

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**IRRIGAÇÃO EM PULSOS E BIOESTIMULAÇÃO COM *CHLORELLA*
VULGARIS MODULAM RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS,
QUALIDADE DOS FRUTOS E PRODUTIVIDADE DO PIMENTÃO**

LORENA VITÓRIA ALVES ANDRADE

CASSILÂNDIA – MS

JULHO/2026

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE CASSILÂNDIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**IRRIGAÇÃO EM PULSOS E BIOESTIMULAÇÃO COM *CHLORELLA*
VULGARIS MODULAM RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS,
QUALIDADE DOS FRUTOS E PRODUTIVIDADE DO PIMENTÃO**

LORENA VITÓRIA ALVES ANDRADE

Orientador: Prof. Dr. Cássio de Castro Seron

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, com área de concentração em Sustentabilidade na Agricultura.

CASSILÂNDIA – MS

JULHO/2026

A568i

Andrade, Lorena Vitória Alves

Irrigação em pulsos e bioestimulação com *Chlorella vulgaris* modulam respostas morfofisiológicas, qualidade dos frutos e produtividade do pimentão / Lorena Vitória Alves Andrade. – Cassilândia, MS: UEMS, 2026.
44 p.

Dissertação (Mestrado) – Agronomia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2026.

Orientador: Prof. Dr. Cássio de Castro Seron.

1. Agricultura contemporânea 2. *Capsicum annuum* L. 3. Microalga I. Seron, Cássio de Castro II. Título

CDD 23. ed. - 635.643

Ficha Catalográfica elaborada pela bibliotecária da Universidade Estadual de Mato Grosso
do
Sul (UEMS)
Susy dos Santos Pereira CRB1°1783

Governo do Estado de Mato Grosso do Sul
Fundação Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
PROPP - Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
UEMS - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Sede Dourados
UUCass - Unidade Universitária de Cassilândia
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
PGAC - Área de Concentração em Sustentabilidade na Agricultura

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: IRRIGAÇÃO EM PULSOS E BIOESTIMULAÇÃO COM CHLORELLA VULGARIS
MODULAM RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS, QUALIDADE DOS FRUTOS E
PRODUTIVIDADE DO PIMENTÃO**

AUTOR: LORENA VITÓRIA ALVES ANDRADE

ORIENTADOR: PROF. DR. CÁSSIO DE CASTRO SERON

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de concentração: "Sustentabilidade na Agricultura", pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **CÁSSIO DE CASTRO SERON**
Data: 24/07/2026 15:45:16-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. Cássio de Castro Seron – UEMS
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDA PACHECO DE ALMEIDA PRADO BORTI**
Data: 27/07/2026 11:21:51-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr.ª. Fernanda Pacheco de Almeida Prado Bortolheiro – UEMS

Documento assinado digitalmente
 **MAIARA KAWANA APARECIDA REZENDE EURLALIC**
Data: 24/07/2026 15:41:07-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof.ª. Dr.ª. Maiara Kawana Aparecida Rezende – Universidade Paranaense

Data da realização: 24 de julho de 2026.

Epígrafe

“It always seems impossible until
it's done”

Nelson Mandela

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, especialmente à mãe Maria de Lourdes Alves da Silva, sendo esta minha maior inspiração como pessoa e como mulher.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus. Em segundo lugar gostaria de agradecer minha mãe “Dona Maria” por todo apoio, incentivo, carinho e amor que fornecido ao longo desta jornada. Aos meus irmãos, Lórieli Francini Alves e João Vitor Alves, por todo apoio e companheirismo ao longo da condução do experimento.

Agradeço a todos os colaboradores desta pesquisa, Eliana Duarte Cardoso Binotti, Flávio Ferreira da Silva Binotti, Eduardo Pradi Vendruscolo, Cristiano Moreira, Alana Rocha e Thayná Nascimento. Aos meus amigos Higor Rodrigues, Geovane Babosa Silveira, Gustavo Davanzo, Thayná Nascimento Peralta, em especial às minhas amigas, Alana Silva Rocha, Letícia Oliveria e Isabela de Aro, pelo suporte emocional durante esta jornada.

Agradeço aos membros da banca examinadora de qualificação Eliana Duarte Cardoso Binotti e Fernanda Pacheco de Almeida Prado Bortolheiro por toda orientação e conhecimento compartilhado.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientado Cássio de Castro Seron, pela sua paciência, apoio, incentivo, profissionalismo e parceria no decorrer deste estudo e de minha jornada acadêmica.

Agradeço a todos os docentes do programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Cassilândia, MS, por todo conhecimento compartilhado, conselhos e incentivos ao longo de minha jornada.

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas aos Alunos de Pós-Graduação (PIBAP) pelo suporte financeiro para esta pesquisa.

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS	10
1. INTRODUÇÃO	15
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	17
2.2 Sistema semi-hidropônico e material vegetal.....	18
2.3 Delineamento experimental.....	19
2.4 Implantação e condução do experimento	19
2.5 Avaliações	21
2.5.1 Trocas gasosas (IRGA)	21
2.5.2 Avaliações biométricas da planta e dos frutos	21
2.5.3 Avaliações físico-químicas dos frutos.....	22
2.6 Análise estatística.....	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1 Resultados.....	23
3.1.1 Trocas gasosas (IRGA)	23
3.1.2 Parâmetros biométricos da planta e dos frutos.....	26
3.1.3 Parâmetros físico-químicos dos frutos.....	30
3.2 Discussão.....	34
4. CONCLUSÃO	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados climáticos durante a condução da pesquisa.	17
Figura 2. Sistema semi-hidropônico desenvolvido para a condução do experimento	18
Figura 3. Transplântio das mudas de pimentão para o Sistema semi hidropônico.....	20
Figura 4. Lâmina com fungo do mofo cinzento (<i>Botrytis cinerea</i>) extraída do pimentão.	20
Figura 5. A) Colheita do pimentão; B) Pesagem dos frutos.....	21
Figura 6. Avaliações biométricas do pimentão.	22
Figura 7. A) Ci - concentração de CO ₂ intracelular; B) gs – condutância estomática; C) A - taxa de assimilação líquida de CO ₂ ; D) E – taxa de transpiração do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução).....	24
Figura 8. A) Eficiência da carboxilação; B) eficiência do uso da água do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução).....	25
Figura 9. Análise de correlação canônica do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução) (GS, CI, A, E, EICi, WUE).....	25
Figura 10. Altura de plantas do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução).....	26
Figura 11. A) diâmetro do caule; B) número de folhas; C) massa seca da parte aérea; D) massa seca das raízes do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes	

pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução).....	27
Figura 12. A) número de frutos; B) comprimento dos frutos; C) largura dos frutos; D) peso dos frutos do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução).....	28
Figura 13. A) massa seca total; B) produtividade do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução)	29
Figura 14. Análise de correlação canônica do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução) (NF, ALT, MSPA, MSR, MST, PROD, N_FRUT, LARG, COMP_F e PESO).....	30
Figura 15. A) pH; b) condutividade elétrica; c) total de sólidos solúveis; D) Grau Brix°, do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução).....	31
Figura 16. Potencial de oxirredução do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução)	32
Figura 17. Análise de correlação canônica do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar), S (solução) (CE, TDS, pH, BRIX, ORP).	33
Figura 18. Correlação de Pearson do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de <i>C. vulgaris</i> . (NF, ALT, MSPA, MSR, MST, PROD, N_FRUT, LAG, COMP_F, PESO, gs, ci, A, E, EICi, WUE, CE, TDS, pH, BRIX, RDX	34

LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

+/-mV	Milivolts
μ S/cm	Microsiemens por centímetro
2P	2 pulsos de irrigação
4P	4 pulsos de irrigação
<i>A</i>	Taxa de assimilação líquida de CO ₂
ALT	Altura de planta
B	Boro
BRIX	Grau brix°
Ca	Cálcio
CE	Condutividade elétrica
Ci	Concentração de CO ₂ intracelular
cm	Centímetros
Co	Cobalto
CO ₂	Dióxido de carbono
COMP_F	Comprimento dos frutos
Cu	Cobre
DAT	Dias após o transplântio
DC	Diâmetro do caule
E	Taxa de transpiração
EICi	Eficiência da carboxilação
F	Aplicação via foliar
Fe	Ferro
g	Gramas
gs	Condutância estomática
K	Potássio
LAR	Largura dos frutos

Mg	Magnésio
Mic	Microalga <i>Chlorella vulgaris</i>
MicF	Microalga <i>Chlorella vulgaris</i> via foliar
MicS	Microalga <i>Chlorella vulgaris</i> via solução
MicSF	Microalga <i>Chlorella vulgaris</i> via solução e foliar
mm	Milímetros
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MSR	Matéria seca das raízes
MST	Matéria seca total
N	Nitrogênio
N_FRUT	Número de frutos
NF	Número de folhas
Ni	Níquel
P	Fósforo
PESO	Peso dos frutos
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão
PROD	Produtividade
ORP	Potencial de oxirredução
S	Enxofre
TDS	Total de sólidos dissolvidos
WUE	Eficiência do uso da água

RESUMO: O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência do manejo da irrigação em pulsos e da adição de bioestimulante a base da microalga *Chlorella vulgaris* no pimentão cultivado em semi-hidroponia. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia, MS. O cultivo foi realizado em ambiente protegido, com 35% de sombreamento. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2×4, constituído por dois manejos de irrigação em pulsos (fracionamento da lâmina diária em 2 e 4 pulsos) e quatro métodos de aplicação do bioestimulante *Chlorella vulgaris*: sem aplicação (controle), aplicação foliar semanal, aplicação via solução nutritiva e aplicação combinada via solução nutritiva + aplicação foliar semanal. Na floração, foram avaliadas as características de trocas gasosas, concentração CO₂ intracelular, taxa de assimilação líquida de CO₂, taxa de transpiração, condutância estomática, eficiência do uso da água e da carboxilação. Os frutos foram contabilizados, mensurados em comprimento e largura, pesados e utilizados para determinar a produtividade por planta. Dos frutos foram avaliadas a condutividade elétrica, o pH, o ORP, o total de sólidos dissolvidos e o brix. Ao final do ciclo do pimentão foram coletados os dados de crescimento da planta, como a partição de massa seca, altura, diâmetro e número de folhas. Os resultados indicaram que, sob irrigação em 2 pulsos, a aplicação foliar de *Chlorella vulgaris* melhorou a troca gasosa do pimentão e proporcionou maior crescimento, acúmulo de massa seca e produtividade. Em 4 pulsos, os melhores resultados para trocas gasosas, crescimento, massa seca, ORP e produtividade foram obtidos com a aplicação via solução nutritiva e combinada (solução + foliar). Em 4 pulsos, o brix foi maior com a aplicação foliar. A condutividade elétrica, os sólidos solúveis e o ORP dos frutos foram influenciados pelo cultivo em 4 pulsos, especialmente sob aplicação via solução nutritiva. Conclui-se que fracionar a lâmina de irrigação em mais pulsos não incrementou na morfofisiologia, produtividade e qualidade; dos frutos do pimentão. A aplicação de bioestimulante de *Chlorella vulgaris* influenciou nas características morfofisiológicas, produtivas e físico-químicas dos frutos de pimentão cultivados em sistema semi-hidropônico. No pimentão produzido em quatro pulsos o método de aplicação via solução melhorou morfofisiologia e a produtividade. No pimentão produzido em dois pulsos a aplicação foliar da *Chlorella vulgaris* melhorou a morfofisiologia e qualidade dos frutos.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura contemporânea, *Capsicum annuum* L., Microalga.

PULSE IRRIGATION AND BIOSTIMULATION WITH *CHLORELLA VULGARIS* MODULATE MORPHOPHYSIOLOGICAL RESPONSES, FRUIT QUALITY, AND BELL PEPPER PRODUCTIVITY

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the influence of pulse irrigation management and the addition of a *Chlorella vulgaris* microalga-based biostimulant on bell peppers grown in a semi-hydroponic system. The experiment was conducted at the Mato Grosso do Sul State University, Cassilândia Campus. Cultivation took place in a protected environment with 35% shading. A completely randomized design (CRD) was adopted in a 2×4 factorial scheme, consisting of two pulse irrigation management strategies (splitting the daily water depth into 2 or 4 pulses) and four application methods for the *Chlorella vulgaris* biostimulant: no application (control), weekly foliar application, application via nutrient solution, and combined application (nutrient solution + weekly foliar application). At the flowering stage, gas exchange characteristics were evaluated, including intracellular CO₂ concentration, CO₂ assimilation rate, transpiration rate, stomatal conductance, and water use and carboxylation efficiencies. Fruits were counted, measured for length and width, weighed, and used to determine yield per plant. Fruit electrical conductivity, pH, ORP, total dissolved solids, and Brix levels were also assessed. At the end of the bell pepper crop cycle, plant growth data—such as dry mass partitioning, height, diameter, and number of leaves—were collected. The results indicated that under 2-pulse irrigation, foliar application of *Chlorella vulgaris* improved bell pepper gas exchange and resulted in greater growth, dry mass accumulation, and yield. With 4-pulse irrigation, the best results for gas exchange, growth, dry mass, ORP, and yield were obtained with application via nutrient solution and combined application (nutrient solution + foliar). With four irrigation pulses, Brix levels were higher under foliar application. Fruit electrical conductivity, soluble solids, and ORP were influenced by the four-pulse irrigation regime, particularly with application via the nutrient solution. It is concluded that splitting the irrigation volume into more pulses did not enhance the morphophysiology, yield, or quality of the bell pepper fruits. Application of the *Chlorella vulgaris* biostimulant influenced the morphophysiological, yield, and physicochemical characteristics of bell peppers grown in a semi-hydroponic system. For bell peppers grown with four pulses, application via the nutrient solution improved morphophysiology and yield. For bell peppers grown with two pulses, foliar application of *Chlorella vulgaris* improved morphophysiology, and fruit quality.

KEY WORDS: Contemporary agriculture, *Capsicum annuum* L., Microalgae.

1. INTRODUÇÃO

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma Solanaceae de crescimento arbustivo perene, geralmente cultivada como cultura anual (Filgueira, 2008; Patidar *et al.*, 2020). Essa hortaliça é atribuída ao grupo das cinco espécies domesticadas do gênero *Capsicum* spp. (*C. annuum*, *C. baccatum*, *C. pubescens*, *C. frutescens* e *C. Chinense*) (Casian Junior *et al.*, 2021). Seus frutos possuem grande variedade fenotípica de cores, formas e sabores (Casian Junior *et al.*, 2021), sendo amplamente consumidos e utilizados em receitas culinárias ao redor do mundo (Rahman *et al.*, 2023; Tumbaga; Valler, 2024).

Na olericultura, os frutos do pimentão destacam-se por suas características nutricionais, pois, além de nutrientes, possuem altas concentrações de compostos bioativos como carotenoides, bioflavonóides (citrina), vitaminas do complexo B, (B1, B2 e B3), vitaminas de caráter antioxidante, C e E, da provitamina A (Pathirana, 2013; Oney-Montalvo *et al.*, 2020) e de β -caroteno (Abu; Chimi; Ojua, 2020; Setu *et al.*, 2025). Tais bioativos além de serem benéficos para o metabolismo humano, auxiliam na prevenção de distúrbios vasculares e no combate de doenças como o câncer (Marra *et al.*, 2023).

Por conta deste perfil nutricional, nos últimos anos a demanda por essa hortaliça, bem como a sua produção aumentaram exponencialmente (Bijalwan; Shukla; Chauhan, 2022; Tiamiyu; Adebayo; Ibrahim, 2023). Segundo a FAO, no ano de 2022 a produção mundial foi de 36 milhões de toneladas e, somente a China produziu aproximadamente 17 milhões, o que correspondeu a cerca de 47% da produção mundial no ano. Neste mesmo período o Brasil apresentou uma produção de 224.286 toneladas com o estado de São Paulo sendo o maior produtor (Pedroso; Ferreira, 2023). Segundo o Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo (IEA-APTA) no ano de 2025 a produção de pimentão no estado de São Paulo alcançou a marca de 82,4 mil toneladas.

Em resposta a essa demanda e para que o pimentão atinja seu potencial produtivo e atenda as exigências crescentes de consumo, medidas de manejo sustentáveis podem ser adotadas na sua cadeia produtiva. Essas medidas podem ser arquitetadas desde a seleção do ambiente produtivo, até mesmo a inserção de insumos sustentáveis. Desta forma, diferentes métodos de cultivos são explorados na agricultura, como o cultivo protegido (Jovicich; Cantliffe; Vansickle, 2004) e o cultivo hidropônico (Goh *et al.*, 2023), comuns na produção do pimentão (Sousa *et al.*, 2024).

O sistema hidropônico surge como uma ferramenta capaz de potencializar o desenvolvimento vegetal e desta forma contribuir para demanda global por alimentos (Goh *et*

al., 2023). Na hidroponia as plantas são inseridas e produzidas sob uma lâmina de solução nutritiva (Rajendran *et al.*, 2024), todavia, esse método pode ser adaptado para uma forma semi-hidropônica, na qual a produção combina a presença da solução nutritiva a um substrato inerte (Sousa *et al.*, 2024). Os sistemas semi-hidropônicos podem ser mais eficientes quanto ao uso de água e custo de implantação quando comparados a hidroponia comum (Nunes *et al.*, 2020; Sousa *et al.*, 2024).

Outro aspecto do sistema hidropônico capaz de ser modificado a fim de elevar a eficiência de recursos, é a lâmina de água da irrigação, que pode ser fracionada em pequenos períodos, ou pulsos. O uso de pulsos de irrigação é considerado estratégico no atual cenário agrícola, estudos recentes indicaram que a irrigação em pulsos pode elevar a produtividade e eficiência do uso da água do pepino (*Cucumis sativus*) (Abdelraouf *et al.*, 2022) e, aumentar a concentração de S e Mg nas folhas e o número de bagas da framboesa vermelha (*Rubus idaeus* L.) (Carrol *et al.*, 2024).

Em condições de campo Ghailassi *et al.* (2024) confirmam as vantagens da irrigação pulsada em sistemas de gotejamento, obtidas a partir do aumento eficiência do uso da água e dos nutrientes, dimensão dos frutos e da produtividade do mirtilo (*Vaccinium myrtillus*). Desta forma, o uso desta técnica é capaz de gerar vantagens para a produtividade das culturas em sistemas de irrigação por gotejo (Ghailassi *et al.*, 2024). Contudo, poucos estudos apontam as vantagens do uso de pulsos de irrigação em sistemas semi-hidropônicos quanto ao rendimento vegetal.

Além do método de cultivo, outras tecnologias sustentáveis são frequentemente associadas ao aumento do teto produtivo, como o uso de bioestimulantes. Os bioestimulantes são produtos capazes de reduzir a necessidade de uso insumos químicos, e em paralelo proporcionar incrementos na produção agrícola (Silva *et al.*, 2025). O extrato da microalga *Chlorella vulgaris* é um composto rico em bioativos capazes de estimular o crescimento vegetal (Gahrid *et al.*, 2024; Hajnal-Jafari *et al.*, 2020) ou proteger as plantas em condições de estresse abiótico (Moon *et al.*, 2024).

Estudos recentes inserem o uso do extrato da *C. vulgaris* como um possível biofertilizante na alface (*Lactuca sativa* L.) (Dai *et al.*, 2025) e no tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Wao *et al.*, 2016) e, como um bioestimulante no feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (Gharib *et al.*, 2024). Tian *et al.* (2022) apontam que a aplicação da *C. vulgaris* melhora a atividade antioxidante, crescimento e desenvolvimento de mudas de pimenta *C. annuum* L., atuando como um fertilizante alternativo na cultura.

Diante do exposto, e, considerando a otimização dos sistemas de produção e a interação dos microrganismos com as plantas, o objetivo do presente estudo foi verificar os efeitos da manipulação de pulsos de irrigação e da adição de bioestimulante à base da microalga *Chlorella vulgaris* em diferentes métodos de aplicação no crescimento, rendimento e nas características, físico-químicas do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Unidade Universitária de Cassilândia-MS (UUC) (19°05'46"S e 51°48'50"O). O clima da região é classificado como tropical chuvoso (Aw), com verões chuvosos e invernos secos, e as médias de temperatura e precipitação de 24,1 °C e 1.520 mm, respectivamente (Köppen, 1936). O período de condução do experimento foi do outono (abril) até a primavera (setembro) de 2025. A implantação ocorreu em casa de vegetação climatizada fechada com tela termorrefletora aluminizada com 35% de sombreamento (Aluminet®) sob o filme da cobertura e sistema de climatização do tipo pad/fan Humil Cool (CELDEX®). Após a implantação do ensaio foram conduzidas coletas dos dados climáticos de temperatura e umidade com o auxílio de uma estação meteorológica. No interior do ambiente foi registrada uma temperatura média de 27,04°C e valores a umidade relativa foi de 37,5% (Figura 1).

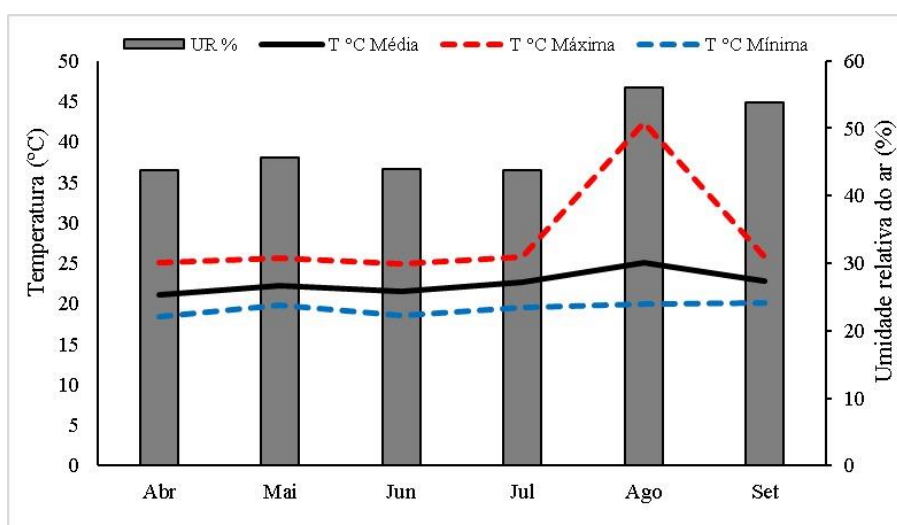


Figura 1. Dados climáticos coletados durante o experimento. Cassilândia, MS, 2025.

2.2 Sistema semi-hidropônico e material vegetal

O sistema semi-hidropônico foi constituído por 4 canaletas abertas de alumínio com dimensões de 1,80m x 0,16 m x 0,09 m, dispostas em bancadas de alumínio com 0,80 m de altura. O sistema para a injeção da solução nutritiva foi composto por quatro reservatórios de 50L, sendo um reservatório para cada canaleta. Para distribuição da solução cada reservatório apresentava uma bomba HJ-11441CE submersa com vazão de 1000L h e potência de 22W, conectada a mangueiras de 22 mm (Figura 2).



Figura 2. Sistema semi hidropônico para cultivo do pimentão. Cassilândia, MS, 2025.
Fonte: Autoria própria (2025).

A solução nutritiva foi produzida a partir de fertilizantes (Plantpar[®]) recomendados para a hidroponia. Esses fertilizantes eram compostos de 18% N, 8% P, 30% K, 3% S, 3% Mg, 0,14% Fe, 0,04% B, 0,04% Mn, 0,03% Cu, 0,019% Mo, 0,006% Ni, 0,002% Co, e 15% Ca. O bioestimulante utilizado foi produzido em biorreatores com capacidade de produção de 2 L de bioinsumos, presentes no laboratório de Microalga e Biotecnologia da UEMS/UUC.

O material vegetal utilizado foi o pimentão cv. Jaguariúna. A cultivar apresenta dupla aptidão, com possibilidade de colheita dos frutos verdes ou vermelhos, ciclo de 80-160 DAT (dias após transplantio). Além destas características a cultivar possui resistência múltipla ao Mosaico da batata (*Potato vírus Y*), ao Mosaico amarelo do pimentão (*Pepper yellow mosaic vírus – Potyvirus capsiflavi*) e ao Mosaico do Tabaco (*Tobacco mosaic virus*) (Feltrin, 2025).

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial, com 2 pulsos da lâmina de irrigação distintos e 4 métodos de aplicação do bioestimulante de microalga, totalizando 8 tratamentos e 3 repetições, cada repetição correspondeu a uma planta.

Os diferentes métodos de aplicação foram conduzidos via solução, via foliar e pela combinação via solução + foliar. Os tratamentos foram: T1 – 2 pulsos de irrigação (2P); T2 – 4 pulsos de irrigação (4P); T3 – 2 pulsos + *C. vulgaris* via foliar (2PmicF); T4 – 4 pulsos + *C. vulgaris* via foliar (4PmicF); T5 – 2 pulsos + *C. vulgaris* via solução nutritiva (2PmicS); T6 – 4 pulsos + *C. vulgaris* via solução nutritiva (4PmicS); T7 – 2 pulsos + *C. vulgaris* via solução nutritiva e foliar (2PmicSF); e T8 – 4 pulsos + *C. vulgaris* via solução nutritiva e foliar (4PmicSF).

Para o fracionamento da lâmina de irrigação em pulsos utilizou-se um timer digital. No cultivo em dois pulsos, cada fração permaneceu acionada por 12 minutos, uma vez pela manhã e uma vez pela tarde. Para o fracionamento da lâmina de irrigação em quatro pulsos, cada pulso permaneceu acionado por 6 minutos, sendo duas irrigações no período da manhã e duas no período da tarde. Desta forma, em ambos os pulsos de irrigação a solução nutritiva foi distribuída para as canaletas por 24 minutos durante o dia.

O bioestimulante da microalga na solução foi aplicado a 1% do volume total, sendo 500 ml por reservatório de 50 L. A aplicação foliar do bioestimulante foi realizada até o molhamento foliar completo. Essa aplicação ocorreu com o uso de uma bombinha de 300ml, uma vez por semana, desde o transplantio até a retirada da cultura.

2.4 Implantação e condução do experimento

As mudas de pimentão foram transplantadas com 4 folhas verdadeiras totalmente expandidas. O transplantio foi realizado em vasos de 1L⁻¹ preenchido com substrato comercial Carolina, composto por turfa, vermiculita, resíduo orgânico, resíduo orgânico agroindustrial classe A e calcário. A solução nutritiva foi avaliada semanalmente para verificação do volume (Figura 3). No estágio vegetativo a solução nutritiva foi substituída em média a cada 18 dias, no florescimento a cada 15 dias, e no enchimento de frutos a cada 12 dias. Essa alteração ocorreu devido ao consumo da solução, que tende a aumentar a partir da floração e frutificação.



Figura 3. Transplântio das mudas de pimentão. Cassilândia, MS, 2025.
Fonte: Autoria própria (2025).

O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com as necessidades da cultura, foi identificada a ocorrência de ácaros no interior da estufa, e para redução da população foram realizadas duas aplicações de abamectina + vermetina na dose de $0,5 \text{ ml L}^{-1}$. Na fase de frutificação foram identificados folhas e frutos com a presença de mofo-cinza (*Botrytis cinerea*), para isto, foi removida uma amostras de cada órgão contaminado e em laboratório lâminas com o fungo foram preparadas e registradas para a classificação (Figura 4). Para o manejo e controle desta doença foi realizada uma aplicação isolada de *Trichoderma* spp., na dose de $0,25 \text{ g L}^{-1}$.

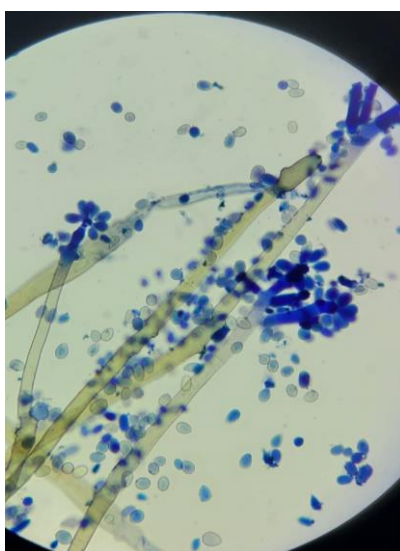


Figura 4. Lâmina com fungo do mofo-cizento (*Botrytis cinerea*) extraída do pimentão produzido em sistema semi-hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. Cassilândia, MS, 2025.
Fonte: Autoria própria (2025).

2.5 Avaliações

2.5.1 Trocas gasosas (IRGA)

As trocas gasosas foram avaliadas durante o início do florescimento 95 DAT, período que antecede a formação dos frutos e reflete a capacidade fisiológica das plantas. Essa avaliação foi conduzida durante o período da manhã, na plena ativação metabólica das plantas. Com um medidor de trocas gasosas (LCi, ADC Bioscientific, Hertfordshire, Reino Unido) foram avaliadas as seguintes características: taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) – $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, condutância estomática (g_s) – $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, concentração de CO₂ intracelular (C_i) – $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e taxa de transpiração (E) – $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Assim foram calculadas a eficiência do uso da água (WUE), utilizando-se a razão entre a taxa de assimilação líquida de CO₂ e taxa de transpiração (A/E) e a eficiência de carboxilação ($EICI$), através da razão entre taxa de assimilação líquida de CO₂ e concentração de CO₂ intracelular (A/C_i).

2.5.2 Avaliações biométricas das plantas e dos frutos

A colheita foi realizada de forma gradual conforme a maturação dos frutos, e para tal, foi considerada a rigidez do fundo do fruto, que foi colhido quando essa região apresentava aspecto amolecido (Figura 5A). Após a colheita, os frutos foram contabilizados (N_FRU) identificados conforme tratamento e repetição, e com o auxílio de um paquímetro digital foi mensurada a largura (LAG) e o comprimento (COMP) ambos em milímetros (mm). Posteriormente, esses frutos foram pesados em balança semi analítica para determinação do peso (PESO) (g) (Figura 5B). Com essas informações foi calculada a produtividade por planta (PROD) em g.planta^{-1} , através do produto entre o N_FRU e o PESO.

Por fim os frutos foram triturados, sem as sementes, e congelados para as avaliações bioquímicas, seguindo a metodologia descrita por Barankevicz et al. (2015).



Figura 5. A) Colheita do pimentão; B) Pesagem dos frutos. Cassilândia, MS, 2025.

Fonte: Autoria própria (2025).

Os parâmetros morfológicos foram avaliados no final da colheita, aos 160 DAT. Foram determinados o número de folhas (NF), a altura de plantas (ALT) – cm com o uso de uma régua, o diâmetro do colmo (DC) – mm através de um paquímetro digital (Figura 6). Após estes procedimentos, as plantas foram seccionadas e a parte aérea foi acondicionada em sacos de papel e inseridas em estufa de secagem por 72 h à 65°C, e após este período foi determinada a massa seca das raízes e da parte aérea das plantas (MSPA), esta que foi realizada considerando a massa do caule e das folhas. Posteriormente foi calculada a massa seca total (MST) através da soma entre a MSPA e a MSR.



Figura 6. Avaliações biométricas do pimentão. Cassilândia, MS, 2025.

Fonte: Autoria própria (2025).

2.5.3 Avaliações físico-químicas dos frutos

As avaliações químicas foram realizadas após a retirada das amostras dos frutos congeladas anteriormente. Essas amostras foram descongeladas, separadas e homogeneizadas em tubo falcon. Para a determinação da acidez, acúmulo de substâncias orgânicas, integridade celular e concentração de açúcares dos frutos foram avaliados o grau brix, a condutividade elétrica, o pH e o total de sólidos dissolvidos das amostras. Inicialmente foi determinado o °Brix (total de açúcares - ppm) com o auxílio de um refratômetro digital. O potencial hidrogeniônico (pH), a condutividade elétrica (CE) - $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ e os total de sólidos dissolvidos ou totais dissolvidos de sólidos (TDS) - ppm foram determinados com o medidor multiparâmetro portátil HW Water Quality Tester, modelo HW-801. Este equipamento apresenta uma faixa de leitura

específica para cada variável, sendo 0 – 7 para o pH, de 0 -19900 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para a CE e de 0 – 19900 ppm para TDS.

O potencial de oxirredução (ORP) das amostras foi determinado utilizando medidor YIERI modelo 689. Esta avaliação permite estimar capacidade oxidativa dos frutos.

Em todas as análises, as leituras foram efetuadas diretamente nas amostras homogeneizadas, mantendo-se o eletrodo completamente imerso até estabilização dos valores.

2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste Teste de Skot-Knott a 5% de significância, no software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2019). Posteriormente no software R (Rcore team, 2024) os dados foram submetidos a análise multivariada para análises canônicas e a correlação de Pearson. Para a análise de correlação de Pearson foi adotada uma matriz com gradiente de cores com tons de azul simbolizando correlações positivas e tons avermelhados correlações negativas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

3.1.1 Trocas gasosas (IRGA)

Não foram verificadas diferenças significativas ($p>0,05$) para a concentração de CO_2 intracelular (Figura 7A). Para a condutância estomática verificou-se influencia entre os pulsos e os métodos, no qual a aplicação foliar da microalga no pimentão cultivado em 2 pulsos proporcionou um incremento de 136,84% em relação ao pimentão cultivado em 4 pulsos de irrigação (Figura 7B). Dentro de 2 pulsos houveram incrementos significativos com a adição da microalga, independentemente do método. Em 4 pulsos a aplicação foliar da microalga reduziu em 100% a condutância estomática do pimentão, que não variou entre os demais tratamentos do grupo.

Verificou-se que a taxa de assimilação líquida de CO_2 do pimentão dentro de 2 pulsos de irrigação aumentou em 120,21% e 99,39% com a aplicação foliar e via solução da microalga, respectivamente (Figura 7C). Entre os pulsos os resultados apontam uma superioridade de 207,17% do pimentão cultivado em 2 pulsos com a aplicação foliar e de 57,58% com a aplicação via solução da microalga, em comparação ao pimentão cultivado em 4 pulsos.

A taxa transpiração do pimentão em 2 pulsos com aplicação foliar foi 68,64% superior ao tratamento com a aplicação foliar da microalga em 4 pulsos (Figura 7D). Em 2 pulsos a aplicação foliar e via solução aumentaram em 60,26% e 64,24% a taxa de transpiração do

pimentão, respectivamente. Em 4 pulsos, a aplicação foliar da microalga reduziu em 51,56% a taxa de transpiração do pimentão.

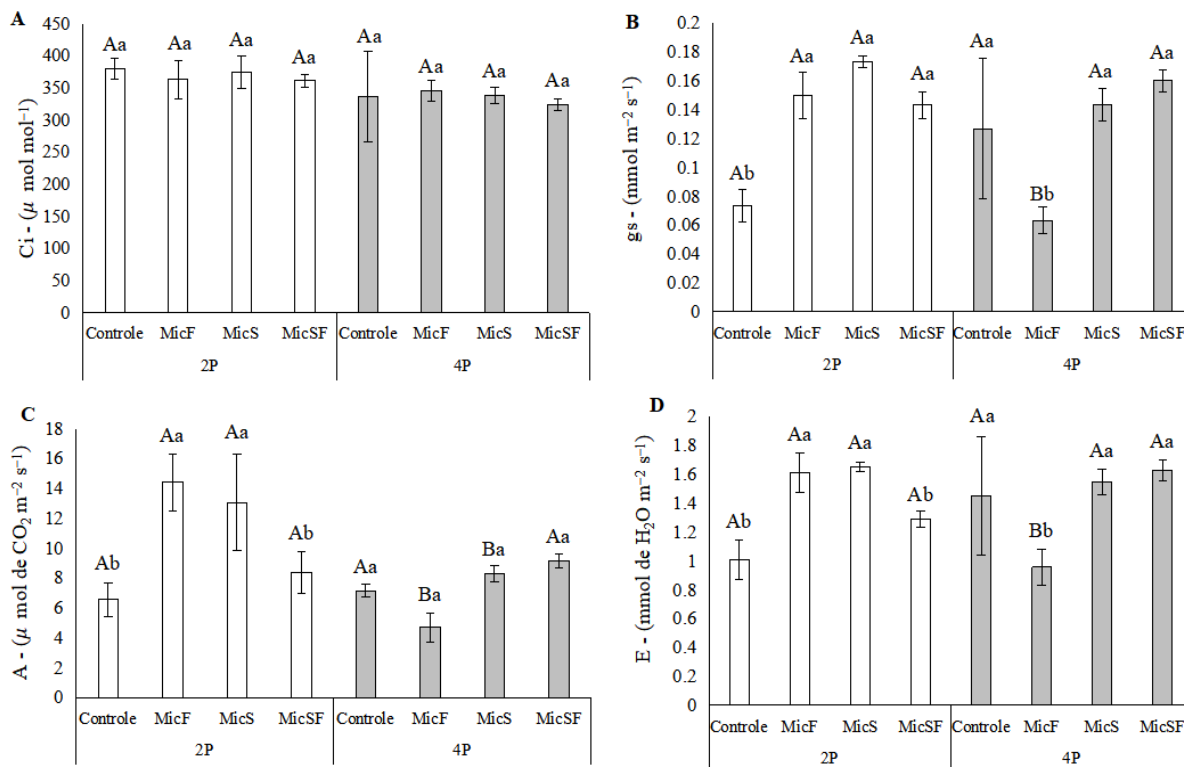


Figura 7. A) Ci – concentração de CO₂ intracelular; B) gs – condutância estomática; C) A – taxa de assimilação líquida de CO₂; D) E – taxa transpiração do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução). Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas e minúsculas sobre as colunas indicam diferença significativa pelo teste de Skot-Knott a 5% de probabilidade, para os pulsos e aplicação da microalga, respectivamente.

Para a eficiência da carboxilação os resultados evidenciaram que em 2 pulsos ocorre um incremento de 141,35% com a aplicação foliar e 129,63% com aplicação via solução da microalga (Figura 8A). Dentro de 4 pulsos não foram verificadas diferenças significativas ($p>0,05$). A aplicação foliar dentro de 2 pulsos foi 185,43% superior a aplicação foliar em 4 pulsos. Por outro lado, a eficiência do uso da água variou apenas entre os pulsos, com a aplicação foliar em 2 pulsos sendo 100,83% maior que em 4 pulsos (Figura 8B).

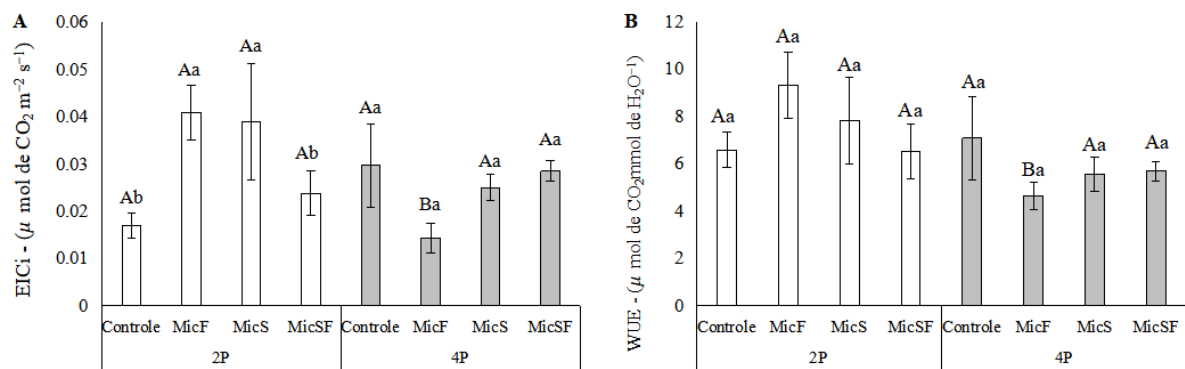


Figura 8. A) EICi – Eficiência da carboxilação; B) WUE – eficiência do uso da água do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução). Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas e minúsculas sobre as colunas indicam diferença significativa pelo teste de Skot-Knott a 5% de probabilidade, para os pulsos e aplicação da microalga, respectivamente.

A análise das variáveis canônicas aponta a influência dos métodos de aplicação nas variáveis de trocas gasosas (Figura 9). Os tratamentos 4PmicF, 4P e 2P não influenciam em nenhuma das variáveis de trocas gasosas. As variáveis gs e E são fortemente influenciadas pelos tratamentos 4PmicSF, 4PmicS, 2PmicS e 2PmicF. As variáveis A e EICi são influenciadas pela presença da microalga no cultivo em 2 pulsos, particularmente os tratamentos 2PmicF, 2PmicSF e 2PmicS. As variáveis Ci e WUE são influenciadas unicamente pelo tratamento 2PmicF.

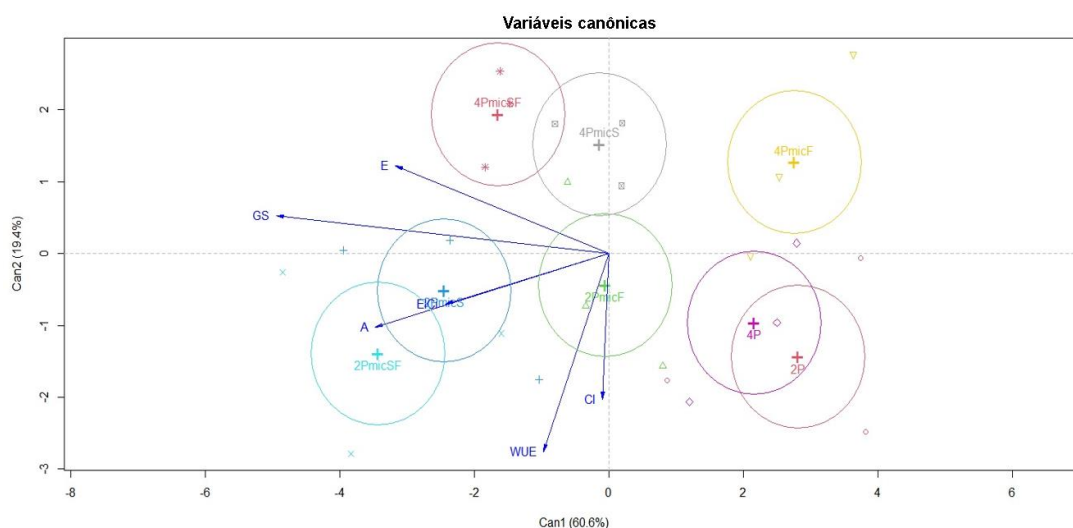


Figura 9. Análise de correlação canônica entre concentração de CO₂ intracelular (Ci), condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa de transpiração (E), eficiência da carboxilação (EICi) e eficiência do uso da água (WUE) do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução).

3.1.2 Parâmetros biométricos da planta e dos frutos

Os resultados estatísticos evidenciaram que a altura de plantas nos tratamentos dentro de 2 pulsos de irrigação não foi alterada em função da presença da microalga ($p>0,05$). Por outro lado, dentro dos tratamentos em 4 pulsos a aplicação da microalga via solução 53,66cm e a combinação solução + foliar 54cm aumentaram em 10,27% e 10,97% a altura de planta do pimentão em relação ao controle 48,66cm. Contudo, a aplicação via foliar da microalga 44,33cm reduziu 9,7% da altura do pimentão relação ao controle (Figura 10).

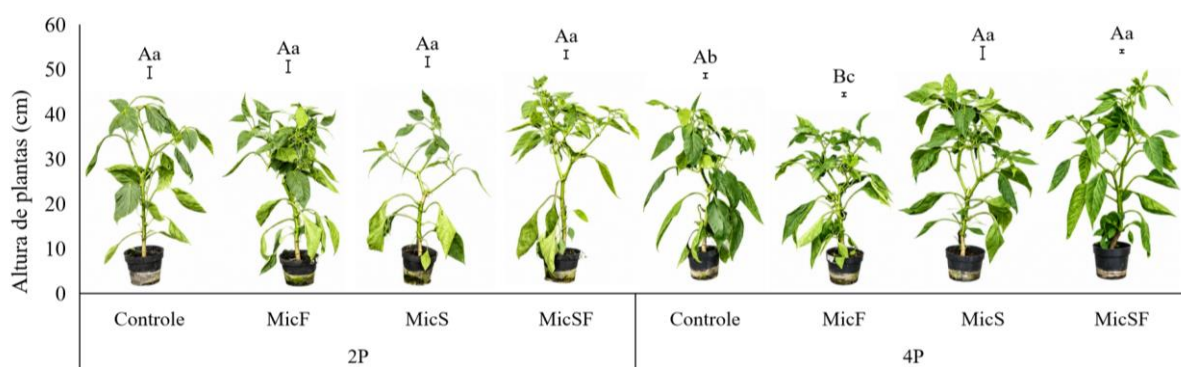


Figura 10. Altura de plantas do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução). Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas e minúsculas sobre as colunas indicam diferença significativa pelo teste de Skot-Knott a 5% de probabilidade, para os pulsos e aplicação da microalga, respectivamente.

Verificou-se que o diâmetro do caule foi 12,39% maior no pimentão cultivado em 4 pulsos de irrigação. Contudo, a aplicação foliar da microalga no pimentão cultivado em 4 pulsos foi 10,71% inferior a aplicação foliar realizada em 2 pulsos de irrigação (Figura 11A). No pimentão produzido com 2 pulsos de irrigação, o diâmetro do caule aumentou na presença da microalga. Na produção em 4 pulsos de irrigação, a aplicação foliar da microalga reduziu em 13,4% o diâmetro do caule.

Para o número de folhas verificou-se que a aplicação foliar em 2 pulsos de irrigação foi o único método que aumenta o número de folha das plantas, com incrementos de 41,83% (Figura 11B). Em 4 pulsos o método de aplicação via solução foi o melhor método, com incrementos de 61,1%. Entre os pulsos, com 2 pulsos de irrigação a aplicação foliar da microalga foi 45,64% superior ao mesmo método dentro de 4 pulsos de irrigação. Por outro lado, a aplicação via solução do pimentão dentro de 4 pulsos aumentou em 55% o número de folhas, quando comparado ao pimentão produzido em 2 pulsos de irrigação sob a aplicação via solução.

Na massa seca da parte aérea do pimentão produzido em 2 pulsos averiguou-se que o método de aplicação foliar da microalga (36,11 g) proporcionou incrementos de 46,72% em relação ao controle (24,61g) (Figura 11C). No entanto, em 4 pulsos o melhor método de aplicação da microalga foi via solução (39,66g), com incrementos de 44,3% em relação ao controle (27,48g). Entre os pulsos de irrigação verificou-se que a massa seca da parte aérea em 2 pulsos com a aplicação foliar da microalga é 26,34% maior em comparação a 4 pulsos, contudo com a aplicação da microalga via solução foi 39,64% superior no pimentão produzido em 4 pulsos de irrigação.

Averiguou-se que a massa seca das raízes do pimentão cultivado em 2 pulsos aumentou na presença da microalga via foliar (18,37g) e da sua aplicação combinada solução + foliar (15,88g), com incrementos respectivos de 47,55% e de 27,55% em relação controle (12,45g) (Figura 11D). Em 4 pulsos a aplicação combinada proporcionou maior acúmulo de massa seca da raiz (18,56g) em relação aos demais tratamentos. Ao se comparar os pulsos, verificou-se que a com a aplicação via foliar da microalga o maior acúmulo de massa seca da raiz ocorre no pimentão produzido em 2 pulsos de irrigação.

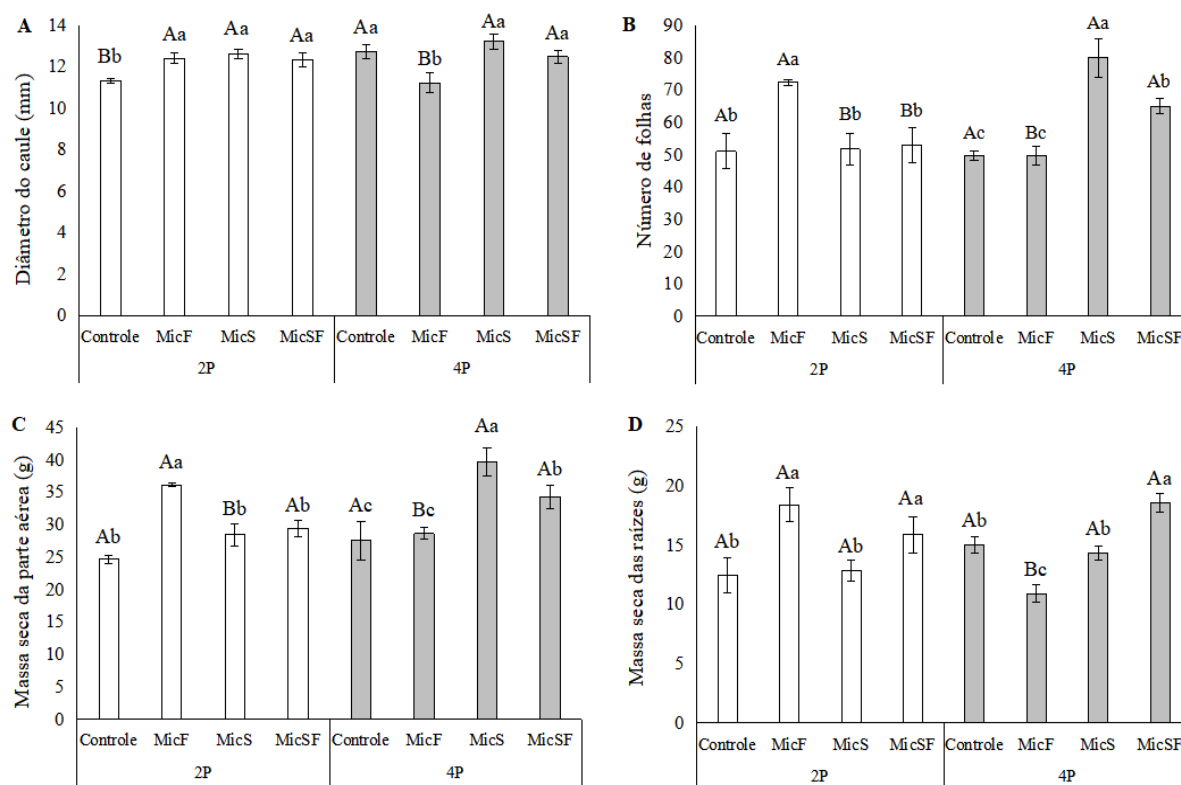


Figura 11. A) diâmetro do caule; B) número de folhas; C) massa seca da parte aérea; D) massa seca das raízes do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução). Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas e minúsculas sobre as

colunas indicam diferença significativa pelo teste de Skot-Knott a 5% de probabilidade, para os pulsos e aplicação da microalga, respectivamente.

O número de frutos do pimentão produzido em 2 pulsos de irrigação foi 66,66% maior com a aplicação foliar da microalga (Figura 12A). No pimentão produzido em 4 pulsos o maior número de frutos foi verificado com a aplicação da microalga via solução e combinada, com aumentos respectivos de 80% e 100%. Não foram averiguadas diferenças significativas ($p>0,05$) para o comprimento dos frutos (Figura 12B). A largura dos frutos de pimentão produzido com 2 pulsos de irrigação aumentou 13% com a aplicação foliar da microalga (Figura 12C). Em 4 pulsos não foram verificadas diferenças entre os métodos de aplicação da microalga. A largura dos frutos obtidos do pimentão produzido em 2 pulsos de irrigação com aplicação foliar da microalga foi 18,56% maior quando a aplicação foliar em 4 pulsos de irrigação.

Para o peso dos frutos verificou-se que em 4 pulsos de irrigação a aplicação foliar da microalga (82,39g) reduziu em 27,9% o peso dos frutos em relação ao controle (105,41g) (Figura 12D). Ao comparar os pulsos de irrigação verificou-se que o peso dos frutos em 4 pulsos a aplicação da microalga via solução foi 29,42% superior ao dos frutos produzidos em 2 pulsos.

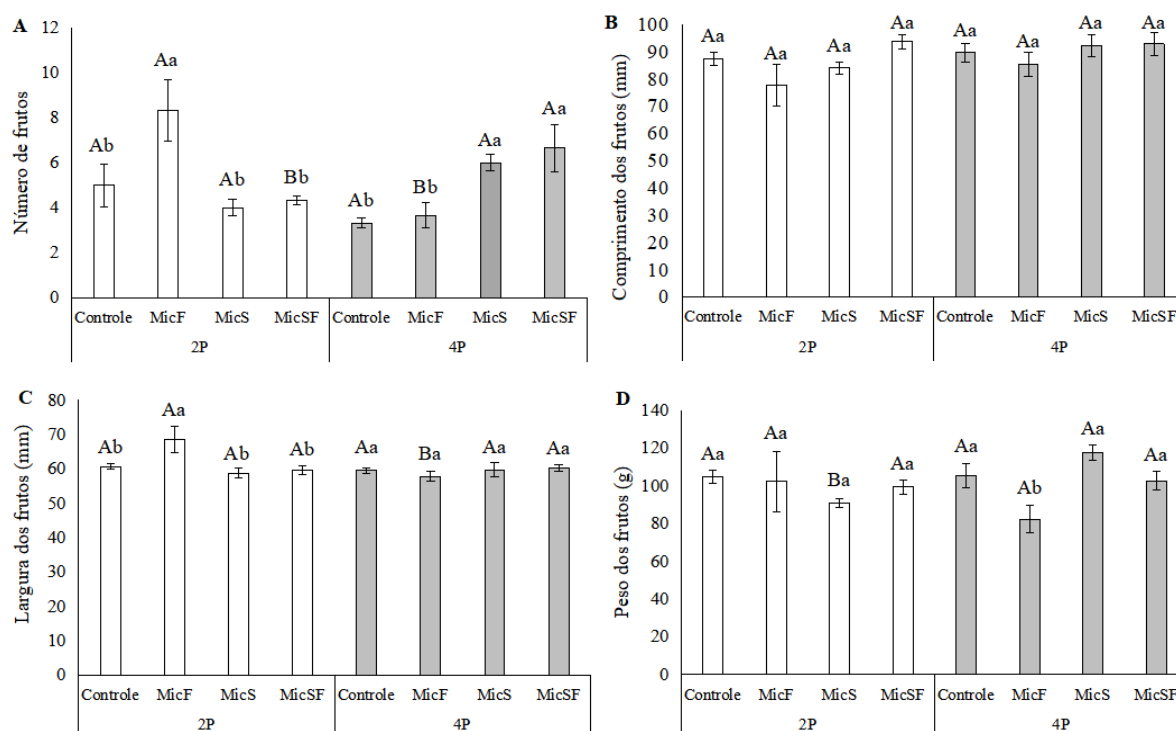


Figura 12. A) número de frutos; B) comprimento dos frutos; C) largura dos frutos; D) peso dos frutos do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e

S (solução). Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas e minúsculas sobre as colunas indicam diferença significativa pelo teste de Skot-Knott a 5% de probabilidade, para os pulsos e aplicação da microalga, respectivamente.

O acúmulo de massa seca total do pimentão produzido em 2 pulsos de irrigação foi maior ($p<0,05$) com a aplicação foliar da microalga (54,5g), com incrementos de 47,3% em relação ao controle (37g) (Figura 13A). Em 4 pulsos de irrigação a massa seca total do pimentão foi maior ($p<0,05$) com a aplicação via solução (54g) e combinada solução + foliar (52,9g), com acréscimos respectivos de 27% e 24,4% em relação ao controle (42,50g). Entre os cultivos em pulsos, verificou-se que aplicação foliar da microalga em 2 pulsos foi 38% superior a aplicação foliar dentro de 4 pulsos (39,47g). Por outro lado, a aplicação via solução e combinada da microalga em 4 pulsos foi 31% e 16,8% a 2 pulsos.

Os resultados de produtividade seguiram os mesmos padrões das análises dos frutos, em 2 pulsos a produtividade com aplicação foliar da microalga foi de 744,37 g planta⁻¹ aumentou em 41,24% a produtividade por planta em relação ao controle (527,01 g planta⁻¹) (Figura 13B). Por outro lado, em 4 pulsos os métodos de aplicação da microalga que elevaram a produtividade foram a aplicação via solução (698 g planta⁻¹) e a combinada solução + foliar (685,26 g planta⁻¹), elevaram em 98,96% e 95,34% a produtividade. Na comparação de pulsos, verificou-se que em 2 pulsos de irrigação a produtividade é 50,23% superior a 4 pulsos e, com a aplicação foliar esses incrementos são de 163,9%. Contudo, esse cenário se altera para a aplicação via solução e combinada solução + foliar da microalga, que foi 93,71% e 59,21% maior no pimentão produzido 4 pulsos de irrigação.

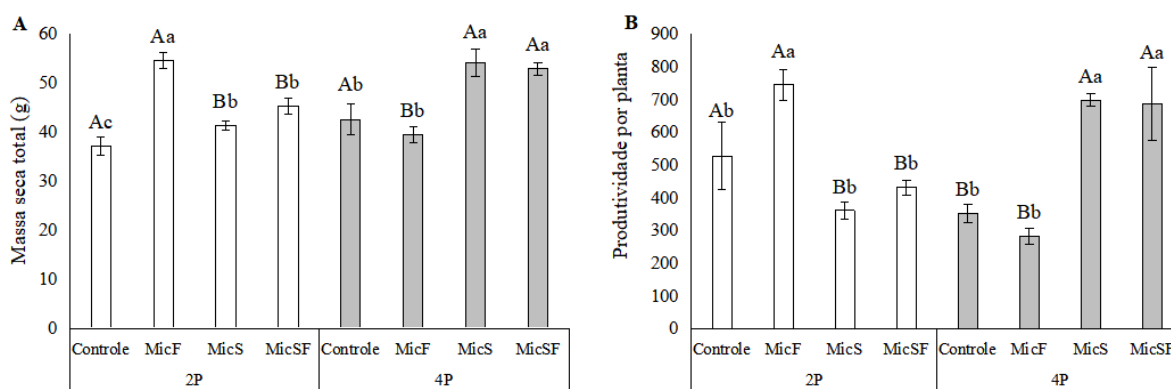


Figura 13. A) massa seca total; B) Produtividade pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução). Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas e minúsculas sobre as colunas indicam diferença significativa pelo teste de Skot-Knott a 5% de probabilidade, para os pulsos e aplicação da microalga, respectivamente.

Através dos componentes da análise canônica, tornou-se possível elucidar o efeito entre os diferentes pulsos de irrigação e os métodos de aplicação da microalga (Figura 14). Os tratamentos 2PmicF e 4PmicS apresentaram forte influência sob as variáveis biométricas LARG, MSPA, N_FRU, NF, MST, PROD, MSR, PESO e DC. A variável de ALT influenciou nos tratamentos 4PmicS e 4PmicSF. A variável COMP_F foi alterada em todos os tratamentos, especialmente dos tratamentos 2PmicSF, 4PmicS e 4PmicSF. O tratamento 4PmicF encontra-se em um quadrante sem variáveis, o que indica a baixa ou nenhuma influência nas variáveis biométricas de planta e frutos avaliadas.

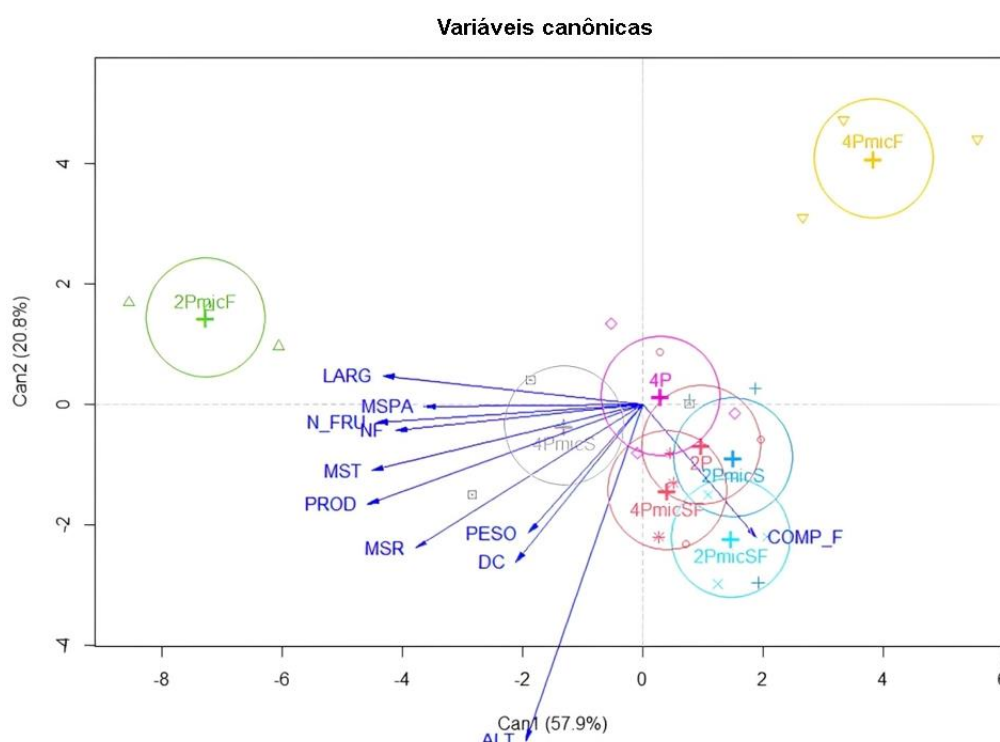


Figura 14. Análise de correlação canônica entre altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), produtividade (PROD), número de frutos (N_FRU), largura dos frutos (LARG), comprimento dos frutos (COMP_F) e peso dos frutos (PESO) do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução).

3.1.3 Parâmetros físico-químicos dos frutos

O pH dentro de 2 pulsos foi maior com a aplicação via solução da microalga, com um incremento de 1,37% em relação ao controle (Figura 15A). Dentro de 4 pulsos não houveram diferenças significativas entre os tratamentos. O pH com a aplicação foliar da microalga em 4 pulsos foi 1,23% superior em comparação a 2 pulsos e, a aplicação via solução da microalga

foi 1,16% maior nos frutos produzidos em 2 pulsos em comparação a 4 pulsos. A condutividade elétrica foi maior nos frutos gerados em 4 pulsos na ausência da microalga, na aplicação foliar e via solução (Figura 15B). Dentro de 2 pulsos, a condutividade elétrica foi maior no controle e na presença da microalga na solução. Em 4 pulsos, não houveram diferenças significativas entre os métodos de aplicação.

O total de sólidos dissolvidos em 4 pulsos foi 25% e 16% maior no controle e com a aplicação via solução da microalga em comparação aos frutos produzidos em 2 pulsos (Figura 15C). Dentro de 4 pulsos, o controle e a aplicação via solução foram superiores aos demais métodos de aplicação. Dentro de 2 pulsos não foram identificadas diferenças significativas. O Brix° em 4 pulsos com aplicação foliar da microalga, houve um incremento de 40,75% em relação a 2 pulsos (Figura 15D). Em 4 pulsos a aplicação foliar foi superior aos demais tratamentos do grupo, com um incremento de 27,3% em relação ao controle. Não houveram diferenças significativas entre os métodos de aplicação dentro de 2 pulsos.

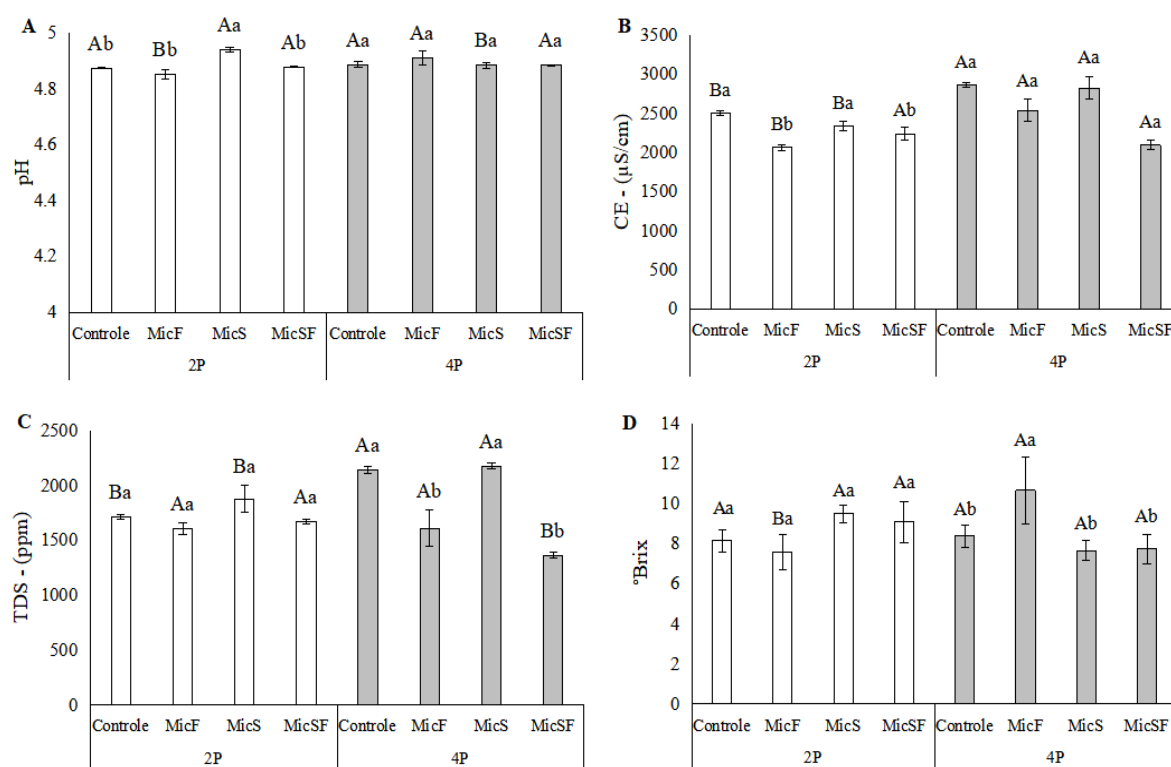


Figura 15. A) pH; B) condutividade elétrica; C) TDS - total de sólidos solúveis; D) grau Brix° do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução). Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas e minúsculas sobre as colunas indicam diferença significativa pelo teste de Skot-Knott a 5% de probabilidade, para os pulsos e aplicação da microalga, respectivamente.

O ORP aponta diferentes resultados, em 2 pulsos os dois valores amostrais foram positivos, porém, estatisticamente diferentes (Figura 16). Neste grupo, verificou-se que na ausência da microalga o ORP é 300% maior com relação a aplicação foliar ($p<0,05$). Sendo ainda superior aos tratamentos com a aplicação via solução e combinada ($p<0,05$). Por outro lado, observa-se que em 4 pulsos todos as amostras foram negativas, com o menor valor sendo obtido com a aplicação via solução.

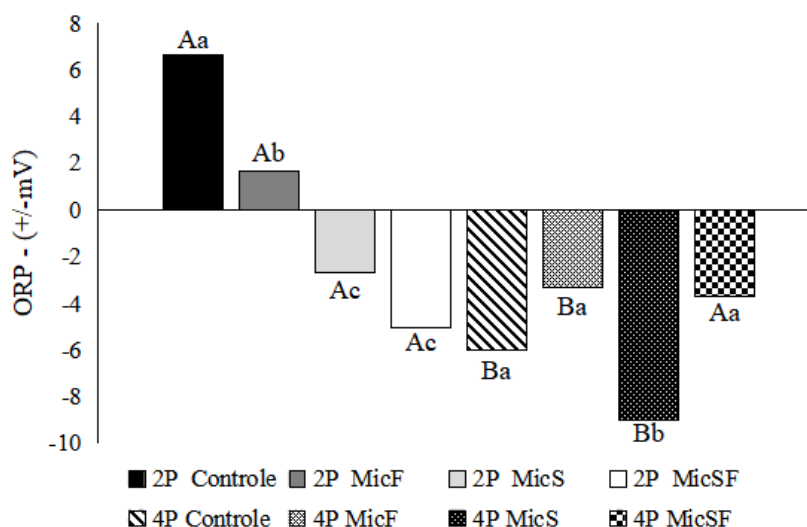


Figura 16. ORP - Potencial de oxirredução do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução). Médias seguidas de letras diferentes, maiúsculas e minúsculas sobre as colunas indicam diferença significativa pelo teste de Skot-Knott a 5% de probabilidade, para os pulsos e aplicação da microalga, respectivamente.

As variáveis canônicas para as características físico-química dos frutos de pimentão apontam a interação entre os pulsos, microalga e os tratamentos (Figura 17). As variáveis CE, TDS são fortemente influenciadas pelos tratamentos 4P e 4PmicS. As variáveis BRIX e PH, são fortemente influenciadas pelos tratamentos 4PmicF e 2PmicS. A variável que avalia o potencial de oxirredução da solução ORP foi fortemente influenciada pelos tratamentos 2P e 2PmicF.

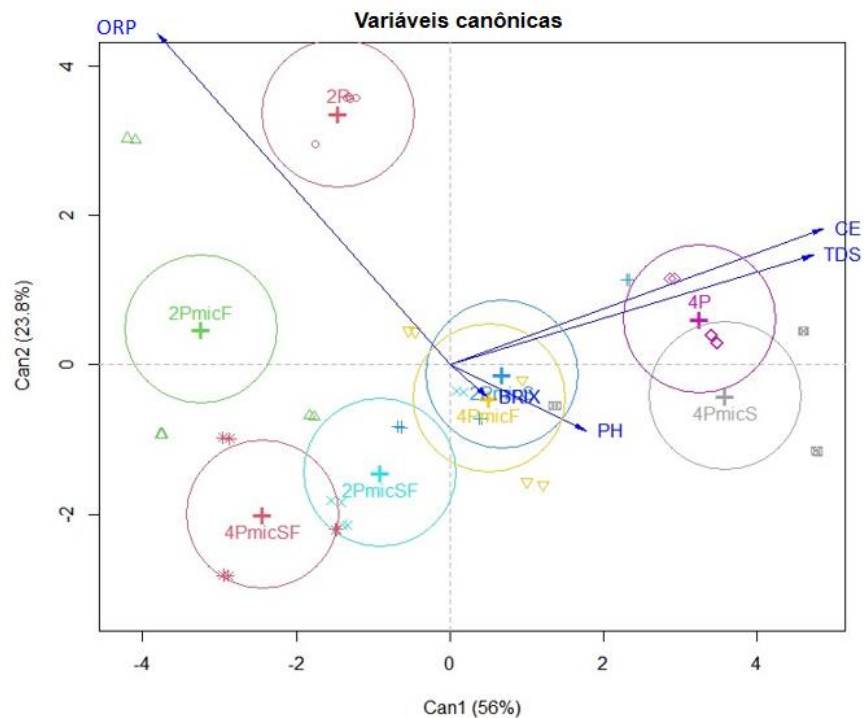


Figura 17. Análise de correlação canônica entre pH, BRIX, condutividade elétrica (CE), total dissolvido de sólidos (TDS) e potencial de oxirredução (ORP) do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*. 2P (2 pulsos), 4P (4 pulsos), Mic (microalga), F (foliar) e S (solução).

Na correlação observou-se o comportamento dos dados em função das variáveis. Verificou-se que conforme maior as trocas gasosas (C_i , E , GS e A). A produtividade e o número de frutos possuem uma correlação positiva altamente significativa (tons azulados escuros), contudo, conforme maior N_{FRUT} , notou-se uma tendência ao menor peso dos frutos. Todavia, o peso e a produtividade apresentam uma correlação positiva (tom azul). Para as características físico-químicas dos frutos, o aumento da produtividade foi paralelo ao estado ORP dos frutos. O ORP reduziu conforme o aumento no desenvolvimento de NF e MSPA, o PH reduziu (tons avermelhados) conforme o aumento no acúmulo de biomassa MST, MSPA e MSR.

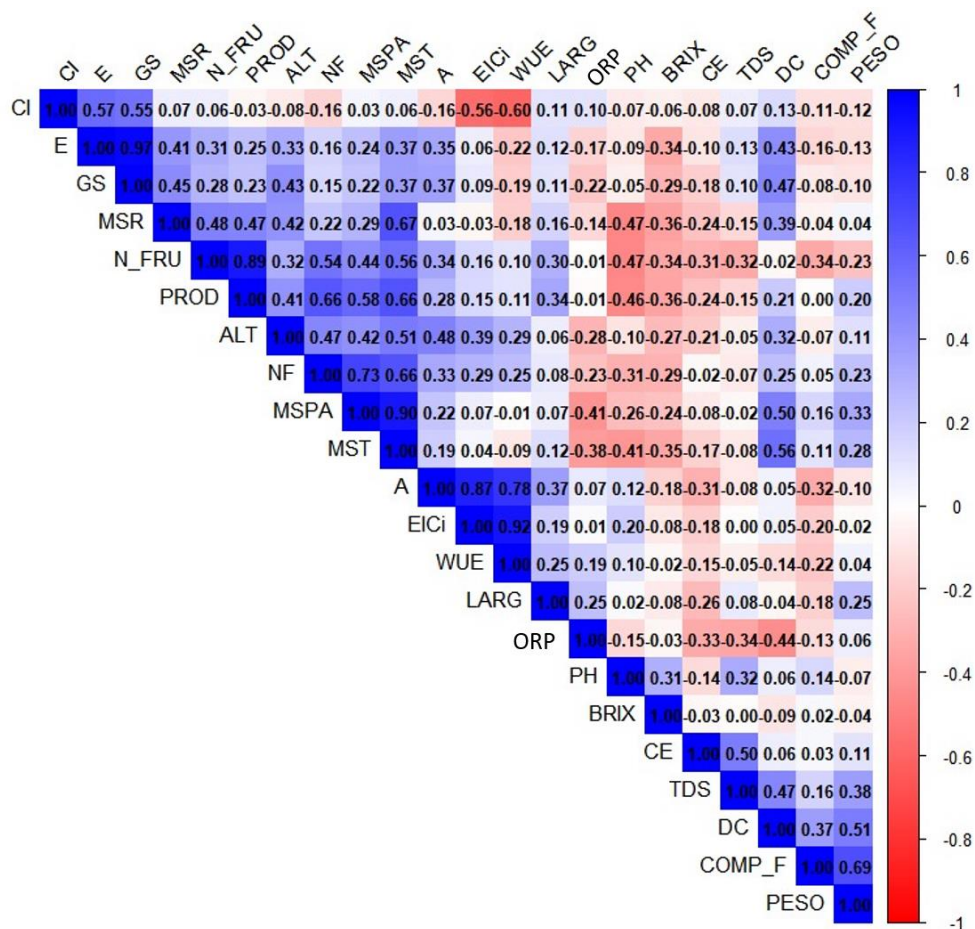


Figura 18. Gráfico de correlação de Pearson entre altura de planta (ALT), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), produtividade (PROD), número de frutos (N_FRU), largura dos frutos (LARG), comprimento dos frutos (COMP_F) e peso dos frutos (PESO) entre concentração de CO₂ intracelular (Ci), condutância estomática (gs), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa de transpiração (E), eficiência da carboxilação (EICi), eficiência do uso da água (WUE), pH, BRUX, condutividade elétrica (CE), total dissolvido de sólidos (TDS) e potencial de oxirredução (ORP) do pimentão cultivado em sistema semi hidropônico sob diferentes pulsos de irrigação e métodos de aplicação de *C. vulgaris*.

3.2 Discussão

No sistema desenvolvido neste estudo, especialmente nos estádios iniciais do desenvolvimento do pimentão, a solução nutritiva entrou em contato com o substrato e com o sistema radicular vegetal através da capilaridade, fenômeno em que a água percorre os poros do solo ou substrato (Schuker *et al.*, 2021). Desta forma, a hidratação do substrato pode ter sido influenciada pelo teor de umidade inicial, duração do pulso e características inerentes do substrato, como a sua hidrofobidade/hidroflicidade (Schuker *et al.*, 2021).

No presente trabalho os pulsos de irrigação não foram significativos ($p < 0,05$) para os parâmetros biométricos da planta e frutos (Figura 11), para as trocas gasosas (Figura 13) e para

os fatores físico-químico dos frutos (Figura 16). Esses resultados diferem do descrito por Costa et al. (2024) em que o fracionamento da irrigação proporcionou incrementos nos parâmetros fisiológicos e de crescimento, especialmente a eficiência do uso de água e produtividade do pimentão em condições de campo.

Neste sistema semi-hidropônico o substrato permaneceu úmido por diferentes frequências entre os pulsos, e, apesar do volume da solução distribuída entre os pulsos ser o mesmo, a repartição temporal foi distinta, esse fator pode interferir na absorção de nutrientes pelas raízes (Schuker *et al.*, 2021).

No presente estudo, a microalga interferiu no crescimento (Figura 11,12,13) e nas relações de trocas gasosa (Figura 12). A microalga *C. vulgaris* por ser um microrganismo fotossintético, é capaz de produzir inúmeros compostos bioativos como proteínas, vitaminas, carotenoides, polissacarídeos (Mendes *et al.*, 2024) e fitormônios (Gahid *et al.*, 2024). Segundo Gahid et al. (2024) dentre os fitormônios presentes na solução da microalga destacam-se a auxina, giberelina e o ácido Indol-3-Acético, compostos que quando aplicados de forma exógena podem alterar rotas metabólicas associadas a divisão celular e crescimento.

No pimentão produzido em 2 pulsos de irrigação a adição da *C. vulgaris*, elevou a condutância estomática, e a taxa de transpiração, o que de acordo Lawson e Matthews (2020) pode estimular a absorção de água e nutrientes pelas plantas através do fluxo de massa. Conforme menor a condutância estomática e taxa de transpiração, menor é a absorção de água e nutrientes, e por consequência menor será o crescimento e o fluxo de água e assimilados no interior da planta (Lawson; Matthews, 2020). Essas afirmações confirmam os resultados deste estudo, pois, em dois pulsos na presença da microalga a planta demonstrou um maior crescimento, acúmulo de massa seca e produtividade (Figura 14). Além dos resultados de gs e E, outros parâmetros de trocas gasosas associados ao crescimento vegetal, como a eficiência da carboxilação e taxa de assimilação líquida de CO₂ aumentaram na presença da microalga.

Em estudo com a acelga (*Beta vulgaris*) Hajnal-Jafari et al. (2020) verificaram que a adição de *C. vulgaris* influencia no número de folhas e no acúmulo de massa da parte aérea. O mesmo foi apontado por Tian et al. (2022) estudo no qual a aplicação do extrato de *C. vulgaris* potencializou o desenvolvimento da parte aérea, como altura de planta e diâmetro do caule em mudas de pimenta. Esses relatos corroboram os resultados evidenciados neste trabalho, no qual a massa seca da parte aérea e o número de folhas aumentaram na presença da microalga (Figura 11B, C).

Nos pulsos de irrigação os incrementos gerados pela adição da microalga variaram em função do método de aplicação. No pimentão produzido com 2 pulsos de irrigação, o melhor método de aplicação da microalga foi o foliar e, para 4 pulsos de irrigação o melhor método de aplicação da microalga foi especialmente o via solução (Figura 14). A aplicação foliar é o método menos complexo, pois neste a solução com a microalga é aplicada diretamente na folha podendo invadir o interior da planta através células especializadas como os estômatos (Maleki *et al.*, 2024).

A aplicação via foliar facilita a entrada dos compostos produzidos pela microalga na planta, estes que atuam rapidamente em rotas fisiológicas da planta, como a síntese de carboidratos, podendo alterar a atividade bioquímica associada ao transporte de fotoassimilados diretamente para os frutos (Kazakov *et al.*, 2024; Ji *et al.*, 2020).

Por outro lado, na solução nutritiva a sobrevivência e crescimento da microalga depende de diversos fatores, como o pH (Liu *et al.*, 2017), até mesmo os exsudatos liberados pelas raízes (Tiware; Prajapati, 2022). Além disto, a disponibilidade dos compostos produzidos na fotossíntese da *C. vulgaris* pode ser limitada, pois essas substâncias são extremamente suscetíveis a degradação (Stirk *et al.*, 2021). Em 4 pulsos de irrigação a presença da microalga na solução pode ter facilitado sua atividade na rizosfera, melhorando a absorção de nutrientes e crescimento e acúmulo de biomassa do pimentão (Colarte *et al.*, 2025).

As características físico-química dos frutos estão atreladas diretamente aos parâmetros de crescimento e de trocas gasosas, o tratamento 4PmicF dentro de 4 pulsos apresentou menor impacto nas trocas gasosas (Figura 9) o que refletiu no crescimento vegetal e produtividade (Figura 14). No entanto, este tratamento apresentou o maior grau brix, ou seja, houve maior acúmulo de compostos açucarados, como glicose, frutose e sacarose (Wojdylo *et al.*, 2021). Esses resultados altos de Brix em 4PmicF pode estar associado a um efeito de concentração de solutos nos frutos, porque a planta pode ter tido limitação parcial do fluxo de água e assimilados (menor condutância estomática), assim como apresentado por Hou *et al.* (2019), o qual descreve que o potencial osmótico da planta reflete a concentração de solutos.

Esse comportamento é consistente com os resultados de trocas gasosas, os quais indicam redução da eficiência fotossintética e da carboxilação em 4PmicF. O fechamento estomático, bem como a redução na taxa de assimilação líquida de CO₂, alteram o crescimento da planta, e consequentemente limitam o crescimento e transporte de água até os frutos. Contudo a massa seca e a concentração de açúcar nos frutos não reduzem devido ao baixo efeito da diluição dos

compostos (Rahmati *et al.*, 2018). Essas interações podem ser observadas na Figura 18 que apresenta os resultados da correlação de Pearson dos dados.

Os compostos totais de sólidos dissolvidos (TDS) não são formados apenas por compostos açucarados, mas também por minerais aminoácidos, ácidos orgânicos, compostos fenólicos e metabólicos antioxidantes (Godínez-Santillán *et al.*, 2020; Wojdylo *et al.*, 2021; Yu *et al.*, 2021). No tratamento 2PmicF os valores de TDS, sugerem uma maior eficiência na absorção, diluição e translocação desses compostos pelas plantas, o que pode sinalizar um sistema eficiente.

A CE reflete a integridade das membranas celulares, valores altos simbolizam maior degradação (Whitlow *et al.*, 1992; González; Barret, 2010), ou maiores danos às membranas, e por consequência maior extrapolação de íons (González; Barret, 2010). Assim, é possível associar que a aplicação foliar da microalga no pimentão sob 2 pulsos de irrigação foi capaz de preservar a integridade das membranas celulares.

Esses resultados de CE interagem com o potencial de oxirredução (ORP) neste estudo, observou-se que o ORP foi negativo em todos os métodos de aplicação da microalga do pimentão em 4 pulsos de irrigação, contudo os menores valores (-) foram obtidos com aplicação via solução da microalga. O estado potencial de oxirredução apresenta uma relação intrínseca com a atividade antioxidante, conforme menor o ORP, maior pode ser a atividade antioxidante da amostra (Gulcin, 2025). No entanto, neste mesmo grupo de tratamentos (4 pulsos), a CE é maior, ou seja, os resultados do ORP obtidos nestes tratamentos podem atuar como uma resposta antioxidante a um estresse ocorrido durante o desenvolvimento vegetal.

A atividade antioxidante por sua vez é dependente da concentração de diferentes substâncias, dentre elas, compostos fenólicos, flavonoides como rutina, luteolina, quercetina e apigenina (Godínez-Santillán *et al.*, 2020; Rezende *et al.*, 2021), vitaminas E e C (Kafi *et al.*, 2025) e alguns pimentos, como clorofilas, carotenoides e antocianinas (Antunes *et al.*, 2021; Kafi *et al.*, 2025). Os tratamentos com o a microalga *C. vulgaris* promoveram alterações nos sólidos dissolvidos totais e no brix, evidenciando que a bioestimulação altera a qualidade dos frutos.

De modo geral a produtividade do pimentão em dois pulsos foi impulsionada com a adição via foliar da microalga e, em 4 pulsos foi otimizada a partir da aplicação via solução. Considerando as características físico químicas dos frutos, observou-se que o acúmulo de açúcar nos frutos foi inversamente proporcional ao crescimento e as trocas gasosas da planta e, em 4 pulsos, a aplicação foliar da microalga elevou o brix dos frutos. O poder redutor dos frutos,

associado à sua atividade antioxidante, aumentou em ambos os pulsos de irrigação, contudo, uma análise geral aponta que a maior influência sobre essa característica ocorreu em 4 pulsos com a aplicação da microalga via solução (4PmicS) (Figura 16).

Em virtude destas condições e resultados, tornou-se possível alocar os dados em grupos. Ao trabalhar com 4 pulsos observou-se que a aplicação via solução da microalga atua como fator limitante, mostrando-se como um possível bioestimulante. Em 2 pulsos esse cenário foi alterado, pois, a aplicação foliar da microalga tornou-se mais eficiente para o crescimento e produtividade do pimentão.

Esses resultados iniciais com a adição da microalga mostram-se promissoras e afirmam a influência deste microrganismo na cultura do pimentão. Para dados mais específicos, novas pesquisas devem ser realizadas a fim de aprimorar os resultados obtidos no presente estudo.

4. CONCLUSÃO

A alteração da lâmina de irrigação para quatro pulsos diários não gerou incrementos nos parâmetros morfofisiológicos e na produtividade do pimentão semi-hidropônico.

A aplicação de bioestimulante da microalga *Chlorella vulgaris* influencia nas características morfofisiológicas, físico-químicas e na produtividade do pimentão cultivado em sistema semi-hidropônico.

No pimentão produzido em quatro pulsos de irrigação a aplicação do bioestimulante da microalga *Chlorella vulgaris* via solução elevou o acúmulo de massa seca e a produtividade.

No manejo com dois pulsos de irrigação, a aplicação foliar proporciona melhores resultados biométricos, físico-químicos e produtivos, constituindo uma alternativa promissora para o cultivo sustentável da cultura.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELRAOUF, R. E.; ALASHRAM, M. G.; HAZA, A. E.; FATHY, M. Effect of Pulse Irrigation and Pulse Fertigation on the Yield, Water Productivity and Quality of Cucumber Under the Dry Environmental Conditions of Sandy Soil. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 65, p. 621–633, 2022. DOI: 10.21608/EJCHEM.2022.158726.6867

ABU, N.; CHIMDI, G.; OJUA, E. Nutritional and anti-nutritional evaluation of ten genotypes of pepper (*Capsicum annum* L.) grown in a derived savanna ecology of Nigeria. **Jornal Etíope de Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 17-30, 2020. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/nutritional-and-anti-nutritional-evaluation-of-ten-genotypes-3c6fs3452f.pdf>. Acesso em 10 fev. 2026.

ANTUNES, B. F.; MUROWANIECKI OTERO, D.; HAKBART BONEMANN, D.; SCHWINGEL RIBEIRO, A.; JACQUES, A. C.; ZAMBIAZI, R. C. Evaluation of

physicochemical, bioactive composition and profile of fatty acids in leaves of different olive cultivars. **Revista Ceres**, v. 68, n. 6, p. 511–520, 2025. DOI: 10.1590/0034-737X202168060002

BARANKEVICZ, G. B.; NOVELLO, D.; RESENDE, J. T. V.; SCHWARZ, K.; SANTOS, E. F. Características físicas e químicas da polpa de híbridos de tomateiro, durante o armazenamento congelado. **Horticultura Brasileira**, v. 33: p. 7-11, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000100002>

BIJALWAN, P. S.; SHUKLA, Y.; CHAUHAN, M. Impact of Agronomical Approaches on Growth, Yield and Economics of Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) var. Solan Bharpur under Mid-hills of Himachal Pradesh. **Indian Journal of Agricultural Research**, v. 59, n. 3, p. 429-434, 2022. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.18805/IJARE.A-5931](https://doi.org/10.18805/IJARE.A-5931)

CARROL, J. L.; ORR, O. T.; BENEDICT, C. A.; DEVETTER, L. W.; BRYLA, D. R. Feasibility of Using Pulse Drip Irrigation for Increasing Growth, Yield, and Water Productivity of Red Raspberry. **American Society for Horticultural Science**, v. 59, n. 3, p. 332-339, 2024. DOI: 10.21273/HORTSCI17467-23

CASIAN JUNIOR, J. C.; RODRIGUES, V. A. P.; SOARES, I. F. G.; ALMEIDA, R.; MAURICIO, L. S.; PAULA, F. C.; NASCIMENTO, E. S. F.; ALMEIDA, R. N. de; NASCIMENTO, L. C.; ZAMPIERI, F. G.; MENINI, L.; MOULIN, M. M. Avaliação da diversidade genética de *Capsicum* spp. com base em descritores morfoagronômicos e bromatológicos. **Revista Ifes ciência**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2021. DOI: 10.36524/ric.v7i1.1143

COCA, L. I. R.; GONZÁLEZ, M. T. G.; UNDAY, Z. G.; HERNÁNDEZ, J. J.; JÁUREGUI, M. M. R.; CANCIO, Y. F. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 1804, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15031804>

COLARTE, C. A.; BALIC, I.; DÍAZ, O.; CORTES, I.; MORENO, A. A.; AMENABAR, M. J.; RETAMAL, M. C.; FUENTES, N. C. Microalgae-Based Biostimulants: Effects on Growth and Stress Resistance in Agricultural Crops. **Plants**, v. 14, n. 22, p. 3488, 2025. DOI: 10.3390/plants14223488

COSTA, R. de H.; ARAÚJO, M. D. R.; Da SILVA, J. C.; SANTOS, C. S. dos. Produtividade e eficiência no uso da água do pimentão irrigado por pulsos. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 13, p. e6967, 2024. DOI: 10.55905/cuadv16n13-094

DAI, L.; YU, P.; MA, P.; CHEN, C.; MA, J.; ZHANG, J.; HUANG, B.; XIN, Z.; ZHENG, X.; TANG, T. Effects of the supernatant of *Chlorella vulgaris* cultivated under different culture modes on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth. **Frontiers Nutrition**, v. 11, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1437374>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 15 jul. 2026.

FELTRIN. 2025. Disponível em: <https://www.sementesfeltrin.com.br/produtos/pimentao-jaguariuna/290>. Acesso em: 12 mar. 2026.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 242 p

GAHRID, F. A. E. L., OSAMA, K., SATTAR, A. M. A. E., AND AHMED, E. Z. Impact of *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis salina*, and *Arthrospira platensis* as biostimulants on common bean plant growth, yield, and antioxidant capacity. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, 1398, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50040-4>

GHAILASSI, A. E.; BOULARBAH, S.; CHOUKR-ALLAH, R.; DRAGONETTI, G. A short-term assessment of pulsed drip irrigation on blueberry production and soil-water behavior of Morocco's sandy soils. **Probe - Soil Science**, v. 6, n. 1, p.2243, 2024. DOI: <https://doi.org/10.18686/ss2243>

GODÍNEZ-SANTILLÁN, R. I.; CHÁVEZ-SERVÍN, J. L.; GARCÍA-GASCA, T.; GÚZMAN-MALDONADO, S. H. Phenolic characterization and antioxidant capacity of alcoholic extracts from raw and boiled leaves of *Cnidoscolus aconitifolius* (Euphorbiaceae). **Acta botánica mexicana**, n. 126, p. e1493, 2020. DOI: 10.21829/ abm126.2019.1493

GOH, Y. S.; HUM, Y. C.; LEE, Y. L.; LAI, K. W.; YAP, W.; TEE, Y. K. A meta-analysis: Food production and vegetable crop yields of hydroponics. **Scientia Horticulturae**, v. 321, p. 112339, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112339>

GULCIN, İ. Antioxidantes: uma revisão abrangente. **Arch Toxicol**, v. 99, p. 1893–1997, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2>

GONZALEZ, M. E.; BARRET, D. M. Thermal, High Pressure, and Electric Field Processing Effects on Plant Cell Membrane Integrity and Relevance to Fruit and Vegetable Quality. **Journal Food Science**, v. 75, n. 7, p. 121-130, 2010. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01763.x

HAJNAL-JAFARI, T.; SEMAN, V.; STAMENOV, D.; ĐURIĆ, S. Effect of *Chlorella vulgaris* on growth and photosynthetic pigment content in Swiss chard (*Beta vulgaris* L. subsp. cicla). **Polish Journal of Microbiology**, v. 69, n. 2, p. 235–238, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33073/pjm-2020-023>

HOU, X.; ZHANG, W.; DU, T.; KANG, S.; DAVIES, W. J. Responses of water accumulation and solute metabolism in tomato fruit to water scarcity and implications for main fruit quality variables. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 4, p. 1249-1264, 2019. DOI: 10.1093/jxb/erz526

IEA. Instituto de Economia Agrícola. 2025. Disponível em: <https://iea.agricultura.sp.gov.br/out/artigosaiia.php?codTipo=2>. Acesso em: 15 jul. 2026.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA: censo agropecuário2017. Resultados definitivos. 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2017>. Acesso em: 15 jul. 2026.

JI, Y.; OCANÃ, D. N.; CHOE, D.; LARSEN, D. H.; MARCELIS, L. F. M.; HEUVELINK, E. Far-red radiation stimulates dry mass partitioning to fruits by increasing fruit sink strength in tomato. **New Phytologist**, v. 228, n. 6, p. 1914-1925, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16805>

JOVICICH, E.; CANTLIFFE, D. J.; VANSICKLE, J. J. U. S. importações de pimentões coloridos e a oportunidade para a produção de pimentões em estufa na Flórida. **Acta Horticulturae**, v. 659, p. 81–85, 2004. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.659.9

KAFI, A.; FERDOUSI, J.; SHARMIN, S.; HOSSAIN, M. I. Analytical Techniques use for Assessing Antioxidant, Phytochemical and Biochemical Properties of Plants and Fruits: A Review. **Progress in Chemical and Biochemical Research**, v. 8, n. 3, p.243-256, 2025. DOI:10.48309/pcbr.2025.511267.1403

KAZAKOV, P.; ALSEEKH, S.; IVANONVA, V.; GECHEV, T. Biostimulant-Based Molecular Priming Improves Crop Quality and Enhances Yield of Raspberry and Strawberry Fruits. **Metabolites**, v. 14, n. 11, p. 594, 2024. DOI: 10.3390/metabo14110594

LAWSON, T.; MATTHEUS, J. Guard cell metabolism and stomatal function. **Annual Review of Plant Biology**, v. 71, p. 273-302, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100251>

LIU, X.; YING, K.; CHEN, G.; ZHOU, C.; ZHANG, W.; ZHANG, X.; CAI, Z.; HOLMES, T.; TAO, Y. Growth of *Chlorella vulgaris* and nutrient removal in the wastewater in response to intermittent carbon dioxide. **Chemosphere**, v. 186, p. 977–985, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.160>

MALEKI, F. A.; SEIDL-ADAMS, I.; FELTON, G. W.; KERSCH-BECKER, M. F.; TUMLINSON, J. H. Stomata: gatekeepers of uptake and defense signaling by green leaf volatiles in maize. **Journal of Experimental botany**, v. 75, n. 21, p. 6872-6887, 2024. DOI: 10.1093/jxb/erae401

MARRA, F.; MAFFIA, A.; CANINO, F.; PETROVICOVA, B.; MALLAMACI, C.; RUSSO, M.; HUSSAIN, I.; MUSCOLO, A. Enhancing the nutritional value of sweet bell pepper through moderate NaCl salinity. **Heliyon**, v. 9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22439>.

MENDES, A. R.; SPÍNOLA, M. P.; LORDELO, M.; PRATES, J. A. M. Chemical compounds, bioactivities, and applications of *Chlorella vulgaris* in food, feed and medicine. **Applied Sciences**, v. 14, n. 23, p. 10810, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142310810>

MOON, J.; JI, P. Y.; CHOI, Y. B.; TRUONG, P. Q.; HUYNH, P. K.; KIM, Y. B.; KIM, S. M. Physiological Effects and Mechanisms of *Chlorella vulgaris* as a Biostimulant on the Growth and Drought Tolerance of *Arabidopsis thaliana*. **Plants**, v. 13, n. 21, p. 3012. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13213012>

NUNES, A. B.; AVIZ, R. O.; CASAIS, L. K. N.; SANTOS, T. V.; SOARES, D. S.; ALVES, G. A. R.; FREITAS, L. S.; BORGES, L. S. Produtividade de salsa cultivada em sistema hidropônico e semi-hidropônico no município de Paragominas, Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 6, p. 559–567, 2020. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.006.0045>

ONEY-MONTALVO, J. H.; AVILES-BETANZOS, K. A.; RAMIREZ-RIVERA, E. J.; RAMIREZ-SUCRE, M. O.; RODRIGUEZ-BUENFIL, I. M. Polyphenols Content in *Capsicum chinense* Fruits at Different Harvest Times and Their Correlation with the Antioxidant Activity. **Plants**, v. 9, n. 10, p. 1394, 2020. DOI: 10.3390/plants9101394

PATHIRANA, R. Peppers: Vegetable and Spice Capsicums, 2nd edition, by Paul W. Bosland and Eric J. Votava. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 41, n. 2, p. 102-103, 2013. DOI: 10.1080/01140671.2012.745161

PATIDAR, P.; PANDY, P.; GUPTA, J.; PAWAIYA, T. Uma estimativa econômica da produção de pimentão no distrito de Shajapur, Madhya Pradesh, Índia. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, p. 1796-1802, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.906.224>

PEDROSO, M. T. M.; FERREIRA, Z. R. **Caracterização dos polos de produção e de produtores de pimentão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2023. 39 p. (Documentos, 196). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1154405/1/DOCUMENTO-196-Characterizacao-dos-polos-de-producao-e-de-produtores-de-pimentao-no-Brasil-ed-01-2023-2-Glauter-Lima-dos-Santos.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2026.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Versão 4.4.1. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: [r-project.org](https://www.R-project.org/). Acesso em: 17 mar. 2025.

RAHMAN, J.; CHANDNI, C. S.; ALI, S.; RAIHAN, A.; HOSSAIN, M. M. Effect of Different Nutrient Solutions on Growth, Yield, and Quality of Hydroponic Capsicum Varieties. **European Journal of Applied Sciences**, v. 11, n. 3, p. 503–521, 2023. DOI: <https://doi.org/10.14738/aivp.113.13493>

RAHMATI, M.; MIRÁS-AVALOS, J.; VALSERIA, P.; LESCOURRET, F.; GÉNARD, M.; DAVARYNEJAD, G. H.; BANNAYAN, M.; AZIZI, M.; VERCAMBRE, G. Disentangling the Effects of Water Stress on Carbon Acquisition, Vegetative Growth, and Fruit Quality of Peach Trees by Means of the QualiTree Model. **Frontiers Plant Science**, v. 9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00003>

RAJENDRAN, S.; DOMALACHENPA, T.; ARORA, H.; LI, P.; SHARMA, A.; RAJAURIA, G. Hydroponics: Exploring innovative sustainable technologies and applications across crop production, with emphasis on potato mini-tuber cultivation. **Heliyon**, v. 10, n. 5, p. e26823, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26823>

REZENDE, Y. R. R.; NOGUEIRA, J. P.; SILVA, T. O. M.; BARROS, R. G. C.; DE OLIVEIRA, C. S.; CUNHA, G. C.; GUALBERTO, N. C.; RAJAN, M.; NARAIN, N. Enzymatic and ultrasonic-assisted pretreatment in the extraction of bioactive compounds from Monguba (*Pachira aquatic* Aubl) leaf, bark and seed. **Food Research International**, v. 140, n. 109869, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109869>

SCHULKER, B. A.; JACKSON, B. E.; FONTENO, W. C.; HEITMAN, J. L.; ALBANO, J. P. Exploring Substrate Water Capture in Common Greenhouse Substrates through Preconditioning and Irrigation Pulsing Techniques. **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1355, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11071355>

SETU, A.; AKTER, F.; HASAN, M.; DATTA, S.; SHARMIN, S.; BHUIYAN, M. A. Evaluation of Biochemical Traits of Three Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) Varieties in Bangladesh. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 23, n. 1, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3329/jbau.v23i1.80822>

SILVA, J. M. Da; DALBON, V. A.; ALVES, A. C.; ATAÍDE, C. B.; SANTOS, T. M. C. Dos; COSTA, M. E. L.; MONTALDO, Y. C. Bioinputs in sustainable agriculture: Benefits, challenges, and pathways for resilient farming systems. **Asian Journal of Research in Crop Science**, v. 10, n. 2, p. 85–97, 2025. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajrcs/2025/v10i2354>

SOUSA, V. F. O. Physiology and production of colored bell pepper cultivars in a semi-hydroponic system. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 28, n. 6, p. e274380, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n6e274380>

STIRK, W. A.; BÁLINT, P.; VAMBE, M.; KULKARNI, M.; STADEN, J. V.; ORDOG, V. Effect of storage on plant biostimulant and bioactive properties of freeze-dried *Chlorella vulgaris* biomass. **Journal of Applied Phycology**, v. 33, p. 3797–3806, 2021. DOI: [10.1007/s10811-021-02596-9](https://doi.org/10.1007/s10811-021-02596-9).

TIAN, S. L.; KHAN, A.; ZHENG, W. N.; SONG, L.; LIU, J.; LI, L. Effects of *Chlorella* extracts on growth of *Capsicum annuum* L. seedlings. **Scientific Reports**, v. 12, p. 15455, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19846-6>

TIAMIYU, Q. O.; ADEBAYO, S. E.; IBRAHIM, N. Recent advances on postharvest technologies of bell pepper: A review. **Heliyon**, v. 9, n. 4, p. e15302, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15302>

TIWARI, H.; PRAJAPATI, S. K. Allelopathic effect of benzoic acid (hydroponics root exudate) on microalgae growth. **Environmental research**, v. 15, n. 219, p. 115020, 2023. DOI: [10.1016/j.envres.2022.115020](https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115020)

TUMBAGA, M.; VALLER, D. (2024). Produção de pimentão (*Capsicum annuum*, L.) fora de época influenciada por melhoradores de solo e materiais de cobertura. **Diversitas Journal**, v. 9, n. 3, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48017/dj.v9i3.2803>

WAOO, A. A.; FATIMA, M.; SINGH, S.; CHANDRA, N.; MAHATA, C.; MAL, J.; SINGH, N. K.; PANDEY, A. Exploring the potentials of algal derived bio-stimulants and biofertilizers for sustainable agriculture- a review. *Bioresource Technology Reports*, v. 33, p. 102605, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2026.102605>

WHITLOW, T. H.; BASSUK, N. L.; RANNEY, T. G.; REICHERT, D. L. An Improved Method for Using Electrolyte Leakage to Assess Membrane Competence in Plant Tissues. *Plant physiology*, v. 98, p. 198-205, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.98.1.198>

WOJDYŁO, A.; NOWICKA, P.; TURKIEWICZ, I. P.; TKACZ, K.; HERNANDEZ, F. Comparison of bioactive compounds and health promoting properties of fruits and leaves of apple, pear and quince. **Scientific Reports**, v. 11, p. 20253, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99293-x>

YU, M.; GOUVINHAS, I.; ROCHA, J.; BARROS, A. I. Phytochemical and antioxidant analysis of medicinal and food plants towards bioactive food and pharmaceutical

resources. **Scientific Reports**, v. 11, p. 10041, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89437-4>