

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Eduardo Castiglioni Monteiro

**RESPOSTAS DA CANOLA À ELEVAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO E À
RESTRICÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR**

Santa Maria, RS
2022

Eduardo Castiglioni Monteiro

**RESPOSTAS DA CANOLA À ELEVAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO E À
RESTRIÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR**

Dissertação apresentada ao Curso/Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein

Santa Maria, RS
2022

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Monteiro, Eduardo Castiglioni
Respostas da canola à elevação do lençol freático e à
restrição de radiação solar / Eduardo Castiglioni
Monteiro.- 2022.
77 p.; 30 cm

Orientador: Arno Bernardo Heldwein
Coorientador: Alessandro Dal' Col Lucio
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2022

1. Brassica napus L. 2. Excesso hídrico 3. Drenagem
4. Floração I. Heldwein, Arno Bernardo II. Lucio,
Alessandro Dal' Col III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, EDUARDO CASTIGLIONI MONTEIRO, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Eduardo Castiglioni Monteiro

**RESPOSTAS DA CANOLA À ELEVÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO E À
RESTRICÃO DE RADIAÇÃO SOLAR**

Dissertação apresentada ao Curso/Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Aprovada em 26 de Agosto de 2022.

Arno Bernardo Heldwein, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Astor Henrique Nied, Prof. Dr. (UFSM)

Genei Antonio Dalmago, Pós - Dr. (Embrapa Trigo)

Santa Maria, RS
2022

Aos meus pais José Aauri Monteiro e Ilza Castiglioni Monteiro e à minha irmã, Duane Castiglioni Monteiro, dedico esse trabalho por todo apoio e incentivo para que essa etapa de minha formação profissional fosse concluída.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por toda força, saúde e coragem de enfrentar da melhor maneira possível os desafios e problemas que surgem em minha vida.

Aos meus pais José Aduari e Ilza, por todo amor e carinho que sempre tiveram comigo. Por todos os princípios e valores que me foram repassados, fazendo me tornar a pessoa que hoje sou.

À minha irmã Duane por todo apoio e amizade, sempre disposta à ajudar e contribuir durante toda minha trajetória acadêmica.

Ao professor Arno Bernardo Heldwein, agradeço pela orientação, confiança, paciência, amizade e ensinamentos compartilhados ao longo desse período.

Ao professor Astor Henrique Nied, agradeço pelo auxílio na orientação e pela paciência em executar todas as etapas do mestrado, que mesmo durante uma pandemia não mediu esforços para que as tarefas fossem realizadas. Agradeço também pela amizade e por todos ensinamentos transmitidos durante esse período, sendo fundamental para meu desenvolvimento profissional.

Ao professor Alessandro Dal' Col Lucio, agradeço pela coorientação nesse trabalho e pela disponibilidade de sempre para sanar dúvidas referentes à elaboração da dissertação.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela atenção, acolhimento e oportunidade de aprendizado na área durante a realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado, pois a mesma foi de fundamental importância para a realização desse trabalho de mestrado, possibilitando a dedicação exclusiva ao mesmo.

Aos meus amigos, colegas de pós graduação e bolsistas do setor de Agrometeorologia do Departamento de Fitotecnia da UFSM por todo auxílio na condução dos experimentos para que fosse possível obter dados de qualidade sobre o tema estudado.

À todas as pessoas que contribuíram de alguma forma na elaboração desse trabalho, tanto no lado pessoal como no profissional.

RESUMO

RESPOSTAS DA CANOLA À ELEVAÇÃO DO LENÇOL FREÁTICO E À RESTRIÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR

AUTOR: Eduardo Castiglioni Monteiro
ORIENTADOR: Arno Bernardo Heldwein

A cultura da canola (*Brassica napus* L.) tem grande importância econômica, devido a alta qualidade de seu óleo e alto teor de proteína em seus grãos. Como seu cultivo ocorre no inverno, existem extensas áreas de terras baixas ociosas em ambientes subtropicais do Brasil que poderiam ser utilizadas para o cultivo, desde que o excesso hídrico no solo seja controlado pelo aumento no nível do lençol freático. Nessa região também ocorre maior nebulosidade no inverno, podendo também limitar a expressão do potencial produtivo da cultura por redução da disponibilidade de radiação solar. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da elevação do lençol freático e da restrição da disponibilidade de radiação solar no subperíodo reprodutivo da canola no crescimento, desenvolvimento e rendimento de grãos. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação com manejo automatizado das aberturas, situada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com seis repetições, sendo que em 2019 foram avaliados seis níveis de profundidade do lençol freático (0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm). Em 2021 foram avaliados dois fatores, sendo dois níveis do fator A - restrição de disponibilidade da radiação solar (0 e 50% de restrição) no interior da casa de vegetação e quatro níveis do fator D – profundidade do lençol freático (0, 85, 170 e 255 mm), totalizando oito tratamentos. O híbrido Diamond foi semeado em julho em 2019 e maio de 2021 em vasos irrigados por gotejamento. Cada unidade experimental foi composta por um vaso com volume de 20 litros com três plantas, preenchido com solo da classe Argissolo Bruno-Acinzentado. A manutenção permanente da profundidade do lençol freático desde o início da floração até o final do ciclo da cultura foi possível com a confecção de caixas de tapume de acordo com as dimensões dos vasos, onde o interior das caixas foi forrado com três camadas de filme plástico para acumular água. Para impor a restrição da disponibilidade de radiação solar global (Rg) em 2021, foi feita uma estrutura com tela de ráfia na cor preta (50%) sobre e ao redor das plantas. As condições ambientais, o crescimento e a produção das plantas foram avaliadas e os dados analisados utilizando o Software R com o pacote ExpDes, com 5% de significância nos testes estatísticos. Maiores alturas de planta (AP) ocorrem em profundidades de 150 e 170 mm e maiores áreas foliares médias por planta (AFM) ocorrem nas profundidades de 170 e 250 mm de lençol freático. O rendimento de grãos não foi influenciado pela disponibilidade de radiação solar no período reprodutivo. Em geral, as profundidades do lençol freático de 250 mm e 255 mm nas condições ambientais de 2019 e de 2021, respectivamente, proporcionaram melhores condições de crescimento e desenvolvimento para as plantas de canola. A manutenção do lençol freático em maiores profundidades, através da drenagem de solos de terras baixas, é importante e necessária como um dos fatores necessários para que ocorra a expansão da cultura nessas áreas.

Palavras-chave: *Brassica napus* L. Diamond. Drenagem. Excesso hídrico. Floração.

ABSTRACT

CANOLA RESPONSES TO RISING GROUNDWATER AND RESTRICTION OF SOLAR RADIATION

AUTHOR: Eduardo Castiglioni Monteiro

ADVISOR: Arno Bernardo Heldwein

The canola crop (*Brassica napus* L.) has great economic importance, due to the high quality of its oil and high protein content in its grains. As its cultivation takes place in winter, there are extensive idle areas of floodplains in subtropical environments in Brazil that could be used for cultivation, provided that the excess water in the soil is controlled by the increase in the water table. In this region, there is also greater cloudiness in winter, which may also limit the expression of the crop's productive potential by reducing the availability of solar radiation. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of the elevation of the water table and the restriction of the availability of solar radiation in the reproductive subperiod of canola on growth, development and grain yield. The experiments were carried out in a greenhouse with automated opening management, located in the Department of Plant Science at the Federal University of Santa Maria (UFSM). The design used was completely randomized (DIC) with six replications, and in 2019 six levels of water table depth (0, 50, 100, 150, 200 and 250 mm) were evaluated. In 2021, two factors were evaluated, two levels of factor A - restriction of availability of solar radiation (0 and 50% restriction) inside the greenhouse and four levels of factor D - depth of the water table (0, 85, 170 and 255 mm), totaling eight treatments. The Diamond hybrid was sown in July 2019 and May 2021 in drip irrigated pots. Each experimental unit consisted of a vase with a volume of 20 liters with three plants, filled with soil of the Brown-Agrey Argisol class. Permanent maintenance of the depth of the water table from the beginning of flowering to the end of the crop cycle was possible by making siding boxes according to the dimensions of the pots, where the inside of the boxes was lined with three layers of plastic film. to accumulate water. To impose the restriction on the availability of global solar radiation (R_g) in 2021, a structure with black raffia screen (50%) was made on and around the plants. The environmental conditions, the growth and the production of the plants were evaluated and the data analyzed using the Software R with the ExpDes package, with 5% of significance in the statistical tests. Greater plant heights (AP) occur at depths of 150 and 170 mm and greater average leaf areas per plant (AFM) occur at depths of 170 and 250 mm of water table. Grain yield was not influenced by the availability of solar radiation during the reproductive period. In general, the water table depths of 250 mm and 255 mm in the environmental conditions of 2019 and 2021, respectively, provided better growth and development conditions for canola plants. The maintenance of the water table at greater depths, through the drainage of lowland soils, is important and necessary as one of the necessary factors for the expansion of the culture to occur in these areas.

Keywords: *Brassica napus* L. Diamond. Drainage. Excess water. Flowering.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Altura de plantas (AP) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático de 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b).....32
- Figura 2 – Área foliar média por planta (AFM) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 avaliada em diferentes dias após a imposição dos tratamentos (DIT) (a – 09/09 (7 DIT); b – 16/09 (14 DIT); c – 23/09 (21 DIT); d – 30/09 (28 DIT); e – 07/10 (35 DIT); f – 14/10 (42 DIT))34
- Figura 3 – Área foliar média por planta (AFM) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 85, 170 e 255 mm e com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 avaliada em diferentes dias após a imposição dos tratamentos (DIT) (a, b – 14/08 (12 DIT) / c, d – 21/08 (19 DIT) / e, f – 28/08 (26 DIT)).....37
- Figura 4 – Área foliar média por planta (AFM) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 85, 170 e 255 mm e com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 avaliada em diferentes dias após a imposição dos tratamentos (DIT) (g, h – 04/09 (33 DIT) / i, j – 11/09 (40 DIT) / k, l – 18/09 (47 DIT) / m, n – 25/09 (54 DIT) / o, p – 03/10 (62 DIT))38
- Figura 5 – Massa seca média de folhas senescentes (MSFS) de plantas de canola submetidas aos níveis de profundidade do lençol freático de 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b).....39
- Figura 6 – Evapotranspiração relativa média (ET_{rr}) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 85, 170 e 255 mm e com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% avaliada entre cada avaliação de área foliar (a = 6-12 DIT; b = 13-19 DIT; c, d = 20-26 DIT; e, f = 27-33; g, h = 34-40 DIT) em 2021.....40
- Figura 7 – Evapotranspiração relativa média (ET_{rr}) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 85, 170 e 255 mm e com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% avaliada entre cada avaliação de área foliar (i, j = 41-47 DIT; k, l = 48-54 DIT; m, n = 55-62 DIT) em 2021.....41
- Figura 8 – Massa seca da parte aérea (MSPA) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b, c)43
- Figura 9 – Número de grãos por siliqua (NGS), massa de mil grãos (MMG) e número de síliquas por planta (NSP) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a, c, e) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b, d, f)45
- Figura 10 – Rendimento de grãos por planta (RGP) e índice de colheita (IC) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a, c) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b, d)48

Figura 11 - Radiação solar global (R_g) na estação meteorológica nos períodos de inverno e início da primavera de 2019 (a) e do outono à meados da primavera de 2021 (b) em Santa Maria – RS.....	55
Figura 12 – Radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) incidente externa (RFAinc) até o dia 08/09, transmitida pela casa de vegetação no ambiente com a ausência (RFAtrs) e presença de sombreamento (RFAtrc) (a) e a transmissividade para a RFA nos ambientes com (Tcs) e sem sombreamento (Tss) em 2021 (b).....	56
Figura 13 – Média diária da temperatura do ar (TM) no lado externo (TMe) e interno (TMi) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (TMics) e sem sombreamento (TMiss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).....	57
Figura 14 – Máxima diária da temperatura do ar (TX) no lado externo (TXe) e interno (TXi) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (TXics) e sem sombreamento (TXiss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).....	58
Figura 15 – Mínima diária da temperatura do ar (TN) no lado externo (TNe) e interno (TNi) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (TNics) e sem sombreamento (TNiss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).....	60
Figura 16 – Média diária da umidade relativa do ar (UR) no lado externo (URme) e interno (URmi) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (URmics) e sem sombreamento (URmiss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021(d).....	61
Figura 17 – Média diária da pressão parcial de vapor (e) no lado externo (e EXT) e interno (e INT) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (e ics) e sem sombreamento (e iss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).....	62
Figura 18 – Média diária do déficit de saturação (Δe) no lado externo (Δe EXT) e interno (Δe INT) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (Δe ics) e sem sombreamento (Δe iss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).....	63
Figura 19 – Velocidade média (VMext) e máxima (VXext) diária do vento no exterior da casa de vegetação durante o período experimental em 2019 (a), velocidade média no exterior (VMext) e interior (VMcv) da casa de vegetação em 2021 (b) e velocidade máxima no exterior (VXext) e interior (VXcv) da casa de vegetação em 2021 (c).....	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	A CULTURA DA CANOLA.....	14
2.2	DESAFIOS E RESTRIÇÕES FÍSICAS DO AMBIENTE E DE CULTIVO.....	16
2.3	EXCESSO HÍDRICO NO SOLO	19
2.4	RESTRIÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR	21
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1	TRATAMENTOS, DELINEAMENTO E MANEJO.....	23
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DA CASA DE VEGETAÇÃO	27
3.3	DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	29
3.4	AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO E RENDIMENTO.....	30
3.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	CRESCIMENTO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO	32
4.2	RENDIMENTO DE GRÃOS E SEUS COMPONENTES	42
5	CONCLUSÕES.....	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	APÊNDICE A - AMBIENTE DE CULTIVO DURANTE OS PERÍODOS EXPERIMENTAIS EM 2019 E 2021.....	55
	APÊNDICE B – CASA DE VEGETAÇÃO MODELO POLY VENLO.....	65
	APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO.....	66
	APÊNDICE D – TUBO EXTRAVASADOR E GARRAFA PLÁSTICA COM CAPACIDADE DE 2L.....	67
	APÊNDICE E – MINI-ABRIGO UTILIZADO PARA PROTEGER SENSORES DE TERMOPAR DO TIPO T	68
	APÊNDICE F – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS ALTURA DE PLANTAS E MASSA SECA MÉDIA DE FOLHAS SENESCENTES EM 2019 E 2021.....	69
	APÊNDICE G – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DE ÁREA FOLIAR MÉDIA POR PLANTA EM 2019	70
	APÊNDICE H – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DE ÁREA FOLIAR MÉDIA POR PLANTA EM 2021 – PARTE 1/2	71
	APÊNDICE I – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DE ÁREA FOLIAR MÉDIA POR PLANTA EM 2021 – PARTE 2/2	72
	APÊNDICE J – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO RELATIVA MÉDIA EM 2021 – PARTE 1/2	73

**APÊNDICE K – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL
DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO RELATIVA MÉDIA EM 2021 – PARTE 2/2.....74**

**APÊNDICE L – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS
MASSA SECA, RENDIMENTO E SEUS COMPONENTES EM 2019.....75**

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

No decorrer dos anos a população mundial vem aumentando, fazendo com que a demanda por alimentos e energia cresça significativamente em diferentes continentes. O Brasil tem destaque como um grande produtor mundial de grãos na América do Sul, exportando seus excedentes de produção e, conseqüentemente, aquecendo a economia do país por manter um saldo positivo na balança comercial. Para atender a demanda crescente de alimentos há duas possibilidades: crescimento vertical e/ou horizontal da agricultura. Nesse caso, dada a limitação de novas áreas, o crescimento vertical será a melhor opção, seja pela elevação da produtividade das lavouras ou pela exploração de áreas ociosas em parte do período anual.

Atualmente no Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul, existem áreas ociosas, principalmente no inverno, que apresentam solos com baixa drenagem da água excedente após precipitações pluviométricas, ocasionando excesso hídrico. Geralmente essas áreas são de terras baixas que vêm sendo utilizadas para o cultivo da cultura do arroz irrigado por inundação no verão. Entretanto, no período de inverno essas áreas ficam ociosas ou então apenas com alguma cultura de cobertura ou pastagem, o que pode gerar pouca renda ao produtor e à cadeia agroindustrial.

Ao decorrer dos últimos anos tem-se intensificado os estudos sobre o cultivo da cultura da soja (*Glycine max* (L.)) nessas áreas no período de primavera/verão. Inclusive, há produtores investindo nessa produção, obtendo bons resultados em produtividade e rentabilidade. Aliado a isso, para otimizar essas áreas de uma forma ainda mais rentável, a cultura da canola surge como uma possível opção para o período de outono/inverno, principalmente após a safra de soja, por exigir menos preparo do solo do que após a colheita de arroz. A cultura da canola quebra o ciclo de algumas pragas e doenças das culturas de verão, auxilia na ciclagem de nutrientes e proporciona uma melhor utilização de máquinas e implementos existentes na propriedade (TOMM *et al.*, 2009). A canola também proporciona uma remuneração equivalente ao preço da saca da soja (FABRICIO, 2020), e se for instalada por processo de sobressemeadura à soja, apresentaria um menor custo de implantação pois poderia ser utilizado maquinário já existente na propriedade, bem como, aproveitaria melhor o sistema de drenagem superficial realizado para a safra de primavera-verão e o nitrogênio fixado pela soja.

Assim como em outras culturas, a canola também tem seu crescimento, desenvolvimento e rendimento de grãos influenciados negativamente quando ocorrem

condições inadequadas como o excesso hídrico, que ocasiona falta de oxigênio no solo. De acordo com Liao e Lin (2001), essa condição compromete o processo de respiração radicular que, conseqüentemente, prejudica a realização da fotossíntese devido ao baixo desenvolvimento da parte aérea das plantas. Esses autores também relatam que essas restrições ocasionam redução do crescimento radicular e parte aérea do vegetal e, conseqüentemente, a redução da produtividade de grãos.

Apesar da China liderar as pesquisas com canola em áreas com excesso hídrico com a obtenção de bons resultados, no Brasil, as condições de clima, solo, regime hídrico e cultivares são diferentes e pouco se sabe sobre a tolerância e o desempenho das cultivares sob excesso hídrico no solo (TARTAGLIA, 2016).

Devido ao curto intervalo de tempo entre elevadas precipitações pluviométricas, a baixa demanda evaporativa da atmosfera no inverno, que determina poucas perdas por evaporação, e as características dos solos presentes em áreas de terras baixas, também denominadas de várzeas, a drenagem da água excedente pelo solo não ocorre em uma velocidade ideal, devesas em fases críticas do ciclo. Essa condição pode ocasionar a manutenção do lençol freático próximo à superfície do solo e conseqüentemente excessos hídricos prejudiciais periódicos.

Geralmente, de forma associada aos períodos de excessos hídricos, ocorre a baixa disponibilidade de radiação solar por períodos prolongados com nebulosidade. Isso determina que a taxa fotossintética da cultura seja reduzida e, conseqüentemente, há o comprometimento da produção de fotoassimilados e do acúmulo de massa seca, com redução do índice de área foliar para ajustar as relações fonte/dreno. Essas duas condições, elevação do lençol freático e redução na disponibilidade de radiação solar, ocorrem de forma associada com maior frequência nas áreas de terras baixas no período de inverno, quando predominam chuvas formadas em sistemas frontais e menor demanda evaporativa da atmosfera. Quando essas duas condições ocorrem de forma intensa e ou prolongada de forma simultânea na área de cultivo, influenciam negativamente a taxa de fotossíntese e a produtividade da cultura.

Diante desses problemas, se torna necessário o estudo sobre quais níveis dessas duas condições extremas à cultura da canola determinam menor impacto negativo no desenvolvimento, crescimento e produtividade de grãos. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da elevação do lençol freático e da restrição da disponibilidade de radiação solar no subperíodo reprodutivo da canola no crescimento, desenvolvimento e rendimento de grãos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA CANOLA

A canola (*Brassica napus* L.) é uma planta oleaginosa pertencente à família *Brassicaceae* e ao gênero *Brassica*. O desenvolvimento dessa cultura ocorreu no Canadá através da realização do melhoramento genético da colza com o objetivo de diminuir os teores de ácido erúxico e glucosinolatos, pois quando estão presentes em grandes quantidades são tóxicos à alimentação humana (TOMM, 2006) e animal.

A canola é uma cultura de ciclo anual, hábito de crescimento indeterminado, com sistema radicular pivotante (THOMAS, 2014). Apresenta caule herbáceo ereto, com ramificações secundárias, terciárias, até quaternárias e com porte variável de 0,5 a 1,7 m de altura. As folhas presentes na parte inferior das plantas são pecioladas e formam a roseta. Após a elongação do caule, as folhas emitidas são lanceoladas e amplexicaules (GULDEN *et al.*, 2008).

Suas pequenas flores são agrupadas em uma inflorescência do tipo racemo, sendo cada flor formada por quatro pétalas amarelas dispostas em forma de cruz, seis estames e um pistilo. O fruto obtido após a fecundação dos óvulos no pistilo é do tipo seco deiscente, denominado de síliqua, apresenta forma cilíndrica e seu tamanho médio é de 6 cm de comprimento e 0,4 cm de espessura. As sementes, dispostas em fileira simples em cada septo no interior das síliquas, são esféricas com 1 a 2 mm de diâmetro e sua coloração varia do marrom ao preto quando maduras (GULDEN; WARWICK; THOMAS, 2008).

A cultura da canola tem grande importância econômica em decorrência da qualidade e conteúdo de óleo em seus grãos (34 a 38%) e elevada quantidade de proteína (24 a 27%) (TOMM, 2007), mas em condições de clima de Cerrado brasileiro (Aw), pode apresentar variações maiores em função da época de semeadura e dos genótipos cultivados (RIGON *et al.*, 2017). Destaca-se também pela quantidade de ômega-3, vitamina E, gorduras monoinsaturadas e menor teor de gordura saturada entre todos os óleos vegetais destinados à nutrição humana (EMBRAPA, 2016).

A produção nacional de grãos de canola está concentrada no estado do Rio Grande do Sul (RS), com mais de 90% de toda a área cultivada com essa oleaginosa no Brasil. De acordo com a Conab (2022), a área semeada com canola no RS foi de 48,5 mil hectares de um total de 53,6 mil hectares em todo país, sendo os maiores produtores os estados do Rio Grande do Sul e do Paraná.

O beneficiamento dos grãos é utilizado na produção de óleo destinado a alimentação humana, bioenergia (biodiesel) e o farelo destinado à alimentação animal (SHARAFIZADEH *et al.*, 2012). De acordo com Tomm *et al.* (2009), a cultura também é utilizada em sistemas de rotação de culturas produtoras de grãos para quebra do ciclo de doenças, principalmente nos períodos de estação fria do ano e especialmente no sul do Brasil, onde apresenta bom desenvolvimento e produtividade. Ainda segundo Tomm (2007), o cultivo da canola pode trazer benefícios para as culturas posteriores através de sua palhada deixada sobre o solo, pois a palha diminui a emergência de plantas daninhas e também disponibiliza uma quantidade considerável de nitrogênio no solo ao ser degradada.

Através do cultivo da canola, é possível otimizar o uso da terra, máquinas e mão-de-obra que durante o inverno geralmente ficam ociosas, gerando assim, renda durante o inverno e não somente durante o cultivo de culturas de verão (MILCIADES *et al.*, 2014). Além disso, sob condições ambientais favoráveis em todo ciclo e sob cultivo altamente tecnificado, pode gerar bons resultados econômicos no período de outono/inverno ao produtor, semelhantes aos ganhos com a cultura da soja no período do verão (AGROLINK, 2022).

Comumente a canola é cultivada em solos bem drenados onde geralmente os excessos hídricos são pouco frequentes, intensos e persistentes durante o período de desenvolvimento da cultura, sendo que a canola necessita em torno de 455 mm de água durante o seu ciclo de desenvolvimento (DOGAN *et al.*, 2011). Porém, tendo em vista a busca pela expansão da cultura no país, além dessas áreas com boa drenagem, também é interessante que sejam inicialmente testadas e, se viáveis, posteriormente utilizadas, as áreas de terras baixas, denominadas de várzeas, caracterizadas por apresentarem solos com baixa drenagem natural. Isso se justifica devido ao fato de que a maior parcela dessas áreas fica ociosa no período de inverno, embora possam gerar bons resultados se a profundidade do lençol freático for manejada de forma adequada para atenuar o excesso hídrico e ainda atender à necessidade hídrica da cultura.

Na China há extensas áreas onde a canola é produzida na Bacia do Rio Yangtzé em sucessão ao arroz, possibilitando renda no período em que as áreas ficariam em pousio (TINGDONG, 2001). O clima dessa região e o sistema de cultivo são diferentes do Canadá e da Europa, sendo que depois de semeadas no campo na resteva do arroz colhido, as sementes de canola e as plantas emergidas muitas vezes podem ficar expostas a períodos de excesso hídrico no solo.

2.2 DESAFIOS E RESTRIÇÕES FÍSICAS DO AMBIENTE E DE CULTIVO

Em seu trabalho, Dossa *et al.* (2014) buscaram identificar as possíveis dificuldades para o crescimento da área de cultivo de canola no Brasil através da realização de entrevistas estruturadas com produtores participantes em três eventos de campo e assim orientar soluções para esses obstáculos. Durante a realização das entrevistas também foi questionado aos produtores que cultivam ou já cultivaram canola o porquê de cultivar a cultura. Dentre as repostas, o principal motivo foi a rotação / diversificação de culturas seguido de questões econômicas, presença de assistência técnica e por último pela tradição / histórico.

Entre as dificuldades enfrentadas no cultivo da canola relatadas pelos produtores estão a sementeira, controle de doenças e pragas, ocorrência de geadas e perdas na maturação e principalmente na colheita dos grãos. Todos esses problemas determinam que a cultura fique cada vez mais restrita a um menor número de produtores altamente tecnificados, pois os mesmos, ao optarem em trabalhar com a cultura, estão investindo em tecnologia de cultivo e conhecimento para obter safras mais produtivas e possível intensificação dos sistemas de produção de grãos da propriedade. Diante dessas dificuldades citadas para a ampliação da área de cultivo com a cultura, Dossa *et al.* (2014) sugerem que trabalhos futuros tenham o objetivo de mostrar que as mesmas têm sido minimizadas devido ao aperfeiçoamento de práticas de manejo e também que, com uma maior transferência de tecnologia, o aumento das áreas de cultivo seja possível.

Mesmo realizando o correto manejo da cultura ao longo do crescimento e desenvolvimento, os ganhos finais na colheita estão intimamente dependentes das condições ambientais ocorridas durante o ciclo produtivo. As condições meteorológicas que mais afetam o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura da canola são a precipitação pluvial, temperatura do ar e a disponibilidade de radiação solar (SANCHES *et al.*, 2014).

A precipitação pluvial adequada é essencial para atender a demanda hídrica e, com isso, assegura que os processos metabólicos das plantas sejam realizados normalmente sem estresses, pois tanto o excesso quanto o déficit hídrico prejudicam o desenvolvimento das plantas. Segundo Dogan *et al.* (2011), a cultura da canola é sensível aos estresses hídricos, principalmente durante as fases de floração e enchimento de grãos. O déficit hídrico durante essas fases pode induzir redução na concentração de óleo, podendo ser reduzido em até 2,16% (SINAKI *et al.*, 2007).

Sentelhas e Monteiro (2009) apontam que em períodos com poucas precipitações, abaixo do ideal para a cultura, a deficiência hídrica induz as plantas ao fechamento de seus

estômatos, fixando menos CO₂ e influenciando negativamente o processo de fotossíntese. Também apontam que, por outro lado, períodos com muitas precipitações, acima do ideal para cultura, levam à redução da oxigenação dos solos, diminuindo a atividade radicular e a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Com isso, tanto a deficiência hídrica quanto o excesso hídrico levam à redução da produtividade de grãos da cultura.

Um período de excesso hídrico seguido de um período de seca pode submeter a planta a um estresse hídrico mais intenso devido ao seu sistema radicular reduzido e distribuído a uma menor profundidade limitar a planta a explorar um menor volume de solo para absorção de água e nutrientes. Assim, a planta destina mais energia para produção de raízes, em detrimento do crescimento da parte aérea (TARTAGLIA, 2016).

Mesmo a cultura da canola sendo responsiva ao fotoperíodo, o elemento meteorológico que mais influencia o desenvolvimento fenológico da cultura é a temperatura do ar (BATTISTI *et al.*, 2013; LUZ *et al.*, 2012). De acordo com Luz *et al.* (2012), existe uma relação linear negativa entre temperatura do ar e a duração do ciclo, o que indica que o aumento da temperatura do ar ocasiona a diminuição da duração do ciclo e dos subperíodos, sendo o subperíodo mais sensível à temperatura o que se estende da emergência das plantas até o final do florescimento.

A temperatura do ar considerada ótima para a canola durante o ciclo de desenvolvimento, situa-se em torno de 20°C (ROBERTSON *et al.*, 2002). Na região Sul do Brasil ocorrem geadas nos dias mais frios no período de final de outono e inverno, podendo ocasionar a morte das plântulas quando as temperaturas atingem -3°C e -4°C, principalmente no estágio cotiledonar (DALMAGO *et al.*, 2010).

Mesmo que a ocorrência de geadas na floração ocasione o abortamento de flores, há um menor efeito negativo desse fenômeno sobre o rendimento de grãos de canola quando comparado aos danos causados em outras culturas nesse subperíodo. Isso ocorre devido ao típico longo período de floração da canola, que pode variar desde 20 dias em híbridos precoces e até 45 dias em híbridos de ciclo longo, permitindo a compensação da perda de parte das flores (TOMM, 2007).

Para a meteorologia, a geada é definida como a deposição de gelo cristalino decorrente da sublimação do vapor de água presente no ar sobre superfícies expostas, em forma de prismas ou agulhas (ramificados ou não), de leque ou escamas (KOVALESKI, 2015). A sublimação do vapor de água sobre superfícies naturais expostas ocorre à temperatura de superfície menor ou igual a 0°C e menor que a temperatura do ponto de orvalho do ar.

Já do ponto de vista agrônomo, a geada consiste em um fenômeno atmosférico que pode provocar a morte total das plantas ou de parte de suas estruturas vegetativas e/ou reprodutivas através do congelamento dos tecidos vegetais. Durante a ocorrência de geada pode haver ou não a formação de gelo sobre as plantas, ocorrendo a formação de gelo quando há um intenso resfriamento da superfície provocado pelo saldo de radiação noturno negativo e quando a temperatura da superfície for mais baixa que a temperatura do ponto de orvalho do ar e abaixo de 0 °C (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007). Dalmago *et al.* (2010), em trabalho sobre a aclimação ao frio e danos por geada na cultura, verificaram que mesmo sob o resfriamento para a condição de temperatura de -3°C a canola, posteriormente ao dano parcial, conseguiu recuperar a área foliar e produzir massa seca de forma semelhante à condição sem geada.

Por outro lado, períodos com temperatura do ar acima de 27°C durante o estágio reprodutivo da canola também podem causar o abortamento de flores e siliques, reduzindo severamente o potencial produtivo da canola (BATTISTI *et al.*, 2013). Em decorrência da importância durante todo ciclo produtivo, a temperatura do ar é considerada no zoneamento de risco climático em diferentes locais de cultivo juntamente com valores de precipitações pluviárias, sendo que a temperatura do ar apresenta forte relação com a radiação solar incidente.

A radiação solar é responsável pelo fornecimento de energia para que ocorra o processo de fotossíntese, sendo que na cultura da canola além de ser realizada pelas folhas, a fotossíntese também é realizada pelos ramos e siliques (DALMAGO *et al.*, 2009). A fotossíntese, tal como a respiração, responde também à temperatura do ar, pois influencia a taxa das reações metabólicas das plantas, regulando o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Temperaturas crescentes induzem ao aumento da taxa de fotossíntese, invertendo-se, porém, a relação sob temperaturas muito elevadas (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009), o que resulta em redução da taxa de fotossíntese líquida.

Dentro do dossel de plantas, as diferentes condições meteorológicas apresentam variações temporais e espaciais em seus valores, sendo assim chamadas de ambiente micrometeorológico (OKE, 2006). Esse ambiente micrometeorológico varia de acordo com a espécie cultivada, manejo, disponibilidade de nutrientes e estágio fenológico. Com o conhecimento das condições meteorológicas e micrometeorológicas que ocorrem ao longo do ano agrícola é possível fazer um melhor planejamento dos tratamentos culturais que necessitam ser realizados desde a semeadura até a colheita da cultura. Mesmo que algumas condições meteorológicas extremas ocorram sem conhecimento prévio, é necessário semear a canola em época adequada para que as fases mais críticas das plantas não coincidam com o período de

maiores riscos agrometeorológicos para o adequado crescimento, desenvolvimento e expressão do potencial de produtividade dos híbridos e variedades utilizadas.

2.3 EXCESSO HÍDRICO NO SOLO

As plantas cultivadas em ambientes onde ocorrem períodos de excesso hídrico no solo geralmente sofrem estresses. Esse excesso hídrico determina menor crescimento, desenvolvimento e rendimento de grãos das plantas em relação às áreas onde a disponibilidade hídrica é adequada. O excesso hídrico por longos períodos no solo é considerado um estresse abiótico que interfere no desenvolvimento das culturas agrícolas, sendo seus efeitos potencializados quando o lençol freático se mantém na proximidade da superfície do solo (AHMED *et al.*, 2013).

Existem diferentes fatores que determinam a ocorrência de excesso hídrico em áreas produtivas, sendo eles: sistemas de irrigação inadequados, topografia desfavorável ao escoamento do excesso de água, solo com drenagem natural deficiente ou com problemas de compactação e, principalmente, as condições meteorológicas de elevada precipitação pluvial. Nas condições do inverno em terras baixas da depressão central do Rio Grande do Sul, o excesso hídrico no solo é agravado pela baixa evaporação decorrente da menor densidade de fluxo de energia proveniente do sol que a superfície do solo recebe nessa época do ano. Na cultura do girassol, foram obtidos resultados em que o excesso hídrico dependeu da precipitação pluvial, das condições atmosféricas de demanda evaporativa e de fatores relacionados às plantas e às características físico-hídricas do solo (LUCAS *et al.*, 2015).

Os fatores observados por Lucas *et al.* (2015) podem ser considerados para as demais culturas de sequeiro, pois os mesmos ocorrem similarmente nas demais áreas produtivas com diferentes culturas. Em terras baixas, onde se cultiva o arroz irrigado por inundação no verão, a pequena profundidade do solo cultivado e a presença de uma camada subsuperficial impermeável compactada, em condições de elevadas precipitações pluviais, favorecem a intensidade e a duração do excesso hídrico. Em áreas de terras altas (*highlands*), geralmente, a maior profundidade dos solos e a ausência de uma camada impermeável natural, além da declividade favorável ao escoamento superficial da água em excesso, reduz a presença, a duração e a intensidade do excesso hídrico em relação às terras baixas.

Entre os estresses causados pela presença de excesso hídrico está a baixa disponibilidade de oxigênio para as raízes, podendo ocasionar a respiração anaeróbica, colapso na absorção de

água e nutrientes, baixa produção de ATP devido à anaerobiose e o acúmulo de etileno que, consequentemente, induz a senescência foliar precoce. O comprometimento da absorção de água ocasiona a murcha das plantas mesmo com água disponível no solo, porém em excesso (LOOSE *et al.*, 2017). No momento em que inicia o processo de substituição do metabolismo aeróbico para o anaeróbico, devido a deficiência de oxigênio no solo, pelo processo de oxirredução também ocorre o acúmulo de íons tóxicos para as plantas, tais como Manganês (Mn^{2+}), Ferro (Fe^{2+}), Óxido Nitroso (N_2O), Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Com a finalidade de evitar os efeitos prejudiciais causados pelo excesso de água no solo, muitas plantas desenvolvem no sistema radicular estruturas anatômicas e morfológicas (BAILEY-SERRES; VOESENEK, 2008), tendendo a amenizar o problema. Como exemplo, pode ser destacada a formação de aerênquima em algumas plantas e a produção de raízes adventícias (ZOU *et al.*, 2014). Mesmo com a possível ocorrência dessas adaptações das plantas submetidas às áreas com ocorrência de excesso hídrico na China, XU *et al.* (2015) e ZOU *et al.* (2014) constataram que em apenas três dias de excesso hídrico já foram observadas perdas produtivas na cultura da canola.

Em estudos realizados no Brasil, Tartaglia (2016) constatou que em apenas 24 horas em condição de excesso hídrico já houve redução na velocidade de emergência e de estabelecimento das plantas da canola, o que resultou em menor massa seca da parte aérea, número de siliques e rendimento de grãos. Também constatou que a estatura de planta é outra variável afetada pelo excesso hídrico, ocasionando redução de 10%. Esse valor pode chegar a mais de 50%, sendo o número de ramos também reduzido na mesma intensidade (ZOU *et al.*, 2014).

Quando há ocorrência de precipitações muito frequentes e/ou intensas durante o período de floração das plantas de canola, há uma menor produtividade de grãos (ROCHA, 2018). Embora a canola tenha alta taxa de autopolinização, a presença de abelhas possibilita um aumento na fecundação de flores e, consequentemente, um aumento do rendimento de grãos. Quando essas condições citadas por Rocha (2018) ocorrem, o trabalho de polinização por esses insetos é reduzido. Além disso, em dias chuvosos a radiação solar incidente é menor, logo, há uma menor produção de fotoassimilados e maior abortamento de flores e siliques que, segundo Dalmago *et al.* (2009), decorre da menor disponibilidade de radiação solar.

2.4 RESTRIÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é um elemento meteorológico de grande importância para a canola. Com a energia absorvida da radiação solar, as plantas realizam os processos fisiológicos de crescimento e desenvolvimento. A disponibilidade potencial de radiação solar sobre a superfície terrestre varia de acordo com a latitude do local e a época do ano, principalmente, devido a variação na declinação solar ao longo do ano (VAREJÃO-SILVA, 2006). O valor real da radiação solar global incidente (R_g) depende da disponibilidade potencial e dos elementos atmosféricos que atenuam a radiação solar, principalmente as nuvens, a turbidez por aerossóis e o teor de vapor d'água. Portanto, ocorre uma relação negativa entre a disponibilidade de radiação solar global em um determinado local com a condição diária da nebulosidade da troposfera, com maior redução nas estações do outono e inverno no sul do Brasil (SILVA, 2011), justamente no período de cultivo de canola.

A absorção de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) pelas plantas, além dos fatores que afetam a R_g , está relacionada com a interceptação pela cultura, sendo dependente da arquitetura e do índice de área foliar das plantas. Para que a cultura da canola possa interceptar cerca de 90% da radiação solar global incidente é necessário que o dossel alcance um índice de área foliar de dois (NIED, 2013). A faixa espectral da RFA é de 400 a 700 nm (TAIZ; ZEIGER, 2006), correspondendo à uma absorção pelas plantas de aproximadamente 45 % da radiação global.

A interceptação da RFA durante o estágio vegetativo da cultura da canola é realizada principalmente pelas folhas. No entanto, após o início do estágio reprodutivo das plantas, além das folhas, ocorre a contribuição das estruturas reprodutivas (síliquas, flores e hastes) na interceptação da RFA (FOCHESATTO *et al.*, 2016). Devido à produção de fotoassimilados por essas estruturas reprodutivas, a cultura da canola mesmo com a senescência de folhas, consegue atender grande parte das demandas energéticas necessárias para o enchimento de grãos.

Quando ocorrem limitações na disponibilidade de radiação solar, o crescimento e desenvolvimento das plantas são prejudicados devido à falta de energia produzida pelas plantas através da fotossíntese. Além disso, essas limitações podem contribuir para o abortamento de flores na canola (DALMAGO *et al.*, 2009). No Brasil, mais especificamente durante o inverno na região Sul, ocorrem frequentes períodos em que há baixa disponibilidade de radiação solar para as plantas de canola, variando com a latitude do local e época do ano (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Geralmente a baixa disponibilidade de radiação solar está relacionada com chuvas frontais, frequentes no período de outono-inverno, e também com a maior frequência e tempo de permanência de nevoeiros (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009). Essa condição meteorológica deixa a troposfera com maior nebulosidade e intensifica os efeitos negativos do excesso hídrico em áreas de terras baixas, regionalmente denominadas de várzeas. A menor intensidade de energia que incide sobre a superfície vegetada e solo faz com que a evapotranspiração aconteça de forma mais lenta, a uma taxa cerca de apenas 25% da que ocorre no verão (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

Com a menor disponibilidade de RFA ocorre também uma mudança nas relações fonte e dreno de fotoassimilados, sobretudo no subperíodo reprodutivo. Folhas que deixam de ser fonte de fotoassimilados acabam por se tornar drenos, vindo a senescer, especialmente as do terço inferior das plantas. Isso resulta na possibilidade de ocorrer interação da restrição na disponibilidade de RFA com a presença superficial do lençol freático. Conhecer os limites dessas duas condições que possibilitam maximizar a produtividade de grãos na canola é importante para identificar o potencial de cultivo e estabelecer indicadores de manejo para as condições de terras baixas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O local para a realização dos experimentos consistiu numa casa-de-vegetação automatizada (modelo Poly Venlo) (Apêndice B) situada no Departamento de Fitotecnia/CCR/UFSM no município de Santa Maria – RS (latitude 29° 43' 23" S; longitude 53° 43' 15" O e altitude 95 m). O município possui clima do tipo Cfa, subtropical úmido sem estação seca definida (KUNINHTNER; BURIOL, 2001), considerando a classificação climática de Köppen. Foram utilizados dados de dois anos experimentais, sendo que os períodos experimentais (semeadura à colheita) ocorreram entre 03/07 à 29/10/2019 e de 17/05 à 10/10/2021.

A casa de vegetação abria e fechava as janelas zenitais e laterais de forma automática, sendo essa abertura programada para ocorrer quando a temperatura interna era de 20 °C. Com um total de duas janelas laterais e duas zenitais, a casa de vegetação possui uma área total de 240,80 m², sendo 102,4 m² ocupados pelo experimento em ambos os anos.

3.1 TRATAMENTOS, DELINEAMENTO E MANEJO

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com seis repetições em 2019 e 2021. Em 2019 foram avaliados seis níveis de profundidade do lençol freático (0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm). Em 2021 foram avaliados dois fatores, sendo dois níveis do fator A - restrição de disponibilidade da radiação solar (0 e 50% de restrição) que atinge o interior da casa de vegetação e quatro níveis do fator D – profundidade do lençol freático (0, 85, 170 e 255 mm), totalizando oito tratamentos. Os níveis do fator D em 2021 foram escolhidos levando em conta os resultados obtidos no ano de 2019.

A metodologia e avaliações realizadas ao longo do experimento de 2019 foram similares às que foram realizadas em 2021. Cada unidade experimental foi composta por um vaso com capacidade de 20L com três plantas, preenchido com solo fertilizado e pH corrigido conforme recomendações do manual de adubação e calagem para a cultura da canola no RS e SC (SBCS, 2016). Nos dois anos foi utilizado o híbrido de canola Diamond.

Na escolha do híbrido Diamond foram levadas em consideração a área cultivada no RS e as características agronômicas vantajosas desse híbrido, tais como: ciclo precoce, elevado teor de óleo, alta produtividade e rápido estabelecimento inicial (NUSEED, 2020). Também foram considerados resultados obtidos por Rocha (2018) que constatou que houve maior número de siliquis, grãos por síliqua e produtividade de grãos em solos onde não foi realizada a drenagem superficial do excedente de água, indicando haver certa tolerância do híbrido Diamond ao excesso hídrico, quando comparado aos híbridos Hyola 433, Hyola 76 e Alht B4.

A primeira etapa experimental de 2019 e 2021 consistiu na coleta de solo do tipo Argissolo Bruno-Acinzentado (SANTOS *et al.*, 2018a), com peneiramento para retirar impurezas e retirada de uma amostra composta desse solo para realizar a análise química.

Após receber o laudo da análise química do solo em 2021, foi constatado a necessidade de corrigir o pH de 5,0 para 6,0 (Apêndice C), que é o valor de referência à cultura da canola de acordo com as recomendações do manual de adubação e calagem para a cultura da canola no RS e SC (SBCS, 2016). O índice SMP (5,3) para elevar o pH de 5,0 para 6,0 considera o calcário com PRNT de 100%, necessitando ajuste da quantidade de acordo com o calcário utilizado com PRNT 60,39%.

Para o cálculo da quantidade de calcário e adubo N-P-K (05-20-20) necessária para cada vaso, considerou-se a quantidade necessária de calcário e adubo por hectare na camada de 0-10 cm de profundidade, totalizando um volume de total 1000 m³ de solo. Essa quantidade foi transformada para a dosagem necessária para corrigir o volume total de solo necessário para

preencher os 48 vasos com volume de aproximadamente 20 litros vaso⁻¹ (0,96 m³) de solo e chegando à uma recomendação de 248,38 gramas de calcário por vaso (12,42 ton ha⁻¹).

Diante dos teores dos nutrientes presentes no laudo da análise química do solo e de acordo com as recomendações do manual de adubação e calagem para a cultura da canola no RS e SC (SBCS, 2016), a adubação com adubo N-P-K (05-20-20) foi calculada considerando uma expectativa de rendimento de grãos de 2,5 ton ha⁻¹ de canola. A recomendação de nitrogênio (N) foi de 40 kg de N ha⁻¹, onde fazendo o ajuste para uma expectativa de rendimento de 2,5 t ha⁻¹ foram acrescentados 20 kg de N ha⁻¹, totalizando 60 kg de N ha⁻¹.

O teor de fósforo obtido na análise foi classificado como baixo, sendo a recomendação para a cultura com esse teor de 80 kg de P₂O₅ ha⁻¹. Ajustando a quantidade recomendada para a expectativa de rendimento de 2,5 t ha⁻¹ foram acrescentados mais 20 kg de P₂O₅ ha⁻¹. Portanto, totalizando uma recomendação de 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹. Já a quantidade de potássio presente foi classificado como baixo, sendo a recomendação para a cultura com esse teor de 65 kg de K₂O ha⁻¹. Ajustando a recomendação para uma expectativa de rendimento de 2,5 t ha⁻¹ foram acrescentados 15 kg de K₂O, totalizando 80 kg de K₂O ha⁻¹.

O adubo granulado da fórmula 05-20-20 (N; P₂O₅; K₂O) foi aplicado antes da semeadura da cultura, na dosagem de 10 g por vaso. Essa quantidade determinada com a mesma metodologia utilizada para determinar a quantidade de calcário por vaso, sendo adicionado juntamente com o calcário e o solo em uma betoneira em rotação para obter uma mistura homogênea.

A adubação nitrogenada de base foi realizada no momento da semeadura com o teor de nitrogênio presente no adubo NPK utilizado, equivalente à 25 Kg de N por hectare. Os outros 35 Kg necessários foram aplicados em cobertura, sendo metade aplicada no estágio vegetativo com quatro folhas verdadeiras e o restante no florescimento da cultura. Essa quantidade quando transformada para a quantidade por vaso, corresponde à 1,55 g de ureia (45-00-00) por vaso no total das duas aplicações em cobertura.

Após a realização da adubação e calagem, o solo fertilizado foi colocado em vasos constituídos de embalagem plástica com capacidade de 20 L, em ambos os anos. Os vasos foram distribuídos aleatoriamente ao longo da casa de vegetação onde houve a semeadura. No centro de cada vaso foi colocado um tubo de PVC perfurado de 20 mm para facilitar o fluxo de oxigênio no solo acima do nível do lençol freático.

A semeadura ocorreu em cada vaso em uma densidade superior à quantidade de plantas a serem avaliadas, para garantir a emergência de plantas suficientes para a realização do experimento. Aos 10 dias após a emergência (DAE) das plântulas foi realizado o desbaste,

sendo então mantidas as três plantas mais vigorosas por vaso até o final do ciclo da cultura. A data de semeadura foi 03/07 em 2019 e 17/05 em 2021.

Os tratos culturais ao longo do ciclo da cultura foram realizados de forma manual, sendo: eliminação de plantas daninhas, adubação nitrogenada de cobertura e eventual aplicação de produtos fitossanitários somente quando estritamente necessário para o controle de pragas e doenças, conforme Tomm *et al.* (2009). Foi realizada também a troca semanal de lugar dos vasos por sorteio para garantir a aleatoriedade e evitar a influência da posição do vaso na casa de vegetação sobre os tratamentos.

A aplicação dos tratamentos só foi realizada a partir do início do subperíodo reprodutivo (aos 56 e 72 DAE em 2019 e 2021, respectivamente), por ser o subperíodo reprodutivo um dos mais críticos para a produtividade quando há excesso hídrico no solo (TARTAGLIA, 2016). Até a aplicação dos tratamentos houve irrigação de forma manual diária para suprir a demanda hídrica das plantas e também foram realizados os demais tratos culturais, seguindo as recomendações para a cultura de acordo com Tomm (2007). Aos 4 dias antes da imposição dos tratamentos foi instalado o sistema de irrigação composto por um tubo com dois gotejadores dentro de cada vaso.

Para assegurar a aplicação de diferentes profundidades do lençol freático foram confeccionadas caixas de tapume de acordo com as dimensões dos vasos, usados em 2019 e 2021. A parte interna das caixas foi forrada com três camadas de filme plástico de 200 µm para acumular água. Em 2019 houve um furo no filme plástico e na caixa na altura necessária para manter o nível do lençol freático, onde foi afixado um dreno de plástico. Já em 2021, para não furar o plástico e permitir a visualizar o nível do lençol na parte externa da caixa, foi desenvolvido um tubo extravasador (semelhante à um sifão) com o uso de uma mangueira transparente fixada com placas de policarbonato alveolar na parte frontal e interna de cada caixa de tapume na altura correspondente ao respectivo tratamento a ser aplicado. Com o desenvolvimento desse tubo extravasador em 2021, após o término de cada irrigação, o excedente de água era drenado para fora da caixa numa garrafa plástica com capacidade de 2 L (Apêndice D).

Os níveis de água foram repostos através da irrigação por gotejamento até o solo atingir a capacidade de campo, obtido pela ocorrência de drenagem. Ao longo de cada dia eram realizadas duas irrigações, sendo a primeira geralmente das 07:00 às 07:30 horas e a segunda das 13:00 às 13:30 horas. Essas duas irrigações eram controladas pelo uso de um timer digital, para acionar uma válvula solenoide de abertura e fechamento da água no sistema de irrigação, sendo o tempo das duas irrigações previamente estipulado após a realização de testes de vazão

dos gotejadores e, também, em função do início da drenagem de água. O volume de água em cada irrigação foi registrado através do uso de um hidrômetro instalado antes da entrada de água no sistema de irrigação do experimento junto com um filtro de tela.

Para impor a restrição da disponibilidade da radiação solar global (Rg) em 2021 foi confeccionada uma estrutura com telado de ráfia na cor preta (50 %) sobre e nas laterais das plantas. As laterais contrárias à incidência da RFA eram mantidas abertas para assegurar a livre circulação de abelhas e assim proporcionar as mesmas condições ambientais nas duas condições (zero e 50 % de sombreamento) dentro da casa de vegetação. O início da imposição da restrição de Rg foi efetuado de forma concomitante com o estabelecimento do lençol freático constante, realizado quando as plantas atingiram o estágio fenológico de início do florescimento, respectivamente, sendo mantida até o final do ciclo.

A imposição dos tratamentos ocorreu aos 61 e 77 DAS em 2019 e 2021, respectivamente. Quando 50% das plantas já apresentavam o estágio fenológico de florescimento, definindo assim, a imposição dos tratamentos, os vasos foram colocados dentro das caixas de tapume distribuídas ao longo de cinco linhas de irrigação dispostas no sentido norte-sul da casa de vegetação em 2019. Já em 2021, os vasos foram colocados dentro das caixas de tapume distribuídas ao longo das seis linhas pareadas de irrigação, espaçadas entre si por 0,7 m e 1,2 metros entre linhas de irrigação no sentido leste – oeste. Esses espaçamentos foram adotados para permitir adequada movimentação no entorno das unidades experimentais sem ocasionar dano mecânico às plantas no seu manuseio. A irrigação dos vasos em 2021 foi ligada a seis linhas de distribuição de água com tubos de PVC. Cada linha de distribuição foi disposta para irrigar 8 vasos dispostos em linhas pareadas, sendo três linhas destinadas para o ambiente com 50% de restrição da radiação solar e as outras três destinadas para o ambiente sem restrição (sem sombreamento por tela).

Todos os tratamentos foram impostos na mesma condição de desenvolvimento em cada ano. A imposição dos tratamentos começou com o preenchimento das caixas de tapume até a metade do seu volume com água, onde posteriormente se encheu os tubos extravasadores com água para retirar o ar presente em seu interior e assim manter a fluidez da água para regular o nível da água conforme o tratamento aplicado. Após esse procedimento, os vasos foram colocados no interior das caixas e posteriormente realizou-se uma irrigação em todos os vasos até todo o solo atingir a capacidade de campo e assim possibilitar o escoamento da água excedente em cada tratamento.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DA CASA DE VEGETAÇÃO

Para registrar a variação da temperatura do ar (T_{ar} , °C), umidade relativa do ar (UR, %) e radiação solar global incidente (R_g , MJ m⁻² h⁻¹) no lado externo da casa de vegetação, foram coletados dados oriundos de uma estação automática pertencente ao 8° distrito de meteorologia do INMET, localizada nas dependências da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e distante em torno de 180 metros da casa de vegetação onde foram realizados os experimentos. Após a coleta de dados, os valores foram corrigidos para valores diários e posteriormente comparados com os dados do interior da casa de vegetação.

O monitoramento da umidade relativa (%) e da temperatura do ar (°C) dentro da casa de vegetação foram registradas inicialmente através da instalação de dataloggers ITLOG-90 próximos aos vasos em 2019 e 2021. Os mesmos permaneceram registrando informações durante o período anterior e também durante a imposição dos tratamentos. Em 2021, aos 15 dias após à imposição dos tratamentos (DIT), o monitoramento da temperatura (°C) e da umidade do ar na casa de vegetação também foi realizado pelo uso de sensores de termopar do tipo T por psicrometria, com termômetro de bulbo seco (T_{ar}) e úmido (T_u), formando pares psicrométricos. Os mesmos foram protegidos em mini-abrigos, ligados à um multiplexador 25T e datalogger CR1000 da marca Campbell Scientific ® e instalados entre os vasos em cada ambiente a uma altura de 1,20 m do piso da casa de vegetação (Apêndice E).

As leituras da temperatura do ar (T_{ar}) foram mensuradas na junção seca de cabos de fio de cobre e de constantan, tipo T. A temperatura de bulbo úmido (T_u) do par psicrométrico foi medida com a mesma fiação, porém, com junção do termopar tipo T envolta por um cadarço de algodão permanentemente umedecido. A terça parte oposta do cadarço esteve mergulhada em água destilada em um recipiente preso em anexo. A parte mediana do cadarço estava inserida num tubo de plástico transparente para melhorar o efeito da capilaridade da água até a junção do termopar no bulbo úmido. Os dados de T_{ar} e de T_u , obtidos no par psicrométrico, foram utilizados na equação de Tetens, com coeficientes ajustados por Smith (1988), para calcular as pressões de saturação do ar (e_s , hPa), de saturação sobre superfície úmida ($e_{s_{T_u}}$; hPa) e parcial de vapor do ar (e , hPa), com as equações:

$$e_s = 6,108 \times 10^{\frac{7,5 \times T_{ar}}{237,3 + T_{ar}}} \quad (1)$$

$$e_{s_{T_u}} = 6,108 \times 10^{\frac{7,5 \times T_u}{237,3 + T_u}} \quad (2)$$

$$e = e_{s_{T_u}} - \gamma (T_{ar} - T_u) \quad (3)$$

sendo γ a constante psicrométrica, cujo valor médio é de 0,81 hPa °C⁻¹.

A umidade relativa do ar (UR%) e o déficit de saturação do ar (Δe ; hPa) foram obtidos:

$$UR = \frac{e}{es} 100 \quad (4)$$

$$\Delta e = es - e \quad (5)$$

Ao todo, foram instalados três dataloggers ITLOG-90 em um abrigo, oito termopares do tipo T formando quatro pares psicrométricos, sendo dois deles dispostos no ambiente com restrição da radiação solar e os outros dois no ambiente sem restrição da radiação solar. Os sensores foram instalados em quatro mini abrigos. Portanto, no interior de cada mini abrigo, estavam presentes dois termopares, um seco e um umedecido e um pequeno reservatório plástico anexado, preenchido com água destilada (Apêndice E).

Aos 15 dias após a imposição dos tratamentos (DIT) em 2021 iniciou monitoramento da disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) dentro e fora da casa de vegetação. Para tanto, foram utilizadas barras contendo cinco fotocélulas de silício amorfo, ligadas em paralelo e espaçadas 0,15 m entre si. Essas barras foram confeccionadas localmente com o uso de uma calha de alumínio de um metro de comprimento, onde as células de silício amorfo foram fixadas abaixo de uma superfície de acrílico branco fosco com o intuito de proteção, aumentar a sensibilidade e a vida útil. As barras foram conectadas aos mesmos multiplexadores e dataloggers utilizados para fazer a medição dos dados de temperatura e de vento.

As barras foram previamente calibradas realizando medições simultâneas às realizadas com dois sensores Quantum ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), com coeficientes de calibração conhecidos e, portanto, tomados como referência. Após obter o coeficiente de calibração para cada barra medidora de RFA, os dados obtidos foram convertidos de $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para $\text{MJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ através da metodologia proposta por Thimijan e Heins (1983), adaptada por Nied (2013):

$$RFA = \sum_1^n \left[\frac{RFA_m * T}{4,596 * 1000000} \right] \quad (6)$$

sendo, T o tempo, em segundos, entre duas leituras consecutivas, 4,596 o fator para a conversão de μmol para J e 1000000 o fator de conversão de J para MJ.

O datalogger CR1000 foi configurado para fazer leituras em intervalos de tempo de 60 segundos e médias a cada 10 minutos. Ao todo, foram instaladas seis barras de radiação acima do dossel das plantas no interior da casa de vegetação sobre estruturas de madeira, sendo três instaladas no ambiente com restrição da radiação solar e as outras três no ambiente sem restrição da radiação solar. Além dessas seis barras, foram instaladas outras duas no lado externo da casa de vegetação sobre uma estrutura de metal para monitorar a radiação fotossinteticamente ativa incidente no ambiente externo. Todas as barras foram niveladas no sentido longitudinal e transversal.

3.3 DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Além de ter a função de drenar o excedente de água de dentro das caixas de tapume, através do uso do tubo extravasador foi possível coletar a água drenada de cada vaso em garrafas coletoras de Polietileno Tereftalato de 2 L para posteriormente calcular a evapotranspiração real relativa (ETr) de cada dia. A medição da drenagem foi realizada com uma proveta, com capacidade de 1000 mL antes de uma nova irrigação.

Com o hidrômetro foi possível determinar a vazão do sistema que, dividindo pelo número de vasos, permitiu indicar irrigação por vaso (I). Para avaliar eventuais diferenças entre emissores foi efetuada a calibração da irrigação de cada vaso mediante a medida da vazão por vaso com três repetições no tempo de 30 minutos. Esse procedimento permitiu estipular um coeficiente de correção (Corr) da vazão de cada vaso, dividindo a vazão de cada vaso (Q_{vaso}) pela média ($Q_{\text{média}}$) de todos os vasos por: $\text{Corr} = Q_{\text{vaso}} Q_{\text{média}}^{-1}$

A evapotranspiração real diária (ETr_n), em mL, de cada vaso do experimento foi calculada através da equação:

$$\text{ETr}_n = (\text{Corr} (I_{(n)\text{tarde}} + I_{(n+1)\text{manhã}})) - (D_{(n)\text{tarde}} + D_{(n+1)\text{manhã}}) \quad (7)$$

sendo n o dia, I as irrigações da tarde do dia n ($I_{(n)\text{tarde}}$) e da manhã do dia (n+1) ($I_{(n+1)\text{manhã}}$) e D a drenagem referente as irrigações da tarde do dia n ($D_{(n)\text{tarde}}$) e da manhã do dia (n+1) ($D_{(n+1)\text{manhã}}$).

Para uma melhor comparação, optou-se por determinar a evapotranspiração real relativa (ET_{rr}) em cada data. Para realizar o cálculo da ET_{rr} foi escolhido o valor médio da ETr no tratamento de 255 mm de profundidade do lençol freático no ambiente sem sombreamento como de referência (ET_{r255ss}), por:

$$ET_{rr(n)} = ETr_{(n)} / ETr_{255ss(n)} \quad (8)$$

Após houve a determinação da ET_{rr} média dos dias compreendidos no intervalo entre duas avaliações semanais da área foliar (AF). As análises de variância ocorreram para ET_{rr} média por semana de avaliação da AF.

3.4 AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO E RENDIMENTO

Semanalmente foi avaliada a área foliar por planta por um método não destrutivo. O método consistiu na mensuração da maior largura (L, cm) de todas as folhas das três plantas presentes em cada vaso, sendo a área da superfície de cada folha (AF) obtida pela função quadrática: $AF = 0,88735 L^2 + 0,93503 L$, desenvolvida por Tartaglia *et al.* (2016). Após obter a área foliar total de cada planta, foi analisada a média da AF total das três plantas.

A massa seca de senescência foliar foi determinada pela coleta das folhas oriundas de abscisão a cada dois dias. O material foi seco em estufa com circulação de ar forçada à 60°C até a obtenção de massa constante para posteriormente ser determinada a massa foliar seca (g) dessas folhas.

As variáveis avaliadas no momento da colheita consistiram na altura de plantas (AP), massa seca da parte aérea (MSPA), número de grãos por siliqua (NGS), massa de mil grãos (MMG), número de síliquas por planta (NSP) e rendimento de grãos por planta (RGP). A altura de plantas (AP) foi mensurada com o uso de uma régua graduada, mensurando-se a distância entre o colo da planta e o ápice da haste de maior comprimento da planta. Antes de realizar o corte das plantas, foi determinado a contagem manual o número de síliquas por planta (NSP).

Ao final do ciclo da cultura, quando as plantas atingiram a maturação fisiológica, tendo 90% das síliquas com grãos com coloração escura (IRIARTE; VALETTI, 2008), foi realizada a colheita da parte aérea, procedendo-se o corte no colo das plantas rente ao solo. Para determinar a massa seca da parte aérea por planta (MSPA), no momento da colheita as plantas de cada unidade experimental foram seccionadas em partes menores para posteriormente serem

armazenadas, secadas e pesadas. As plantas seccionadas em folhas, caules e siliquas foram acondicionadas em sacos de papel kraft e posteriormente foram colocadas em estufas com circulação de ar forçada à 60°C para secagem até a obtenção de massa constante.

Após a secagem, cada amostra foi pesada em uma balança de precisão analítica (0,001 g de resolução) para a determinação da massa seca das partes vegetativas e produtivas, sendo que logo após a pesagem as siliquas das amostras foram debulhadas manualmente e os grãos separados da palha das siliquas. Os grãos limpos de impurezas foram então armazenados em embalagens separadas e novamente foram colocados para secar nas estufas com circulação de ar forçada à 60°C para secagem até a obtenção de massa constante. O rendimento de grãos por planta (RGP) foi determinado através da pesagem dos grãos após a secagem, debulha e limpeza das amostras, sendo corrigido para a umidade padrão de armazenamento para oleaginosas de 8%.

Para determinar o índice de colheita foi realizada a divisão da massa seca dos grãos pela massa seca total da parte aérea da planta (partes vegetativas + partes produtivas da planta). Foi calculado o IC desconsiderando a massa seca de folhas senescentes (MSFS) (SFS) e considerando a mesma no somatório da massa seca total da parte aérea da planta (CFS).

$$IC = \text{massa seca dos grãos} / \text{massa seca total} \times 100 \quad (9)$$

A determinação do número de grãos por síliqua (NGS) foi realizada através da coleta de 20 siliquas de cada planta em cada parcela, onde foi realizada a contagem dos grãos presentes nas mesmas. Após isso foi feita a relação entre o número de siliquas por planta (NSP) e o número de grãos por síliqua (NGS) por contagem manual. Em seguida da contagem do NGS houve a pesagem destes para determinar a massa de mil grãos (MMG).

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os experimentos de 2019 e 2021 foram avaliados estatisticamente de forma separada. Após a obtenção dos dados, foram testados os pressupostos da homogeneidade e normalidade das variâncias para cada uma das variáveis, realizando-se os testes de Bartlett e de Shapiro-Wilks, respectivamente. Os dados foram analisados utilizando o Software R com o pacote ExpDes e com 5% de significância nos testes estatísticos, sendo feita a análise por meio do

quadro da análise de variância e de regressão linear quando significativo o fator profundidade do lençol freático e para o fator da disponibilidade de radiação solar o teste F.

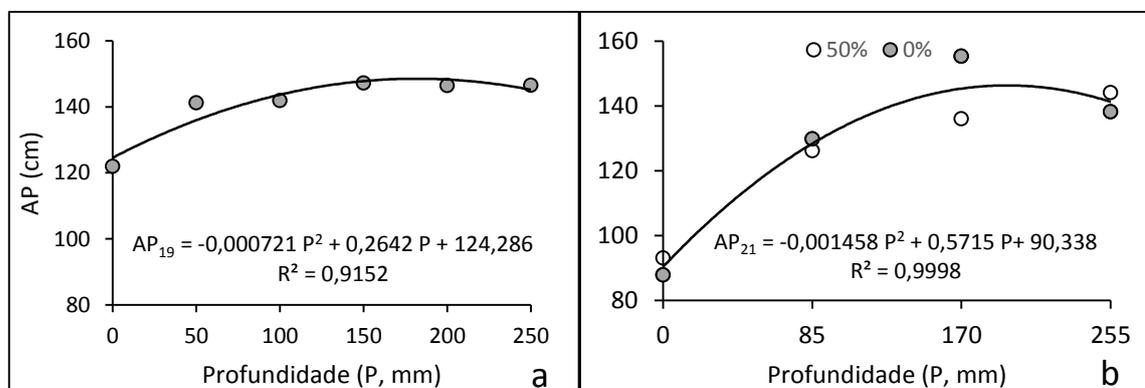
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CRESCIMENTO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A altura de plantas (AP) de canola em 2019 e 2021 foi influenciada significativamente somente pela profundidade do lençol freático (Apêndice F). Nos dois anos houve resposta quadrática da altura das plantas conforme o aumento da profundidade do lençol freático (Figura 1). Em 2019, foram obtidas maiores alturas de planta nas profundidades de 150 e 250 mm. Já em 2021 observou-se maiores alturas de planta nas profundidades 170 e 255 mm. Diante da observação dessas respostas, infere-se que ao cultivar as plantas de canola em níveis mais superficiais de drenagem do que esses em cada ano, há a redução da altura de plantas.

Em média, a altura de plantas em 2019 foi de 140,9 cm, o que representa 11,54 % superior quando comparada à altura de plantas obtidas no ano de 2021 que foi de em média 126,4 cm. Ao se comparar os diferentes ambientes no ano de 2021, observou-se que no ambiente com restrição da RFA a altura de plantas foi em média de 124,9 cm e no ambiente sem restrição foi em média de 127,8 cm (2,36 % inferior), indicando pouco efeito, pelo menos para as condições experimentais nesse ano.

Figura 1 – Altura de plantas (AP) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático de 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b).



Fonte: autor.

Quando as plantas se encontram em ambientes com condições de excesso hídrico, ficam submetidas a estresses como a baixa disponibilidade de oxigênio para as raízes, o fechamento estomático e o acúmulo de etileno, o que pode acarretar a senescência precoce de folhas (AHMED *et al.*, 2013). Diante dos dados obtidos, constatou-se que a altura de plantas de canola foi afetada pelo excesso hídrico presente nos diferentes tratamentos, sendo mais negativo quanto mais próximo o lençol freático foi mantido da superfície do solo. Em seu trabalho, Zou *et al.* (2014) relatam uma redução de 50% da altura de plantas quando a cultura foi submetida ao excesso hídrico, sendo assim confirmado o seu efeito negativo às plantas de canola para a variável altura de plantas.

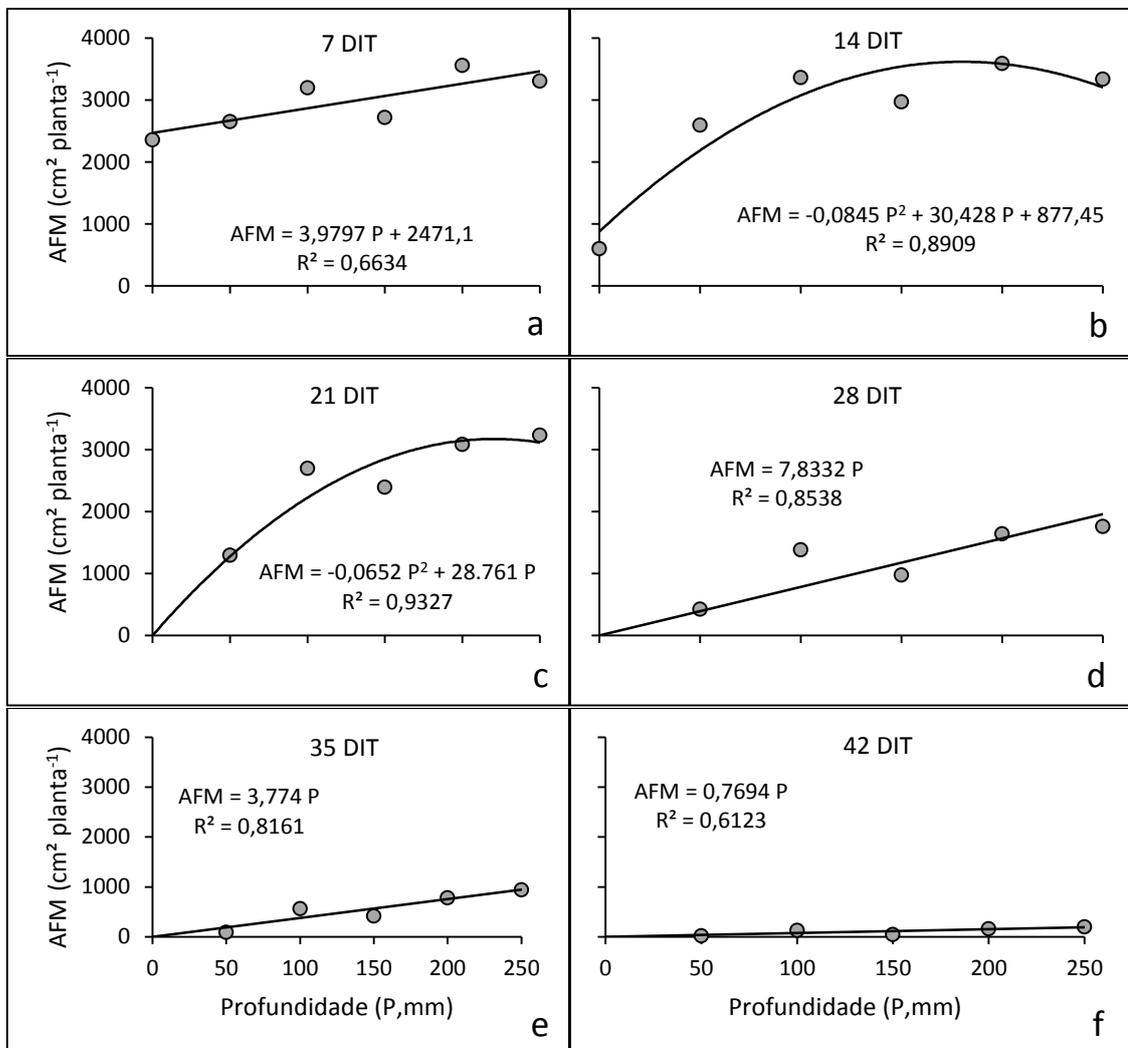
Em trabalhos realizados por Tartaglia (2016), Rocha (2018), Santos *et al.* (2020b) e Schaefer (2021) avaliando os efeitos do excesso hídrico intermitente nas plantas de canola, foram observadas menores alturas de planta em solo com a presença de excesso hídrico quando comparados a solo onde não há a presença de excesso hídrico. Observaram ainda maiores alturas de planta na presença do lençol freático à uma profundidade ideal em relação à superfície que não comprometia o crescimento das plantas.

Rossi *et al.* (2015) observaram que o cultivo da canola em solos com a presença de excesso hídrico até 20 cm de profundidade foi prejudicial para o desenvolvimento da cultura, indicando assim um possível bom desenvolvimento das plantas ao se fazer o manejo da área, para manter o solo aerado nessa camada superficial, crítica para a cultura. Schaefer (2021) também encontrou resultados promissores em seu trabalho ao fazer uso de sulcos com profundidade de 25 cm para drenagem no cultivo da canola, pois essa prática proporcionou uma camada de solo mais aerada para o desenvolvimento das plantas e assim atenuou os efeitos negativos proporcionados pelo excesso hídrico.

A área foliar é a principal estrutura responsável pela interceptação da radiação solar, bem como pela fotossíntese, evapotranspiração e outros processos vegetais, possuindo efeito sobre o rendimento de grãos (KIRKEGAARD *et al.*, 2012). É uma variável importante a ser considerada, por ser determinante para a produtividade final das culturas agrícolas devido ao fato que, exceto os nutrientes minerais provenientes do solo, quase toda massa seca total produzida pelas plantas pelo metabolismo secundário, tem como fonte primária os fotoassimilados produzidos pelas folhas (ROCHA, 2018). Durante a fase vegetativa da cultura da canola, as folhas são responsáveis pela interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e conseqüentemente pela fotossíntese para produção de fotoassimilados. Porém, segundo Fochesatto (2016) ao entrar no estágio reprodutivo, estruturas das plantas como as síliquas, flores e hastes também começam a contribuir para a interceptação da RFA.

Em 2019, o aumento da profundidade do lençol freático (fator D) ocasionou efeitos estatísticos significativos sobre a área foliar (Apêndice G), causando efeitos lineares positivos na maioria das avaliações, exceto aos 14 e 21 dias após a imposição dos tratamentos (14 e 21 DIT) (Figura 2). Na primeira e segunda avaliação (- 6 DIT e 0 DIT) não houve efeitos estatísticos significativos da profundidade do lençol freático sobre a área foliar, demonstrando que ocorreram condições de cultivo semelhantes para todas as unidades experimentais até o momento da imposição dos tratamentos.

Figura 2 – Área foliar média por planta (AFM) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 avaliada em diferentes dias após a imposição dos tratamentos (DIT) (a – 09/09 (7 DIT); b – 16/09 (14 DIT); c – 23/09 (21 DIT); d – 30/09 (28 DIT); e – 07/10 (35 DIT); f – 14/10 (42 DIT)).



Fonte: autor.

Aos 7 dias após a imposição dos tratamentos (7 DIT) houve efeito significativo da profundidade do lençol freático sobre a área foliar. Ao observar as Figuras 2 - c, 2 - d, 2 - e e 2 - f, foi possível verificar que ocorreu redução dos coeficientes angulares de uma avaliação para a seguinte. Isso mostrou que ao passar dos dias após a imposição dos tratamentos, houve a redução gradativa da área foliar e que a presença do lençol freático de forma contínua penalizou a área foliar de forma irreversível.

Ao trabalhar com excesso hídrico na canola, Rocha (2018) constatou que o seu cultivo sem o uso de drenos superficiais (com 20 cm de profundidade), em áreas com a ocorrência de períodos intermitentes com excesso hídrico com elevação do lençol freático, houve reduções de área foliar de cerca de 52,3% a 83,3% nos anos 2016 e 2017, respectivamente.

Já Schaefer (2021), ao trabalhar com ambientes de cultivo com a presença e ausência de drenagem superficial e diferentes espaçamentos entre plantas, constatou que ao utilizar drenos com 25 cm de profundidade, em 2018, obteve índice de área foliar máximo mais precocemente e com longevidade superior. Porém, este IAF máximo, de apenas 2,48, foi similar ao obtido no ambiente com a ausência de drenagem superficial (2,64), devido a excessos hídricos frequentes e persistentes nesses dois ambientes em função das precipitações abundantes desde a fase de roseta até emissão das primeiras flores. Assim, mesmo que as plantas presentes no ambiente com a ausência de drenagem superficial apresentassem menor longevidade de IAF devido à abscisão foliar, o maior valor do IAF máximo ocorreu devido à resposta da planta com a emissão de novos ramos laterais e folhas em decorrência do menor crescimento em altura e maior redução de densidade de plantas na ausência de drenagem.

Em 2019, Schaefer (2021) observou que houve interação entre o fator espaçamento de plantas e drenagem superficial do solo, onde o IAF máximo foi obtido no espaçamento de 0,68 m com valores de 3,94 e 1,56 para os ambientes com e sem drenos, respectivamente. No mesmo ano de 2019, além de ser influenciado pelo fator da drenagem, também houve a interação com o fator de espaçamento entre fileiras de plantas. Mesmo assim a maior área foliar nem sempre está relacionada aos melhores rendimentos de grãos e seus componentes, pois pode haver apenas um gasto maior de energia para emissão e manutenção dessas estruturas, principalmente de ramos secundários e terciários (SCHAEFER, 2021).

Com esses resultados obtidos por Rocha (2018) e Schaefer (2021) é possível inferir que a resposta das plantas de canola ao excesso hídrico intermitente é variável em função do ano de cultivo, bem como, da distribuição e da altura da precipitação pluviométrica. Pois em alguns ambientes a área foliar sofreu reduções extremas e em outros as plantas compensaram a perda de área foliar através da emissão de novos ramos e folhas, mas que não necessariamente

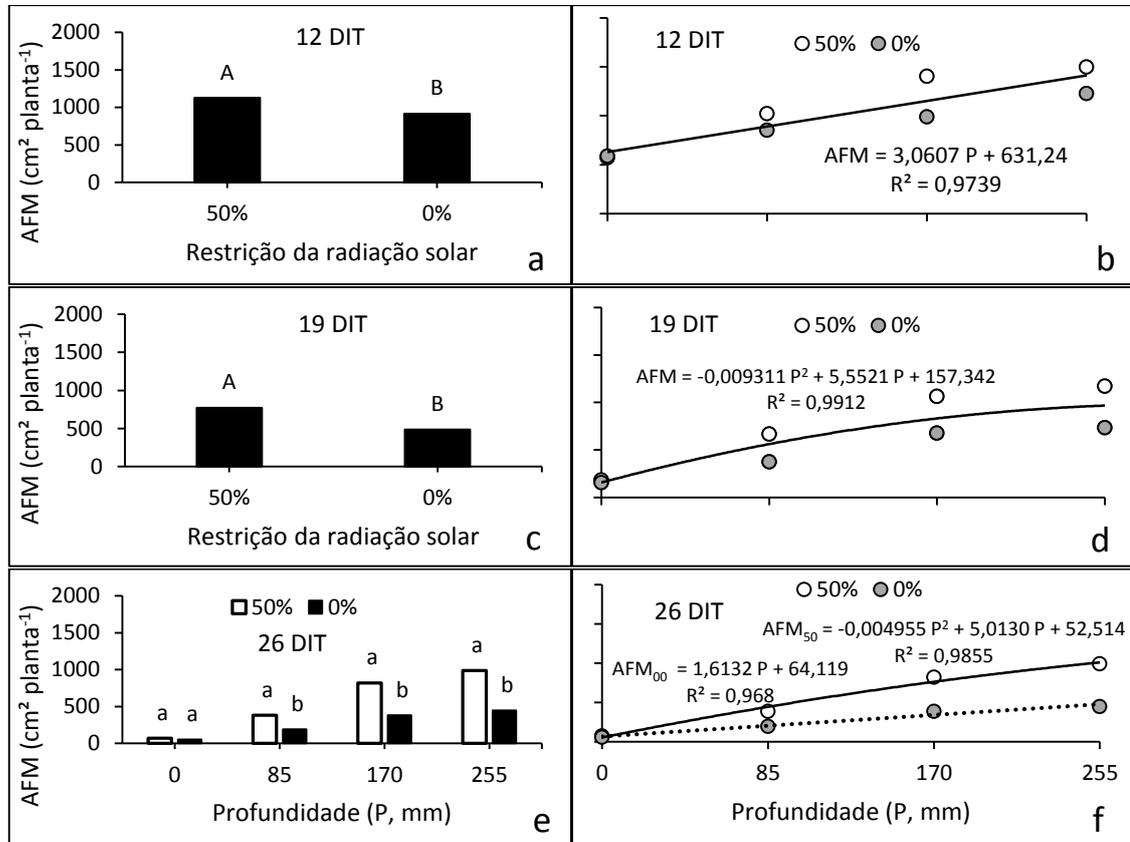
resultaram em maior produção de grãos. Em áreas onde ocorrem períodos de excesso hídrico é fundamental que seja feito o manejo da área para que a profundidade do lençol freático seja maior que 200 mm, pois o estresse às plantas é potencializado quando o lençol freático permanece próximo da superfície após a semeadura e estabelecimento das culturas (AHMED *et al.*, 2013).

Em 2021, houve resposta linear na maioria das avaliações para a variável área foliar, sendo os menores valores observados com o lençol freático mais superficial (Figuras 3 e 4). Nas duas primeiras avaliações (-2 DIT e 5 DIT) não houve efeitos estatísticos significativos para o fator A (0 e 50% de restrição da RFA) e o fator D (níveis de profundidade do lençol freático) e nem para a interação entre esses fatores. Assim, infere-se que a condição de cultivo no período anterior à imposição dos tratamentos foi idêntica, com ausência de efeito do excesso hídrico e da restrição de radiação solar sobre a área foliar também nos 5 primeiros dias após a imposição dos tratamentos. Os efeitos significativos dos fatores restrição da radiação solar e níveis de profundidade do lençol freático iniciaram a partir dos 12 DIT.

Até os 19 DIT houve apenas efeitos simples dos fatores sobre a AF. Ao mesmo tempo que houve efeitos estatísticos significativos para os níveis do fator D (profundidades do lençol freático) a partir dos 12 DIT, também foram significativas as diferenças entre os níveis do fator A (0 e 50% de restrição da RFA), sendo a área foliar superior no tratamento com 50% de restrição da RFA (Figura 3 - a). Dos 26 DIT até os 40 DIT (Figuras 3 e / f, 4 g / h e 4 i / j) houve interação entre os fatores, onde a área foliar para os níveis do fator D 85, 170 e 255 mm foram superiores no tratamento com 50% de restrição da radiação solar. Já para os níveis do fator A, a diferença entre os ambientes se mostrou mais expressiva entre os níveis 170 e 255 mm de profundidade do fator D.

Após esse período, dos 47 DIT até os 62 DIT (Figura 4) novamente houve apenas efeitos simples de cada fator sobre a AF, onde esses efeitos resultaram em respostas lineares das plantas conforme o aumento da profundidade do lençol freático. Aos 35 DIT foi realizada uma nova adubação com a mesma formulação utilizada na semeadura após constatar em nova análise de solo que a adubação não havia suprido as necessidades das plantas de forma eficiente. A resposta das plantas para esse manejo se demonstrou aos 54 DIT (Figura 4 – m / n) com um rápido acréscimo da área foliar.

Figura 3 – Área foliar média por planta (AFM) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 85, 170 e 255 mm e com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 avaliada em diferentes dias após a imposição dos tratamentos (DIT) (a, b – 14/08 (12 DIT) / c, d – 21/08 (19 DIT) / e, f – 28/08 (26 DIT).



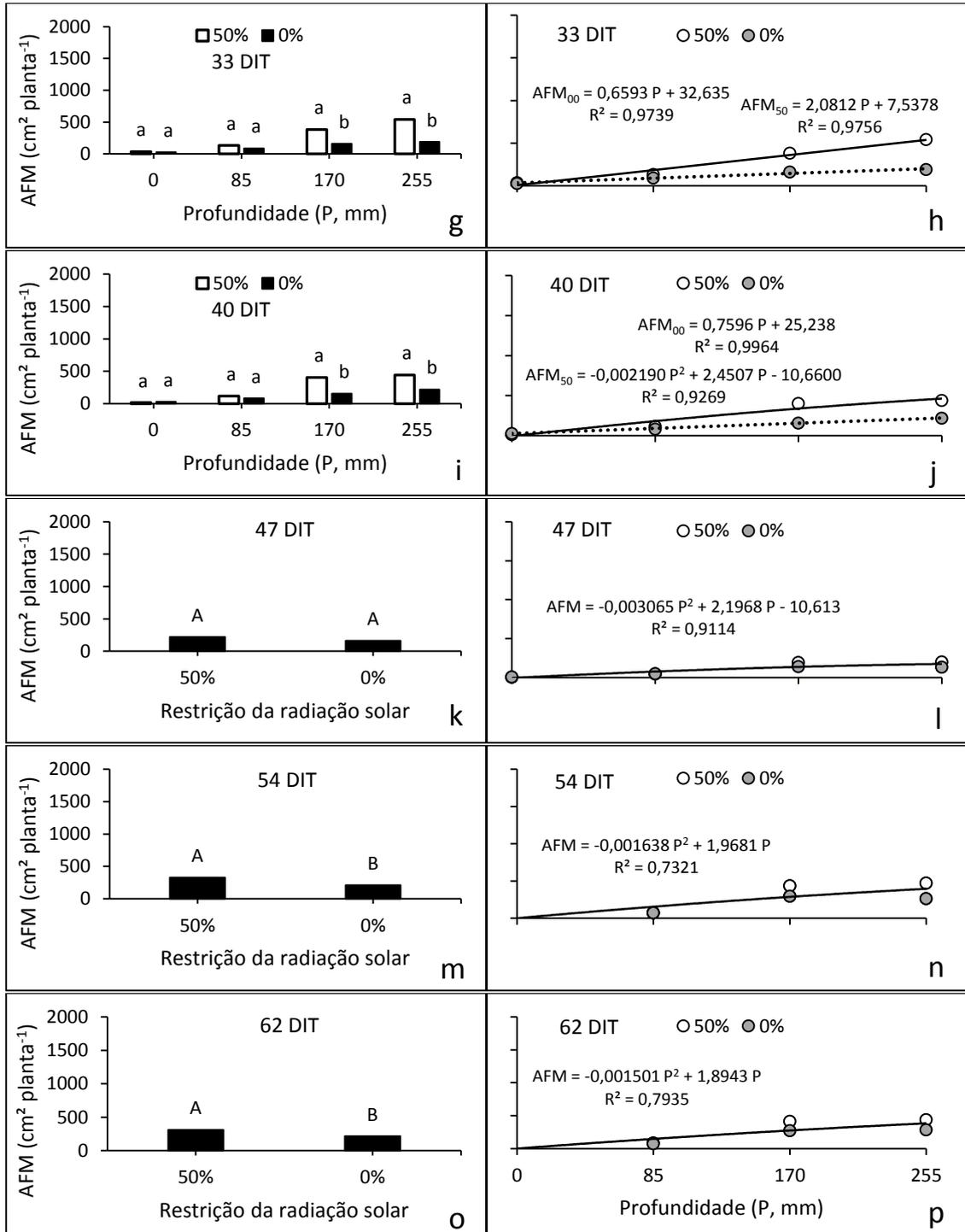
Fonte: autor.

Em condições de cultivo sob excesso hídrico no solo, no lugar do metabolismo aeróbico começa ocorrer o catabolismo anaeróbico nas raízes das plantas e, conseqüentemente, há uma maior síntese de etileno, responsável pela abscisão foliar precoce e abortamento de estruturas reprodutivas (HABIBZADEH *et al.*, 2013). Como as folhas são responsáveis pela produção de fotoassimilados necessários para as plantas, quando há a redução da área foliar há também menos energia disponível para as plantas utilizarem em seu crescimento. Em decorrência disso, a absorção de nutrientes é limitada, principalmente o fósforo, que é um elemento essencial para as plantas (GURGEL *et al.*, 2020).

A redução da área foliar ocorre de forma natural ao longo do ciclo da cultura da canola através da senescência foliar, principalmente ao final do ciclo de cultivo e próximo ao período de colheita. Porém, quando a senescência foliar ocorre de forma antecipada, devido às alterações no ambiente causadoras de estresses, acaba influenciando negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas. No ano de 2019 a massa seca de folhas senescentes

(MSFS) foi em média de 3,13 gramas, já em 2021 foi de 1,95 g por vaso (Figura 5). O valor superior em 2019 se deve ao fato de que naquele ano houve uma maior área foliar das plantas.

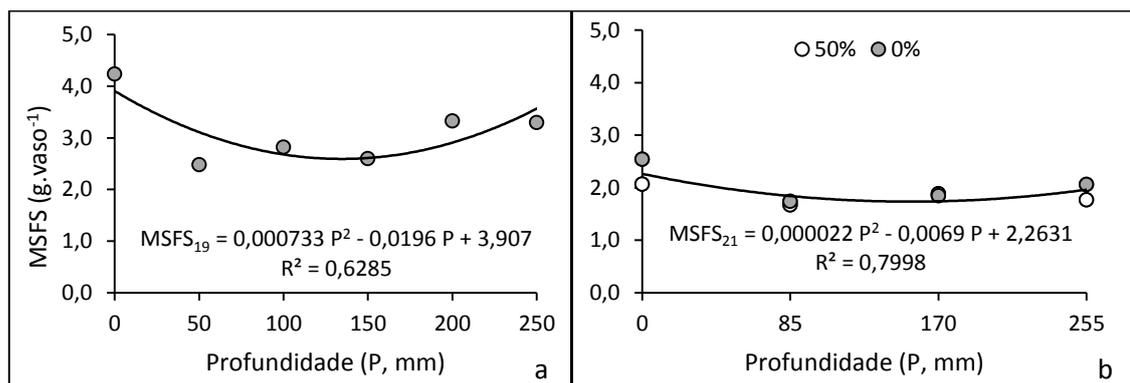
Figura 4 – Área foliar média por planta (AFM) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 85, 170 e 255 mm e com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 avaliada em diferentes dias após a imposição dos tratamentos (DIT) (g, h – 04/09 (33 DIT) / i, j – 11/09 (40 DIT) / k, l – 18/09 (47 DIT) / m, n – 25/09 (54 DIT) / o, p – 03/10 (62 DIT)).



Fonte: autor.

Em ambos os anos de cultivo o aumento do nível da profundidade do lençol freático (fator D) ocasionou efeitos estatísticos significativos (Apêndice F). Houve uma resposta quadrática das plantas para expressar essa variável, sendo o maior valor de massa seca de folhas senescentes (MSFS) obtido no tratamento com menor profundidade do lençol freático (zero) e decrescendo até o tratamento de 50 mm em 2019 e 85 mm em 2021. A partir desses pontos em ambos os anos, houve um pequeno aumento nos valores de MSFS devido à maior área foliar presente nesses tratamentos (Figura 5). Embora em 2021 a massa seca de folhas senescentes (MSFS) para as profundidades de lençol freático iguais a zero e 255 mm tenha sido um pouco maior no ambiente com 0% de restrição da RFA incidente sobre as plantas (Figura 5-b), não houve diferença estatística significativa entre os ambientes de RFA.

Figura 5 – Massa seca média de folhas senescentes (MSFS) durante todo o período reprodutivo de plantas de canola submetidas aos níveis de profundidade do lençol freático de 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b).



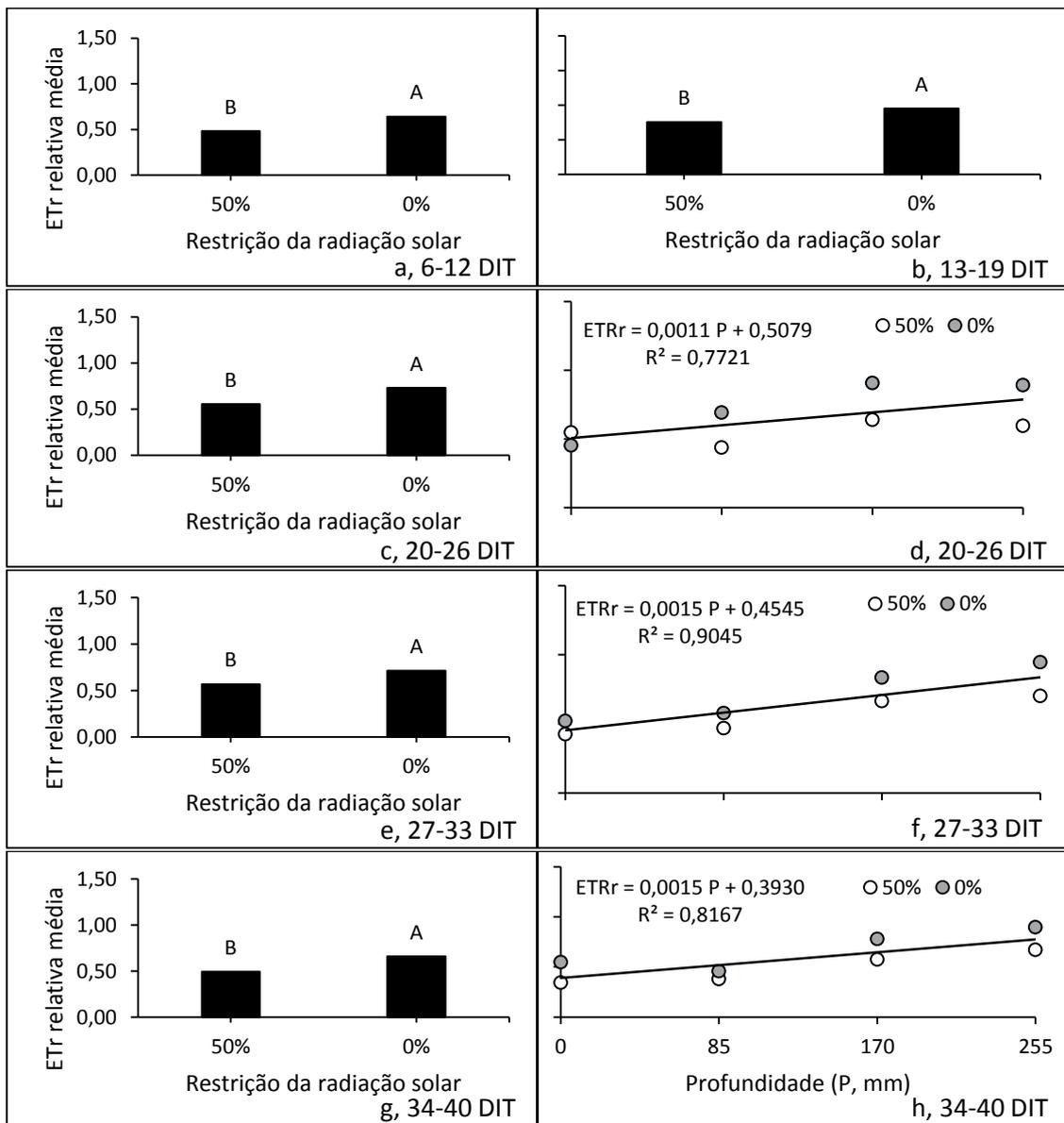
Fonte: autor.

Como as folhas são responsáveis pelo processo transpiratório das plantas, a área foliar não senescente, juntamente com as condições ambientais ocorrentes no local, determina a intensidade desse processo, sendo assim, a evapotranspiração é influenciada pela área foliar das plantas (AF). A evapotranspiração relativa média (ET_{rr}) em 2021 foi superior em todas as avaliações no ambiente sem restrição da RFA, embora tivesse menor AF, em relação ao tratamento com restrição (Figuras 6 e 7). A superioridade da ET_{rr} no ambiente sem restrição da RFA se deve principalmente à maior disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (Apêndice A - Figura 12 - a) e, por consequência, maior saldo de energia disponível para o processo transpiratório na forma de radiação solar global (R_g) presente nesse ambiente.

Isso ocasionou aumento da temperatura do ar e a redução da umidade relativa do ar (Apêndice A - Figuras 13 e 16), causando maior transpiração pelas plantas bem como a maior

evaporação da água presente na superfície do solo nas unidades experimentais. Mesmo possuindo uma maior área foliar no ambiente com restrição da RFA (Figuras 3 e 4), a menor incidência de R_g resultou em menor energia disponível para o processo, além de ocasionar menor temperatura do ar e maior UR, o que determinou que as folhas das plantas transpirassem menos e a evaporação da água da superfície do solo do vaso ocorresse de forma menos intensa.

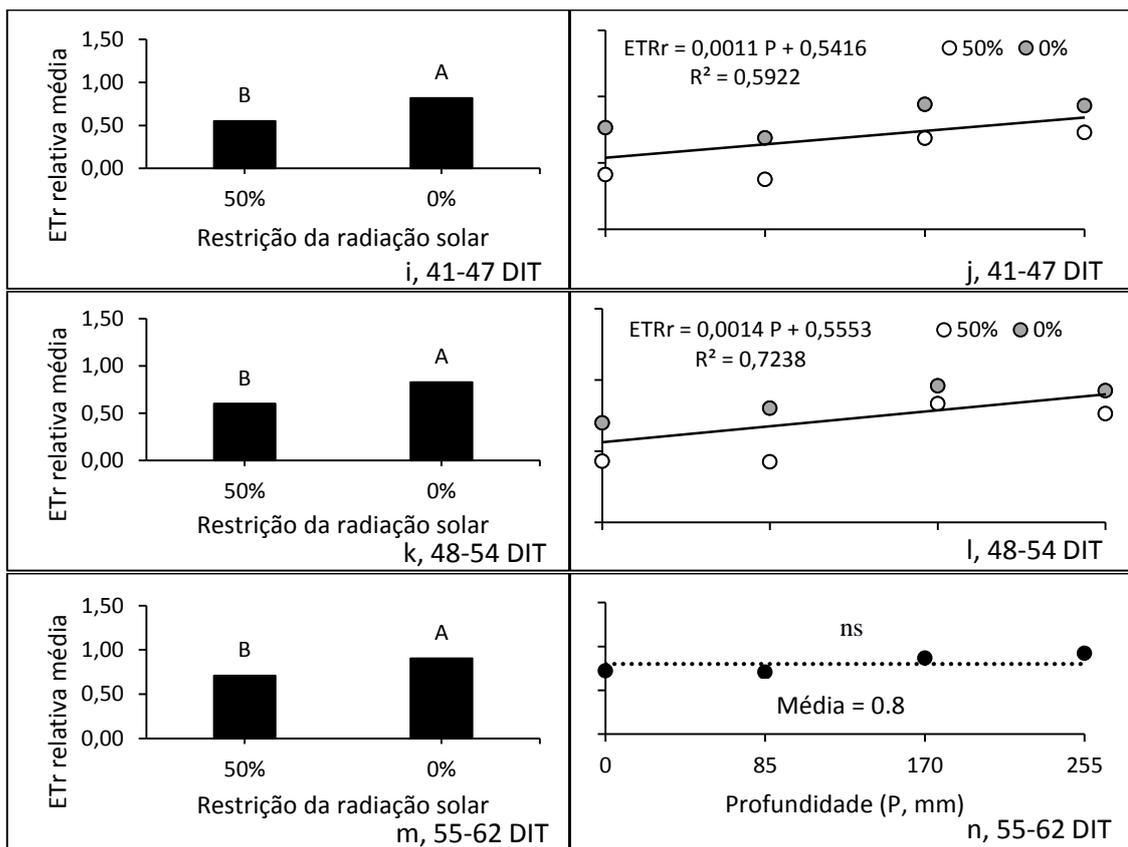
Figura 6 – Evapotranspiração relativa média (ETrr) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 85, 170 e 255 mm e com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% avaliada entre cada avaliação de área foliar (a = 6-12 DIT; b = 13-19 DIT; c, d = 20-26 DIT; e, f = 27-33; g, h = 34-40 DIT) em 2021.



Fonte: autor.

Até o período de 13-19 DIT (dias após a imposição dos tratamentos) houve diferenças significativas apenas entre os dois níveis do fator A (0 e 50% de restrição da RFA) (Apêndice J). A partir de 20-26 DIT também houve efeitos estatísticos significativos para os níveis do fator D (0, 85, 170 e 255 mm de profundidade do lençol freático) (Figura 6 e 7) (Apêndice J e K). Ao longo das avaliações a área foliar das plantas foi diminuindo de forma mais intensa nos níveis 0 e 85 mm de profundidade do lençol freático devido a maior senescência precoce. Logo a evaporação da água da superfície do solo provavelmente passou ser mais expressiva nos valores obtidos para evapotranspiração nos dois ambientes de cultivo em relação a participação da transpiração das plantas.

Figura 7 – Evapotranspiração relativa média (ETrr) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 85, 170 e 255 mm e com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% avaliada entre cada avaliação de área foliar (i, j = 41-47 DIT; k, l = 48-54 DIT; m, n = 55-62 DIT) em 2021.



Fonte: autor.

4.2 RENDIMENTO DE GRÃOS E SEUS COMPONENTES

A massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de canola em 2019 foi influenciada pela profundidade do lençol freático (Apêndice L), resultando em uma resposta linear crescente das plantas com o aumento da profundidade do lençol freático (Figura 8 - a). Para essa variável, os maiores valores de MSPA foram obtidos nos níveis 200 e 250 mm de profundidade do lençol freático (Figura 8-a). Já em 2021, além da influência das diferentes profundidades do lençol freático sobre a MSPA, também houve influência significativa da restrição da radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA), porém não houve interação entre os fatores A e D (Figura 8 - b) (Apêndice M). Nesse ano, houve resposta quadrática das plantas nessa variável com o aumento da profundidade do lençol freático (Figura 8-b).

No fator A (0 e 50% de restrição da RFA) os maiores valores de MSPA foram obtidos no ambiente sem a restrição da RFA (Figura 8 - c) devido à maior disponibilidade de radiação solar fotossinteticamente ativa para as plantas. No fator D (níveis de profundidade do lençol freático) os maiores valores foram obtidos nos níveis de 170 e 255 mm de profundidade do lençol freático devido ao menor estresse pelo excesso hídrico nesses níveis em relação às menores profundidades do lençol freático.

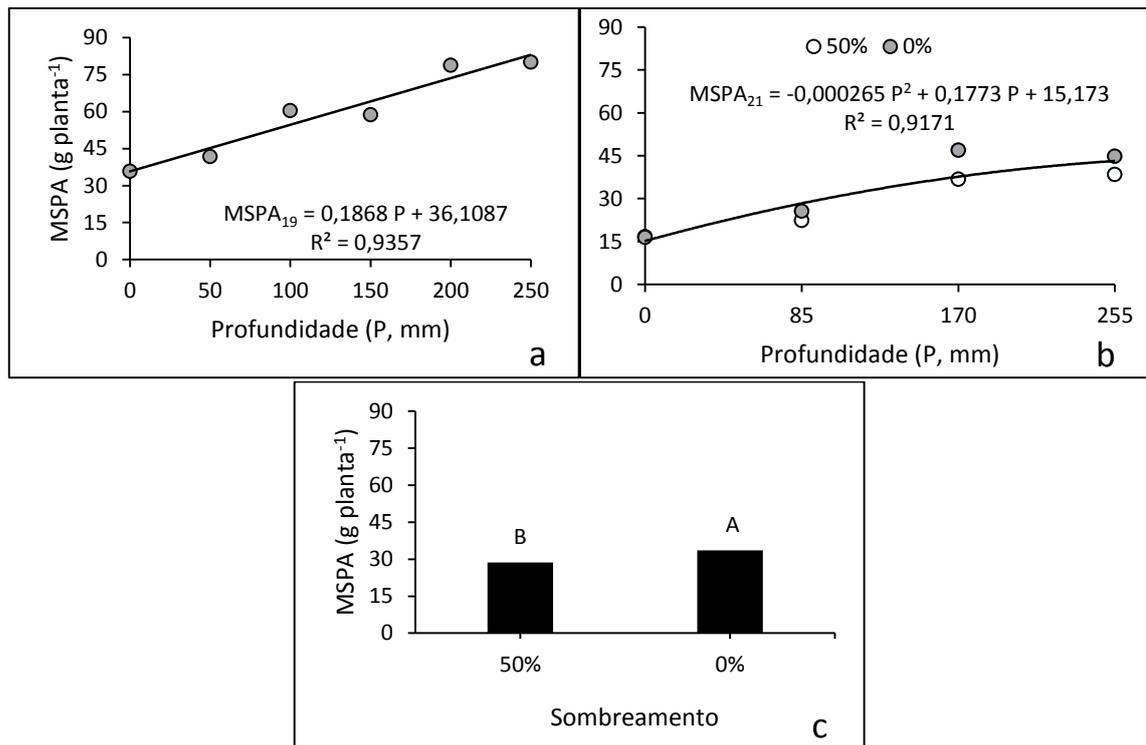
Em média, a MSPA em 2019 foi de $59,36 \text{ g planta}^{-1}$, que foi 47,6 % superior ao verificado em 2021, com ($31,08 \text{ g planta}^{-1}$). Ao se comparar os ambientes em 2021, no ambiente com 50 % de restrição da RFA observou-se em média de $28,64 \text{ g planta}^{-1}$ e no ambiente sem restrição da RFA a média foi de $33,52 \text{ g planta}^{-1}$, o que representa 17,1 % superior a MSPA no ambiente com restrição da RFA (Figura 8 - c), embora a área foliar tenha sido maior no ambiente mais sombreado.

A redução da massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de canola quando há a presença do lençol freático em níveis próximos à superfície do solo ocorre provavelmente devido à redução no teor de oxigênio do solo que acaba restringindo o crescimento da parte aérea (ZOU *et al.*, 2014) e, posteriormente a essa condição, compromete também os demais componentes de rendimento. Tartaglia (2016) e Rocha (2018), em seus trabalhos avaliando os efeitos do excesso hídrico nas plantas de canola, observaram menor MSPA em ambientes sem a realização de drenagem superficial, indicando que essa variável é influenciada negativamente pela presença do lençol freático próximo da superfície do solo.

Rossi *et al.* (2015), ao trabalhar com diferentes profundidades do lençol freático para cultivo de canola, observaram que em profundidades de 10, 20 e 30 cm houve menor desenvolvimento das plantas para a variável de massa seca da parte aérea. Esse comportamento

das plantas também é relatado por Lyra *et al.* (2003), ao observarem que ao ocorrer a redução da profundidade do lençol freático há também a diminuição da aeração do solo e, conseqüentemente, como resultado, há restrição do desenvolvimento e crescimento das plantas.

Figura 8 – Massa seca da parte aérea (MSPA) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b, c).



Fonte: autor.

Assim como a MSPA foi influenciada significativamente pela profundidade do lençol freático, o número de grãos por siliqua (NGS) também foi influenciado (Apêndice L). Em 2019, o aumento da profundidade de lençol freático resultou em uma resposta quadrática crescente do NGS das plantas (Figura 9 – a). Os menores valores foram obtidos nos níveis de profundidade do lençol freático superficial de até 50 mm e os maiores em profundidades maiores que esse nível, apresentando uma tendência de estabilidade a partir da profundidade 100 mm. A tendência a estabilidade em torno de 15 a 16 grãos por siliqua possivelmente se explica pela aproximação ao máximo da expressão do potencial de NGS para as condições de disponibilidade de radiação solar. Conforme resultados de Guimarães *et al.* (2020) o híbrido Diamond sob condições irrigação e de alta disponibilidade de radiação solar durante a estação seca no Cerrado pode produzir em torno de 26 grãos por siliqua. Dessa forma, espera-se que

plantas de canola em menores densidades e espaçamentos maiores entre fileiras apresentem tendência de produzir mais grãos por síliqua, devido a menor competição intraespecífica, e ou apresentar maior MMG, o que não necessariamente resulta no aumento da produtividade.

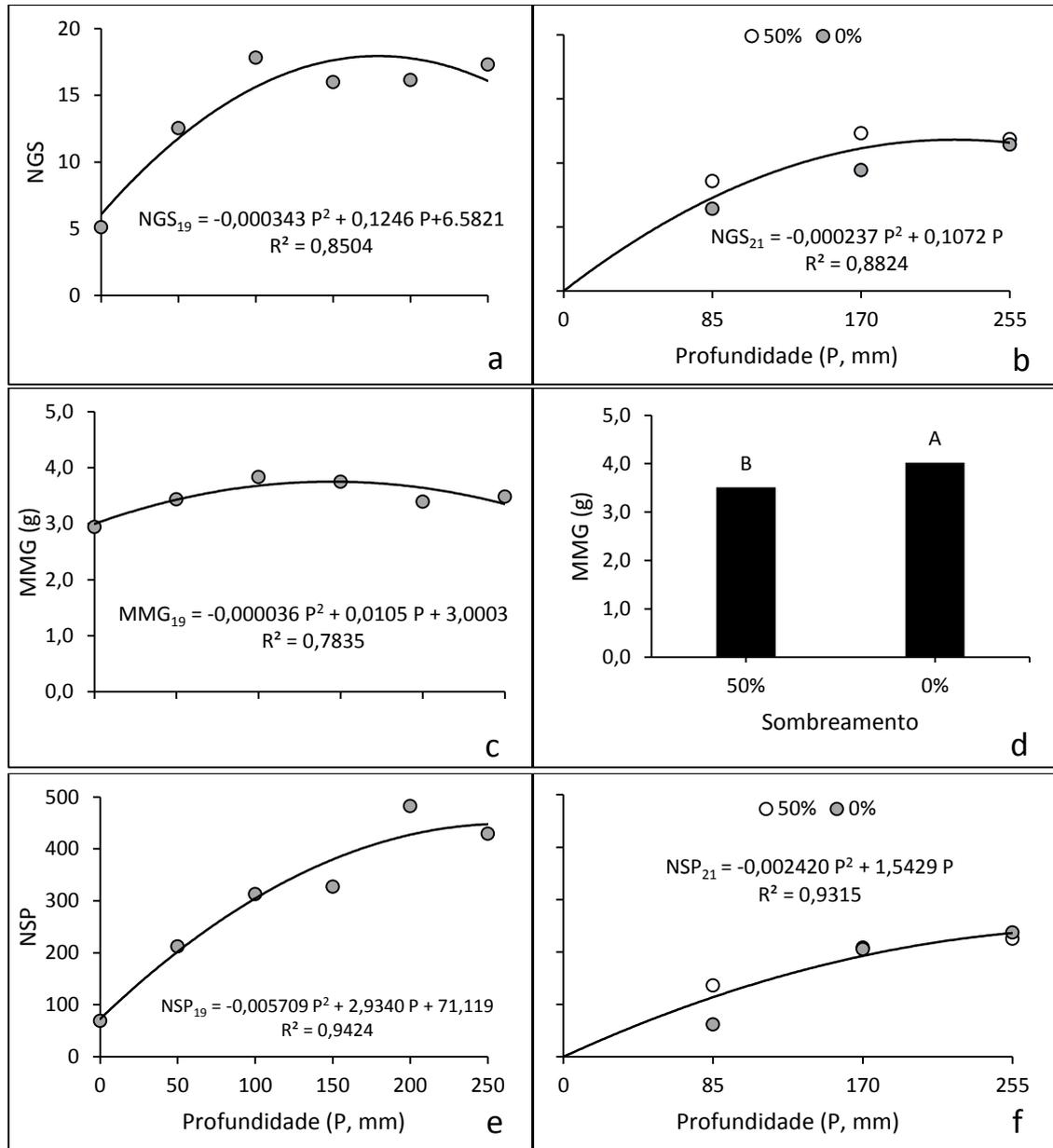
Em 2021, o NGS também foi influenciado significativamente pela profundidade do lençol freático, porém para o fator A (0 e 50% de restrição da RFA) não houve efeito (Apêndice M). No referido ano, também houve resposta quadrática das plantas com o aumento da profundidade do lençol freático (Figura 9 – b). Os menores valores foram observados entre os níveis 0 e 85 mm de profundidade sendo que em 0 mm não houve a produção de síliquas viáveis e conseqüentemente não se obteve dados de NGS.

Em média, o NGS em 2019 foi de 14 grãos, o que foi 40 % superior quando comparado ao NGS obtido em 2021 com média de apenas 10 grãos. No ambiente com 50 % e sem restrição (0%) da RFA obteve-se em média de 11 e 9 grãos por síliqua, respectivamente, o que representa ser 18,2 % inferior no ambiente sem restrição da RFA, porém sem diferença estatística e possível compensação de maior massa de grãos (MMG).

No cultivo de canola em ambientes com e sem drenagem superficial, Schaefer (2021) constatou que o NGS foi impactado significativamente no ambiente de solo sem drenagem. Observou que no ano de 2018, em média, houve uma superioridade de 130,8 % e em 2019 superioridade de 26,5% de grãos por síliqua no ambiente com drenagem em relação ao sem drenagem. Diante desses dados, Schaefer (2021) destaca que a realização da drenagem superficial do solo em ambientes onde ocorre excesso hídrico pode contribuir tecnicamente para a implantação com êxito da canola nessas áreas, bem como aumentar a produtividade dessa cultura. Considerando-se também os resultados obtidos no atual trabalho, pode-se inferir ser imprescindível evitar que o lençol freático se aproxime da superfície do solo, principalmente em solos com características de má drenagem, como os Planossolos e solos de Terras Baixas (Várzeas).

A variável massa de mil grãos (MMG), em 2019 foi influenciada significativamente pela profundidade do lençol freático (Apêndice L). Houve uma resposta quadrática crescente para essa variável com o aumento da profundidade do lençol freático, porém com tendência de estabilidade em profundidades maiores que 50 mm (Figura 9 – c). Já em 2021, a MMG foi influenciada significativamente somente pelo fator A (0 e 50 % de restrição da RFA) (Apêndice M). O maior valor foi obtido no ambiente sem restrição da RFA, com média de 4,02 g contra 3,51 g obtido no ambiente com restrição da RFA, o que representa superioridade de 12,7 % no ambiente sem restrição da RFA (Figura 9 – d).

Figura 9 – Número de grãos por siliqua (NGS), massa de mil grãos (MMG) e número de síliquas por planta (NSP) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a, c, e) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b, d, f).



Fonte: autor.

Schaefer (2021) também encontrou maiores valores de MMG quando cultivou plantas de canola em ambiente onde foi realizada a drenagem superficial de solo em comparação ao cultivo onde não foi realizada a drenagem. Em 2018, observou uma MMG de 2,74 g no ambiente com drenagem superficial (58,7 % superior ao ambiente sem drenagem). Em 2019 a MMG foi de 4,10 g no ambiente com drenagem (13,3 % superior ao ambiente sem drenagem). Schaefer (2021) enfatiza que as plantas provavelmente sofreram um menor estresse quando foi

realizada a drenagem, sendo então possível uma maior produção e deslocamento interno de fotoassimilados para o enchimento de grãos.

O número de siliquis por planta (NSP) em 2019 e 2021 foi influenciado significativamente pela profundidade do lençol freático (Apêndice L e M), resultando em uma resposta quadrática crescente das plantas conforme o aumento da profundidade do lençol freático (Figura 9 – e; Figura 9 – f). Os maiores valores do NSP foram obtidos nos níveis 200 e 255 mm de profundidade do lençol freático em 2019 e 2021, respectivamente.

Em 2019 o NSP médio foi de 306, sendo 70,9 % superior ao NSP médio de 179 obtido em 2021. O NSP é um componente de rendimento importante na produção de grãos de canola, pois há tendência de que plantas com um maior número de siliquis tenham maiores rendimentos de grãos (XU *et al.*, 2015). Porém, assim como observado nas variáveis NGS e MMG, o NSP foi igual a zero para o tratamento de 0 mm de profundidade do lençol freático em 2021 em ambos os ambientes (0 e 50% de restrição da RFA). Isso ocorreu porque houve o abortamento de estruturas reprodutivas com a imposição dos tratamentos, incluindo a não produção de siliquis e, conseqüentemente, de grãos devido ao solo ficar continuamente saturado nos dois ambientes de RFA, reforçando a importância da drenagem do solo sugerida por Tartaglia (2016), Rocha (2018) e Schaefer (2021).

O rendimento de grãos por planta (RGP) em 2019 e 2021 foram influenciados significativamente pela profundidade do lençol freático (Apêndices K e L), sendo, respectivamente, a resposta das plantas descritas por funções quadrática e linear positivas com o aumento da profundidade do lençol freático (Figura 10 – a; Figura 10 – b). Os maiores valores do RGP foram alcançados nos níveis de 226 (ponto de máxima eficiência técnica) e 255 mm de profundidade do lençol freático em 2019 e 2021, respectivamente.

Em média, o RGP em 2019 foi de 16,76 g, sendo 252,1 % superior ao RGP obtido em 2021, que foi de em média 4,76 g. Em seus trabalhos sobre a produção da cultura da canola com e sem drenagem superficial do solo em locais onde há possibilidade de ocorrência de períodos com excesso hídrico, Tartaglia (2016), Rocha (2018) e Schaefer (2021) encontraram menores produtividades de grãos nos ambientes onde não foi realizada a drenagem do solo. Santos *et al.* (2020b) também encontraram resultados similares, ao avaliarem diferentes épocas de desfolha nas plantas da canola cultivada em ambientes com e sem a realização da drenagem do solo.

Esses resultados fortalecem a ideia de que a drenagem superficial do solo para a atenuação dos impactos negativos causados pelo excesso hídrico sobre a produtividade de grãos é um manejo de fundamental importância para que a cultura da canola possa se estabelecer bem

e consiga se desenvolver de maneira adequada em áreas de Terras Baixas e solos mal drenados naturalmente. Diante disso, os resultados obtidos nos anos de 2019 e 2021 podem auxiliar de forma efetiva para determinar a profundidade dos drenos para a retirada do excesso hídrico da área de forma eficiente. De forma geral, considerando os resultados de NGS, NSP e RGP pode-se inferir que as profundidades do nível do lençol freático ideais foram na ordem de 250 e 255 mm nas condições ambientais de 2019 e 2021, respectivamente.

O índice de colheita (IC), assim como o rendimento de grãos por planta (RGP), em 2019 foi influenciado significativamente pela profundidade do lençol freático, resultando em uma resposta quadrática crescente com o aumento da profundidade do lençol freático, em ambas as situações de se considerar e desconsiderar a MS de folhas senescentes na determinação do IC (Figura 10 – c). Porém, ao considerar a MS de folhas senescentes, o IC sofreu uma pequena redução, mas manteve sua tendência de forma similar ao IC desconsiderando a MS de folhas senescentes. Nesse ano, os valores do IC foram crescentes desde a profundidade de 0 mm até 100 mm, havendo tendência de estabilidade nos valores observados para profundidades maiores.

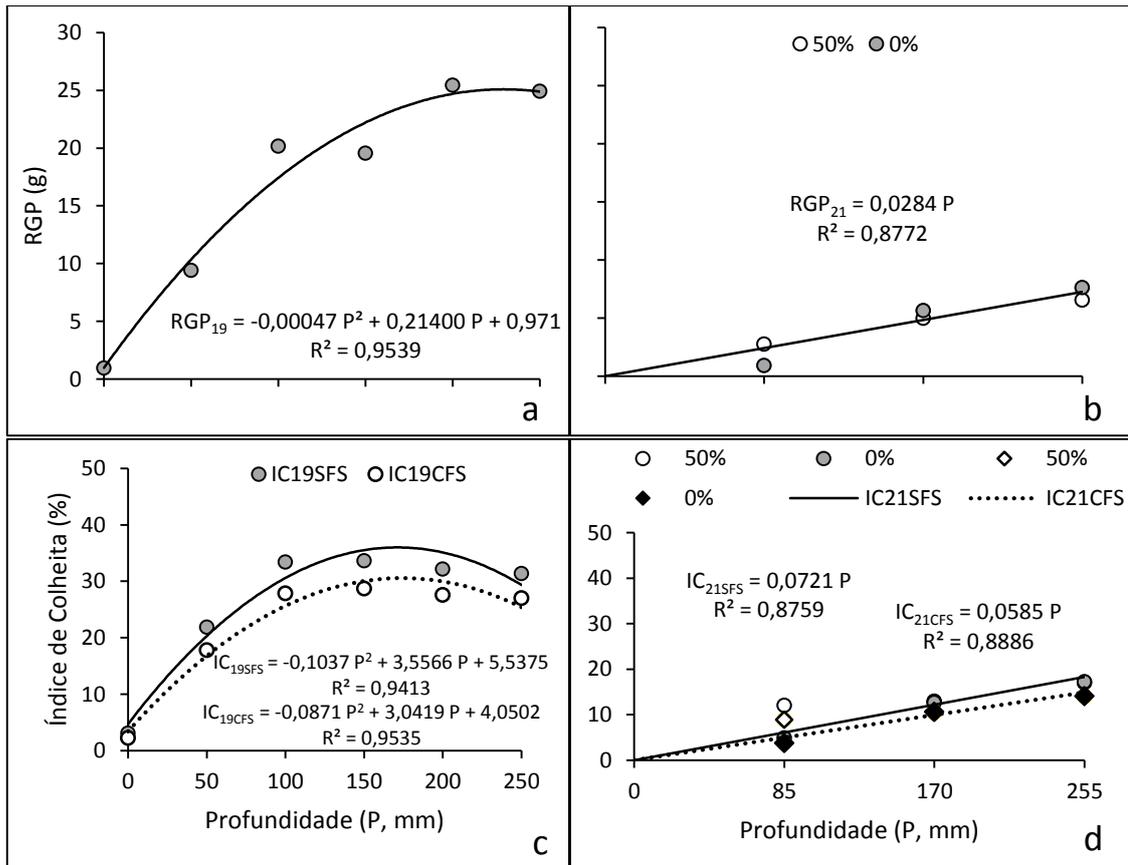
Já em 2021 o IC foi influenciado significativamente somente pela profundidade do lençol freático, gerando uma resposta descrita por função linear crescente do IC com o aumento da profundidade do lençol freático. Os maiores valores de IC nesse ano foram obtidos nos níveis 170 e 255 mm de profundidade do lençol freático (Figura 10 – d). Em média, o IC desconsiderando a MS de folhas senescentes em 2019 foi de 25,9 % e considerando 21,9%. Em 2021 o IC obtido desconsiderando a MS de folhas senescentes foi em média de 12,8 % e o considerando foi de 10,3 %.

Ao comparar os diferentes ambientes em 2021, observou-se que com 50% de restrição da RFA o IC, desconsiderando a MS de folhas senescentes, foi de em média de 14,0 % e, considerando a MSFS, 11,1 %. No ambiente sem restrição da RFA, desconsiderando a MSFS, foi em média de 11,6 % e, considerando a MSFS, de 9,5 %.

Em ambientes de cultivo para canola com e sem drenagem superficial do solo em um Argissolo Bruno-Acinzentado Ta Alumínico típico, unidade de mapeamento Santa Maria, Schaefer (2021) em 2018 encontrou valores de IC médio de apenas 2,5 % no cultivo em solo sem a drenagem. O mesmo autor destacou que esse valor extremamente baixo pode ser devido à elevação do lençol freático decorrente de chuvas mais frequentes e prolongadas registradas nesse ano, causando um maior estresse e, conseqüentemente, influenciando negativamente no crescimento e desenvolvimento das plantas. Já em 2019 Schaefer (2021) encontrou valores de IC de 20,2 % no ambiente onde não foi realizada a drenagem e de 28,3 % no ambiente onde foi

realizada a drenagem do solo com sulcos de cerca de 250 mm de profundidade, indicando que em anos muito chuvosos os drenos superficiais permitem apenas uma mitigação parcial do problema do excesso hídrico em terras baixas.

Figura 10 – Rendimento de grãos por planta (RGP) e índice de colheita (IC) de canola submetida aos níveis de profundidade do lençol freático 0, 50, 100, 150, 200 e 250 mm no ano de 2019 (a, c) e de 0, 85, 170 e 255 mm com níveis de restrição da radiação solar de 0 e 50% em 2021 (b, d).



Em (d) a reta IC21SFS e IC21CFS se referem ao IC desconsiderando e considerando a MS de folhas senescentes após a imposição dos tratamentos, respectivamente.

Fonte: autor.

Diante desses resultados, assim como para a variável produtividade de grãos, o IC foi maior em profundidades do lençol freático maiores. Isso demonstra que maiores profundidades do lençol freático proporcionam melhores condições de cultivo para a cultura da canola em áreas onde pode ocorrer excesso hídrico no solo. Portanto, os resultados encontrados demonstraram a importância do conhecimento sobre qual profundidade do lençol freático é crítica para determinar como deve ser feito o manejo da área com a realização de drenos para realizar a drenagem do excedente de água que possa se encontrar na área de cultivo, sendo

possível inferir que as profundidades do lençol freático ideais são da ordem de 250 mm, como as obtidas nas condições ambientais de 2019 e 2021, bem como por outros trabalhos em condições de campo realizados por outros autores como Rocha (2018) e Schaefer (2021).

5 CONCLUSÕES

As maiores alturas de planta (AP) em canola ocorrem quando as profundidades do lençol freático no subperíodo reprodutivo situam-se entre 150 e 170 mm.

O aumento da profundidade do lençol freático determina efeito positivo sobre a área foliar média por planta, iniciando com efeitos significativos a partir do sétimo dia após a imposição dos tratamentos.

A restrição de 50% da radiação solar determina maior área foliar média por planta (AFM) e há a interação significativa com a profundidade do lençol freático dos 26 DIT até os 40 DIT em 2021.

As maiores áreas foliares médias por planta (AFM) ocorrem nas profundidades de 170 a 255 mm, indicando que a presença do lençol freático próximo da superfície no período reprodutivo determina forte redução da área foliar pelas plantas.

A evapotranspiração relativa média (ET_{rr}) é maior em plantas de canola cultivadas sob profundidades do lençol freático de 170 a 255 mm, sendo superior em todas as avaliações no ambiente sem restrição à radiação solar em relação à condição de 50% de sombreamento.

A massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de canola no subperíodo reprodutivo é maior quando ocorrem níveis da profundidade do lençol freático a partir de 200 mm da superfície do solo e em ambientes sem a restrição da radiação solar.

O número de grãos por siliqua (NGS) é afetado positivamente pelo aumento da profundidade do lençol freático, com maiores valores entre as profundidades de 182 e 240 mm.

A massa de mil grãos (MMG) apresenta tendência de estabilidade em profundidades do lençol freático maiores que 50 mm e é reduzida pela restrição na disponibilidade de radiação solar.

Os maiores valores do número de síliquas por planta (NSP) e rendimento de grãos por planta (RGP) ocorrem entre os níveis de 250 e 255mm de profundidade do lençol freático.

O excesso hídrico causado por menores profundidades do lençol freático durante o subperíodo reprodutivo da cultura da canola reduz o crescimento das plantas, influenciando negativamente a altura, área foliar e massa seca da parte aérea e folhas senescentes.

Profundidades do lençol freático mais superficiais afetam negativamente o rendimento de grãos e seus componentes.

Os componentes de rendimento do número de grãos por síliqua e número de síliquas por planta são mais prejudicados pela profundidade do lençol freático próxima a superfície do que a massa de mil grãos.

A manutenção do lençol freático em profundidades de 230 mm através da realização da drenagem de solos em terras baixas é importante e pode viabilizar a expansão do cultivo de canola nessas áreas, além de suprir parte das necessidades hídricas da cultura.

REFERÊNCIAS

AGROLINK. **Cotações**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/cotacoes>. Acesso em: 07 de nov. 2022.

AHMED, F. *et al.* **Waterlogging tolerance of crops: breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects**. BioMed Research International, v. 2013, p.110, 2013.

BAILEY-SERRES, J.; VOESENEK, L. A. C. J. **Flooding stress: acclimations and genetic diversity**. Annual Review of Plant Biology, v.59, p.313-339, 2008.

BATTISTI, R. *et al.* **Dinâmica floral e abortamento de flores em híbridos de canola e mostarda castanha**. v. 48, n. 2, p. 174-181, 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, 1º Levantamento**, Safra 2022/23, Brasília, out. 2022.

DALMAGO, G. A. *et al.* **Aclimação ao frio e dano por geada em canola**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 45, n. 9, p. 933-943, 2010.

DALMAGO, G. A. *et al.* Canola. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, p. 131-149, 2009.

DOGAN, E. *et al.* **Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions**. Journal Agricultural Water Management, v.98, p.1403-1408, 2011.

DOSSA, A. A.; FERREIRA, P. E. P.; TOMM, G. O. **O que dificulta o aumento da área de canola no Brasil?**. 2014. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/slac/cd/pdf/Alvaro%20DOSSA%20-%20O%20que%20dificulta%20o%20aumento....pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Definição e histórico de Canola.** Embrapa Trigo - Passo Fundo, 2016. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/definicao.htm/>. Acesso: 20 mar. 2022.

FABRICIO, D. Com preço igual ao da soja, canola ganha espaço nas lavouras. **Canal Rural**, Porto Alegre, 7 set. 2020. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/preco-canola-lavouras-inverno/>. Acesso em: 19 jan. 2022.

FOCHESATTO, E. *et al.* Interception of solar radiation by the productive structures of spring canola hybrids. **Ciência Rural**, v. 46, n. 10, p. 1790-1796, 2016.

GUIMARÃES, C. G. *et al.* **Canola no Cerrado: performance de híbridos para incorporação no sistema de cultivo sob irrigação.** In: VI Encontro de Pesquisa e Inovação da Embrapa Agroenergia: Anais, 2020.

GULDEN, R. H.; WARWICK, S. I.; THOMAS, A. G. The biology of Canadian Weeds. 137. *Brassica napus* L. and *B. rapa* L. **Canadian Journal of Plant Science**, v.88, n.5, p951-996, 2008.

GURGEL, A. L. C. *et al.* Compactação do solo: Efeitos na nutrição mineral e produtividade de plantas forrageiras. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 1, p. 13-29, 2020.

HABIBZADEH, F. *et al.* Alleviation of waterlogging damage by foliar application of nitrogen compounds and tricyclazole in canola. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 3, p. 401-406, 2013.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, v. 38, n. 1, p. 43-58, 2009.

IRIARTE, L. B.; VALETTI, O. E. **Cultivo de Colza. 1. ed. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária – INTA**, p.156, 2008.

KOVALESKI, S. **Efeitos da geada em canola (*Brassica napus* L.) em função da distribuição da palha na superfície do solo.** 2015. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Série: Ciências Exatas, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

LIAO, C-T.; LIN, C-H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proceedings of the National Science Council**, v.25, n.3, p.148-157, 2001.

LOOSE, L. *et al.* Sunflower emergence and initial growth in soil with water excess. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 644-655, 2017.

LUCAS, D. D. P. *et al.* Excedente hídrico em diferentes solos e épocas de semeadura do girassol no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 6, p. 431-440, 2015.

LUZ, G.L. *et al.* Temperatura base inferior e ciclo de híbridos de canola. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, p. 1549-1555, 2012.

LYRA, M.R.C.C.; ROLIM, M.M.; SILVA, J.A.A. Topossequência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.525-532, 2003.

MILCIADES, A. M. A. *et al.* Características agronômicas e teor de óleo de canola em função da época de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 934–938, 2014.

MORRISON, M. J. *et al.* The determination and verification of a baseline temperature for the growth of Westar summer rape. **Canadian journal of plant science**, v. 69, n. 2, p. 455-464, 1989.

NANDA, R. *et al.* Phenological development of Brassica campestris, B. juncea, B. napus and B. carinata grown in controlled environments and from 14 sowing dates in the field. **Field Crops Research**, n.46 p.93-103, 1996.

NIED, A. H. **Parâmetros bioclimáticos e respostas da canola ao ambiente físico**. 2013. 136 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

NUSEED. **Canola Diamond - A canola mais plantada do Rio Grande do Sul**. 2020. Disponível em: <https://nuseed.com/br/product/canola-diamond/> Acesso em: 30/07/2021.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. IOM Report, TD. World Organization, Geneva, 2006.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba: Esalq, Departamento de Ciências Exatas, 2007. 192p.

ROBERTSON, M. J. *et al.* Environmental and genotypic control of time to flowering in canola and Indian mustard. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 53, p.793-809, 2002.

ROCHA, L. **Crescimento, desenvolvimento e produtividade de canola em solo com excesso hídrico natural**. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

ROSSI, E. *et al.* **Profundidade do lençol freático no cultivo de canola**. HOLOS, v. 6, n. 31, p. 1-6, 2015.

RIGON, C. A. G. *et al.* **Características fenológicas, rendimento de grãos, teor de proteína e óleo em canola em função de épocas de semeadura**. In: I Simpósio Brasileiro de Canola: Anais, Passo Fundo, 2017.

SANCHES, A. C. *et al.* Produtividade da canola sob irrigação e doses de adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 688-693, 2014.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018a.

SANTOS, C. J. O. G. *et al.* Efeito da desfolha na altura de plantas e produtividade de grãos de canola (*Brassica napus* L.). **Revista Ciência Agrícola**, v. 18, n. 1, p. 11-19, 2020b.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos: informações para uma agricultura sustentável. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**, v. 1, p. 4-12, 2009.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul**. – [s. l.]: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, p.376, 2016.

SCHAEFER, P. E. **Manejo de canola em terras baixas: características do dossel, interceptação da radiação e produtividade de grãos**. 2021. 162 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

SHARAFIZADEH, M. *et al.* Effect of planting date and planting pattern on quality and quantity yield of canola hybrid seed (*Hyola 401*). **Advances in Environmental Biology**, v. 6, n. 7, p. 2184-2189, 2012.

SILVA, V.A.M. **Influência da cobertura do céu na estimativa da radiação solar utilizando modelo digital de elevação**. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

SINAKI, J. M. *et al.* The effects of water deficit growth stages of canola (*Brassica napus* L.). **American-Eurasian Journal Agricultural & Environment Science**, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 417- 422, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, p.719, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, p.918, 2013.

TARTAGLIA, F. de L. *et al.* Modelos não destrutivos para determinação da área foliar em canola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.6, p. 551-556, 2016.

TARTAGLIA, F. L. **Respostas agrônômicas e ecofisiológicas da cultura da canola ao excesso hídrico**. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

THIMIJJAN, R. W.; HEINS, R. D. **Unidades de Medida Fotométricas, Radiométricas e De Luz Quântica: Uma Revisão dos Procedimentos para Interconversão**. Hortscience, v. 18, n. 1, p. 818-882, 1983.

THOMAS, P. **Canola Growers Manual**. Winnipeg, MB, Canadá, 2003. Disponível em: . Acesso em: 26 jun. 2022.

THOMAS, P. **The growers' manual:** Canola Council of Canada, 2014. Disponível em: <http://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/crop-development/growth-stages/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

TINGDONG, F. *et al.* The present and future of rapeseed production in China. In: Proceedings of International Symposium on Rapeseed Science. **Science Press NewYork, Ltd.** p. 3-5, 2001.

TOMM, G. O. **Canola: alternativa de renda e benefícios para os cultivos seguintes.** Revista Plantio Direto, v. 15, n. 94, p. 4-8, jul./ago.2006.

TOMM, G. O. *et al.* **Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul.** 1 ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, n. 113, p.41, 2009.

TOMM, G. O. **Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul.** EMBRAPA trigo, Passo fundo: Set, 2007. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/p_sp03_2007.pdf/. Acesso em: 7 mar. 2021.

TOMM, G.O. **Cultivo de Canola.** Embrapa Trigo. Sistemas de produção, série 3 Passo Fundo, RS, p.40, 2007. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Canola/CultivodeCanola/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia.** 2. Ed. Recife: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, p.449, 2006. Disponível em: www.agritempo.gov.br. Acesso em: 2 jun. 2021.

XU, M. *et al.* The effect of waterlogging on yield and seed quality at the early flowering stage in *Brassica napus* L. **Field Crops Research**, v. 182, p. 238-245, 2015.

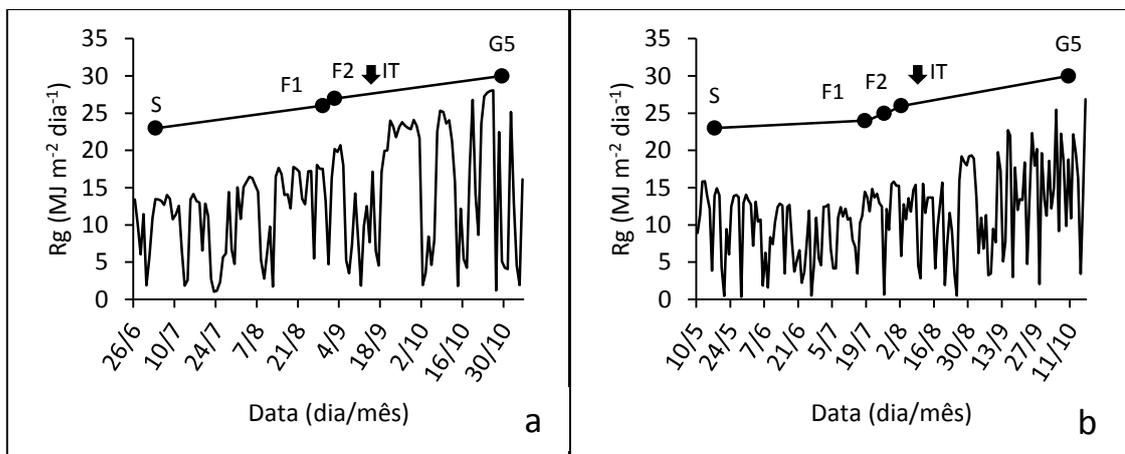
ZOU, X. *et al.* A comparison of screening methods to identify waterlogging tolerance in the field in *Brassica napus* L. during plant ontogeny. **Plos One**, v. 9, n. 3, p. 1-9, 2014.

APÊNDICE A - AMBIENTE DE CULTIVO DURANTE OS PERÍODOS EXPERIMENTAIS EM 2019 E 2021

A radiação solar global incidente (Rg) durante o ciclo de cultivo de 03/07 a 29/10 de 2019 foi em média 16,5 % superior em relação ao período de 17/05 a 10/10 de 2021, com 13,18 e 11,32 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente (Figura 11). Essa condição foi decorrente dos diferentes períodos entre as datas de semeadura e de colheita.

Comparando os mesmos meses entre os dois anos, houve maior disponibilidade de radiação nos meses de setembro e outubro e a menor disponibilidade nos meses de maio e junho. Em ambos os anos a disponibilidade da Rg aumentou gradativamente ao decorrer do crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo que a menor disponibilidade foi observada durante o início da fase vegetativa da cultura e o aumento da diferença entre os anos no período anterior à imposição dos tratamentos até o final do ciclo produtivo.

Figura 11 - Radiação solar global (Rg) na estação meteorológica nos períodos de inverno e início da primavera de 2019 (a) e do outono à meados da primavera de 2021 (b) em Santa Maria - RS.



(S = semeadura; F1 = início do florescimento; F2 = pleno florescimento; IT = imposição dos tratamentos; G5 = 90% das siliques com grãos com coloração escura (colheita)) (IRIARTE; VALETTI, 2008).

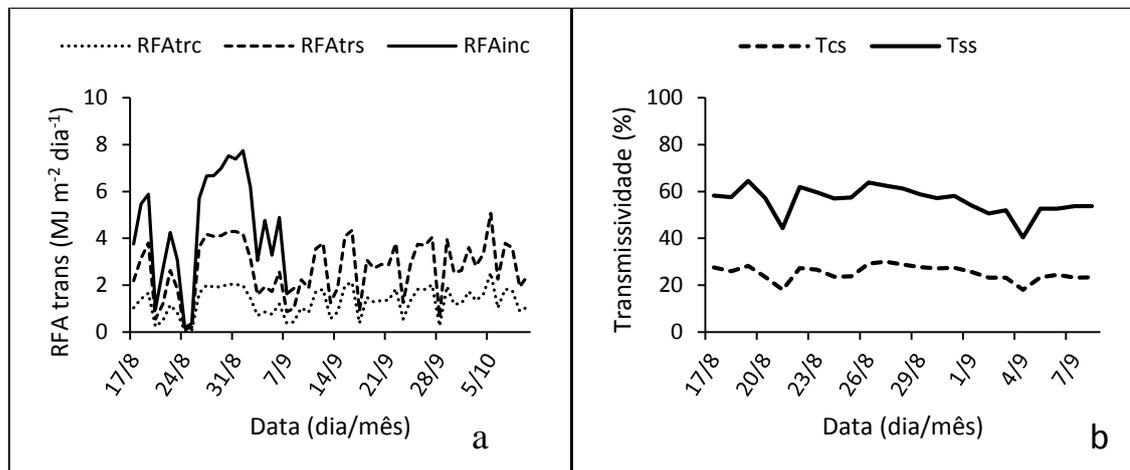
Fonte: autor.

Devido à sua importância para as plantas, a disponibilidade adequada de radiação solar é essencial para que os tecidos fotossinteticamente ativos possam utilizar essa energia para a realização de processos fisiológicos de crescimento e desenvolvimento. Ao longo do estágio vegetativo da cultura da canola as folhas são as principais estruturas da planta que interceptam a radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Porém, quando as plantas iniciam o estágio

reprodutivo outras estruturas como as siliques, flores e hastes contribuem para a interceptação da RFA (FOCHESATTO *et al.*, 2016).

Ao analisar a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) durante parte do período experimental de 2021 (Figura 12), foi possível observar que a transmissividade à RFA pela casa de vegetação foi de 57%. Dentro da casa de vegetação, a disponibilidade de RFA foi, em média, superior em 53% no ambiente com a ausência do que na presença de sombreamento. Essa diferença entre os ambientes mostrou que o uso do telado foi eficiente para reduzir a RFA incidente sobre as plantas no nível proposto pelo objetivo do trabalho.

Figura 12 – Radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) incidente externa (RFAinc) até o dia 08/09, transmitida pela casa de vegetação no ambiente com a ausência (RFAtrs) e presença de sombreamento (RFAtrc) (a) e a transmissividade para a RFA nos ambientes com sombreamento (Tcs) e sem sombreamento (Tss) em 2021 (b).



Fonte: autor.

A temperatura média diária do ar no interior da casa de vegetação (TMi) (Figura 13) ao longo do ciclo de cultivo em 2019 foi em média 1,98 °C superior ao ano de 2021. No ambiente externo, a temperatura do ar foi em média 1,56 °C superior em 2019 em relação a 2021. Em 2019 a temperatura média diária do ar foi em média 5,11 °C superior no ambiente interno da casa de vegetação quando comparado ao ambiente externo. Essa diferença também foi observada de maneira semelhante no ano de 2021, sendo em média 4,69 °C superior no ambiente interno da casa de vegetação em relação ao ambiente externo. Isso indica que o manejo da abertura e fechamento automático da casa de vegetação propiciou condições semelhantes entre os anos quando comparado ao ambiente térmico externo.

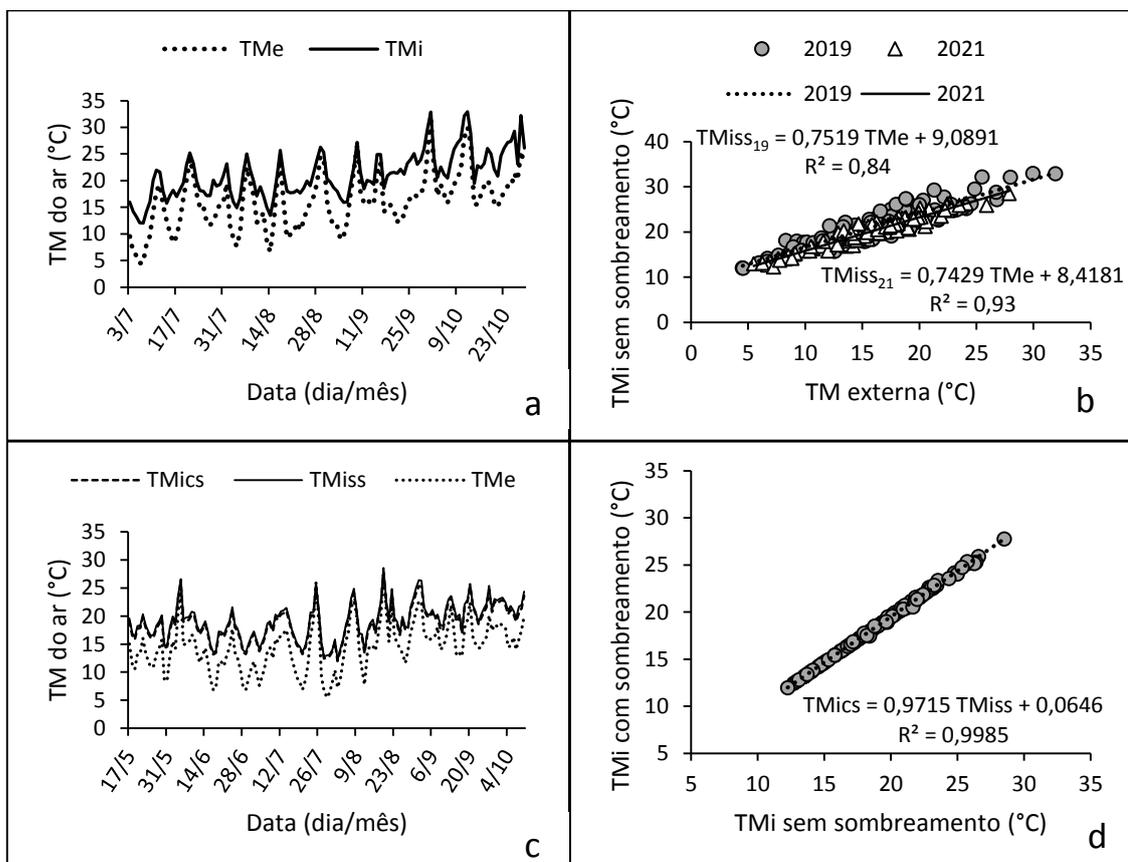
Analisando a temperatura média diária do ar entre os ambientes internos da casa de vegetação no ano de 2021, constatou-se que a temperatura no ambiente sem restrição da

disponibilidade de radiação solar (0%) foi em média 0,48 °C superior quando comparada à registrada no interior do ambiente onde havia 50% de restrição da radiação solar incidente sobre as plantas.

Assim como a disponibilidade de radiação solar, a temperatura média diária do ar aumentou gradativamente ao decorrer do ciclo de cultivo em ambos os anos, sendo os maiores valores registrados entre os meses de setembro e outubro. Esse período coincidiu com o início da fase reprodutiva da cultura até o momento da colheita em 2019 e em 2021 com a fase reprodutiva já em avançado desenvolvimento permanecendo até a colheita.

No período entre a sementeira e início do florescimento (S-F1) em 2019 (03/07-29/08) a temperatura média diária do ar foi de 18,77 °C e em 2021 (17/05-18/07) foi de 17,97 °C, dentro da faixa ideal para o crescimento das plantas de canola durante a fase vegetativa, que segundo Thomas (2003) varia entre 13 e 22 °C.

Figura 13 – Média diária da temperatura do ar (TM) no lado externo (TMe) e interno (TMi) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (TMics) e sem sombreamento (TMiss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).

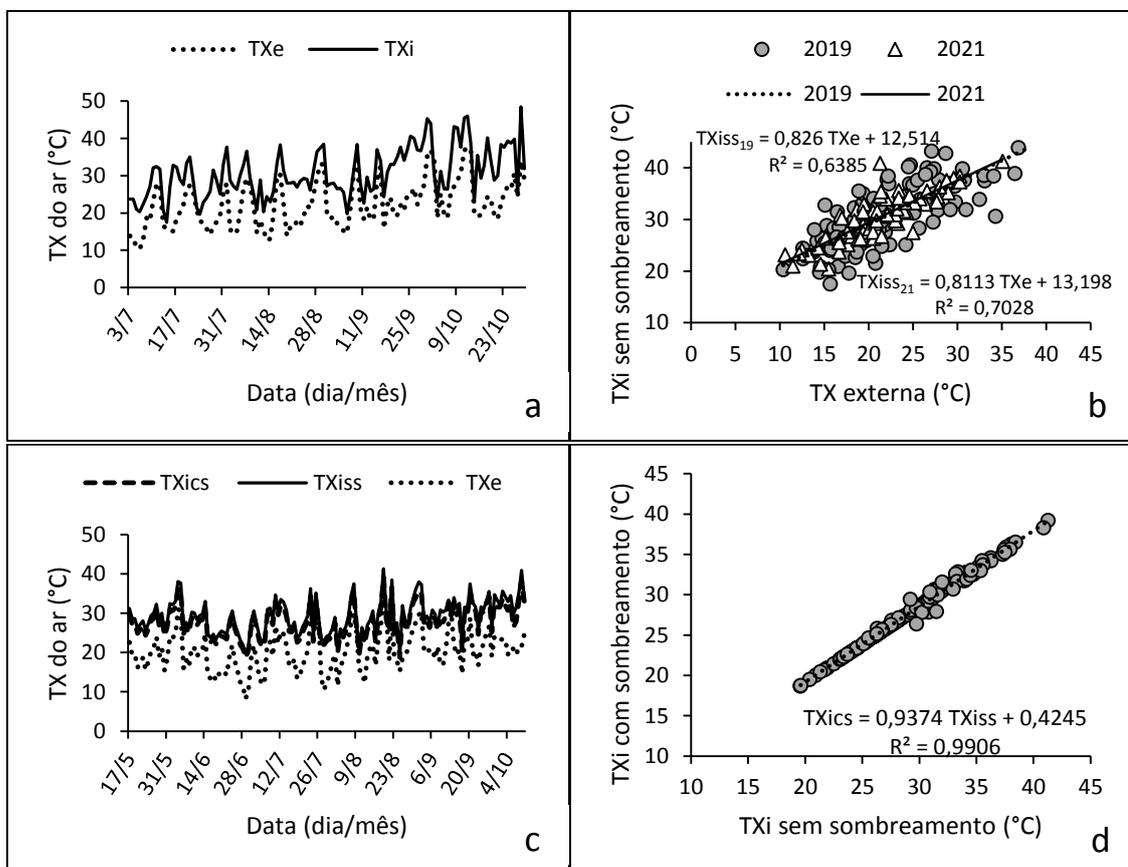


Fonte: autor.

A temperatura máxima diária do ar (TX) (Figura 14) ao longo do ciclo de cultivo na casa de vegetação no ano de 2019 foi em média 1,63 °C superior em relação a 2021, bem como, no exterior também foi superior em 2019, em média 1,93 °C, em relação a 2021. Em 2019 a temperatura máxima diária do ar foi em média 8,65 °C superior no ambiente interno da casa de vegetação quando comparado ao ambiente externo. Essa diferença também foi observada no ano de 2021, sendo cerca de 8,96 °C superior no ambiente interno da casa de vegetação em relação ao ambiente externo à mesma.

Analisando a temperatura máxima diária do ar nos diferentes ambientes internos da casa de vegetação no ano de 2021, constatou-se que a temperatura no ambiente sem restrição da disponibilidade de radiação solar (0%) foi em média 1,41 °C superior quando comparada com o ambiente com 50% de restrição da radiação solar, possivelmente devido a uma certa restrição à circulação do ar em função da malha de sombreamento.

Figura 14 – Máxima diária da temperatura do ar (TX) no lado externo (TXe) e interno (TXi) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (TXics) e sem sombreamento (TXiss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).

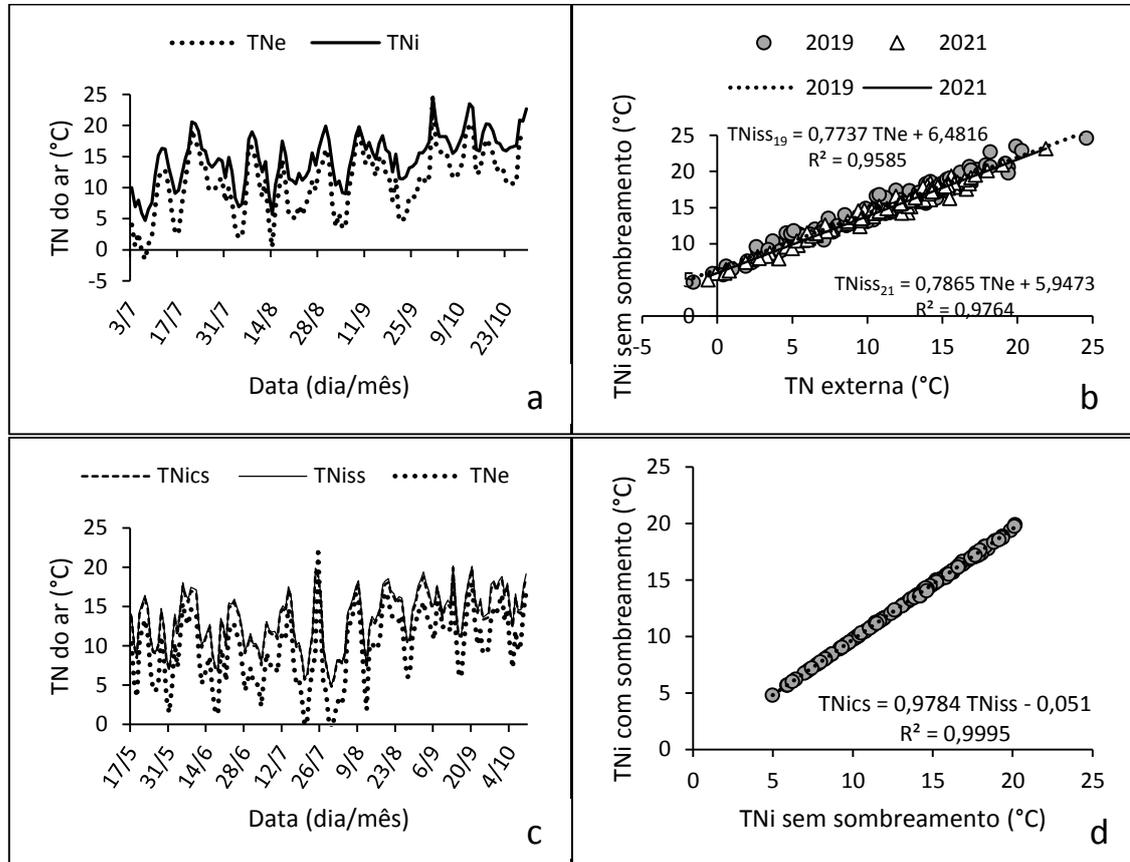


Segundo Battisti *et al.* (2013), temperaturas superiores à temperatura basal superior de 27° C durante o estágio reprodutivo da canola podem causar o abortamento de flores e siliquis, reduzindo severamente o potencial produtivo dessa cultura. Durante a realização dos experimentos, as temperaturas médias diárias do ar durante a fase reprodutiva das plantas foram de 23,4 °C e 20,1 °C em 2019 e 2021, respectivamente. Dos 62 dias totais de fase reprodutiva, em 48 (77%) ocorreram temperaturas máximas superiores à 27 °C em 2019. Já em 2021 de um total de 85 dias, em 60 (71%) ocorreram temperaturas máximas superiores à 27 °C. Diante à esses dias com temperaturas mais elevadas, os mesmos podem ter influenciado negativamente os componentes de rendimento em ambos anos.

A temperatura mínima diária do ar (TN) (Figura 15) na casa de vegetação em 2019 foi em média 1,17 °C superior em relação a 2021 e no exterior da mesma foi em média 1,01 °C superior em 2019 em relação a 2021 (Figura 15). Em 2019, a temperatura mínima diária do ar foi em média 4,05 °C superior no ambiente interno da casa de vegetação quando comparado ao ambiente externo. Essa diferença também foi observada no ano de 2021, sendo cerca de 3,89 °C superior no ambiente interno da casa de vegetação em relação ao ambiente externo à mesma. Entre os dois tratamentos de restrição de RFA no ambiente interno da casa de vegetação no ano de 2021, constatou-se que a temperatura mínima sem restrição da disponibilidade de radiação solar (0%) foi em média 0,35 °C superior em relação à condição com 50% de restrição da radiação solar, provavelmente porque a tela instalada determinou menor temperatura mínima, ou seja, menor efeito estufa noturno. De dia chegou menos energia e, portanto, de noite se resfriou mais na presença de tela que na sua ausência.

A temperatura basal inferior para as plantas de canola é de 5° C (MORRISON *et al.*, 1989; NANDA *et al.*, 1996; LUZ *et al.*, 2012). A cultura da canola é sensível à ocorrência de geadas durante sua fase de plântula e durante o florescimento, pois quando a temperatura do ar é igual ou menor que 3 a - 4°C em nível da superfície do solo, pode haver a morte das plântulas (THOMAS, 2003). No interior da casa de vegetação a condição térmica sempre foi superior à 5,0 °C (Figura 15 – b), sendo a média da temperatura mínima do ar de 14,8 °C e de 13,6 °C em 2019 e 2021, respectivamente. Como ambos os anos experimentais foram realizados dentro de casa de vegetação, não houve danos causados pela ocorrência de geadas.

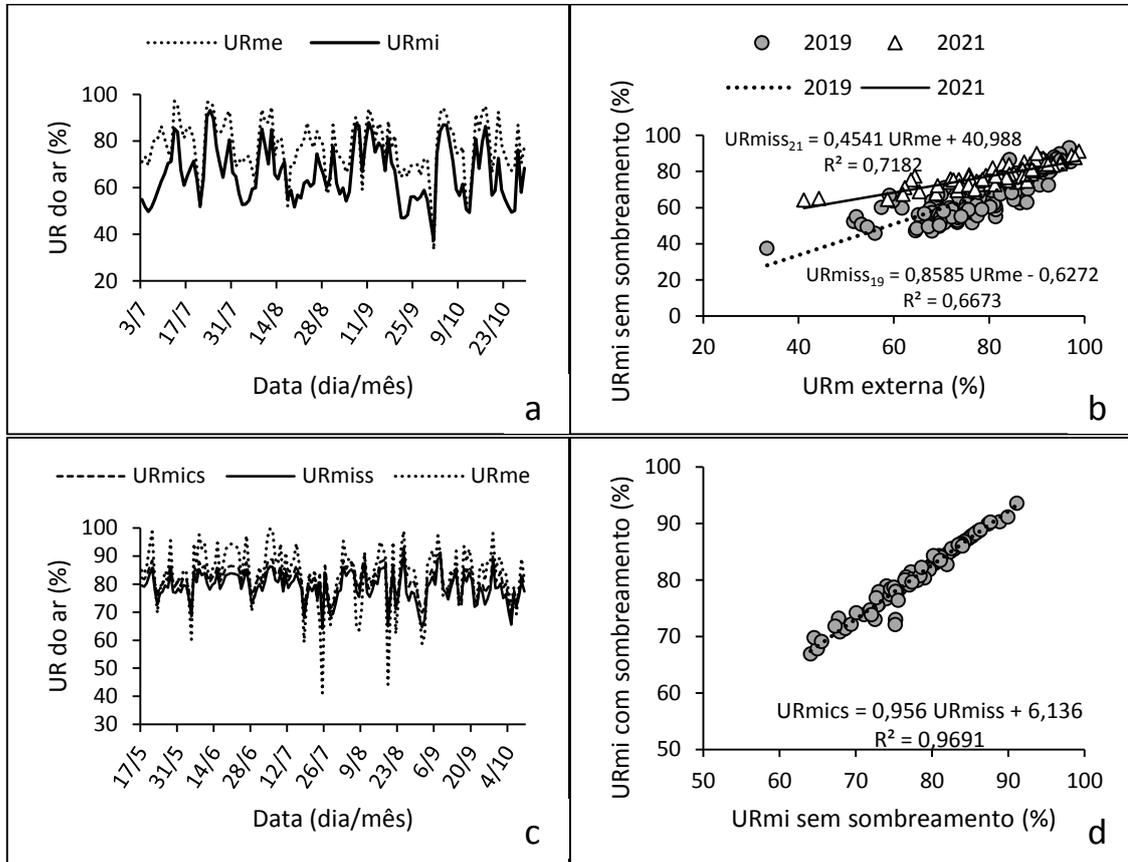
Figura 15 – Mínima diária da temperatura do ar (TN) no lado externo (TNe) e interno (TNi) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (TNics) e sem sombreamento (TNiss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).



Fonte: autor.

A umidade relativa média diária do ar (UR) no interior da casa de vegetação foi em média 16,4 % (UR > 12,93 %) superior em 2021 em relação a 2019. No exterior da casa de vegetação a UR foi superior no ano de 2021 (Figura 16), indicando menor déficit de saturação do ar e, portanto, tendência de menor demanda atmosférica nesse segundo ano. Em 2019 e 2021, a umidade relativa média diária do ar foi, em média, 14,96 % (11,60 %) e 5,23 % (4,36 %) superior no ambiente externo da casa de vegetação quando comparado ao ambiente interno, respectivamente. A superioridade da UR no exterior da casa de vegetação ocorre devido à ocorrência de maiores temperaturas do ar dentro da casa de vegetação. Dentro da casa de vegetação a umidade relativa média em 2021 no ambiente com 50% de restrição da disponibilidade de radiação solar foi em média 3,27 % (2,66 %) superior quando comparada à ausência de restrição da radiação solar (Figura 16 – d), permitindo inferir que a malha de sombreamento diminuiu a taxa de renovação do ar.

Figura 16 – Média diária da umidade relativa do ar (UR) no lado externo (URme) e interno (URmi) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (URmics) e sem sombreamento (URmiss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).



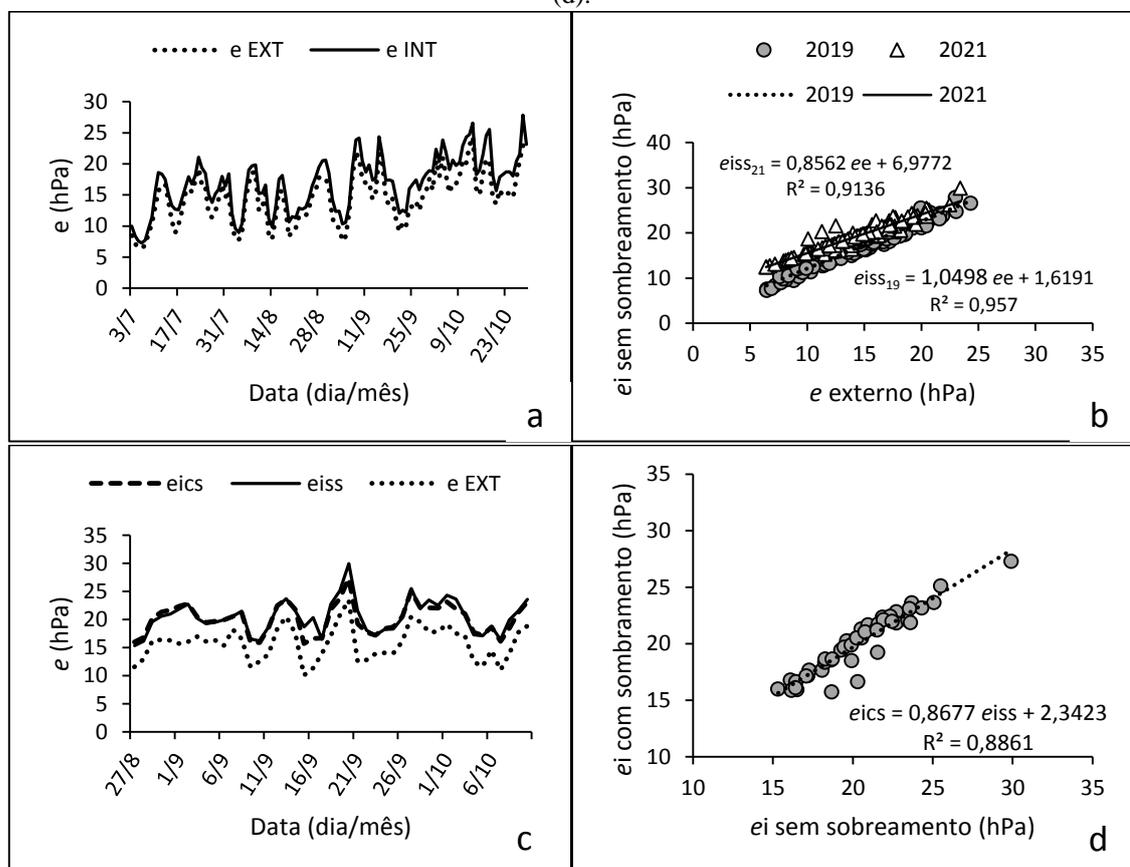
Fonte: autor.

Como foi observado, a umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação foi superior em 2021 em relação a 2019 em decorrência de maiores temperaturas médias e máximas diárias observadas no ano de 2019 devido à maior incidência de radiação solar (R_g). Essa umidade relativa mais elevada fez com que a demanda evapotranspiratória fosse menor. Quando há elevada umidade relativa do ar, há também menor transpiração das plantas devido à maior concentração de água no ambiente do que no interior das plantas e conseqüentemente pode ter ocorrido redução dos processos biológicos das plantas como ao da fotossíntese.

A média diária da pressão parcial de vapor do ar (e) no interior e exterior da casa de vegetação foi em média 17,6 % (3,61 hPa) e 7,8 % (1,23 hPa) superior em 2021 em relação a 2019, respectivamente (Figura 17). Em 2019 e 2021, a pressão parcial de vapor do ar foi em média 16,2 % (2,34 hPa) e 30,0 % (4,72 hPa), respectivamente, superior no ambiente interno da casa de vegetação quando comparado ao ambiente externo.

A pressão parcial de vapor no ar na ausência de restrição da radiação solar foi em média 1,8 % (0,36 hPa) superior quando comparada à presença de restrição de 50% na disponibilidade de radiação solar (Figura 17 - d). De forma similar a umidade relativa do ar, as diferenças de pressão parcial de vapor observadas entre os anos e ambientes foram muito importantes, pois são responsáveis, juntamente com a radiação solar, temperatura do ar e o vento, para determinar a demanda evapotranspiratória do ambiente para as plantas.

Figura 17 – Média diária da pressão parcial de vapor (e) no lado externo (e EXT) e interno (e INT) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (e ics) e sem sombreamento (e iss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).

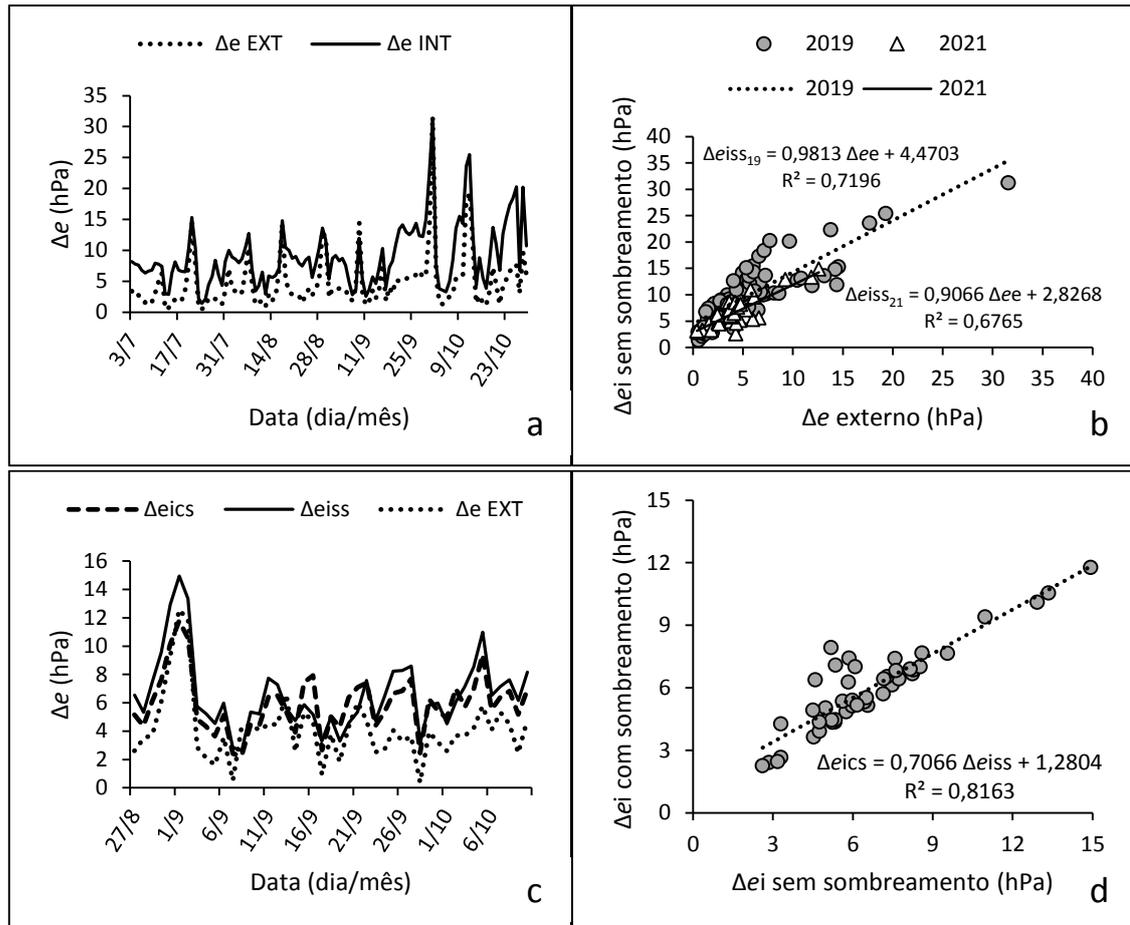


Fonte: autor.

O déficit de saturação médio diário do ar (Δe) no interior e exterior da casa de vegetação no ano de 2019 foi, respectivamente, em média 37,4 % (2,47 hPa) e 12,6 % (0,53 hPa) superior em 2019 em relação ao ano de 2021 (Figura 18). Em 2019 e 2021, o Δe foi, respectivamente, em média 93,4 % (4,38 hPa) e 58,5 % (2,44 hPa) superior no ambiente interno da casa de vegetação quando comparado ao ambiente externo. Analisando o Δe nos ambientes internos foi

em média 11,1 % (0,66 hPa) superior na ausência de restrição da radiação solar em 2021 quando comparado à sua presença (Figura 18 - d).

Figura 18 – Média diária do déficit de saturação (Δe) no lado externo (Δe EXT) e interno (Δe INT) da casa de vegetação em 2019 (a) e nos ambientes internos com (Δe ics) e sem sombreamento (Δe iss) em 2021 (c) e as relações de dependência entre os ambientes interno e externo em 2019 e 2021 (b) e entre os ambientes internos em 2021 (d).



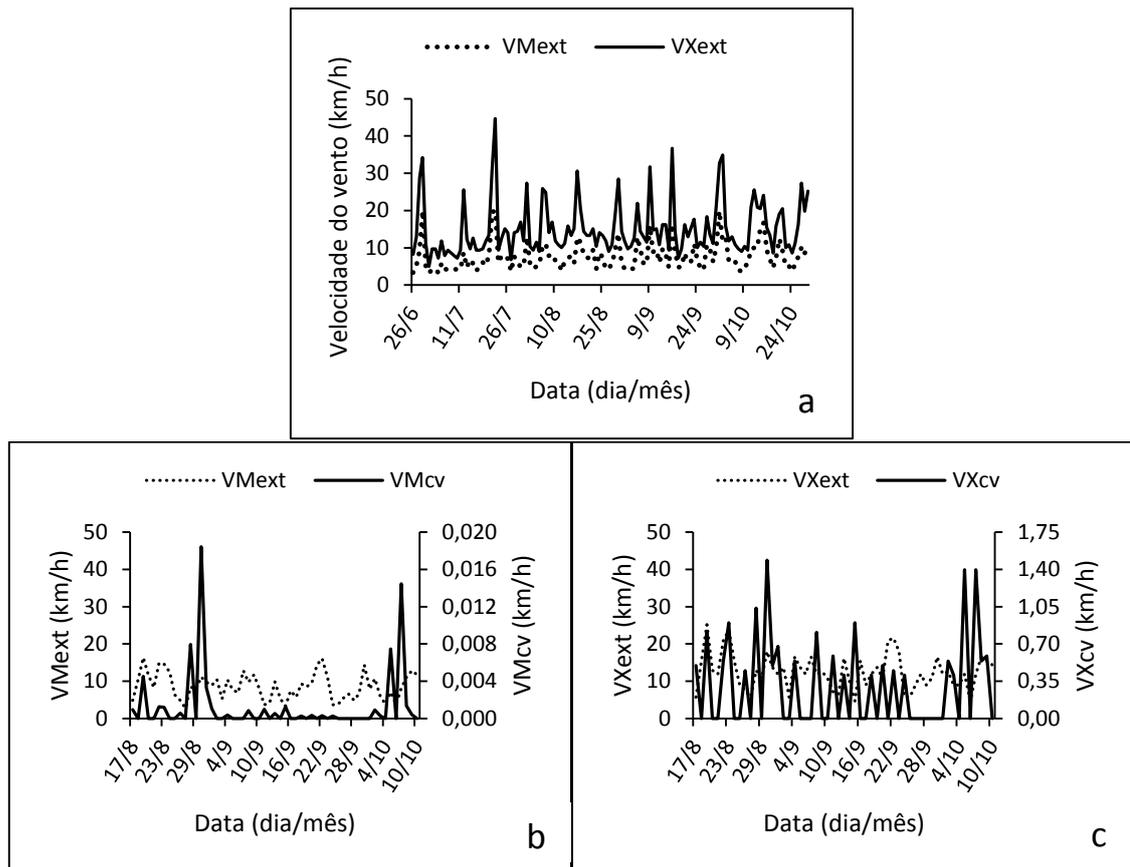
Fonte: autor.

De maneira lógica, quando comparado a 2021, como a umidade relativa média diária do ar foi inferior em 2019, o déficit de saturação do ar foi maior em 2019. O mesmo ocorreu ao se fazer a comparação entre os ambientes em 2021 (com e sem sombreamento), pois como a umidade relativa média diária do ar foi inferior no ambiente sem sombreamento, o déficit de saturação nesse ambiente foi maior.

A velocidade média diária do vento (VMext) no exterior da casa de vegetação (Figura 19) em 2021 foi em média 11,65 % (1 km h^{-1}) superior quando comparada ao observado em

2019. Em contrapartida, a velocidade máxima diária do vento (VX_{ext}) no exterior da casa de vegetação em 2019 foi em média 21,32 % ($2,66 \text{ km h}^{-1}$) superior em relação a 2021.

Figura 19 – Velocidade média (VM_{ext}) e máxima (VX_{ext}) diária do vento no exterior da casa de vegetação durante o período experimental em 2019 (a), velocidade média no exterior (VM_{ext}) e interior (VM_{cv}) da casa de vegetação em 2021 (b) e velocidade máxima no exterior (VX_{ext}) e interior (VX_{cv}) da casa de vegetação em 2021 (c).



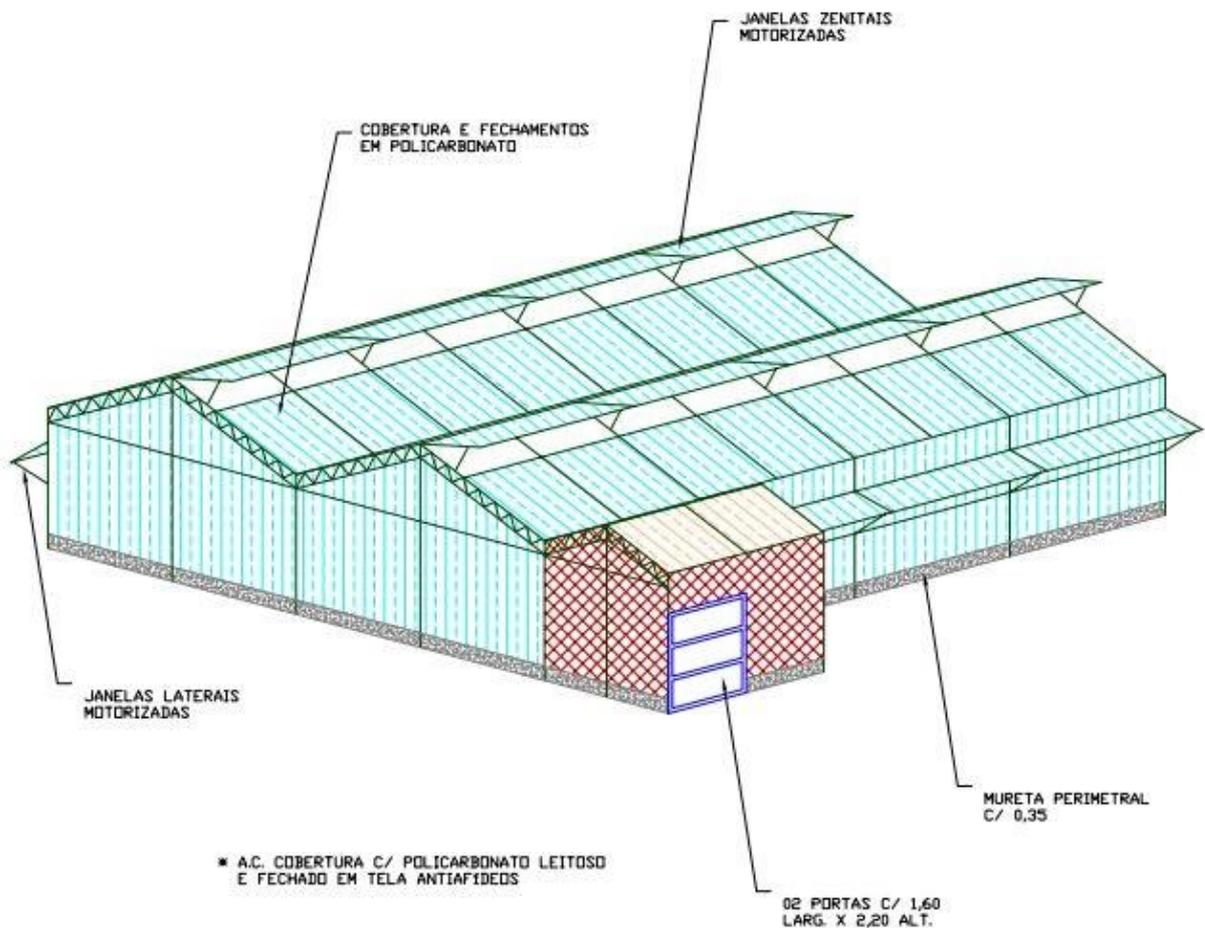
Fonte: autor.

Em 2021, no interior da casa de vegetação a velocidade média diária (VM_{cv}) foi de $0,001 \text{ km h}^{-1}$ e a velocidade máxima diária (VX_{cv}) em média $0,30 \text{ km h}^{-1}$. Como era previsto, ambas velocidades foram baixas em relação às velocidades registradas no exterior da casa de vegetação, porém a inferioridade dos valores internos pode ter sido inflacionada devido ao uso de um anemômetro com baixa sensibilidade.

Embora a velocidade média diária do vento tenha sido superior no ano de 2021 em relação à 2019, a velocidade máxima diária maior no ano de 2019 proporcionou uma maior circulação de ar no interior na casa de vegetação. Isso proporcionou a diminuição da umidade relativa do ar e pressão parcial de vapor e consequentemente aumentou o déficit de saturação do ambiente em 2019.

APÊNDICE B – CASA DE VEGETAÇÃO MODELO POLY VENLO

Representação da estrutura física da casa de vegetação automática modelo poly venlo utilizada em ambos anos experimentais. Santa Maria, RS, 2022.



Fonte: Van Der Hoeven, 2018.

APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Características do solo utilizado nos anos de 2019 e 2021 na camada de 0-10 cm de profundidade. Santa Maria, RS, 2022.

Ano	pH	M.O.	Argila	P	K	Ca	Mg	Al
	água	%	%	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³		
2019	5,6	2,5	29	15,4	116	9,4	4,0	0,0
2021	5,0	3,5	21	7,1	64	4,5	2,3	0,5

M.O.: Matéria orgânica; P: Fósforo; K: Potássio, Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio.

Fonte: Adaptado de Schaefer (2021).

APÊNDICE D – TUBO EXTRAVASADOR E GARRAFA PLÁSTICA COM CAPACIDADE DE 2L

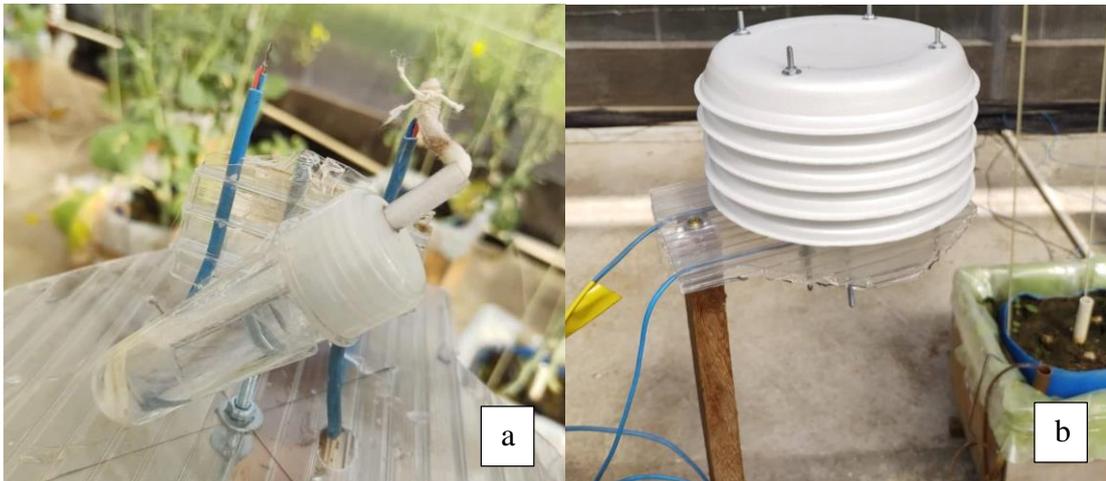
Tubo extravasador juntamente com a garrafa plástica com capacidade de 2 litros utilizada para realizar a coleta da água drenada pelo solo após cada irrigação. Santa Maria, RS, 2022.



Fonte: autor.

APÊNDICE E – MINI-ABRIGO UTILIZADO PARA PROTEGER SENSORES DE TERMOPAR DO TIPO T

Mini-abrigo desmontado para colocação dos fios termopares (a) para leitura da temperatura de bulbo seco e bulbo úmido através da instalação de um reservatório plástico com água destilada e mini-abrigo montado pronto para uso (b). Santa Maria, RS, 2022.



Fonte: autor.

**APÊNDICE F – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS
ALTURA DE PLANTAS E MASSA SECA MÉDIA DE FOLHAS SENESCENTES EM
2019 E 2021**

Quadrado médio do erro para a variável altura de plantas (AP, cm) e massa seca média de folhas senescentes (MSFS, g) em função de diferentes níveis de profundidade do lençol freático em 2019 e 2021 e em diferentes níveis de restrição da radiação solar fotossinteticamente ativa em 2021. Santa Maria, RS, 2022.

FV	GL	Quadrados Médios	
		AP	MSFS
2019			
Tratamento (fator D)	5	547,22*	2,52*
Resíduo	28	76,19	0,27
Total	33	-	-
CV (%)	-	6,2	16,51
2021			
Tratamento (fator A)	1	104,50	0,47
Tratamento (fator D)	3	7.547,16*	0,77*
A x D	3	415,63	0,16
Resíduo	40	179,93	0,18
Total	47	-	-
CV (%)	-	10,62	22,03

Fonte de variação (FV); Graus de liberdade (GL); Interação entre níveis de restrição da radiação solar e níveis do lençol freático (A x D); Coeficiente de variação (CV); Significativo a 5% (*).

Fonte: autor.

**APÊNDICE G – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DE
ÁREA FOLIAR MÉDIA POR PLANTA EM 2019**

Quadrado médio do erro para a variável área foliar média por planta (AFM, cm² planta⁻¹) em função de diferentes níveis de profundidade do lençol freático (fator D) em 2019. Santa Maria, RS, 2022.

FV	GL	Quadrados Médios
		AFM
7 DIT		
Tratamento (fator D)	5	1.253.448,00*
Resíduo	30	324.497,00
Total	35	-
CV (%)	-	19,19
14 DIT		
Tratamento (fator D)	5	7.349.930,00*
Resíduo	30	246.959,00
Total	35	-
CV (%)	-	18,10
21 DIT		
Tratamento (fator D)	4	3.565.902,00*
Resíduo	25	443.765,00
Total	29	-
CV (%)	-	26,19
28 DIT		
Tratamento (fator D)	4	1.780.763,00*
Resíduo	25	225.036,00
Total	29	-
CV (%)	-	38,23
35 DIT		
Tratamento (fator D)	4	658.544,00*
Resíduo	25	85.395,00
Total	29	-
CV (%)	-	51,87
42 DIT		
Tratamento (fator D)	4	36.877,00*
Resíduo	25	9.757,00
Total	29	-
CV (%)	-	86,65

Fonte de variação (FV); Graus de liberdade (GL); Coeficiente de variação (CV); Significativo a 5% (*).

Fonte: autor.

**APÊNDICE H – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DE
ÁREA FOLIAR MÉDIA POR PLANTA EM 2021 – PARTE 1/2**

Quadrado médio do erro para a variável área foliar média por planta (AFM, cm² planta⁻¹) em função de diferentes níveis de profundidade do lençol freático (fator D) e em diferentes níveis de restrição da radiação solar fotossinteticamente ativa (fator A) em 2021. Santa Maria, RS, 2022.

FV	GL	Quadrados Médios
		AFM
12 DIT		
Tratamento (fator A)	1	529.037,00*
Tratamento (fator D)	3	1.389.825,33*
A x D	3	98.727,33
Resíduo	40	97.165,02
Total	47	-
CV (%)	-	30,52
19 DIT		
Tratamento (fator A)	1	970.091,00*
Tratamento (fator D)	3	1.545.143,33*
A x D	3	99.997,33
Resíduo	40	62.525,85
Total	47	-
CV (%)	-	39,71
26 DIT		
Tratamento (fator A)	1	1.055.473,00*
Tratamento (fator D)	3	1.067.228,33*
A x D	3	168.139,00*
Resíduo	40	40.548,40
Total	47	-
CV (%)	-	48,16
33 DIT		
Tratamento (fator A)	1	340.008,00*
Tratamento (fator D)	3	238.141,33*
A x D	3	71.019,00*
Resíduo	37	13.484,51
Total	44	-
CV (%)	-	56,48

Fonte de variação (FV); Graus de liberdade (GL); Interação entre níveis de restrição da radiação solar e níveis do lençol freático (A x D); Coeficiente de variação (CV); Significativo a 5% (*).

Fonte: autor.

**APÊNDICE I – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DE
ÁREA FOLIAR MÉDIA POR PLANTA EM 2021 – PARTE 2/2**

Quadrado médio do erro para a variável área foliar média por planta (AFM, cm² planta⁻¹) em função de diferentes níveis de profundidade do lençol freático (fator D) e em diferentes níveis de restrição da radiação solar fotossinteticamente ativa (fator A) em 2021. Santa Maria, RS, 2022.

FV	GL	Quadrados Médios
		AFM
40 DIT		
Tratamento (fator A)	1	187.335,00*
Tratamento (fator D)	3	237.386,00*
A x D	3	48.050,33*
Resíduo	38	13.791,34
Total	45	-
CV (%)	-	61,83
47 DIT		
Tratamento (fator A)	1	37.514,00
Tratamento (fator D)	3	326.179,33*
A x D	3	16.486,00
Resíduo	40	13.856,47
Total	47	-
CV (%)	-	61,32
54 DIT		
Tratamento (fator A)	1	120.511,00*
Tratamento (fator D)	2	342.929,00*
A x D	2	34.919,00
Resíduo	30	23.848,66
Total	35	-
CV (%)	-	57,11
62 DIT		
Tratamento (fator A)	1	79.457,00*
Tratamento (fator D)	2	287.784,50*
A x D	2	18.223,00
Resíduo	29	15.939,00
Total	34	-
CV (%)	-	47,52

Fonte de variação (FV); Graus de liberdade (GL); Interação entre níveis de restrição da radiação solar e níveis do lençol freático (A x D); Coeficiente de variação (CV); Significativo a 5% (*).

Fonte: autor.

APÊNDICE J – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO RELATIVA MÉDIA EM 2021 – PARTE 1/2

Quadrado médio do erro para a variável evapotranspiração relativa média (ET_{rr}) em função de diferentes níveis de profundidade do lençol freático (fator D) e em diferentes níveis de restrição da radiação solar fotossinteticamente ativa (fator A) em 2021. Santa Maria, RS, 2022.

FV	GL	Quadrados Médios
		ET _{rr}
6-12 DIT		
Tratamento (fator A)	1	0,25443*
Tratamento (fator D)	3	0,02957
A x D	3	0,02940
Resíduo	33	0,05054
Total	40	-
CV (%)	-	40.80
13-19 DIT		
Tratamento (fator A)	1	0,42*
Tratamento (fator D)	3	0,04
A x D	3	0,14
Resíduo	37	0,05
Total	44	-
CV (%)	-	27.75
20-26 DIT		
Tratamento (fator A)	1	0,36*
Tratamento (fator D)	3	0,21*
A x D	3	0,10
Resíduo	39	0,05
Total	46	-
CV (%)	-	34.67
27-33 DIT		
Tratamento (fator A)	1	0,25*
Tratamento (fator D)	3	0,33*
A x D	3	0,01
Resíduo	39	0,05
Total	46	-
CV (%)	-	33.51

Fonte de variação (FV); Graus de liberdade (GL); Interação entre níveis de restrição da radiação solar e níveis do lençol freático (A x D); Coeficiente de variação (CV); Significativo a 5% (*).

Fonte: autor.

APÊNDICE K – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO RELATIVA MÉDIA EM 2021 – PARTE 2/2

Quadrado médio do erro para a variável evapotranspiração relativa média (ET_{rr}) em função de diferentes níveis de profundidade do lençol freático (fator D) e em diferentes níveis de restrição da radiação solar fotossinteticamente ativa (fator A) em 2021. Santa Maria, RS, 2022.

FV	GL	Quadrados Médios
		ET _{rr}
34-40 DIT		
Tratamento (fator A)	1	0,33*
Tratamento (fator D)	3	0,37*
A x D	3	0,01
Resíduo	39	0,08
Total	46	-
CV (%)	-	50,72
41-47 DIT		
Tratamento (fator A)	1	0,79*
Tratamento (fator D)	3	0,27*
A x D	3	0,01
Resíduo	37	0,08
Total	44	-
CV (%)	-	42,32
48-54 DIT		
Tratamento (fator A)	1	0,54*
Tratamento (fator D)	3	0,30*
A x D	3	0,03
Resíduo	34	0,05
Total	41	-
CV (%)	-	30,63
55-62 DIT		
Tratamento (fator A)	1	0,41*
Tratamento (fator D)	3	0,15
A x D	3	0,05
Resíduo	36	0,05
Total	43	-
CV (%)	-	29,10

Fonte de variação (FV); Graus de liberdade (GL); Interação entre níveis de restrição da radiação solar e níveis do lençol freático (A x D); Coeficiente de variação (CV); Significativo a 5% (*).

Fonte: autor.

**APÊNDICE L – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS
MASSA SECA, RENDIMENTO E SEUS COMPONENTES EM 2019**

Quadrado médio do erro para a variável massa seca da parte aérea (MSPA, g planta⁻¹), número de grãos por síliqua (NGS), massa de mil grãos (MMG, g), número de síliquis por planta (NSP) e rendimento de grãos por planta (RGP, g planta⁻¹) em função de diferentes níveis de profundidade do lençol freático em 2019. Santa Maria, RS, 2022.

FV	GL	Quadrados Médios
		MSPA
Tratamento (fator D)	5	1.868,70
Resíduo	27	119,50
Total	32	-
CV (%)	-	18,43
		Quadrados Médios
		NGS
Tratamento (fator D)	5	80,67
Resíduo	24	12,33
Total	29	-
CV (%)	-	23,53
		Quadrados Médios
		MMG
Tratamento (fator D)	5	0,52
Resíduo	26	0,18
Total	31	-
CV (%)	-	12,34
		Quadrados Médios
		NSP
Tratamento (fator D)	5	120.420,00
Resíduo	27	4.929,00
Total	32	-
CV (%)	-	22,29
		Quadrados Médios
		RGP
Tratamento (fator D)	5	378,86*
Resíduo	25	15,49
Total	30	-
CV (%)	-	21,35

Fonte de variação (FV); Graus de liberdade (GL); Coeficiente de variação (CV); Significativo a 5% (*).

Fonte: autor

**APÊNDICE M – QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS
MASSA SECA, RENDIMENTO E SEUS COMPONENTES EM 2021**

Quadrado médio do erro para a variável massa seca da parte aérea (MSPA, g planta⁻¹), número de grãos por síliqua (NGS), massa de mil grãos (MMG, g), número de síliquis por planta (NSP) e rendimento de grãos por planta (RGP, g planta⁻¹) em função de diferentes níveis de profundidade do lençol freático (fator D) e em diferentes níveis de restrição da radiação solar fotossinteticamente ativa (fator A) em 2021. Santa Maria, RS, 2022.

FV	GL	Quadrados Médios
		MSPA
Tratamento (fator A)	1	286,30*
Tratamento (fator D)	3	1.961,17*
A x D	3	59,33
Resíduo	40	25,98
Total	47	-
CV (%)	-	16,40
		Quadrados Médios
		NGS
Tratamento (fator A)	1	18,46
Tratamento (fator D)	2	50,22*
A x D	2	4,74
Resíduo	28	14,84
Total	33	-
CV (%)	-	37,63
		Quadrados Médios
		MMG
Tratamento (fator A)	1	2,22*
Tratamento (fator D)	2	0,07
A x D	2	0,27
Resíduo	28	0,24
Total	33	-
CV (%)	-	13,20
		Quadrados Médios
		NSP
Tratamento (fator A)	1	4.146,00
Tratamento (fator D)	2	59.715,50*
A x D	2	6.513,50
Resíduo	30	2.168,67
Total	35	-
CV (%)	-	26,00
		Quadrados Médios
		RGP
Tratamento (fator A)	1	0,01
Tratamento (fator D)	2	86,11*
A x D	2	7,56
Resíduo	30	3,69
Total	35	-
CV (%)	-	40,33

Fonte: autor.