

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA

CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE
CULTIVARES DE *Allium sativum* SOB DIFERENTES
FOTOPERÍODOS

Mestranda: Ketlyn Santos Sousa
Orientador: Prof. Dr. Alan Carlos da Costa
Coorientador: Dr. Adinan Alves da Silva

Rio Verde – GO
Agosto – 2024

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA

CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE
CULTIVARES DE *Allium sativum* SOB DIFERENTES
FOTOPERÍODOS

Mestranda: Ketlyn Santos Sousa
Orientador: Prof. Dr. Alan Carlos da Costa
Coorientador: Dr. Adinan Alves da Silva

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências - Agronomia, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde.

Rio Verde – Go
Agosto – 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBI) – Instituto Federal Goiano

S725c

Sousa, Ketlyn Santos.

Caracterização morfofisiológica de cultivares de *Allium sativum* sob diferentes fotoperíodos [manuscrito] / Ketlyn Santos Sousa. – Rio Verde, GO: IF Goiano, 2024.

52 fls.

Orientador: Prof. Dr. Alan Carlos da Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Adinan Alves da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. Fotossíntese. 2. Bulbificação. 3. Vernalização. 4. Alho. I. Costa, Alan Carlos da. II. Silva, Adinan Alves da. III. Título.

CDU 631.1/.8

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Ketlyn Santos Sousa

Matrícula:

2022202310140003

Título do trabalho:

CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE CULTIVARES DE *Allium sativum* SOB DIFERENTES FOTOPERÍODOS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 / 12 / 2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br KETLYN SANTOS SOUSA
Data: 25/11/2024 16:38:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rio Verde - Go
Local

25 / 11 / 2014
Data

Assinatura do autor e/ou detentor

gov.br

Documento assinado digitalmente
ALAN CARLOS DA COSTA
Data: 25/11/2024 17:05:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 63/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE *Allium sativum* SOB DIFERENTES FOTOPERÍODOS

Autora: Ketlyn Santos Sousa

Orientador: Dr. Alan Carlos da Costa

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 30 de agosto de 2024.

Prof. Dr. Alan Carlos da Costa (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Clarice Aparecida Megguer (Avaliadora externa)

Prof. Dr. Adinan Alves da Silva (Avaliador interno)

Prof.^a Dr.^a Luciana Minervina de Freitas Moura (Avaliadora interna)

Prof.^a Dr.^a Caroline Müller (Avaliadora interna)

Documento assinado eletronicamente por:

- Luciana Minervina de Freitas Moura, 2022202344060003 - Discente, em 30/09/2024 22:49:27.
- Adinan Alves da Silva, 2022202344060002 - Discente, em 30/09/2024 21:59:01.
- Caroline Muller Amaral, 2024202344060001 - Discente, em 30/09/2024 08:35:07.
- Clarice Aparecida Megguer, PROFESSOR ENS BÁSICO TECN TECNOLÓGICO, em 30/09/2024 08:30:53.
- Alan Carlos da Costa, PRO-REITOR(A) - CD0002 - PROPI-REI, em 30/09/2024 08:23:22.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/08/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 627043
Código de Autenticação: 062b821e2b



AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar e dar força ao longo desta jornada, permitindo chegar até aqui.

À minha mãe Hilda e ao meu pai Edivaldo, por todo o amor, apoio incondicional e incentivo nos momentos difíceis. Vocês são minha base e inspiração.

Aos meus irmãos Larissa, Wadryan e Maria Cecília, pelo amor e companheirismo e por sempre acreditarem em mim. Vocês tornam minha vida mais leve e alegre. Ao meu noivo Rogério, pelo carinho, compreensão e paciência, especialmente nos momentos em que precisei dedicar mais tempo e energia a este trabalho. Sua presença foi fundamental para superar todos os desafios.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alan Carlos da Costa, expresso minha mais profunda gratidão. Sua orientação, dedicação, paciência e sabedoria foram além do que eu poderia esperar. Agradeço o tempo e esforço investidos, pelas discussões enriquecedoras e por me desafiar a alcançar a excelência. Sua influência moldou não apenas este projeto, mas também minha trajetória como pesquisadora.

Ao meu coorientador, Dr. Adinan Alves da Silva, pela valiosa colaboração, instrução, tempo e paciência dispendidos para minha formação. A Dra. Luciana Minervina e Dra. Caroline Müller, por todo o apoio e ensinamentos ao longo desta jornada. Suas orientações foram essenciais e as lições que foram compartilhadas continuarão a guiar minha carreira e vida pessoal.

Aos colegas, Emily, Igor, Isabel, Laíne, Josiel, João e todos do laboratório, que tornaram o ambiente de trabalho mais agradável, divertido e colaborativo. Agradeço a todos pela ajuda, pelas discussões produtivas e pelo apoio mútuo em todos os momentos.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Goiano, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, ao Laboratório de Ecofisiologia e

Produtividade Vegetal, por conceder estrutura, equipamentos e reagentes para realização dos projetos de pesquisa pela excelente estrutura, que foi essencial em minha formação.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), minha mais profunda gratidão pelo financiamento da bolsa de estudos que foi essencial para a realização deste trabalho. Sua contribuição foi indispensável para que eu pudesse dedicar-me integralmente a esta pesquisa.

Às agências de fomento Fundação de Amparo à Pesquisa de Goiás (FAPEG), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da infraestrutura, reagentes e materiais que permitiram o desenvolvimento dos estudos nesta dissertação.

Toda a minha gratidão a todos que de alguma forma participaram e tornaram essa jornada possível. Obrigada.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Ketlyn Santos Sousa natural de Mineiros, Goiás, nascida no dia 17 de fevereiro de 1995, filha de Hilda Santos Araújo e Edivaldo Rodrigues de Souza. Formou-se em Agronomia pelo Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES), onde estudou de 2013 a 2017. Em seguida, especializou-se em Gestão de Agronegócios pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação (IPOG), concluindo a pós-graduação em 2022. No mesmo ano, iniciou no Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, aprofundando seus estudos na área de agronomia.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xiii
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iv
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo Geral.....	19
2.2. Objetivos Específicos	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Condições experimentais e imposição dos tratamentos.....	20
3.2. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i>	21
3.3. Pigmentos fotossintéticos	22
3.4. Dano em membranas.....	22
3.5. Atividades das enzimas CAT, POX e APX.....	22
3.6. Conteúdo de malonaldeído (MDA).....	23
3.7. Análises morfológicas.....	24
3.8. Análise estatística	24
4. RESULTADOS	25
4.1. Trocas Gasosas	25

4.2.	Fluorescência da clorofila.....	27
4.3	Pigmentos.....	32
4.4.	Dano em Membranas	34
4.5	Enzimas antioxidante e MDA.....	34
4.6	Morfologia.....	35
5.	DISCUSSÃO	39
6.	CONCLUSÃO	43
7.	REFERÊNCIAS.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa fotossintética (A), condutância estomática (g_s), taxa transpiratória (E), concentração interna e externa de CO_2 , eficiência da carboxilação (A/C_i), nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45, 73 e 92 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.....27

Figura 2 - Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Y_{II}) e taxa de transporte de elétrons (ETR), nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.....28

Figura 3 - Rendimento quântico máximo primário (F_v/F_m), rendimento quântico no transporte de elétrons (ΦE_0), rendimento quântico de dissipação de energia (ΦD_0), fluxo específico de dissipação da energia ao nível das clorofilas do complexo antena (DI_0/RC), nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de

Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.....30

Figura 4 - Índice de desempenho fotossintético (Pi/ABS), fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação (ABS/RC), fluxo de energia capturada por centro de reação (TR₀/RC), fluxo de transporte de elétrons por centro de reação (ET₀/RC), nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.....31

Figura 5 - Concentração de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), clorofila total (Chl *total*) e carotenoides (*Car*), nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.....33

Figura 6 - Taxa de liberação de eletrólitos (TLE %), nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares dentro de um mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.....34

Figura 7 – Atividade da catalase (CAT), atividade da peroxidase (POX), atividade da peroxidase do ascorbato (APX), conteúdo de malonaldeído (MDA), nos cultivares de

Allium sativum: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.....35

Figura 8 – Comprimento de raiz (CR), altura da planta (AP), número de folhas (NF), nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45, 73 e 92 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.....36

Figura 9 – Diâmetro de pseudocaule (DPC), índice de bulbificação (IB), peso de bulbo (PB), diâmetro de bulbo (DB), nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45, 73 e 92 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.....38

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

A – Taxa fotossintética líquida	PAR – Radiação fotossinteticamente ativa
EUA – Eficiência do uso da água	(ΦD_0) - Rendimento quântico de dissipação de energia
C_i – Concentração interna de CO_2	TLE – Taxa de extravasamento de eletrólitos
C_a – Concentração externa de CO_2	Chl <i>a</i> – Clorofila <i>a</i>
DAP – Dias após o plantio	Chl <i>b</i> – Clorofila <i>b</i>
DPC – Diâmetro do Pseudocaule	Car – Carotenoides
DMSO – Dimetilsulfóxido	YII – Rendimento quântico efetivo do fotossistema II
E – Taxa transpiratória foliar	CR – Comprimento de raiz
FSII – Fotossistema II	PB – Peso do bulbo
F_v/F_m – Rendimento quântico máximo primário	DB – Diâmetro do bulbo
g_s – Condutância estomática	
NF – Número de folhas	
MDA – Conteúdo de malonaldeído	
ETR – Taxa de transporte de elétrons	
A/C_i – Eficiência instantânea da Carboxilação	
Pi/ABS - Índice de desempenho fotossintético	
ABS/RC - Fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação	
TR ₀ /RC - Fluxo de energia capturada por centro de reação	
ET ₀ /RC - Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação	
(ΦE_0) - Rendimento quântico no transporte de elétrons	
(DI_0/RC) - Fluxo específico de dissipação da energia ao nível das clorofilas do complexo antena	

RESUMO

SOUSA, KETLYN SANTOS; Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, agosto de 2024. **Caracterização morfofisiológica de cultivares de *Allium sativum* sob diferentes fotoperíodos.** Orientador: Dr. Alan Carlos da Costa, Coorientador: Dr. Adinan Alves da Silva.

O alho (*Allium sativum* L.) é uma das hortaliças de maior relevância econômica no Brasil. Fatores ambientais, como o fotoperíodo prolongado, são cruciais para o desenvolvimento adequado dessa cultura. Sem as condições ideais as plantas permanecem em estágio vegetativo, impedindo a bulbificação. Em regiões em que as exigências não são naturalmente atendidas, a vernalização é necessária. No entanto, mesmo após a vernalização, a cultura permanece sensível às variações climáticas. Então, o objetivo deste estudo foi caracterizar a fisiologia e morfologia de quatro cultivares de alho sob condições de dois fotoperíodos, visando avaliar o efeito destas condições no processo de crescimento e bulbificação das cultivares. O experimento foi conduzido em câmara de crescimento, com os cultivares plantados sob fotoperíodos de 11 horas de luz/13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz/11 horas de escuro (13/11h). Foram avaliadas características morfológicas e fisiológicas aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Os resultados mostraram que o fotoperíodo de 13 horas favoreceu maiores diâmetros e pesos de bulbos nos cultivares nobres, embora tenha ocorrido a queda nas taxas de fotossíntese, o cultivar Chonan obteve os maiores resultados em diâmetro e peso de bulbo. Porém para determinar com precisão qual cultivar é mais adequado para regiões de dias curtos, são

necessários mais estudos que combinem variáveis além do fotoperíodo, como temperatura e irradiância.

Palavras-chave: Fotossíntese, Bulbificação, Vernalização, Alho.

ABSTRACT

SOUSA, KETLYN SANTOS; Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, agosto de 2024. **Caracterização morfofisiológica de cultivares de *Allium sativum* sob diferentes fotoperíodos.** Orientador: Dr. Alan Carlos da Costa, Coorientador: Dr. Adinan Alves da Silva.

Garlic (*Allium sativum* L.) is one of the most economically significant vegetables in Brazil. Environmental factors, such as an extended photoperiod, are crucial for proper development of this crop. Without ideal conditions, plants remain in the vegetative stage, preventing bulb formation. In regions where these requirements are not naturally met, vernalization is necessary. However, even after vernalization, the crop remains sensitive to climatic variations. Therefore, the objective of this study was to characterize the physiology and morphology of four garlic cultivars under two photoperiod conditions, aiming to evaluate the effects of these conditions on cultivars growth and bulb formation processes. The experiment was conducted in a growth chamber, with the cultivars grown under photoperiods of 11 hours of light/13 hours of darkness (11/13h) and 13 hours of light/11 hours of darkness (13/11h). Morphological and physiological characteristics were assessed at 45 and 73 days after planting (DAP). The results showed that the 13-hour photoperiod favored larger bulb diameters and weights in noble cultivars. Although there was a decrease in photosynthetic rates, the Chonan cultivar achieved the highest results in bulb diameter and weight. However, to accurately determine which cultivar is best suited for short-day regions, further studies are needed that combine variables beyond photoperiod, such as temperature and irradiance.

Key words: Photosynthesis, Bulbing, Vernalization, Garlic.

1. INTRODUÇÃO

O alho é uma cultura originária da Ásia (Lana, 2022), originalmente de clima frio e dias longos, onde a temperatura e o fotoperíodo são determinantes para o bom desenvolvimento da cultura (Atif *et al.*, 2021a). A cultura caracteriza-se como uma monocotiledônea herbácea, da família *Liliaceae*, do gênero *Allium*, um dos maiores gêneros da família (FAO, 2007). O alho é uma planta bulbosa dividida em bulbilhos (Resende *et al.*, 2024), sendo uma das espécies hortícolas mais produzidas e comercializadas no Brasil e no mundo. É uma cultura muito utilizada como condimento pelo sabor e aroma característico (Barboza *et al.*, 2020) provenientes da alicina, uma substância também conhecida pelo potencial antifúngico e bactericida. Essas características permitem que o alho seja utilizado na indústria farmacêutica (Arzanlou & Bohlooli, 2010) e como biopesticida (Azmi *et al.*, 2022).

Ao longo dos muitos anos de cultivo e seleção, o alho foi perdendo a capacidade de produzir sementes férteis. Em algumas variedades, os talos das flores e as flores não chegam a formar (Rosen *et al.*, 2023). Atualmente, a produção depende quase que exclusivamente de propagação assexuada. Embora a floração da cultura exista, a propagação é ineficiente (Simon & Janderek 2004), uma vez que as sementes verdadeiras de alho apresentam baixas taxas de germinação e difícil propagação inicial (Rosen *et al.*, 2023).

A produção mundial de alho em 2022 atingiu 29,1 milhões de toneladas, com crescimento de 0,4% em relação ao ano de 2021. A China é o principal produtor de alho no mundo com safra de 21,3 milhões de toneladas em 2022, sendo responsável por 73,4% da produção mundial (Conab, 2023). Atualmente, o Brasil ocupa a 13ª posição, com participação de 0,6% na produção mundial. No entanto, a produção do alho no Brasil vem

aumentando ao longo dos últimos anos, atingindo a marca de 199 mil toneladas em 2023, representando o acréscimo a cerca de 10% em relação ao ano anterior (Conab, 2023). Os principais produtores nacionais são os estados de Minas Gerais e Goiás, que juntos respondem por 80% da produção do país, seguidos pelos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Conab, 2023). O consumo médio anual de alho no Brasil é de 1,5 kg por habitante por ano (Grundling *et al.*, 2021), o que não é suprido com a produção interna. Em 2023, apenas 63,4% do alho consumido internamente foi produzido no país, e os 36,6% restantes foram importados principalmente da Argentina e da China (Conab, 2023).

No Brasil, a produção de alho é basicamente dividida em duas categorias: a) de alhos nobres, os quais possuem bulbos maiores e menor quantidade de bulbilho, com maior aceitação comercial; e b) de alhos comuns ou seminobres, com bulbos menores e maior quantidade de bulbilho, e com menor aceitação por parte do consumidor (Rezende *et al.*, 2024). As cultivares de alho comum são adaptadas às regiões mais quentes e com fotoperíodo menor, já os cultivares nobres requerem baixas temperaturas e fotoperíodos longos. Essa condição é alcançada pelo processo de vernalização das sementes, e as sementes são expostas a tratamento com baixa temperatura para indução do florescimento, permitindo o plantio em regiões com clima tropical sazonal, como no Cerrado de Goiás.

O processo de vernalização modifica a fisiologia e o metabolismo das plantas (Dufoo-Hurtado *et al.*, 2015), estimulando o acúmulo de fitormônios, como a citocinina e a giberelina (Yuri *et al.*, 2004), e diminuindo o ciclo da planta, tornando-a precoce (Wu *et al.*, 2015), tornando a planta menos exigente em fotoperíodo. A temperatura e o período de exposição necessários para a vernalização dos cultivares de alho dependem das condições climáticas do ambiente que será plantado (Luz *et al.*, 2023; Azmi *et al.*, 2022; Wu *et al.*, 2016). No Brasil, o processo de vernalização consiste basicamente no armazenando dos bulbilhos em câmaras frias, com temperatura de 3 a 5°C e umidade relativa entre 65 e 70%, por períodos que variam entre 40 e 60 dias, a depender da região de plantio (Rezende *et al.*, 2024). No entanto, já existem relatos indicando que temperaturas ainda mais baixas e até mesmo negativas, podem promover aumento de produtividade (Morais *et al.*, 2023; Luz *et al.*, 2023; Luz *et al.*, 2022).

Apesar da vernalização das sementes permitir o cultivo do alho em diferentes regiões edafoclimáticas, mesmo após o tratamento, as plantas permanecem sensíveis às variações climáticas, com influência do fotoperíodo e temperatura durante o cultivo na

morfologia, fisiologia e metabolismo da cultura (Tadamura & Torada, 2023; Atif *et al.*, 2020b). O desenvolvimento do bulbo de alho é induzido por combinação de fotoperíodo e temperatura. Assim, combinar fotoperíodos mais longos com temperaturas entre 25°C e 30°C, pode ser a chave para obter máximas produtividades. No entanto, como estes fatores podem variar entre os cultivares, a seleção do cultivar que melhor se adapta a cada região torna-se crucial para a otimização da produção do alho (Sánchez-Virosta *et al.*, 2021; Atif, *et al.*, 2019).

Fatores como alta temperatura, além de reduzir a produtividade e qualidade das espécies vegetais (Wang *et al.*, 2020), causam danos nas características anatômicas e morfológicas, como folhas menores e de maior espessura (Bhattarai *et al.*, 2021), murchamento (Yang *et al.*, 2024) e abscisão foliar (Liu *et al.*, 2023). Alterações na estrutura das folhas afeta diretamente as características fisiológicas das plantas, como a taxa fotossíntese (Filaček *et al.*, 2022) condutância estomática (Morales *et al.*, 2020), eficiência do fotossistema II e pigmentos fotossintéticos (Parrotta *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2020).

A luz é responsável por regular os processos de desenvolvimento nos vegetais, interferindo diretamente na qualidade e crescimento. Tanto a intensidade de fótons quanto as horas de luz são capazes de beneficiar a produção ou prejudicá-la (Wang *et al.*, 2024). O fotoperíodo é responsável por processos do desenvolvimento da planta, como a dormência, formação de brotos e tubérculos, floração e senescência, afetando de forma diferente as diversas culturas, que são divididas basicamente em duas categorias, plantas de dias curtos e plantas de dias longos (Taiz & Zeiger, 2013). O fotoperíodo influencia a morfologia, fisiologia, metabolismo, acúmulo e partição de fotoassimilados (Xu *et al.*, 2024). Assim, mudanças no padrão de fotoperíodo pode resultar em estresse (Roeber *et al.*, 2022), causando danos na capacidade fotossintética das plantas, induzindo a fotoinibição (Roeber *et al.*, 2021), podendo causar danos oxidativos (Yang *et al.*, 2024; Roeber *et al.*, 2021; Hasanuzzaman *et al.*, 2020; Abuelsoud *et al.*, 2020), com a produção de Eros, degradando pigmentos, proteínas e enzimas essenciais a fotossíntese e respiração (Astaneh *et al.*, 2022).

A influência do fotoperíodo sobre as plantas varia entre as espécies, com aumento ou a diminuição da área foliar, redução na taxa de assimilação líquida, aumento de peso seco (Adams & Langton, 2005; Hay, 1990). Estudos mostraram que o fotoperíodo no alho impacta determinados grupos de genes, que estão envolvidos em diversas vias, como a transdução de sinais, sinalização hormonal, biossíntese de aminoácidos, amido,

sacarose e ritmo circadiano. Além disso, o fotoperíodo pode ser o fator controle no mecanismo molecular na formação do bulbo de alho (Atif *et al.*, 2021a).

Além do fotoperíodo e da irradiância, a qualidade da luz pode afetar significativamente partição de biomassa, em experimentos com açafrão, em maior proporção de luz vermelha, a alocação de biomassa ocorreu mais intensamente para as folhas, enquanto maior proporção de luz azul a alocação de biomassa foi maior para a parte subterrânea (Moradi *et al.*, 2021). A luz vermelha estimula o acúmulo de carboidratos nas folhas (Zhou *et al.*, 2021), sendo altamente eficiente para os processos fotossintéticos, porém, ela pode inibir o transporte de fotoassimilados para outros órgãos, acumulando carboidratos na folha diminuindo a fotossíntese (Moradi *et al.*, 2021; Dou *et al.*, 2017; Sæbø *et al.*, 1995).

Assim, conhecer como os cultivares utilizados no país respondem a diferentes fotoperíodos, e quais condições são mais limitantes para a produção, pode fornecer melhor entendimento sobre a seleção do cultivar e época de plantio, e pode permitir a expansão do cultivo do alho, melhorando a produção e o abastecimento interno.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi caracterizar a fisiologia e morfologia de quatro cultivares de alho sob condições de dois fotoperíodos, visando avaliar o efeito destas condições no processo de crescimento e bulbificação das cultivares.

2.2. Objetivos Específicos

Avaliar o efeito do fotoperíodo nas características morfológicas de diferentes cultivares de alho.

Analisar o fator fotoperíodo na fase vegetativa de cultivares de alho e a as características fisiológicas e de bulbificação das plantas.

Determinar a possibilidade de plantio da cultura em regiões que possuam dias mais curtos e temperaturas mais altas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Condições experimentais e imposição dos tratamentos

O experimento foi conduzido em câmara de crescimento no Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Goiás, Brasil, durante o período de maio a agosto de 2024.

Bulbilhos sementes dos cultivares comuns Amarante (Embrapa, Cristópolis-BA, Brasil) e Brs Hozan (Embrapa, distribuído por Agrocinco, Monte Mor-SP, Brasil), e dos cultivares nobres Chonan (Wehrmann agrícola Ltda, Cristalina-GO, Brasil) e Ito (Wehrmann agrícola Ltda, Cristalina, Brasil) foram plantados em vasos de 2 dm³, preenchidos com 1,6 kg de substrato contendo solo e areia (2:1). Foi realizada a calagem e adubação a partir da análise química do substrato, conforme recomendação para a cultura do alho, assim como a necessidade de rega (Embrapa, 2024). As sementes foram cultivadas em temperatura de 22°C/18°C (dia/noite) e, com 38 dias após o plantio, a temperatura da câmara foi alterada para 20°C/16°C (dia/noite), até a fase de diferenciação de bulbilho. As plantas foram cultivadas em irradiância artificial de aproximadamente 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com luzes compostas na maioria pelos comprimentos de onda vermelho, e cerca de 5% das luzes nos comprimentos de ondas azul. Os tratamentos consistiram em 2 fotoperíodos, impostos durante todo o ciclo das culturas, um de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h, dia/noite) e o outro de 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h, dia/noite)

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso (DBC), composto por 4 cultivares e 2 fotoperíodos, com 5 repetições, totalizando 40 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por 5 vasos.

As análises morfológicas e trocas gasosas das plantas de alho foram realizadas aos 45, 73 e 92 dias após o plantio (DAP), as análises de pigmentos e fluorescência da

clorofila aos 45 e 73 DAP, e as análises enzimáticas e MDA aos 73 DAP. Os cultivares iniciaram o processo de bulbificação próximo aos 30 DAP, com pleno processo de bulbificação aos 70 DAP. As análises foram conduzidas de acordo com o ciclo dos cultivares nobres por possuírem ciclos mais curtos (90 a 130 dias), enquanto os cultivares comuns trabalhadas podem variar de 130 a 160 dias (Embrapa, 2024).

3.2. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*

As trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* foram mensuradas com um analisador de gases no infravermelho com fluorômetro acoplado (IRGA; LI6800xt, Licor®, Lincoln, Nebraska, EUA). As variáveis de taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) foram mensuradas em folhas completamente expandidas no terço inferior da planta com radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante ($1000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração atmosf\u00e9rica controlada de CO_2 (C_a) ($\sim 400 \mu\text{mol mol}^{-1}$), temperatura (25°C) e umidade (50%). A partir desses dados foram estimados a efici\u00eancia do uso da \u00e1gua ($EUA = A/E$) e a efici\u00eancia instant\u00e2nea de carboxila\u00e7\u00e3o (A/C_i) (Machado *et al.*, 2005).

As vari\u00e1veis de fluoresc\u00eancia de clorofila *a* foram mensuradas aos 45 e 73 DAP, utilizando o IRGA, e foram analisadas caracter\u00edsticas de rendimento qu\u00e2ntico efetivo do fotossistema II (Y_{II}) e a taxa aparente de transporte de el\u00e9trons (ETR) foram avaliadas nas mesmas folhas em que foram medidas as trocas gasosas.

A fluoresc\u00eancia transiente da clorofila *a* foi determinada com o uso de fluor\u00f4metro port\u00e1til FluorPen FP 100 (Photon Systems Instruments; Drasov, Czech Republic), em folhas completamente expandidas no terço inferior da planta, a qual foi previamente adaptada ao escuro por 30 minutos para oxida\u00e7\u00e3o completa do sistema fotossint\u00e9tico de transporte de el\u00e9trons. Posteriormente, foram submetidas a um pulso de $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de luz azul, medindo-se a fluoresc\u00eancia m\u00ednima (F_0) em $50 \mu\text{s}$ quando todos os centros de rea\u00e7\u00e3o PSII (fotossistema II) est\u00e3o abertos e definido como o passo O, seguida pelo passo J (a 2 ms), o passo I (a 30 ms) e a fluoresc\u00eancia m\u00e1xima (F_M) quando todos os centros de rea\u00e7\u00e3o PSII est\u00e3o fechados, conhecido como passo P. Estes valores foram utilizados para a estimativa de v\u00e1rios \u00edndices bioenerg\u00e9ticos do PSII, conforme (Strasser *et al.*, 2000). Foram estimados o rendimento qu\u00e2ntico m\u00e1ximo prim\u00e1rio (F_v/F_m), rendimento qu\u00e2ntico no transporte de el\u00e9trons (ΦE_0); rendimento qu\u00e2ntico de dissipa\u00e7\u00e3o de energia (ΦD_0); fluxo espec\u00edfico de dissipa\u00e7\u00e3o da energia ao

nível das clorofilas do complexo antena (DI_0/RC); índice de desempenho fotossintético (Pi/ABS); fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação (ABS/RC); fluxo de energia capturado por centro de reação (TR_0/RC); fluxo de transporte de elétrons por centro de reação (ET_0/RC).

3.3. Pigmentos fotossintéticos

Pigmentos fotossintéticos foram determinados pelo método de dimetilsulfóxido (DMSO), segundo metodologia descrita por Ronen & Galun (1984). Discos foliares ($0,59 \text{ cm}^2$) foram incubados em 5 mL de solução contendo DMSO saturado com carbonato de cálcio (CaCO_3), em banho-maria, a 65°C , por 24 h. Após esse período, a solução foi lida em espectrofotômetro UV-VIS (Evolution 60S, Thermo Fisher Scientific Inc., MA, EUA), nos comprimentos de onda de 480, 649,1 e 665,1 nm. A concentração de clorofila *a* ($C_a = 12,47A_{665,1} - 3,62A_{649,1}$), clorofila *b* ($C_b = 25,06A_{649,1} - 6,5A_{665,1}$) e carotenoides totais ($C_t = (1000A_{480} - 1,29C_a - 53,78C_b) / 220$) foi calculada de acordo com Wellburn (1994) e expressos por área.

3.4. Danos celulares

Os danos celulares foram avaliados a partir da taxa de liberação de eletrólitos (TLE) conforme metodologia de Silva *et al.* (2014), adaptada. Discos foliares ($1,96 \text{ cm}^2$) foram imersos em 30 mL de água deionizada em frascos de vidro âmbar e mantidos em repouso. Após 24 horas foi mensurada a condutividade livre (CL, $\mu\text{S cm}^{-1}$) utilizando um condutivímetro digital portátil (CD-850, Instruthern, São Paulo, Brasil). Em seguida, os frascos foram colocados em estufa a 100°C por 1 hora para obtenção da condutividade total (CT, $\mu\text{S cm}^{-1}$). A TLE foi calculada como $TLE (\%) = [(CL/CT) \times 100]$.

3.5. Atividades das enzimas CAT, POX e APX

As atividades das enzimas do sistema antioxidante, catalase (CAT), peroxidase (POX) e peroxidase do ascorbato (APX), foram determinadas a partir de aproximadamente 0,3 g de tecido foliar macerados em almofariz com nitrogênio líquido contendo 2 mL do seguinte meio de extração: tampão fosfato de tampão fosfato de potássio (50 mM, pH 6,8), ácido etilenodiaminotetracético (EDTA, 0,1 mM), fluoreto de fenilmetilsulfônico (PMSF, 1 mM) e polivinilpirrolidona (PVP, 2%). O extrato enzimático foi centrifugado a 12000 g durante 15 min a 4°C . O sobrenadante foi utilizado como extrato bruto.

A atividade da CAT foi determinada pela velocidade da degradação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 240 nm durante 3 min a 25°C (Havir & Mc Hale, 1987), com algumas modificações. A reação foi iniciada após adição de 10 μL do extrato bruto enzimático em 990 μL do meio de reação contendo tampão de fosfato de potássio (25 mM, pH 7,0) e H_2O_2 (2,5 mM). O coeficiente de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Anderson *et al.*, 1995) foi utilizado para calcular a atividade da enzima.

A atividade da POX foi determinada de acordo com Kar & Mishra (1976). A reação consistiu em 100 μL do extrato enzimático bruto e 1,9 mL da mistura da reação contendo fosfato de potássio (25 mM; pH 6,8), pirogalol (20 mM) e peróxido de hidrogênio (20 mM). A absorbância foi mensurada a 420 nm em espectrofotômetro UV-Vis por 1 min a 25°C. O coeficiente de extinção de $0,00247 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ foi usado para calcular a atividade da POX, que foi expressa em $\mu\text{mol min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

Para atividade da APX foi utilizada a metodologia proposta por Nakano & Asada (1981). A reação foi iniciada após a adição de 50 μl do extrato enzimático bruto em 1,95 ml do meio de reação contendo tampão de fosfato de potássio (50 mM, pH 6,0), H_2O_2 (1 mM) e ascorbato (0,8 mM). A atividade da APX foi medida pela taxa de oxidação do ascorbato a 290 nm durante um minuto a 25°C. O coeficiente de extinção molar de $2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Nakano & Asada, 1981) foi utilizado para calcular a atividade da APX.

A atividade das enzimas foi expressa com base em proteína, cuja concentração foi determinada de acordo com o método de Bradford (Bradford, 1976), no comprimento de onda de 595 nm. As amostras foram coletadas durante a manhã, congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em ultrafreezer até o momento das análises.

3.6. Conteúdo de malonaldeído (MDA)

O conteúdo de MDA foi avaliado aos 73 DAP para determinar a peroxidação de lipídios utilizando o método proposto por Heath, & Packer (1968). Foram maceradas aproximadamente 0,16 g de folhas frescas em almofariz congelado com solução de extração de 2 mL de TCA 0,1%. O extrato foi centrifugado a 12000 g, durante 15 minutos a 4°C e, posteriormente, 500 μL do sobrenadante foi adicionado a 1,5mL da solução TBA 0,5% + TCA 20% (p/v) e aquecidos em estufa a 90°C, em tubos hermeticamente fechados, por 20 minutos. A reação foi paralisada em banho de gelo por um minuto, posteriormente foi centrifugado a 3000 g por 4 minutos e as leituras realizadas em espectrofotômetro UV-VIS (modelo Evolution 60S, Thermo Fisher Scientific, Madison, EUA), a 440, 532 e 600 nm. A concentração do complexo

malonaldeído-ácido tiobarbitúrico (MDA-TBA) produzido foi calculada, utilizando o coeficiente de extinção molar de $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Heath & Packer, 1968) através da fórmula: $\text{MDA (nmol ml}^{-1}\text{)} = [(A532-A600) / 155000] 106$. Os dados de TBARS foram expressos em $\text{nmol TBA-MDA g}^{-1} \text{ MF}$.

3.7. Análises morfológicas

As plantas de alho foram coletadas para a mensuração da altura da planta (AP, cm), número de folhas (NF), diâmetro do pseudocaule (DPC, cm), comprimento de raiz (CR, cm), diâmetro de bulbo (DB, cm) e peso de bulbo (PB, g). O índice de bulbificação (IB) foi calculado pela razão entre o diâmetro de bulbo e o diâmetro do pseudocaule ($\text{IB} = \text{DB/DPC}$), em que a bulbificação é considerada iniciada quando $\text{IB} = 2$ (Mann, 1952).

3.8. Análise estatística

Os dados obtidos foram previamente submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk e as análises de variância pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey. Todas as análises foram realizadas considerando $p \leq 0,05$, utilizando o programa Sistema de Análise de Variância (SISVAR®, versão 5.3).

4. RESULTADOS

4.1. Trocas Gasosas

As análises de trocas gasosas apresentaram diferenças significativas entre os fotoperíodos e cultivares.

Aos 45 DAP, embora o cultivar Ito tenha obtido a maior média para taxa fotossintética (A), não houve diferença significativa entre os fotoperíodos, assim como no cultivar BRS Hozan. Os cultivares Amarante e Chonan, por outro lado, apresentaram diferenças entre os fotoperíodos de forma oposta: enquanto a Amarante apresentou a melhor média com 11 horas de luz, o cultivar Chonan apresentou a melhor média com 13 horas, sendo também o cultivar com as médias mais baixas para A (Figura 1A). O cultivar Ito obteve maior condutância estomática (g_s) e apresentou diferença entre os fotoperíodos, com média maior no fotoperíodo de 11 horas. No cultivar BRS Hozan, a maior média de g_s foi também com 11 horas de luz, embora não tenha se diferenciado dos cultivares Chonan e Amarante (Figura 1D). Houve diferença para taxa transpiratória (E) entre os fotoperíodos, apenas no cultivar BRS Hozan, que obteve maior E com 11 horas de luz. Embora não tenha apresentado diferenças significativas, o cultivar Ito mostrou as maiores médias de E (Figura 1G). A relação entre a concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) foi semelhante entre os cultivares, com exceção do cultivar Chonan, que apresentou diferença entre os fotoperíodos, sendo que 13 horas de luz resultou na relação C_i/C_a mais alta (Figura 1J). A eficiência da carboxilação (A/C_i) também apresentou diferenças entre os fotoperíodos, exceto para o cultivar BRS Hozan. O cultivar Amarante apresentou maior média no fotoperíodo de 11 horas, enquanto os cultivares Chonan e Ito foram melhores com fotoperíodo de 13 horas (Figura 1M).

Aos 73 DAP, os cultivares BRS Hozan, Chonan e Ito apresentaram diferenças entre os fotoperíodos, com 11 horas de luz demonstrando valores médios de A , g_s e E

mais elevados em comparação ao fotoperíodo 13/11 h. O cultivar Amaranthe, por sua vez, apresentou diferenças entre os fotoperíodos apenas em g_s e E , sendo as maiores médias observadas com 13 horas de luz. Entre os cultivares, as diferenças foram pequenas: Ito, no fotoperíodo de 11 horas, obteve A mais baixa; Amaranthe apresentou a maior média de g_s ; e a BRS Hozan, no fotoperíodo de 11 horas, apresentou maior E . Já os cultivares Chonan e Ito, no fotoperíodo de 13 horas, apresentaram os menores resultados de E . (Figura 1B, E e H). A relação C_i/C_a foi semelhante em todos os cultivares, com diferença entre os fotoperíodos apenas para Ito, que apresentou o maior valor médio com fotoperíodo de 11 horas (Figura 1K). A eficiência da carboxilação (A/C_i) dos cultivares BRS Hozan e Chonan diferiram entre os fotoperíodos. Chonan apresentou queda acentuada em A/C_i no fotoperíodo de 13 horas, porém, com 11 horas de luz, tanto quanto BRS Hozan foram mais eficientes na carboxilação (Figura 1N).

Aos 92 DAP, a A , não apresentou diferença estatística entre os cultivares, entre os fotoperíodos os cultivares Chonan e BRS Hozan, apresentaram diferenças significativas, com maior média com 11 horas de luz (Figura 1C). Em relação a g_s e E as tendências foram semelhantes, apenas o cultivar Amaranthe apresentou diferença estatística entre as horas de luz, no fotoperíodo de 11 horas foi observado a maior média, o cultivar Ito apresentou a tendência inversa com fotoperíodo de 13 horas a maior média (Figura 1F e I). A relação C_i/C_a não demonstrou diferença significativa entre fotoperíodos e cultivares (Figura 1L). Na A/C_i apenas os cultivares Chonan e BRS Hozan apresentaram diferença entre fotoperíodos, 11 horas de luz apresentou maiores médias (Figura 1O).

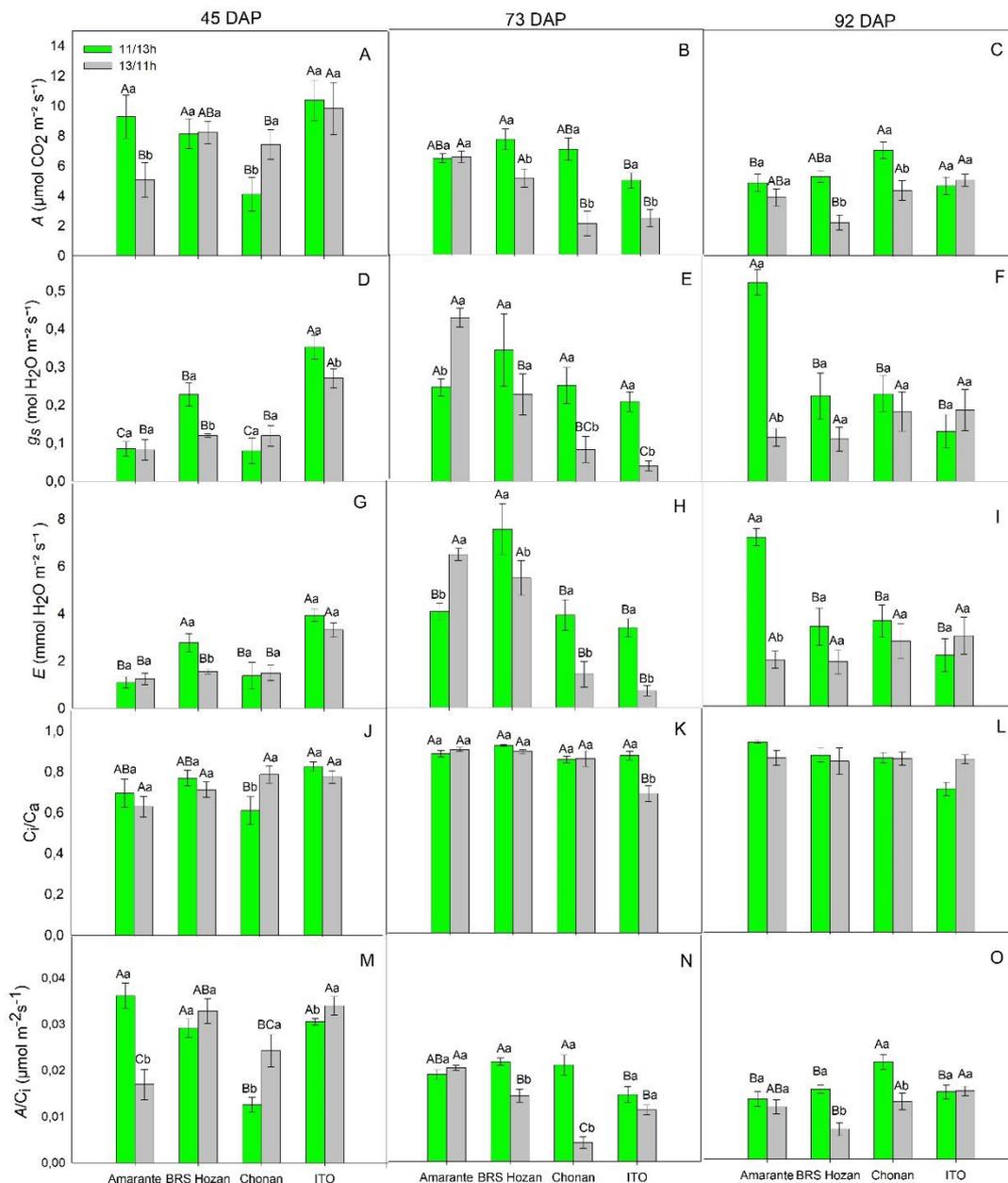


Figura 1. Taxa fotossintética (A) [A-B-C], condutância estomática (g_s) [D-E-F], taxa transpiratória (E) [G-H-I], relação entre concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) [J-K-L] e eficiência da carboxilação (A/C_i) [M-N-O], nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45, 73 e 92 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.

4.2. Fluorescência da clorofila

O rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Y_{II}) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) mostrou diferenças estatísticas para todos os cultivares. Amarante e BRS

Hozan, com fotoperíodo de 11 horas de luz, e Chonan e Ito, com fotoperíodo de 13 horas de luz, demonstraram médias maiores de Y_{II} e ETR, aos 45 DAP (Figura 3A, C).

Aos 73 DAP, houve diferenças significativas apenas entre os cultivares de *Allium sativum* com fotoperíodo de 13 horas de luz, sendo menor Y_{II} observado no cultivar Ito, em relação Amarante e BRS Hozan. Comparando os fotoperíodos, dentro de cada cultivar, diferenças significativas foram observadas em BRS Hozan, que demonstrou baixos valores de Y_{II} com 11 horas de luz. A ETR, diferiu significativamente, apenas, com fotoperíodo de 13 horas de luz, para cultivar Ito, quando comparado a Amarante e Chonan (Figura 4B, D).

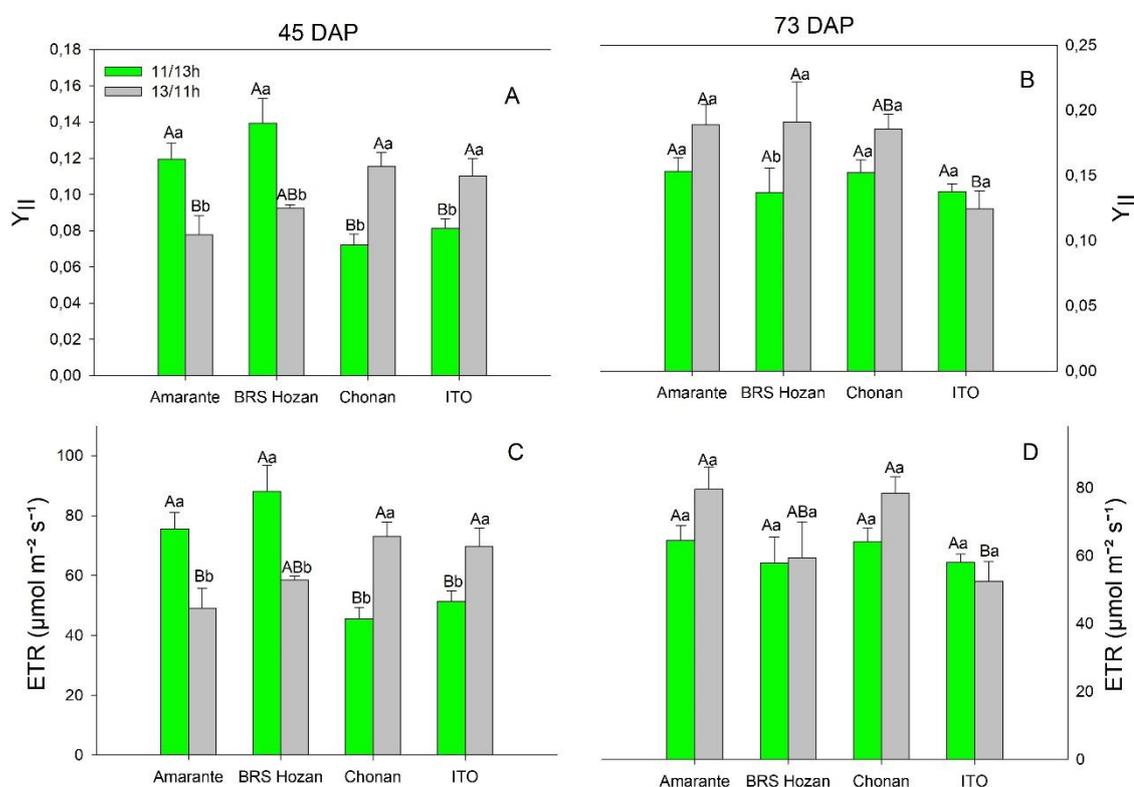


Figura 2. Rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Y_{II}) [A-B], taxa de transporte de elétrons (ETR) [C-D], nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.

Os dados de fluorescência transiente aos 45 DAP, demonstram diferenças estatísticas. Apenas as variáveis de fluxo de energia capturada por centro de reação (TR_0/RC) e o fluxo de transporte de elétrons por centro de reação (ET_0/RC), não

apresentaram diferenças entre os cultivares e fotoperíodo (Figura 4E e G). No rendimento quântico máximo primário (F_v/F_m), não foi observado diferenças entre os cultivares, em relação ao fotoperíodo apenas o cultivar Brs Hozan apresentou diferença, com a maior média no fotoperíodo de 11 horas (Figura 3A). Rendimento quântico no transporte de elétrons (ϕE_0), o cultivar Chonan apresentou as maiores médias, porém apenas o cultivar Brs Hozan, apresentou diferença entre fotoperíodos, sendo 11 horas a maior média (Figura 3C). No rendimento quântico de dissipação de energia (ϕD_0), não houve diferença entre os cultivares e apenas Ito demonstrou diferença entre fotoperíodo, sendo 11 horas a maior média (Figura 3E). Para o fluxo específico de dissipação da energia ao nível das clorofilas do complexo antena (DI_0/RC), o cultivar amarante apresentou as maiores médias. A Cultivar Brs Hozan demonstrou diferença significativa, como fotoperíodo de 13 horas apresentando maior média, já o cultivar Ito apresentou maior média significativa com fotoperíodo de 11 horas (Figura 3G). O índice de desempenho fotossintético (P_i/ABS), o cultivar Chonan apresentou as maiores médias, e tanto Chonan quanto Brs Hozan diferenciaram-se estatisticamente entre os fotoperíodos, sendo 11 horas maior média (Figura 4A). O fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação (ABS/RC), demonstrou diferença entre fotoperíodos nos cultivares Brs Hozan e Ito, em que a maior média em Ito foi observada no fotoperíodo de 11 horas e em Brs Hozan em 13 horas (Figura 4C).

Aos 73 DAP as variáveis F_v/F_m , ϕE_0 , ϕD_0 , TR_0/RC não apresentaram diferenças significativas entre cultivares e tratamentos (Figura 3B, D, F e Figura 4F). Em DI_0/RC houve diferenças apenas entre cultivares, sendo as maiores médias apresentadas pela Amarante e as menores médias em Chonan (Figura 3H). O P_i/ABS também apresentou diferença apenas entre cultivares, sendo em Chonan as maiores médias (Figura 4B). ABS/RC também demonstrou diferença apenas entre os cultivares, com Amarante apresentando médias mais altas (Figura 4D). Para ET_0/RC foi observado diferenças entre os tratamentos apenas no cultivar Amarante, em que a maior média foi obtida com 11 horas de luz, Amarante também apresentou as maiores médias dentre os cultivares (Figura 4H).

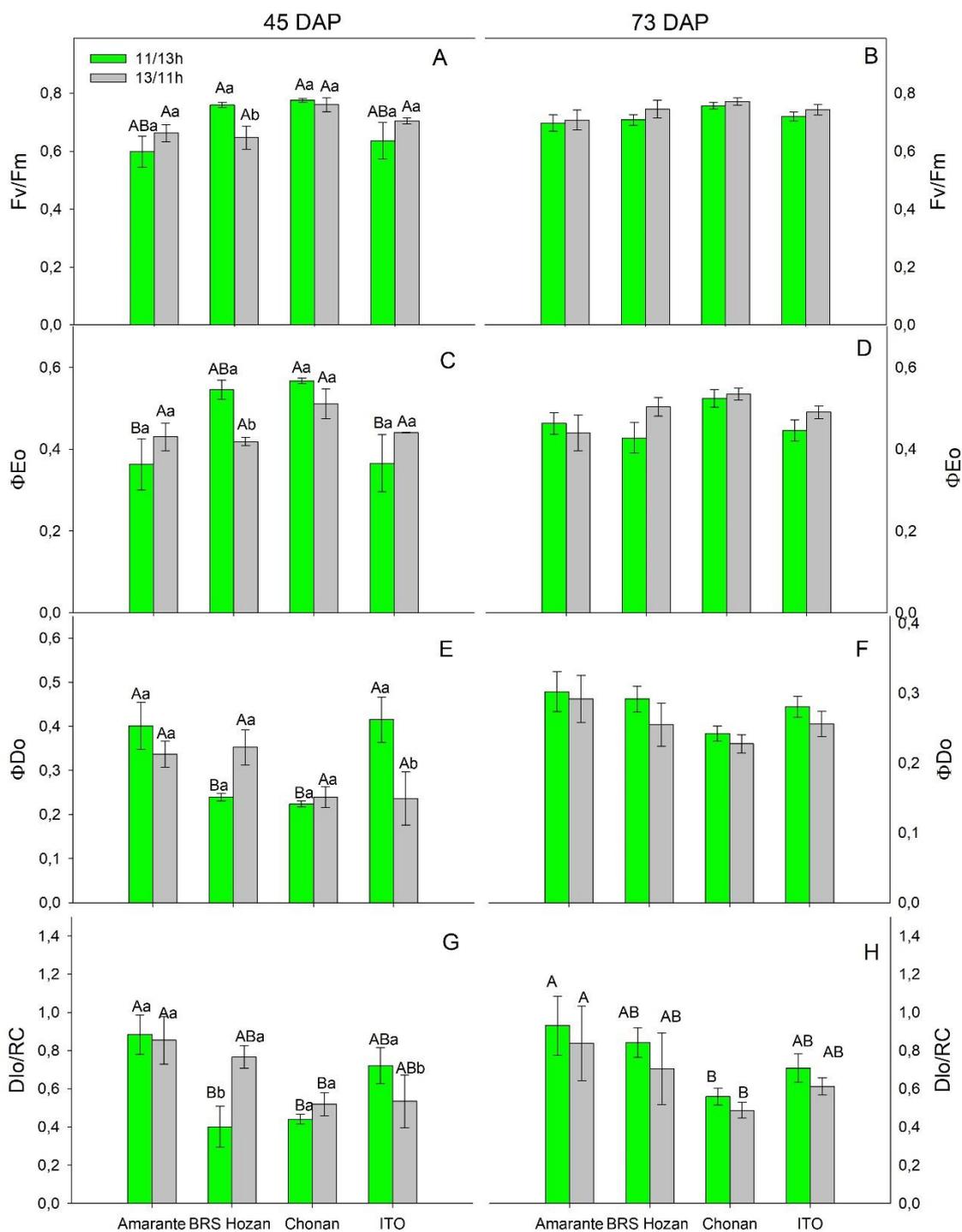


Figura 3. Rendimento quântico máximo primário (F_v/F_m) [A-B], rendimento quântico no transporte de elétrons (ΦE_0) [C-D], rendimento quântico de dissipação de energia (ΦD_0) [E-F], fluxo específico de dissipação da energia ao nível das clorofilas do complexo antena (DI_0/RC) [G-H], nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.

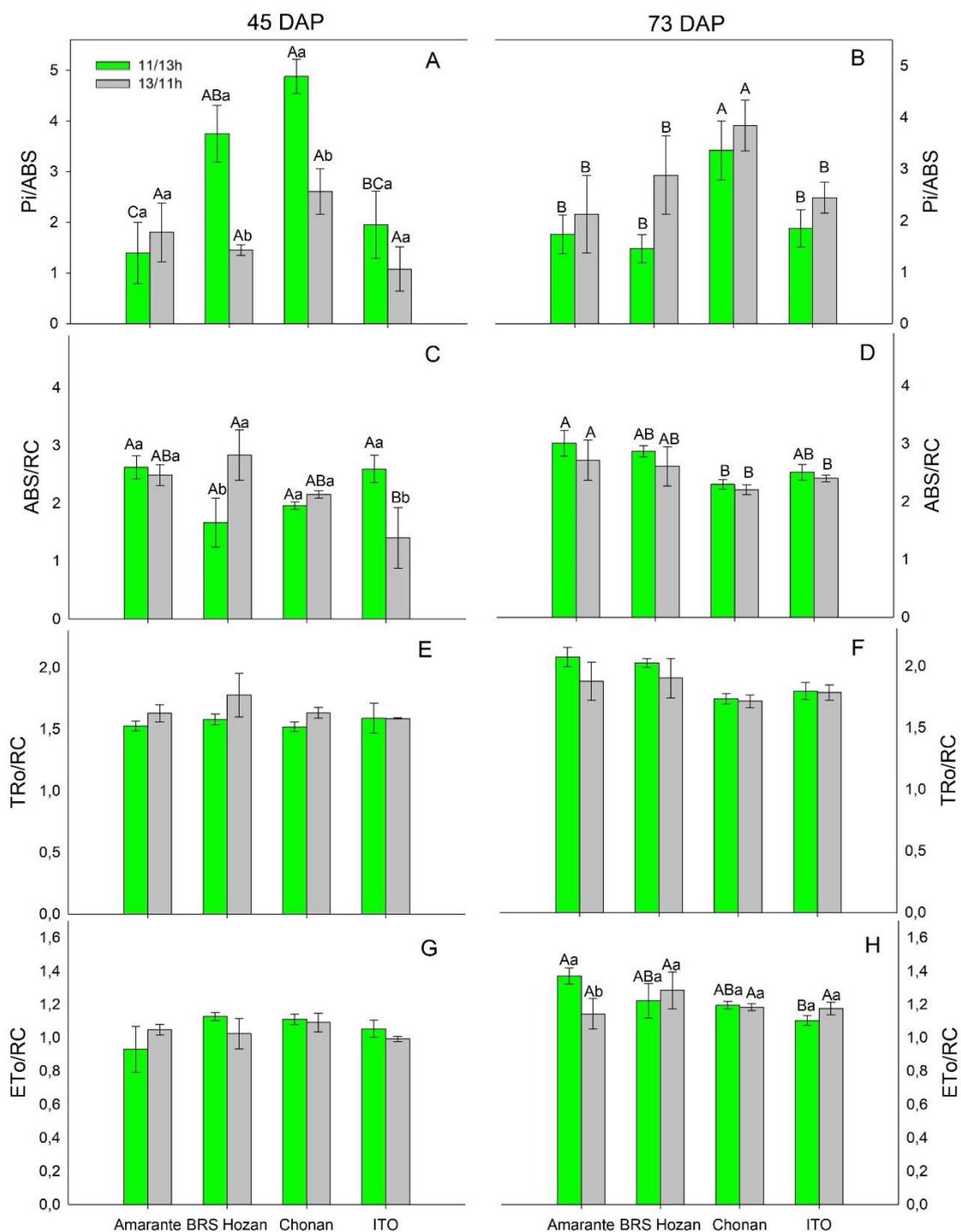


Figura 4. Índice de desempenho fotossintético (Pi/ABS) [A-B], fluxo específico de absorção luminosa por centro de reação (ABS/RC) [C-D], fluxo de energia capturada por centro de reação (TR₀/RC) [E-F], fluxo de transporte de elétrons por centro de reação (ET₀/RC) [G-H], nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias ± EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.

4.3 Pigmentos

Os pigmentos fotossintéticos apresentaram diferenças significativas entre os cultivares e fotoperíodos. Para a clorofila *a*, aos 45 DAP, apenas o cultivar Amaranite não diferiu entre os tratamentos. Os cultivares Chonan e Ito apresentaram maiores valores médios de clorofila *a* no fotoperíodo de 11 horas, enquanto, o cultivar Brs Hozan mostrou maior média no fotoperíodo de 13 horas (Figura 3A). Para clorofila *b*, Chonan e Ito apresentaram maiores valores médios no fotoperíodo de 11 horas. O cultivar Brs Hozan não diferiu significativamente entre os fotoperíodos, embora demonstre maior conteúdo de clorofila *b* em comparação aos demais cultivares (Figura 3C).

Em relação à clorofila total, apenas os cultivares Chonan e Ito demonstraram diferenças significativas entre os fotoperíodos, com maior teor de clorofilas obtido com 11 horas de luz. (Figura 2E). Os cultivares demonstraram diferenças entre si, no fotoperíodo de 13 horas Brs Hozan obteve maior média, e Ito a menor média. No fotoperíodo de 11 horas Brs Hozan e Chonan não diferiram, assim como Amaranite e Ito não diferiram entre si. A concentração de carotenoides apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos, com destaque para Brs Hozan, com 13 horas de luz, e Chonan, com 11 horas de luz, que apresentaram maior teor de *Car*, aos 45 DAP (Figura 2G).

Aos 73 DAP não houve diferenças para *Chla*, *Chlb* e *Chl* total, entre os cultivares e para ambos os fotoperíodos. O cultivar Ito apresentou as médias mais baixas entre os cultivares, para os teores de clorofilas (Figura 3B, D, F). A concentração de carotenoides diferiu entre os fotoperíodos para Brs Hozan e Chonan de forma distinta, enquanto, Brs Hozan apresentou maior teor de *Car* com 13 horas de luz, Chonan demonstrou com 11 horas de luz (Figura 3H).

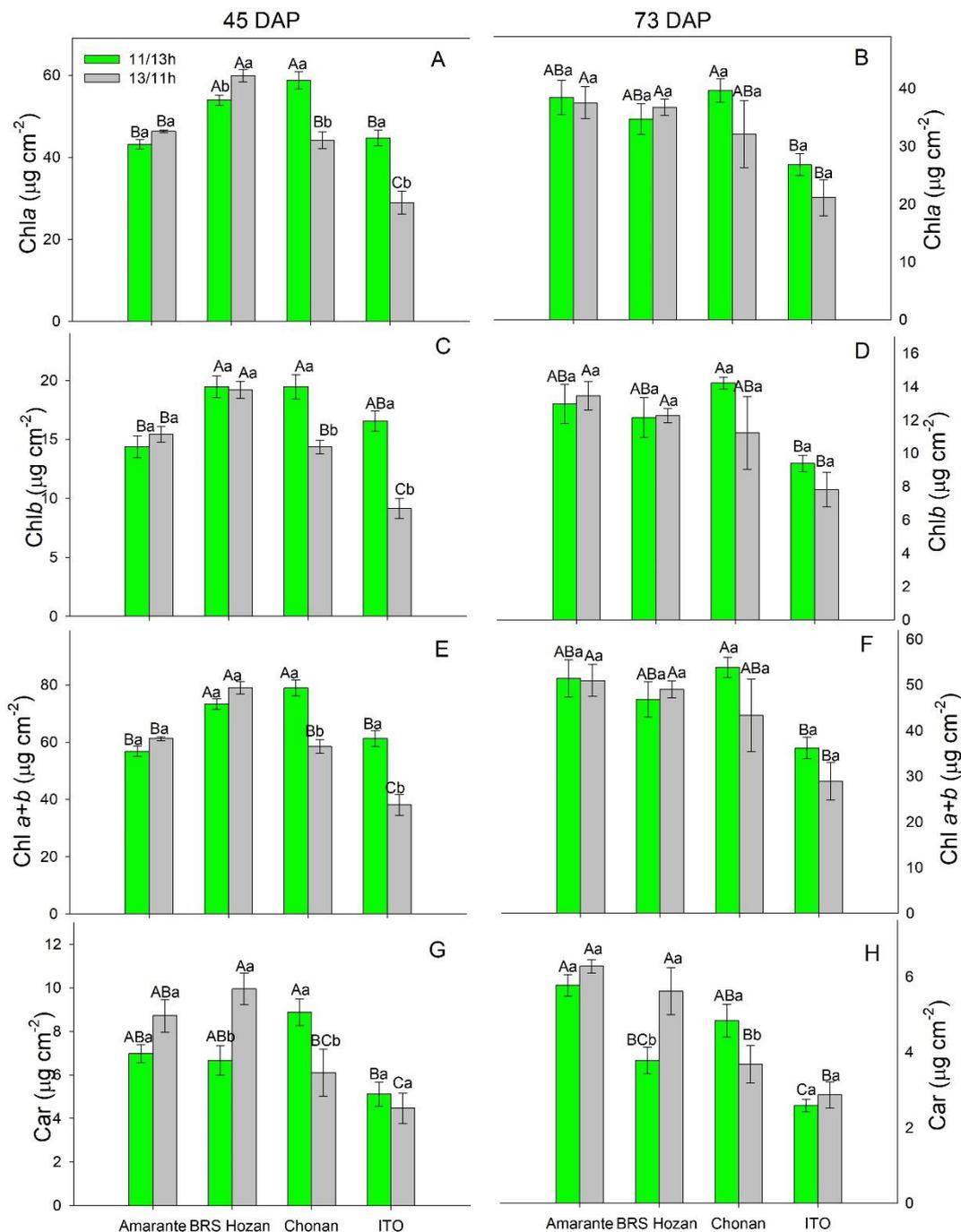


Figura 5. Clorofila *a* (Chla) [A-B]; Clorofila *b* (Chlb) [C-D]; Clorofila total (Chl *a+b*) [E-F]; Carotenoides (*Car*) [G-H], nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.

4.4 Danos em membranas

A TLE, aos 45 DAP, demonstrou diferenças significativas entre os fotoperíodos, 11/13h e 13/11h, para cultivar Amarante, e, entre os cultivares Amarante e Chonan, no fotoperíodo com 13 horas de luz. Os valores médios de TLE foram maiores para o cultivar Amarante (Figura 5A). Aos 73 DAP, houve diferenças significativas entre os cultivares BRS Hozan, apresentou maior TLE, e Chonan, menor TLE, independentemente do fotoperíodo (Figura 5B).

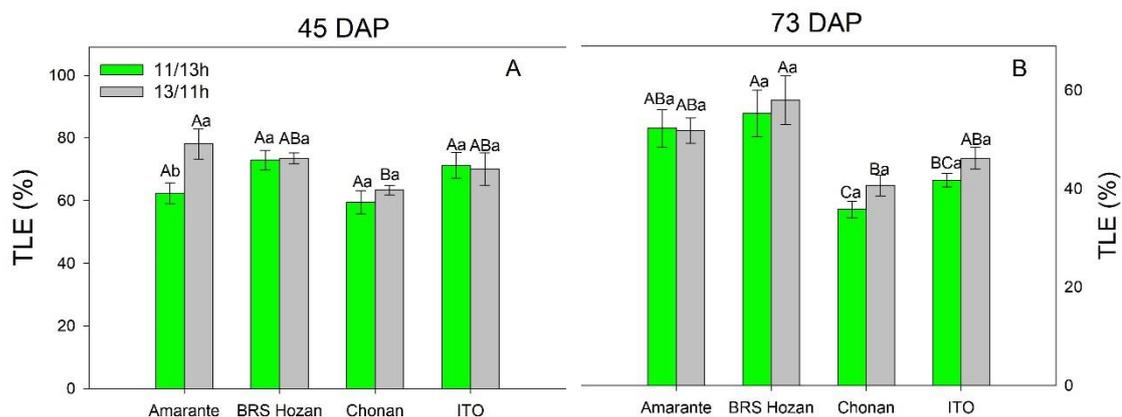


Figura 6. Taxa de liberação de eletrólitos (TLE) [A-B], nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.

4.5 Enzimas antioxidante e MDA

A atividade da catalase (CAT) diferiu apenas entre cultivares, sendo que a cultivar Chonan apresentou as maiores atividades de CAT (Figura 7A). A atividade da peroxidase (POX) demonstrou diferenças pequenas entre os cultivares, com as menores médias para o cultivar Amarante. O cultivar Ito mostrou diferenças entre fotoperíodos, com a menor média em fotoperíodo de 13 horas. O cultivar Chonan também teve diferença entre os fotoperíodos, com a maior média sendo observado em 13 horas de luz (Figura 7B). A atividade da peroxidase do ascorbato diferiu entre fotoperíodos na BRS Hozan, com a maior média em 13 horas de luz. O cultivar Ito também mostrou maior média com 13 horas de luz. Entre os cultivares a única diferença estatística ocorreu para o cultivar BRS Hozan com 13 horas de luz (Figura 7C). Para o conteúdo de malonaldeído (MDA), o cultivar Amarante teve as maiores médias nos dois fotoperíodos. Os cultivares

BRS Hozan e Chonan apresentaram diferença entre os fotoperíodos, sendo a maior média com 13 horas de luz (Figura 7D).

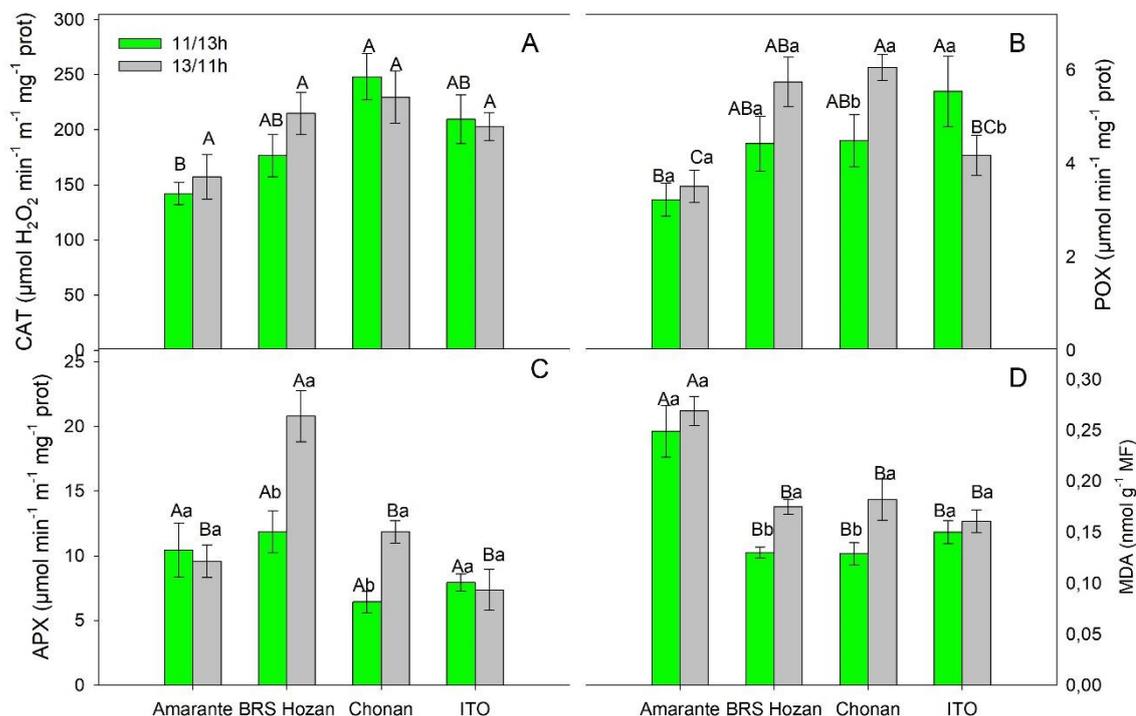


Figura 7. Atividade da catalase (CAT) [A], atividade da peroxidase (POX) [B], atividade da peroxidase do ascorbato (APX) [C] e conteúdo de malonaldeído (MDA) [D], nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45 e 73 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.

4.6 Morfologia

Nas análises biométricas, aos 45 DAP não houve diferenças estatísticas para o número de folhas (Figura 8G). O comprimento da raiz e altura de planta apresentaram diferenças entre fotoperíodos apenas para a cultivar Ito, com as maiores médias no fotoperíodo de 11 horas de luz. O CR não diferiu entre os cultivares no fotoperíodo de 13 horas de luz, porém, com 11 horas de luz, o cultivar Ito foi superior aos demais cultivares de *Allium sativum* (Figura 8A). A altura de plantas diferiu significativamente entre os cultivares nos fotoperíodos de 11 horas de luz, BRS Hozan e Ito, e 13 horas de luz, Amarante e Chonan (Figura 8D).

Já aos 73 DAP, o comprimento de raiz não apresentou diferenças significativas entre nenhum dos tratamentos (Figura 8B). Para altura de planta, foi observado diferença entre os fotoperíodos apenas para o cultivar Chonan, com maior média registrada no

fotoperíodo de 11 horas de luz. Comparando os cultivares em cada fotoperíodo, foi observado diferenças significativas para Chonan, maior média, e BRS Hozan, menor média, com 11 horas de luz, e os cultivares Chonan e Ito, maiores médias, e BRS Hozan, menor média, com 13 horas de luz (Figura 8E). O número de folhas não variou significativamente entre os fotoperíodos, 11/13h e 13/11h, nas cultivares. Porém, repostas similares para o NF foram observadas nos fotoperíodos de 11 horas e 13 horas de luz, com diferenças significativas para os cultivares BRS Hozan e Ito, com maiores e menores valores de NF, respectivamente (Figura 8H).

Aos 92 DAP o CR apresentou diferença estatística entre fotoperíodos apenas no cultivar Ito, apresentando a melhor média entre os cultivares no fotoperíodo de 11 horas, porém com 13 horas de luz apresentou a média mais baixa (Figura 8C). A altura da planta diferiu estatisticamente entre os cultivares e tratamentos. O fotoperíodo de 11 horas apresentou médias maiores e significativas para todos os cultivares, e o cultivar Chonan apresentou a maior altura nos dois fotoperíodos (Figura 8F). O NF demonstrou diferença significativa apenas no cultivar Ito, com a maior média no fotoperíodo de 11 horas (Figura 8I).

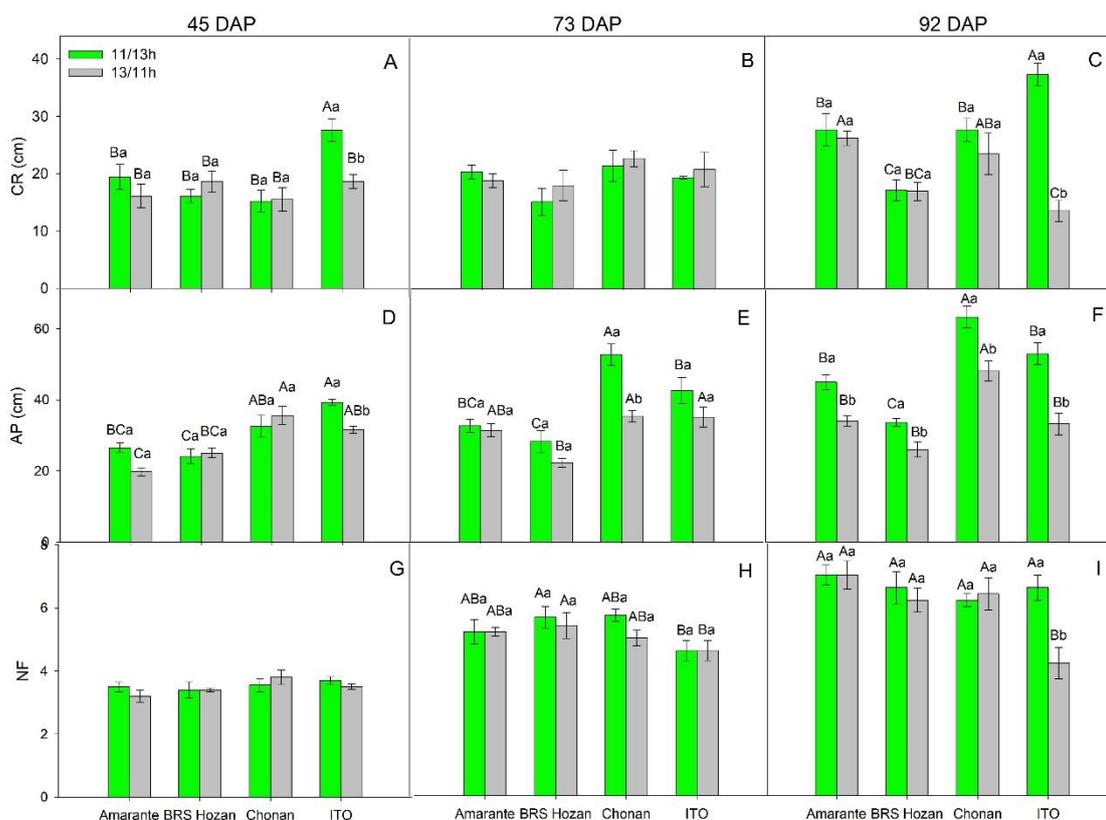


Figura 8. Comprimento de raiz (CR) [A-B-C], altura da planta (AP) [D-E-F], número de folhas (NF) [G-H-I], nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e

11 horas de escuro (13/11h), aos 45, 73 e 92 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam as cultivares dentro de um mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.

Para as análises biométricas relacionadas aos bulbos, na avaliação aos 45 DAP, os fotoperíodos não induziram diferenças significativas nos cultivares para o diâmetro do pseudocaule (DPC). As maiores médias de DPC foram encontradas no cultivar Chonan (Figura 9A). O diâmetro do bulbo variou entre os fotoperíodos nos cultivares Chonan e Ito, sendo maior em ambos expostos a 13 horas de luz (Figura 9E). Para o índice de bulbificação (IB), apenas o cultivar Ito mostrou diferença entre os fotoperíodos, e 13 horas mostrou maior IB. É considerado que a bulbificação iniciou quando IB é igual a 2, então, aos 45 DAP, todos os cultivares haviam iniciado o processo de bulbificação (Figura 9C).

Aos 73 DAP, o cultivar Chonan sob fotoperíodo de 11 horas apresentou maior DPC (Figura 9B). O diâmetro do bulbo (DB), demonstrou diferenças entre fotoperíodos apenas no cultivar Ito, com 13 horas de luz apresentando maior DB (Figura 9F). Aos 73 DAP foi medido o peso dos bulbos (PB), e somente o cultivar Amarante não mostrou diferença entre os fotoperíodos. O fotoperíodo de 13 horas propiciou os maiores pesos de bulbos, e embora o cultivar Ito e o Chonan não tenham diferido estatisticamente, as médias do PB foram maiores para Chonan (Figura 9D).

Aos 92 DAP, houve diferença entre fotoperíodos para DPC apenas no cultivar Ito, com a maior média com 11 horas de luz, o cultivar Chonan demonstrou as maiores médias nos dois fotoperíodos sendo estatisticamente diferente dos demais cultivares (Figura 9C). O peso de bulbo não apresentou diferença estatística entre os fotoperíodos apenas no cultivar Brs Hozan. Entre os cultivares, o Amarante apresentou menores médias sendo significativamente diferente dos demais (Figura 9F). O DB não apresentou diferença estatística entre fotoperíodos e cultivares, apesar de todos os cultivares apresentarem médias mais altas com fotoperíodo de 13 horas (Figura 9I).

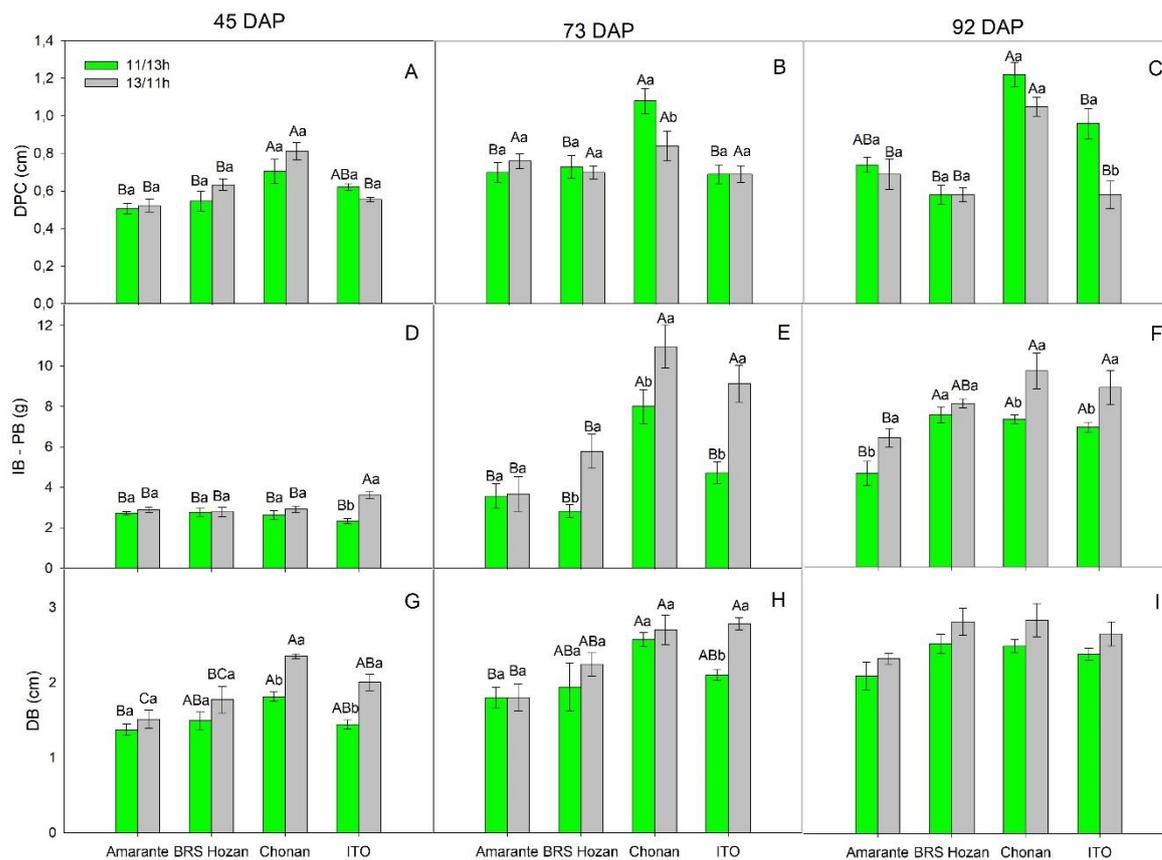


Figura 9. Diâmetro do pseudocaule (DPC) [A-B-C], índice de bulbificação (IB) [D], peso de bulbo (PB) [E-F], diâmetro de bulbo (DB) [G-H-I], nos cultivares de *Allium sativum*: Amarante, BRS Hozan, Chonan e Ito, sob fotoperíodos de 11 horas de luz e 13 horas de escuro (11/13h) e 13 horas de luz e 11 horas de escuro (13/11h), aos 45, 73 e 92 dias após o plantio (DAP). Barras representam médias \pm EP ($n = 5$). Médias seguidas por letras diferentes entre os tratamentos diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Letras maiúsculas comparam os cultivares no mesmo fotoperíodo e letras minúsculas comparam os fotoperíodos no mesmo cultivar.

5. DISCUSSÃO

O fotoperíodo de 13 horas foi benéfico para a bulbificação, aumentando a alocação de biomassa para o bulbo neste estudo. De forma geral, entre os cultivares nobres, o cultivar Chonan apresentou maiores diâmetros e pesos de bulbo. O cultivar Brs Hozan obteve resultados melhores quando comparado ao Amarante, ambos cultivares comuns. Já para as características fisiológicas o fotoperíodo de 11 horas promoveu melhores resultados para todas os cultivares, com quedas acentuadas no fotoperíodo de 13 horas principalmente aos 73 DAP.

De acordo com os resultados obtidos neste ensaio, fotoperíodos mais longos produzem maior quantidade de fotossintatos devido a maior entrada de energia luminosa, aumentando a biomassa nos tecidos e órgãos dos vegetais. Apesar de os parâmetros fotossintéticos apresentaram médias melhores, com fotoperíodo de 11 horas, os melhores resultados de bulbificação e peso de bulbo foram encontrados com fotoperíodo de 13 horas. Em experimento com manjerição (Ciriello *et al.*, 2023) e na cultura do aipo (Chu *et al.*, 2023), também foi possível observar um comportamento semelhante, com o aumento do fotoperíodo houve a redução dos parâmetros fotossintéticos, com maior alocação de biomassa nos fotoperíodos mais longos em relação aos mais curtos. Além disso, em experimento testando fotoperíodo contínuo, sem período de escuro, em espécies bulbosas, houve decréscimo nas taxas fotossintéticas, em que a cerca de 50% da biomassa no fotoperíodo de 12 horas correspondia a parte aérea, e com fotoperíodo contínuo, 84% da biomassa estava presente como bulbos (Van Gestel *et al.*, 2005).

Acompanhando a redução da fotossíntese no fotoperíodo mais longo, houve quedas na condutância estomática. Reduções na g_s são observados em ambientes estressantes, sendo um dos primeiros sinais de estresses ambientais. Uma redução na condutância estomática diminui a E , poupando água nos tecidos (Liao *et al.*, 2022; De

Sousa *et al.*, 2020), com isso há menor assimilação de CO₂, reduzindo o conteúdo interno de carbono para a carboxilação da Rubisco e diminuindo as taxas fotossintéticas (Ávila *et al.*, 2023). Aos 73 DAP, houve a estabilidade na relação C_i/C_a da cultivar Chonan, que não acompanhou a tendência de queda na g_s e A/C_i, podendo indicar algum dano a enzima Rubisco no ciclo de Calvin (Castro *et al.*, 2019).

Os parâmetros de Y_{II} e ETR nos cultivares nobres e comuns, apresentaram valores maiores no fotoperíodo mais longo, que, apesar da queda na fotossíntese, indicam que não há fotoinibição relacionada aos regimes de luz, pois frente a estresse luminoso o PSII é inativado e a eficiência fotossintética é reduzida (Roach & Krieger-Liszkay, 2014), o que corrobora com a redução na fotossíntese por restrições estomáticas neste estudo. As variáveis TR₀/RC, ET₀/RC e ABS/RC não demonstram diferenças entre os fotoperíodos indicando que os centros de reação permanecem ativos e mantendo a eficiência na absorção, captura e transporte de elétrons (Zushi & Matsuzoe, 2017). O DL₀/RC nos cultivares nobre, demonstrou menor dissipação em forma de calor, porém não variou entre fotoperíodos, indicando que os centros de reação continuaram ativos utilizando a energia no processo fotossintético (Thwe & Kasemsap, 2014). A manutenção de Fv/Fm demonstra que os centros de reação do PSII não foram danificados (Akhter *et al.*, 2021), sendo um indicador importante da capacidade fotossintética dos vegetais (Li *et al.*, 2019). Os parâmetros φE₀ e φD₀ também não apresentaram diferenças aos 73 DAP, confirmando a ausência de estresses relacionados aos fotoperíodos.

Estes dados sugerem que fotoperíodos diferentes podem favorecer a cultura, principalmente para os cultivares nobres. Fotoperíodos mais curtos durante a fase vegetativa podem ser benéficos, com as plantas investindo mais energia para o crescimento e área foliar. Já próximo a fase de bulbificação o aumento no fotoperíodo associado a parte aérea aumentada, pode melhorar o investimento de carboidratos nos bulbos. A variável de Pi/ABS apresentou tendências inversas nas duas avaliações. Aos 45 DAP o desempenho fotossintético foi melhor com 11 horas de luz, já aos 73 DAP, os melhores valores foram observados com 13 horas o que reforça a hipótese levantada.

A queda no desempenho fotossintético das plantas de *Allium sativum* também pode estar associada a resposta de aclimação, em que a maquinaria fotossintética pode ser protegida com a redução no conteúdo de clorofila, sob excesso de luz (Wang *et al.*, 2024). As clorofilas possuem papel vital na maquinaria fotossintética, estas capturam e absorvem a luz, permitindo que os vegetais adaptem-se aos diversos ambientes (Simkin *et al.*, 2022). Os carotenoides atuam como pigmentos acessórios na coleta da luz, e atuam

para proteger o aparato fotossintético contra danos devido a intensidade da luz (Zulfiqar *et al.*, 2021). O conteúdo de carotenoides nas cultivares nobres também apresentaram quedas no fotoperíodo mais longo, o que confirma a não ocorrência de estresse. Essa resposta ainda é corroborada pelo TLE, que não demonstrou diferenças entre os fotoperíodos e aos 73 DAP apresentou queda nas cultivares Chonan e Ito. Acontecendo o exato oposto para as cultivares comuns.

O conteúdo de malonaldeído (MDA), um subproduto da peroxidação lipídica causada pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Wang *et al.*, 2022), mostra aumento no teor de MDA acompanhado por aumento na atividade da peroxidase (POX) e atividade da peroxidase do ascorbato (APX), indicando que o sistema antioxidante nestas cultivares não agiu de forma eficiente causando certo nível de degradação, ao contrário dos cultivares Ito e Amarante que não demonstraram diferenças entre os fotoperíodos indicando que a produção das enzimas foi suficiente para minimizar os danos causados por EROs (Ruíz-Torres *et al.*, 2017; Abdelaal *et al.*, 2021).

Os vegetais podem alterar a morfologia e adaptar os processos fisiológicos, de acordo com o ambiente em que estão inseridas (Pan *et al.*, 2019). Durante a bulbificação os carboidratos são transportados das folhas para os bulbos. Assim como pode ser observado neste ensaio, as plantas expostas ao fotoperíodo de 13 horas, apresentaram uma área foliar reduzida, em contrapartida as plantas expostas ao fotoperíodo de 11 horas apresentam maior investimento em parte aérea. Dados semelhantes também foram encontrados, em que plantas bulbosas sob fotoperíodos longos diminuíram a área foliar para investir na alocação de biomassa para formação dos bulbos, plantas em fotoperíodos curtos aumentam a área foliar para assimilar maior taxa de carbono durante as horas de luz (Van Gestel *et al.*, 2005; Brewster *et al.*, 1982). A produção de assimilados e a relação fonte-dreno adequada é decisiva para o desenvolvimento dos vegetais (Lal *et al.*, 2022). Amido e sacarose são os principais fotoassimilados produzidos nas folhas (fonte) durante o dia, e transportados pelo floema para o bulbo (dreno) a noite (Li *et al.*, 2021).

A altura da planta e folhas reduzidas podem ser uma adaptação a luminosidade, as plantas podem diminuir as áreas foliares como forma de atenuar ou prevenir danos a estruturas fotossintéticas, e limitar a *E* em fotoperíodos mais longos (Silva *et al.*, 2022). Neste experimento as plantas expostas ao fotoperíodo de 13 horas apresentaram menor altura, porém a altura reduzida para plantas bulbosas é esperada, pois durante a bulbificação a planta investe na produção de bulbos.

O processo de bulbificação é regulado por sinais internos, que podem ser estimulados ou inibidos por diferentes fatores ambientais. Há muito foi estabelecido que o alho produz bulbos pobres em regiões tropicais quentes, de dias curtos (Brewster, 2008). Durante este ensaio, as plantas expostas a fotoperíodo de 13 apresentaram as maiores taxas de bulbificação e peso com temperatura baixa entre 16° e 20°C. Combinar fotoperíodos mais longos com temperaturas diurnas de 25 a 30°C demonstrou as melhores respostas na bulbificação, com maior peso de bulbo quando comparado aos fotoperíodos mais curtos (Atif *et al.*, 2021b), Atif *et al.*, (2019), novamente trabalhando com fotoperíodos e temperatura em alho, constatou que um fotoperíodo de 14 horas proporcionou o maior peso de bulbo e a menor altura de planta e peso fresco em fotoperíodo de 12 horas. A bulbificação do alho é um processo complicado pela quantidade de fatores que participam do processo. O fotoperíodo além de influenciar a morfologia e fisiologia, também afeta o metabolismo, em períodos de luz mais longos há maior acúmulo de compostos fenólicos e alicina, proteínas e açúcares (Atif *et al.*, 2021b; Atif *et al.*, 2020a; Atif *et al.*, 2019).

O cultivar Ito apresentou ser o cultivar mais precoce entre os trabalhados, principalmente com o fotoperíodo de 13 horas, as plantas entraram em processo de senescência próximo aos 100 DAP, o que explica as quedas nas características morfológicas, seguida pelo cultivar Chonan que também apresentou processo de senescência precoce com o fotoperíodo de 13 horas. Esse fato demonstra os diferentes ciclos entre os cultivares, e os cultivares nobres demonstraram rápido desenvolvimento até o estágio de bulbificação, os cultivares comuns por possuírem um ciclo mais longo, apresentaram um desenvolvimento mais lento, porém os resultados referentes a bulbificação foram satisfatórios assemelhando-se aos cultivares nobres em determinado momento do ciclo.

6. CONCLUSÃO

Os cultivares nobres e comuns respondem de forma diferente as variáveis ambientais. Nos cultivares nobres, mesmo vernalizadas, a bulbificação ocorreu com maior intensidade e precocidade sob fotoperíodos mais longos, apesar das quedas nos parâmetros fisiológicos, nas horas extras de luz, a fotossíntese continuou a gerar carboidratos e alocar nos bulbos. O cultivar Chonan apresentou os melhores resultados de bulbificação, com maior bulbificação mesmo com fotoperíodo de 11 horas, quando comparado ao cultivar Ito que teve maior bulbificação com fotoperíodo de 13 horas, porém o cultivar Ito possui maior precocidade o que é muito visado por produtores. O cultivar Amarante não apresentou diferenças na bulbificação entre os fotoperíodos. O cultivar Brs Hozan foi melhorado para adaptar-se as condições brasileiras, embora tenha apresentado a mesma tendência que cultivares nobres, com melhor bulbificação no fotoperíodo mais longo.

As avaliações fisiológicas e morfológicas realizadas não foram suficientes para determinar, dentre os cultivares investigados, os mais adaptados aos fotoperíodos mais curtos. Assim, novos estudos são necessários para investigar mais detalhadamente os mecanismos de acúmulo e partição de fotoassimilados, além da combinação de fotoperíodo e temperatura para permitir indicar os cultivares mais responsivos às condições locais.

7. REFERÊNCIAS

- ABBA, Associação Brasileira da Batata. **A cultura do alho no Brasil**. Disponível em: <https://www.abbabatatabrasileira.com.br/materias-das-revistas/a-cultura-do-alho-no-brasil/>. Acesso em: 18/07/2024.
- Abdelaal, K., Attia, K. A., Niedbała, G., Wojciechowski, T., Hafez, Y., Alamery, S., ... & Arafa, S. A. (2021). Mitigation of drought damages by exogenous chitosan and yeast extract with modulating the photosynthetic pigments, antioxidant defense system and improving the productivity of garlic plants. *Horticulturae*, 7(11), 510.
- Abuelsoud, W., Cortleven, A., & Schmülling, T. (2020). Photoperiod stress induces an oxidative burst-like response and is associated with increased apoplastic peroxidase and decreased catalase activities. *Journal of Plant Physiology*, 253, 153252.
- Adams, S. R., & Langton, F. A. (2005). Photoperiod and plant growth: a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(1), 2-10.
- Akhter, M. S., Noreen, S., Mahmood, S., Ashraf, M., Alsahli, A. A., & Ahmad, P. (2021). Influence of salinity stress on PSII in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes, probed by chlorophyll-a fluorescence. *Journal of King Saud University-Science*, 33(1), 101239.
- Anderson, M. D., Prasad, T. K., & Stewart, C. R. (1995). Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotylus of maize seedlings. *Plant Physiol.* 109, 1247-1257.
- Arzanlou, M., & Bohlooli, S. (2010). Introducing of green garlic plant as a new source of allicin. *Food Chemistry*, 120(1), 179-183.
- Astaneh, R. K., Bolandnazar, S., & Nahandi, F. Z. (2022). Exogenous nitric oxide protect garlic plants against oxidative stress induced by salt stress. *Plant Stress*, 5, 100101.
- Atif, M. J., Amin, B., Ghani, M. I., Ali, M., & Cheng, Z. (2020a). Variation in morphological and quality parameters in garlic (*Allium sativum* L.) bulb influenced by different photoperiod, temperature, sowing and harvesting time. *Plants*, 9(2), 155.
- Atif, M. J., Amin, B., Ghani, M. I., Ali, M., Khursheed, S., & Cheng, Z. (2021a). Transcriptomic analysis of *Allium sativum* uncovers putative genes involved in photoperiodic pathway and hormone signaling under long day and short-day conditions. *Plant Science*, 313, 111095.

- Atif, M. J., Amin, B., Ghani, M. I., Ali, M., Liu, X., Zhang, Y., & Cheng, Z. (2021b). *Allium sativum* L. (Garlic) bulb enlargement as influenced by differential combinations of photoperiod and temperature. *Food Chemistry*, 338, 127991.
- Atif, M. J., Amin, B., Ghani, M. I., Ali, M., Zhang, S., & Cheng, Z. (2020b). Effect of photoperiod and temperature on garlic (*Allium sativum* L.) bulbing and selected endogenous chemical factors. *Environmental and Experimental Botany*, 180, 104250.
- Atif, M. J., Amin, B., Ghani, M. I., Hayat, S., Ali, M., Zhang, Y., & Cheng, Z. (2019). Influence of different photoperiod and temperature regimes on growth and bulb quality of garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. *Agronomy*, 9(12), 879.
- Ávila, R. G., Magalhães, P. C., Vitorino, L. C., Bessa, L. A., De Souza, K. R. D., Queiroz, R. B., & Teixeira, M. B. (2023). Chitosan induces sorghum tolerance to water deficits by positively regulating photosynthesis and the production of primary metabolites, osmoregulators, and antioxidants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), 1156-1172.
- Azmi, C., Rosliani, R., Handayani, D. P., Jayanti, H., Liferdi, L., & Palupi, E. R. (2022). Temperature and duration of vernalization effect on the vegetative growth of garlic (*Allium sativum* L.) clones in Indonesia. *Open Agriculture*, 7(1), 520-528.
- Barboza, K., Salinas, M. C., Acuña, C. V., Bannoud, F., Beretta, V., Garcia-Lampasona, S., ... & Cavagnaro, P. F. (2020). Assessment of genetic diversity and population structure in a garlic (*Allium sativum* L.) germplasm collection varying in bulb content of pyruvate, phenolics, and solids. *Scientia Horticulturae*, 261, 108900.
- Bhattarai, S., Harvey, J. T., Djidonou, D., & Leskovar, D. I. (2021). Exploring morpho-physiological variation for heat stress tolerance in tomato. *Plants*, 10(2), 347.
- Batool, T., Ali, S., Seleiman, M. F., Naveed, N. H., Ali, A., Ahmed, K., ... & Mubushar, M. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Scientific Reports*, 10(1), 16975.
- Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72:248-254.
- Brewster, J. L. (2008). *Onions and other vegetable alliums* (Vol. 15). CABI.
- Brewster, J. L. (1982). Growth, dry matter partition and radiation interception in an overwintered bulb onion (*Allium cepa* L.) crop. *Annals of Botany*, 49(5), 609-617.
- Buchanan, B. B., Gruissem, W., & Jones, R. L. (Eds.). (2015). *Biochemistry and molecular biology of plants*. John Wiley & Sons.
- Castro, J. N., Müller, C., Almeida, G. M., & Costa, A. C. (2019). Physiological tolerance to drought under high temperature in soybean cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 13, 976-987.

Ciriello, M., Formisano, L., Roupael, Y., De Pascale, S., & Kacira, M. (2023). Effects of daily light integral and photoperiod with successive harvests on basil yield, morphophysiological characteristics, and mineral composition in vertical farming. *Scientia Horticulturae*, 322, 112396.

Chu, Q., Qin, Y., Li, C., Cheng, S., Su, L., He, Z., ... & Guo, X. (2023). Effects of different photoperiods on the growth and nutritional characteristics of two celery cultivars in plant factory. *Agronomy*, 13(12), 3039.

Conab. Análise mensal dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-alho> acesso em: 21/06/2024.

De Sousa, L. F., De Menezes-Silva, P. E., Lourenço, L. L., Galmés, J., Guimarães, A. C., Da Silva, A. F., & Farnese, F. D. S. (2020). Improving water use efficiency by changing hydraulic and stomatal characteristics in soybean exposed to drought: the involvement of nitric oxide. *Physiologia Plantarum*, 168(3), 576-589.

Dou, H., Niu, G., Gu, M., & Masabni, J. G. (2017). Effects of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under controlled environments. *Horticulturae*, 3(2), 36.

Dufoo-Hurtado, M. D., Huerta-Ocampo, J. Á., Barrera-Pacheco, A., Barba de la Rosa, A. P., & Mercado-Silva, E. M. (2015). Low temperature conditioning of garlic (*Allium sativum* L.) “seed” cloves induces alterations in sprouts proteome. *Frontiers in plant science*, 6, 332.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2007). GARLIC: Post-harvest Operations. Disponível em: <https://www.fao.org/home/search/en/?q=Garlic>. Acesso: 20/08/2024.

Filaček, A., Živčák, M., Ferroni, L., Barboričová, M., Gašparovič, K., Yang, X., ... & Brestič, M. (2022). Pre-acclimation to elevated temperature stabilizes the activity of photosystem I in wheat plants exposed to an episode of severe heat stress. *Plants*, 11(5), 616.

Grundling, R., Gazzola, R., & Aragão, A. A. (2021). Mercado mundial do alho: tendências gerais e as implicações para o Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 59., 2021, Brasília, DF. Ações coletivas e resiliência: inovações políticas, socioeconômicas e ambientais. Brasília, DF: SOBER, 2021. Não paginado.

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., ... & Fotopoulos, V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, 9(8), 681.

Havir, E. A. & McHale, N. A. (1987). Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. *Plant Physiol.* 84, 450-455.

Hay, R. K. M. (1990). The influence of photoperiod on the dry matter production of grasses and cereals. *New Phytologist*, 116(2), 233-254.

Heath, R. L., & Packer, L. (1968) Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch Biochem Biophys* 125:189-198.

Kar, M. & Mishra, D. (1976) Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant physiol.* 57, 315-319.

Lal, M. K., Sharma, N., Adavi, S. B., Sharma, E., Altaf, M. A., Tiwari, R. K., ... & Singh, M. P. (2022). From source to sink: mechanistic insight of photoassimilates synthesis and partitioning under high temperature and elevated [CO₂]. *Plant Molecular Biology*, 110(4), 305-324.

Lana, M. M. EMBRAPA, (2022). Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalia-nao-esosalada/alho#:~:text=Origin%C3%A1rio%20da%20C3%81sia%20Central%2C%20eu.usada%20contra%20gripes%20e%20resfriados>. acesso em: 26/06/2024.

Liao, Q., GU, S., Kang, S., Du, T., Tong, L., Wood, J. D., & Ding, R. (2022). Mild water and salt stress improve water use efficiency by decreasing stomatal conductance via osmotic adjustment in field maize. *Science of the Total Environment*, 805, 150364.

Li, J., Seng, S., Li, D., Zhang, F., Liu, Y., Yao, T., ... & Wu, J. (2021). Antagonism between abscisic acid and gibberellin regulates starch synthesis and corm development in *Gladiolus hybridus*. *Horticulture Research*, 8.

Li, L., Long, M., Islam, F., Farooq, M. A., Wang, J., Mwamba, T. M., ... & Zhou, W. (2019). Synergistic effects of chromium and copper on photosynthetic inhibition, subcellular distribution, and related gene expression in *Brassica napus* cultivars. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 11827-11845.

Liu, R., Shu, B., Wang, Y., Yu, B., Wang, Y., Gan, Y., ... & Cao, B. (2023). Transcriptome analysis reveals key genes involved in the eggplant response to high-temperature stress. *Environmental and Experimental Botany*, 211, 105369.

Luz, J. M. Q., de Azevedo, B. N. R., Silva, S. M., de Oliveira, C. I. G., de Oliveira, T. G., de Oliveira, R. C., & Castoldi, R. (2022). Productivity and quality of garlic produced using below-zero temperatures when treating seed cloves. *Horticulturae*, 8(2), 96.

Luz, J. M. Q., Oliveira, C. I. G. D., Silva, S. M., Oliveira, T. G., & Castoldi, R. (2023). Vernalization temperature and maturation point of seed cloves on garlic production and quality. *Ciência e Agrotecnologia*, 47, e015122.

Machado, E. C., Schmidt, P. T., Medina, C. L., & Ribeiro, R. V. (2005). Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 1161-1170.

Mann, L. K. (1952). Anatomy of the garlic bulb and factors affecting bulb development. 195-251.

Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1), 1-16.

Moradi, S., Kafi, M., Aliniaiefard, S., Salami, S. A., Shokrpour, M., Pedersen, C., ... & Kalaji, H. M. (2021). Blue light improves photosynthetic performance and biomass partitioning toward harvestable organs in saffron (*Crocus sativus* L.). *Cells*, 10(8), 1994.

Morais, É. G., Grangeiro, L. C., Resende, F. V., Negreiros, M. Z. D., Oliveira, R. R. T., Pereira, D. D. F., ... & Carmo, L. H. D. A. (2023). Treating garlic seed cloves with negative temperatures increases the productivity of noble garlic in the Brazilian semi-arid region. *Horticulturae*, 9(9), 1022.

Morales, F., Ancín, M., Fakhret, D., González-Torralba, J., Gámez, A. L., Seminario, A., ... & Aranjuelo, I. (2020). Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a bases for crop breeding and yield improvement. *Plants*, 9(1), 88.

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(5), 867-880.

Pan, T., Ding, J., Qin, G., Wang, Y., Xi, L., Yang, J., ... & Zou, Z. (2019). Interaction of supplementary light and CO₂ enrichment improves growth, photosynthesis, yield, and quality of tomato in autumn through spring greenhouse production. *HortScience*, 54(2), 246-252.

Parrotta, L., Aloisi, I., Faleri, C., Romi, M., Del Duca, S., & Cai, G. (2020). Chronic heat stress affects the photosynthetic apparatus of *Solanum lycopersicum* L. cv Micro-Tom. *Plant Physiology and Biochemistry*, 154, 463-475.

Pimentel, C., Sarr, B., Diouf, O., Abboud, A. D. S., & Roy-Macauley, H. (2002). Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. *Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida*, 22(1), 7-14.

Resende et al., EMBRAPA (2024). Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/alho/cultivares>. Acesso em: 26/06/2024.

Roach, T., & Krieger-Liszkay, A. (2014). Regulation of photosynthetic electron transport and photoinhibition. *Current Protein and Peptide Science*, 15(4), 351-362.

Roeber, V. M., Bajaj, I., Rohde, M., Schmülling, T., & Cortleven, A. (2021). Light acts as a stressor and influences abiotic and biotic stress responses in plants. *Plant, Cell & Environment*, 44(3), 645-664.

Roeber, V. M., Schmülling, T., & Cortleven, A. (2022). The photoperiod: handling and causing stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 781988.

Ronen, R., & Galun, M. (1984). Pigment extraction from lichens with dimethyl sulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation. *Environmental and Experimental Botany*, 24(3), 239-245.

- Rosen, C., Arenz, B., Hutchison, B., Tong, C., Becker, R., Sharma, V., ... & Nesser, S. (2023). Growing garlic in Minnesota.
- Ruíz-Torres, C., Feriche-Linares, R., Rodríguez-Ruíz, M., Palma, J. M., & Corpas, F. J. (2017). Arsenic-induced stress activates sulfur metabolism in different organs of garlic (*Allium sativum* L.) plants accompanied by a general decline of the NADPH-generating systems in roots. *Journal of plant physiology*, *211*, 27-35.
- Sæbø, A., Krekling, T., & Appelgren, M. (1995). Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *41*, 177-185.
- Sánchez-Virosta, Á., Sadras, V. O., & Sánchez-Gómez, D. (2021). Phenotypic plasticity in relation to inter-cultivar variation of garlic (*Allium sativum* L.) functional performance and yield-stability in response to water availability. *Scientia Horticulturae*, *285*, 110128.
- Silva, L. M., Cruz, L. P., Pacheco, V. S., Machado, E. C., Purquerio, L. F. V., & Ribeiro, R. V. (2022). Energetic efficiency of biomass production is affected by photoperiod in indoor lettuce cultivation. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, *34*(2), 265-276.
- Silva, F. B., Costa, A. C., Alves, R. R. P., & Megguer, C. A. (2014). Chlorophyll fluorescence as an indicator of cellular damage by glyphosate herbicide in *Raphanus sativus* L. plants. *American Journal of Plant Sciences*, *2014*.
- Simkin, A. J., Kapoor, L., Doss, C. G. P., Hofmann, T. A., Lawson, T., & Ramamoorthy, S. (2022). The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in planta. *Photosynthesis Research*, *152*(1), 23-42.
- Simon, P. W., & Jenderek, M. M. (2004). Flowering, seed production, and the genesis of garlic breeding. *Plant Breeding Reviews*, *23*, 211-244.
- Tadamura, K., & Torada, A. (2023). Improvement of in vitro bulblet formation in garlic under continuous-light condition is tightly associated with FLOWERING LOCUS T-like gene expression. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, *154*(3), 575-585.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). Fisiologia vegetal 5ªed. *Porto Alegre: Editora Artmed*.
- Thwe, A. A., & Kasemsap, P. (2014). Quantification of OJIP fluorescence transient in tomato plants under acute ozone stress. *Agriculture and Natural Resources*, *48*(5), 665-675
- Van Gestel, N. C., Nesbit, A. D., Gordon, E. P., Green, C., Paré, P. W., Thompson, L., ... & Tissue, D. T. (2005). Continuous light may induce photosynthetic downregulation in onion—consequences for growth and biomass partitioning. *Physiologia Plantarum*, *125*(2), 235-246.
- Vasquez-Tello, A., Zuily-Fodil, Y., Thi, A. P., & da Silva, J. V. (1990). Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to

water stress in Phaseolus and Vigna species. *Journal of Experimental Botany*, 41(7), 827-832.

Wang, C., Zhang, J., Li, J., Xie, J., & Chai, Q. (2024). Exogenous methyl jasmonate regulates endogenous hormone synthesis of soilless cultivated Chinese chive to promote growth physiology and photosynthesis. *Scientia Horticulturae*, 327, 112861.

Wang, X., Wu, Z., Zhou, Q., Wang, X., Song, S., & Dong, S. (2022). Physiological response of soybean plants to water deficit. *Frontiers in Plant Science*, 12, 809692.

Wang, X., Zhao, C., Müller, C., Wang, C., Ciais, P., Janssens, I., ... & Piao, S. (2020). Emergent constraint on crop yield response to warmer temperature from field experiments. *Nature Sustainability*, 3(11), 908-916.

Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*, 144(3), 307-313.

Wu, C., Wang, M., Dong, Y., Cheng, Z., & Meng, H. (2016). Effect of plant age and vernalization on bolting, plant growth and enzyme activity of garlic (*Allium sativum* L.). *Scientia Horticulturae*, 201, 295-305.

Wu, C., Wang, M., Dong, Y., Cheng, Z., & Meng, H. (2015). Growth, bolting and yield of garlic (*Allium sativum* L.) in response to clove chilling treatment. *Scientia Horticulturae*, 194, 43-52.

Wu, D. C., Zhu, J. F., Shu, Z. Z., Wang, W., Yan, C., Xu, S. B., ... & Sun, G. (2020). Physiological and transcriptional response to heat stress in heat-resistant and heat-sensitive maize (*Zea mays* L.) inbred lines at seedling stage. *Protoplasma*, 257, 1615-1637.

Yang, Q. Q., Yang, F., Liu, C. Y., Zhao, Y. Q., Li, M. Y., Lu, X. J., ... & Fan, J. D. (2024). Transcriptome sequencing of garlic reveals key genes related to the heat stress response. *Scientific Reports*, 14(1), 15956.

Yuri, J. E., Mota, J. H., Souza, R. J. D., Resende, G. M. D., & Pasqual, M. (2004). Garlic vernalization for in vitro cultivation. *Horticultura Brasileira*, 22, 585-588.

Xu, Y., Koroma, A. A., Weise, S. E., Fu, X., Sharkey, T. D., & Shachar-Hill, Y. (2024). Daylength variation affects growth, photosynthesis, leaf metabolism, partitioning, and metabolic fluxes. *Plant Physiology*, 194(1), 475-490.

Zhanassova, K., Kurmanbayeva, A., Gadilgerayeva, B., Yermukhambetova, R., Iksat, N., Amanbayeva, U., ... & Masalimov, Z. (2021). ROS status and antioxidant enzyme activities in response to combined temperature and drought stresses in barley. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43, 1-12.

Zhou, C., Cui, W., Yuan, T., Cheng, H., Su, Q., & Guo, P. (2021). Water content, carbohydrate accumulation, and secondary metabolites in *Allium victorialis* sprouts

exposed to shoot cutting in varied irradiations. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(4), 12524.

Zulfiqar, S., Sharif, S., Saeed, M., & Tahir, A. (2021). Role of carotenoids in photosynthesis. *Carotenoids: Structure and function in the human body*, 147-187.

Zushi, K., & Matsuzoe, N. (2017). Using of chlorophyll a fluorescence OJIP transients for sensing salt stress in the leaves and fruits of tomato. *Scientia Horticulturae*, 219, 216-221.