menor disponibilidade hídrica apresentaram as menores médias. As plantas com menor frequência de irrigação apresentaram médias intermediárias ao longo dos experimentos, o que indica que apesar da baixa disponibilidade hídrica, baixas taxas de assimilação e de condutância estomática, *A. integerrima* manteve as concentrações de glicose em níveis elevados, provavelmente com a finalidade de manutenção de seu metabolismo por meio do ajuste osmótico.

Assim como para a concentração radicular de prolina, para a concentração de glicose no sistema radicular, as maiores médias ao final dos 123 dias foram encontradas em plantas irrigadas diariamente na segunda época. Neste momento os menores valores foram encontrados para plantas irrigadas a cada três e nove dias,

respectivamente. Demonstrando que as baixas disponibilidades hídricas reduziram o transporte de glicose ao sistema radicular de *A. integerrima*.

Plantas irrigadas diariamente na primeira época apresentaram concentrações medianas, apesar de serem as com maiores taxas assimilatórias, o que pode ser indicativo de que a glicose formada não está livre, mas sim fixada em outras moléculas. Tais variações nas concentrações de glicose no sistema radicular e foliar são demonstrativos de que o transporte de solutos de *A. integerrima* em condições de restrição hídrica é diferencial de acordo com o órgão vegetal analisado. Em estudos realizados com diferentes genótipos de girassol, Santos *et al.*, (2013) observaram que tais genótipos tiveram comportamento distinto na translocação de açúcares solúveis em resposta ao déficit hídrico.

4.3 *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb.

4.3.1 Substrato de cultivo

A disponibilidade de nutrientes para uma planta cultivada em recipiente está relacionada a sua concentração inicial no substrato, a reposição destes nutrientes, a temperatura do ambiente, a relação entre os íons disponíveis e aos níveis de água no substrato. Além disso, as características químicas do substrato, tais como pH e condutividade elétrica (CE) também determinam a disponibilidade ou não dos íons. Tanto pH quanto CE são alterados devido as condições hídricas e de temperatura de um substrato. A água pode alterar as condições químicas seja pela solubilização de íons ou então devido as condições químicas da água utilizada para a irrigação, pois dependendo de sua concentração de íons ela poderá influenciar pH e CE.

Sendo assim, se faz de fundamental importância o acompanhamento do pH e da condutividade elétrica ao longo do cultivo vegetal, para se identificar a influência

das irrigações no meio de cultivo. Para o cultivo de *hippeastrum* os fatores analisados (épocas de cultivo e frequências de irrigação) apresentaram interação significativa sob a variável pH (Figura 32). Os maiores valores de pH foram observados para plantas irrigadas diariamente na época 1 (março a julho), cujos valores pouco variaram ao longo dos 123 dias, ficando entre 6,10 e 6,47. Tais valores, encontram-se dentro da faixa considerada ideal por Cavins *et al.*, (2000), para o cultivo de plantas ornamentais (5 a 6,5).

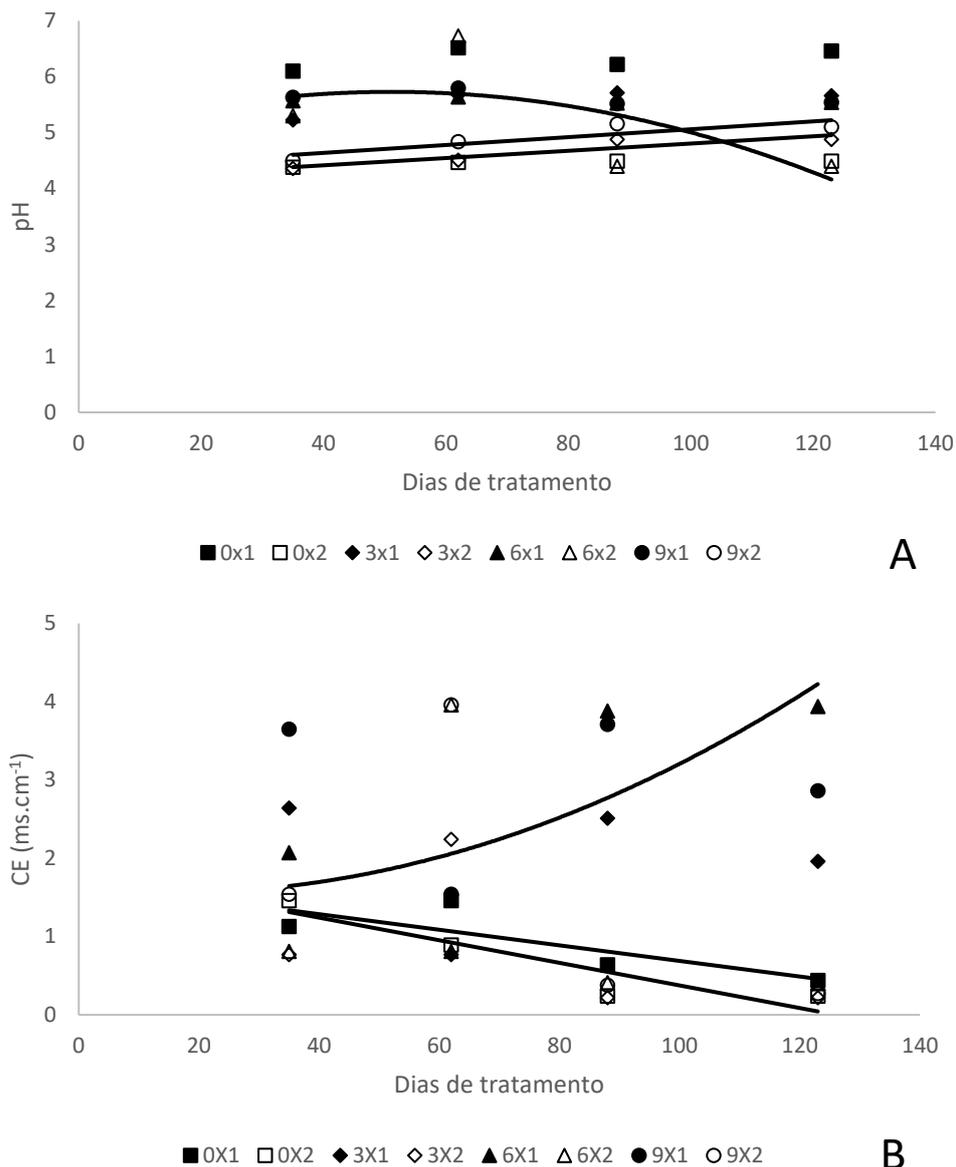


FIGURA 32. pH (A) e condutividade elétrica (B) determinado pelo método PourThru, no substrato de cultivo, de plantas de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada em vaso durante 123 dias, em duas épocas, sob influência de diferentes frequências hídricas. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (CE: $y=-0,01x+1,634$; $R^2= 0,64$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (CE: $y=-0,0144x+1,82$; $R^2= 0,85$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1; 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (pH: $y=0,0065x + 4,16$; $R^2= 0,85$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (CE; $y=0,0002x^2-0,0007x+1,61$; $R^2= 0,55$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=0,0002x^2-0,03x+6,46$; $R^2= 0,99$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (pH: $y=0,007x+4,32$; $R^2= 0,84$).

Plantas cultivadas na primeira época apresentaram pH superior as da segunda época. As médias para a época 1 seguiram valores decrescentes de acordo com a disponibilidade hídrica. As elevações no pH podem estar relacionadas as características da água de irrigação, uma vez que não houve reposição nutricional durante o experimento e as médias de pH variaram de acordo com a quantidade de água repostas. Para as plantas da segunda época, aquelas irrigadas diariamente apresentaram as menores médias. A maior necessidade de transpiração devido as maiores temperaturas fizeram com que a água disponibilizada fosse rapidamente consumida, reduzindo seu volume no substrato.

Além disso, o aumento na temperatura do ambiente pode ter elevado a temperatura do substrato alterando suas características químicas. Nesta condição plantas com irrigações a cada nove dias foram aquelas com maiores médias, talvez devido a reduções nas trocas gasosas com menor utilização da água disponibilizada. Para as plantas da segunda época os valores de pH atingiram mínimos de 4,36, abaixo da faixa considerada ideal. Isto pode ter ocorrido devido ao maior consumo hídrico nestas condições ambientais.

Para a condutividade elétrica (CE), novamente os fatores (época de cultivo e frequência de irrigação), tiveram interação significativa na influência sob *hippeastrum*. Plantas cultivadas na segunda época (janeiro a maio), assim como para pH, apresentaram as menores médias. Corroborando com a ideia de que temperaturas elevadas e maior incidência solar favoreceram o rápido consumo da água disponível e conseqüentemente há o consumo dos nutrientes disponíveis em maior velocidade. Aos 35 dias as plantas irrigadas diariamente e aquelas irrigadas a cada nove dias apresentaram médias superiores ao demais tratamentos, porém na última coleta as plantas das quatro frequências testadas mostraram valores semelhantes.

Para as plantas da primeira época as menores médias encontradas aos 123 dias, foram para plantas irrigadas diariamente, cuja média foi semelhante as observadas para os tratamentos durante a época 2. Neste momento as condutividades elétricas observadas foram próximas aquelas encontradas para a água utilizada para irrigação (0,14 a 0,23 ms.cm⁻¹). Confirmando a ideia de que maior consumo de água levou a diminuição da concentração de nutrientes no meio de cultivo e assim reduz a condutividade elétrica, uma vez que não houve reposição de nutrientes no meio. As maiores médias foram mensuradas em plantas cuja irrigação ocorria a cada seis dias, seguidas daquelas irrigadas a cada nove dias. Condições estressantes podem ter diminuído as trocas gasosas e com isso elevado a concentração dos íons no substrato. Além disso, a menor temperatura em comparação a segunda época, também pode ter reduzido as trocas gasosas e elevado a CE. A menor disponibilidade de água, também reduz a solubilização de nutrientes e assim reduz sua concentração nas análises (Zhang *et al.*, 2013).

Os resultados encontrados para *hippeastrum* atestam outros estudos que colocam a espécie como sendo de baixa exigência sem necessidade de adição de nutrientes por fertirrigação (Tombolato, 2004). Pois, para a grande maioria dos tratamentos não houve efeito significativo para a absorção de nutrientes e a condutividade elétrica não apresentou variação.

4.3.2 Crescimento e desenvolvimento

Uma das primeira variáveis afetadas nas plantas pela disponibilidade hídrica é o seu crescimento vegetativo, pois este é dependente do conteúdo hídrico celular, seja para a multiplicação ou turgescência celular. Assim, determinou-se diversas variáveis

de crescimento de *hippeastrum* para se verificar sua tolerância às variações na disponibilidade hídrica.

Para as variáveis massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular, os dados estão apresentados de acordo com a influência das frequências de irrigação para ambas as épocas (Figura 33). As variações ao longo do tempo foram alocadas em gráficos que demonstram a massa seca e fresca total (Figura 35).

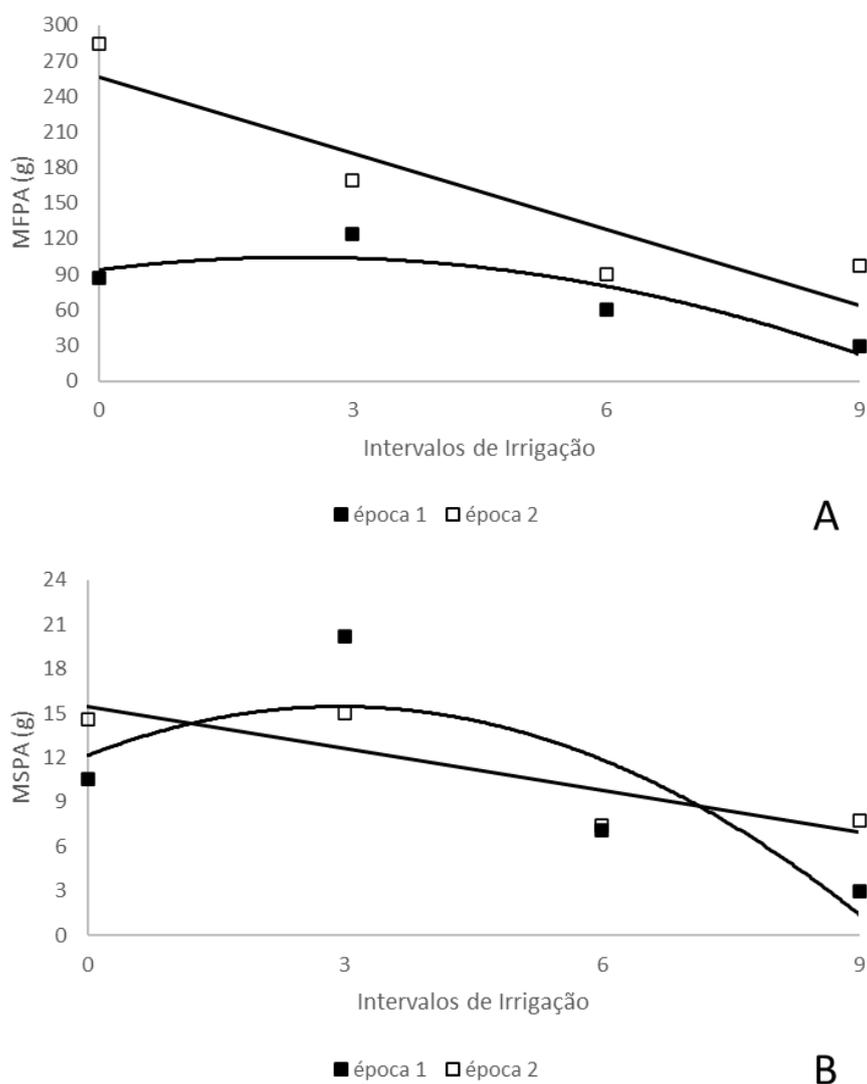


FIGURA 33. Massa fresca da parte aérea (A) e massa seca da parte aérea (B) de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivado sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas. Época 1 de março a julho de 2019 (MFPA: $y = -1,87x^2 + 8,92x + 93,67$; $R^2 = 0,81$; MSPA: $y = -0,382x^2 + 2,247x + 12,14$, $R^2 = 0,69$). Época 2 de janeiro a maio de 2020 (MFPA: $y = -21,43x + 256,56$; $R^2 = 0,84$; MSPA: $y = -0,937x + 15,43$; $R^2 = 0,76$). MFPA: massa fresca da parte aérea; MSPA: massa seca da parte aérea.

Para a parte aérea tanto a massa fresca quanto a massa seca, na segunda época (janeiro a maio), decaíram em função da disponibilidade hídrica. Para a massa fresca de parte aérea a média para plantas irrigadas diariamente foi de 284,75g, enquanto que para as plantas irrigadas a cada 9 dias, foi de 96,86g. As médias da segunda época foram substancialmente superiores as encontradas para a primeira época. Isto demonstra que diferente do que ocorreu para *A. integerrima*, hippeastrum não é tão afetado pelas temperaturas elevadas. Assim, apesar de ser tido como uma espécie de sombra, hippeastrum também pode ser cultivada em condições de pleno sol.

Para a época 1, a maior massa fresca da parte aérea foi encontrada para plantas irrigadas a cada três dias (123,7). Para a massa seca de parte aérea o comportamento apresentado foi similar ao que ocorreu para a massa fresca. Onde na segunda época, as médias decresceram de acordo com as frequências de irrigação e novamente na primeira época, plantas irrigadas a cada três dias obtiveram a maior média. Tal comportamento pode indicar que em condições ambientais amenas que apresentam menor DPV (déficit de pressão de saturação de vapor de água no ar) e consequentemente requerem menores quantidades de água para a realização de trocas gasosas, irrigações diárias fazem-se desnecessárias.

Para a massa fresca do sistema radicular, novamente a época 1 teve valores inferiores à época 2 (Figura 34). Para a segunda época houve um decréscimo de acordo com a água disponível, assim como o ocorrido para a massa fresca da parte aérea. Ou seja, menores quantidades de água levaram a redução no crescimento, indicando níveis de estresse proporcionais aos aumentos no intervalo das irrigações. Vários estudos demonstraram que espécies tolerantes ao estresse hídrico apresentam maior alocação de fotoassimilados ao sistema radicular com o objetivo de maior crescimento radicular afim de explorar uma maior área do meio em que estão inseridas (Taiz *et al.*, 2017).

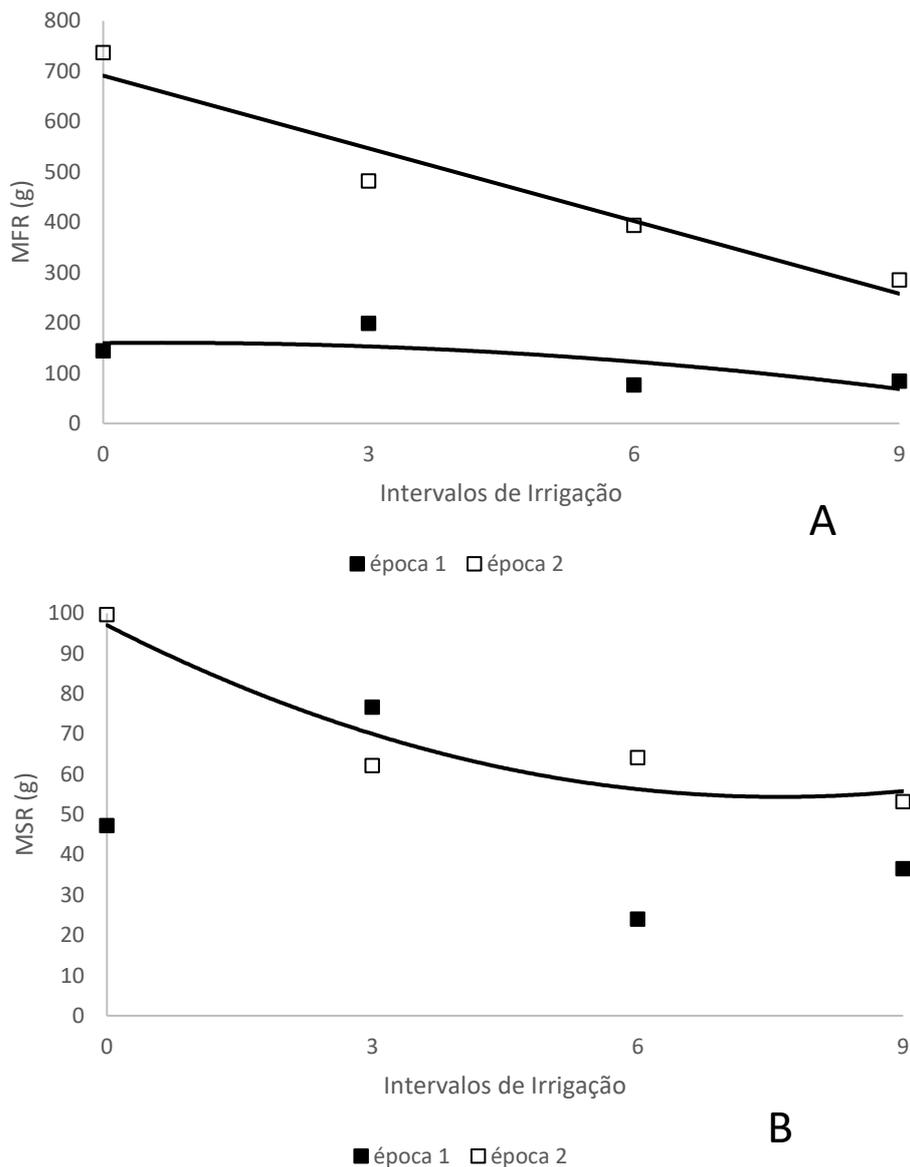


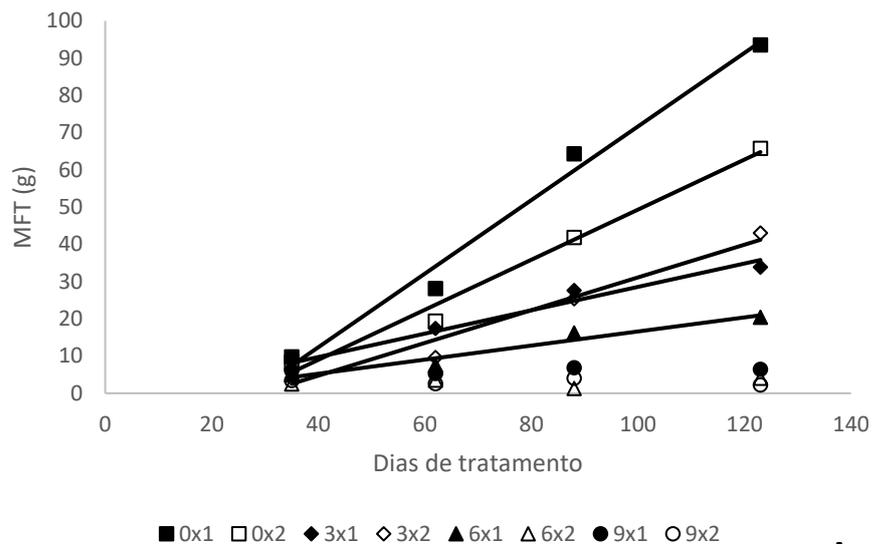
FIGURA 34. Massa fresca do sistema radicular (A) e massa seca do sistema radicular (B) de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada sob influência de diferentes frequências hídricas em duas épocas. Época 1 de março a julho de 2019 (MFR: $y = -1,32x^2 + 1,77x + 159,7$; $R^2 = 0,52$). Época 2 de janeiro a maio de 2020 (MFR: $y = 0,74x^2 - 11,21x + 97,01$; $R^2 = 0,89$; MSR: $y = -48,13x + 691,1$; $R^2 = 0,94$). MFR: massa fresca do sistema radicular; MSR: massa seca do sistema radicular.

As massas frescas e secas do sistema radicular de *hippeastrum* (Figura 34) tiveram comportamento semelhante. Tais condições são indicativos que em condições ambientais mais amenas (menores temperaturas e maiores umidades relativas), a espécie não necessita de irrigações diárias. As condições observadas para o

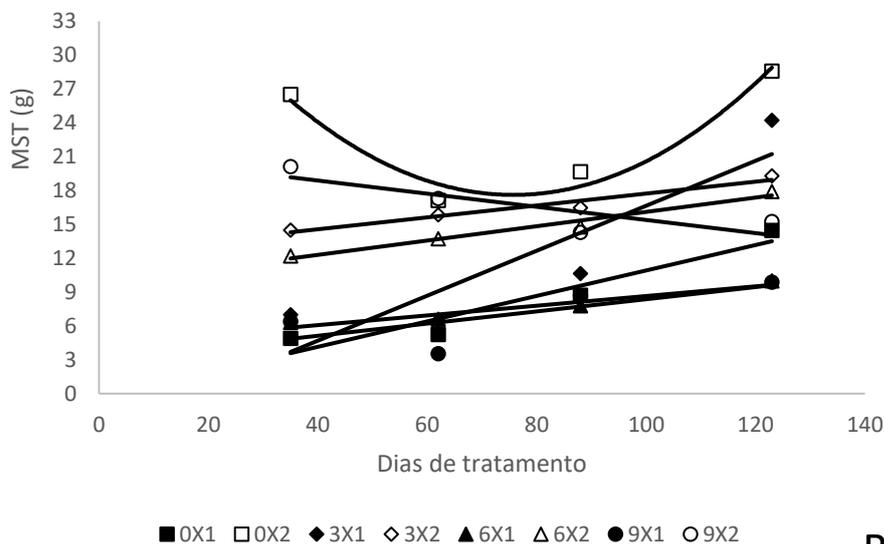
crescimento de plantas cultivadas na primeira época podem ser indicativas que nestas circunstâncias irrigações diárias podem estar causando estresse por excesso hídrico ou hipóxia. A saturação hídrica do meio de cultivo provoca rapidamente reduções nos níveis de oxigênio disponível, devido a problemas na sua difusão em água. Tal condição modifica a aeração do sistema radicular, afetando a absorção de água e nutrientes do solo e com isso redução no crescimento tanto de raízes quanto da parte aérea. Vale ressaltar que os níveis críticos de água para determinação do estresse dependem da espécie, cultivar e estágio fenológico. Ressalta-se que as variações ambientais também influenciam na criticidade do estresse e nas respostas das plantas (Taiz *et al.*, 2017).

Os dados encontrados para *hippeastrum* são semelhantes aos descritos por Piroli, (2018), para *Gerbera jamesonni* Bollus ex Hooker F., onde as maiores taxas de crescimento, tanto da parte aérea quanto do sistema radicular, são encontradas em condições inferiores a 80% da capacidade máxima de retenção de água do meio.

As variáveis época de cultivo e frequência de irrigação exibiram interação significativa sob as massas fresca e seca total de *hippeastrum* (Figura 35). Para a massa fresca total, assim como ocorreu para os resultados acima citados, as plantas cultivadas na segunda época obtiveram as maiores médias ao longo do período experimental. Plantas irrigadas diariamente foram as com as maiores médias em todas as coletas. Aos 123 dias, a média de massa fresca para estas plantas era de 255,46g enquanto a segunda maior média, encontrada para plantas irrigadas a cada três dias da segunda época, foi de 162,78g. Se comparada a menor média observada neste momento para todos os tratamentos, as plantas irrigadas diariamente na época 2 (janeiro a maio) expuseram valores 6 vezes maiores.



A



B

FIGURA 35. Massa seca (A) e Massa fresca (B) total de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 sob influência de diferentes frequências de irrigação, em duas épocas. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (MFT: $y=0,323x+18,92$; $R^2= 0,89$; MST: $y=0,1127x-0,3604$; $R^2= 0,91$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (MFT: $y=0,025x^2-2,05x+163,27$; $R^2= 0,96$; MST: $y = 0,0051x^2 - 0,7652x + 46,591$; $R^2= 0,95$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (MFT: $y=0,486x + 13,28$; $R^2= 0,81$; MST: $y = 0,1992x - 3,2766$; $R^2= 0,81$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (MFT: $y=0,0129x^2-1,482x+148,65$; $R^2= 0,97$; MST: $y = 0,0527x + 12,455$; $R^2= 0,95$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (MFT: $y= 0,261x+17,45$; $R^2= 0,84$; MST: $y = 0,043x + 4,3506$; $R^2= 0,93$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (MFT: $y=0,012x^2-1,105x+98,6$; $R^2= 0,99$; MST: $y = 0,0635x + 9,755$; $R^2= 0,97$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (MFT: $y=0,092x+27,01$; $R^2= 0,97$; MST: $y = 0,0539x + 2,9708$; $R^2= 0,52$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (MFT: $y=-0,0006x^2+0,13x+92,69$; $R^2= 0,92$; MST: $y = -0,0582x + 21,211$; $R^2= 0,72$). MFT: massa fresca total; MST: massa seca total.

Apenas as plantas com menor disponibilidade hídrica para a segunda época apresentaram redução no crescimento durante o período experimental. Para os demais foi observado crescimento em massa, exponencialmente para a segunda época e linearmente para a primeira época. Durante o período de março a julho as médias em razão da frequência hídrica foram similares. Nestas condições plantas irrigadas a cada 3 dias foram as com maior média. Diferente do que ocorreu para a época dois, para a época um a diferença entre a maior e a menor média foi de apenas 23 gramas. Tais alterações em crescimento são perceptíveis nas figuras 36 e 37.

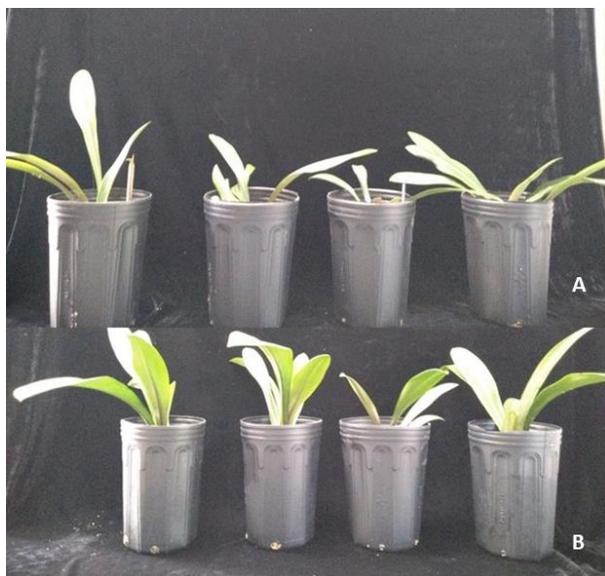


FIGURA 36. Desenvolvimento vegetativo de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivadas em diferentes frequências de irrigação durante os meses de março a julho de 2019 (época 1). Da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis, nove dias e irrigada diariamente. Em A plantas aos 62 dias e B plantas aos 123 dias.



FIGURA 37. Desenvolvimento da parte aérea de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada em diferentes frequências de irrigação ao longo de 123 dias de tratamentos durante os meses de janeiro a maio de 2020 (época 2). De A até D as quatro coletas realizadas: 35, 62, 88 e 123 dias após os tratamentos respectivamente. Em cada imagem da direita para esquerda estão dispostas plantas irrigadas a cada três, seis e nove dias e irrigadas diariamente.

Para a massa seca total o comportamento de hippeastrum foi divergente daquele apresentado para a massa fresca em alguns pontos. Novamente as plantas irrigadas diariamente, cultivadas na segunda época, foram na primeira e na última coleta os maiores valores observados. Porém, na segunda e na terceira coleta, estas plantas apresentaram reduções nos valores de massa seca total. Destaca-se o tratamento com irrigações a cada três dias da primeira época, cujo acréscimo em massa seca foi notável sendo que o mesmo foi a segunda maior média ao final do experimento. Em seguida, a maior média aos 123 dias foi novamente observada para plantas irrigadas a cada três dias, porém da segunda época.

Os resultados favoráveis para plantas cujas irrigações ocorriam a cada três dias, são mais um indicativo de que para o cultivo de hippeastrum, irrigações diárias fazem-

se desnecessárias. Com exceção das plantas irrigadas a cada nove dias para a segunda época, todos os demais tratamentos exibiram médias finais superiores as iniciais. Apesar disto, este tratamento ainda foi superior ao encontrado para plantas irrigadas diariamente durante a primeira época.

Uma das estratégias utilizadas para aumentar a tolerância ou resistência das espécies aos estresses hídricos é a maior partição de fotoassimilados para o sistema radicular, para que seja possível a extensão radicular afim de aumentar a busca por água (Taiz *et al.*, 2017). Fasolin *et al.*, (2019), em estudos com *Arachis hypogaea* (amendoim), observaram que para esta espécie o crescimento radicular, em condições de estresse hídrico, foi o inversamente proporcional ao crescimento da parte aérea. Onde o amendoim parece favorecer o crescimento radicular em detrimento da parte aérea quando em deficiência hídrica.

Além do acúmulo de massa do sistema radicular, para *hippeastrum* também foram avaliados o comprimento radicular, o volume radicular e o diâmetro do bulbo. Para o crescimento radicular houve interação significativa dos fatores analisados (Figura 38). Até a terceira coleta (88 dias) plantas cultivadas na segunda época apresentaram médias superiores às encontradas para as da primeira época em todas as frequências testadas. Na última coleta, apenas as plantas irrigadas diariamente, cujo cultivo ocorreu entre janeiro a maio, obtiveram média superior aos demais tratamentos, sendo este valor o dobro dos demais.

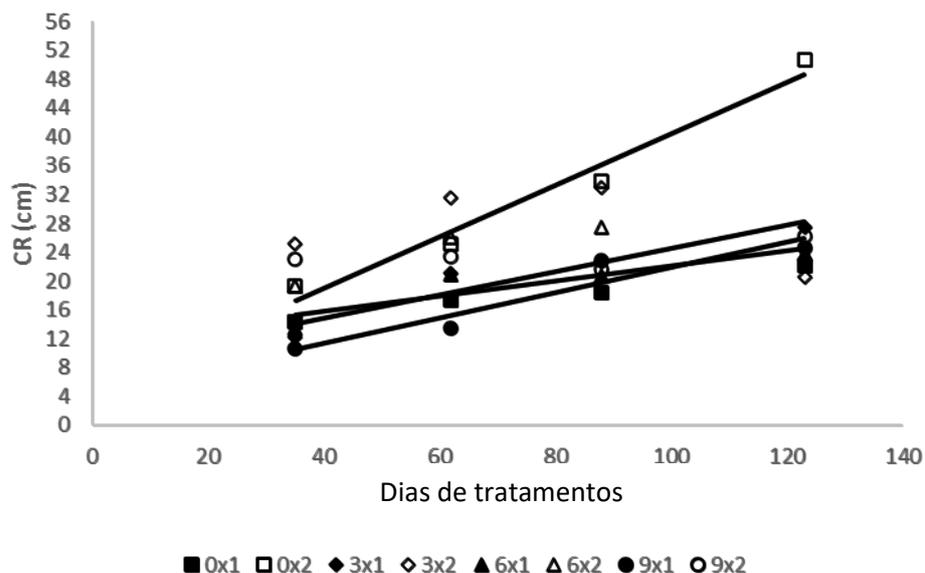


FIGURA 38. Comprimento radicular de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 sob influência de diferentes frequências de irrigação, em duas épocas. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=0,36x+4,69$; $R^2=0,97$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=0,16x+8,38$; $R^2=0,91$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,0053x^2+0,79x+3,75$; $R^2=0,98$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=0,1052x+11,56$; $R^2=0,81$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2; 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=0,17x+4,37$; $R^2=0,90$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2. CR: comprimento radicular.

Foi observado que entre a terceira e a quarta coleta, as plantas cuja irrigação não ocorria diariamente, cultivadas na segunda época, apresentaram reduções nos valores de comprimento radicular. Isto pode ser uma evidência de que há uma maior alocação de reservas em outros órgãos, ou as condições climáticas com menor incidência solar reduzem a produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, no crescimento. O sorteio das plantas pode ter auxiliado o fato de que para estes tratamentos o comprimento radicular aos 123 dias foi inferior ao das demais coletas.

Todos os tratamentos da primeira época obtiveram crescimento linear positivo ao longo dos 123 dias. Entre as variações de comprimento radicular, quando se analisando as médias adquiridas para estes tratamentos, não se observou diferenças significativas. Assim, nas condições ambientais da primeira época (março a julho), a

disponibilidade hídrica não foi fator determinante para alterar o crescimento radicular. Indicando que para esta variável irrigações diárias não se fazem necessárias.

Para volume radicular e diâmetro de bulbo de *hippeastrum* os fatores época de cultivo e frequência de irrigação não apresentaram interação significativa (Figuras 39 e 40). Para o fator época, assim como ocorreu para as variáveis já apresentadas, para diâmetro de bulbo e volume radicular as médias da segunda época foram superiores aos da primeira época. Enquanto que para o diâmetro de bulbo ambas as épocas apresentaram crescimento linear ao longo dos 123 dias, para o volume enquanto que a época um apresentou valor constante, para a época dois, após um pequeno decréscimo entre 35 e 62 dias, houve crescimento exponencial.

Com relação ao diâmetro de bulbo, para as frequências de irrigação testadas, as com maior disponibilidade hídrica (irrigadas diariamente e a cada três dias) foram as com maiores valores ao longo dos 123 dias. Para estes tratamentos as diferenças entre eles não foram significativas, conforme podemos verificar nas figuras 41 e 42. Plantas irrigadas a cada seis e nove dias, exibiram valores um pouco inferiores se comparados aos outros dois tratamentos, porém não distintos entre eles. Todos os tratamentos apresentaram crescimento durante o período experimental, com pequena tendência de redução para plantas irrigadas a cada nove dias ao final do experimento.

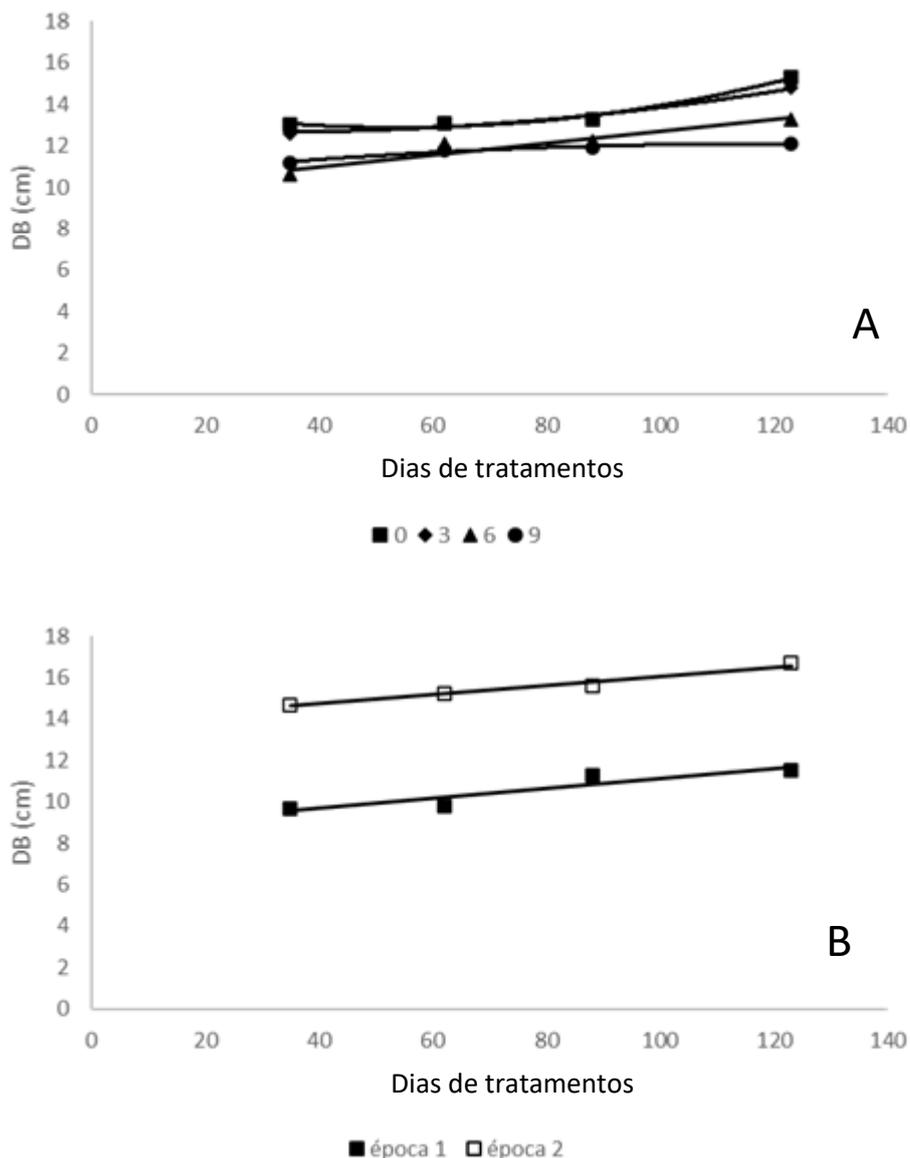


FIGURA 39. Diâmetro do bulbo (DB) de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação (A) e em duas épocas (B). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,0005x^2-0,053x+14,329$; $R^2= 0,98$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y= 0,0002x^2-0,014x+12,88$; $R^2= 0,97$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y=0,028x+9,88$; $R^2= 0,91$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y=-0,0001x^2+0,03x+10,34$; ; $R^2= 0,96$). Época 1: março a julho de 2019 ($y=0,0234x+8,773$; ; $R^2= 0,84$), Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,0223x+13,83$; ; $R^2=0,97$).

As breves variações entre os tratamentos indicam que o fato do bulbo ser um órgão de reserva, seja de nutrientes ou de recursos hídricos, faz com que seu crescimento em *hippeastrum* mantenha-se mesmo que a disponibilidade hídrica seja

menor. Isto porque para garantir sua sobrevivência a espécie utiliza-se do bulbo como seu depósito de recursos.



FIGURA 40. Desenvolvimento radicular de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. aos 123 dias de tratamentos durante os meses de março a julho de 2019 (época 1). Da esquerda para a direita: irrigada a cada três, seis, nove dias e irrigada diariamente.

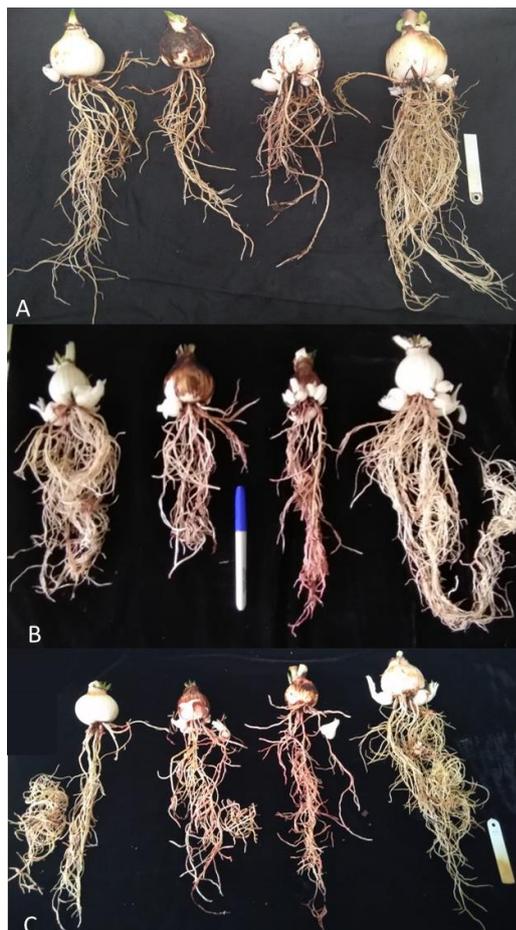


FIGURA 41. Desenvolvimento do sistema radicular de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada em diferentes frequências de irrigação ao longo dos 123 dias de tratamentos durante os meses de janeiro a maio de 2020 (época 2). Em A sistema radicular da coleta realizada aos 62 dias. Em B sistema radicular referentes a terceira coleta (88 dias) e em C sistema radicular de plantas aos 123 dias de tratamentos. Em cada imagem da direita para esquerda estão dispostas plantas irrigadas a cada três, seis e nove dias e irrigadas diariamente.

Em relação ao volume radicular quando se comparando as frequências de irrigação, plantas irrigadas diariamente, com exceção da primeira coleta, foram aquelas com maior média. Uma vez que o diâmetro de bulbo foi similar para as quatro frequências aqui testadas, pode-se entender que o maior volume radicular é devido ao sistema radicular mais comprido, conforme verificado para o crescimento radicular (Figura 42) e/ou com maior ramificação. Aos 88 dias, plantas não irrigadas diariamente apresentaram valores equivalentes apesar do intervalo de irrigação. Aos 123 dias, plantas irrigadas a cada seis dias, obtiveram pequeno acréscimo em relação

a terceira coleta, fazendo com que fossem a segunda maior média ao final do experimento. Ao mesmo tempo que para plantas irrigadas a cada três e nove dias, as médias de volume radicular decaíram entre a terceira e a quarta coleta, quando seus valores foram semelhantes.

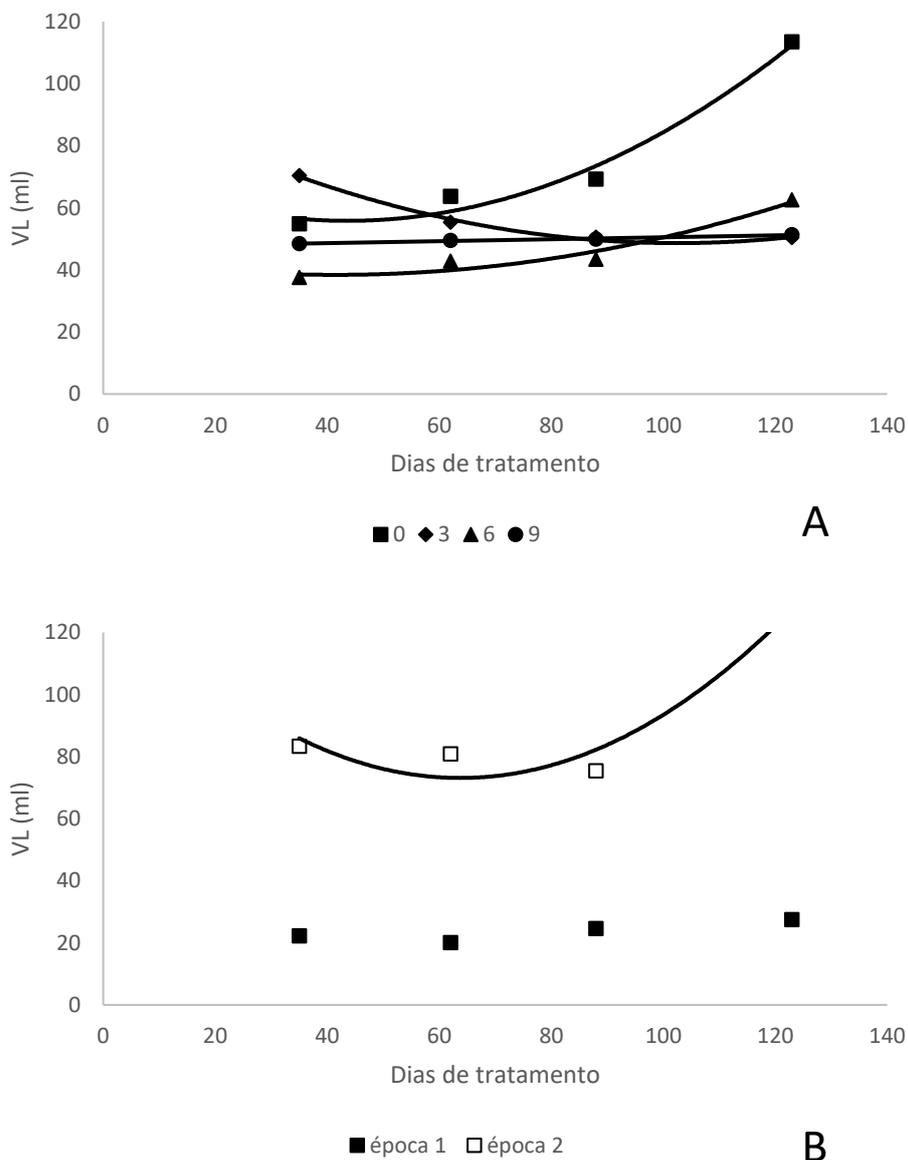


FIGURA 42. Volume radicular (VL) de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação (A) e em duas épocas (B). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=0,0009x^2-0,782x+72,88$; $R^2=0,97$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=0,0047x^2-0,963x+97,98$; $R^2=0,99$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y=0,0035x^2-0,291x+44,44$; $R^2=0,95$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y=0,031x+47,36$; $R^2=0,97$). Época 1: março a julho de 2019. Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=0,015x^2-1,97x+136,06$; $R^2=0,94$).

Uma das estratégias de defesa de plantas sob condição de estresse hídrico é a redução da área de interceptação solar. Tal medida reduz o acúmulo de calor sob a superfície vegetal, reduz o tecido fotossinteticamente ativo diminuindo assim o processo fotossintético e a necessidade de água para o mesmo, além de reduzir a área de transpiração. Em *hippeastrum*, para a variável área foliar, frequências de irrigação e épocas apresentaram interação significativa (Figura 43). Assim como já observado para outras características já descritas, para a área foliar plantas irrigadas diariamente cultivadas nas condições ambientais da segunda época (janeiro a julho) obtiveram os maiores incrementos de crescimento ao longo dos 123 dias, sendo ao final do experimento a maior média observada.

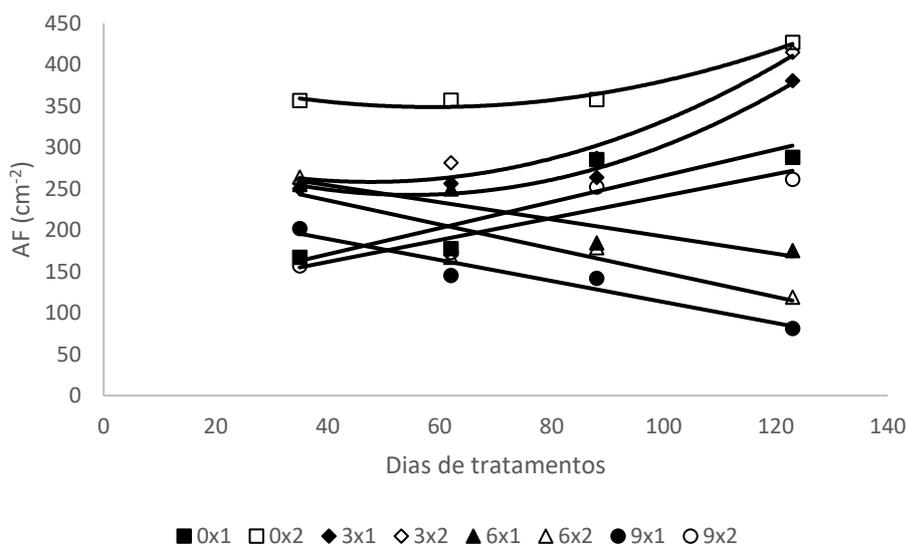


FIGURA 43. Área foliar de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=1,58x+107,43$; $R^2= 0,81$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 $y=0,0185x^2-2,171x+412,41$; $R^2= 0,96$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=0,029x^2-3,19x+330,03$; $R^2= 0,97$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=0,0268x^2-2,553x+318,91$; $R^2= 0,96$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=-1,035x+295,65$; $R^2= 0,85$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-1,46x+254,29$; $R^2= 0,82$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=-1,27x+240,06$; $R^2= 0,93$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=1,35x+108,37$; $R^2= 0,87$). AF: área foliar.

Aos 35 dias, os demais tratamentos expuseram áreas foliares semelhantes. Na última coleta plantas irrigadas a cada 3 dias, foram a segunda maior média, sendo que sua área foliar foi próxima a encontrada em plantas irrigadas diariamente da primeira época (426,77 e 414,65 cm², respectivamente). Estes tratamentos foram seguidos por plantas irrigadas a cada três dias da primeira época (380,10 cm²) e diariamente da segunda época (277,57 cm²). Corroborando com a ideia de que a segunda época é mais favorável para o cultivo de *hippeastrum* se comparado a época um. Além de que para o cultivo na primeira época, irrigações diárias fazem-se desnecessárias. Da mesma forma, plantas irrigadas a cada nove dias da segunda época exibiram crescimento positivo ao longo dos 123 dias.

Para os demais tratamentos, plantas irrigadas a cada seis dias na primeira e segunda época e plantas irrigadas a cada nove dias da primeira época, a área foliar é reduzida ao longo do estudo. Isto pode ter ocorrido devido a senescência de folhas nestes tratamentos, pois segundo Broetto *et al.*, (2017), uma das respostas ao déficit hídrico é a senescência acelerada. O fato de as plantas irrigadas a cada nove dias apresentarem crescimento positivo apesar da redução na disponibilidade hídrica, pode ser indicativo de que a intensidade deste estresse somada as condições favoráveis ao cultivo permitiram nesta condição a ativação de mecanismos de defesa que proporcionaram crescimento, mesmo que em condições de estresse.

Também se mediu a razão entre massa do sistema radicular e a massa de parte aérea (R/PA) é indicativa de quanto da massa produzida a espécie destina ao seu sistema radicular. Pode ser usada para determinar se a espécie em condição de estresse favorece o seu crescimento radicular em detrimento da parte aérea. Para *hippeastrum*, houve interação entre os fatores analisados (frequências de irrigação e épocas de cultivo) para a variável R/PA. Neste estudo inicialmente plantas cultivadas a cada seis

dias na segunda época foram as que apresentaram os maiores valores de R/PA. Porém na última coleta este foi o com segunda menor média, demonstrando que o tempo de imposição de estresse levou a redução nas médias (Figura 44).

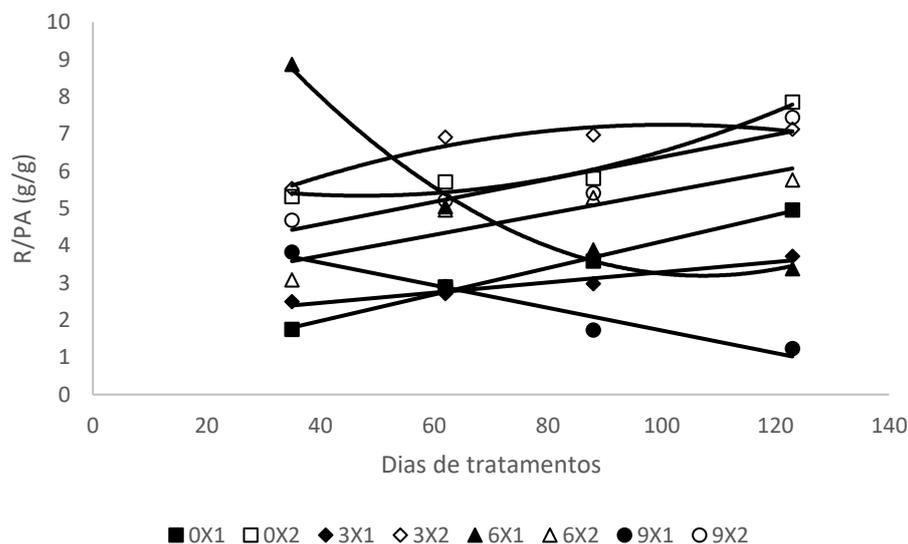


FIGURA 44. Razão R/PA de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y = 0,035x + 0,56$; $R^2 = 0,99$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y = 0,0004x^2 - 0,0404x + 6,29$; $R^2 = 0,96$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y = 0,0137x + 1,91$; $R^2 = 0,94$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y = -0,0004x^2 + 0,0756x + 3,42$; $R^2 = 0,93$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y = 0,0011x^2 - 0,228x + 15,43$; $R^2 = 0,98$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y = 0,0283x + 2,59$; $R^2 = 0,82$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y = -0,0304x + 4,76$; $R^2 = 0,95$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y = 0,0301x + 3,37$; $R^2 = 0,87$). R/PA: razão raiz/parte área.

Diferente do que foi observado para a maioria das variáveis deste estudo com *hippeastrum*, para R/PA os maiores valores foram observados para plantas cultivadas na primeira época, demonstrando que em relação a sua massa produzida, as plantas da primeira época priorizaram a alocação no seu sistema radicular, conforme também verificado pela redução na parte aérea destes tratamentos. As condições ambientais menos favoráveis para o crescimento podem fazer com que *hippeastrum* eleve o crescimento do sistema radicular. Dentre os tratamentos da primeira época, as plantas

irrigadas diariamente tiveram as maiores médias, seguidas pelas irrigadas a cada nove dias. Tais resultados apontam que a maior severidade do stress hídrico testado, leva ao favorecimento do crescimento do sistema radicular. Vale ressaltar que o sistema radicular de *hippeastrum* é formado também por um bulbo, assim, as plantas irrigadas a cada nove dias, podem ter beneficiado o crescimento bulbar a fim de manter reservas.

Para a segunda época as médias observadas foram decrescentes, seguindo a ordem de disponibilidade hídrica. Assim, nas condições de cultivo da segunda época (janeiro a maio), *hippeastrum* aparenta ter o crescimento foliar favorecido. Como supracitado, a segunda época é mais promissora para o crescimento e desenvolvimento da espécie, assim, a mesma deve elevar a produção do tecido fotossinteticamente ativo para maior aproveitamento das condições favoráveis.

O teor de água diz respeito a porcentagem correspondente ao conteúdo hídrico presente no tecido vegetal. Para *hippeastrum*, época de coleta e frequências de irrigação não apresentaram interação significativa na influência sobre o teor de água (Figura 45). Em relação às frequências de irrigação testadas, plantas cuja disponibilidade hídrica foi maior apresentaram as maiores porcentagens ao longo dos 123 dias. Plantas cujas irrigações ocorreram a cada três dias, foram levemente superiores às irrigadas diariamente. Plantas irrigadas a cada seis dias, na primeira coleta apresentaram teor de água superiores a 80%, porém à medida que o tempo de imposição do estresse aumentava, o teor de água era reduzido. Aos 123 dias, o teor para estas plantas era menor que 70%. Para as plantas irrigadas a cada nove dias, os teores de água permaneceram abaixo de 70% ao longo de todo o período experimental.

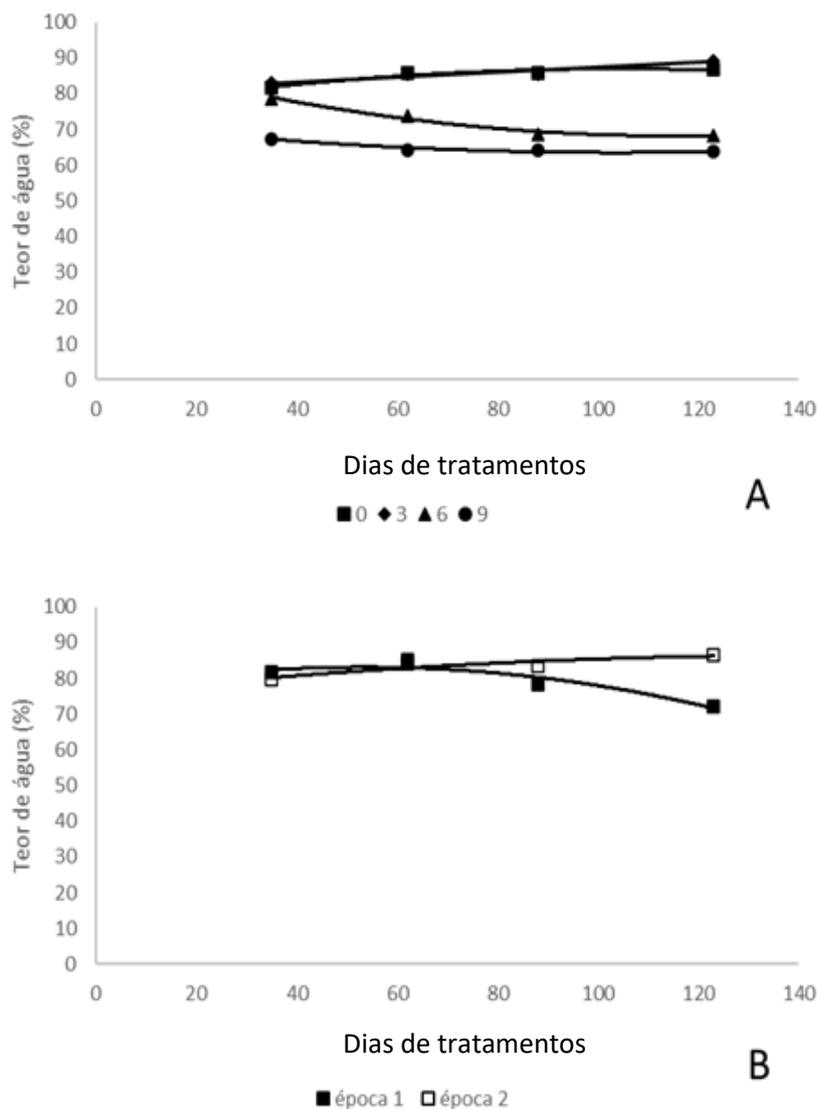


FIGURA 45. Teor de água de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação (A) e em duas épocas de cultivo (B). 0: plantas irrigadas diariamente ($y=-0,0011x^2+0,2208x+75,432$; $R^2= 0,92$); 3: plantas irrigadas a cada 3 dias ($y=-0,0668x+80,68$; $R^2= 0,92$); 6: plantas irrigadas a cada 6 dias ($y=-0,0017x^2-0,386x+90,44$; $R^2= 0,98$); 9: plantas irrigadas a cada 9 dias ($y=0,0008x^2-0,1641x+72,008$; $R^2=0,94$). Época 1: março a julho de 2019 ($y=-0,0024x^2+0,25x+76,34$; $R^2= 0,90$). Época 2: janeiro a maio de 2020 ($y=-0,0005x^2+0,15x+75,58$; $R^2= 0,84$).

Para as épocas de cultivo testadas, a segunda época (janeiro a maio) apresentou comportamento crescente para a variável teor de água. As temperaturas mais amenas ao final do período experimental, podem ter reduzido as trocas gasosas e consequentemente elevado a quantidade de água armazenada nos tecidos.

Notadamente, condições com menor incidência de radiação reduzem as taxas de crescimento de *hippeastrum*, com isso, a medida que se reduziu a incidência solar, pode-se ter menos consumo de água pelo processo fotossintético e conseqüentemente aumentar seu teor. Para a época 1 (março a julho), houve redução dos teores de água, com a redução mais marcante sendo observada entre a terceira e a quarta coleta.

As condições menos favoráveis para o cultivo destas plantas durante a primeira época pode ter reduzido as trocas gasosas destas plantas ao longo dos 123 dias, em relação a primeira época. Além disso, o menor DPV ao final do período experimental, reduziu de maneira ainda mais significativa o consumo de água, reduzindo assim sua absorção e conseqüentemente seus teores teciduais.

4.3.3 Trocas gasosas

Em *hippeastrum*, para a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), houve interação significativa entre as variáveis testadas (Figura 46). Assim como observado para a maioria dos parâmetros de crescimento, para A, plantas cultivadas durante a segunda época (janeiro a maio) foram as com maiores valores em relação às da primeira época (março a julho). Em relação às frequências hídricas testadas, os valores de assimilação decresceram de acordo com a restrição hídrica.

A assimilação de carbono e demais processos relacionados à fotossíntese são diretamente afetados pelas variações na disponibilidade hídrica, seja pelo processo de fechamento estomático desencadeado pelo estresse ou por alterações bioquímicas que reduzem a produção de intermediários do ciclo, o que torna espécies capazes de manter seu fluxo gasoso em condições de menor disponibilidade hídrica tolerantes.

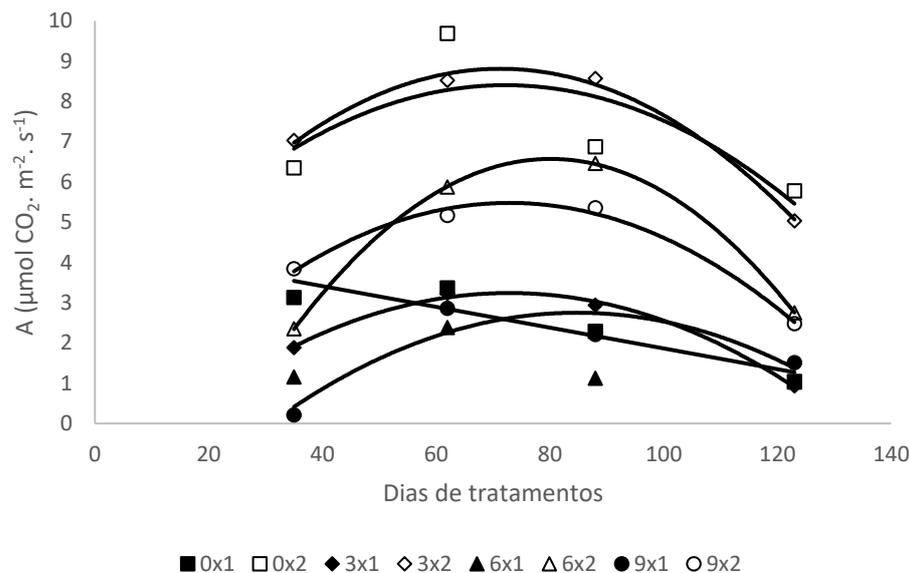


FIGURA 46. Taxa de Assimilação Líquida de CO_2 de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,025x+4,44$; $R^2=0,85$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=-0,0011x^2+0,16x+2,48$; $R^2=0,57$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,0009x^2+0,13x-1,66$; $R^2=0,99$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,0014x^2+0,19x+1,71$; $R^2=0,99$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,0019x^2+0,31x-6,22$; $R^2=0,97$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=-0,0009x^2+0,16x-4,03$; $R^2=0,82$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,0014x^2+0,19x-1,34$; $R^2=0,99$). A: taxa de assimilação líquida de CO_2 .

Em todos os tratamentos da segunda época, observou-se inicialmente um crescimento com redução das taxas de assimilação a partir dos 70 dias. Plantas irrigadas a cada seis dias, foram as com maior crescimento inicial, mas também apresentaram queda na assimilação, porém esta ocorreu mais tardiamente se comparado aos demais tratamentos. Quedas de assimilação ao longo do ciclo vegetal são comuns, isto porque à medida que as folhas crescem, sua capacidade fotossintética aumenta até que atingem a maturidade, quando suas taxas começam a decrescer. Variações nas trocas gasosas em decorrência dos estádios fenológicos das espécies também podem estar associadas às modificações que ocorrem em seu nível morfológico, anatômico e fisiológico pelo qual os tecidos foliares passam.

Na primeira época de cultivo (março a julho), plantas com restrição hídrica exibiram comportamento similar ao encontrado para as plantas da segunda época. Para aquelas plantas cujas irrigações ocorriam diariamente, as taxas de assimilação líquida de CO₂, decresceram ao decorrer de todo o estudo. Tais efeitos indicam que em condições de menores incidências de radiação, irrigações diárias tornam-se estressantes para *hippeastrum*.

Aos 123 dias, todos os tratamentos na primeira época apresentaram valores equivalentes, demonstrando que nestas circunstâncias, as condições ambientais influenciam diretamente as trocas gasosas.

Um dos primeiros sintomas do estresse hídrico é a redução da condutância estomática, reduzindo a perda de água por transpiração, porém consequentemente reduz-se a entrada de CO₂. Plantas tidas como resistentes ou tolerantes, conseguem manter suas condutâncias apesar da restrição hídrica. Em *hippeastrum* para a condutância estomática (GS) novamente houve interação entre os fatores avaliados. Todos os tratamentos apresentaram crescimento exponencial quadrático (Figura 47).

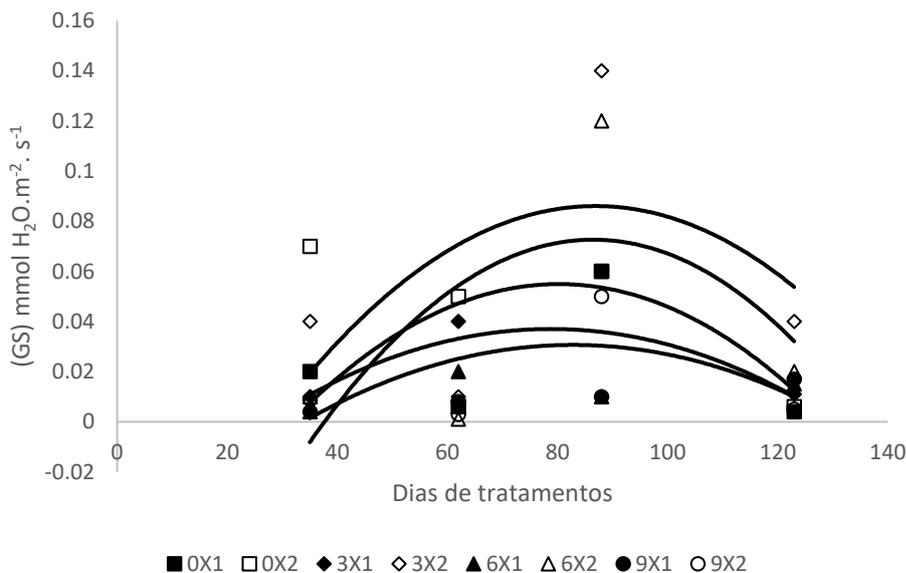


FIGURA 47. Condutância estomática de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,00003x^2+0,0043x-0,0908$; $R^2=0,88$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2; 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,00002x^2+0,0037x-0,090$; $R^2=0,95$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,00002x^2+0,0041x-0,085$; $R^2=0,45$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,00003x^2+0,0057x-0,17$; $R^2=0,41$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,00001x^2+0,0022x-0,058$; $R^2=0,34$). GS: condutância estomática.

Assim como para a assimilação de CO_2 , para a condutância as plantas da segunda época apresentaram valores superiores se comparados aos da primeira. Os valores mais expressivos foram encontrados para as irrigadas a cada três e seis dias. Tais tratamentos apresentaram ampla variação ao longo do ciclo de cultivo de *hippeastrum*. Nestes tratamentos as condutâncias entre a primeira e a segunda coleta decaíram, posteriormente houve acréscimo nestas taxas entre a segunda e a terceira coleta. Já ao final do estudo as condutâncias novamente são elevadas. O mesmo comportamento foi verificado em plantas irrigadas a cada nove dias na segunda época e diariamente para a primeira época.

Plantas irrigadas a cada seis dias, cujo cultivo se deu na primeira época (março a julho) também exibiram comportamento variável, porém nestas situações as condutâncias foram elevadas ao final do estudo. Tal desempenho foi verificado também para *Tebebuia auerea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S. Moore, quando em estresse por alagamento. Na situação analisada, esta espécie inicialmente reduz suas trocas gasosas, posteriormente mantém as mesmas constantes, as reduzindo novamente apenas ao final do período experimental (Coffacci, 2016).

Percebe-se nos resultados observados para hippeastrum que a medida que aumenta o tempo de imposição do estresse somado as variações do ambiente, a espécie vai alterando seu metabolismo lenta e gradualmente afim de garantir a sobrevivência. Isto porque as respostas das espécies aos estresses são dependentes das características inerentes à espécie, ao ambiente e as do próprio estresse, como intensidade e duração. Como consequência, ela responderá diferenciadamente ao longo do tempo de estresse. Algumas espécies ativam rapidamente seus mecanismos de defesa, ativam ou desativam a transcrição de genes de respostas frente a um estresse, enquanto outros necessitam de um período maior de imposição de estresse para gerar uma resposta (Taiz *et al.*, 2017).

Assim, as condições ambientais também influenciam na ativação ou não destes mecanismos devido a sua influência na intensidade do estresse. Ambientes com temperaturas elevadas acabam por elevar o estresse em plantas em deficiência hídrica, pois estas necessitarão de maiores conteúdos hídricos para manter a temperatura foliar dentro de uma faixa adequada. Neste estudo, plantas sob incidência solar maior (janeiro a maio) foram as com maiores condutâncias, mesmo comparadas com as de maior disponibilidade hídrica cultivadas na primeira época. Isto porque em detrimento da maior temperatura ambiente, plantas de hippeastrum cultivadas na primeira época

mantiveram suas taxas de condutância elevadas para manutenção das temperaturas foliares. Com os estômatos mais abertos que as plantas da primeira época, aquelas da segunda época também permitiram maior entrada de CO₂ e conseqüentemente maiores taxas de assimilação e de crescimento conforme verificado neste estudo.

Plantas irrigadas a cada nove dias da primeira época, foram as únicas com crescimento das condutâncias estomáticas ao longo de todo o período experimental. O mesmo pode indicar que as condições ambientais mais amenas somados a imposição suficientemente lenta e gradual do estresse nestas plantas induziu a ativação das adaptações morfofisiológicas necessárias para permitir a aclimação destas plantas.

As taxas de transpiração novamente foram afetadas pela interação entre época de cultivo e as frequências de irrigação (Figura 48). As variações nas taxas de transpiração (E) seguiram o que foi observado para a condutância estomática (GS). Os tratamentos da segunda época (janeiro a maio), foram os com maiores taxas de transpiração. As maiores temperaturas e menores DPV nesta época foram responsáveis pelas maiores taxas de transpiração em relação as plantas da primeira época. As plantas aumentam suas taxas de transpiração para manter as temperaturas foliares adequadas.

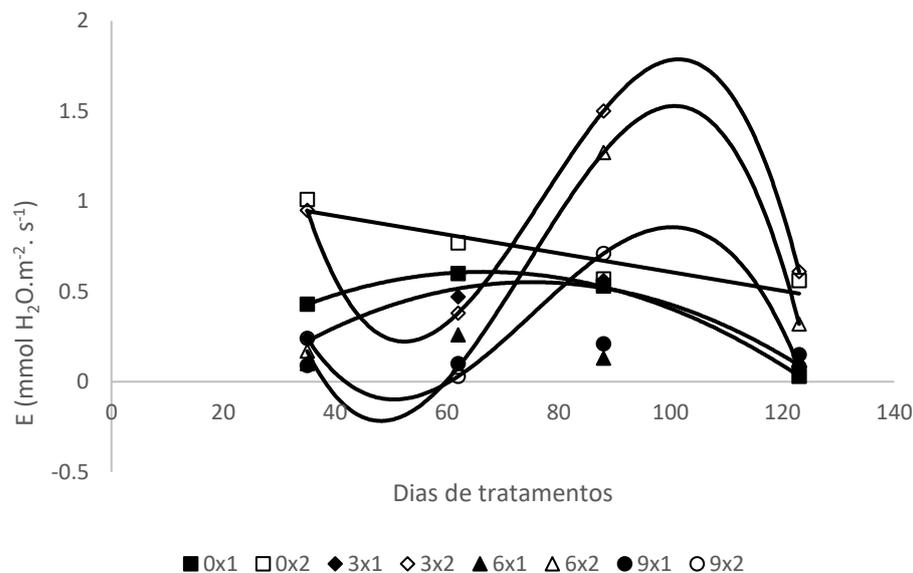


FIGURA 48. Transpiração de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=-0,0002x^2+0,024x-0,201$; $R^2=0,99$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=-0,0051x+1,12$; $R^2=0,85$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=-0,0002x^2+0,03x-0,59$; $R^2=0,97$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=-0,00003x^3+0,0061x^2-0,420x+9,34$; $R^2=1$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=-0,00003x^3+0,0057x^2-0,372x+7,34$; $R^2=1$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=-0,00001x^3+0,0032x^2-0,214x+4,42$; $R^2=1$). E: transpiração.

Todos os tratamentos apresentaram quedas ao final do período de estudo, isto pode ter ocorrido devido as condições ambientais na última coleta. Para ambas as épocas, a coleta aos 123 dias está relacionada a condições ambientais mais amenas, reduzindo a necessidade de manutenção da temperatura foliar em valores adequados. Os tratamentos com irrigação a cada três, seis e nove dias da segunda época foram os que apresentaram as taxas de transpiração mais variáveis ao longo do tempo. Para estes tratamentos houve uma pequena queda nas transpirações entre a primeira e a segunda coleta, o que pode estar ligado a altas temperaturas (Figuras 6 e 7). Entre a segunda e a terceira coleta houve grande acréscimo nestas taxas. Nesta situação apesar de variações nas disponibilidades hídricas, as plantas mantiveram as trocas gasosas afim

de manter a temperatura foliar adequada, indicando que a espécie ativou mecanismos de defesa. Já ao final dos 123 dias, estes tratamentos apresentaram quedas na transpiração, devido as condições ambientais.

Para a primeira época, plantas irrigadas diariamente e a cada 3 dias, apresentaram comportamento similar, indicando novamente que nas condições ambientais às quais as plantas estiveram expostas entre março e julho, irrigações diárias não se fazem necessárias. Já para as plantas cuja disponibilidade hídrica é menor (a cada seis e nove dias) houve pouca variação ao longo do experimento. Assim, apesar da redução no volume de água disponível, as plantas mantiveram-se constantes.

A temperatura foliar é mais uma das variáveis analisadas para determinação da capacidade de resistência ao déficit hídrico. Por ser a fotossíntese um dos mecanismos fisiológicos mais sensíveis à estresse térmico, elevações na temperatura foliar podem levar a consequências severas ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Silva *et al.*, 2013). Um dos mecanismos para manter a temperatura foliar próxima a do ambiente é a perda de vapor de água via transpiração. Assim, espécies que conseguem manter a temperatura foliar adequada apesar da menor disponibilidade hídrica são consideradas tolerantes ao déficit hídrico.

Para *hippeastrum*, a temperatura foliar foi afetada pela interação entre épocas de cultivo e frequências de irrigação testadas (Figura 49). Conforme esperado, as maiores temperaturas foliares foram observadas para as plantas cultivadas na segunda época. Por esta ser a época com maiores incidências de radiação solar, consequentemente suas temperaturas foram as mais elevadas. Os valores da primeira coleta (35 dias), foram próximos para ambas as épocas analisadas. Tal coleta ocorreu para a primeira e a segunda coleta em abril e fevereiro, respectivamente. Ambos meses em que a radiação ainda é alta. Diferentemente do que ocorre aos 123 dias, onde a

diferença entre a menor temperatura para a segunda época (plantas irrigadas diariamente) e a maior para a primeira época (plantas irrigadas a cada 9 dias) era de 10⁰C. Tais avaliações ocorreram em maio e julho, dois meses em que a variação da incidência solar entre os meses é mais acentuada.

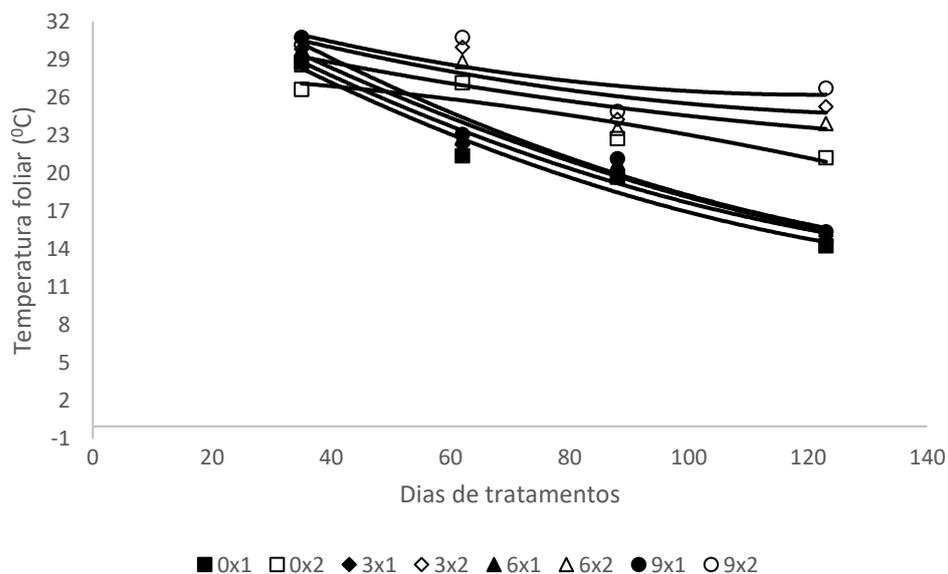


FIGURA 49. Temperatura foliar de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 ($y=0,0008x^2-0,29x+37,34$; $R^2=0,96$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=-0,0003x^2-0,0172x+28,13$; $R^2=0,85$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 ($y=0,0008x^2-0,277x+37,58$; $R^2=0,97$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 ($y=0,0005x^2-0,1475x+35,04$; $R^2=0,69$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 ($y=0,0007x^2-0,263x+37,85$; $R^2=0,97$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 ($y=0,0003x^2-0,113x+32,83$; $R^2=0,72$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 ($y=0,0008x^2-0,297x+39,66$; $R^2=0,97$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 ($y=0,0006x^2-0,153x+35,55$; $R^2=0,57$).

Para as frequências de irrigação, plantas com as menores disponibilidades hídricas foram as que apresentaram maiores temperaturas, isto devido ao menor volume de água disponível para manutenção das temperaturas foliares. Também foram estas que apresentaram as menores transpirações, indicando menor fluxo de vapor de água para manutenção da temperatura foliar. Na primeira coleta aos 123 dias para

plantas irrigadas a cada nove dias, a temperatura foliar observada foi de 16,02°C, enquanto que a temperatura para plantas irrigadas diariamente foi de 14,65°C. Ambos os tratamentos apresentaram temperaturas foliares superiores ao do ambiente que no dia foi de 11,6°C.

Na segunda época o estresse térmico foi mais acentuado, uma vez que enquanto a temperatura ambiente no último dia foi de 15,8°C, para as plantas com maior e menor disponibilidade hídrica a temperatura foliar foi de 21,46 e 27,01°C, respectivamente. Segundo Oliveira *et al.* (2005), em plantas C3 a assimilação de CO₂ seria inibida em temperaturas superiores a 30 °C, ou seja, neste estudo apesar de ter a temperatura foliar elevada em relação à temperatura ambiente, a mesma não chegou a patamares de total inibição da fotossíntese. Porém, os valores encontrados podem ter afetado hippeastrum devido ao aumento na velocidade das reações, bem como por reduzir o estado de ativação da Rubisco, uma vez que esta temperatura poderia inibir a enzima Rubisco ativase (Taiz *et al.*, 2017).

Assim, outra variável analisada neste estudo em hippeastrum foi a eficiência de carboxilação da Rubisco, variável que relaciona a curva de assimilação de CO₂ em função de sua concentração interna na folha. Qualquer fator que interfira na fotossíntese influenciará a ação da Rubisco. Para hippeastrum, nas condições deste experimento, apenas as plantas irrigadas diariamente na segunda época exibiram variações ao longo dos 123 dias (Figura 50). Para os demais tratamentos a variável manteve-se constante e não apresentou variação dentre as disponibilidades hídricas testadas e as épocas de cultivo.

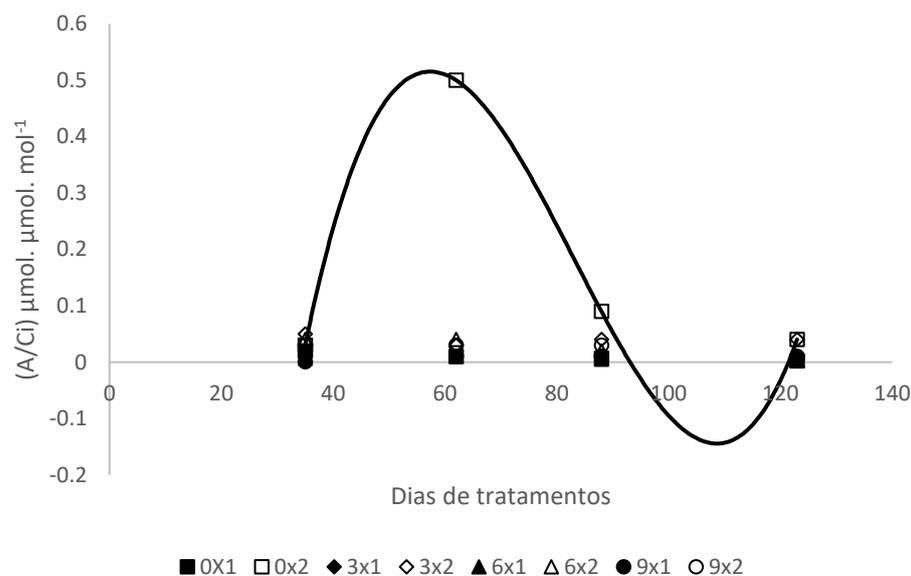


FIGURA 50. Eficiência de Carboxilação da Rubisco de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb. cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1; 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 ($y=0,00001x^3-0,0025x^2+0,19x-3,95$; $R^2= 1$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1; 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2; 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1; 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2; 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1; 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2. A/Ci: eficiência de carboxilação da Rubisco.

Quando a eficiência de carboxilação decresce, torna-se possível inferir que o CO_2 é fator limitante para o processo fotossintético e se tem aumento na função oxidativa da Rubisco. Assim, os baixos valores encontrados neste estudo podem indicar que as plantas de *hippeastrum* foram afetadas pela redução na disponibilidade de CO_2 .

4.3.4 Ajuste osmótico

Além dos mecanismos de resistência ou tolerância já citados, as espécies também podem apresentar a capacidade de ajustamento osmótico afim de sobreviverem. O ajuste osmótico consiste na capacidade apresentada por algumas espécies, de acumular em suas células compostos orgânicos conhecidos como solutos

compatíveis. Tais moléculas auxiliam no aumento do potencial osmótico celular e conseqüentemente mantém a variação de potencial hídrico necessário para que ocorre o transporte de água. O ajuste osmótico é em sua maioria das vezes responsáveis pela manutenção da sobrevivência das espécies e não a manutenção de suas taxas de crescimento.

Para este estudo foram determinadas as concentrações dos solutos compatíveis prolina e glicose. Quantificou-se as concentrações destes no sistema radicular e parte aérea de *hippeastrum*, uma vez que as espécies variam de acordo com o soluto e órgão vegetal em que ocorre o acúmulo do soluto.

Para todas as variáveis analisadas para determinação de ajuste osmótico, houve influência da interação entre as épocas de cultivo e frequências hídricas testadas. Para prolina, as concentrações apresentaram variações marcantes ao longo dos 123 dias tanto no sistema radicular quanto na parte aérea (Figura 52). A concentração de prolina na parte aérea foi maior em plantas da segunda época (janeiro a maio). Conforme verificado nos demais resultados deste estudo, plantas de *hippeastrum* da segunda época obtiveram as maiores trocas gasosas e taxas de crescimento, permitindo a maior formação de compostos celulares, tais quais a prolina.

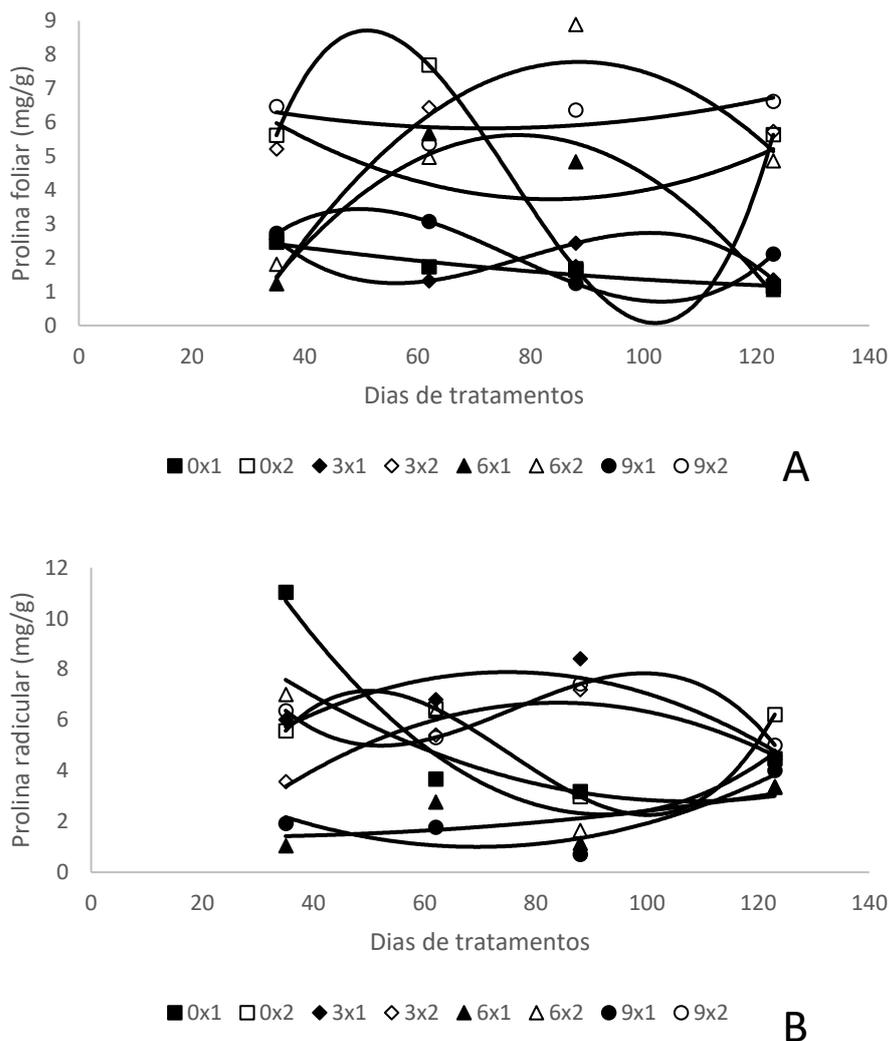


FIGURA 51. Concentração foliar (A) e concentração radicular (B) de prolina em *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (PF: $y=0,0001x^2-0,03x+3,29$; $R^2=0,95$; PR: $y=0,0026x^2-0,47x+24,14$; $R^2=0,95$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (PF: $y=0,0001x^3-0,03x^2+2,03x-34,52$; $R^2=1$; PR: $y=0,0001x^3-0,017x^2+1,16x-17,16$; $R^2=1$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (PF: $y=-0,00003x^3+0,008x^2-0,55x+13,93$; $R^2=1$; PR: $y=-0,0013x^2+0,21x+0,31$; $R^2=0,82$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (PF: $y=0,0013x^2-0,21x+11,51$; $R^2=0,54$; PR: $y=-0,0014x^2+0,23x-3,02$; $R^2=0,91$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (PF: $y=-0,0023x^2+0,36x-8,23$; $R^2=0,96$; PR: $y=0,0002x^2-0,006x+1,47$; $R^2=0,41$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (PF: $y=-0,003x^2+0,45x-10,83$; $R^2=0,98$; PR: $y=0,0009x^2-0,195x+13,31$; $R^2=0,71$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (PF: $y=0,00004x^3-0,0082x^2+0,547x-7,95$; $R^2=1$; PR: $y=0,001x^2-0,14x+5,77$; $R^2=0,82$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (PF: $y=0,0003x^2-0,05x+7,63$; $R^2=0,51$; PR: $y=-0,0001x^3+0,012x^2-0,835x+22,94$; $R^2=1$). PF: concentração foliar de prolina. PR: concentração radicular de prolina.

Plantas irrigadas diariamente da primeira época exibiram pequena redução nas concentrações de prolina ao longo dos 123 dias, sendo na última coleta os valores similares aos encontrados para plantas irrigadas a cada três dias. Isto corrobora com a ideia de que nas condições ambientais da primeira época (março a julho), *hippeastrum* não necessita de irrigações diárias. Já para aquelas irrigadas diariamente na segunda época, houve grande variação das concentrações ao longo do estudo. Tais plantas apresentaram grandes reduções nas médias entre os 50 e 100 dias e posteriormente tais valores apresentaram novamente crescimento.

Plantas com menores disponibilidades hídricas foram as com maiores concentrações foliares de prolina dentro de cada época analisada. Enquanto que na época um as plantas irrigadas a cada nove dias exibiram grande variação nas concentrações, as da segunda época foram constantes ao longo dos 123 dias e ao final as com maior média. Tais resultados são indicativos de que *hippeastrum* mantém seus níveis de prolina elevados em condições de restrição hídrica. Porém o ajuste osmótico em folhas deve ser responsável apenas pela sobrevivência da espécie uma vez que este tratamento não foi o com as maiores taxas de crescimento neste estudo.

Em compensação, para a concentração de prolina no sistema radicular, não se pode relacionar as maiores médias com uma das duas épocas. Além disso, as médias variaram bastante ao decorrer do tempo. Plantas irrigadas a cada nove dias quando cultivadas na segunda época, foram as com as segundas maiores concentrações ao final do experimento, demonstrando a capacidade desta espécie em manter as concentrações de prolina elevadas em déficit hídrico. Tal comportamento é fundamental, pois mantém os potenciais hídricos nas células radiculares baixos, permitindo a absorção de água.

As condições mais favoráveis ao crescimento na segunda época devem ter permitido uma maior formação de prolina em comparação com as plantas do mesmo tratamento da época um. Ao mesmo tempo que a prolina deve ter sido utilizada com a função de osmólito compatível e não para formação de tecido celular, o processo de catabolismo de moléculas celulares também pode ter sido responsável pelo aumento em suas concentrações.

Em compensação, as menores taxas de assimilação na primeira época, reduzindo assim as taxas de crescimento, não proporcionaram às plantas irrigadas a cada nove dias nesta época as mesmas condições para ajustamento osmótico. Demonstrando, assim, que no tecido radicular, o ajuste osmótico é ainda mais dependente da relação entre disponibilidade hídrica e condições ambientais.

Plantas irrigadas diariamente na segunda coleta foram as com os maiores valores ao final dos 123 dias. Assim, observou-se que tanto para a concentração radicular quanto para a foliar, os tratamentos irrigados diariamente e a cada nove dias, da segunda época, foram os com as maiores médias. Diferentemente das concentrações foliares, para as médias do sistema radicular, todos os tratamentos, com exceção das irrigadas diariamente da segunda época, obtiveram valores semelhantes.

Para a concentração de glicose plantas irrigadas a cada 6 dias da segunda época e primeira época, e irrigadas a cada três dias da primeira época foram as com as maiores médias ao final do período experimental (Figura 53). Além destes tratamentos, apenas plantas irrigadas a cada nove dias na primeira época exibiram crescimento ao longo dos 123 dias. Tal comportamento é indicativo de que em condições de restrição hídrica, *hippeastrum* mantém as concentrações de glicose livre elevadas nas células foliares, tal como ocorreu para prolina. Os demais tratamentos cresceram lentamente até os 88 dias e posteriormente tiveram uma pequena redução nas médias.

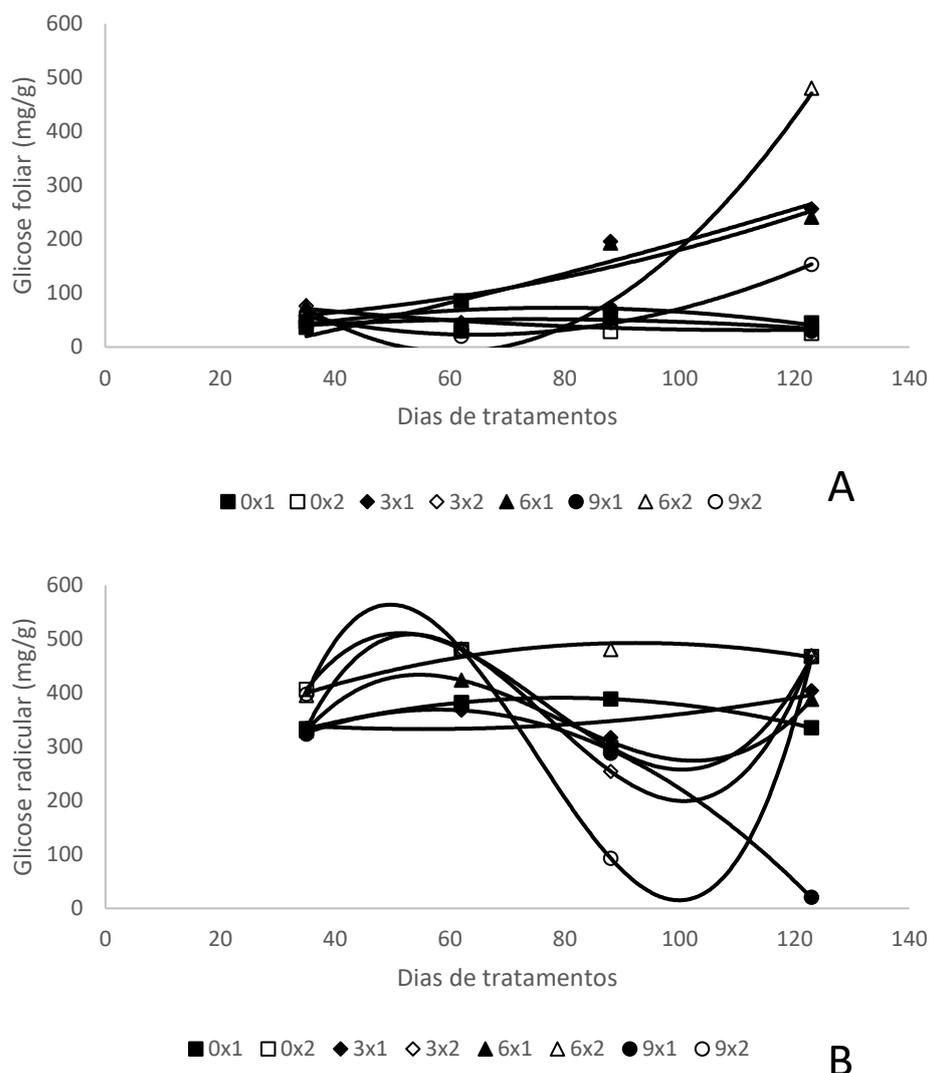


FIGURA 52. Concentração foliar (A) e concentração radicular (B) de glicose em *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* cultivada durante 123 dias sob influência de diferentes frequências de irrigação em duas épocas de cultivo. 0X1: plantas irrigadas diariamente na época 1 (GF: $y = -0,016x^2 + 2,55x - 27,18$; $R^2 = 0,58$; GR: $y = -0,029x^2 + 4,65x + 206,72$; $R^2 = 0,99$); 0X2: plantas irrigadas diariamente na época 2 (GR: $y = 0,004x^3 - 0,99x^2 + 67,39x - 923,76$; $R^2 = 1$); 3X1: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 1 (GF: $y = 0,0048x^2 + 2,03x - 56,88$; $R^2 = 0,90$; GR: $y = 0,0139x^2 - 1,54x + 375,55$; $R^2 = 0,51$); 3X2: plantas irrigadas a cada 3 dias na época 2 (GF: $y = 0,0064x^2 - 1,46x + 114,29$; $R^2 = 0,67$; GR: $y = 0,0059x^3 - 1,35x^2 + 94,01x - 1553,32$; $R^2 = 1$); 6X1: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 1 (GF: $y = 0,018x^2 - 0,65x + 57,54$; $R^2 = 0,77$; GR: $y = 0,0029x^3 - 0,69x^2 + 49,18 - 671,58$; $R^2 = 1$); 6X2: plantas irrigadas a cada 6 dias na época 2 (GF: $y = 0,122x^2 - 14,88x + 441,47$; $R^2 = 0,97$; GR: $y = -0,02x^2 + 4,88x + 260,83$; $R^2 = 0,92$); 9X1: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 1 (GF: $y = -0,011x^2 + 1,59x + 0,74$; $R^2 = 0,54$; GR: $y = -0,0082x^2 + 9,524x + 93,59$; $R^2 = 0,99$); 9X2: plantas irrigadas a cada 9 dias na época 2 (GF: $y = 0,038x^2 - 4,98x + 184,17$; $R^2 = 0,99$; GR: $y = 0,0087x^3 - 1,95x^2 + 129,17x - 2108,56$; $R^2 = 1$). GF: concentração foliar de açúcares solúveis. GR: concentração radicular de açúcares.

Além disso, as menores variações e concentrações observadas para as plantas irrigadas diariamente, demonstram que nestas condições a glicose está sendo utilizada para o crescimento foliar e assim não está livre para ser quantificada nas análises bioquímicas realizadas.

Para as concentrações radiculares de glicose em plantas irrigadas diariamente da primeira coleta observou-se uma grande redução nos valores encontrados aos 123 dias, enquanto que para as mesmas condições hídricas, porém na primeira coleta, tem-se um crescimento expressivo nas concentrações. Assim, como o que ocorreu para as concentrações de prolina no sistema radicular, tem-se que as concentrações de glicose também são mais dependentes da interação entre as frequências hídricas e as épocas de cultivo.

Na primeira época observou-se as menores concentrações radiculares de glicose, o que pode ser em decorrência das menores taxas de assimilação destas plantas e conseqüentemente menores produções de fotoassimilados. Na primeira época as maiores concentrações foram observadas para plantas irrigadas a cada três dias, assim como o observado para as taxas de assimilação e o crescimento. Já para a segunda época, ao final do estudo não houve variação nas concentrações entre as disponibilidades. Os dados obtidos de concentração de prolina e glicose juntamente com os observados para as trocas gasosas inferem que para *hippeastrum* as condições climáticas da segunda época (janeiro a maio) favoreceram o crescimento desta espécie nas condições deste estudo. Enquanto que na segunda época (março a julho), irrigações a cada três dias mantém o crescimento e desenvolvimento de *hippeastrum* em níveis adequados.

5. CONCLUSÕES

A partir dos dados observados percebeu-se que as variações ambientais influenciaram o crescimento e desenvolvimento de *Angelonia integerrima* e *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium*. Enquanto as condições mais amenas da época 1 favoreceram *A. integerrima*, para *H. reticulatum* var. *striatifolium* a época 2, com maior intensidade luminosa, temperaturas mais elevadas e menores umidades relativas foi a responsável pelo maior crescimento.

As variações nas frequências de irrigação também interferiram no comportamento das espécies, sendo que tanto a intensidade quanto o tempo de imposição dos tratamentos influenciaram nas características morfofisiológicas de ambas as espécies. Para *A. integerrima*, o maior crescimento foi obtido em plantas que foram irrigadas diariamente. Porém a espécie mantém a eficiência do uso de água elevado em todas as disponibilidades hídricas testadas. Além disso, plantas com maior intervalo de irrigação (a cada nove dias), sustentam altas concentrações de prolina e glicose em seu sistema radicular e na parte aérea.

Verificou-se que o cultivo de *H. reticulatum* var. *striatifolium* na primeira época (março a julho), dispensa irrigações diárias, uma vez que seu crescimento e desenvolvimento foi superior neste período com irrigações a cada três dias. Assim como para *A. integerrima*, para *H. reticulatum* var. *striatifolium* as concentrações de glicose e prolina se mantiveram satisfatórias nas diferentes disponibilidades hídricas.

Quanto ao mecanismo de ajustamento osmótico, as grandes variações das concentrações de prolina e glicose ao longo do período experimental não permitem que se determine de forma contundente a capacidade ou não das espécies em utilizarem o ajuste osmótico como mecanismo de resistência.

Deste modo, conclui-se que ambas as espécies são resistentes as variações hídricas testadas, uma vez que mesmo em condições de menor disponibilidade hídricas as espécies ativam mecanismos que asseguram a sua sobrevivência.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

São necessários ainda estudos que analisem o comportamento de ambas as espécies em condições ambientais diferentes das encontradas neste estudo, bem como em condições de campo. Além disso, é fundamental que se analise frequências hídricas distintas das aqui testadas para avaliação do comportamento destas espécies frente a estas condições.

Análises bioquímicas de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) devem ser realizados com a finalidade de se determinar quais moléculas estão sendo acumuladas em resposta a deficiência hídrica e a concentração destas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL JALEEL, C. *et al.* Alterations in osmoregulations, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p. 150-157, 2007.

ALBUQUERQUE, M. P. F. *et al.* Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2013.

ANGELONIA. [Base de Dados TROPICOS]. St. Louis: Missouri Botanical Garden, 2017. Disponível em: <https://tropicos.org/name/Search?name=Angelonia>. Acesso em: 28 ago. 2022.

ARAÚJO, S. A. C. *et al.* Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 32, p. 1-7, 2010.

AZEVEDO NETO, A. D. *et al.* Physiological and biochemical responses of peanut genotypes to water deficit. **Journal of Plant Interaction**, Abingdon, v. 5, n. 1, p. 1-10, 2010.

BALLANTYNE, J. S.; CHAMBERLIN, M. E. Regulation of cellular amino acid levels. *In*: STRANGE, K. (ed.). **Cellular and molecular physiology of cell volume regulation**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 111-122.

BARROSO, C. M. *et al.* Considerações sobre a propagação e o uso ornamental de plantas raras ou ameaçadas de extinção no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 91-94, 2007.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017. 352 p.

BLACKBURN, T. M. *et al.* A proposed unified framework for biological invasions. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 26, n. 7, p. 333-339, 2011.

- BLUM, A. Stress, strain, signaling, and adaptation – not just a matter of definition. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 67, p. 562–565, 2016.
- BOFF, S. *et al.* Perfume production in flowers of *Angelonia salicariifolia* attracts males of *Euglossa annectans* which do not promote pollination. **Apidologie**, Paris, v. 46, p. 84-91, 2014.
- BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V. D. *et al.* (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 63-77.
- BOYLE, T. H.; STIMART, D. P. Influence of irrigation interruptions on flowering of *Hippeastrum x hybridum* Red Lion. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 22, n. 6, p. 1290-1292, Dec. 1987.
- BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 2, n. 2, p. 48-54, 1997.
- BROETTO, F.; GOMES, E. R.; JOCA, T. A. C. (org.). **O estresse das plantas: teoria & prática**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2017. 194 p.
- BURKART, A. Dicotiledoneas metaclamídeas. *In*: FLORA ilustrada de Entre Rios (Argentina). Buenos Aires: INTA, 1979. Tomo 6, pt 5, p. 481-484.
- CABRAL, E. L.; BARBOSA, D. C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore submetidas a estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 18, n. 2, p. 241-251, 2004.
- CAMPOS, C. C. D.; PETRY, C. Propagação vegetativa e potencial paisagístico de uma verbena rasteira. **Ornamental Horticulture**: Campinas, v. 14, n. 2, p. 169-178, jul. 2009.
- CARRION, N. A.; BRACK, P. Eudicotiledôneas ornamentais dos campos do bioma Pampa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 23-37, 2012.
- CAVINS, T. J. *et al.* **pH and ec meters - tool for substrate analysis**. Raleigh: North Carolina State University, 2000. (Florex, 001).
- CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 1-16, 1991.
- COFFACCI, L. D. **Aspectos fisiológicos e morfoanatômicos de *Tabebuia aurea* submetida ao alagamento**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2016.

CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. (ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro - região sul**. Brasília, DF: MMA, 2011. 934 p.

DOLE, J. M.; WILKINS, H. F. **Floriculture: principles and species**. 2nd ed. Upper Saddle River: Pearson, 2004. 1048 p.

DUTILH, J. H. A.; OLIVEIRA, R. S. *Amaryllidaceae* J. St.-Hil. *In: Lista de espécies da flora do Brasil*. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB43>. Acesso em: 7 ago. 2022.

FARIAS, M. F. **Manejo da irrigação na cultura do crisântemo (*Dendranthema grandiflorum ramat kitamura*) de corte cultivado em ambiente protegido**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

FAROOQ, M. W. *et al.* Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 29, p. 185-212, 2009.

FASOLIN, J. P. *et al.* Variação anatômica e fisiológica do amendoim (cultivar IAPAR25 Tição) cultivado sob diferentes regimes hídricos. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 8, n. 3, p. 92-104, 2019.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. D. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

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

FLORA e funga do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, [2022]. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/PrincipalUC/PrincipalUC.do;jsessionid=9049EA71A80600E9155F72AAA205CD8F>. Acesso em: 19 jul. 2022.

FLOWERS, T. J.; MUNN, R.; COLMER, T. D. Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. **Annals of Botany**, London, v. 115, n. 3, p. 419-31, 2014.

GIRARDI, L. B. *et al.* Disponibilidade hídrica e seus efeitos sobre o desenvolvimento radicular e a produção de gipsofila envasada em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 17, p. 501 - 509, 2012.

HARIR, Y.; MITTLER, R. The ROS signaling network of cells. *In: DEL RIO, L. A.; PUPPO, A. (ed.). Reactive oxygen species in plants signaling*. Berlin: Springer-Verlag, 2009. cap. 10, p. 165-174.

HEIDEN, G.; BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. Considerações sobre o uso de plantas ornamentais nativas. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 2-7, 2006.

HEINTZE, W. **Propagação de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* (Herb.) Herb.** 2014. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

HULME, P. E. *et al.* Integrating invasive species policies across ornamental horticulture supply chains to prevent plant invasions. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 55, p. 92-98, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?=&t=destaques>. Acesso em: 17 ago. 2022.

IBGEeduca. **Flora brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, [2022]. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18311-flora-brasileira.html#:~:text=No%20territ%C3%B3rio%20brasileiro%20existe%20uma,1.346%20de%20Samambaias%20e%20Lic%C3%B3fitas>. Acesso em: 29 ago. 2022.

IBRAFLOR - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **O mercado de flores no Brasil**. Holambra: Ibraflor, 2022. Disponível em: https://www.ibraflor.com.br/_files/ugd/b3d028_2ca7dd85f28f4add9c4eda570adc369f.pdf. Acesso em: 7 ago. 2022.

JONES, H. G. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, p. 119-130, 2007.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância socioeconômica recente. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 37-58, 2008.

KAPOOR, D. *et al.* The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. **Applied Sciences**, Basel, v. 10, n. 16, p. 1-19, 2020.

KRAMER, P.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LAWLOR, D. H.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 18, p. 660-666, 2013.

MARTINS, A. C. *et al.* Tolerância ao déficit hídrico: adaptação diferencial entre espécies forrageiras. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 73, p. 228-239, 2018. Número especial.

MARTINS, A. C.; AGUIAR, A. J. C.; ALVES-DOS-SANTOS, I. Interaction between oil-collecting bees and seven species of Plantaginaceae. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, Jena, v. 208, n. 7, p. 401-411, 2013.

MATEUS, C. M. D'A. *et al.* Análise de crescimento do amarílis cultivado a pleno sol. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 4, p. 469-475, 2010.

MILLER, G. *et al.* Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 33, p. 453-467, 2010.

NAHOUM, P.; FRAGA, C. N. Uso de recursos fitogenéticos no paisagismo. *In*: VEIGA, R. F. A; QUEIRÓZ, M. A. **Recursos fitogenéticos: a base da agricultura sustentável no Brasil**. Viçosa, MG: UFV, 2015. cap. 40, p. 306-313.

NASCIMENTO, J. L. **Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico**. 2009. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em produção Vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2009.

NAU, J. **Ball redbook: crop production**. London: Ball Publishing, 2011. v. 2. 785 p.

NAZARLI, A.; FARAJI, F.; ZARDASHTI, M. R. Effect of drought stress and polymer on osmotic adjustment and photosynthetic pigments of sunflower. **Cercetări Agronomice în Moldova**, Berlin, v. 44, n. 1, p. 35-42, 2011.

NILSEN, E. T.; ORCUTT, D. M. **Physiology of plants under stress: abiotic factors**. New York: John Wiley, 1996. 689 p.

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

OLIVEIRA, G. A. *et al.* Resposta do feijão-caupi às lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 972 -882, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, C. J. F. *et al.* Potencial das espécies nativas na produção de plantas ornamentais e paisagismo agroecológico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 190-200, 2013.

PEEVA, V.; CORNIC, G. Leaf photosynthesis of *Haberlea rhodopensis* before and during drought. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 65, n. 2/3, p. 310-318, 2009.

PIROLI, J. D. **Produção de gérbera de corte (*Gerbera jamesonii*) em função de diferentes disponibilidades hídricas**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

ROSA, S. D. V. F. *et al.* Enzimas removedoras de radicais livres e proteínas LEA associadas à tolerância de sementes de milho à alta temperatura de secagem. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. 91-101, 2005.

RIBEIRO, R. A solução hiperdiversa. Rede Amazônia Sustentável, Ambiental Media, [2022]. Disponível em: <https://hiperdiversidade.ambiental.media/>. Acesso em 20 de jun. de 2022.

SAGLAM, A. *et al.* Inorganic and Organic solutes in apoplastic and symplastic spaces contribute to osmotic Adjustment during leaf rolling in *Ctenanthe setosa*. **Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica**, Warsaw, v. 52, n. 1, p. 37-44, 2010.

SANTOS, C. S. D. *et al.* Estimativa da umidade na capacidade de campo em vasos e em laboratório. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 151-160, 2013.

SANTOS JÚNIOR, J. A. *et al.* Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 842-849, 2011.

SCALON, S. P. Q. *et al.* Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Flores e plantas ornamentais do Brasil**. Brasília, DF: SEBRAE, 2015. v. 1, 44 p. (Estudos mercadológicos).

SEYYED NEJAD, S. M.; NIROOMAND, A. Carbohydrate content and its roles in alternate bearing in olive. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Faisalabad, v. 10, n. 16, p. 2744-2747, 2007.

SHAO, H. C. *et al.* Water-deficit stress - Induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.

SILVA, A. R. A. *et al.* Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.

- SILVA, H. L. M. **Crescimento de *Plectranthus barbatus* Andr. sob estresse hídrico**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2021.
- SILVA, J. S. **Estresse hídrico em variedades tradicionais de feijão-caupi: estratégias fisiológicas e bioquímicas para tolerância ao déficit hídrico**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.
- SOUSA, R. F.; SOUSA, J. A. Metabólicos secundários associados a estresse hídrico e suas funções nos tecidos vegetais. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, PB, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2017.
- SOUZA, V. C.; GIULIETTI, A. M. Levantamento das espécies de Scrophulariaceae *sensu lato* nativas do Brasil. **Pesquisas – Série Botânica**, São Leopoldo, v. 60, p. 7-288, 2009.
- SPADETO, M. F. **Desenvolvimento e produção de crisântemo submetido a diferentes níveis de déficit hídrico no solo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2016.
- STUMPF, E. R. T.; BARBIERI, R. L.; HEIDEN, G. (org.). **Cores e formas no Bioma Pampa: plantas ornamentais nativas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 276 p.
- STUMPF, E. R. T. *et al.* Prospecção de plantas nativas do bioma pampa para uso na arte floral. **BioScriba**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 65-72, 2008.
- SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- TERRA, S. B.; ZÜGE, D. P. P. O. Floricultura: a produção de flores como uma nova alternativa de emprego e renda para a comunidade de Bagé-RS. **Revista Conexão UEPG**, Ponta Grossa, v. 9, n. 2, p. 342-353, 2013.
- TOMBOLATO, A. F. C.; COSTA, A. M. M.; EGLIT, A. C. Micropropagação de *Hippeastrum hybridum* “Apple Blossom”, mediante escamas duplas. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 35-40, 2001.
- TURNER, N. C. *et al.* Osmotic adjustment in chickpea (*Cicer arietinum* L.) results in no yield benefit under terminal drought. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, p. 187-194, 2007.
- VAN IERSEL, M. W.; NEMALI, K. S. Drought stress can produce small but not compact marigolds. **HortScience**, Alexandria, VA, v. 36, p. 1298-1301, 2004.

VIEIRA, L.; PICULLI, F. J. **Meteorologia e climatologia agrícola**: notas de aula. Cidade Gaúcha, PR: Universidade Estadual de Maringá. Campus do Arenito, 2009.

YING, M.; DIAS, M. C.; FREITAS, H. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, [art.]. 591911, [p. 1-18], 2020.

ZHANG, L. *et al.* Modulation role of abscisic acid (ABA) on growth, water relations and glycinebetaine metabolism in two maize (*Zea mays* L.) cultivars under drought stress. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 13, p. 3189-3202, 2012.

8 APÊNDICES

APÊNDICE 1.



FIGURA 53. Amostras preparadas a partir do sistema radicular de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* cultivada em diferentes frequências de irrigação para análise de absorvância de carboidratos. Em tubos Falcon preparação da curva padrão de glicose.



FIGURA 54. Amostras preparadas a partir da parte aérea de *Hippeastrum reticulatum* var. *striatifolium* cultivada em diferentes frequências de irrigação para análise de absorbância de prolina. Em tubos Falcon preparação da curva padrão de prolina.