

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL - PPGPV**

**CAMILA CIGEL**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE PLANTAS DE AVEIA BRANCA  
SUBMETIDA A REDUÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR**

**LAGES**

**2023**



**CAMILA CIGEL**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE PLANTAS DE AVEIA BRANCA  
SUBMETIDA A REDUÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Clovis Arruda de Souza

**LAGES**

**2023**

Ficha catalográfica elaborada pela autora com auxílio do programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC

**Cigel, Camila**

**Caracterização morfofisiológica de plantas de aveia branca  
submetida a redução da radiação solar / Camila Cigel. -- 2023.  
155 p.**

**Orientador: Clovis Arruda de Souza**

**Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,  
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação  
em Produção Vegetal, Lages, 2023.**

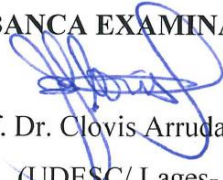
**I. Avena sativa L.. 2. Fotossíntese. 3. Produtividade. 4.  
Restrição luminosa. 5. Sombreamento. I. Souza, Clovis Arruda de.  
II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção  
Vegetal. III. Título.**

**CAMILA CIGEL**


**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE PLANTAS DE AVEIA BRANCA  
SUBMETIDA A REDUÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR**


Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

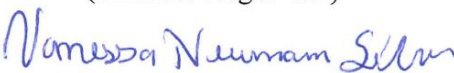
**BANCA EXAMINADORA**


  
Prof. Dr. Clovis Arruda de Souza  
(UDESC/ Lages- SC)

Membros:

  
Profª. Dra. Daniele Nerling  
(UDESC/ Lages- SC)

  
Prof. Dr. Cristiano André Steffens  
(UDESC/ Lages- SC)

  
Profª. Dra. Vanessa Neumann Silva  
(UFFS/ Chapecó- SC)

  
Prof. Dr. Deivid Luiz Vieira Stefen  
(CESURG/ Sarandi-RS)

Lages, 16 de junho de 2023.

Dedico a minha família, que nunca deixou de acreditar em mim.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e todas as bênçãos recebidas; por me dar força não desistir, quando já não existiam; por me guiar no caminho escolhido por Ti; e pelos anjos em forma de pessoas que colocastes na minha vida desde sempre. Gratidão!

Agradeço à minha família, meu pai Nelson, minha mãe Terezinha e meu irmão João, pelo cuidado, amor, orações, incentivo em buscar uma formação e auxílio em todos os momentos. Amo vocês. Agradeço também a todos os familiares, avós, padrinhos, tios e primos por todo apoio durante toda essa jornada em busca desse sonho. Vocês moram em meu coração.

Agradeço ao orientador Professor Clovis, pela confiança, pelos ensinamentos, conhecimento repassado, conselhos, incentivos, paciência, por ser exemplo de profissional com amor a profissão, dedicação, e por sempre estar ali, presente e disposto a ajudar e ensinar. Gratidão por acreditar em mim e contribuir para que isto fosse possível!

Agradeço a Universidade do Estado de Santa Catarina, e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade, ensino gratuito e de qualidade. Aos professores por todos os ensinamentos durante o curso, em especial a professora Cileide, pelo carinho, confiança, e exemplo de entusiasmo, motivação e força para conquistar os sonhos; e a professora Daniele, por todo carinho, incentivo e força para seguir bem. Gratidão também as bolsistas do LASO, pela acolhida e parceria diária. Agradeço ao Gustavo, que além da sua função no programa, atua também incentivando e aconselhando-nos para que em meio a tantas atividades e preocupações, não esqueçamos de valorizar nossos passos diários e conquistas. Agradeço também a CAPES, UNIEDU e UDESC pelo auxílio financeiro durante o curso.

Agradeço aos colegas e amigos do Laboratório de Plantas de Lavoura, pelo auxílio e parceria. Gi, Fran, Eliton e Leonardo, obrigada pela parceria nos experimentos. Os dias na área experimental e laboratório não teriam sido os mesmos sem a presença e alegria de vocês.

Agradeço a todas as amigas construídas ou firmadas aqui. Gesieli, Franciele, Larissa, Paulo, Adriana, Fernanda e Lina, gratidão por tudo. Presentes que Lages trouxe para minha vida!

Gratidão a todos que de alguma forma contribuíram para que este sonho se realizasse.

“Que dentro de nós existam três coisas fundamentais: força, fé e Deus. A força para viver e lutar pelos sonhos e vitórias, a fé para fazer tudo tornar possível, e Deus para estar no controle de todas as coisas e fazendo o melhor”.  
(YLA FERNANDES)



## RESUMO

A aveia é um cereal de inverno com crescente importância no sul do Brasil. Algumas condições ambientais podem influenciar no desenvolvimento, rendimento de grãos e qualidade das sementes de aveia. A menor disponibilidade de radiação em ambientes integrados lavoura-floresta pode ser um exemplo disso. Objetivou-se avaliar o crescimento e rendimento de grãos de plantas de aveia branca produzidas sob orientações e intensidades de sombreamento, em determinados períodos do desenvolvimento durante o ciclo produtivo. Os experimentos foram conduzidos em 2020 e 2021, com a cultivar URS Altiva. Para experimento com sombreamento intermitente, utilizou-se esquema fatorial 2x4x4: duas orientações das faixas de sombreamento (norte/sul -N/S; leste/oeste -L/O); quatro intensidades (0; 25; 50; 75%); e quatro períodos do desenvolvimento definidos entre estádios fenológicos (11-31; 31-55; 55-69; 69-79). Em sombreamento contínuo, utilizou-se fatorial 4x2, os quatro níveis de sombreamento e duas orientações, impostas da primeira folha expandida até a maturidade de colheita. Aumentos de 10% na intensidade de sombreamento causaram redução para RG, de 85 kg.ha<sup>-1</sup> (L/O) e 70 kg.ha<sup>-1</sup> (N/S). A área foliar (AF) e massa seca (MS) foram menores sob 75% de sombreamento nos estádios 11 a 31 (4,0 cm<sup>2</sup> e 0,4 g). A restrição luminosa durante os estádios 31-55 das plantas, reduziu número de espiguetas por panícula (NEP) (22 e 29%), grãos por planta (NGP) (26 e 13%), massa de mil grãos (MMG) (6,6 e 13%) índice de colheita (IC) (9 e 8%), e rendimento de grãos (RG) nas orientações L/O e N/S. As sementes produzidas apresentaram alta germinação (>97%) e vigor (>94%). Houve efeito negativo na maior intensidade de sombreamento intermitente testado no vigor por condutividade elétrica e envelhecimento acelerado. A CE das sementes aumentou 0,3 (L/O) e 0,5 μS.cm<sup>-1</sup>.g<sup>-1</sup> (N/S) para cada 10% de sombreamento imposto, e o vigor por EA reduziu 1% sob aumentos de 25% de sombra; porém, o vigor pelo EA e frio se manteve acima de 95%. Sob sombreamento contínuo, observou-se atraso na senescência das plantas, redução de MS, AF, altura de plantas e componentes de rendimento, principalmente sob alto nível (75%) de sombreamento e orientação N/S. Concluiu-se que sombreamento nas orientações N/S ou L/O afetam, em magnitude variável: o índice de clorofila apresenta variação sob limitação na radiação e retorno a pleno sol, caracterizando recuperação; alta intensidade de sombra (75%) reduz NGP, MMG, peso hectolitro (PH), IC e RG; intensidades crescentes reduzem a AF, MS, RG e vigor das sementes por CE e EA; a germinação e vigor das sementes produzidas sob sombreamento conforme condições testadas (97% e 94%, respectivamente); sombreamento no período entre os estádios 11 a 31 afeta

negativamente a altura, AF, MS das plantas, em 31-55 causa reduções nos componentes de rendimento, e entre 31-55 e 55-69 não causa prejuízos ao vigor por CE. Para sombreamento contínuo, conclui-se que o sombreamento na orientação N/S durante todo desenvolvimento das plantas se mostrou mais prejudicial de que L/O; nível de sombreamento baixo não afeta o desenvolvimento, a produção e a qualidade de grãos e de sementes de aveia branca.

**Palavras-chave:** *Avena sativa* L.; Fotossíntese; Produtividade; Restrição luminosa; Sombreamento.

## ABSTRACT

Oats are a winter cereal with increasing importance in southern Brazil. Some environmental conditions can influence the development, grain yield, and seed quality of oat. The lower availability of radiation in integrated crop-forest environments can be an example of this. The objective was to evaluate the growth and grain yield of white oat plants produced under shading guidelines and intensities, in certain periods of development during the productive cycle. The experiments were carried out in 2020 and 2021, with the cultivar URS Altiva. To experiment with intermittent shading, use the 2x4x4 factorial scheme: two orientations of the shading ranges (north/south -N/S; east/west -E/W); four intensities (0; 25; 50; 75%); and four development periods defined between phenological stages (11-31; 31-55; 55-69; 69-79). In continuous shading, using a 4x2 factorial, the four shading levels and two orientations, are imposed from the first expanded leaf until harvest maturity. Increases of 10% in shading intensity caused a reduction for GR of 85 kg.ha<sup>-1</sup> (L/O) and 70 kg.ha<sup>-1</sup> (N/S). Leaf area (AF) and dry mass (DM) were lower under 75% shading at stages 11 to 31 (4.0 cm<sup>2</sup> and 0.4 g). Light restriction during plant stages 31-55 preceded the number of spikelets per panicle (NEP) (22 and 29%), grains per plant (NGP) (26 and 13%), thousand-grain mass (MMG) (6.6 and 13%) harvest index (CI) (9 and 8%), and grain yield (GR) in L/O and N/S orientations. The seeds produced showed high germination (>97%) and vigor (>94%). There was a negative effect on the highest intensity of intermittent shading tested without vigor by electrical conductivity and accelerated aging. EC of seeds increased by 0.3 (L/O) and 0.5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (N/S) for each 10% of shading imposed, and vigor per EA included 1% under increases of 25% shade; however, the vigor by EA and cold remained above 95%. Under continuous shading, delay in plant senescence, reduction of DM, AF, plant height, and yield components were observed, mainly under high level (75%) of shading and N/S orientation. It is concluded that shading in the N/S or L/W orientations occurred, in magnitude variable: the chlorophyll index shows variation under radiation limitation and return to full sun, characterizing recovery; high shade intensity (75%) reduces NGP, MMG, weight hectoliter (PH), IC and RG; increasing intensities followed by AF, MS, RG and seed vigor by CE and EA; the germination and vigor of seeds produced under shading according to tested conditions 97% and 94%, respectively); shading in the period between stages 11 to 31 affects plant height, AF, and DM, in 31-55 it causes reductions in yield components, and between 31-55 and 55-69 it does not cause damage to vigor per EC. For continuous shading, it was concluded that shading in N/S orientation throughout plant

development was more harmful than L/O; a low shading level does not affect the development, production, and quality of white oat grains and seeds.

**Key-words:** *Avena sativa* L.; Photosynthesis; Productivity; Light restriction; Shading.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 —	Dados para temperatura máxima (T° MAX), mínima (T° MIN) e média (T° MED), precipitação (PREC) e radiação solar global (RAD) no período de condução dos experimentos com sombreamento intermitente na cultura da aveia branca nas safras 2020 e 2021 .....	31
Figura 2 —	Estruturas de madeira para simulação de sombreamento na cultura da aveia branca nas safras 2020 e 2021.....	33
Figura 3 —	Demonstração da instalação das estruturas de madeira para simulação de sombreamento nos diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da aveia branca nas safras 202 e 2021.....	34
Figura 4 —	Índice de clorofila (SPAD) em função de intensidades (média dos dias) (a, c) e dias (média das intensidades de sombreamento exceto testemunha) (b, d) após início de sombreamento em diferentes períodos do desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva, nas safras 2020 e 2021.....	37
Figura 5 —	Índice de clorofila (SPAD) em função de intensidades (média dos dias) (a, c, e, g) e dias (média das intensidades exceto testemunha) (b, d, f, h) pós-sombreamento em diferentes períodos de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva, nas safras 2020 e 2021.....	39
Figura 6 —	Altura de plantas ao final de cada período de sombreamento ( a, c, e, g) e em pré-colheita (b, d, f, h), em função de intensidade de sombreamento em diferentes períodos de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva, nas safras 2020 e 2021.....	41
Figura 7 —	Área foliar (AF) (a, c, e, g) e massa seca (MS) (b, d, f, h) ao final de cada período de sombreamento em função de intensidade de sombreamento em diferentes períodos de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva, nas safras 2020 e 2021.....	42
Figura 8 —	Rendimento de grãos em função de intensidade de sombreamento em diferentes períodos de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva, nas safras 2020 e 2021.....	43
Figura 9 —	Análise de correlação (r) para o crescimento e rendimento de plantas de aveia branca sob intensidade de sombreamento de 75%.....	44

Figura 10 —	Temperatura máxima (T° MAX), mínima (T° MIN) e média (T° MED), precipitação (PREC) e radiação solar global (RAD) no período de condução dos experimentos com sombreamento intermitente na cultura da aveia branca nas safras 2020 e 2021 .....	53
Figura 11—	Número de panículas por planta (NPP) em função da intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, b) e períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (c) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	58
Figura 12 —	Número de espiguetas por panícula (NEP) em função de sombreamento em períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste (a) e norte/sul (b), nas safras 2020 e 2021.....	59
Figura 13 —	Número de grãos por planta (NGP) em função de sombreamento em períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (a) e interação entre período e intensidade em orientação leste/oeste (b, c; d, e) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021. ....	60
Figura 14 —	Massa de grãos por planta (MGP) em função da intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a), períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b) e interação entre período e intensidade (c, d) de plantas de aveia branca de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	61
Figura 15 —	Índice de colheita de grãos (IC) em função da intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, c) e períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b, d) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	63
Figura 16 —	Percentual de umidade dos grãos (U%) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a) e interação entre períodos de desenvolvimento e intensidade (c, d; e, f) de plantas de aveia branca de	

	plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	64
Figura 17 —	Massa de mil grãos (MMG) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, e), período de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b), interação período e intensidade (c, d, f, g) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul; safras 2020 e 2021. ....	66
Figura 18 —	Peso hectolítrico de grãos (PH) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, e), período de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b, f) e interação entre período e intensidade (c, d; g, h) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	68
Figura 19 —	Percentual de grãos maior que 2,0 mm ( $G > 2\text{mm}$ ) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, e), períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b) e interação entre estádios e intensidade (c, d; f, g) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	70
Figura 20 —	Rendimento de grãos (RG) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, d), em períodos do desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (e) e interação entre períodos e intensidade em orientação leste/oeste (b, c) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	72
Figura 21 —	Índice de descasque de grãos (%) em função de intensidades de sombreamento em períodos do desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (a, d) e interação entre períodos e intensidade (b, c) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	74
Figura 22 —	Rendimento industrial de grãos (RI) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, d) e períodos do desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (c) de	

	plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	75
Figura 23 —	Matriz de análise de componentes principais (ACP) para o rendimento e qualidade industrial em função das intensidades de sombreamento e período de desenvolvimento de plantas de aveia branca, na média das orientações e safras.....	76
Figura 24 —	Vigor das sementes pela condutividade elétrica (CE) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, c), em diferentes períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b, d), e interação entre intensidade e período de sombreamento sob plantas de aveia branca URS Altiva em orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	91
Figura 25 —	Vigor pelo teste de primeira contagem de germinação (PCG) em função de interação entre intensidade e período de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste, nas safras 2020 e 2021.....	93
Figura 26 —	Figura 24. Vigor de sementes pelo frio (a) e envelhecimento acelerado (EA) (b) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste, nas safras 2020 e 2021.....	93
Figura 27 —	Desempenho de plântulas por massa seca de sementes (MSS) e total de plântulas (MST) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação norte/sul, nas safras 2020 e 2021.....	94
Figura 28 —	Dados de temperatura máxima (T° MAX), mínima (T° MIN), média (T° MED), precipitação e radiação solar global durante experimentos com sombreamento contínuo na cultura da aveia branca nas safras 2020 e 2021.....	101
Figura 29	Estruturas de madeira para simulação de sombreamento na cultura da aveia branca nas safras 2020 (a) e 2021 (b).....	102
Figura 30 —	Evolução do índice SPAD de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021.....	105



Figura 31 —	Evolução do índice NDVI de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021.....	107
Figura 32 —	Altura de plantas de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021...	108
Figura 33 —	Retenção de peneira de grãos oriundos de plantas de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021.....	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 —	Caracterização dos estádios fenológicos, datas de início e fim e duração do período em dias que a condição de sombreamento intermitente foi imposta-removida sob a cultura da aveia branca, nos anos agrícolas 2020 e 2021.....	32
Tabela 2 —	Germinação (G) e vigor pelo frio e índice de velocidade de emergência (IVE) de sementes produzidas por plantas de aveia branca sob orientações de sombreamento leste/oeste e norte/sul (média dos estádios e intensidades exceto testemunha), em 2020 e 2021 .....	90
Tabela 3 —	Área foliar (AF) e massa seca de plantas (MS) de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021.....	110
Tabela 4 —	Número de panículas e grãos, massa de grãos, massa de mil grãos (MMG) e índice de colheita (IC) de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021.....	112

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
cm	Centímetro
g	Gramma
ha	Hectare
kg	Quilograma
Kj	Kilojoule
m	Metro
$\mu$ S	Microsiemen
mg	Miligrama
mm	Milímetro
nm	Nanômetro
NPK	Adubo formulado com nitrogênio, fósforo e potássio
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
RAD	Radiação Solar Global
SPAD	<i>Soil Plant Analysis Development</i>
t	Tonelada
T°	Temperatura
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina

## LISTA DE SÍMBOLOS

±	Mais ou menos
>	Maior que
<	Menor que
°C	Graus Celsius; graus centígrados
%	Percentual

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>22</b>
1.1	HIPÓTESES.....	26
1.2	OBJETIVOS.....	27
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>27</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>ÍNDICE DE CLOROFILA E CRESCIMENTO DE PLANTAS DE AVEIA BRANCA SOB SOMBREAMENTO INTERMITENTE.....</b>	<b>28</b>
2.1	RESUMO.....	28
2.2	INTRODUÇÃO.....	28
2.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
<b>2.3.1</b>	<b>Local de condução .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Delineamento e caracterização experimental.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Variáveis analisadas .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>35</b>
2.4	RESULTADOS.....	36
<b>2.4.1</b>	<b>Índice de clorofila a partir do início da condição sombreada.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Índice de clorofila pós sombreamento.....</b>	<b>38</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Crescimento de plantas.....</b>	<b>40</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Rendimento de grãos .....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Análise de correlação.....</b>	<b>44</b>
2.5	DISCUSSÃO.....	45
<b>2.5.1</b>	<b>Índice de clorofila.....</b>	<b>45</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Crescimento de plantas .....</b>	<b>47</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Rendimento de grãos .....</b>	<b>48</b>
2.6	CONCLUSÕES.....	50
<b>3</b>	<b>RENDIMENTO E QUALIDADE INDUSTRIAL DE GRÃOS DE AVEIA BRANCA URS ALTIMA SOB INTENSIDADES DE SOMBREAMENTO..</b>	<b>51</b>
3.1	RESUMO.....	51
3.2	INTRODUÇÃO.....	51
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	52
<b>3.3.1</b>	<b>Condução dos experimentos .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Delineamento e caracterização experimental.....</b>	<b>54</b>

3.3.3	Variáveis analisadas.....	54
3.3.4	Análise estatística.....	56
3.4	RESULTADOS.....	56
3.4.1	Número de panículas, espiguetas, grãos e massa de grãos .....	57
3.4.2	Índice de colheita.....	62
3.4.3	Umidade de grãos no momento da colheita.....	63
3.4.4	Massa de mil grãos, peso hectolétrico e grãos maiores que 2,0 mm.....	65
3.4.5	Rendimento de grãos.....	71
3.4.6	Índice de descasque e rendimento industrial.....	73
3.4.7	Análise de componentes principais.....	75
3.5	DISCUSSÃO.....	77
3.5.1	Condições meteorológicas .....	77
3.5.2	Fator orientações de sombreamento.....	77
3.5.3	Número de panículas, espiguetas, grãos e massa de grãos .....	78
3.5.4	Índice de colheita.....	80
3.5.5	Umidade de grãos no momento da colheita.....	81
3.5.6	Massa de mil grãos, peso hectolétrico e grãos maiores que 2,0 mm.....	81
3.5.7	Rendimento de grãos.....	82
3.5.8	Índice de descasque e rendimento industrial.....	83
3.6	CONCLUSÕES.....	83
4	<b>SOMBREAMENTO INTERMITENTE NÃO COMPROMETE</b>	
	<b>QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE AVEIA BRANCA.....</b>	<b>84</b>
4.1	RESUMO.....	84
4.2	INTRODUÇÃO.....	84
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	86
4.3.1	Caracterização local e climática e condução do experimento.....	86
4.3.2	Delineamento experimental .....	87
4.3.3	Variáveis analisadas.....	87
4.3.4	Análise estatística .....	89
4.4	RESULTADOS .....	90
4.5	DISCUSSÃO .....	94
4.6	CONCLUSÕES .....	97

<b>5</b>	<b>SOMBREAMENTO CONTÍNUO É PREJUDICIAL AO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE GRÃOS DE AVEIA BRANCA URS ALTIVA .....</b>	<b>98</b>
5.1	RESUMO.....	98
5.2	INTRODUÇÃO.....	98
5.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	100
<b>5.3.1</b>	<b>Implantação e condução dos experimentos.....</b>	<b>100</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Delineamento experimental .....</b>	<b>102</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Variáveis Analisadas.....</b>	<b>103</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>104</b>
5.4	RESULTADOS.....	104
<b>5.4.1</b>	<b>Índices de clorofila.....</b>	<b>104</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Crescimento.....</b>	<b>107</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Componentes de rendimento.....</b>	<b>111</b>
5.5	DISCUSSÃO.....	114
<b>5.5.1</b>	<b>Índice de clorofila.....</b>	<b>114</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Crescimento .....</b>	<b>116</b>
<b>5.5.3</b>	<b>Componentes de rendimento .....</b>	<b>117</b>
5.6	CONCLUSÕES .....	119
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>120</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>122</b>
	<b>APÊNDICE A – RESUMO DA ANOVA PARA DIAS DE AVALIAÇÃO DO ÍNDICE SPAD APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO .....</b>	<b>133</b>
	<b>APÊNDICE B – RESUMO DA ANOVA PARA ESTÁDIOS DE AVALIAÇÃO DO ÍNDICE SPAD APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO.....</b>	<b>134</b>
	<b>APÊNDICE C – RESUMO DA ANOVA PARA ESTÁDIOS DE AVALIAÇÃO DO ÍNDICE SPAD PÓS-SOMBREAMENTO .....</b>	<b>135</b>
	<b>APÊNDICE D – RESUMO DA ANOVA PARA ESTÁDIOS DE AVALIAÇÃO DO ÍNDICE SPAD PÓS-SOMBREAMENTO .....</b>	<b>136</b>
	<b>APÊNDICE E – RESUMO DA ANOVA PARA PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS .....</b>	<b>137</b>

<b>APÊNDICE F – RESUMO DA ANOVA PARA ESTÁDIOS DE AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS.....</b>	<b>138</b>
<b>APÊNDICE G – RESUMO DA ANOVA PARA COMPONENTES DE RENDIMENTO E QUALIDADE INDUSTRIAL DE GRÃOS .....</b>	<b>139</b>
<b>APÊNDICE H – RESUMO DA ANOVA PARA COMPONENTES DE RENDIMENTO SOB ORIENTAÇÃO DE SOMBREAMENTO LESTE/OESTE .....</b>	<b>140</b>
<b>APÊNDICE I – RESUMO DA ANOVA PARA COMPONENTES DE RENDIMENTO SOB ORIENTAÇÃO DE SOMBREAMENTO NORTE/SUL .....</b>	<b>141</b>
<b>APÊNDICE J – RESUMO DA ANOVA PARA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES (EXCLUSO INTENSIDADE 0% DE SOMBREAMENTO) .....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE K – RESUMO DA ANOVA PARA A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES PARA CADA ORIENTAÇÃO DE SOMBREAMENTO .....</b>	<b>143</b>
<b>APÊNDICE L – RESUMO DA ANOVA PARA EXPERIMENTO COM SOMBREAMENTO CONTÍNUO (2020) .....</b>	<b>144</b>
<b>APÊNDICE M – RESUMO DA ANOVA PARA EXPERIMENTO SOMBREAMENTO CONTÍNUO (2021) .....</b>	<b>145</b>
<b>APÊNDICE N – ÍNDICE SPAD EM DIAS APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO CONTÍNUO .....</b>	<b>146</b>
<b>APÊNDICE O – NDVI EM DIAS APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO CONTÍNUO .....</b>	<b>148</b>
<b>APÊNDICE P – ALTURA EM DIAS APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO CONTÍNUO .....</b>	<b>150</b>
<b>APÊNDICE Q – RETENÇÃO DE GRÃOS EM PENEIRAS DE PLANTAS PRODUZIDAS SOB SOMBREAMENTO CONTÍNUO .....</b>	<b>152</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é um cereal de inverno pertencente à família *Poaceae*. No Brasil são cultivadas principalmente as espécies de aveia branca (*Avena sativa*) com aptidão granífera e forrageira, e aveia preta (*Avena strigosa*) forrageira. Estas são amplamente utilizadas na alimentação animal, cobertura de solo e em sistemas de rotação de culturas (PACHECO *et al.*, 2021). A inclusão de produtos à base de aveia branca na alimentação humana tem apresentado crescimento, devido a busca por alimentos benéficos a saúde, alto teor de fibras (KIM *et al.*, 2021), conteúdo de vitaminas do complexo B, fibras solúveis,  $\beta$ -glucanas, minerais, proteínas livres de glúten e controle de diabetes e colesterol (BUTT *et al.*, 2008).

A produção mundial de aveia, conforme últimos dados publicados pela FAO (2023) para safra 2021 ultrapassou montante de 22,6 milhões de toneladas. Os maiores produtores atualmente são a União Europeia (7,6 milhões de toneladas), Canadá (5,2 milhões de toneladas), Federação Russa (4,0 milhões de toneladas), Austrália (1,6 milhões de toneladas) e Brasil com 1,2 milhões toneladas de grãos (INDEXMUNDI, 2023). No Brasil, a produção em 2022 apresentou aumento de 14,4% em relação à anterior, indicando expansão na produção de grãos da cultura, e área de aproximadamente 497,7 mil hectares (CONAB, 2023a), cujos estados responsáveis pela produção são Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul (CONAB, 2023b).

A produção agrícola é caracterizada por variações naturais como temperatura, disponibilidade hídrica, fertilidade do solo e radiação solar (KUREPIN; PHARIS, 2014; WANG; DENG; REN, 2015). A radiação solar é fator indispensável para a realização dos processos fotossintéticos pelos vegetais, regulando o metabolismo do carbono, e afetando a morfogênese (SHIMODA; SUGIKAWA, 2019; STIRBET *et al.*, 2020; TAIZ *et al.*, 2017; TENG *et al.*, 2023), pois mais de 90% da biomassa das plantas provém de processos fotossintéticos (MAKINO, 2011).

A quantidade e qualidade da radiação disponível e incidente sobre as plantas pode sofrer variações, como em dias com altos índices de nebulosidade, mudanças no ângulo de elevação do sol e movimentação do dossel de plantas superiores (GU *et al.*, 2002). O tamanho das nuvens e conteúdo de água afeta a taxa de transmissão de radiação difusa e do espectro do azul (KANNIAH *et al.*, 2012), como registrado na Amazônia por Souza *et al.* (2010) cuja redução foi de até 57% na radiação diária. Em regiões dos campos de altitude do Rio Grande do Sul, Custódio, Berlato e Fontana (2009) observaram entre os meses de junho a setembro (inverno)

a ocorrência de maior índice de nebulosidade diurna (IND), ou seja, menor insolação, período este concomitante com o desenvolvimento de culturas de inverno em Santa Catarina.

O dossel das plantas em lavouras de culturas anuais se caracteriza por ser mais denso e baixo, quando comparados a dosséis formados por arbóreas, de tal forma que a variação da radiação incidente é decorrente de variações entre incidência direta de luz e sombra, que caracteriza mudança lenta na variação do fluxo de fótons (PEARCY *et al.*, 1990). Sob altas densidades de semeadura ou sistemas de consórcios entre culturas, as folhas dos estratos superiores recebem feixes de radiação direta e as folhas da parte inferior se encontram sombreadas (SOUZA *et al.*, 2010).

A dinâmica de luminosidade em sistemas de integração lavoura-floresta (ILF) apresenta variação em relação ao horário do dia e posição solar, direção, proximidade dos renques de arbóreas utilizada (CORDEIRO *et al.*, 2015), altura do dossel, distribuição e tamanho de folhas e movimento dos galhos (WAY; PEARCY, 2012). Estes sistemas se caracterizam pela implantação de fileiras de árvores, com uma faixa entre as fileiras, na qual são cultivadas culturas anuais, gerando renda a curto e longo prazo (BURNER *et al.*, 2018). Segundo Pearcy *et al.* (1990) as variações de intensidade de luz incidente nas folhas dependem da estrutura do dossel próximo a estas, pois o sombreamento causado pelo movimento das folhas interfere no sombreamento de outras folhas, sendo alterados de segundos a minutos devido ao vento.

As mudanças graduais ou abruptas na exposição a luz solar podem afetar o desempenho das plantas, pois, conforme Qiao *et al.* (2020), a atividade dos fotossistemas é reduzida sob flutuações de radiação frequentes, embora a indução fotossintética seja acelerada. Isto, devido a estes mecanismos possuírem regulação pela abertura estomática e ativação das enzimas fotossintéticas, ou seja, as folhas se apresentam mais preparadas para utilizar a luz de manchas solares posteriores quando já são induzidas por manchas anteriores, e, quando sob período longo de sombreamento a não indução limita a assimilação de CO<sub>2</sub> (WAY; PEARCY, 2012). Esta dinâmica de alteração de luz pode ser visualizada em diversos ambientes, como em sistemas integrados de produção, em função das orientações dos renques de árvores. O azimute das fileiras de árvores se constitui fator importante em termos de luminosidade das plantas do extrato inferior cultivadas entre estas. Pois, a orientação das árvores aliada a declinação do sol, interfere em diversos fatores, inclusive na incidência da radiação solar, temperatura e umidade do solo (COELHO *et al.*, 2013). Estas variações nos espectros de radiação que atingem as plantas são percebidas por fotorreceptores (fitocromos, criptocromos) que emitem sinais às plantas, as quais alteram o crescimento e desenvolvimento (QUAIL, 2002; FRANKLIN;

WHITELAM, 2005; FRANKLIN; QUAIL, 2010); INOUE; NISHIHAMA; KOHCHI, 2017). Os fotorreceptores possuem papel fundamental na percepção de plantas vizinhas e então sinalização às plantas, devido a alteração da luz recebida, como redução da relação vermelho:vermelho distante, aumento da luz verde por ser mais refletida e redução dos espectros do vermelho e azul pela absorção pelas clorofilas e carotenoides (BALLARÉ, 1999). Este processo é caracterizado como síndrome de evitação a sombra, ou seja, inicia processo de mudança na arquitetura com o objetivo de escape da limitação de luz (STAMM; KUMAR, 2010). Os efeitos de sombreamento sobre o desenvolvimento e rendimento de grãos das plantas foram visualizados em diversos estudos, como na cultura do milho (WANG *et al.*, 2020), soja (BELLALLOUI *et al.*, 2012; CHEN *et al.*, 2020; GHASSEMI-GOLEZANI; BAKHSHI; DALIL, 2015; JUMRANI; BHATIA, 2020; LIU *et al.*, 2015; POLTHANEE; PROMSAENA; LAOKEN, 2011; ZHANG *et al.*, 2020; WEN, 2020), trigo (ARTRU *et al.*, 2017; XU *et al.*, 2016; YANG *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2003), arroz (CHEN *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2020; VENKATESWARLU; PRASAD; RAO, 1977; WANG; DENG; REN, 2015; WU *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2019) e triticales (ESTRADA-CAMPUZANO; MIRRALLES; SLAFER, 2008).

As respostas de plantas de aveia em condições de redução da luminosidade através de sistemas de integração com espécies arbóreas se deram pela redução do índice de área foliar, taxa de crescimento, assimilação líquida, peso das folhas e área foliar quando cultivadas em maior limitação da radiação solar (SGARBOSSA *et al.*, 2020), redução na matéria seca das plantas e rendimento de aveia preta (NICODEMO *et al.*, 2016), e aumento no rendimento de grãos de aveia branca ao ser cultivada conforme maior distância com as árvores (DEISS *et al.*, 2016).

Além destes, alguns avaliaram os efeitos sobre plantas de aveia preta. Porém, em aveia branca, há a busca por estádios críticos de desenvolvimento das plantas, isto, através do estresse por sombra, como os avaliados por Mahadevan *et al.* (2016) e Dietz *et al.* (2023). Estes, observaram que os estádios de primeiro nó a grão leitoso, e entre segundo (genótipos de ciclo curtos e intermediários) e terceiro nó (ciclo longo) até período pós-antese, respectivamente, apresentaram sensibilidade à condição imposta.

A adoção de sistemas integrados de produção podem ser alternativas de otimização das áreas de produção (BI *et al.*, 2019) e de retornos financeiros a curto e longo prazo (BURNER *et al.*, 2018). E, aliado a isto, a crescente importância da cultura no desenvolvimento regional para diversificação na produção agrícola (PACHECO *et al.*, 2021), a qual pode ser verificada

através do aumento da produção de grãos (CONAB, 2023a), e do lançamento de novas cultivares por programas brasileiros de melhoramento genético.

Dentre as cultivares de aveia branca disponíveis atualmente e com grande uso na região, tem-se a URS Altiva, com lançamento em 2015. Esta, possui ciclo precoce, estatura considerada alta, porém é moderadamente resistente ao acamamento e apresenta folha bandeira em posição ereta (DANIELOWSKI *et al.*, 2021). Além disto, a cultivar se destaca entre as demais, pelo alto potencial de produção de grãos e peso hectolítrico (CARVALHO *et al.*, 2023; LUCAS *et al.*, 2023). Estas características podem ser determinantes nas respostas sob as condições de estresse luminoso, considerando resistências e posição foliar. A cultura da aveia branca possui mecanismo fotossintético C3 (CASTRO *et al.*, 2012; ILIC; FALLIK, 2017), assim, é possível que seja menos afetada pela menor disponibilidade de luz solar, mantendo seu potencial produtivo. Sabe-se que plantas capazes de reduzir a falta de radiação solar através da regulação das atividades do fotossistema e transferência de elétrons, apresentam maior adaptação à condição de baixa intensidade luminosa (LI *et al.*, 2023). Portanto, se define como de importância o conhecimento destas informações para planejamentos de sistemas integrados de produção e verificação da tolerância e adaptação das plantas à condição de menor disponibilidade de radiação solar durante o desenvolvimento.

## 1.1 HIPÓTESES

- i. Faixas de sombreamento intensas em orientação leste/oeste afetam os parâmetros morfoagronômicos e rendimento de grãos de plantas de aveia branca URS Altiva, enquanto níveis medianos de redução da radiação incidente em norte/sul não há influência. Isto, considerando que na orientação norte/sul há maior interferência diária na recepção da luz solar ao longo do dia, alternando a frequência de momentos de pleno sol e sombra.
- ii. Os estádios fenológicos de plantas de aveia branca compreendidos entre a emissão de nós e a antese são prejudicados pelo sombreamento;
- iii. A qualidade fisiológica de sementes de aveia branca oriundas de plantas cultivadas sob faixas de sombreamento sentido leste/oeste é reduzida, conforme maior nível de sombra imposta;
- iv. Interrupção da condição sombreada nas plantas exemplificado pelo corte raso de árvores (renovação) em sistemas de integração lavoura-floresta a partir de determinado estágio fenológico não causa prejuízos a cultura da aveia branca, por permitir a recuperação do desenvolvimento de plantas que se encontravam sombreadas.

## 1.2.1 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar os efeitos de níveis, orientações de faixas de sombreamento contínuo e intermitente em determinados períodos do desenvolvimento de aveia branca e todo o ciclo, sobre os parâmetros de crescimento e desenvolvimento e tecnologia de grãos e sementes produzidas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- i. Analisar o efeito da restauração luminosa plena (simulando cortes rasos de árvores em sistemas de integração) pós-sombreamento (orientações e intensidades de sombreamento) em diferentes períodos do desenvolvimento sob o crescimento e rendimento de grãos de plantas de aveia branca URS Altiva;
- ii. Identificar período delimitado pelos estádios da cultura que se caracterizam sensíveis a condição de restrição de luminosidade;
- iii. Analisar o efeito de orientação e diferentes intensidades de sombreamento intermitente e contínuo sob caracteres crescimento e índice de clorofila de plantas de aveia branca.
- iv. Verificar os efeitos de orientações e intensidades de sombreamento intermitente em determinados períodos de desenvolvimento de aveia branca sobre o rendimento e qualidade industrial de grãos produzidos;
- v. Analisar a qualidade fisiológica de sementes de aveia branca produzidas sob intensidades de sombreamento e orientação, impostos em períodos do desenvolvimento das plantas.

## 2 ÍNDICE DE CLOROFILA E CRESCIMENTO DE PLANTAS DE AVEIA BRANCA SOB SOMBREAMENTO INTERMITENTE

### 2.1 RESUMO

A radiação solar é fator indispensável ao desenvolvimento vegetal. Porém, pode apresentar variações na intensidade disponível as plantas, como em sistemas integração lavoura-floresta. A aveia branca, devido a expansão e importância pode ser alternativa de uso nesses sistemas. Objetivou-se verificar os efeitos de intensidades de sombreamento em períodos delimitados por determinados estádios sobre o crescimento e índice de clorofila de plantas de aveia branca. O experimento foi conduzido em 2020 e 2021, com a cultivar URS Altiva. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial 2x4x4: duas orientações de sombreamento (leste/oeste; norte/sul), quatro intensidades (0; 25; 50; 75%), em quatro períodos definidos entre os estádios fenológicos conforme escala de Zadoks (11-31; 31-55; 55-69; 69-79). O índice SPAD sob sombreamento foi maior, enquanto pós-sombreamento reduziu conforme maior intensidade de sombreamento e dias após o final da limitação. A área foliar e massa seca reduziram sob 75% de sombreamento no período entre os estádios 11 a 31, de 4,0 cm<sup>2</sup> e 0,4 g por planta, conforme safra; o rendimento de grãos sob sombra foi afetado, com redução de até 32,7 sacas.ha<sup>-1</sup>, em relação a pleno sol. Concluiu-se que as orientações de sombreamento não afetam os parâmetros avaliados; sombreamento no período entre estádios 11 a 31 afeta negativamente a altura, área foliar e massa seca; intensidades crescentes causam redução na área foliar, massa seca e rendimento de grãos; índice de clorofila das plantas de aveia branca URS Altiva apresenta variação sob limitação na radiação e retorno a pleno sol, caracterizando recuperação, independente dos estádios em que as simulações de sombreamento são impostas.

**Palavras-chave:** *Avena sativa* L.; Fotossíntese; Rendimento de grãos; Radiação solar; SPAD.

### 2.2 INTRODUÇÃO

A produtividade de grãos ou a matéria seca das plantas podem sofrer interferência das condições ambientais, como variações na radiação solar incidente (PEZZOPANE *et al.*, 2020). Sabe-se da importância da luz solar para o crescimento das plantas, processos fotossintéticos e fisiológicos (SHIMODA; SUGIKAWA, 2019; TAIZ *et al.*, 2017). As reações fotossintéticas

das plantas ocorrem nos cloroplastos, nos quais se encontram os pigmentos que absorvem a luz solar, principalmente as clorofilas (TAIZ *et al.*, 2017). Os cloroplastos se caracterizam por conter o complexo de proteínas coletoras de luz de clorofila *a/b*, complexos de coleta de luz dos fotossistemas I e II, e a membrana fotossintética ou tilacóide (ALBERTSSON, 2001; HEATHCOTE; FYFE; JONES, 2002).

Nos sistemas de cultivos, a quantidade de radiação disponível às plantas apresenta mudanças contínuas em intensidade e espectro. Isto, pode ser visualizado em dia com alta presença de nebulosidade (CUSTÓDIO; BERLATO; FONTANA, 2009; SOUZA *et al.*, 2010b), lavouras com altas densidades de semeadura (SOUZA *et al.*, 2010a) e sistemas de integração lavoura-floresta ou lavoura-pecuária-floresta (CORDEIRO *et al.*, 2015; PEZZOPANE *et al.*, 2020).

As plantas, por serem incapazes de alterar sua localização em busca de condição adequada, apresentam mecanismos internos de aumento da eficiência de utilização da radiação quando esta é de baixa intensidade ou mecanismos de reduzir e reparar danos induzidos quando mais intensa (NEVO *et al.*, 2012). Dentre estes mecanismos, há alteração no conteúdo de clorofila foliar em resposta a baixa intensidade de luz. Segundo Xie *et al.* (2022), plantas tolerantes a condição de baixa luz ou com mecanismos de prevenção a sombra apresentam menor relação clorofila *a/b* e maior entre os fotossistemas II e I, diferenciando-se de plantas em condições consideradas ótimas de luz

Dentre os trabalhos realizados com a cultura, principalmente aveia branca, poucos buscam informações sobre a tolerância desta espécie à limitação de luz, e suas respostas sob estas condições. Os resultados disponíveis com aveia preta em sistemas de integração com arbóreas (NICODEMO *et al.*, 2016; SGARBOSSA *et al.*, 2020) e aveia branca (DEISS *et al.*, 2016) indicam efeitos negativos de maiores percentuais de sombra sobre o crescimento e produção dos grãos da cultura.

Com base na expansão da aveia branca no desenvolvimento regional em função da diversificação na produção agrícola (PACHECO *et al.*, 2021), e possibilidades de cultivos integrados, levantou-se a hipótese que faixas de sombreamento em orientação leste/oeste e de maior intensidade afetam os parâmetros morfoagronômicos e rendimento de grãos de plantas de aveia branca, enquanto intensidades baixas e medianas de radiação solar em norte/sul apresentam efeitos benéficos ao crescimento e desenvolvimento. Acredita-se que o período de desenvolvimento compreendido entre os estádios fenológicos de emissão de nó e antese são mais afetados pelo sombreamento. Assim, objetivou-se verificar os efeitos de sombreamento



em diferentes períodos de desenvolvimento das plantas de aveia branca sobre o crescimento e índice de clorofila.

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

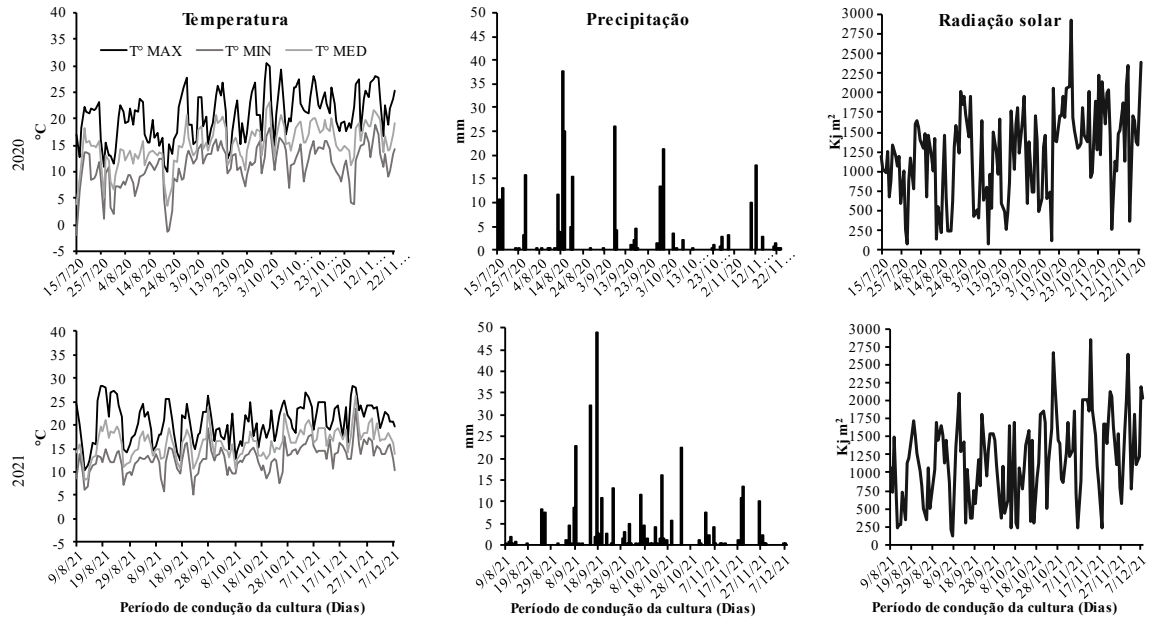
### 2.3.1 Local de condução

Os experimentos foram conduzidos nas safras 2020 e 2021, na área experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), em Lages-SC. O local possui temperatura média anual de 15,7 °C, precipitação de 1500 mm, segundo a normal climatológica obtida no Atlas Climático da Região Sul do Brasil (WREGE, 2012).

A cultivar de aveia branca utilizada foi URS Altiva. Esta, lançada em 2015, possui ciclo precoce e resistência moderada ao acamamento (DANIELOWSKI *et al.*, 2021). A cultivar se destaca entre as demais, pelo alto potencial de produção de grãos e peso hectolítrico, em que na safra 2022 em Lages, conforme ensaio brasileiro de cultivares, apresentou média de 5,1 t.ha<sup>-1</sup> e 51,3 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente (CARVALHO *et al.*, 2023; LUCAS *et al.*, 2023).

Os dados meteorológicos, como temperatura, precipitação e radiação solar incidente local, correspondente ao período de condução dos experimentos em 2020 e 2021 foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021). Estes, podem ser visualizados na Figura 1.

Figura 1 — Dados para temperatura máxima ( $T^{\circ}$  MAX), mínima ( $T^{\circ}$  MIN) e média ( $T^{\circ}$  MED), precipitação (PREC) e radiação solar global (RAD) no período de condução dos experimentos com sombreamento intermitente na cultura da aveia branca nas safras 2020 e 2021



Intervalo entre barras representam período de duração do sombreamento nos estádios fenológicos (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974): 11 a 31: primeira folha expandida a primeiro nó visível; 31 a 55: primeiro nó visível a metade da panícula exposta; 55 a 69: metade da panícula exposta a antese completa; 69 a 79: antese completa a final de grão leitoso. Fonte: Elaborada pela autora, adaptado de INMET, 2021.

A semeadura da cultura foi realizada em 15 de julho de 2020 e 09 de agosto de 2021, para obter população de 350 plantas por metro quadrado. A adubação da cultura em ambos os anos foi realizada com base na análise de solo e recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016) para expectativa de rendimento de grãos de  $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Utilizou-se da formulação NPK 5-20-10 para adubação na semeadura e ureia (adubação nitrogenada) em cobertura, parcelada entre os estádios de perfilhamento e de alongamento do colmo.

O manejo de fitossanitário das plantas, quando necessário, com produtos recomendados para a cultura, conforme as Informações Técnicas para a Cultura da Aveia (Informações..., 2021). A colheita dos experimentos foi realizada com automotriz de parcelas, em 23 de novembro de 2020 e 08 de dezembro de 2021, conforme a safra.

### 2.3.2 Delineamento e caracterização experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4 x 4, sendo duas orientações de faixas de sombreamento, leste/oeste e norte/sul, quatro intensidades de sombreamento, 0; 25; 50 e 75% e quatro períodos de desenvolvimento das plantas definidos entre os estádios fenológicos 11-31; 31-55; 55-69 e 69-79 (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974). O período de duração representado pelo avanço dos estádios em cada safra está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 — Caracterização dos estádios fenológicos, datas de início e fim, e duração do período em dias que o sombreamento intermitente foi imposto-removido sob a cultura da aveia branca, nos anos agrícolas 2020 e 2021

Estádios fenológicos*	Caracterização dos estádios	Data de início e fim		Duração (dias)	
		2020	2021	2020	2021
11 – 31	Primeira folha expandida a primeiro nó visível.	04/08 a 09/09	27/08 a 22/09	36	26
31 – 55	Primeiro nó visível a metade da panícula exposta.	09/09 a 26/09	22/09 a 16/10	17	24
55 – 69	Metade da panícula exposta a antese completa.	26/09 a 08/10	16/10 a 26/10	12	10
69 – 79	Antese completa a final de grão leitoso.	08/10 a 20/10	26/10 a 05/11	12	10

\*Escala de Zadoks, Chang e Konzak (1974). Fonte: Elaborada pela autora (2023).

As parcelas foram constituídas por cinco linhas de semeadura de aveia branca com espaçamento de 0,20 m e com 2,0 metros de comprimento. Como parcela útil considerou-se as três linhas centrais de 1,5 metros. O espaçamento entre parcelas foi de 1,0 m.

A simulação dos diferentes níveis e orientações de sombreamento sobre as plantas de aveia branca foi realizada conforme descrito por Varella *et al.* (2011) utilizando tábuas. Estas foram organizadas lado a lado em cada estrutura, diferindo em distância entre si (intensidades) e instalação considerando a orientação solar, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 — Estruturas de madeira para simulação de sombreamento na cultura da aveia branca nas safras 2020 e 2021



Os valores em percentual representam as intensidades de sombreamento (25, 50 e 75%); L/O: orientação leste/oeste; N/S: orientação norte/sul. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Cada estrutura foi confeccionada com 2,0 m de comprimento e largura de 1,50 m, instaladas com altura de 0,6 m e posteriormente 1,2 m do nível do solo, conforme avanço do desenvolvimento da cultura. A instalação e permanência da estrutura simulando a condição de sombreamento ocorreu conforme duração de cada período pré-definido, com base no avanço do desenvolvimento fenológico da cultura, conforme exemplificação na Figura 3.

Figura 3 — Demonstração da instalação das estruturas de madeira para simulação de sombreamento nos diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da aveia branca nas safras 202 e 2021



Período de duração do sombreamento sobre os estádios fenológicos: 11 a 31: Primeira folha expandida a primeiro nó visível; 31 a 55: Primeiro nó visível a metade da panícula exposta; 55 a 69: metade da panícula exposta a antese completa; 69 a 79: Antese completa a final de grão leitoso (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974). Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Os percentuais de sombreamento foram verificados via medição com ceptômetro (Light Sensor Logger LI-1500, LICOR®, Lincoln, NE, USA) em 2021 (dados não apresentados). Os resultados confirmaram os percentuais médios de intensidades de sombreamento simulados pelas estruturas.

### 2.3.3 Variáveis analisadas

Durante a condução dos experimentos avaliou-se o índice de clorofila com medidor SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), altura de plantas, área foliar (AF) e massa seca (MS) de plantas em determinados estádios do desenvolvimento da cultura. A altura de plantas foi avaliada em pré-colheita e, o rendimento de grãos em pós-colheita.

A avaliação do índice de clorofila das plantas foi realizada com metodologia não destrutiva, via medidor SPAD (SHIBAEVA; MAMAEV; SHERUDILO, 2020; WENNECK *et al.*, 2021). O SPAD foi avaliado na última folha completamente expandida, em cinco plantas por parcela experimental após o início do período de sombreamento, somente nos dois últimos períodos de crescimento em que o sombreamento foi imposto, ou seja, nos estádios de metade da panícula exposta (terceiro período correspondente aos estádios 55 a 69) e final de grão

leitoso (quarto período de sombreamento correspondente aos estádios 69 a 79). Este foi avaliado em 1, 3, 5, 7 e 9 dias após a colocação da estrutura de sombreamento sobre as plantas. Além desta avaliação, também se avaliou a recuperação do índice SPAD após a retirada das estruturas que cobriam as parcelas (ao final de cada período de sombreamento), em cinco plantas de cada unidade experimental, e, da mesma forma em 1, 3, 5, 7 e 9 dias.

A altura de plantas foi avaliada em cinco plantas coletadas do final de cada período de sombreamento e em pré-colheita (altura final), as quais foram medidas da base da planta (no nível do solo) ao ápice da panícula do colmo principal. Para determinação da área foliar foram avaliadas as cinco plantas coletadas no final de cada período de sombreamento, e submetidas a medição com auxílio de aparelho integrador de área foliar, considerando limbos foliares fotossinteticamente ativos. Posteriormente, as mesmas plantas foram utilizadas para avaliação de massa seca em estufa de ar forçado à  $65 \pm 2^\circ\text{C}$  por 72 horas e posterior pesagem.

O rendimento de grãos foi determinado através da pesagem dos grãos obtidos após a colheita das unidades experimentais, corrigindo o percentual de umidade a 13%. Os resultados foram expressos em sacas de  $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

#### **2.3.4 Análise estatística**

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. As variáveis que não atenderam aos pressupostos foram submetidas a transformações de dados ( $y = \sqrt{(x + 0,5)} / 100$ ). Posteriormente, realizou-se a análise de variância pelo teste F à 5% de significância. Quando significativo, as médias entre os períodos caracterizados pelos estádios foram comparadas pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$  de probabilidade de erro), e análise de regressão para as intensidades de sombreamento e dias de avaliação.

Para SPAD em função dos dias de avaliação as médias do tratamentos a pleno sol não foi considerado na análise, porém, em análises de regressão em função das intensidades, este foi considerado como nível 0% (testemunha). As análises de regressões em função dos níveis de sombreamento e dias de avaliação foram realizadas com base na média de ambas as orientações, para cada estádio de sombreamento avaliado em ambas as safras.

Realizou-se análise de correlação de Pearson para os dados obtidos sob nível de sombreamento 75% e SPAD após o final do período de restrição avaliado no dia 01. Utilizou-se de software estatísticos R (R Core Team, 2023).

## 2.4 RESULTADOS

Durante o período de condução dos experimentos, houve maior precipitação acumulada em 2021 (312,2 mm) em relação a 2020 (265,6 mm) e com temperatura média durante o período de 15,2 e 16,3, respectivamente (Figura 1). Para intensidade de radiação solar, verificou-se menor média durante experimento conduzido durante o segundo ano (1196,2 KJ m<sup>-2</sup>) em relação ao primeiro (1237,3 KJ m<sup>-2</sup>) (Figura 1).

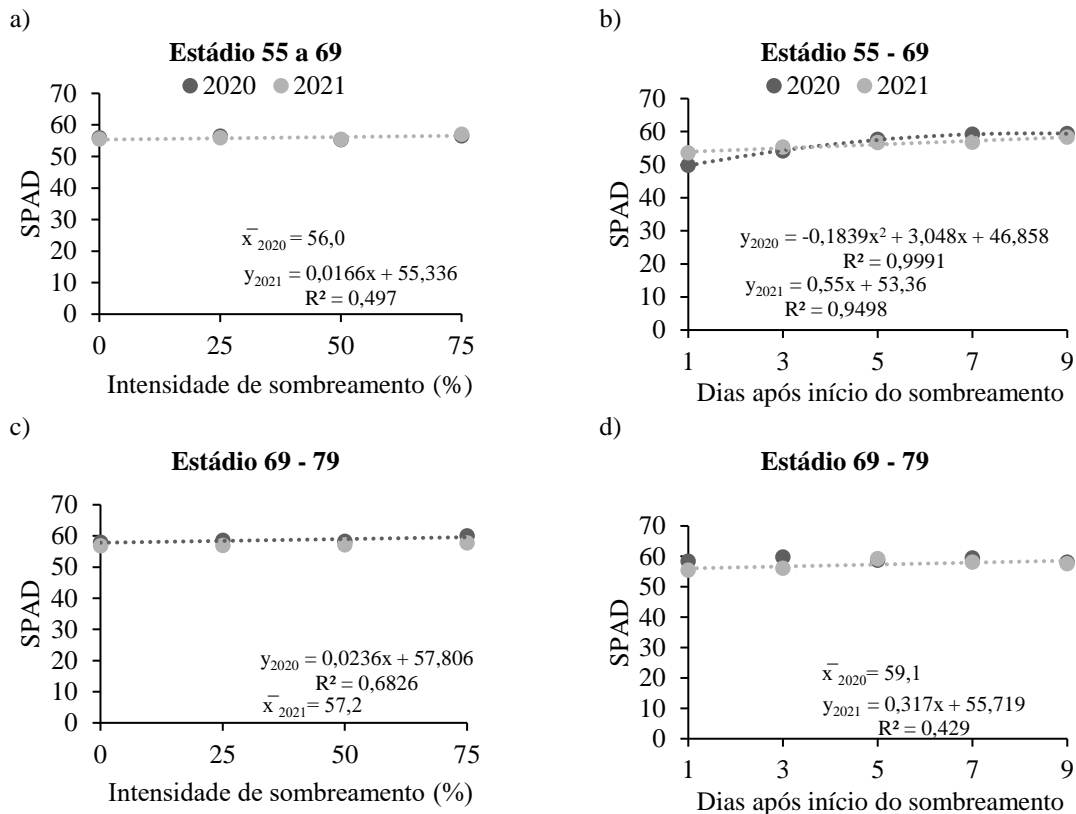
Durante as safras, foram registradas condições meteorológicas adversas, como vendavais e granizos, que causaram prejuízos as plantas, como em 2021 com registros de danos nas plantas durante os estágios de perfilhamento e em pré-colheita, ocasionando perdas no rendimento de grãos. Fato este, que pode justificar diferenças entre os anos agrícolas no rendimento de grãos.

A análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) não apresentou efeito para as orientações de sombreamento testadas para índice de clorofila (SPAD) após o início e final do período de sombreamento, altura, área foliar (AF) e massa seca (MS) de plantas em cada estágio sombreado, altura de plantas em pré-colheita e rendimento de grãos (APÊNDICE A, B, C,D, E).

### 2.4.1 Índice de clorofila a partir do início da condição sombreada

O índice SPAD apresentou efeito simples para intensidade de sombreamento e dias após início da restrição de luz nas plantas de aveia branca (Apêndice B). Ao ser avaliado a partir da imposição do sombreamento sobre as plantas, iniciando nos estádios 55 e 69, o valor SPAD apresentou aumento, conforme maior intensidade de sombreamento a cada 10% testado em 2021, na casa de 0,2 unidades SPAD (Figura 4a).

Figura 4 — Índice de clorofila (SPAD) em função de intensidades (média dos dias) (a, c) e dias (média das intensidades de sombreamento exceto testemunha) (b, d) após início de sombreamento em diferentes períodos do desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva, nas safras 2020 e 2021



\*Barras de erro representam erro padrão da média de cada tratamento.  $\bar{x}$ : Média.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

As plantas de aveia branca sob sombreamento durante o período entre os estádios 69 a 79, apresentaram incremento de 0,2%, com média de 60,0 unidades SPAD sob nível de 75% de sombreamento (Figura 4c). Sob sombreamento entre os estádios 55 a 69 em 2020, o SPAD apresentou incremento até oitavo dia após o início da limitação, com valor máximo de 59,5 índice SPAD, e reduzindo conforme maior intensidade testada. Em 2021, o índice SPAD aumentou 0,6, para cada dia após a imposição do sombreamento sobre as plantas de aveia branca (Figura 4b).



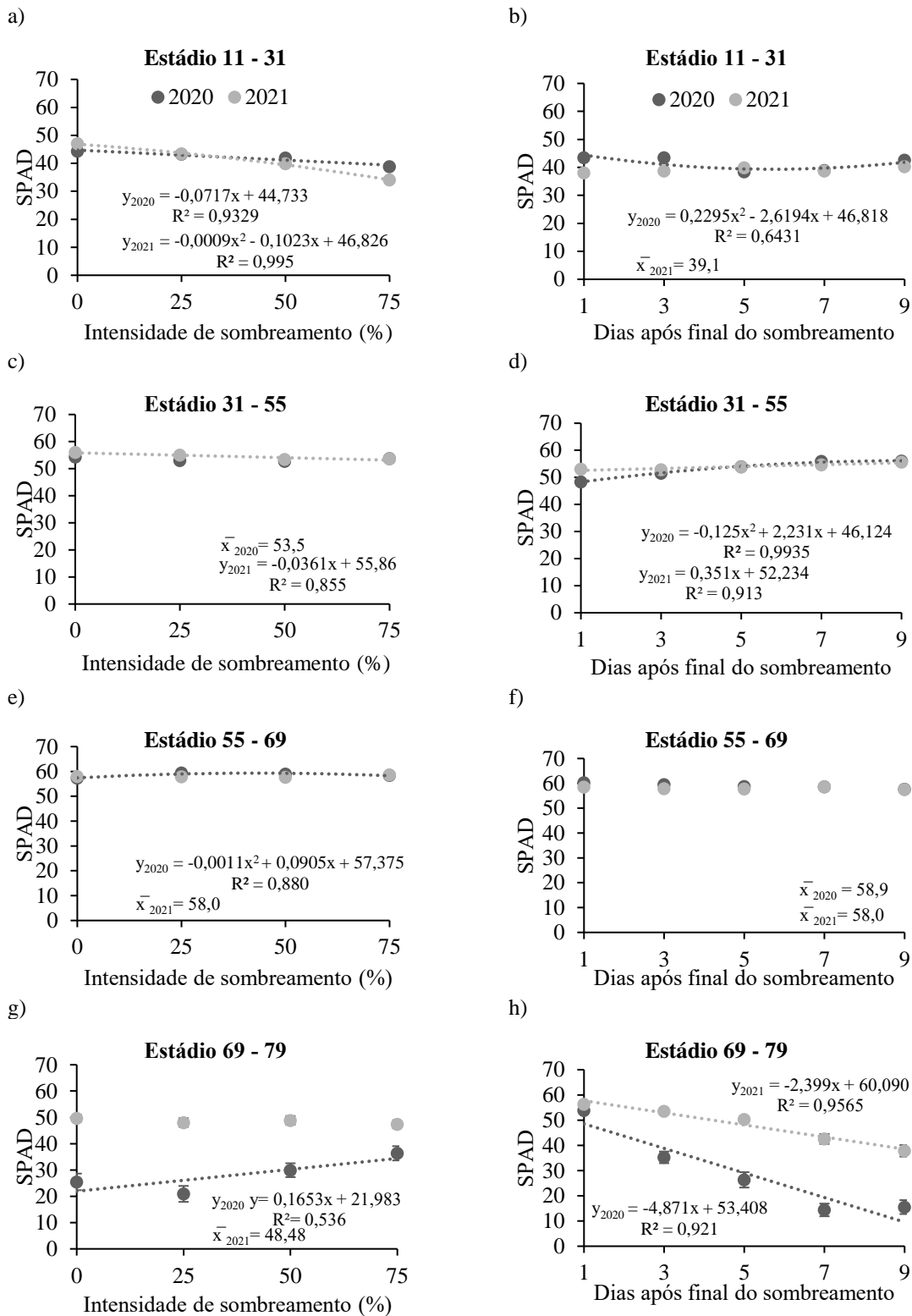
### 2.4.2 Índice de clorofila pós-sombreamento

O índice SPAD das plantas de aveia branca avaliado após o final do período que permaneceram sob sombreamento apresentaram variações conforme os níveis e dias de avaliação para cada estágio (Anexo D; Figura 5).

Para sombreamento imposto nos períodos de desenvolvimento das plantas compreendido entre os estádios 11 a 31 (2020) e 31 a 55 (2021) ocasionou redução linear no índice SPAD, de 0,7 e 0,4 unidades SPAD, respectivamente, para cada aumento de 10% no nível de sombra (Figura 5a e 5b). Para sombreamento nos estádios 11 a 31 (2021), 55 a 69 (2020), observou-se comportamento quadrático, com pontos de máximo SPAD obtido sob intensidade de sombra de 56,8% e 41,1%, respectivamente, (Figura 5a e 5e). Em relação ao SPAD de plantas sombreadas no período entre 69 a 79 (2020), observou-se incremento de 1,7 unidades SPAD no índice de clorofila para cada aumento de 10% na intensidade de sombra, pois, para nível de 75%, o SPAD observado foi de 36,3 (Figura 5g).

O índice SPAD, ao final do período de restrição de luz, ou seja, retorno a pleno sol, após ser imposto no período de desenvolvimento entre estágio 11 e 31 (2020), apresentou redução até o sexto dia, com valor de 39,9, e posterior aumento, com média de 42,5 em nove dias (Figura 5b). Para sombreamento entre estádios 31 e 55, houve comportamento quadrático para primeira e aumento linear para segunda safra, com incremento até o nono dia (56,1) em 2020, e para 2021 houve aumento de 0,4 unidades SPAD para cada dia após o retorno a condição de plena luz (Figura 4d). Já entre os estádios 69 a 79, o SPAD das plantas apresentou, para cada dia após fim do sombreamento, redução de 4,9 e 2,4 pontos no índice, em 2020 e 2021 respectivamente (Figura 5h).

Figura 5 — Índice de clorofila (SPAD) em função de intensidades (média dos dias) (a, c, e, g) e dias (média das intensidades exceto testemunha) (b, d, f, h) pós-sombreamento em diferentes períodos de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Ativa, nas safras 2020 e 2021



\*Barras de erro representam erro padrão da média de cada tratamento.  $\bar{x}$  : média.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

### 2.4.3 Crescimento de plantas

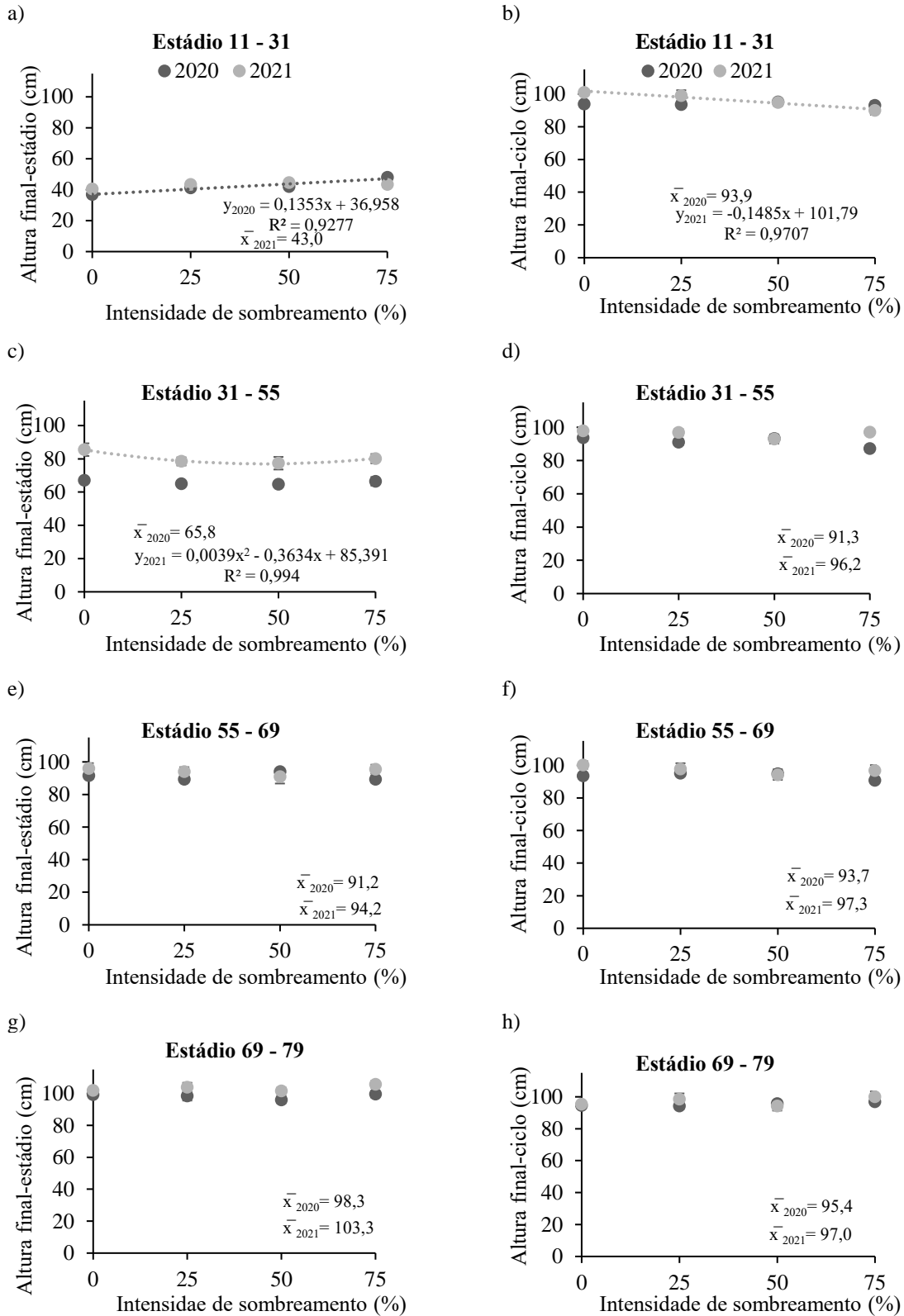
A altura de plantas de aveia branca apresentou efeito para sombreamento no período compreendido entre os estádios 11 a 31 e 31 a 55, principalmente (Anexo E e F; Figura 6). Para a altura das plantas em 2020, ao ser avaliada no estádio 31 (período de sombreamento entre os estádios 11 a 31) houve aumento de 1,3 cm para cada incremento de 10% no nível de limitação de luz (Figura 5a). Enquanto, ao final do ciclo (2021), verificou-se redução de 1,5 cm, para cada aumento de 10% no nível de sombra imposto (Figura 6b).

A altura de plantas sombreadas entre os estádios 31 a 55 (2021) avaliadas no final do período determinado, apresentou efeito quadrático com menor média (76,9 cm) no nível de sombreamento de 46,6% (Figura 6c). Os demais estádios sombreados não apresentaram efeito dos níveis de sombreamento sobre a altura das plantas de aveia branca (Figura 6).

Para a área foliar (AF) das plantas de aveia branca após sombreamento no período entre os estádios 11 a 31 (2021), verificou-se redução conforme aumento da intensidade de sombreamento, sendo de 4,0 cm<sup>2</sup> para cada 10% de sombra (Figura 7a). Houve efeito para a AF das plantas sombreadas entre os estádios 55 e 69 (2020), com maior média (137,7 cm<sup>2</sup>) sob 37,1% de sombreamento (Figura 7e).

A massa seca (MS) das plantas aumentou conforme o avanço do ciclo. A MS ao final dos estádios 11 a 31 apresentou médias de 0,4 g.planta<sup>-1</sup>, 31 a 55 de 1,6 g.planta<sup>-1</sup>, 55 a 69 de 2,4 g.planta<sup>-1</sup> e em 69 a 79 de 3,4 g.planta<sup>-1</sup>, independente da orientação e intensidade do sombreamento (Figura 7). Entretanto, a MS diferiu para o fator intensidade apenas para o período de 11 a 31 (2020 e 2021) (Figura 7b). Em 2020, houve comportamento quadrático para MS, em que a maior média (0,5 g) foi obtida sob intensidade de 42,5% de sombreamento. Já em 2021, verificou-se redução linear (< 0,4 g) em função de cada aumento no nível de sombra (10%) imposto durante tal período (Figura 7b), sendo de 0,3 g.planta<sup>-1</sup> sob intensidade de 75% de sombreamento.

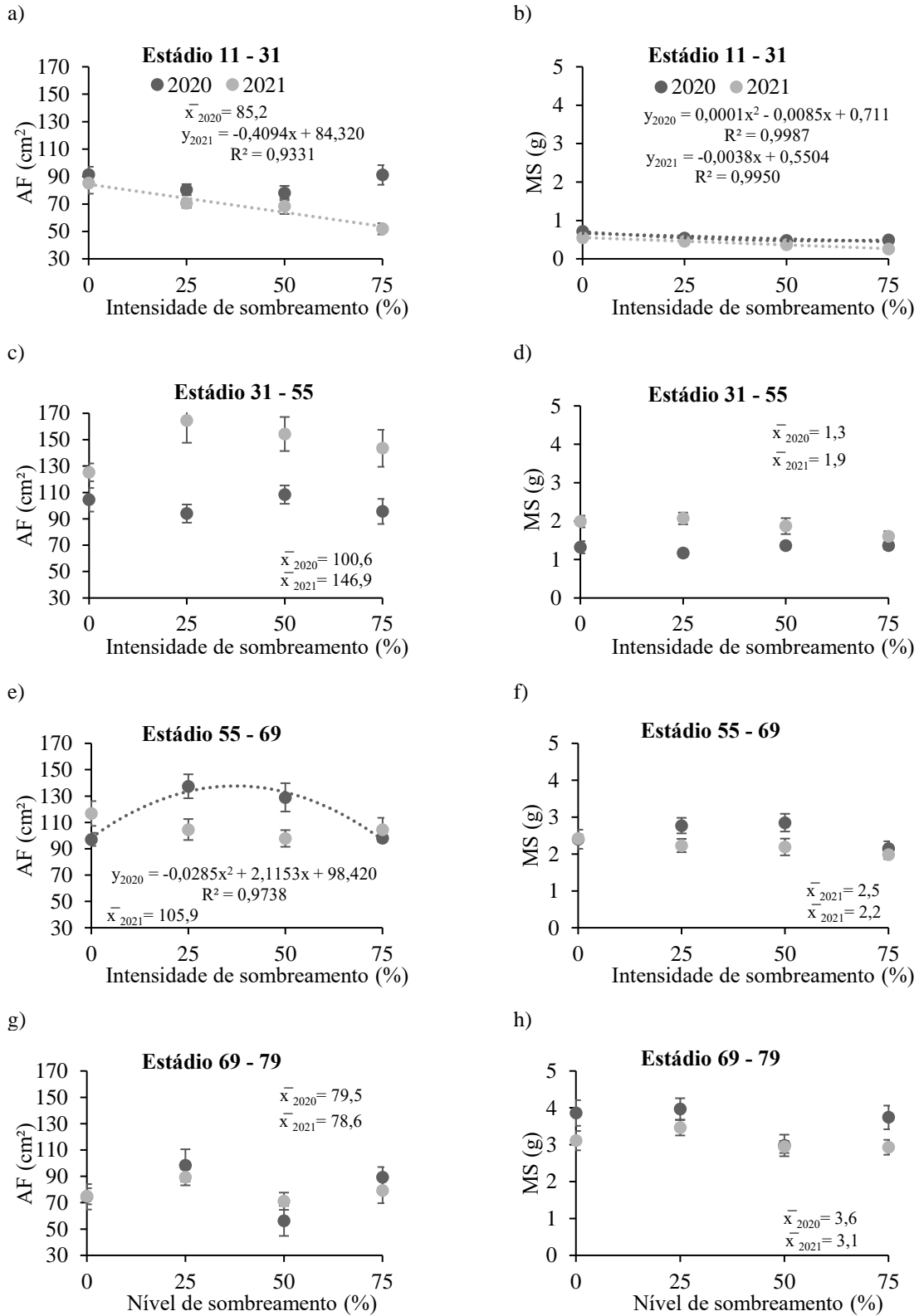
Figura 6 — Altura de plantas ao final de cada período de sombreamento (a, c, e, g) e em pré-colheita (b, d, f, h), em função de intensidade de sombreamento em diferentes períodos de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva, nas safras 2020 e 2021



\*Barras de erro representam erro padrão da média de cada tratamento.  $\bar{x}$ : média.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Figura 7 — Área foliar (AF) (a, c, e, g) e massa seca (MS) (b, d, f, h) ao final de cada período de sombreamento em função de intensidade de sombreamento em diferentes períodos de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva, nas safras 2020 e 2021



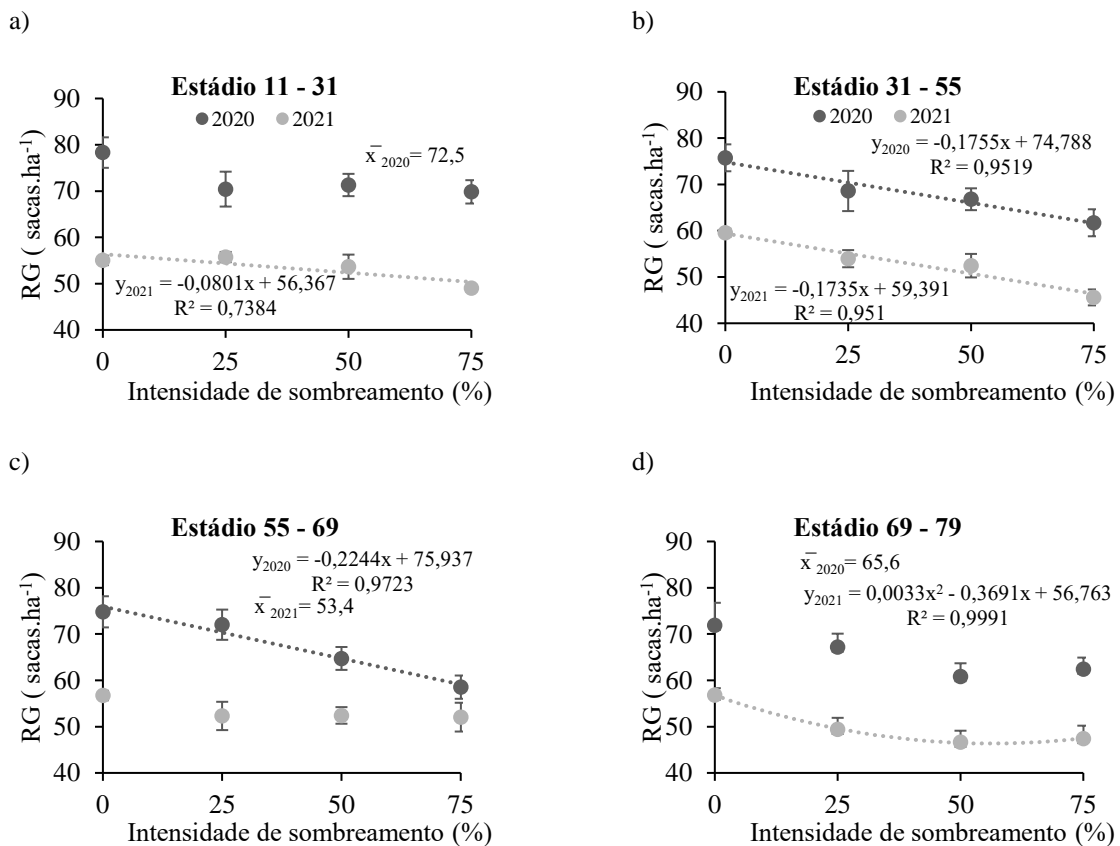
\*Barras de erro representam erro padrão da média de cada tratamento.  $\bar{x}$  : média.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

### 2.4.4 Rendimento de grãos

O rendimento de grãos (RG) de plantas de aveia branca apresentou resultados negativos relacionados a maiores níveis de sombreamento. Verificou-se decréscimo linear no RG de plantas sombreadas nos períodos compreendidos entre os estádios fenológicos 11 a 31, 31 a 55, e 55 a 69. O sombreamento durante 11 a 31 (2021) apresentou redução de 0,8 sacas.ha<sup>-1</sup> (2021), em 31 a 55 de 1,8 (2020) e 1,7 (2021), e em 55 a 69 de 2,2 sacas.ha<sup>-1</sup> (2020), considerando aumentos de 10% na intensidade de sombreamento (Figura ).

Figura 8 — Rendimento de grãos em função de intensidade de sombreamento em diferentes períodos de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva, nas safras 2020 e 2021



\*Barras de erro representam erro padrão da média de cada tratamento.  $\bar{x}$  : média.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

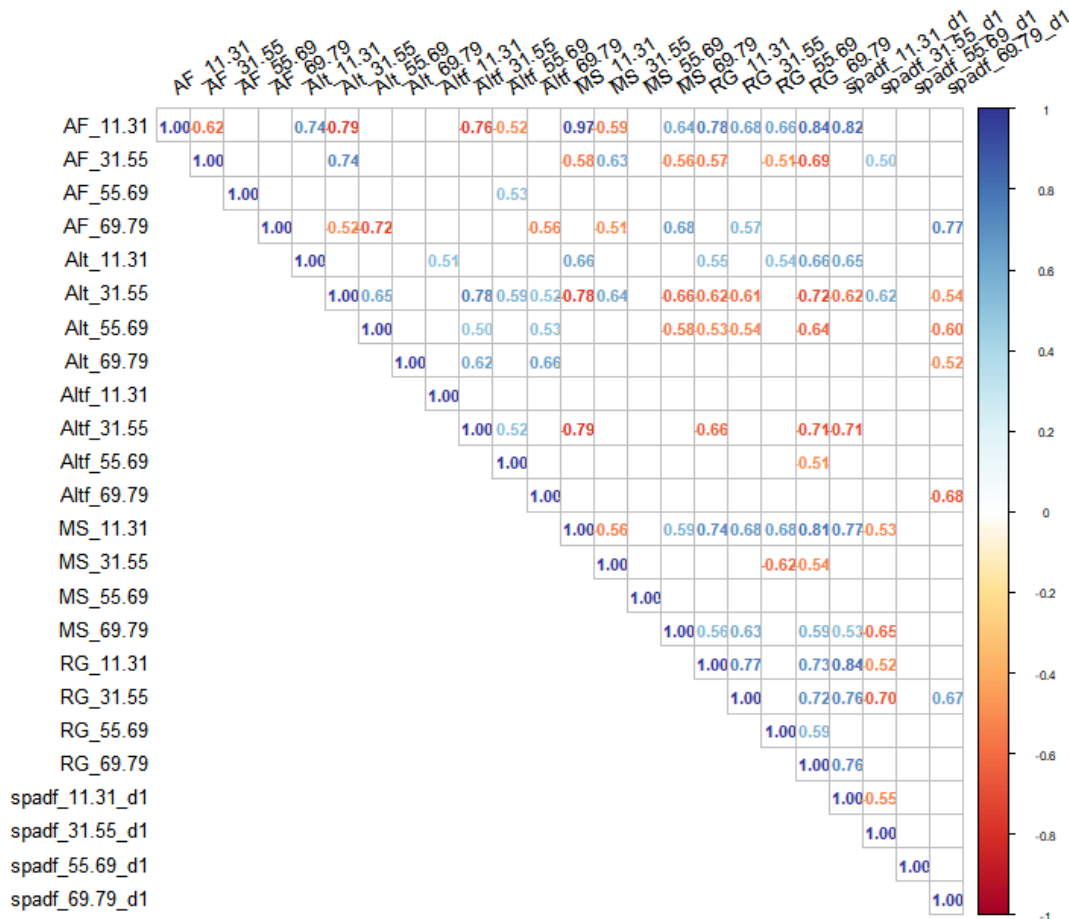
Para sombreamento entre os estádios 69 a 79 (2021), o RG apresentou redução até intensidade de 55,9% de restrição de luz (46,4 sacas.ha<sup>-1</sup>) e posterior aumento, atingindo média de 47,4 sacas.ha<sup>-1</sup> sob intensidade de 75% de sombreamento (Figura 8d). Contudo, os valores

numéricos médios dos demais tratamentos são inferiores ao tratamento testemunha, considerando-se os fatores estádios e safras (Figura 8).

### 2.4.5 Análise de correlação

A análise conjunta para as variáveis analisadas como altura, MS AF e SPAD) sob sombreamento de 75%, apresentou resultados positivos principalmente relacionados ao, RG para a maioria dos períodos de sombreamento conforme os estádios pré-definidos (Figura 9).

Figura 9 — Análise de correlação (r) para o crescimento e rendimento de plantas de aveia branca sob intensidade de sombreamento de 75%



\* Números coloridos representam valores significativos a  $p \leq 0,05$ . AF: área foliar; Alt: altura final do estádio; Altf: altura final do ciclo; MS: massa seca; RG: rendimento de grãos; spadf: índice SPAD pós-sombreamento. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Ao sombrear as plantas no período entre os estádios 11 a 31, observou-se correlação positiva entre AF e MS ( $r = 0,97$ ), SPAD após final do sombreamento (dia 01) e AF ( $r = 0,82$ ),

e, AF com RG ( $r= 0,84$ ). Isto, indica que o sombreamento durante o desenvolvimento inicial das plantas não afetou o desenvolvimento e rendimento, pois, o maior índice SPAD, AF e MS contribuíram para aumento do RG da cultura (Figura 9).

Efeitos semelhantes foram observados para sombreamento no período entre os estádios 31 a 55, entre a altura de plantas, AF ( $r= 0,74$ ) e altura final (pré-colheita) ( $r= 0,78$ ), além de MS com AF ( $r= 0,63$ ) e altura ( $r= 0,64$ ) (Figura 9). Os resultados para as correlações positivas para as variáveis quando o sombreamento foi imposto entre o primeiro nó visível e metade da panícula exposta (31-55) confirmam a importância dos fotoassimilados no desenvolvimento em altura, área foliar e massa seca das plantas, pois, é período que compreende o alongamento do colmo, desenvolvimento foliar, e acúmulo nos grãos de fotoassimilados remobilizados.

Para sombreamento no período entre os estádios 69 e 79, houve efeito positivo entre altura no estádio 79 e em pré-colheita ( $r= 0,66$ ), MS e AF ( $r= 0,68$ ), SPAD e AF ( $r= 0,77$ ) (Figura 9). Estes resultados indicam que o sombreamento imposto no final do ciclo não interferiu no desenvolvimento foliar e de massa seca das plantas, permitindo a expressão máxima do potencial, e contribuindo para o índice SPAD das plantas, possivelmente pelo atraso na senescência foliar.

## 2.5 DISCUSSÃO

### 2.5.1 Índice de clorofila

Os resultados observados indicam que o índice de clorofila das plantas de aveia branca foi afetado conforme a intensidade de radiação solar incidente e, em função dos dias após a alteração da incidência de luz (Figura 4 e 5). As clorofilas, aliadas a outros pigmentos, são responsáveis pela absorção de radiação solar nos centros de reação dos fotossistemas, e transformação da energia luminosa em química (HEATHCOTE; FYFE; JONES, 2002; TAIZ *et al.*, 2017). No entanto, sob limitação de luz as plantas podem desenvolver respostas de escape, ou seja, mudança na arquitetura com o objetivo de fuga da limitação (CASAL, 2012; STAMM; KUMAR, 2010).

Pode-se afirmar que o aumento do índice de clorofila foliar (verificado via SPAD) após início do sombreamento, é coerente com estudos anteriores com milho (REN *et al.*, 2023), arroz (WANG; DENG; REN, 2015) e trigo (LI *et al.*, 2023). O aumento no teor de clorofila por centro de reação está relacionado a busca por captação de radiação solar ambiente (FAN *et al.*, 2019;



YANG *et al.*, 2018), fato que pode justificar os maiores valores para teor de clorofila sob baixo nível de luminosidade. Segundo Valladares e Niinemets (2008), a tolerância das plantas a condições de baixos níveis de luz solar está relacionada com sua plasticidade fenotípica para otimizar a absorção de radiação solar.

Contudo, a redução no teor de clorofila das plantas de aveia branca após o retorno para a condição de pleno sol pode caracterizar danos fotoquímicos à maquinaria fotossintética, principalmente em plantas oriundas de alto nível de sombreamento, e conseqüentemente maior teor de clorofila. Inicialmente com a mudança de luz baixa para alta, o fotossistema II tem sua atividade reduzida, causando a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) provocando sua inibição (HUANG *et al.*, 2019). Além disto, em condições sob alta intensidade de luz, há aumento do gradiente de prótons entre o lúmen e os tilacóides nos cloroplastos devido a redução da atividade da enzima ATP sintase, ocasionando danos ao fotossistema I (TAN *et al.*, 2020). Dentre os mecanismos alternativos para reduzir os riscos de fotoinibição e danos, há alteração (fluxo acíclico para cíclico) e redução do fluxo de elétrons do fotossistema II (P700) para fotossistema I (P680), além da regulação do balanço da síntese de ATP (TAN *et al.*, 2020).

O aumento do teor de clorofila com o passar dos dias sob baixa radiação solar, e comportamento de aumento após leve redução ao retornar a pleno sol, infere sobre esta tolerância no primeiro momento e readaptação posteriormente, em que há mudança gradual em função do tempo. No início do sombreamento a assimilação de CO<sub>2</sub> pode ter reduzido, devido a maior quantidade de energia que poderiam utilizar, ativando processos de extinção não fotoquímica para não danificar o aparelho fotossintético, e ao ser submetida a sombra, esse processo de dissipação da energia prossegue, de segundos a horas (WANG *et al.*, 2020). E, na condição inversa, pelo fato de que em folhas que recebem luz solar após período de sombreamento, a assimilação de CO<sub>2</sub> aumenta gradativamente ao longo de minutos até atingir estado estacionário (WANG *et al.*, 2020).

Além disto, os resultados referentes ao último estágio em que o sombreamento foi testado, podem estar diretamente relacionados ao atraso e avanço da senescência foliar das plantas. O atraso visualizado sob nível de sombreamento intenso (75%), corrobora com comportamentos encontrados por Xu *et al.* (2016) e Inurreta-Aguirre *et al.* (2018) na cultura do trigo, Zhang *et al.* (2019) em arroz e atraso no desenvolvimento de plantas daninhas por Yasin *et al.* (2019). Em relação ao avanço da senescência, pode-se justificar a diminuição em função do final do ciclo de desenvolvimento, na média dos tratamentos, considerando que a cultura se encontrava próximo a maturidade, e conseqüentemente redução no teor de clorofila foliar,

conforme Jespersen, Zhang e Huang (2016), devido a maior velocidade de degradação destes pigmentos nesta fase.

### 2.5.2 Crescimento de plantas

As intensidades de sombreamento influenciaram negativamente na altura inicial (ocorrência de estiolamento), MS e AF verificada após o período de restrição lumínica no início do desenvolvimento das plantas (Figura 6). Os dois períodos em que as plantas foram sombreadas, correspondendo aos estádios de 11 a 31, e 31 a 55 correspondem respectivamente, ao período de perfilhamento e alongamento do colmo em plantas de aveia branca, conforme escala de Zadoks (ZADOKS, CHANG; KONZAK, 1974).

O sombreamento durante o período entre os estádios 11 a 31, conforme os resultados, em intensidades crescentes de limitação de radiação solar pode ter interferido na altura das plantas pela ocorrência de estiolamento do colmo principal, no início do desenvolvimento. Além da alteração fisiológica de conteúdo de clorofila em resposta à sombra, as plantas podem apresentar maior altura, dominância apical, alongamento dos pecíolos e área foliar, contudo, redução no número de perfilhos ou ramos (LIU; JAFARI; WANG, 2021).

entre os estádios 31 a 55, sabe-se que ocorre o alongamento do colmo, principal (a partir do estágio 30) desenvolvimento dos entrenós e elevação do meristema apical da planta, a qual originará a inflorescência (LUCHE *et al.*, 2021). Isto, pode justificar as variações na altura das plantas nestes períodos, pois as plantas apresentam realocação dos fotoassimilados para promover o alongamento excessivo do colmo, e, como consequência houve a redução do tamanho das folhas (STAMM; KUMAR, 2010), em decorrência de crescentes intensidades de sombra. O alongamento dos entrenós ou estiolamento está interligado com respostas das plantas a percepção da alteração da luz. A percepção da redução dos espectros do azul e relação vermelho: vermelho distante, gera respostas de evitação à sombra intensificadas (WIT *et al.*, 2016), e ação de hormônios vegetais como auxinas e giberelinas (KEUSKAMP *et al.*, 2011), que podem ter influenciado nas respostas das plantas juntamente com os demais fatores.

Estes resultados corroboram a pesquisa de Li *et al.* (2010) ao testarem níveis de sombreamento (0, 8, 15 e 23%) impostos do emborrachamento até a maturidade, observaram colmos alongados e com menor massa seca por unidade de entrenó das plantas de trigo.

Todavia, a redução da disponibilidade de radiação solar para as plantas de aveia branca conforme estádios, visto pela alteração do conteúdo de clorofila e redução da AF, MS e altura

final, pode ser justificada pela ocorrência de danos inerentes a relação fonte-dreno, principalmente ao fator fonte, corroborando com Asseng *et al.* (2017). Isto, possivelmente está interligado ao efeito cascata do menor conteúdo de clorofila, menor taxa fotossintética (JUMRANI; BHATIA, 2020; LI *et al.*, 2014; MU *et al.*, 2010; POORTER *et al.*, 2019; XU *et al.*, 2016; WANG; DENG; REN, 2015) e conseqüentemente menor acúmulo de massa seca (JUMRANI; BHATIA, 2020). Além disto, a menor altura verificada no final do ciclo das plantas que foram sombreadas no início do desenvolvimento, pode estar relacionada com a destinação preferencial dos fotoassimilados aos grãos e não mais em altura, com o decorrer do desenvolvimento, fato positivo ao relacionar com a menor probabilidade de acamamento das plantas.

Estes resultados, confirmam os efeitos observados na análise de correlação, em que as avaliações de clorofila, AF, MS e rendimento de grãos possuem relação positiva, em que, o incremento de uma das variáveis favorece as demais, como para o sombreamento no estágio 11 a 31, e 69 a 79, do presente estudo (Figura 9). O efeito do sombreamento observado também corrobora com Ren *et al.* (2023), que ao avaliar estresse por sombra observou redução no valor SPAD (<8,5%), AF (< 23,8%) e MS (<13,1%), plantas estas sombreadas seis dias no estágio de terceira folha expandida em milho (V3).

### 2.5.3 Rendimento de grãos

A produção de grãos pelas plantas, prejudicada pela crescente intensidade de sombra imposta nos diferentes estádios, demonstrou ser sensível ao estresse, independente do período imposto, porém, com menor intensificação para sombreamento quando entre os estádios 11 a 31 em 2021, indicando possível recuperação pós-sombreamento. O RG seguiu a tendência do efeito limitado de luz sobre a altura, AF e MS das plantas, como discutido, caracterizando efeitos claros dos danos inerentes à “fonte” de fotoassimilados das plantas, como destacado por Asseng *et al.* (2017). Contudo, ao sombreadar as plantas durante o estágio 31 a 55 principalmente, o comportamento para o potencial produtivo foi condizente em ambas as safras.

As variações entre os anos avaliados podem ser justificadas pelas diferenças climáticas registradas. Em 2021, o ciclo de desenvolvimento das plantas foi menor, em relação a 2020, devido a maiores temperaturas principalmente. Isto pode ter provocado maior sensibilidade na definição do rendimento de grãos em função da maior velocidade de definição e formação de grãos sob o estresse, principalmente entre os estádios 31 a 55.

No desenvolvimento inicial da aveia branca, ocorre a formação do primeiro nó, diferenciação do meristema apical do colmo principal, alongamento, emborrachamento e o desenvolvimento da panícula (LUCHE *et al.*, 2021), e, após a antese, determinação da massa dos grãos até o estágio de maturidade das plantas (NAKAGAWA, 2014). Ademais, a maior contribuição no enchimento de grãos provém de carboidratos assimilados em período anterior a antese, remobilizados de partes vegetativas (ASSENG *et al.*, 2017). Fato este que se confirma com os resultados obtidos na correlação do RG com MS e AF de plantas (Figura 9).

Em trabalho realizado com o objetivo de identificar estádios críticos para rendimento de aveia branca, Mahadevan *et al.* (2016) observaram (sombreamento de 14 dias) que este se caracteriza entre o alongamento do colmo e dez dias após a antese. Semelhante, Dietz *et al.* (2023) (sombreamento por 25 dias) identificaram, em aveia, como sensível estádios entre segundo nó no colmo principal à antese em cultivares de ciclo curto/intermediário, e a partir de terceiro nó para ciclo longo.

A redução do rendimento de grãos devido ao estresse por sombreamento está de acordo com resultados obtidos em estudos com demais culturas. Ao avaliar o desenvolvimento de aveia preta cultivada com diferentes espécies florestais, Sgarbossa *et al.* (2020) obtiveram menores médias para taxa de assimilação líquida de carbono, área foliar e crescimento das plantas sob dosséis de árvores mais densos, enfatizando os efeitos negativos no rendimento sob maior intensidade de sombra. Semelhante, Liu *et al.* (2019) e Wang, Deng e Ren (2015) em estudo com a cultura do arroz, obtiveram com sombreamento da floração e formação da panícula até a maturidade, em níveis de 60% e 53%, redução no rendimento dos grãos, variando de 29,1 e 49,7%, e entre 23,5 e 49,6%, respectivamente, indicando a sensibilidade ao sombreamento em alguns estádios para o enchimento de grãos, caracterizando-o como um estresse negativo ao RG.

Contudo, considerando as médias obtidas no presente trabalho, para 2020 e 2021, pode-se inferir médias próximas aos valores visualizados para a cultivar em Lages-SC. Conforme os resultados obtidos no ensaio nacional de cultivares de aveia branca conduzido em Lages, a cultivar URS Altiva apresentou médias de 82 e 60 sacas.ha<sup>-1</sup>, em 2020 e 2021, respectivamente (SOUZA *et al.*, 2021; SOUZA *et al.*, 2022).

## 2.6 CONCLUSÕES

- i. Sombreamento nas orientações N/S ou L/O não afetam os parâmetros de índice SPAD e crescimento das plantas de aveia branca URS Altiva;
- ii. Sombreamento em intensidades crescentes causa reduções na área foliar, massa seca e no rendimento de grãos quando imposto em estádios iniciais de desenvolvimento das plantas (11 a 31).
- iii. O sombreamento das plantas nos estádios de desenvolvimento 11 a 31 afeta negativamente o crescimento das plantas, conforme a safra.
- iv. O índice de clorofila das plantas de aveia branca URS Altiva, tanto no início do sombreamento quanto em pós-sombreamento apresenta recuperação, caracterizando busca por adaptação ao (novo) ambiente, independente dos estádios em que as simulações de sombreamento são impostas.

### 3 RENDIMENTO E QUALIDADE INDUSTRIAL DE GRÃOS DE AVEIA BRANCA URS ALTIVA SOB INTENSIDADES DE SOMBREAMENTO

#### 3.1 RESUMO

A radiação solar disponível para as plantas pode apresentar variações conforme o clima ou sistema produtivo, como sistemas de integração lavoura-floresta. A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma *Poaceae* de inverno com expansão de cultivo e consumo de seus grãos. Objetivou-se avaliar os efeitos de orientações e intensidades de sombreamento intermitente em determinados estádios de desenvolvimento de aveia branca URS Altiva sobre o rendimento e qualidade industrial de grãos. O experimento foi conduzido na área experimental do CAV/UEDESC em 2020 e 2021. Utilizou-se cultivar URS Altiva. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, esquema fatorial 2x4x4, sendo: duas orientações de sombreamento (norte/sul-N/S; leste/oeste-L/O); quatro intensidades (0; 25; 50; 75%); e quatro períodos de desenvolvimento definidos entre estádios fenológicos (11-31; 31-55; 55-69; 69-79), com quatro repetições por tratamento. As orientações de sombreamento apresentaram variações sobre os parâmetros avaliados. Aumentos de 10% na intensidade de sombreamento causaram redução para RG, 85 e 70 kg.ha<sup>-1</sup>, em leste/oeste e norte/sul, respectivamente. O sombreamento no período entre estádio 31 a 55 das plantas, reduziu número de espiguetas por panícula (NEP) (22 e 29%), grãos por planta (NGP) (26 e 13%), massa de mil grãos (MMG) (6,6 e 13%), índice de colheita (IC) (9 e 8%), e rendimento de grãos (RG), nas orientações leste/oeste e norte/sul. Conclui-se os componentes de rendimento não são afetados pelas orientações impostas. A maior intensidade de sombreamento (75%) reduz NGP, MMG, PH, IC e RG. O sombreamento no período entre os estádios 11-31 permite recuperação das planta, enquanto em 31-55 causa reduções no RG e seus componentes.

**Palavras-chave:** *Avena sativa* L.; Fotoassimilados; Radiação solar; Rendimento de grãos. Restrição lumínica.

#### 3.2 INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa* L.), pertencente à família *Poaceae*, é espécie de inverno com crescente importância (PACHECO *et al.*, 2021). A inclusão de grãos de aveia branca no consumo por humanos tem sido crescente pela busca por alimentos benéficos a saúde, pois os

grãos possuem alto teor de fibras alimentares e características nutricionais (KIM *et al.*, 2021) que auxilia no controle de diabetes e colesterol, também possui vitaminas do complexo B, fibras solúveis,  $\beta$ -glucanas, minerais e proteínas livres de glúten (BUTT *et al.*, 2008).

O rendimento de grãos das culturas agrícolas é resultante de três processos fisiológicos principais, sendo a interceptação da radiação solar pelo dossel das plantas, conversão da radiação solar em biomassa e o índice de colheita (MONTEITH, 1972). A quantidade de radiação disponível às plantas apresenta mudanças contínuas em intensidade e espectro, particularmente em locais com presença de nebulosidade (CUSTÓDIO; BERLATO; FONTANA, 2009; KANNIAH *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2010b); altas densidades de semeadura (SOUZA *et al.*, 2010a); e sistemas de integração lavoura-floresta (CORDEIRO *et al.*, 2015; PEZZOPANE *et al.*, 2020; WAY; PEARCY, 2012).

Contudo, há lacunas sobre a tolerância da cultura à sombra, em diferentes condições, cultivares e locais sobre rendimento e qualidade dos grãos produzidos. Sgarbossa *et al.* (2020), Nicodemo *et al.* (2016), Deiss *et al.* (2016), Mahadevan *et al.* (2016) e Dietz *et al.* (2023) observaram efeitos negativos do sombreamento sobre plantas de aveia. Assim, a busca por adaptação ou estratégias são fundamentais para a mimetização dos efeitos negativos das condições ambientais adversas (TENG *et al.*, 2023).

Portanto, levantou-se as seguintes hipóteses: i: alta intensidade de sombreamento (> 50%) afeta o rendimento de grãos das plantas, assim como orientação leste/oeste, enquanto intensidade mediana (< 50%) em norte/sul apresentam efeitos benéficos; ii: sombreamento nos estádios entre alongamento e antese reduzem o rendimento de grãos de aveia branca. Objetivou-se no trabalho verificar os efeitos de orientações e intensidades de sombreamento intermitente impostos em diferentes estádios de desenvolvimento de aveia branca URS Altiva sobre o rendimento e qualidade industrial de grãos produzidos.

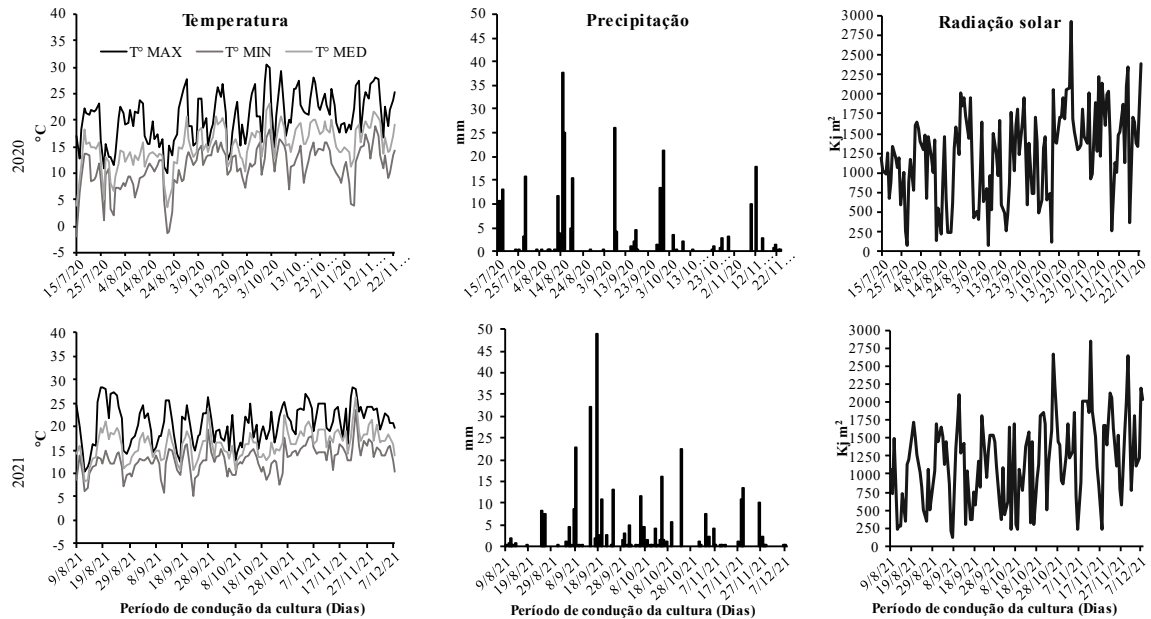
### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.3.1 Condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC), em Lages-SC, durante as safras 2020 e 2021. O local possui temperatura média anual de 15,7 °C e precipitação acumulada de 1500 mm (WREGE, 2012). Os dados meteorológicos de temperatura,

precipitação e radiação solar do local durante o período de condução dos experimentos foram obtidos com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021), visualizados na Figura 10.

Figura 10 — Temperatura máxima (T° MAX), mínima (T° MIN) e média (T° MED), precipitação (PREC) e radiação solar global (RAD) no período de condução dos experimentos com sombreamento intermitente na cultura da aveia branca nas safras 2020 e 2021



Intervalo entre barras representam período de duração dos estádios fenológicos (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974): 11 a 31: Primeira folha expandida a primeiro nó visível; 31 a 55: Primeiro nó visível a metade da panícula exposta; 55 a 69: metade da panícula exposta a antese completa; 69 a 79: Antese completa a final de grão leitoso.

Fonte: Elaborada pela autora, adaptado de INMET, 2021.

A semeadura foi realizada em 15 de julho de 2020 e 09 de agosto de 2021, com densidade de semeadura de 350 plantas por metro quadrado. A adubação da cultura foi realizada com base na análise de solo e interpretação conforme as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016) para expectativa de rendimento de grãos de 5 t.ha<sup>-1</sup>. A aplicação na semeadura, foi composta por fertilizante formulado NPK 5-20-10, e adubação nitrogenada em cobertura (perfilhamento e alongamento do colmo), com 30 kg.ha<sup>-1</sup> de ureia em cada aplicação. O manejo de fitossanitário da cultura foi realizado conforme as Informações Técnicas para a Cultura da Aveia (DANIELOWISKI *et al.*, 2021). A colheita dos experimentos foi realizada com automotriz de parcela em 23 de novembro de 2020 e em 08 de dezembro de 2021.



### 3.3.2 Delineamento e caracterização experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema trifatorial 2 x 4 x 4, sendo duas orientações de faixas de sombreamento (leste/oeste; norte/sul), quatro intensidades de sombreamento, 0, 25, 50 e 75% e, quatro períodos do desenvolvimento caracterizado pelos intervalos entre os estádios fenológicos (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974): 11-31 (primeira folha expandida a primeiro nó visível.); 31-55 (primeiro nó visível a metade da panícula exposta.); 55-69 (metade da panícula exposta a antese completa); 69-79 (antese completa a final de grão leitoso), com duração de 36, 17, 12 e 12 dias em 2020, e 26, 24, 10 e 10 dias em 2021, respectivamente para cada período, totalizando em 128 parcelas. Os estádios foram caracterizados com base no desenvolvimento do colmo principal das plantas, considerando 50% + 1% da área. As parcelas foram constituídas por cinco linhas de semeadura com espaçamento de 0,20 m e com 2,0 m de comprimento. Como parcela útil considerou-se as três linhas centrais de 1,5 m de comprimento.

A simulação das diferentes intensidades e orientações de sombreamento sobre as plantas de aveia branca foi realizada conforme descrito por Varella *et al.* (2011). Assim, as estruturas foram confeccionadas em madeira, com 2,0 m de comprimento e largura de 1,50, cujas tábuas foram organizadas lado a lado, diferindo em distância entre si (níveis) e orientação de instalação considerando a orientação solar. A instalação e permanência da simulação de sombreamento ocorreu conforme pré-determinado em cada tratamento (período de desenvolvimento). Os percentuais de sombreamento foram verificados via medição com ceptômetro (Light Sensor Logger LI-1500, LICOR®, Lincoln, NE, USA) em 2021.

### 3.3.3 Variáveis analisadas

As avaliações ocorreram em dois momentos, em pré e pós-colheita dos grãos. Na maturidade da colheita, cinco plantas por parcela foram coletadas, contabilizado o número de panículas por planta (NPP); espiguetas por panícula (NEP), grãos por planta (NGP), e a massa de grãos por planta (MGP). Após, as plantas foram submetidas a secagem a  $65 \pm 2^\circ\text{C}$  por 72 horas em estufa de ar forçado, para determinação do índice de colheita (IC). O IC foi obtido através da relação entre massa de grãos e rendimento biológico posteriormente a secagem, conforme a fórmula (1):

$$IC (\%) = (RG / MSt) * 100 \quad (1)$$

onde *IC* se refere a índice de colheita, *RG* ao rendimento de grãos e *MSt* a massa seca total.

Após a colheita, foi determinado o percentual de umidade dos grãos (*U%* em base úmida), através da secagem de 5,0 g de grãos em estufa a  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  por 24 horas. O valor final foi obtido pela seguinte fórmula (2):

$$U\% = (Pi - Pf) / Pi * 100 \quad (2)$$

onde *U%* corresponde a umidade, *Pi* a massa inicial da amostra, e *Pf* a massa após a secagem.

Verificou-se a massa de 1000 grãos (MMG), com base na contagem e verificação da massa dos grãos, com percentual de umidade corrigido a 13%. Para o peso hectolítrico (*PH*), a avaliação foi a partir da utilização de balança hectolétrica de um quarto de litro, e o valor final obtido pela fórmula (3):

$$PH = (PBH * 100) / VB \quad (3)$$

onde *PH* corresponde a peso hectolétrico, *PBH* a massa de grãos obtido na balança hectolétrica, *VB* ao volume da balança; os resultados foram expressos em  $\text{kg} \cdot 100 \cdot \text{l}^{-1}$ .

O rendimento de grãos foi estimado com base na massa de grãos colhidos nas unidades experimentais, corrigindo o percentual de umidade a 13% após a retirada de materiais estranhos e impurezas. Os resultados foram convertidos e expressos em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

O percentual de grãos maiores que 2 mm (Grãos > 2,0 mm) foi determinado em uma amostra de grãos de peso conhecido (250 g), submetido a agitação em peneira com crivos oblongos de 2,0 x 20 mm de diâmetros, e posterior pesagem dos grãos retidos. O valor final foi obtido pela razão entre o peso dos grãos retidos na peneira pelo peso total inicial da amostra, convertendo o valor final em percentagem.

O índice de descasque dos grãos foi avaliado a partir de uma amostra de 5,0 g. Estes foram descascados manualmente, e posteriormente calculado a percentagem de cariopses em relação ao peso inicial dos grãos, conforme a fórmula (4):

$$ID = PC / PG * 100 \quad (4)$$

onde *ID* corresponde ao índice de descasque, *PC* ao peso das cariopses e *PG* peso dos grãos antes do descasque (LÂNGARO *et al.*, 2021).

O rendimento industrial dos grãos foi estimado com base na seguinte fórmula (5):

$$RI = RG * G > 2 \text{ mm} * ID \quad (5)$$

onde *RI* corresponde ao rendimento industrial, *RG* ao rendimento de grãos, *G > 2mm* ao percentual de grãos maiores que 2,0 mm e *ID* ao índice de descasque. Os resultados foram expressos em t de cariopses.ha<sup>-1</sup> (LÂNGARO *et al.*, 2021).

### 3.3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. As variáveis que não atenderam aos pressupostos foram submetidas a transformações de dados. Posteriormente, realizou-se a análise de variância pelo teste F à 5% de significância, e analisados quanto aos efeitos dos fatores intensidade e estágio de sombreamento para cada orientação testada. Quando significativo, as médias para estádios (exceto pleno sol - testemunha) foram comparadas pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$  de probabilidade de erro), e por regressão para efeitos de intensidade de sombreamento (testemunha correspondeu a 0% de sombreamento).

Realizou-se análise de componentes principais (ACP) para analisar a interação entre os componentes de rendimento avaliados com as intensidades de sombreamento impostos nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Para a análise de ACP foram utilizadas as médias das intensidades e períodos definidos por estádios para cada caractere avaliado. Utilizou-se de software estatísticos R (R Core Team, 2023).

## 3.4 RESULTADOS

Os dados climáticos para as safras indicaram volume acumulado de precipitação para 2020 de 265,6 mm, e para 2021 total de 312,2 mm. Consequentemente pela maior ocorrência de dias chuvosos, a incidência de radiação solar global no local foi menor na segunda safra, com média de 1196,2 KJ.m<sup>-2</sup>, enquanto em 2020 foi de 1237,3 KJ m<sup>-2</sup> (Figura 10). O efeito mais

intenso da sombra pela menor frequência de dias ensolarados em 2021, pode ter contribuído para resultados menores no segundo ano (todas as variáveis exceto MMG). Dentre estes, cita-se o granizo registrado em 06 de dezembro de 2021, o qual causou danos nas plantas na maturidade de colheita.

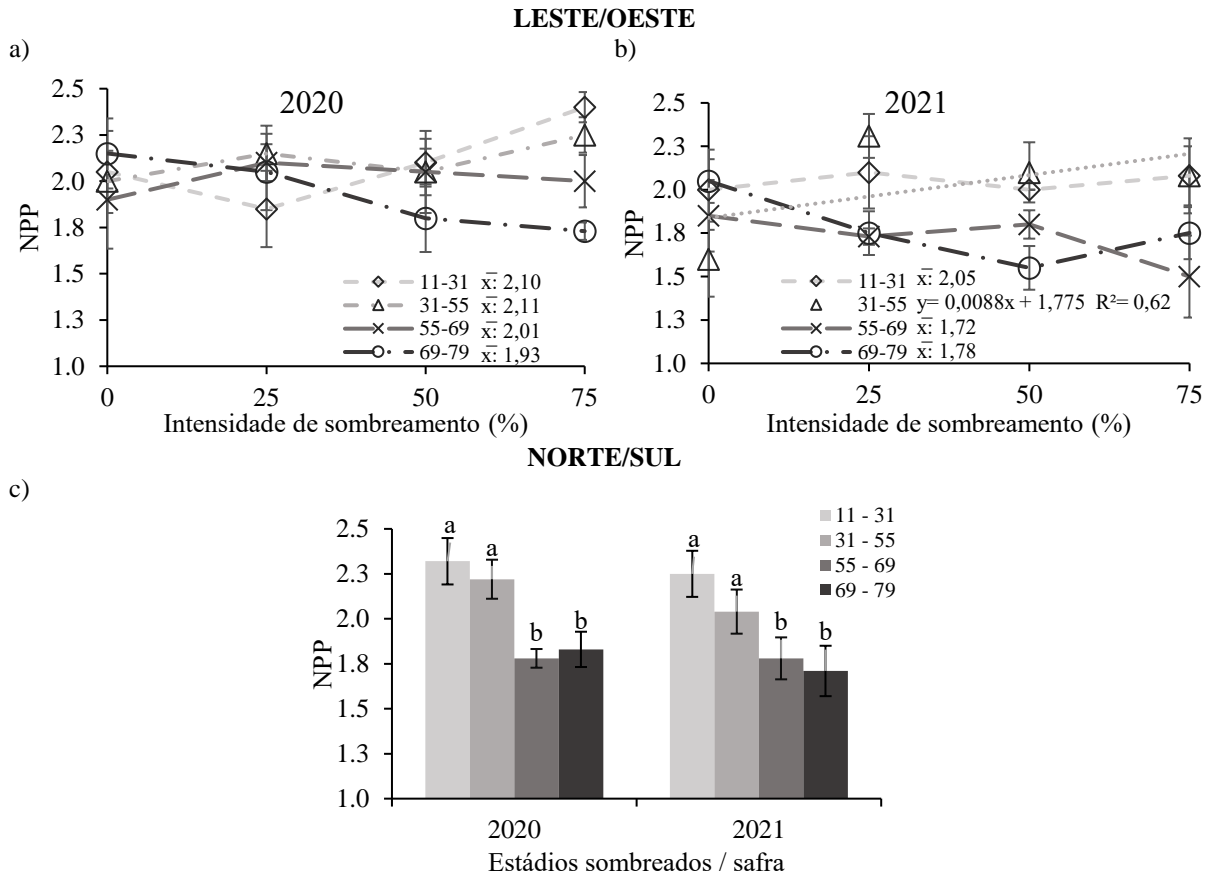
As orientações de faixas de sombreamento simuladas apresentaram resultados significativo para a algumas variáveis, além de diferenças entre as safras (Apêndice-E, F, G, H, I). Desta forma, os resultados foram apresentados isoladamente para cada orientação e ano, avaliando comportamento das intensidades de sombreamento e períodos do desenvolvimento da aveia branca em que este foi imposto sobre as plantas para cada orientação, ou seja, leste/oeste e norte/sul.

#### **3.4.1 Número de panículas, espiguetas, grãos e massa de grãos**

O número de panículas por planta (NPP) de aveia branca apresentou efeito significativo para interação entre intensidade e período de desenvolvimento sombreadas na orientação leste/oeste em 2021. Para norte/sul, houve diferença entre os períodos caracterizados pelos estádios em ambas as safras (Figura 11).

O NPP (L/O-2021) de aveia apresentou comportamento linear crescente, com incremento de uma panícula a cada 11,4% de aumento na intensidade de sombreamento, quando imposta entre os estádios 31 a 55. Ademais, o NPP de plantas sombreadas entre 55 a 69 sob intensidade de 75%, foi menor que demais períodos (Figura 11b). Porém, sob sombreamento em N/S, observou-se que os efeitos negativos do sombreamento no período entre o estádios 55 a 69 e 69 a 79, sobre NPP em função do avanço do desenvolvimento das plantas, apresentou redução média de 25,4% e 22,9%, para 2020 e 2021, em relação à média dos demais (2,3 e 2,2 panículas), respectivamente (Figura 11c).

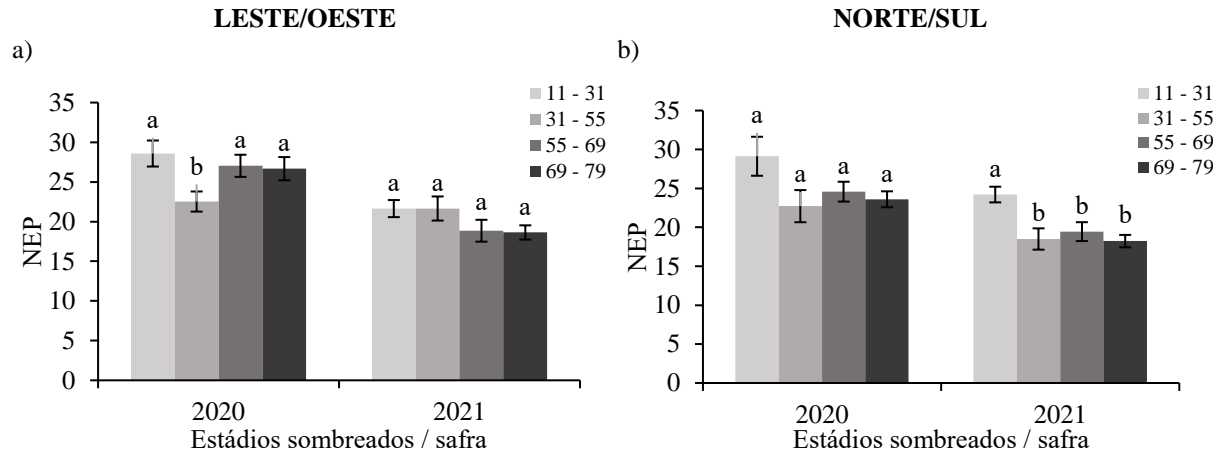
Figura 11 — Número de panículas por planta (NPP) em função da intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, b) e períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (c) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$  : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O número de espiguetas por panícula (NEP) (L/O-2020) reduziu 22,3% nas plantas sombreadas entre o primeiro nó visível e meia panícula exposta (31 a 55), em relação aos demais períodos (média de 27,4 espiguetas por panícula) (Figura 12a). Para a orientação N/S (2021), o NEP apresentou maior média em plantas sob sombreamento no período entre os estádios 11 a 31 (24,2 espiguetas), diferindo da média dos demais em 29,4% (Figura 12b).

Figura 12 — Número de espiguetas por panícula (NEP) em função de sombreamento em períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste (a) e norte/sul (b), nas safras 2020 e 2021

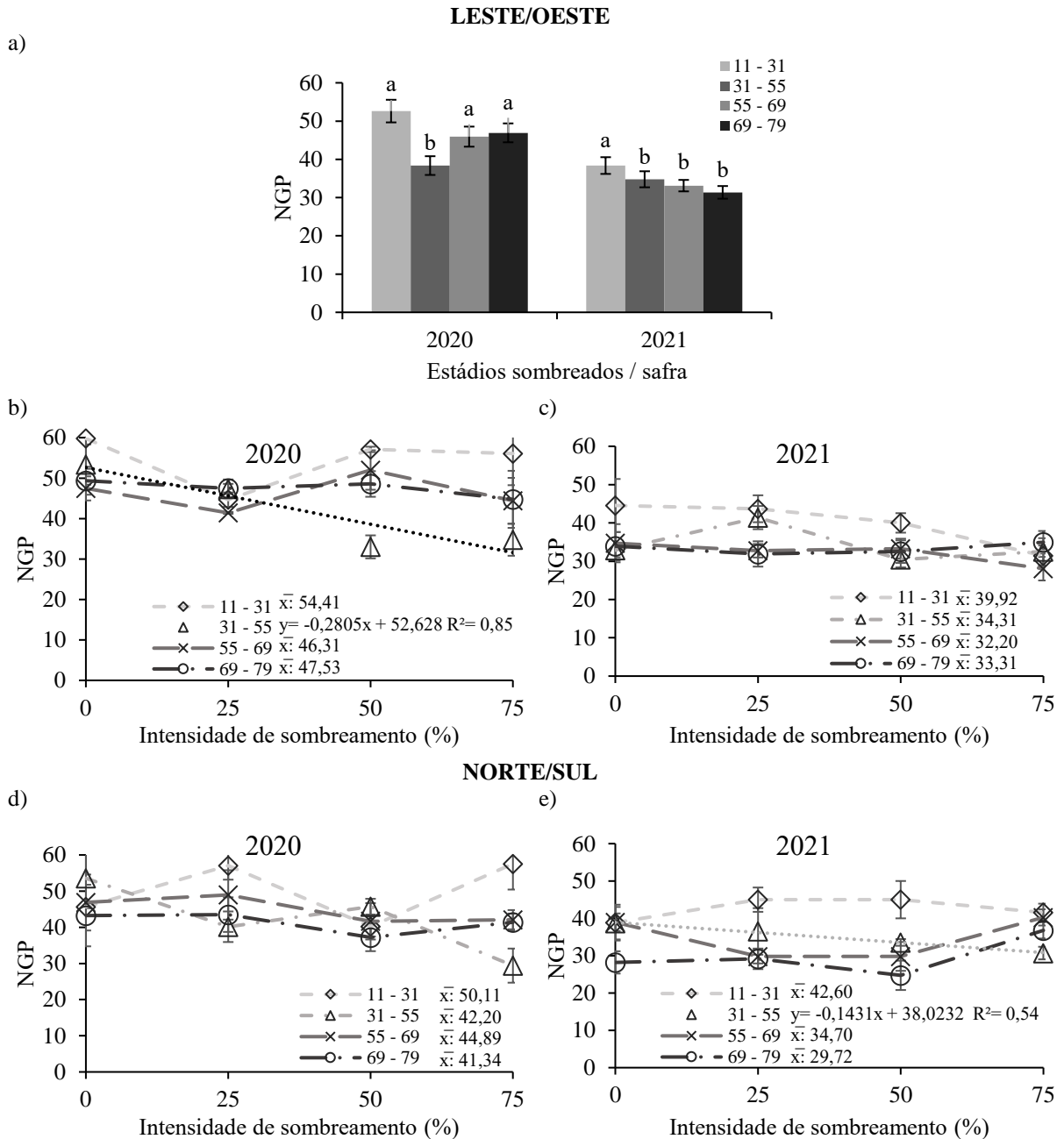


\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O número de grãos por planta (NGP) diferiu entre os estádios (L/O), e apresentou efeito para a interação entre as intensidades e períodos do desenvolvimento sombreados (L/O-2020; N/S-2021) (Figura 13). O NGP apresentou redução para sombreamento imposto no período entre os estádios 31 a 55 das plantas de aveia branca em 2020, e a partir de 31 em 2021, com média de decréscimo de 26,4 e 16,0%, respectivamente para cada ano (Figura 13a).

Para as interações nas orientações leste/oeste em 2020 e norte/sul em 2021, houve comportamento decrescente, de em média 2,8 e 1,4 grãos, conforme aumento de 10% na intensidade ao sombrear as plantas entre os estádios 31 e 55, respectivamente. Ademais, o NGP sob sombreamento em 11 a 31 apresentou as maiores médias sob os níveis de sombreamento de 75% (56,1) sob orientação leste/oeste (2020) e em 25% (45) e 50% (45) em norte/sul (2021) (Figura 13b e 13e).

Figura 13 — Número de grãos por planta (NGP) em função de sombreamento em períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (a) e interação entre período e intensidade em orientação leste/oeste (b, c; d, e) de plantas de aveia branca URS Ativa sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021

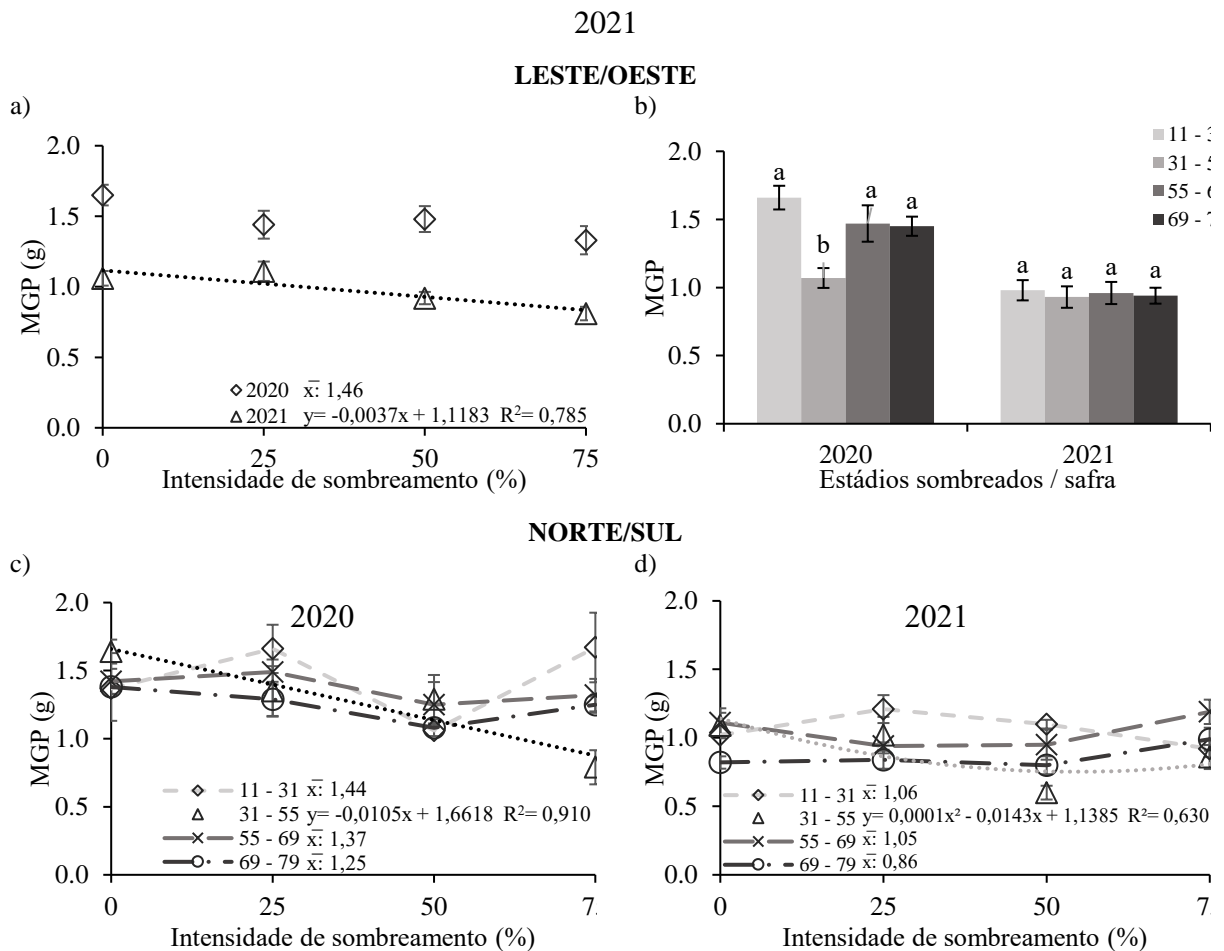


\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$  : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

A massa de grãos por planta (MGP) de aveia branca ao ser cultivada sob sombreamento em orientação leste/oeste apresentou efeito em função da intensidade (2021) e período do

desenvolvimento delimitado por determinados estádios (2020) em que a restrição luminosa foi imposta (Figura 14a e 14b).

Figura 14 — Massa de grãos por planta (MGP) em função da intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a), períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b) e interação entre período e intensidade (c, d) de plantas de aveia branca de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$  : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Em 2021, houve comportamento linear decrescente, com diminuição de 0,1 g na produção de grãos por planta para cada aumento de 25% na intensidade de sombreamento imposta, na média dos estádios testados (Figura 14a). A MGP reduziu de 43,0% para sombreamento no estágio 31 a 55, em relação à média de produção de grãos das plantas impostas ao sombreamento nos demais períodos do desenvolvimento (1,5 g) (Figura 14b).

A MGP de plantas sombreadas em orientação norte/sul apresentou efeito de interação entre os fatores em ambas as safras, com comportamento significativo para período entre os



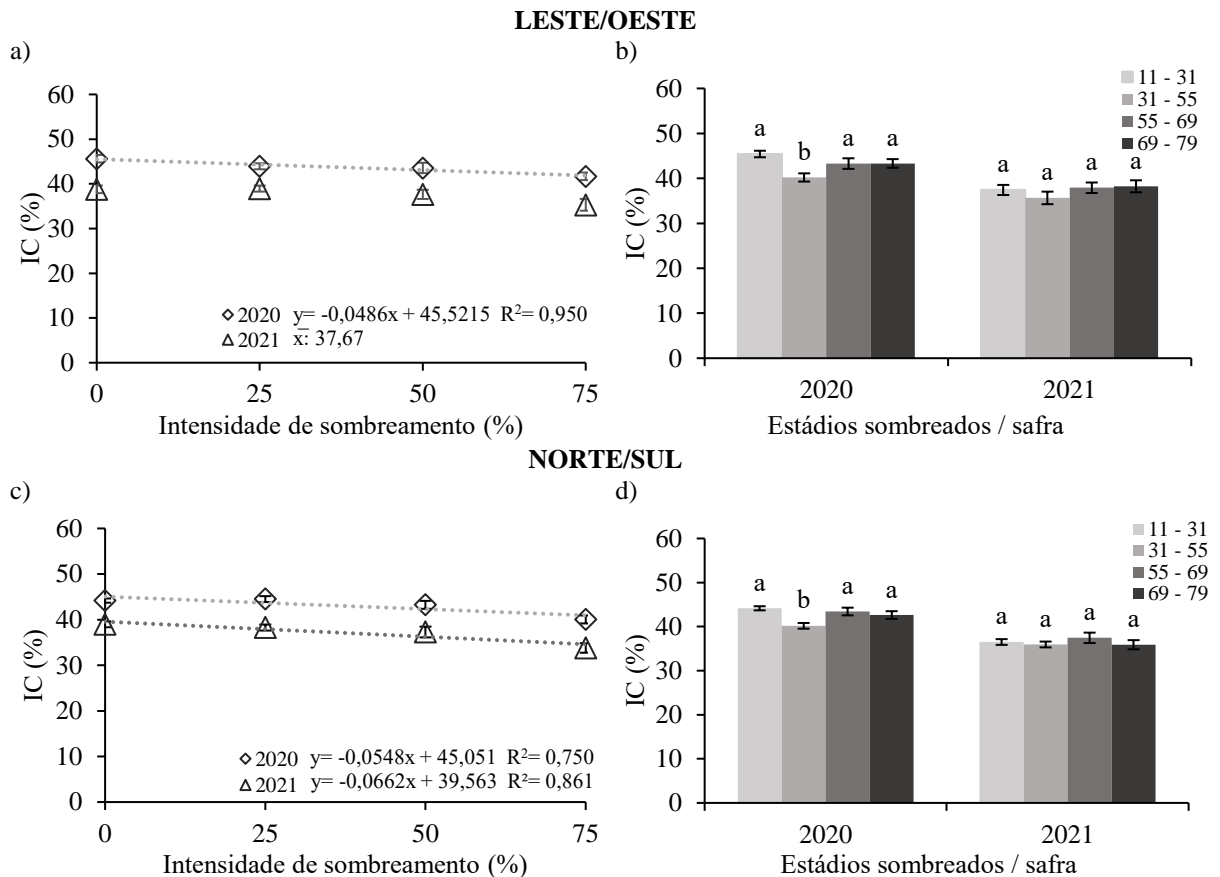
estádio 31 a 55 em função da intensidade de sombreamento testada (Figura 14c e 14d). A MGP em 2020 apresentou comportamento linear, com redução de 0,1 g de grãos para aumentos de 10% na intensidade de sombra imposta nos respectivos períodos (31 a 55). Já em 2021, houve redução até intensidade de 71%, atingindo produção mínima por planta de 0,6 g, também sob sombreamento no período entre estádios 31 a 55 (Figura 14d). Estes resultados evidenciaram que o período entre a diferenciação e antese das plantas de aveia branca foi suscetível aos efeitos do sombreamento nas condições avaliadas. Isto, principalmente pela interferência no número de espiguetas, grãos e massa de grãos por planta.

### **3.4.2 Índice de colheita**

O índice de colheita (IC) das plantas de aveia branca variou de 34 a 46%, e apresentou diferença em função das intensidades e períodos do desenvolvimento em que foi imposto, em ambas as orientações de sombreamento (Figura 15). Em L/O, o IC (2020) reduziu linearmente em 0,5% conforme o aumento da intensidade de restrição de luz a cada 10% (Figura 15a), semelhante ao visualizado em N/S, cujas reduções foram de 0,6 e 0,7%, para 2020 e 2021, respectivamente (Figura 15d).

O IC em função do período de desenvolvimento em que o sombreamento foi imposto em 2020, apresentou menor média ao sombrear as plantas entre os estádios 31 a 55. Houve redução de 9,5 e 8,0%, para leste/oeste e norte/sul, respectivamente, em relação à média dos demais em cada orientação (Figura 15b e 15d).

Figura 15 — Índice de colheita de grãos (IC) em função da intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, c) e períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b, d) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021



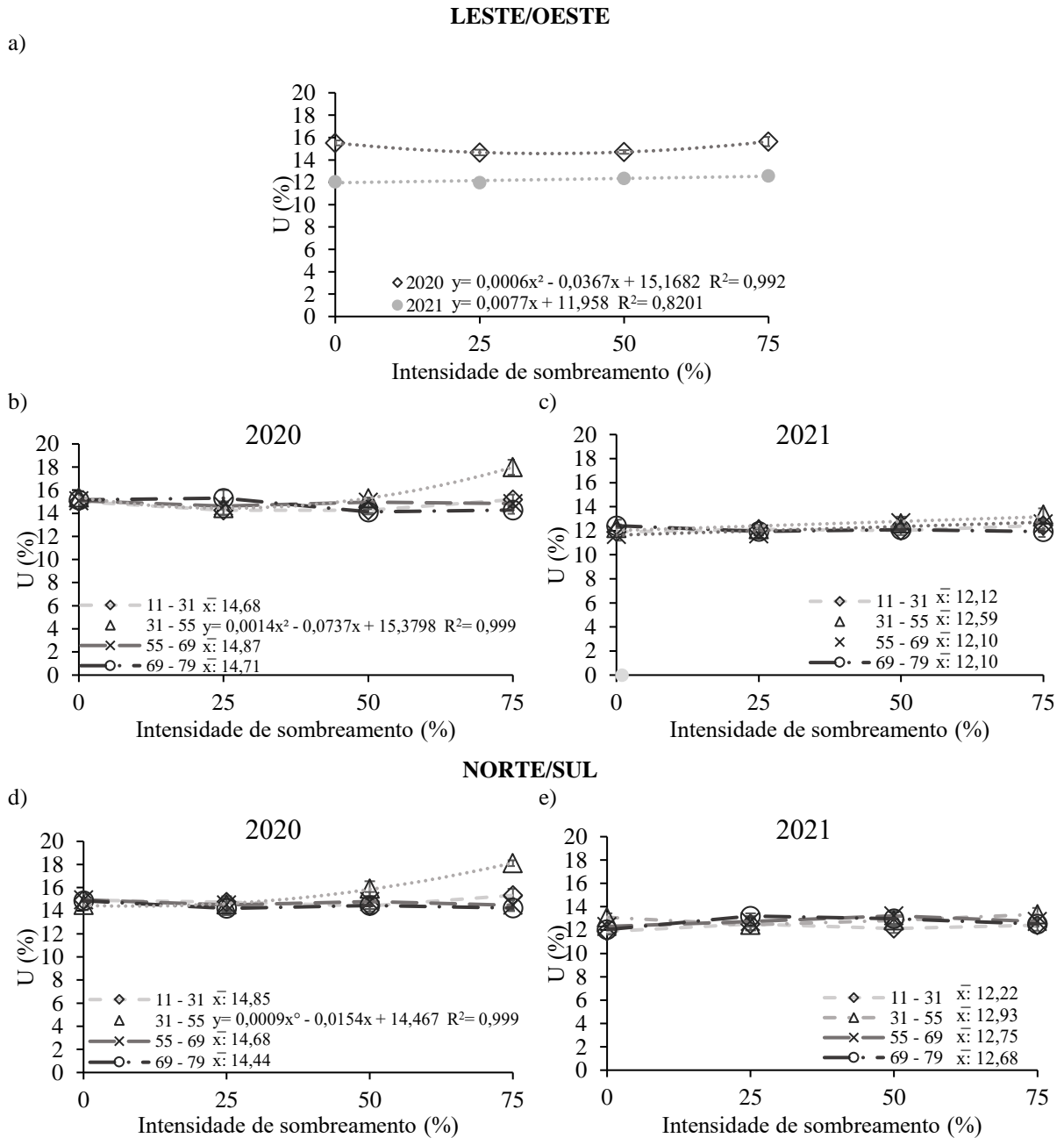
\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Estes resultados para o efeito de altas intensidades de sombreamento, principalmente quando impostas sob os estádios 31 a 55, pode justificar efeitos visualizados anteriormente para os componentes de NEP, NGP e MGP. O IC demonstrou que a capacidade de translocação de massa seca da planta para os grãos foi reduzida sob sombreamento nas condições destacadas.

### 3.4.3 Umidade de grãos

Os resultados para umidade dos grãos avaliada posteriormente à colheita sob sombreamento em orientação leste/oeste apresentaram efeito para as intensidades testadas (2020 e 2021) (Figura 16). Nas safras 2020 e 2021, observou-se grãos com menor umidade (14,6%) sob 30,6% de sombreamento em 2020, porém, em 2021, a umidade aumentou 0,2% (>U%) para cada redução de 25% de luz (Figura 16a).

Figura 16 — Percentual de umidade dos grãos (U%) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a) e interação entre períodos de desenvolvimento e intensidade (c, d; e, f) de plantas de aveia branca de plantas de aveia branca URS Áltiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento.  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

A umidade dos grãos em função da interação entre as intensidades e estádios de sombreamento apresentou comportamento significativo para o período entre os estádios 31 a 55 em ambas as orientações em 2020. Houve redução no percentual de umidade dos grãos até

intensidade de 26,3 e 8,6%, com mínimo percentual de 14,0 e 14,4% de umidade, para L/O e N/S, respectivamente, e posterior aumento (Figura 16b).

#### **3.4.4 Massa de mil grãos, peso hectolétrico e grãos maiores que 2,0 mm**

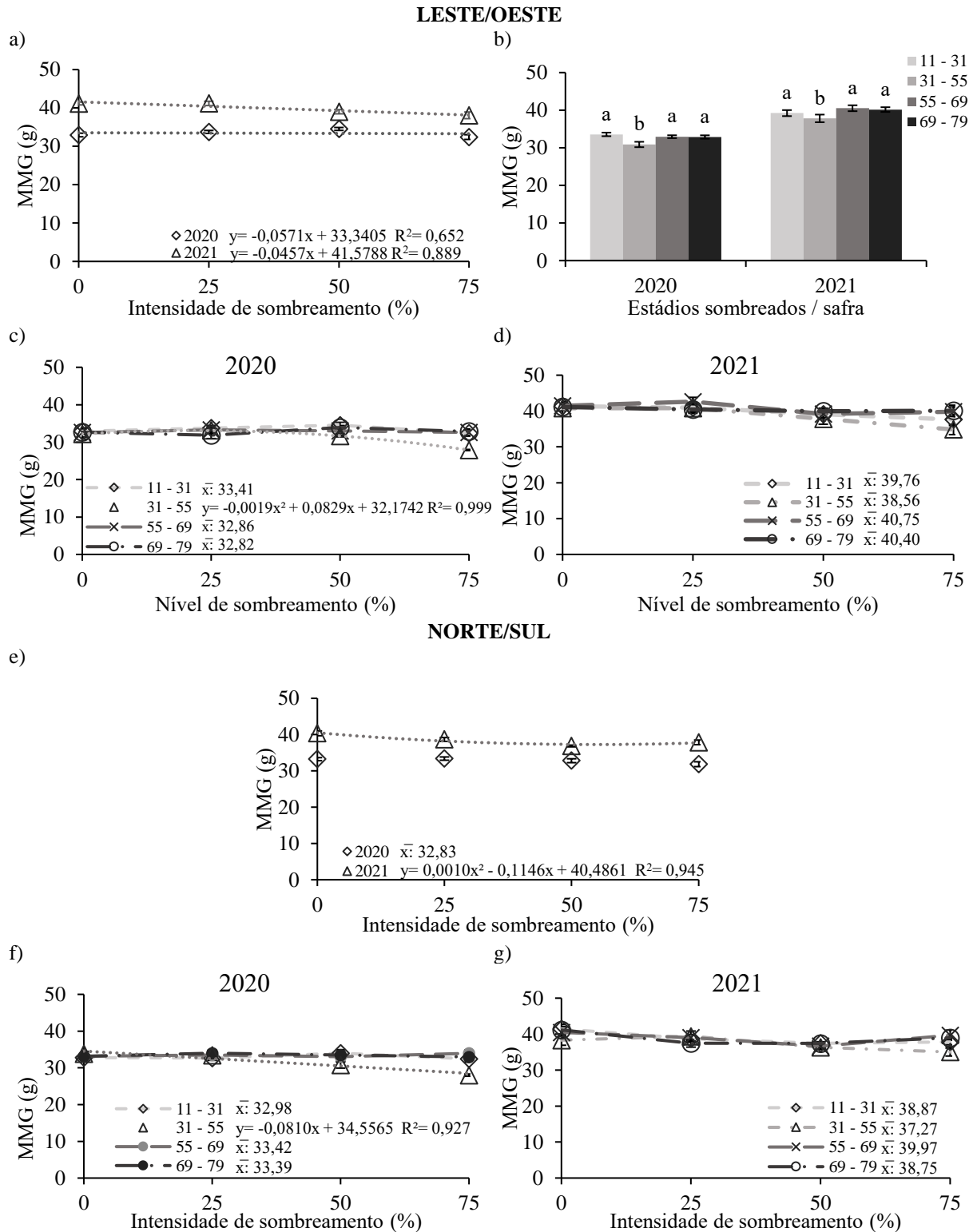
A massa de mil grãos (MMG) de aveia branca produzidas sob sombreamento em orientações L/O apresentou efeito para intensidade, período do desenvolvimento (2021) e interação para ambos os fatores (2020) (Figura 17a, 17b, 17c). A MMG em 2020 e 2021 reduziu 0,6 e 0,5%, conforme aumento da intensidade de restrição de luz imposta de 10%, respectivamente (Figura 17a).

A MMG apresentou a menor média para grãos produzidos sob restrição no período entre o estádios 31 a 55, em 2020 e 2021, reduzindo 7,3 e 5,8%, respectivamente (Figura 17b). Porém, em 2021, ao impor o sombreamento sob período final do ciclo, pôde-se verificar efeito de compensação, pois o NGP (Figura 13b) foi reduzido e MMG incrementada, quando comparado aos demais estádios, embora não evitando os prejuízos ao rendimento de grãos (Figura 20).

A MMG também apresentou aumento sob sombreamento durante período entre os estádios 31 a 55 em função da intensidade de sombra, com incremento na massa (33,1 g) até 21,8% e posterior queda quando sob sombreamento mais intenso. Sendo assim, sob intensidade de 75%, a MMG obtida de plantas sombreadas no estádio em questão foi a menor média (27,9 g), em relação aos demais (Figura 17c).

Os resultados para a MMG de plantas sombreadas em orientação norte/sul indicaram comportamento significativo para safra 2021, com mínima massa (37,2 g) obtida sob intensidade de 57,3%. Corroborando com leste/oeste, houve efeito somente para estádio 31 a 51, com decréscimo de 0,8 g a cada incremento de 10% na restrição de luz. Ademais, sob intensidade de 75%, a MMG de plantas sombreadas nestes estádios apresentou menor média, de 28,0 g, 18,1% abaixo dos demais (Figura 17f).

Figura 17 — Massa de mil grãos (MMG) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, e), período de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b), interação período e intensidade (c, d, f, g) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul; safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

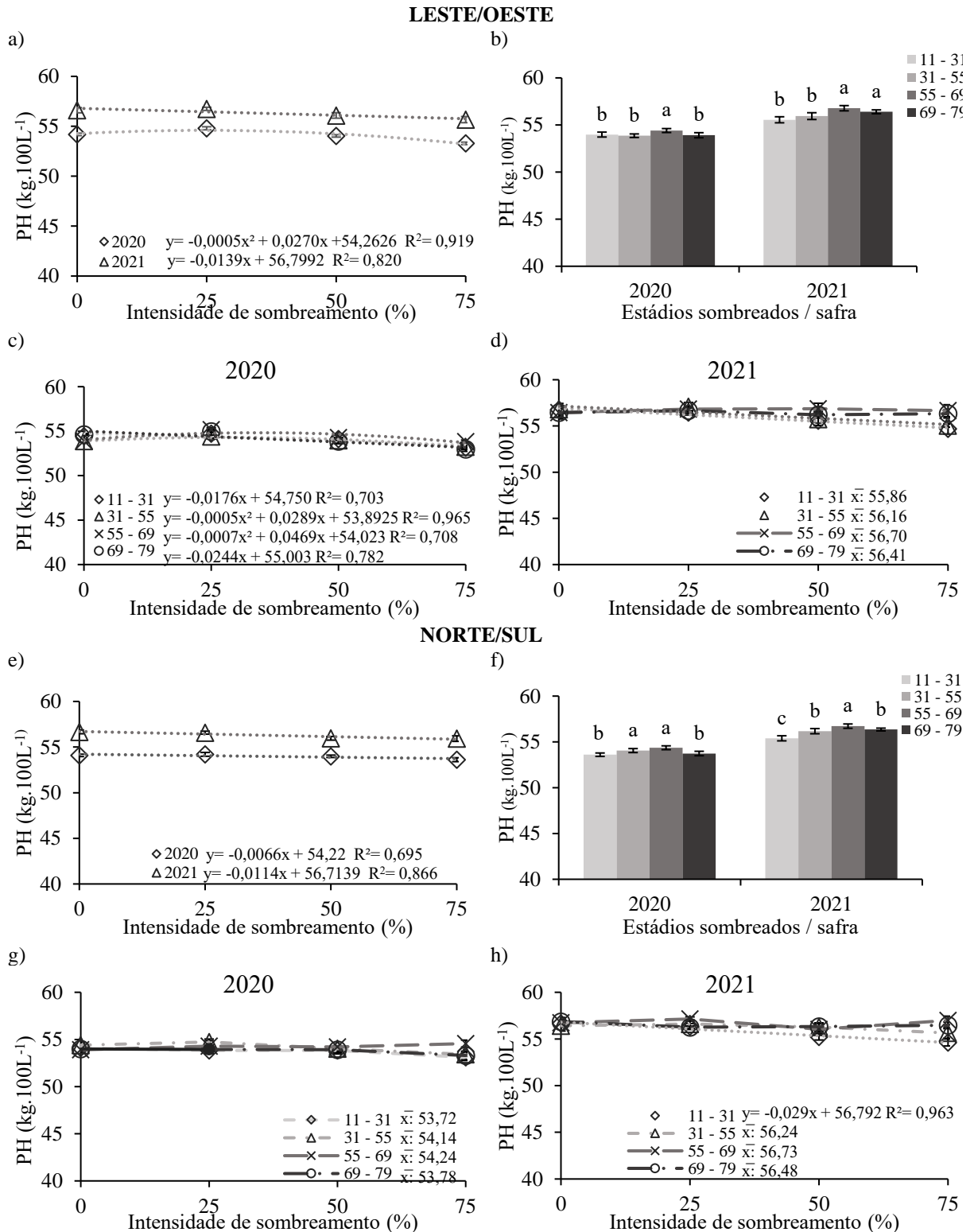
O peso hectolítrico de grãos (PH) na média dos estádios para orientação leste/oeste apresentou maior média (54,3 g) sob intensidade de 27,0% de sombreamento, enquanto em 2021 o PH reduziu linearmente 0,1 kg.hl<sup>-1</sup> para cada redução de 10% de luminosidade (Figura 18a). Em relação a norte/sul, o PH reduziu de forma linear com o aumento da intensidade de sombra em ambas as safras, na faixa de 0,07 e 0,1 kg.hl<sup>-1</sup>, em 2020 e 2021, para cada 10% de redução de luz (Figura 18e).

Para o PH dos grãos de aveia branca em função do período de desenvolvimento sob sombreamento, observou-se maiores médias entre 55 a 69 (54,4 kg.hl<sup>-1</sup>) em 2020, e 55 a 69 (56,8 kg.hl<sup>-1</sup>) e 69 a 79 (56,4 kg.hl<sup>-1</sup>) em 2021, incrementos de 0,9%, 1,9% e 1,2%, respectivamente, comparados a média dos anteriores, em leste/oeste (Figura 18b). Em norte/sul, o PH foi maior ao sombrear as plantas em 31 a 55 e 55 a 69 (2020), e 55 a 69 (2021), com médias de 54,1; 54,4 e 56,7 kg.hl<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 18f).

Para a interação entre os fatores em 2020 (leste/oeste), observou-se que todos os períodos sombreados apresentaram comportamentos significativos em função das intensidades de sombra. O PH dos grãos diminuiu linearmente ao sombrear as plantas entre 11 a 31 e 69 a 79, de aproximadamente 0,2 kg.hl<sup>-1</sup> para cada 10% na limitação de luz, em ambos os períodos definidos pelos estádios. Para o PH de grãos em que sombreamento foi imposto em 31 a 55 e 55 a 69, verificou-se maior média (54,3 e 54,8 kg.hl<sup>-1</sup>) sob intensidades de 28,9 e 33,5%, respectivamente (Figura 18c). Resultados estes que inferem sobre a compensação na MMG em condição sombreada a partir metade da panícula exposta e antese, em função do menor NGP.

O PH dos grãos de aveia branca (em norte/sul) apresentou comportamento significativo negativo em 2021 para sombreamento no período entre os estádios 11 a 31 com o aumento da intensidade de sombra. Este, se deu em função de redução de 0,3 kg.hl<sup>-1</sup> em aumentos de 10% de restrição de luz. Além disto, as médias para o PH de grãos oriundos de sombreamento neste estádio apresentaram menores médias (< 1,8 e 3,3%, respectivamente) nas intensidades de 50 e 75%, em relação aos demais estádios, indicando a sensibilidade deste estádio a baixos níveis de luz sobre o peso volumétrico dos grãos (Figura 18h).

Figura 18 — Peso hectolítrico de grãos (PH) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, e), período de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b, f) e interação entre período e intensidade (c, d; g, h) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021



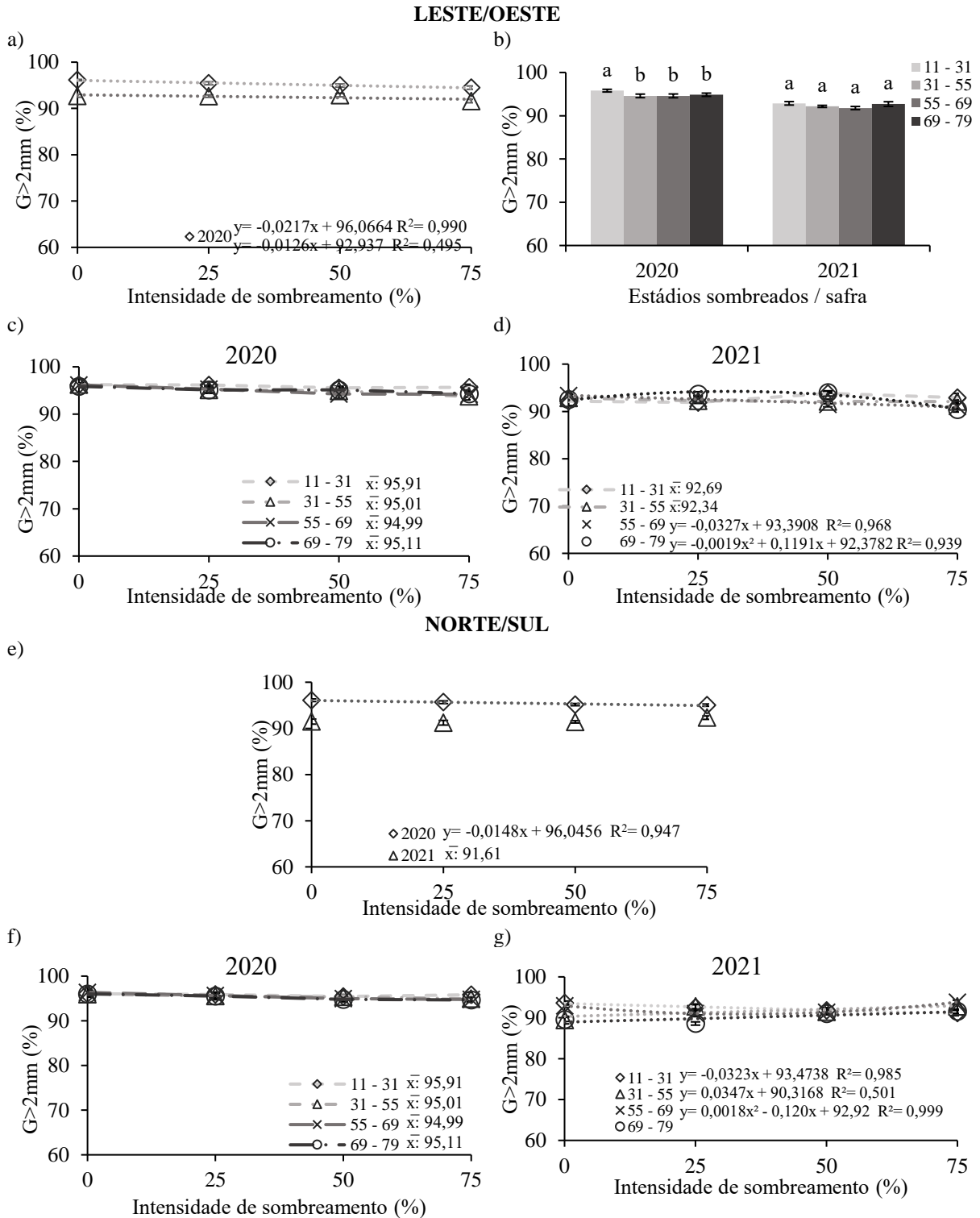
\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O percentual de grãos maiores que 2,0 mm ( $G > 2$  mm) apresentou efeito significativo em função da intensidade para as orientações leste/oeste e norte/sul (2020) (Figura 19a e 19c). Em leste/oeste, o  $G > 2$ mm apresentou redução linear, na média dos estádios, de 0,2% para cada redução de luz de 10% (2020), semelhante ao obtido para 2021 ( $< 0,1\%$ ) (Figura 19a), e em norte/sul, com redução de 0,2% (Figura 19e). Em 2020 e leste/oeste, visualizou-se também diferença entre os períodos definidos pelos estádios, em que o  $G > 2$ mm de plantas sombreadas entre 11 a 31 foi maior (95,8%), em relação aos demais estádios, com incremento médio de 1,1% (Figura 19b).

Em 2021, observou-se comportamento significativo na interação entre os fatores, para  $G > 2$ mm de plantas sombreadas em L/O e N/S. Em relação a L/O, houve redução de 0,3% para cada aumento de 10% na intensidade de sombra imposta nas plantas no período entre os estádios 55 a 69, enquanto em 69 a 79, obteve-se maior  $G > 2$ mm (94,2%) sob intensidade de 31,3%. Além disto, verificou-se diferença entre os períodos sob intensidade de 75%, cujas menores médias corresponderam a plantas sombreadas durante os estádios finais (55 a 69, 91,0%; 69 a 79, 90,4%) (Figura 17d).



Figura 19 — Percentual de grãos maior que 2,0 mm ( $G > 2\text{mm}$ ) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, e), períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b) e interação entre estádios e intensidade (c, d; f, g) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021



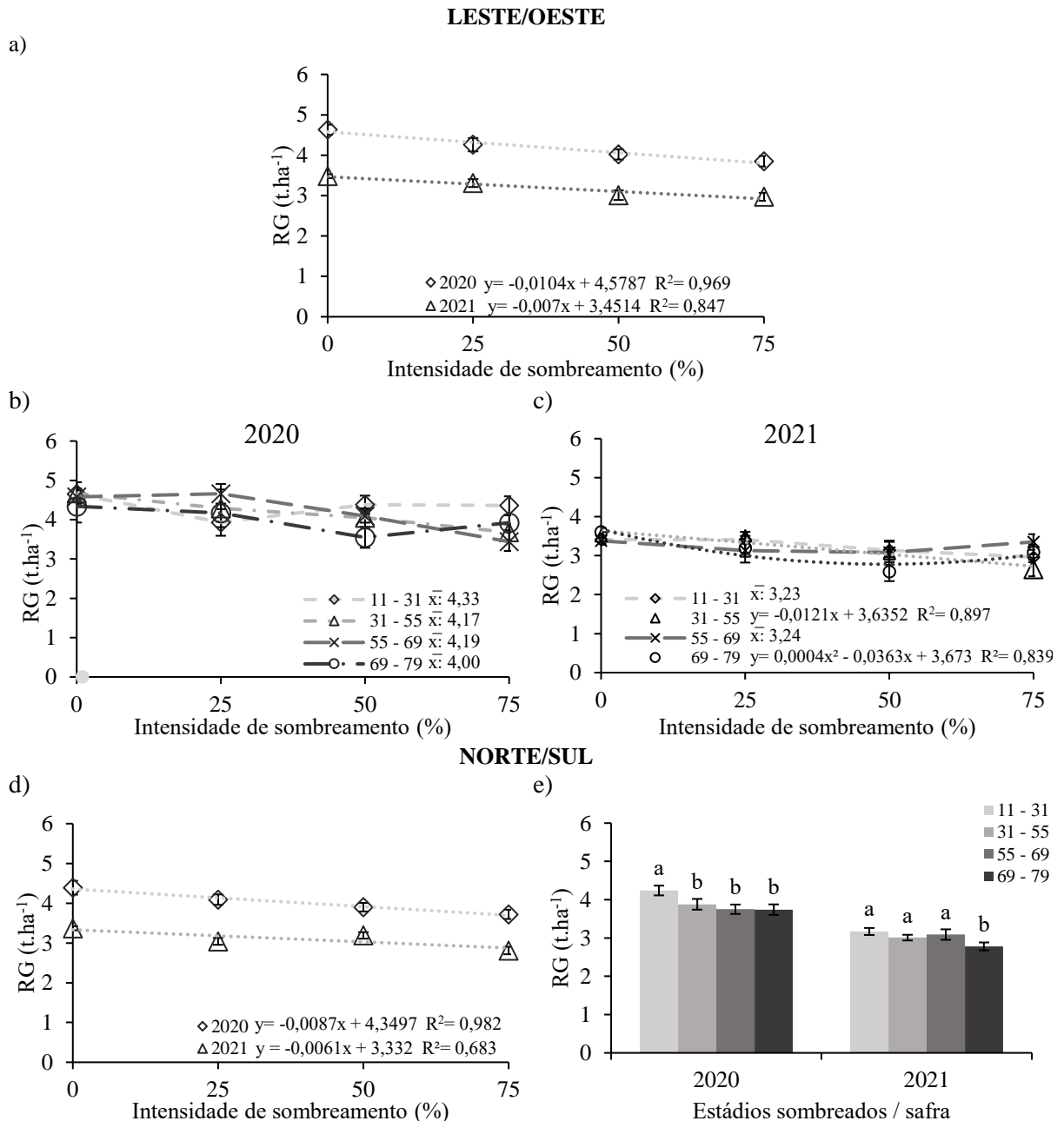
\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Em norte/sul, o  $G > 2\text{mm}$  apresentou comportamento linear para sombreamento imposto nos estádios 11 a 31, 31 a 55 e 69 a 79, com redução de 0,3% para primeiro, e aumento de 0,3% nos demais, para cada aumento de 10% na intensidade de sombra imposta, respectivamente. Porém, ao sombrear as plantas no período entre os estádios 55 a 69, obteve-se menor  $G > 2\text{mm}$ , de 90,9% sob intensidade de 33,3%, e posterior incremento em maiores intensidades de sombreamento (Figura 19g).

#### **3.4.5 Rendimento de grãos**

O rendimento de grãos (RG) de aveia branca sombreadas em orientações L/O na média dos períodos de desenvolvimento, apresentou decréscimo, de 0,1 e 0,07  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , ou seja, 100 e 70  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , em 2020 e 2021 respectivamente, para cada redução de 10% na intensidade de radiação solar imposta (Figura 20a). Em 2021, houve efeito para a interação entre os fatores, com comportamento significativo ao sombrear as plantas nos estádios 31 a 55 e 69 a 79. O RG de plantas sombreadas durante os estádios 31 a 55 apresentaram redução de 0,1  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  ou 100  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , conforme aumento de 10% na intensidade de sombra imposta sobre as plantas. Porém, no estádio 69 a 79, o menor RG obtido, de 2,9  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  foi sob intensidade de 45,4% (Figura 20c).

Figura 20 — Rendimento de grãos (RG) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, d), em períodos do desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (e) e interação entre períodos e intensidade em orientação leste/oeste (b, c) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

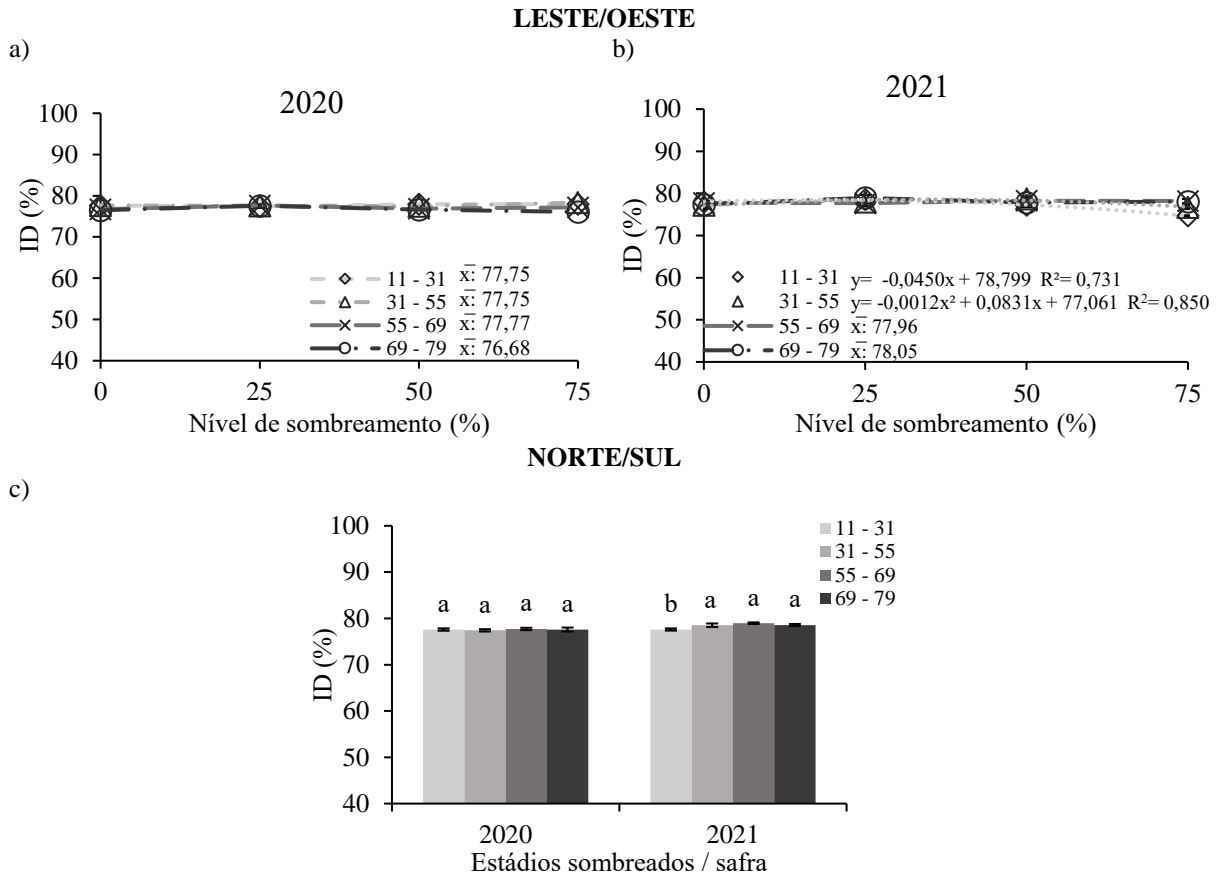
O RG em orientação norte/sul apresentou efeito simples para os fatores intensidade e estádio em ambas as safras. Para o RG houve comportamento linear decrescente, cujas reduções foram de 0,08 e 0,06 t.ha<sup>-1</sup>, em 2020 e 2021, respectivamente, para cada diminuição de 10% na

intensidade de luz (Figura 18d). Ademais, em 2020 o sombreamento no estádio 11 a 31 apresentou maior produtividade, de  $4,2 \text{ t.ha}^{-1}$ , 11,9% acima da média dos demais, enquanto para 2021, diferiu somente entre 69 a 79 ( $2,8 \text{ t.ha}^{-1}$ ), em relação aos demais, cuja diminuição média foi de 11,2% Figura 20e).

### **3.4.6 Índice de descasque e rendimento industrial**

O índice de descasque (ID) dos grãos oriundos de plantas de aveia branca sombreadas sob orientação L/O apresentou significância para a interação entre a intensidade e período de desenvolvimento (estádios) de sombreamento em 2021. O ID de grãos oriundos de sombreamento entre os estádios 11 a 31 e 31 a 55 apresentou comportamento significativo, em que para o primeiro, houve redução de 0,5% para cada aumento de 10% na intensidade testada, enquanto, no segundo a maior média, de 78,5%, foi obtida sob sombreamento de 34,6%. O ID sob orientação N/S apresentou diferença entre os estádios em 2021. Verificou-se menor ID em sombreamento no estádio 11 a 31 (77,6%), redução de 1,1% na média dos demais (Figura 21c).

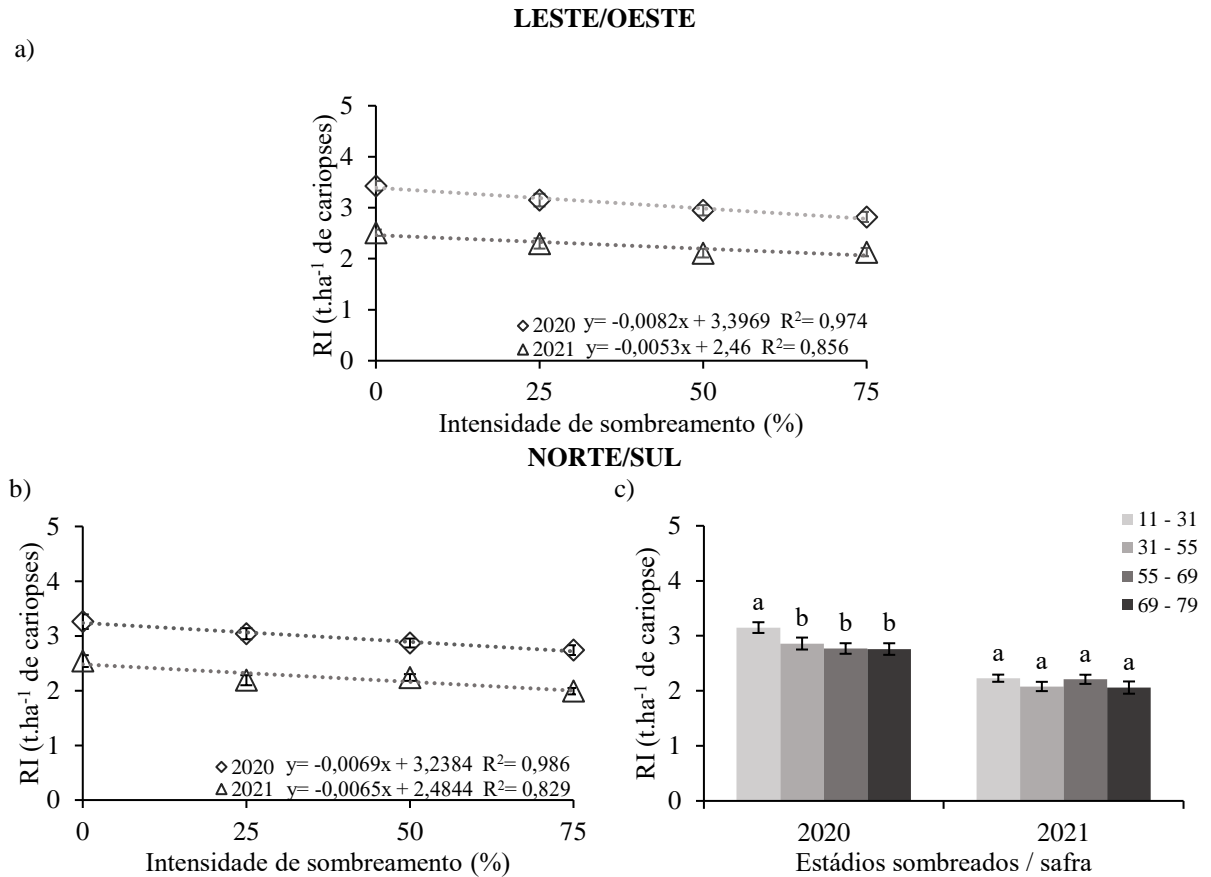
Figura 21 — Índice de descasque de grãos (%) em função de intensidades de sombreamento em períodos do desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (a, d) e interação entre períodos e intensidade (b, c) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O rendimento industrial (RI) de grãos de aveia branca nas orientações leste/oeste e norte/sul apresentou efeito significativo em função da intensidade de sombreamento em ambas as safras. Para o RI houve redução linear de 0,08 e 0,05 t.ha<sup>-1</sup> de cariopses em leste/oeste, e 0,07 t.ha<sup>-1</sup> de cariopses em norte/sul, em 2020 e 2021 respectivamente, para cada diminuição em 10% na radiação solar (Figura 22a e 22b). Estes resultados para o RI sob intensidades crescentes de sombreamento, está relacionado com os verificados para  $G > 2\text{mm}$  (Figura 19) e RG (Figura 20).

Figura 22 — Rendimento industrial de grãos (RI) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, d) e períodos do desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (c) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ). Fonte: Elaborada pela autora (2023).

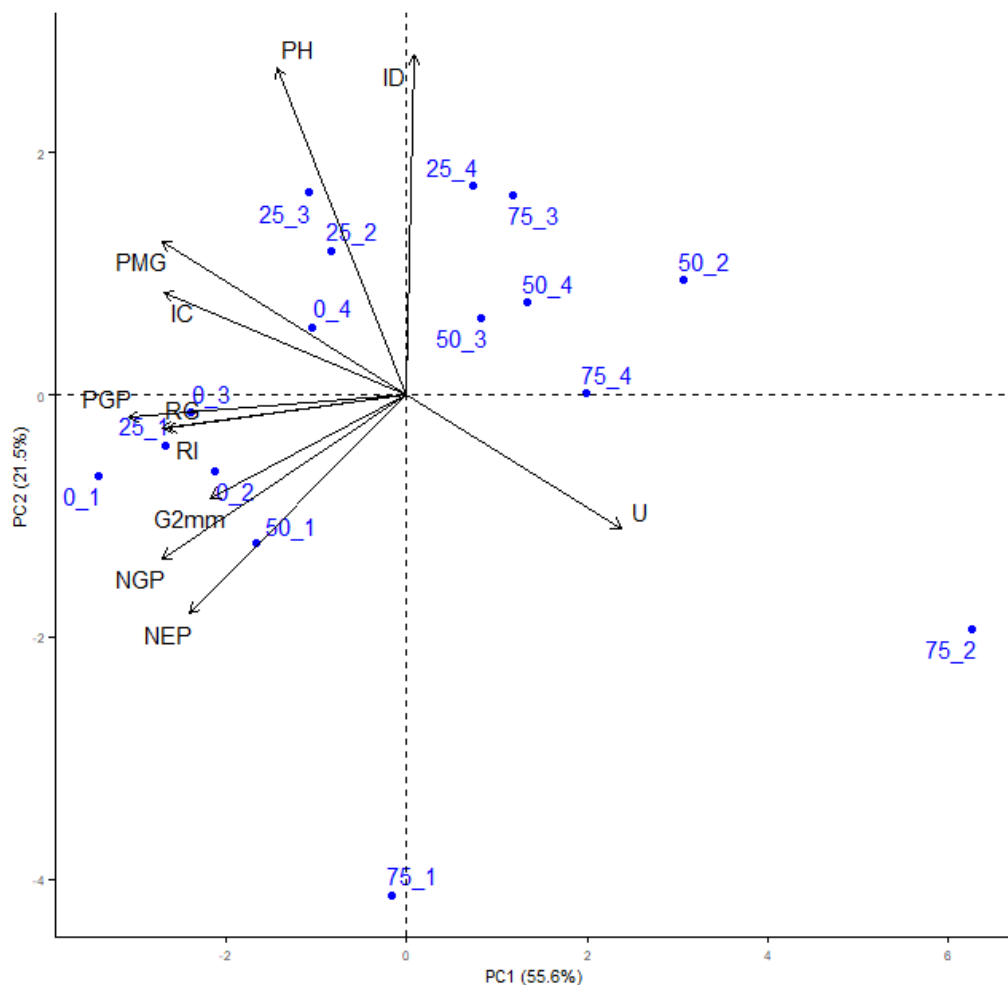
Na orientação de sombreamento norte/sul, o RI diferiu entre os estádios em 2020, com maior média, de 3,2 t.ha<sup>-1</sup> de cariopses obtida de plantas sombreadas no estádio 11 a 31. Este, representando incremento de 12,5% em relação aos demais (Figura 22c).

### 3.4.7 Análise de componentes principais

A matriz de componentes principais, na média das orientações de sombreamento testadas explicou as variações em 70% entre os dois primeiros componentes (PCA1: 51,2% e PCA2: 24,4%). As variáveis com maior contribuição foram MGP, MMG, NGP, NEP, PH e IC. Pode-se observar que NEP, NGP, G>2mm, RG, RI e PGP apresentaram maior associação ao

sombreamento de 25 e 50% no estágio 11 a 31, ou com pleno sol, ou seja, a definição destes apresenta-se associada com os estádios iniciais, favorecida pelo sombreamento até desenvolvimento do primeiro nó nas plantas (Figura 23).

Figura 23 — Matriz de análise de componentes principais (ACP) para o rendimento e qualidade industrial em função das intensidades de sombreamento e período de desenvolvimento de plantas de aveia branca, na média das orientações e safras



\*Números 0, 25, 50 e 75 se referem as intensidades de sombreamento: 0, 25, 50 e 75%, respectivamente; Números 1, 2, 3 e 4 se referem aos estádios 11-31, 31-55, 55-69 e 69-79 do desenvolvimento de aveia branca; NEP: número de espiguetas por panículas; NGP: número de grãos por planta; MGP: massa de grãos por planta; MMG: massa de mil grãos; G>2mm: percentual de grãos maiores que 2,0 mm; RG: rendimento de grãos; RI: rendimento industrial; IC: índice de colheita; PH: peso hectolitro; ID: índice de descasque; U: umidade.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

As variáveis ID, PH, MMG e IC se associaram com intensidades baixas de sombreamento, como 25%, nos períodos entre os estádios 31 a 55 e 55 a 69. Estes parâmetros,

tamanho e massa de grãos, foram favorecidos por estas condições em estádios em que ocorre definição dos componentes de rendimento, acúmulo de fotoassimilados e remobilização destas reservas. Enquanto intensidades de 50 e 75% de sombreamento no geral, não se associaram com os componentes, pois, não se correlacionam positivamente com as variáveis analisadas (Figura 23).

## 3.5 DISCUSSÃO

### 3.5.1 Condições meteorológicas

As diferenças observadas entre os anos agrícolas 2020 e 2021, como as menores médias entre os componentes de rendimento (NPP, NGP, MGP) e produtividade em 2021, podem ser justificadas pelas diferenças climáticas entre os anos de cultivo, como temperaturas mais elevadas em 2021, pela semeadura mais tardia. Considerando que a cultura da aveia branca responde a soma térmica (LÂNGARO *et al.*, 2021), maiores temperaturas estimulam o alongamento do colmo com maior velocidade, reduzindo a emissão de novos perfilhos (MANTAI *et al.*, 2021).

Ademais, Lângaro *et al.* (2014) destaca que cultivares de aveia branca apresentam variação no ciclo conforme temperaturas locais e épocas de semeadura, em que temperaturas mais altas tendem a reduzir o ciclo da cultura, da mesma forma que semeaduras tardias, como verificado para a safra 2021, em que se verificou menor quantidade de dias para completar o ciclo. A sensibilidade da cultura da aveia branca a diferentes datas de semeadura está relacionada com o grupo de maturação destas, de modo que quanto mais precoce a cultivar mais sensível ao período de semeadura durante a emissão de folhas (SPONCHIADO, 2017). Assim, considerando que a cultivar URS Altiva é considerada de ciclo precoce, esta apresentou respostas dependentes do período de semeadura e temperatura de cada safra.

### 3.5.2 Fator orientações de sombreamento

Com base nos resultados obtidos, as variações de orientações de sombreamento indicam que alternâncias de radiação solar direta com as estruturas de simulação sentido norte/sul ou leste/oeste, em função do movimento solar apresentou variação nos resultados sobre os componentes avaliados no presente estudo, conforme as intensidades de sombreamento e



período de desenvolvimento das plantas. Assim, pode-se considerar que ambas as simulações, no geral, isoladamente dos demais fatores, proporcionaram efeitos semelhantes sobre as plantas.

Além disto, a absorção da radiação solar de manchas solares pelas plantas é dependente do estado de indução fotossintética ou de assimilação de CO<sub>2</sub> destas, pois possui regulação pela abertura estomática e ativação das enzimas fotossintéticas. Ou seja, as folhas se apresentam mais preparadas para utilizar a luz solar de manchas posteriores quando já foram induzidas por incidência de luz anterior, e o inverso acontece quando estas passam por período mais longo de sombreamento, cuja não indução limita a assimilação de CO<sub>2</sub> (WAY; PEARCY, 2012). Desta forma, quando as folhas recebem luz solar após período de sombreamento, a assimilação de CO<sub>2</sub> aumenta gradativamente ao longo de minutos até estado estacionário (WANG *et al.*, 2020). Conforme Qiao *et al.* (2020), as atividades dos fotossistemas são reduzidas sob flutuações de radiação mais frequentes, embora a indução fotossintética seja acelerada.

Assim, as condições simuladas no presente trabalho, com estruturas de madeira instaladas sobre as plantas, com faixas de tábuas nas orientações em leste/oeste e norte/sul, podem ter proporcionado pequena variação na luz direta sobre as plantas durante os períodos de desenvolvimento. Além disto, pode-se considerar que a duração da condição de sombreamento em cada período entre determinados estádios, foi curto e insuficiente para proporcionar respostas significativas sobre as plantas e definição dos componentes e rendimento de grãos das plantas.

### **3.5.3 Número de panículas, espiguetas, grãos e massa de grãos**

O sombreamento imposto sobre as plantas de aveia branca em determinados estádios do desenvolvimento destas, promoveu resultados contrastantes conforme o período do ciclo da planta, abrangido sobre o número de panículas, espiguetas e grãos. Com base nos resultados observados, pode-se destacar que plantas impostas ao estresse em questão, da primeira folha expandida ao primeiro nó visível (estádios 11 a 31) demonstraram-se capazes de se recuperar pós-sombreamento, sem apresentar prejuízos a produção de grãos. Fato este observado para NPP, NEP, NGP, IC em ambas as orientações, além de RG e RI em norte/sul. Isto pode ser justificado também, pelo efeito único de sombreamento proporcionado pelas estruturas de simulação, e não pelo auto sombreamento intensificado pelo crescimento em altura e fechamento das entrelinhas e presente nos demais períodos de desenvolvimento .

Contudo, ao limitar a radiação solar das plantas a partir do primeiro nó visível até estágio de panícula exposta (31 a 55), os prejuízos a produção foram intensificados. Fato observado nos resultados para NEP, NGP, MGP, IC e MMG em 2020. A sensibilidade deste período ao sombreamento pode estar relacionada a três fatores: estágio que compreende a definição de componentes de rendimento, como número de espiguetas e grãos, e peso de grãos (NAKAGAWA, 2014); redução da absorção de nitrogênio pela falta de radiação solar (WANG *et al.*, 2020); e intensificação da limitação de luz das plantas pelo crescimento em altura e fechamento das entrelinhas de semeadura.

A emissão de afilhos em plantas de aveia branca inicia quando estas se encontram no estágio de três a quatro folhas expandidas, e pode continuar até a diferenciação, dependendo de fatores como temperatura e radiação solar (LUCHE *et al.*, 2021). Ao restringir radiação solar às plantas entre os estádios 55 a 69 e 69 a 79, houve redução do NPP, em ambas as safras, fato este que pode ser justificado pela limitação de fotoassimilados (considerando panículas efetivas), causando a ocorrência de perfilhos com panículas inférteis ou não produtivas. Além disto, houve associação entre NPP e sombreamento de 75% no período entre os estádios 31 a 55, corroborando com Dietz *et al.* (2023). Isto, pode estar relacionado com a limitação de carboidratos causado pelo sombreamento, tendo em vista que ao possuir maior quantidade de fotoassimilados necessário para crescimento da planta, há a formação de novos perfilhos (CHARLES-EDWARDS, 1984), e estresses por nutrição e falta de radiação solar nas plantas, interferem na taxa de emissão de folhas, e conseqüentemente no número de perfilhos a se desenvolver (TILLEY *et al.*, 2019). Contudo, não foi quantificado o número de perfilhos improdutivos no presente estudo, somente de panículas efetivas por planta, fato que pode justificar as menores médias nestes estádios finais de desenvolvimento.

O sombreamento imposto no período de desenvolvimento entre os estádios 31 a 55, principalmente, ocasionou menor NEP, conforme ano e orientação de sombreamento avaliada. Sabe-se que o período inicial do estágio de alongamento do colmo é importante para a definição do número de espiguetas nas plantas de aveia (LUCHE *et al.*, 2021), e a limitação de fotoassimilados devido ao sombreamento (ASSENG *et al.* 2017) pode justificar os resultados prejudiciais. Estes resultados corroboram com estudos de Song *et al.* (2022) na cultura do arroz. Além disto, houve interferência ao NEP de sombreamento durante os estádios finais do ciclo, fato que pode estar relacionado com possível redução na taxa de fertilização das espiguetas (não avaliado), pois, Deng *et al.* (2021) verificaram em plantas de arroz sob sombreamento, redução da polinização e redução da viabilidade e número de grãos de pólen germinados por estigma.

Os resultados para número NGP e MGP (2020-leste/oeste e 2021-norte/sul), corrobora com o observado para o componente NEP, principalmente em 75% de sombreamento. A definição do NGP ocorre pela definição do NEP e depois em pós-polinização e maturidade nos cereais (NAKAGAWA, 2014), mas sendo influenciado pelo período anterior e posterior ao processo de floração na aveia (FINNAN; BURKE; SPINK, 2019). Ademais, isto pode estar relacionado com os achados de Wang, Deng e Ren (2015), em que o sombreamento causou aumento no número de espiguetas vazias e redução no enchimento destas. Os resultados corroboram com Mahadevan *et al.* (2016) e Dietz *et al.* (2023), em que o período entre o alongamento do colmo e período curto após a antese se caracteriza como crítico para plantas de aveia branca, afetando principalmente o número de grãos por panícula.

Em relação ao peso de grãos, sua caracterização ocorre no período antecedente à emissão da panícula até a maturidade, com a formação e aumento em tamanho do envoltório da cariopse (pálea e lema), e posteriormente o enchimento dos grãos propriamente dito (NAKAGAWA, 2014). Ademais, a maior parte dos carboidratos remobilizados durante a fase de enchimento de grãos é armazenado nas plantas anteriormente à antese, em relação a fase pós-antese (LI *et al.*, 2010), fato que pode justificar os resultados negativos a MGP. Além disto, através do PCA pode-se verificar a não associação destes com altas intensidades de sombreamento, principalmente no período de sombreamento entre o estádios 55 a 69 e 69 a 79, indicando prejuízos ao NGP e MGP sob tais condições.

#### **3.5.4 Índice de colheita**

A eficiência na alocação de fotoassimilados para órgãos das plantas com importância econômica, como grãos, pode ser determinada a partir da avaliação do IC (SCHUCH *et al.*, 2000). O sombreamento em intensidade de 75%, imposto entre os estádios 31 a 55 reduziu a MMG e IC das plantas de aveia branca em 2020 (leste/oeste e norte/sul), devido a fatores já expostos, que podem justificar os efeitos negativos na definição dos componentes, aliado ao menor acúmulo de reservas para posterior remobilização.

Estes resultados corroboram com Labra *et al.* (2017) com a cultura da canola, em que a menor interceptação de radiação solar pelas plantas (na floração), causou redução na taxa de crescimento e conseqüentemente nos fotoassimilados totais acumulados, prejudicando a quantidade destinada aos órgãos reprodutivos. E, se assemelham aos resultados de Li *et al.*,

(2010) que observaram redução no índice de colheita em trigo sob 23% de restrição de luz, com médias de IC variando entre 41,1 a 42,6%.

### **3.5.5 Umidade de grãos no momento da colheita**

O maior percentual de umidade dos grãos de aveia branca na colheita, principalmente em altas intensidades de sombreamento, pode ser justificado por leve atraso no ciclo das plantas (aumento do índice SPAD- capítulo I). Sabe-se que a maior parte das cultivares de aveia branca apresentam-se responsivas ao somatório térmico (LUCHE *et al.*, 2021).

Assim, as menores temperaturas visualizadas em ambientes sombreados (BELLALOUÏ *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2014; CIGEL, 2020), podem indicar o atraso na maturação, porém, não intensamente de forma a alterar determinação de estádios. Pois, ao acompanhar a duração do ciclo das plantas (safra 2021), não se verificou tendência de mudanças no desenvolvimento em função das condições impostas (dados não apresentados). Estes resultados corroboram com a pesquisa de Yasin *et al.* (2019). Além disto, o percentual de umidade dos grãos pode apresentar variações conforme as condições meteorológicas ocorridas no período pré-colheita, como visualizado entre os anos agrícolas (MARCOS FILHO, 2015a).

### **3.5.6 Massa de mil grãos, peso hectolítrico e grãos maiores que 2,0 mm**

Os resultados negativos para massa de mil grãos (MMG) obtidos principalmente em 2020 na orientação L/O durante o período de sombreamento entre estádios 31 a 55 das plantas, podem estar relacionados com os prejuízos nos demais componentes. Os componentes NEP, NGP e MGP também foram afetados. Resultados semelhantes foram encontrados por Yang *et al.* (2019) ao cultivar trigo em sistemas agroflorestais, os quais verificaram que próximo as árvores as plantas de trigo reduziram o teor de clorofila, número de grãos e massa de mil grãos, quando comparados ao monocultivo do cereal.

O peso volumétrico ou hectolítrico (PH) de grãos de aveia branca faz parte das especificações de padronização e comercialização, classificada em quatro classes segundo Portaria nº 191 de 14 de abril de 1975 (MAPA, 1975). Conforme dados publicados em relação à atuais cultivares de aveia branca em Lages-SC em 2020, a cultivar URS Altiva destacou-se com maiores valores de PH de grãos, sendo de 54,4 kg 100 l<sup>-1</sup> (SOUZA *et al.*, 2021), indicando alta qualidade de grãos produzidos nas condições de Lages-SC, tanto com ou sem

sombreamento. Assim, verificou-se que os grãos produzidos em ambas as safras se enquadraram na classificação I, acima de 50 kg 100.l<sup>-1</sup>, indicando que nas condições testadas, houve reduções sutis no PH dos grãos em determinados estádios e em função das intensidades, mantendo a qualidade comercial suficientemente alta com grãos de primeira.

Os resultados para percentual de grãos maiores que 2,0 mm em leste/oeste (2020), indicam que o sombreamento interferiu na taxa de enchimento de grãos das plantas sombreadas a partir do estádio 31. Isto, devido a capacidade de recuperação das plantas sombreadas até este momento, retomada do desenvolvimento pós-sombreamento, e, em estádios posteriores pela intensificação da sombra nas plantas e efeitos negativos, como já abordado.

### 3.5.7 Rendimento de grãos

Os resultados para RG em relação aos estádios e intensidades de sombreamento (Figura 20) indicaram sensibilidade no período entre os estádios de primeiro nó visível (conforme aumento da intensidade de sombra) (leste/oeste-2021), e sombreamento a partir de primeiro nó visível (norte/sul- 2020) (Figura 20a). Porém, em 2020, o sombreamento sobre as plantas em orientação L/O, reduziu os componentes de rendimento como NEP, NGP, MGP, MMG, mas o NPP não foi afetado, o que pode caracterizar efeito compensatório, justificando o resultado para RG nesta condição.

Os efeitos negativos no RG de plantas impostas a condições de restrição de radiação (norte/sul) principalmente durante o período de desenvolvimento entre os estádios 69 a 79 das plantas de aveia branca, pode estar relacionado a limitação de fotoassimilados aos grãos e taxa fotossintética das plantas (MU *et al.*, 2010), principalmente em alta intensidade de sombra. Os resultados corroboram com os achados de Liu *et al.* (2019) e Wang, Deng e Ren (2015) em arroz, e Wang *et al.* (2020) em plantas de milho, em que o incremento na translocação dos assimilados armazenados nos órgãos vegetativos no período anterior ao enchimento de grãos foi insuficiente para compensar a redução da fotossíntese em consequência do sombreamento. As médias para o RG obtidas no presente trabalho foram próximas ou maiores que a nacional para a cultura, de 2,4 t ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2023a).

Além disto, considerando as médias obtidas no presente trabalho, pode-se inferir médias próximas aos valores visualizados para a cultivar quando produzida nas condições de Lages-SC, pois, conforme dados do ensaio nacional de cultivares de aveia branca, a cultivar URS Altiva apresentou médias de rendimento de grãos de 4,9 e 3,6 t.ha<sup>-1</sup>, em 2020 e 2021,

respectivamente (SOUZA *et al.*, 2021; SOUZA *et al.*, 2022). Assim, percebe-se uma plasticidade da cultura com potencial de uso em sistemas de integração lavoura-floresta, considerando menor disponibilidade de luz solar.

### 3.5.8 Índice de descasque e rendimento industrial

Além do PH, caracteres como MMG,  $G > 2$  mm, índice de descasque (ID) também são considerados no momento da comercialização de grãos de aveia branca para processamento industrial (LÂNGARO *et al.*, 2021). Assim, semelhanças nos resultados para rendimento de grãos e percentual de grãos maior que 2,0 mm em cada ano agrícola, pode estar relacionado pelo fato de o rendimento de grãos ser processado através do rendimento de peneiras, com o objetivo de retirar impurezas e grãos de tamanho inferior. Ademais, o rendimento industrial de grãos apresenta relação com RG e  $G > 2,00$ mm, se referindo a quantidade de cariopses extraída de amostras de grãos integrais, pois, o rendimento industrial é o produto dos atributos  $RG * G > 2$  mm \* Índice de descasque (LÂNGARO *et al.*, 2021), alta associação visualizada na matriz de componentes principais (Figura 22).

## 3.6 CONCLUSÕES

- i. O sombreamento no período entre os estádios 11 a 31 das plantas de aveia branca URS Altiva apresenta efeito de recuperação pós-sombreamento para os componentes e rendimento de grãos.
- ii. O rendimento de grãos foi reduzido em sombreamento imposto durante o período entre os estádios 31 a 55, conforme a safra e orientações avaliadas.
- iii. O sombreamento nas orientações L/O ou N/S não afeta negativamente os componentes e rendimento de grãos, com ausência ou pequenos efeito.
- iv. Sombreamento intenso ( $> 50\%$ ) imposto nas plantas de aveia branca reduz o rendimento de grãos e, afeta os componentes de rendimento (NGP, PGP, MMG, PH) principalmente no índice de colheita, grãos maiores de que 2,0 mm e rendimento de grãos, porém, manteve o RG acima de  $2,5 \text{ t.ha}^{-1}$ .

## 4 SOMBREAMENTO INTERMITENTE NÃO COMPROMETE QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE AVEIA BRANCA

### 4.1 RESUMO

A qualidade das sementes pode ser afetada por condições ambientais durante sua formação, como baixas intensidades de radiação solar. Isto, devido a menor produção de fotoassimilados e acúmulo de reservas. Objetivou-se avaliar o efeito de intensidades, orientações de sombreamento em períodos do desenvolvimento de aveia branca sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas. O experimento foi conduzido no CAV/UDESC em 2020 e 2021, com a cultivar URS Altiva. Utilizou-se delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4x4, sendo: duas orientações: (leste/oeste-L/O; norte/sul-N/S); quatro intensidades: (0; 25; 50 e 75%); impostos em quatro períodos do desenvolvimento definidos pelos estádios fenológicos: 11-31, 31-55, 55-69, 69-79. A germinação das sementes obtida sob orientação N/S foi de 98% e para L/O 97%. Os resultados indicaram efeito negativo de alta intensidade de sombreamento (75%) na condutividade elétrica (CE) das sementes e vigor por envelhecimento acelerado (EA). A CE aumentou 0,3 e 0,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  para cada 10% de sombreamento (L/O e N/S), respectivamente em relação a menor luminosidade. O vigor pelo teste de EA e frio se manteve acima de 95%. Os efeitos das orientações testadas são variáveis com base na germinação e vigor, e intensidades crescentes reduzem o vigor das sementes pelos testes de CE e EA, mas mantendo a alta qualidade fisiológica das sementes produzidas pelas plantas sombreadas. O sombreamento durante período de desenvolvimento entre os estádios 31-55 e 55-69 são favoráveis ao vigor pelo teste de CE; a germinação das sementes apresentou médias acima de 96%.

**Palavras-chave:** Acúmulo de reservas. Fotoassimilados. Fotossíntese. Germinação. Vigor.

### 4.2 INTRODUÇÃO

A alta qualidade das sementes é indispensável para o sucesso das lavouras comerciais. O parâmetro de qualidade envolve fatores físicos, genéticos, sanitários e fisiológicos, ou seja, devem ser livres de contaminação de materiais inertes, danos mecânicos, contaminação por patógenos, devem conter pureza varietal e alta viabilidade. Fatores fisiológicos se referem a

alta germinação e vigor das sementes (KRZYZANOWSKI *et al.*, 2020; MARCOS FILHO, 2015a).

Os testes de vigor em sementes, embora não obrigatórios para comercialização, são realizados para verificar a intensidade dos fatores estressantes que reduzem a qualidade fisiológica das sementes precedendo a diminuição do potencial germinativo destas (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA-NETO, 1999). O vigor pode ser definido como as propriedades que determinam a capacidade de desempenho de lotes de sementes com germinação em diversos ambientes, com potencial para adequado desempenho em condições ambientais não ideais a espécie (ISTA, 2014).

A obtenção de sementes de qualidade é dependente de vários fatores durante o cultivo, sejam eles bióticos ou abióticos (MARCOS FILHO, 2015a). Dentre os fatores abióticos, pode-se citar a radiação solar, fator fundamental para o desenvolvimento vegetal, como a realização de fotossíntese (TAIZ *et al.*, 2017). Isto, está diretamente relacionado com a taxa de acúmulo fotoassimilados nas sementes, eficiência do metabolismo, conversão de carbono, formação do endosperma e crescimento do embrião (GOFFMAN *et al.*, 2005). Pois, em condições de baixa disponibilidade de luz solar ou sob sombra, as plantas apresentam redução da taxa fotossintética (MU *et al.*, 2010), e conseqüentemente menor destinação de carbono e conversão dos açúcares em amido nas sementes (PANIGRANY *et al.*, 2019), interferindo na relação fonte-dreno e conseqüentemente no número, peso e rendimento de sementes (ASSENG *et al.*, 2017).

A baixa disponibilidade de radiação solar às plantas, ou variações em intensidade ou qualidade, pode estar presente em dias nublados (CUSTÓDIO; BERLATO; FONTANA, 2009; KANNIAH *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2010b); altas densidades de semeadura (SOUZA *et al.*, 2010a); e sistemas de integração lavoura-floresta ou lavoura-pecuária-floresta (CORDEIRO *et al.*, 2015; PEZZOPANE *et al.*, 2020; DUPRAZ *et al.*, 2018; WAY; PEARCY, 2012).

O cultivo intercalado de culturas anuais ou perenes com arbóreas, e em alguns casos rotacionado com animais, tem apresentado crescimento na região sul do Brasil, principalmente pela busca de rentabilidade a curto e longo prazo pelos produtores rurais (BURNER *et al.*, 2018). Além disto, espécies anuais de inverno como a aveia branca, cultura em expansão de cultivo no RS e PR, tem apresentado crescimento em importância econômica e alternativa de uso em sistemas agrícolas, tanto para rotação, cobertura de solo, como produção de grãos para alimentação humana e animal ou forragem (DANIELOWSKI *et al.*, 2021).

Existem poucos trabalhos verificando a qualidade de sementes produzidas sob efeitos de estresses ambientais impostos nas culturas de lavoura (CHEN *et al.*, 2020). Contudo, em



trabalhos com soja, Bellaloui *et al.* (2012) observaram sob 50% de sombra (telas), redução do teor de proteínas nas sementes, ao que os mesmos remetem à redução da assimilação de carbono e nitrogênio; e Chen *et al.* (2020) verificaram sob redução da luminosidade (51 e 38%) em sistema consórcio entre as culturas de milho-soja, apresentaram protusão da radícula mais rapidamente, maior massa seca de plântulas e comprimento radicular.

A partir da hipótese de que a qualidade fisiológica de sementes de aveia branca oriundas de plantas cultivadas sob faixas de sombreamento no sentido leste/oeste é reduzida, conforme maior nível de sombra imposta, objetivou-se avaliar o efeito de intensidades, orientações de faixas de sombreamento em determinados estágios do desenvolvimento de aveia branca sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas.

### 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 4.3.1 Caracterização local e climática e condução do experimento

Os experimentos foram implantados na área experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias- CAV, na Universidade do Estado de Santa Catarina- UDESC, município de Lages - SC, sob coordenadas geográficas 27° 52' latitude Sul, 50° 18' Longitude Oeste e altitude média de 930 m. O município possui temperatura média anual de 15,7 °C, precipitação de 1500 mm, segundo informações do Atlas Climático da Região Sul do Brasil (WREGGE, 2012).

O experimento foi conduzido na safra 2020 e 2021, com a cultivar de aveia branca URS Altiva, cultivar precoce, com alto potencial de rendimento (DANIELOWSKI *et al.*, 2021). Os dados de temperatura, precipitação e radiação solar incidente durante o período foram acompanhados conforme registros publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021).

A semeadura da cultura foi realizada em 15 de julho de 2020 e 09 de agosto de 2021. A adubação foi realizada com base na análise química do solo da área em que os experimentos foram conduzidos, seguindo recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016) para expectativa de rendimento de 5 t.ha<sup>-1</sup> de grãos. Assim, para adubação de base utilizou-se da aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 5-20-10. Em relação a adubação nitrogenada de cobertura realizou-se aplicações de 45 kg ha<sup>-1</sup> de ureia nos estádios de início do perfilhamento (19 de agosto de 2020 e 18 de setembro de 2021) e início do

alongamento do colmo (08 de setembro de 2020 e 07 de outubro de 2021). O manejo fitossanitário foi realizado conforme indicações para a cultura (DANIELOWSKI *et al.*, 2021).

A simulação de diferentes intensidades e orientações de sombreamento sobre as plantas de aveia branca foi realizada com a utilização de estruturas compostas por tábuas de madeira, semelhante ao descrito por Varella *et al.* (2011). As estruturas foram confeccionadas com madeira e instaladas com altura de 0,6 m e 1,2 m do nível do solo, alterando conforme avanço do desenvolvimento da cultura e crescimento.

A colheita foi realizada com automotriz de parcelas experimentais em 23 de novembro de 2020 e em 08 de dezembro de 2021. Posteriormente, realizou-se a secagem das sementes em estufa de circulação de ar sob temperatura de 35 °C até a estabilização da umidade destas próximo a 13%.

#### **4.3.2 Delineamento experimental**

As análises para verificação da qualidade fisiológica das sementes em laboratório seguiram o delineamento e repetições implantadas no experimento a campo. Desta forma, o delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4 x 4, sendo: duas orientações das faixas de sombreamento: norte-sul e leste-oeste; quatro intensidades de sombreamento: 0, 25, 50 e 75%; e quatro períodos entre os estádios fenológicos em que a condição de sombreamento foi imposta-removida conforme escala de Zadoks (ZADOKS, CHANG; KONZAK, 1974): 11-31 (primeira folha expandida a primeiro nó visível.); 31-55 (primeiro nó visível a metade da panícula exposta.); 55-69 (metade da panícula exposta a antese completa); 69-79 (antese completa a final de grão leitoso). O sombreamento em cada estágio teve duração de 36, 17, 12 e 12 dias em 2020, e 26, 24, 10 e 10 dias em 2021, respectivamente para cada período.

Utilizou-se de quatro repetições, totalizando 128 parcelas experimentais. As parcelas foram constituídas por cinco linhas de semeadura de aveia branca com espaçamento de 0,20 m; 2,0 metros de comprimento, e espaçamento entre si de 1,0 m.

#### **4.3.3 Variáveis analisadas**

Após a secagem as sementes foram armazenadas em câmara seca, sob temperatura de  $10 \pm 2$  °C e umidade relativa de 50%, por período de 30 dias. Para realização da avaliação da

qualidade fisiológica das sementes, estas foram previamente submetidas ao processo de superação de dormência pelo método de pré-secagem, conforme descrito pelo Manual de Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009). Assim, utilizou-se de estufa de circulação de ar a temperatura de 35 °C por 7 dias. Posteriormente foram realizadas as avaliações para a qualidade fisiológica das sementes.

O teste de germinação (G) foi realizado com 100 sementes de cada repetição oriunda das parcelas de campo, acondicionadas entre três folhas de papel específico (Germitest®), pré-umedecidas com quantidade de água destilada correspondente a 2,5 vezes o peso seco do papel, enroladas, e mantidas em germinador modelo Mangelsdorf, em temperatura a 20 °C por período de 10 dias. No final, foram avaliadas quanto ao percentual de plântulas normais (germinação), anormais, sementes mortas, duras e dormentes (BRASIL, 2009);

Para determinação do vigor das sementes utilizou-se de diferentes testes. O teste de primeira contagem de germinação (PCG), foi realizado através da avaliação do percentual de plântulas normais aos cinco dias a partir da montagem do teste de germinação (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA-NETO, 1999). Para o índice de velocidade de emergência (IVE) foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, semeadas em substrato areia, e avaliadas diariamente quanto ao número de plântulas emergidas. Os resultados foram submetidos à seguinte fórmula (6):

$$IVE = N1/D1 + N2/D2 + N3/D3... + Nn/Dn \quad (6)$$

onde  $N$  corresponde ao número de plântulas contabilizadas no dia da contagem, e  $D$  ao número de dias após a semeadura em que foi realizada a contagem (MAGUIRE, 1962).

Para o teste de condutividade elétrica (CE) foram utilizadas 50 sementes de cada repetição, pesadas, imersas em 75 ml de água destilada, e colocadas sob temperatura de 25 °C por período de 24 horas (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA-NETO, 1999). Após, foram submetidas a medição da condutividade através de condutímetro de bancada (Quimis, Modelo 0795A2), e posteriormente à seguinte fórmula:

$$CE = CE_s - CE_a/P \quad (7)$$

onde  $CE_s$  se refere ao valor de condutividade elétrica lida pelo aparelho,  $CE_a$  ao valor de condutividade da amostra de água pura e  $P$  ao peso inicial da sub-amostra de sementes

(KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA-NETO, 1999). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\text{ g}^{-1}$ .

O teste de envelhecimento acelerado (EA) também foi realizado, em que as sementes de aveia branca foram adicionadas em caixa tipo gerbox sobre tela, e sob a qual foi adicionado 40 ml de água destilada. Estas foram mantidas em câmara de envelhecimento sob temperatura de 42 °C por 48 horas (MARCOS FILHO, 1999). Posteriormente, 100 sementes de cada repetição foram acondicionadas em rolos de papel, permanecendo em germinador a 20°C por 10 dias. Ao final do período avaliou-se o percentual de plântulas normais. Foi aferida a eficácia e homogeneidade do processo de envelhecimento entre as amostras a partir da determinação da umidade do restante das sementes envelhecidas, pelo método de estufa a 105 °C por 24 horas (BRASIL, 2009);

O teste de frio (TF), conduzido com 100 sementes por repetição, distribuídas entre três folhas de papel específico (Germitest®), mantidas sob temperatura de 10 °C por sete dias, e posteriormente sob 20 °C por oito dias. Após, foram avaliadas quanto ao percentual de plântulas normais (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA-NETO, 1999).

O desempenho de plântulas foi verificado através da verificação da massa seca de plântulas. Para o teste, foram utilizadas de 20 sementes por repetição, acondicionadas no terço superior de folhas de papel de germinação (Germitest®), e submetidas a germinação (BRASIL, 2009). Ao oitavo dia, a partir de plântulas normais, realizou-se a determinação da massa seca de plântula (MSP), semente com reservas restantes (MSS), e total (MST) através da secagem em estufa de ar forçado sob temperatura de  $65 \pm 2$  °C até estabilização do seu peso. Resultados expressos em mg por plântula (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANÇA-NETO, 1999).

#### **4.3.4 Análise estatística**

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. As variáveis que não atenderam aos pressupostos foram submetidas a transformações de dados. Prosseguiu-se a análise de variância pelo teste F à 5% de significância. Quando significativo, as médias de estádios foram comparadas pelo teste Scott-Knott ( $p < 0,05$  de probabilidade de erro) e análise de regressão para as intensidades de sombreamento. Considerou-se o tratamento testemunha (pleno sol) como nível zero para a análise de intensidade de sombreamento, e foi desconsiderada nas avaliações na média para os

períodos de desenvolvimento das plantas definidos por intervalos entre estádios. Utilizou-se de software estatísticos R (R Core Team, 2023).

#### 4.4 RESULTADOS

O acompanhamento dos dados meteorológicos nas safras 2020 e 2021 permitiu inferir sobre as diferenças entre o volume de precipitação acumulado, e as diferenças entre a radiação solar incidente em ambas as safras. Os dados indicaram volume acumulado de precipitação em 2020 de 265,6 mm, e em 2021, volume de 312,2 mm. Conseqüentemente pela maior ocorrência de dias chuvosos, a incidência de radiação solar global no local foi menor na segunda safra, com média de 1196,2 KJ.m<sup>-2</sup>, enquanto na primeira foi de 1237,3 KJ m<sup>-2</sup>.

Os resultados obtidos pela análise de variância não apresentaram efeitos significativos para índice de velocidade de emergência e massa seca de parte aérea de plântulas em relação as orientações, estádios e intensidades de sombreamento em 2020. As médias para germinação, e vigor por frio e envelhecimento acelerado foram acima de 95% (Apêndice J).

A germinação, vigor pelo frio (2020) e IVE (2021) a partir de sementes obtidas de plantas sombreadas apresentaram diferença entre as orientações N/S x L/O (Tabela 2; Apêndice J e K). Contudo, os resultados foram variáveis, com maiores médias de germinação e vigor pelo IVE para orientação L/O, e maior vigor pelo frio em N/S. Porém, verificou-se diferença de apenas 1% na germinação e vigor pelo frio entre as orientações, e variação de 7,3 e 6,6 para IVE, desta forma, os resultados também foram desdobrados dentro de cada orientação, analisando isoladamente os efeitos de cada orientação de sombreamento germinação e no vigor das sementes obtidas em duas safra de cultivo (Tabela 2).

Tabela 2 — Germinação (G) e vigor pelo frio e índice de velocidade de emergência (IVE) de sementes produzidas por plantas de aveia branca sob orientações de sombreamento leste/oeste e norte/sul (média dos estádios e intensidades exceto testemunha), em 2020 e 2021

Orientação	G (%)		Vigor – Frio (%)		Vigor - IVE	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Leste/Oeste	97 b	97 <sup>ns</sup>	96 a	98 <sup>ns</sup>	7,27 <sup>ns</sup>	6,60 b
Norte/Sul	98 a	97	95 b	97	7,19	7,10 a

\*Médias com letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

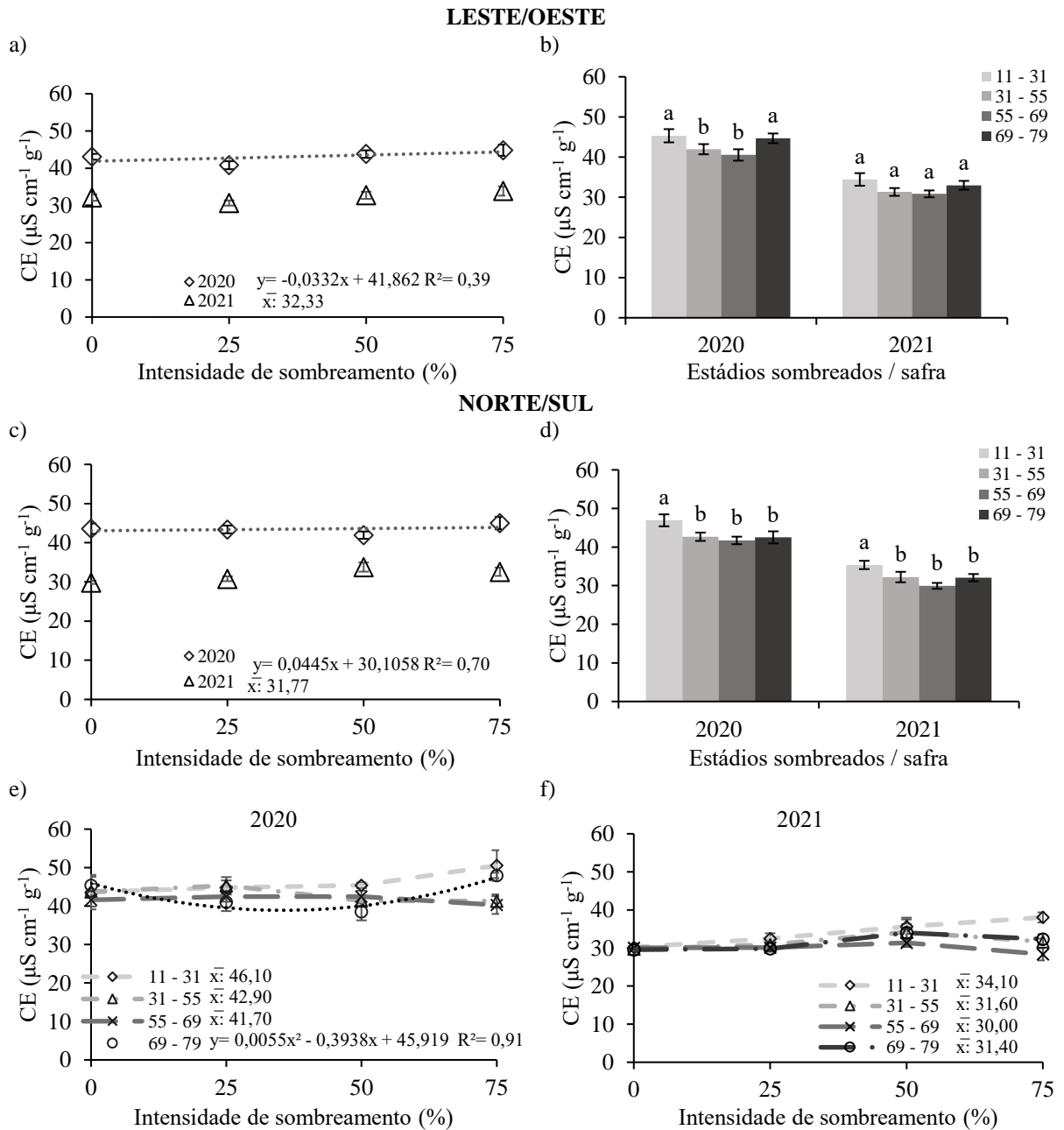
O vigor avaliado por condutividade elétrica (CE), apresentou efeito para as intensidades e períodos de desenvolvimento entre os estádios fenológicos em que as plantas de aveia branca foram sombreadas em ambas as orientações. Observou-se aumento na CE das sementes, de 0,3 e 0,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  para cada incremento de 10% na intensidade de sombra testada em L/O e N/S, respectivamente (2020) (Figura 24a).

Em relação ao período de desenvolvimento em 2020, observou-se que ao sombrear as plantas entre os estádios 11 a 31 e 69 a 79 obteve-se as maiores médias, de 45,32 e 44,68  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (L/O) e em 11 a 31 de 46,92  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  (N/S), incremento de 9,1 e 10,9%, respectivamente, em relação aos demais estádios e ambas as orientações (Figura 24b). Estes resultados inferem sobre a redução do vigor das sementes com base no aumento na CE das sementes obtidas em função do incremento de sombreamento das plantas.

Em 2020, verificou-se que na orientação norte/sul houve efeito para a interação entre intensidade e período do desenvolvimento sob sombreamento. Pôde-se verificar que ao sombrear as plantas de aveia branca entre os estádios 69 e 79, a CE das sementes apresentou menor média, 38,87  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  sob intensidade de 35,8%, ou seja, sob sombreamento moderado o vigor das sementes pela CE foi maior. Porém, sob intensidade de 75% observou-se que as sementes oriundas de plantas impostas sob sombreamento entre os estádios 11 a 31 e 69 a 79 apresentaram maior CE (49,25  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ), enquanto em 31 a 55 e 55 a 69 os menores valores (40,78  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ), em média (Figura 24e). Observou-se que há certa tendência, considerando orientações e safras, de que o sombreamento iniciado em estádios mais avançados origina sementes de menor CE (Figura 24b e d).

O vigor das sementes avaliado através da primeira contagem de germinação (PCG) foi alto (> 92%) em ambas as safras. Sob orientação de sombreamento leste/oeste, o vigor pela PCG apresentou efeito de interação entre os fatores intensidade e estádios. O vigor cujo sombreamento foi imposto nas plantas nos períodos de desenvolvimento entre os estádios 11 a 31 e 55 a 69 apresentou comportamento linear, com redução de 2,0% e incremento de 2,0% na PCG respectivamente, para cada aumento na intensidade de sombra em 25% (Figura 25b).

Figura 24 — Vigor das sementes pela condutividade elétrica (CE) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) (a, c), em diferentes períodos de desenvolvimento (média das intensidades exceto testemunha) (b, d), e interação entre intensidade e período de sombreamento sob plantas de aveia branca URS Altiva em orientação leste/oeste e norte/sul, nas safras 2020 e 2021

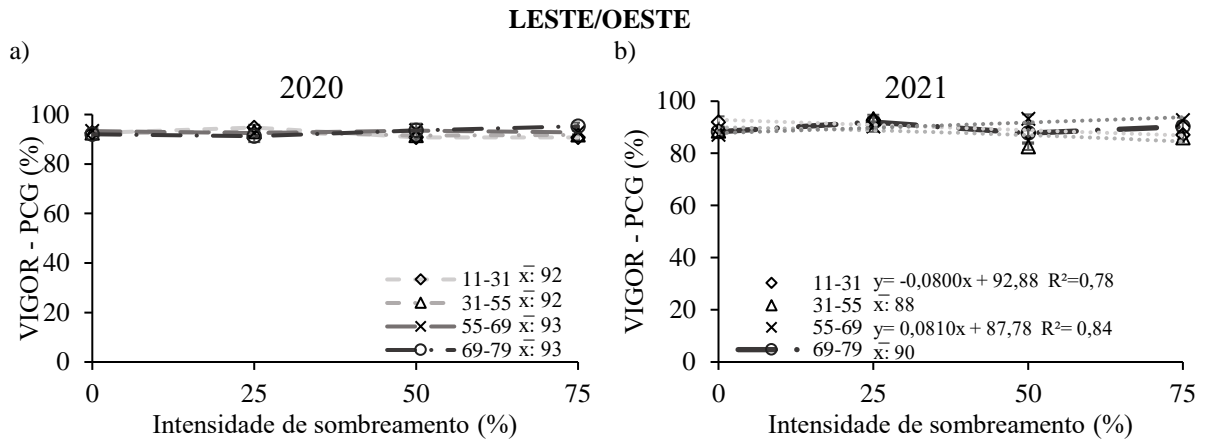


\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; médias com letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Ademais, a PCG de germinação nas intensidades de 50 e 75% de sombreamento diferiram entre os períodos de desenvolvimento das plantas. A PCG sob intensidade de 50% foi

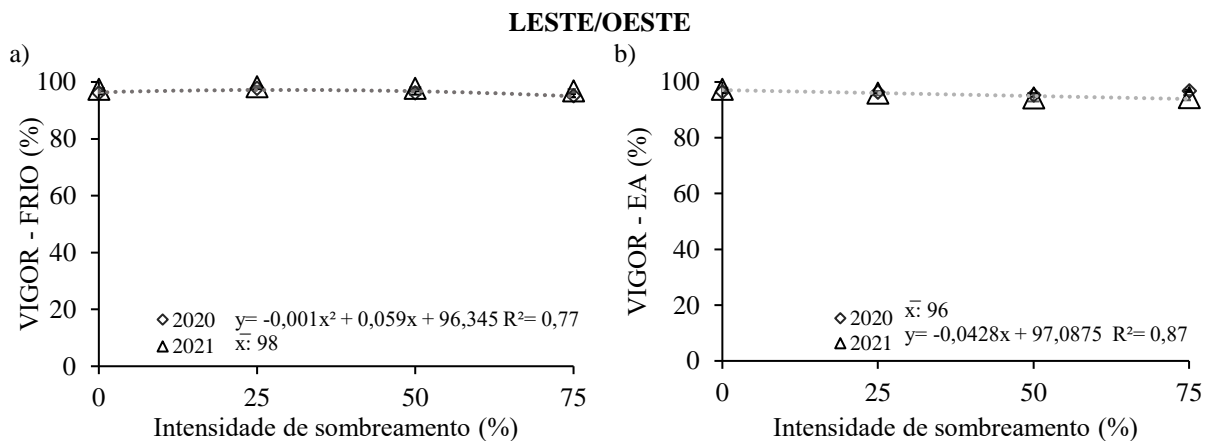
maior para plantas sombreadas entre os estádios 55 e 69, enquanto sob 75%, os estádios 55 a 69 e 69 a 79 destacaram-se pelas maiores médias (Figura 25b).

Figura 25 — Vigor pela primeira contagem de germinação (PCG) em função de interação entre intensidade e período de desenvolvimento de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento.  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Figura 26 — Vigor de sementes pelo frio (a) e envelhecimento acelerado (EA) (b) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação leste/oeste, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento.  $\bar{x}$ : média. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

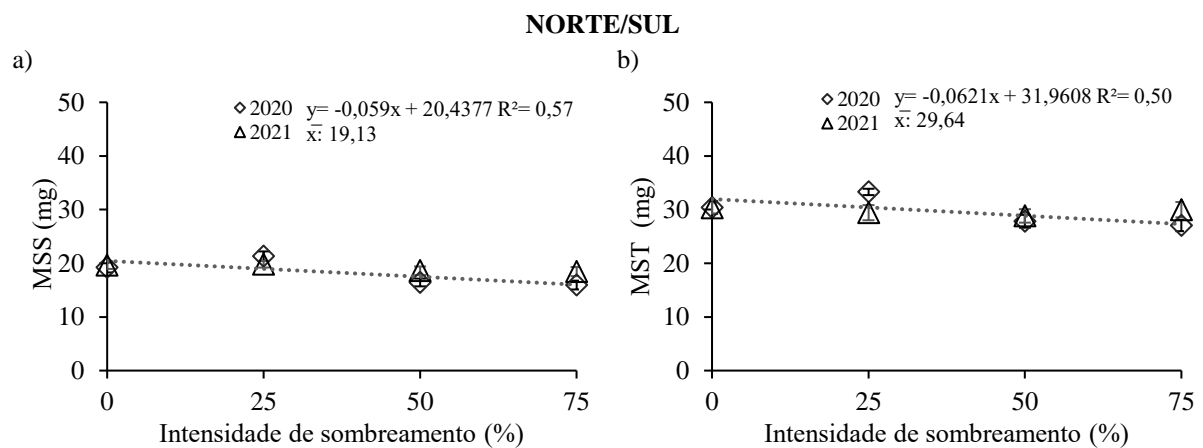
Para o vigor pelo frio e envelhecimento acelerado (EA) houve significância na orientação leste/oeste, para as safras 2020 e 2021, respectivamente (Figura 26). O vigor pelo frio apresentou maior média (97%) sob intensidade de 29,5% de sombreamento, porém, mesmo reduzindo em 75% de sombra, o vigor médio foi acima de 96% (Figura 26a). O vigor pelo EA, por sua vez, caracterizou redução do vigor das sementes, de 1,0% para cada aumento na



intensidade de sombreamento de 25%, porém, semelhante ao vigor por frio, as médias foram acima de 94% (Figura 26b).

O desempenho das plântulas de aveia branca, oriundas de plantas submetidas a diferentes intensidades de sombreamento, na média dos estádios, apresentou efeito para massa seca de sementes (MSS) e massa seca total das plântulas na safra 2020. Os resultados obtidos, demonstram a que MSS e MST, apresentaram redução conforme maior intensidade de sombreamento avaliada, sendo de 0,6 mg para ambas, a cada aumento de 10% no nível de sombra (Figura 27a e 27b). Isto, pode estar relacionado com os resultados observados com o menor acúmulo de matéria seca nas sementes em altas intensidades de sombreamento, e consequentemente menor transferência de fotoassimilados para a plântula.

Figura 27 — Desempenho de plântulas por massa seca de sementes (MSS) e total de plântulas (MST) em função de intensidade de sombreamento (média dos estádios) de plantas de aveia branca URS Altiva sob orientação norte/sul, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

#### 4.5 DISCUSSÃO

As sementes de aveia branca oriundas de plantas sombreadas em diferentes intensidades, orientações e estádios do desenvolvimento apresentaram alta qualidade fisiológica, com base nas avaliações realizadas para germinação e vigor. Os valores para germinação, com médias de 97 e 98%, para 2020 e 2021, foram acima dos padrões mínimos de qualidade de sementes de aveia branca (> 80%) exigidos para comercialização pela Instrução Normativa n° 45, de 17 de setembro de 2013 (BRASIL, 2013). Ademais, o vigor por EA, Frio e PCG também foi alto, acima de 94%, indicando a produção de sementes vigorosas,

independente das orientações, intensidades e estádios em que o sombreamento foi imposto sobre as plantas.

Estes resultados corroboram os dados obtidos na cultura da soja por Bellaloui *et al.* (2012), os quais sob sombreamento de 50% observaram aumento na germinação (85 a 92%) conforme o genótipo, cujo efeito foi relacionado a influência da menor temperatura durante o desenvolvimento das sementes sob a condição de restrição (<10%). Da mesma forma, Cigel *et al.* (2023) verificaram alta germinação de sementes (> 87%) ao testar diferentes intensidades de sombreamento em plantas de soja iniciando em determinados estádios do desenvolvimento e permanecendo até colheita. Ademais, seguindo esta metodologia, Cigel *et al.* (2021) obtiveram em trigo germinação superior a 98%. Corroborando com os resultados, Rodolfo *et al.* (2017) verificaram que a limitação da fonte, na relação fonte/dreno de plantas de trigo através de desfolha, não interferiu na germinação das sementes produzidas, mas provocou redução do vigor destas.

O vigor através de CE demonstra alterações bioquímicas que podem ser utilizadas para inferir mudanças no vigor das sementes. Este teste, se caracteriza como eficiente em classificar lotes de sementes de aveia branca (SPONCHIADO; SOUZA; COELHO, 2014). Conforme as definições, sementes com maior CE possuem menor vigor, pois, devido a menor integridade das membranas do pericarpo e capacidade de reestruturação após a embebição em água, liberando assim maior quantidade de exsudatos para o exterior das células (MARCOS FILHO, 2015a).

Conforme os resultados, a intensidade média de sombreamento (36%) imposto no período de desenvolvimento compreendido entre os estádios 69 a 79 das plantas, foi favorável ao vigor pela CE (norte/sul). Contudo, na média geral, observou-se efeito negativo do sombreamento das sementes conforme maior intensidade avaliada, e dentre os períodos definidos pelos estádios, principalmente 11 a 31 (Figura 24). Os valores de CE variaram entre 30,81 a 46,92  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ , considerando os tratamentos sombreados. Os resultados com a aveia branca URS Altiva corroboram com os dados obtidos em trigo por Cigel *et al.* (2021), os quais verificaram ao sombreamento das plantas em nível de 70%, redução no vigor das sementes produzidas, com valores para a CE entre 42,4 e 60,3  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ , enquanto para tratamento testemunha (sem sombreamento) foi de 32,7  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ .

Para o vigor através da PCG, os resultados indicaram diferenças entre os períodos de desenvolvimento, pois, nos estádios iniciais das plantas (11 a 31) o sombreamento proporcionou efeitos decrescentes sobre o vigor das sementes produzidas, enquanto durante a

formação das sementes (55 a 69) foi crescente, ou seja, não afetou o vigor. O maior percentual de plântulas normais na PCG remete ao maior vigor das sementes (KRIZANOWSKI *et al.*, 2020), indicando que crescentes intensidades de sombreamento reduzem a velocidade de germinação, porém, com médias acima de 83% no vigor por PCG.

Contudo, Chen *et al.* (2020) verificaram que sementes de soja produzidas em cultivo consorciado com milho, sob 49% de radiação solar em relação ao cultivo solteiro da Fabaceae (medição ao meio-dia), apresentaram protusão da radícula com maior velocidade, justificado pelo maior teor de giberelinas, e menor conteúdo de ácidos graxos e compostos fenólicos, associados ao controle da germinação nas mesmas. Além disto, os mesmos não verificaram diferenças para a massa de 100 sementes e tamanho produzidos nos diferentes sistemas de cultivo testados. Pode-se supor tais diferenças pelo sombreamento em consórcio (tempo sob sombra e intensidade) ser menor que a do presente estudo, pois em horários próximos ao meio-dia pode-se considerar que em SILF há maior disponibilidade de luz, fato não visível através da simulação com estruturas de madeira, e, que somando a este efeito, houve intensificação com o decorrer do desenvolvimento das plantas.

O vigor avaliado sob frio verifica a capacidade das sementes reorganizar as membranas sob condição de embebição mais lenta e perda de lixiviados, pela alta umidade e baixa temperatura (MARCOS FILHO, 2015b). Isto pode justificar os efeitos benéficos de níveis medianos de sombreamento (em média 30%) sobre o vigor das sementes de aveia branca produzidas em tais condições (Figura 24), semelhante a CE. Os resultados corroboram com Cigel *et al.* (2021), em trigo e Cigel *et al.* (2023) em soja, em que as sementes também foram produzidas sob sombreamento das plantas e apresentaram mesmo comportamento.

Para o vigor pelo envelhecimento acelerado (EA) ao submeter as sementes a condição de estresse em alta umidade e temperatura, propícia para deterioração, observou-se decréscimo do vigor em função da maior intensidade de sombreamento imposto sobre as plantas, porém, sem comprometer a manutenção da alta qualidade das sementes. O EA se caracteriza como um dos mais eficientes métodos para avaliação do vigor em sementes (MARCOS FILHO, 2015a), e, conforme os resultados encontrados, foi sensível em detectar diferenças entre as sementes oriundas de plantas produzidas sob intensidades crescentes de sombreamento.

Para o desempenho das plântulas avaliado através de massa seca de plântulas, houve redução conforme aumento da intensidade de sombreamento (Figura 4). Sementes de alto vigor apresentam atividade metabólica mais intensa, relacionada a mecanismos de mobilização de reservas, reparo, e síntese de novos tecidos, produzindo plântulas mais desenvolvidas (ABATI

*et al.*, 2018; KRZYZANOWISKI *et al.*, 2020). Com base nos resultados pode-se inferir a menor quantidade de tecidos de reservas das sementes para transformar as reservas dos tecidos e incorporá-lo ao eixo embrionário (BEWLEY *et al.*, 2013; PADILHA; COELHO; ANDRADE, 2020).

Considerando os resultados negativos obtidos (apresentados nos capítulos 1 e 2) para intensidades crescentes de sombreamento sobre a área foliar, massa seca das plantas, massa de grãos e rendimento de grãos, fatos que corroboram com Sgarbossa *et al.* (2020), , supõe-se que os efeitos prejudiciais no vigor das sementes visualizados pelo teste bioquímico de CE, seja pela diminuição nos fotoassimilados e destinação destes para as sementes (drenos) (ASSENG *et al.*, 2017), principalmente em altas intensidades de sombreamento (>50%). Isto, pode ser justificado possivelmente pelo leve comprometimento da disponibilidade de sacarose e lipídeos para manutenção da integridade das membranas, que se caracterizam por sua composição fosfolipídica (MARCOS FILHO, 2015a).

Fatores fisiológicos e bioquímicos relacionados ao acúmulo de reservas nas sementes são fatores determinantes para o vigor e desempenho inicial de plântulas (MARCOS FILHO, 2015a). Assim, a conversão dos fotoassimilados oriundos da planta-mãe em tecidos de reservas devem ser maximizados, para atender a demanda energética durante a germinação das sementes e posterior desenvolvimento das plântulas (GOFFMAN *et al.*, 2005).

#### 4.6 CONCLUSÕES

- i. O sombreamento das plantas nas orientações N/S e L/O, testadas nas condições do presente trabalho, não reduzem a qualidade fisiológica de sementes de aveia branca (URS Altiva), sendo que a orientação N/S provoca intermitência intensa (pleno sol/ sombra) durante o dia, em relação a L/O (baixa intermitência).
- ii. Intensidades crescentes de sombreamento reduzem o vigor das sementes de aveia branca pelo teste de CE e EA. O vigor se manteve acima de 96%, indicando a alta qualidade fisiológica das sementes produzidas pelas plantas sombreadas.
- iii. O vigor das sementes pelo teste de CE não foi prejudicado pelo sombreamento entre estádios 31 a 55 e 55 a 69.
- iv. A germinação das sementes de aveia branca oriundas de plantas sombreadas não foi afetada nas condições do experimento, com médias acima de 96%.

## 5 SOMBREAMENTO CONTÍNUO É PREJUDICIAL AO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE GRÃOS DE AVEIA BRANCA URS ALTIVA

### 5.1 RESUMO

Variações na radiação solar podem interferir no desenvolvimento das plantas, como visualizado em sistemas de integração lavoura-floresta. O conhecimento da tolerância das culturas anuais a tal condição é imprescindível para integrar sistemas produtivos e mais sustentáveis. Objetivou-se avaliar o desempenho de plantas de aveia branca sob diferentes níveis e orientações de faixas de sombreamento artificial, imposto durante o desenvolvimento sobre os parâmetros de crescimento, desenvolvimento e rendimento de grãos. Os experimentos foram realizados na área experimental do CAV/UEDESC, durante as safras 2020 e 2021, com a cultivar de aveia branca URS Altiva. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2+1, com três níveis de sombreamento contínuo (baixo - 25%; médio - 50%; alto -75%); duas orientações das faixas de sombra (norte/sul; leste/oeste), e como tratamento testemunha adicional, plantas sob pleno sol. O sombreamento foi imposto nas plantas da primeira folha expandida até fim do ciclo. Foram utilizadas quatro repetições por tratamento. Observou-se atraso na senescência das plantas sombreadas, redução de massa seca, área foliar, altura de plantas e componentes de rendimento, principalmente sob alto nível de sombreamento e orientação das faixas em norte/sul. Concluiu-se que nível de sombreamento baixo durante o ciclo de plantas de aveia branca da cultivar URS Altiva não causa prejuízos significativos ao seu desenvolvimento e produção. O sombreamento na orientação norte/sul, durante todo desenvolvimento das plantas, foi mais prejudicial do que sombreamento na orientação leste/oeste.

**Palavras-chave:** Adaptabilidade; *Avena sativa* L.; Produtividade; Radiação solar.

### 5.2 INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma espécie com crescente importância, principalmente na região Sul do Brasil. A expansão da cultura pode ser verificada através do aumento da produção e produtividade de grãos (CONAB, 2022), lançamento de novas cultivares por programas de melhoramento genético e por ser opção diversificada em sistemas

de cultivo, como rotação de culturas, cobertura de solo, pastagem para animais (PACHECO, 2021) e sistemas integrados de produção agrícola. Além disto, a aveia branca pode se caracterizar como cultura de inverno opcional na região, principalmente pelo baixo cultivo de culturas no inverno, em sucessão às grandes culturas de verão (BALBINOT JÚNIOR *et al.*, 2009).

Os sistemas de produção integrados são alternativas de otimização das áreas produtivas (BI *et al.*, 2019). Os sistemas integrados podem proporcionar retornos financeiros a curto e longo prazo (BURNER *et al.*, 2018). Como exemplo, pode-se citar sistemas de integração lavoura-floresta, em que arbóreas são implantadas entre faixas de cultivo de culturas anuais ou perenes (BURNER *et al.*, 2018). Por conseguinte, nestes sistemas os fatores ambientais locais podem ser afetados, como a radiação solar, a qual pode apresentar variações em incidência sobre as plantas do estrato inferior. Esta variação de luminosidade se deve, entre outros fatores, à posição solar, horário do dia, direção dos renques, distância entre as árvores, altura e formato do dossel e movimento de copa devido a ventos (CORDEIRO *et al.*, 2015; WAY; PEARCY, 2012).

A radiação solar é indispensável para o processo fotossintético, o qual é vital para os vegetais (STIRBET *et al.*, 2020). Assim, o rendimento das culturas está relacionado diretamente com a produção de fotoassimilados pelas folhas e/ou órgãos verdes das plantas, e posterior utilização eficiente destes para sintetizar material de reserva destinados ao desenvolvimento de grãos (GOFFMAN *et al.*, 2005). Assim, as plantas apresentam mecanismos internos de aumento da eficiência de utilização da luminosidade quando esta é de baixa intensidade ou mecanismos de reduzir e reparar danos induzidos por luz mais intensa (NEVO *et al.*, 2012).

A avaliação da tolerância da cultura da aveia ao ser cultivada sob condições de baixa disponibilidade de radiação solar ou sombreadas, pode proporcionar novas possibilidades de cultivo em sistemas integrados para a produção de grãos. Contudo, plantas de aveia preta produzidas em condições de redução da luminosidade em sistemas de integração com espécies arbóreas, apresentaram redução do índice de área foliar, taxa de crescimento, assimilação líquida e peso das folhas quando cultivadas em maior limitação da radiação solar (SGARBOSSA *et al.*, 2020), além de redução na matéria seca das plantas e produtividade de aveia preta, ao cultivá-las em consórcio com árvores nativas (NICODEMO *et al.*, 2016). Além disto, em estudo avaliando o desempenho de aveia branca cultivada próximo a fileiras de eucaliptos em sistema agroflorestal, verificou aumento na produtividade das plantas, conforme menor proximidade das fileiras (DEISS *et al.*, 2016).

A partir disso, verifica-se a necessidade de mais estudos em relação a adaptação e tolerância da aveia branca ao sombreamento. Assim, objetivou-se avaliar o desempenho de plantas de aveia branca da cultivar URS Altiva sob condições simuladas de sombreamento (níveis e direções) durante todo o ciclo (contínuo), sobre os parâmetros de crescimento, desenvolvimento e rendimento de grãos.

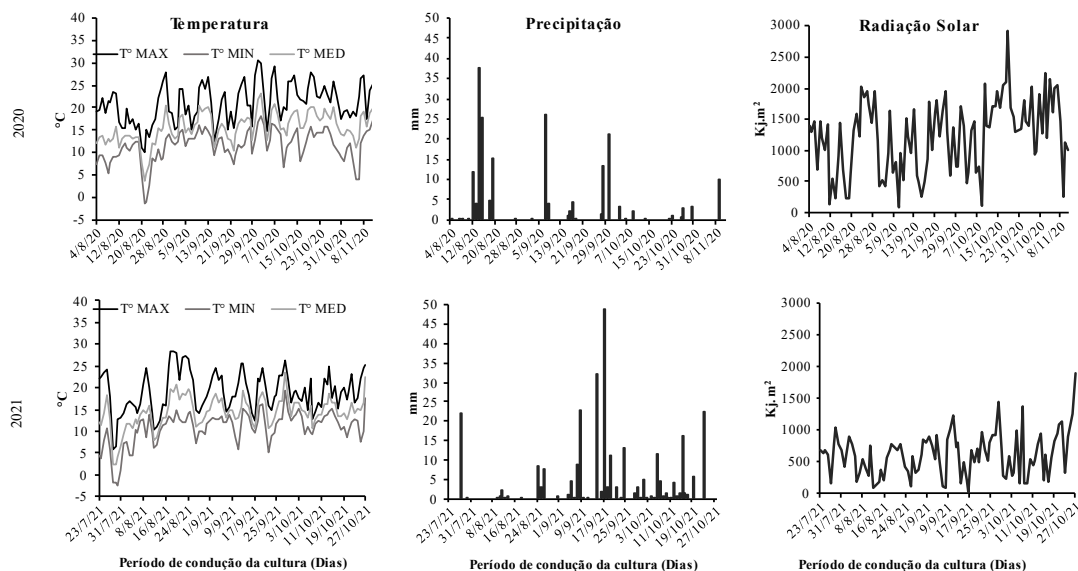
### 5.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 5.3.1 Implantação e condução dos experimentos

O estudo foi conduzido no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UEDESC), em Lages-SC, sob coordenadas geográficas 27° 52' latitude Sul, 50° 18' Longitude Oeste e altitude média de 930 m. O município possui temperatura média anual de 15,7 °C, precipitação de 1500 mm, segundo informações do Atlas Climático da Região Sul do Brasil (WREGE, 2012). O solo do local caracteriza-se como Cambissolo Alumínico Húmico com textura argilosa (EMBRAPA, 2013).

Os experimentos foram implantados nas safras 2020 e 2021, com a cultivar de aveia branca URS Altiva. Os dados climáticos de temperatura, precipitação e radiação solar incidente durante o período de condução de ambos os experimentos (Figura 28) foram compilados com base nos dados publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021).

Figura 28 — Dados de temperatura máxima ( $T^{\circ}$  MAX), mínima ( $T^{\circ}$  MIN) e média ( $T^{\circ}$  MED), precipitação e radiação solar global durante experimentos com sombreamento contínuo na cultura da aveia branca nas safras 2020/2020 e 2021/2021



Fonte: Adaptado de INMET, 2021. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

As datas de semeadura foram 04 de agosto de 2020 e 23 de julho de 2021. A adubação de base foi composta por  $400\text{ kg ha}^{-1}$  do adubo NPK formulado 5-20-10, e em cobertura utilizou-se de aplicação de  $30\text{ kg ha}^{-1}$  de N, parcelado nos estádios de perfilhamento e alongamento do colmo. A adubação foi realizada para potencial de produção de  $6,0\text{ t ha}^{-1}$ , conforme recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2016) com base na análise de solo. As características químicas do solo determinadas através da análise foram pH- água 6,5; Índice SMP 6,1; fósforo  $18,7\text{ mg dm}^{-3}$ ; potássio  $173,2\text{ mg dm}^{-3}$ ; H+Al  $43,0\text{ cmolc dm}^{-3}$ ; CTC pH 7,0 de  $18,4\text{ cmolc dm}^{-3}$ ; matéria orgânica 3,1% e saturação de bases (V) 48,0%.

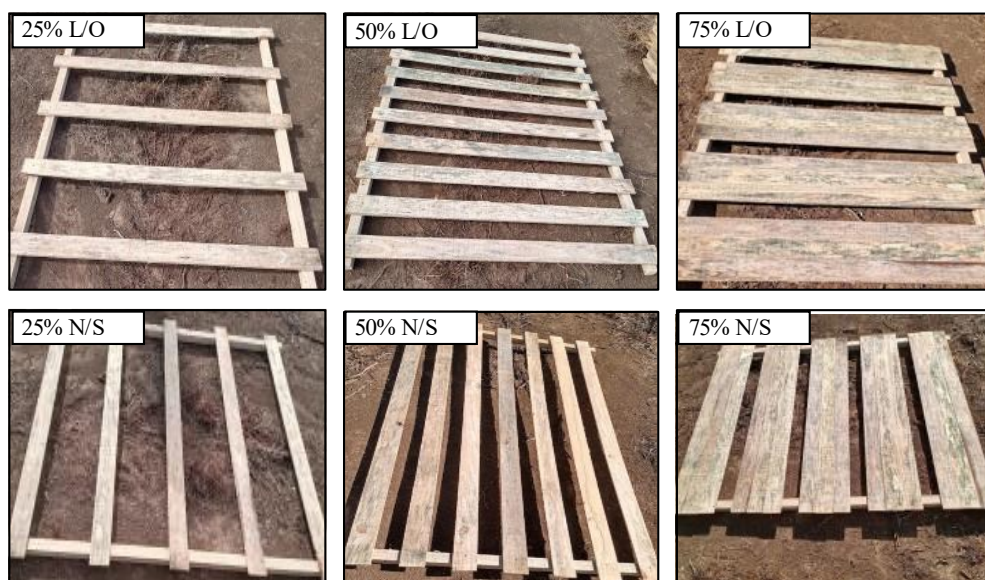
O controle de plantas daninhas durante o desenvolvimento da cultura foi realizado através metsulfurom metílico (Zartan®) e complementado por capina manual. O tratamento fitossanitário para controle de insetos e doenças conforme indicações técnicas para a cultura (MAPA, 2022). Em relação a disponibilidade hídrica, realizou-se complementação através de irrigação manual conforme a necessidade.

As estruturas de sombreamento utilizadas foram confeccionadas com madeira, de 1,5 m de comprimento e 1,5 m de largura, semelhante a Varela *et al.* (2011). Estas estruturas diferiam em distância de tábuas (níveis de sombreamento) e orientação de instalação (direção das tábuas



–leste/oeste e norte/sul), e instaladas com altura de 0,6 m e 1,2 m do nível do solo, conforme crescimento das plantas (Figura 29)

Figura 29 — Estruturas de madeira para simulação de sombreamento na cultura da aveia branca nas safras 2020 (a) e 2021 (b)



Os valores em percentual representam as intensidades de sombreamento (25, 50 e 75%); L/O: orientação leste/oeste; N/S: orientação norte/sul. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

A colheita se caracterizou pelo corte das plantas presentes na parcela útil, ou seja, nos 0,5 m lineares de cada fileira. Este, foi realizado quando as plantas do tratamento controle (sem sombreamento) se encontravam entre os estádios de massa dura (87) em 2020, e massa mole (85) na safra 2021 (ZADOKS, CHANG; KONZAK, 1974).

### 5.3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial  $2 \times 3 + 1$  sendo duas orientações das faixas de sombreamento, sentido norte/sul e leste/oeste; três níveis de limitação da radiação solar, sendo baixo (25%), médio (50%) e alto (75%); e tratamento adicional (testemunha) com plantas a pleno sol. Utilizou-se de quatro repetições, totalizando 28 parcelas experimentais. O delineamento utilizado baseou-se na viabilidade de condução, relacionada com o número de fatores, espaço disponível e avaliações periódicas. As condições locais utilizadas foram escolhidas pela maior homogeneidade possível de solo e radiação solar incidente.

O sombreamento sobre as plantas foi imposto a partir do estágio 11, ou seja, quando estas apresentavam a primeira folha laminar expandida, conforme escala fenológica de Zadoks (ZADOKS, CHANG; KONZAK, 1974), permanecendo sob tal condição até o final do ciclo. Cada parcela experimental foi composta por uma linha de semeadura de 1,0 m, com espaçamento entrelinhas de 0,20 m.

### 5.3.3 Variáveis analisadas

As avaliações foram realizadas durante o desenvolvimento da cultura e após o corte das plantas. Durante o desenvolvimento e crescimento das plantas, avaliou-se índices de clorofila, altura, área foliar e massa seca. Após o corte, realizou-se avaliação de componentes de rendimento, índice de colheita e retenção de grãos sobre peneiras.

Após a instalação das estruturas de sombreamento sobre as plantas, realizou-se semanalmente a avaliação de altura de plantas (distância da base da planta no nível do solo até a extremidade da última folha ou da panícula); avaliações indiretas de clorofila, realizadas através do índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*), com utilização do medidor portátil SPAD (SPAD-502 Plus, Konica Minolta) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) com medidor portátil de NDVI (NDVI 310, PlantPen). As avaliações foram realizadas em três plantas por unidade experimental previamente demarcadas durante todo período, de sete a 70 dias após a instalação das estruturas.

As determinações de massa seca de plantas e área foliar foram realizadas em intervalos de 30 dias (30 e 60 dias após imposição do sombreamento). A área foliar das plantas foi verificada através da medição de lâminas foliares com tecido fotossinteticamente ativo, de três plantas por unidade experimental, em aparelho medidor de área foliar de bancada (Lincoln LI-3100).

Após, as plantas (parte aérea) foram submetidas a secagem em estufa de circulação forçada de ar a  $65 \pm 2$  °C até estabilização do peso, para quantificação de massa seca. Para avaliação de componentes de rendimento, determinou-se o número de panículas e espiguetas, através da contagem nas plantas coletadas. Posteriormente, as plantas foram submetidas a secagem a  $65 \pm 2$  °C por 72 horas em estufa de circulação de ar forçado. O índice de colheita (IC) foi determinado através da pesagem da matéria seca das plantas, correspondente ao rendimento biológico, debulha, separação e pesagem dos grãos. Utilizou-se da seguinte fórmula (7):

$$IC (\%) = (RG / MSt) * 100 \quad (7)$$

onde *IC* se refere a índice de colheita, *RG* ao rendimento de grãos e *MSt* a massa seca total.

A massa de grãos ou rendimento foi obtido após a debulha manual, e a massa de mil grãos (MMG) pela contagem e verificação do peso de mil grãos de cada parcela. Já para retenção de grãos sobre peneiras, utilizou-se peneiras de crivos oblongos com diâmetros de 0; 1,75; 2,0; 2,2; 2,5; 3,22 mm x 22 mm seguido da determinação do peso de grãos retidos em cada peneira, com resultados expressos em percentagem.

### 5.3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e de homogeneidade das variâncias, e posteriormente submetidos a análise de variância pelo teste F à 5% de significância. Quando significativo, as médias das variáveis sob níveis de sombreamento e orientação, foram comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$  de probabilidade de erro). Os resultados de análises pós-colheita foram apresentados proporcionalmente em relação a testemunha, sendo esta, padrão de 100%.

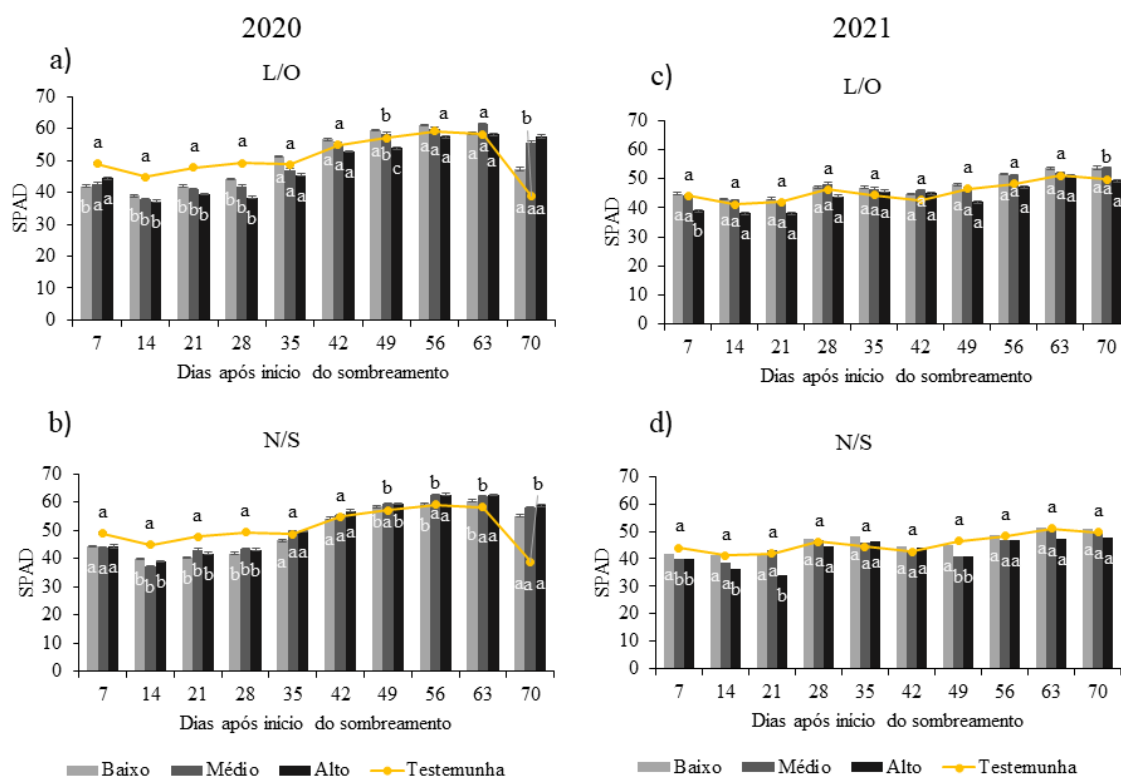
Realizou-se comparação entre tratamentos e testemunha pelo teste de Dunnett à 5% de significância. Utilizou-se software estatístico R (R Core Team, 2023).

## 5.4 RESULTADOS

### 5.4.1 Índices de clorofila

Os resultados para o índice SPAD (Figura 27) e NDVI (Figura 28) das plantas de aveia branca avaliados no decorrer do tempo, apresentaram variação em relação aos níveis de sombreamento e orientações, conforme dia de avaliação após a imposição da condição de sombreamento, para ambos os anos agrícolas (Tabela 3; Apêndice L e M). O índice SPAD das plantas conduzidas a sob pleno sol (testemunha) apresentou maior média nas primeiras semanas de avaliação após o início do sombreamento nas demais, enquanto nas semanas finais houve efeito inverso, com maior SPAD em plantas cultivadas sob nível alto de sombreamento (Figura 30).

Figura 30 — Evolução do índice SPAD de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; \*Letras iguais não diferem entre tratamentos e testemunha pelo teste de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ). Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Verificou-se para 2020 maior diferença nos períodos iniciais (SPAD maior à pleno sol) e finais (SPAD maior sob sombreamento) de avaliação para ambos os níveis e orientações, enquanto para 2021, a diferença inicial se limita ao nível alto de sombreamento e orientação norte/sul, principalmente, e no final das avaliações em leste/oeste (Figura 30). Destaca-se, que no período de avaliação realizada em 70 dias após o início do sombreamento, as plantas já se encontravam nos estádios próximos a maturidade, contudo em 2021 houve atraso no ciclo.

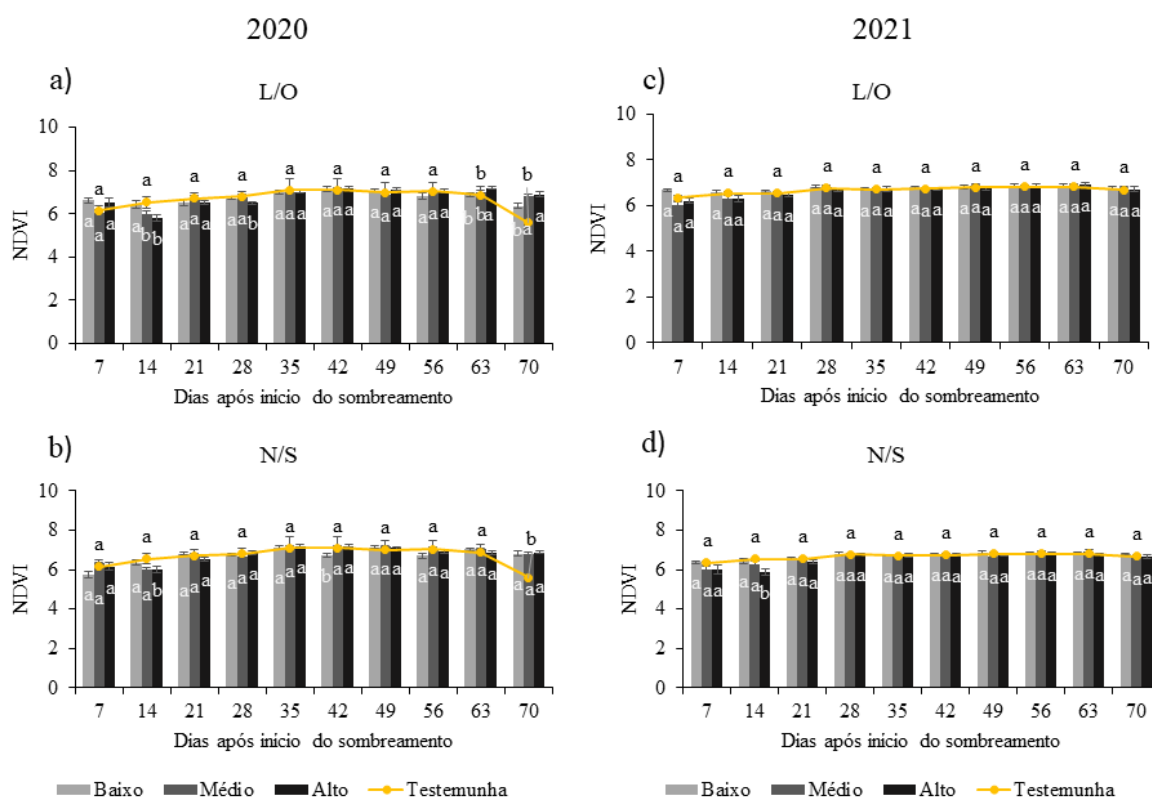
O índice SPAD na safra 2020 apresentou efeito significativo para interação entre níveis e orientações, em 35, 42, 49 e 56 dias após o início do sombreamento sobre as plantas. Verificou-se que nível alto de sombreamento em orientação leste/oeste, proporcionou menor média para SPAD, com redução entre 6,1 e 12,8 unidades SPAD, comparados com nível baixo. Ademais, em 35 e 42 dias, observou-se diminuição do índice SPAD das plantas para nível médio sob orientação leste/oeste, representando 1,6 a 2,3%, respectivamente. O índice SPAD das plantas sob nível médio de sombreamento leste/oeste, em 63 dias, apresentou incremento de 5,2%, em relação à média das demais intensidades (Apêndice N).

Para SPAD aos 7 dias (2021) houve efeito de interação entre os fatores, sendo que para orientação leste/oeste, houve redução de 4,9% sob nível alto de sombreamento, em relação aos demais testados. Ademais, verificou-se diferença entre as orientações, em que sob nível baixo e médio, plantas sombreadas com faixas de orientação leste/oeste apresentaram maiores médias (44,6), em relação a norte/sul (40,8). Nas avaliações realizadas em 21, 28 e 49 dias, houve efeito simples de nível, e em 14, 56, 63 e 70 dias para nível e orientação de sombreamento (Apêndice N).

No geral, plantas de aveia branca cultivadas sob baixo nível de sombreamento, apresentaram maiores médias para SPAD, em relação ao nível alto, com incremento variando de 6,6 a 18,0%, conforme período de avaliação. Houve diferença entre as orientações em 14, 56, 63 e 70 dias, em que a direção leste/oeste se destacou pelas maiores médias para SPAD, em relação a norte/sul, cujas médias variaram entre 41,2 e 52,2, e 38,7 a 49,7, respectivamente (Apêndice N).

Para NDVI, verificou-se diferença entre tratamentos e testemunha, principalmente em 2020. Maior contraste entre tratamentos e controle foi verificado em 70 dias (2020), em que maioria das plantas sombreadas apresentaram índice NDVI maior que sob pleno sol (Figura 31), indicando um atraso na maturação, semelhante ao comportamento identificado através da avaliação via índice SPAD (Figura 30).

Figura 31 — Evolução do índice NDVI de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; \*Letras iguais não diferem entre tratamentos e testemunha pelo teste de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ). Fonte: Elaborada pela autora (2023).

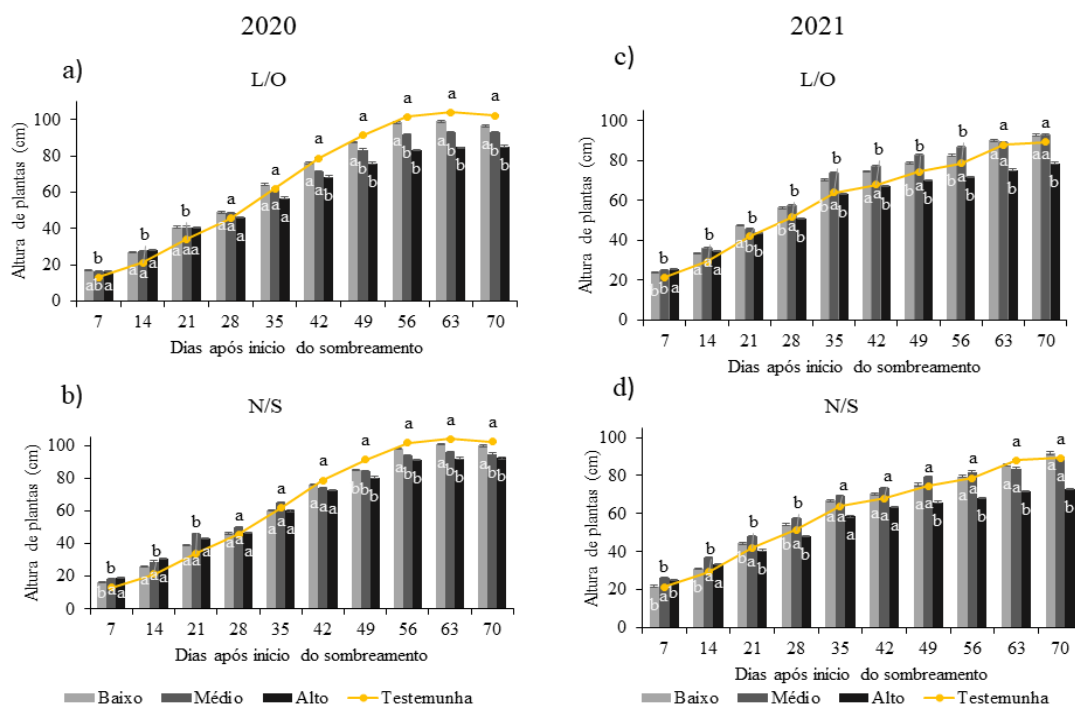
O índice de clorofila quando avaliado de maneira indireta através do NDVI, apresentou efeito em 2020 para 28, 42 e 63 dias, com interação significativa entre os fatores níveis e orientações de sombreamento. O NDVI em 28 dias, sob orientação leste/oeste e nível alto de sombreamento, diferiu dos demais (média de 6,8) com menor valor, de 6,5. Isto foi verificado também sob nível baixo e orientação de sombreamento norte/sul aos 42 dias, com valor de 6,7 e 6,4% a menos que a média dos demais. Já em 63 dias, o NDVI apresentou redução entre as orientações no nível alto de sombreamento, com redução (5,6%) para norte/sul, e entre os níveis, sendo menor índice sob baixa intensidade (6,9) de sombreamento, diferindo com alto (7,2) (APÊNDICE O).

#### 5.4.2 Crescimento

A altura das plantas cultivadas sob os diferentes níveis e orientações de sombreamento, diferiu do tratamento testemunha no início e final do ciclo. Inicialmente, as plantas sombreadas

apresentaram maior altura, porém, em estádios finais do ciclo apresentaram-se menores, em relação as plantas sob pleno sol. Esta tendência foi confirmada em ambas as safras (Figura 32).

Figura 32 — Altura de plantas de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021



\*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; \*Letras iguais não diferem entre tratamentos e testemunha pelo teste de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ). Fonte: Elaborada pela autora (2023).

A altura das plantas de aveia branca, avaliadas ao longo do ciclo, apresentou efeito significativo para interação entre os níveis e orientações de sombreamento em 2020, e fatores isolados em 2021. Na primeira safra, houve significância para altura de plantas entre os tratamentos a partir de 42 dias após início do sombreamento. A altura de plantas sob nível alto de sombreamento foi menor, aliado a orientação leste/oeste principalmente, com reduções variando de 11,3 a 19,1%. Contudo, em 2021 obteve-se efeito prejudicial de sombreamento sob nível de sombreamento alto na maioria das avaliações, com redução de até 21,7% na altura. Entre as orientações, as menores médias foram para norte/sul (<6,7%) (Apêndice P).

Para área foliar (AF) e massa seca (MS) das plantas, em 30 e 60 dias após a imposição do sombreamento, verificou-se efeito dos níveis testados, exceto para AF aos 60 dias, cuja diferença obtida foi entre as orientações testadas, na média das intensidades avaliadas. Para AF e MS houve efeitos negativos sob nível de sombreamento alto, em relação ao baixo, cujas médias obtidas foram as maiores, em ambas as safras avaliadas. A redução de AF e MS sob

nível alto variou entre 3,9 e 45,6%, e 46,0 a 92,9%, respectivamente, em relação a intensidade baixa, entre os anos e período de avaliação (Tabela 3).

Para AF das plantas aos 30 dias, houve efeito negativo de sombreamento em intensidade média e alta, em comparação com plantas do tratamento testemunha (pleno sol) em 2020 ( $138,0 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{planta}^{-1}$ ) e 2021 ( $165,3 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{planta}^{-1}$ ). A AF das plantas sombreadas em 30 dias apresentou valores entre 93,3 à  $108,4 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{planta}^{-1}$  (2020), e 87,6 a  $130,8 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{planta}^{-1}$  (2021). Contudo, houve maior AF sob nível médio de sombreamento em 60 dias (2021), cujas médias foram de 296,7 e  $289,9 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{planta}^{-1}$ , para as orientações leste/oeste e norte/sul, respectivamente (Tabela 3).

A MS de plantas diferiu da testemunha por apresentar menores resultados, principalmente sob níveis médio e alto de sombreamento, indicando efeitos negativos de tais condições para tal variável em 30 e 60 dias, e em pré-colheita. Em 2020, a massa seca de plantas de aveia branca (2020) sob nível de médio e alto (50 e 75%, respectivamente) apresentaram menores médias aos 30 e 60 dias após o início do sombreamento. As reduções, em relação a testemunha ( $0,8 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$ ), foram de até 46,3 e 43,7%, para as avaliações, respectivamente (Tabela 3).

Em 2021, em ambas as avaliações e ao final do ciclo, as menores MS de plantas foram observadas para o nível de sombreamento alto (75%), com reduções de até 55,8% (30 dias), 28,7% (60 dias) e 36,1% (final do ciclo) (Tabela 3). Para MS final (2021), houve efeito também para as orientações de sombreamento, no qual observou-se aumento na MS sob orientação leste/oeste, 9,1%, em relação ao sombreamento em orientação norte/sul (213,7 g) (Tabela 3).



Tabela 3 — Área foliar (AF) e massa seca de plantas (MS) de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021

Orientação	Níveis de Sombreamento							
	2020				2021			
	Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média
AF 30 Dias (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )								
L/O	126,98 <sup>ns</sup>	113,90	98,72 *	113,20 <sup>ns</sup>	155,61 <sup>ns</sup>	130,79 *	103,44 *	129,95 a
N/S	119,31	108,43 *	93,30 *	107,01	122,59 *	132,61	87,59 *	114,26 b
Média	123,15 A	111,17 AB	96,01 B		139,10 A	131,70 A	95,52 B	
T	137,96				165,25			
AF 60 Dias (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )								
L/O	176,02 <sup>ns</sup>	176,22	168,91	173,72 a	228,67 <sup>ns</sup>	296,69 *	211,25	245,54 <sup>ns</sup>
N/S	147,64	169,75	158,76	158,71 b	211,04	289,90 *	211,99	237,64
Média	161,83 <sup>ns</sup>	172,98	163,83		219,85 B	293,30 A	211,62 B	
T	151,51				174,41			
MS 30 Dias (g.planta <sup>-1</sup> )								
L/O	0,66 <sup>ns</sup>	0,55 *	0,40 *	0,53 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,53 *	0,43 *	0,57 <sup>ns</sup>
N/S	0,63 *	0,50 *	0,47 *	0,53	0,55	0,58	0,31 *	0,48
Média	0,64 A	0,52 B	0,43 B		0,65 A	0,55 A	0,34 B	
T	0,80				0,77			
MS 60 Dias (g.planta <sup>-1</sup> )								
L/O	3,17 <sup>ns</sup>	2,70 *	2,01 *	2,63 <sup>ns</sup>	2,72 <sup>ns</sup>	2,77	1,81	2,43 <sup>ns</sup>
N/S	3,05	2,43 *	2,18 *	2,55	2,35	2,54	1,67	2,19
Média	3,11 A	2,57 B	2,10 C		2,54 A	2,66 A	1,74 B	
T	3,73				2,44			
Massa Seca final (g.planta <sup>-1</sup> )								
L/O	209,06 <sup>ns*</sup>	193,19 *	168,21 *	190,15 <sup>ns</sup>	276,05 <sup>ns</sup>	238,93	184,69 *	233,19 a
N/S	182,28 *	177,82 *	180,99 *	180,36	232,91 *	242,34	165,98 *	213,74 b
Média	195,67 <sup>ns</sup>	185,50	174,60		254,48 A	240,59 A	175,33 B	
T	255,16				274,27			

\*Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ); \*: médias diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ). ns: diferença estatística não significativa. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

### 5.4.3 Componentes de rendimento

O número de panículas por metro linear na safra 2020 apresentou proporção média de 111,5%, em relação a testemunha a pleno sol (100%), sob alta intensidade de sombreamento, enquanto sob intensidade baixa, a média foi de apenas 93,3%. No entanto, em 2021 sob nível baixo obteve-se 98,6% panículas por metro linear, enquanto os demais níveis médio e alto, atingiram somente 89,3 e 82,6% do total de plantas sob pleno sol. Na segunda safra, o número de panículas de plantas sombreadas principalmente sob alto nível de sombreamento (82,6%) diferiu da testemunha (100%) com redução de 17,4% no número de panículas independente da orientação testada (Tabela 4).

Em relação ao número de grãos, verificou-se significância para a interação entre os fatores em 2021, no qual os tratamentos sombreados em intensidades média e alta em orientação N/S foram afetados. Em relação as orientações, verificou-se que sob sombreamento baixo e orientação norte/sul apresentaram menor número de grãos, comparadas com leste/oeste e testemunha (Tabela 4). O número de grãos foi afetado nas orientações leste/oeste e norte/sul, sob nível intenso de sombra. O número de grãos sob baixo nível e orientação leste/oeste não diferiu da testemunha.

A massa de grãos foi impactada negativamente nas plantas sombreadas em relação a testemunha para ambas as safras testadas, principalmente sob médio e alto nível (Tabela 4). Em 2021, houve diferença entre as intensidades testadas, em que sob baixo nível de sombra a massa de grãos apresentou maior proporção comparado com os demais níveis, com 78,6%, em relação a testemunha (Tabela 4).

Em ambas as safras, observou-se que a MMG de aveia branca sombreadas principalmente sob níveis médio e alto, em ambas as orientações diferiram da testemunha, indicando efeito negativo de tais condições a massa de mil grãos (Tabela 4). AMMG apresentou efeito de interação entre níveis e orientações de sombreamento para safra 2020. A MMG sob nível alto de sombreamento em ambas as orientações, e médio em norte/sul apresentou menor proporção em relação aos demais níveis, assim como comparado a testemunha, com médias proporcionais à testemunha (100%), sendo de 69,6% em leste/oeste (nível alto) e em norte/sul de 81,1 (médio) e 78,7% (alto). Já na segunda safra, a MMG foi de 84,3% e 86,9%, para L/O e N/S, respectivamente.

Tabela 4 — Percentuais de número de panículas e grãos, massa de grãos, massa de mil grãos (MMG) e índice de colheita (IC) de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021

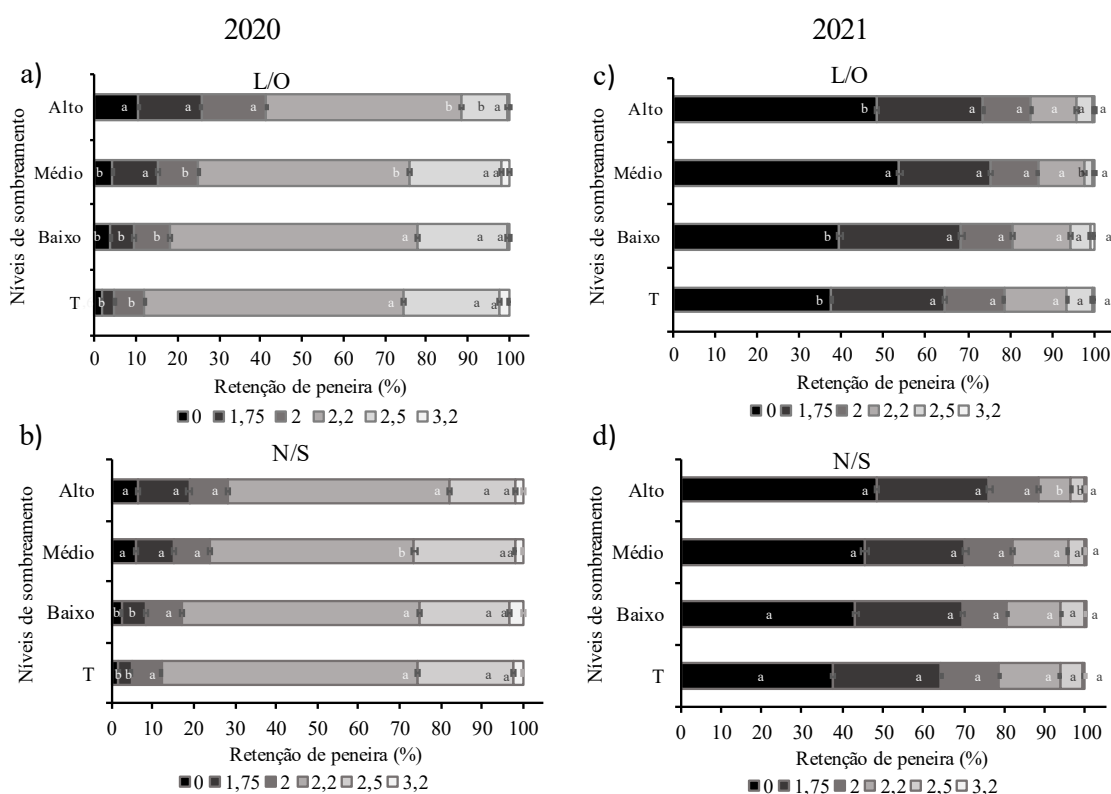
Direção	Níveis de Sombreamento							
	2020				2021			
	Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média
Número de Panículas por metro linear (% em relação a testemunha)								
L/O	104,86 <sup>ns</sup>	101,72	96,46	101,01 <sup>ns</sup>	102,65 <sup>ns</sup>	91,31	83,54 <sup>*</sup>	92,50 <sup>ns</sup>
N/S	110,38	94,11	87,91	104,87	94,44	87,67 <sup>*</sup>	81,67 <sup>*</sup>	87,83
Média	93,25 <sup>B</sup>	104,05 <sup>AB</sup>	111,53 <sup>A</sup>		98,55 <sup>A</sup>	89,34 <sup>B</sup>	82,61 <sup>B</sup>	
T	100,00 (97,00 panículas por metro linear)				100,00 (186,50 panículas por metro linear)			
Número de Grãos por metro linear (% em relação a testemunha)								
L/O	86,32 <sup>ns</sup>	95,61	88,72	90,22 <sup>ns</sup>	101,64 <sup>aA</sup>	75,52 <sup>aB*</sup>	54,48 <sup>aC*</sup>	77,21 <sup>a</sup>
N/S	83,02	93,04	97,48	91,18	72,71 <sup>bA*</sup>	75,90 <sup>aA*</sup>	48,72 <sup>aB*</sup>	65,78 <sup>b</sup>
Média	84,67 <sup>ns</sup>	94,33	93,10		87,17 <sup>A</sup>	75,71 <sup>B</sup>	51,60 <sup>C</sup>	
T	100,00 (2764,22 grãos por metro linear)				100,00 (2966,70 grãos por metro linear)			
Massa de Grãos por metro linear (% em relação a testemunha)								
L/O	75,93 <sup>ns*</sup>	83,15	61,58 <sup>*</sup>	73,55 <sup>ns</sup>	90,63 <sup>ns</sup>	63,14 <sup>*</sup>	45,02 <sup>*</sup>	66,26 <sup>ns</sup>
N/S	75,52 <sup>*</sup>	75,90 <sup>*</sup>	75,50 <sup>*</sup>	75,64	66,62 <sup>*</sup>	65,08 <sup>*</sup>	41,08 <sup>*</sup>	57,59
Média	75,72 <sup>ns</sup>	79,53	68,54		78,62 <sup>A</sup>	64,11 <sup>B</sup>	43,05 <sup>C</sup>	
T	100,00 (86,55 g de grãos por metro linear)				100,00 (33,34 g de grãos por metro linear)			
Massa de Mil Grãos (% em relação a testemunha)								
L/O	87,87 <sup>aA*</sup>	87,06 <sup>aA*</sup>	69,60 <sup>aB*</sup>	81,51 <sup>ns</sup>	88,87 <sup>ns</sup>	83,39 <sup>*</sup>	80,74 <sup>*</sup>	84,33 <sup>ns</sup>
N/S	92,52 <sup>aA</sup>	81,14 <sup>aB*</sup>	78,66 <sup>bB*</sup>	84,10	91,34	85,58 <sup>*</sup>	83,79 <sup>*</sup>	86,90
Média	90,20 <sup>A</sup>	84,10 <sup>A</sup>	74,13 <sup>B</sup>		90,11 <sup>ns</sup>	84,48	82,27	
T	100,00 (31,38 g)				100,00 (11,27 g)			
Índice de Colheita (% em relação a testemunha)								
L/O	91,55 <sup>ns</sup>	109,04	92,36	97,65 <sup>b</sup>	89,73 <sup>ns</sup>	72,09 <sup>*</sup>	66,34 <sup>*</sup>	76,06 <sup>ns</sup>
N/S	103,97	106,55	105,49	105,34 <sup>a</sup>	78,54	73,59 <sup>*</sup>	67,90 <sup>*</sup>	73,35
Média	97,76 <sup>ns</sup>	107,80	98,93		84,14 <sup>A</sup>	72,84 <sup>AB</sup>	67,12 <sup>B</sup>	
T	100,00 (33,90%)				100,00 (12,18%)			

\*Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). ns: diferença estatística não significativa. N/S: norte/sul; L/O: leste/oeste; T: testemunha. Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Para o IC, observou-se efeito entre as orientações para a primeira safra, 2020, e níveis de sombreamento em 2021. O IC de aveia branca em 2020 sob orientação norte/sul (105,3%) foi maior, comparado a leste/oeste (97,7%), com base na proporção em relação a testemunha (10%). Ademais, na safra 2021, o IC não diferiu entre as orientações, sendo de apenas 73,4 e 76,1%, para norte/sul e leste/oeste, respectivamente, comparadas a testemunha (100%). O IC sob nível de sombreamento baixo (2021) diferiu do nível alto, com 84,1 e 67,1%, comparadas a testemunha (100%) (Tabela 4).

Em relação ao percentual de retenção de grãos em peneiras em ambas as safras, observou-se diferença para testemunha (grãos oriundos de plantas conduzidas a pleno sol) na comparação com os obtidos de plantas sombreadas. O percentual de retenção de grãos obtido em peneiras de crivos 1,75 mm foi maior sob nível alto e médio de sombreamento, com média entre as orientações, de 13,8 e 10,2%, respectivamente em relação a testemunha (1,6%). Efeito semelhante foi obtido para grãos não retidos (chochos), cujo percentual sob alto nível, na média das orientações, foi de 8,4%, aumento de 6,8% em relação a testemunha (Figura 33).

Figura 33 — Retenção de peneira de grãos oriundos de plantas de aveia branca cultivadas sob diferentes níveis e orientações de sombreamento durante o ciclo, nas safras 2020 e 2021



T: Testemunha; \*Barras representam erro padrão da média de cada tratamento; \*Letras iguais não diferem entre tratamentos e testemunha pelo teste de Dunnett ( $p \leq 0,05$ ). Fonte: Elaborada pela autora (2023).

O tamanho dos grãos avaliado através da retenção sobre peneiras em 2020, apresentou efeito para níveis de sombreamento para peneiras de 2,5; 2,2; 1,75 e 0, e interação entre níveis e orientações, para peneira com 2,0 mm de diâmetro dos crivos (Figura 30). O percentual de retenção de grãos em peneiras de crivo 2,5 e 2,2 foi maior sob nível baixo de sombreamento (21,4%), principalmente, diferindo do nível alto (13,3%). Porém, comportamento inverso foi observado para crivo de 1,75 e 0, em que os menores percentuais de retenção foram obtidos sob nível baixo, com 5,8 e 3,0%, respectivamente. Além disto, o percentual de retenção de grãos em peneiras de crivo 1,75 e 0 (não retidos) de plantas sombreadas em níveis médio e alto, foi superior em relação a testemunha, com incrementos de até 38,0%, indicando produção de grãos com menor acúmulo de reservas (Figura 33).

Em 2021, o percentual de retenção diferiu entre os níveis somente nas peneiras de crivos de 2,5 e 2,2 mm. As maiores médias de retenção foram observadas para peneira de crivo 2,5 mm sob nível baixo (5,2%), e peneira 2,2 mm sob baixo (13,5%) e médio (12,3%) (Apêndice Q), confirmando que sob sombreamento os grãos possuem menos reservas acumuladas Figura 33).

## 5.5 DISCUSSÃO

### 5.5.1 Índice de clorofila

Os resultados obtidos indicam que o nível alto (75%) de sombreamento testado, aliado a orientação norte-sul, no geral, proporcionaram prejuízos aos índices de clorofila, altura e massa seca de plantas, ao RG e aos componentes de rendimentos avaliados. As plantas de aveia branca do tratamento testemunha (pleno sol) apresentaram-se com melhor desempenho na maioria das variáveis, em relação às sombreadas, principalmente sob nível alto. Porém, as plantas cultivadas sob baixa intensidade de sombreamento, não diferiram, ou apresentaram pequena diferença da testemunha, indicando possível tolerância a tal condição.

Os ambientes em sistemas integrados ou silvipastoris apresentam condições ambientais locais dinâmicas, alterando a estrutura das plantas, comparadas àquelas sob pleno sol, o que indica que a capacidade de adaptação morfológica das espécies em ambientes sombreados deve ser incluída nas análises de manejo da cultura escolhida em tal sistema (GARCEZ NETO *et al.*, 2010). Com base nos resultados, pôde-se observar que as plantas sombreadas sob nível alto foram afetadas quanto ao seu desenvolvimento e rendimento de grãos, porém, sob nível baixo,

não houve efeitos deletérios significativos, indicando a possível adaptação das plantas a tal condição. Em relação às orientações, os resultados indicam que sombreamento proporcionado por faixas de simulação leste/oeste, favoreceu o desenvolvimento da cultura.

Condições meteorológicas variáveis conforme os anos, como precipitação e temperatura também interferem nas respostas das plantas (MATYSIAK, 2006). A época de semeadura da cultura da aveia branca caracteriza a faixa de temperatura, comprimento do dia e soma térmica a ser acumulada, que estas estarão submetidas durante o ciclo, influenciando na velocidade de desenvolvimento e crescimento, número de fitômeros e no florescimento, sendo as cultivares mais precoces as mais sensíveis a tais variações ambientais (SPONCHIADO, 2017). Em relação as duas safras, observou-se maior disponibilidade de radiação solar as plantas durante o desenvolvimento em 2020. Porém, em 2021, os dados meteorológicos indicam maior índice de precipitação em 2021, aliado à temperaturas mais amenas e menor disponibilidade de radiação solar. Fato que pode justificar a intensificação dos efeitos de redução da radiação solar sobre as plantas no segundo ano de cultivo, e proporcionando maiores prejuízos ao crescimento e produção.

O conteúdo de clorofila nas plantas está relacionado com a eficiência fotossintética destas, pois são pigmentos que atuam na fase fotoquímica da fotossíntese, especializados na captura de luz (TAIZ *et al.*, 2017). As avaliações dos índices SPAD e NDVI demonstraram os efeitos negativos de altos níveis de sombreamento sob o conteúdo de clorofila das plantas logo após a imposição do sombreamento, principalmente sob alto nível, indicando possível estresse pela alteração de condição luminosa, com posterior recuperação.

Corroborando com os resultados encontrados, Yang *et al.* (2020) observaram que cultivares de trigo sensíveis sob intensidades maiores de sombreamento e duração apresentaram redução no teor de clorofila e danos no aparelho fotossintético da folha. Wang *et al.* (2020) observaram que sob redução de luminosidade de 30 e 50% imposto após o espigamento, plantas de milho apresentaram redução na produtividade de até 70%, no acúmulo de biomassa, clorofila foliar, conteúdo de proteína solúvel e atividade das enzimas relacionadas ao metabolismo de nitrogênio, como nitrato redutase, glutamina sintetase e glutamato sintase. Porém, estes estudos observaram incremento na translocação dos assimilados armazenados nos órgãos vegetativos no período anterior.

Ao final do ciclo da cultura, os resultados para maior índice de clorofila em plantas sombreadas podem inferir sobre o efeito de sombreamento no atraso da senescência foliar e aumento no ciclo das plantas. Pois, sabe-se que para ocorrer avanço do processo da senescência,

há necessidade de redução no teor de clorofila foliar, pois há maior velocidade de degradação destes pigmentos (JESPERSEN; ZHANG; HUANG, 2016). Além disto, o atraso no ciclo das plantas em 2021 pode estar relacionado as menores temperaturas e incidência de radiação solar, quando comparada ao ano de 2020.

Os resultados com aveia branca corroboram com os resultados obtidos por Yasin *et al.* (2019) relacionados ao atraso do desenvolvimento das plantas sob sombreamento, os quais observaram que algumas espécies de plantas daninhas necessitaram de maior período para iniciar o florescimento quando submetidas a redução da intensidade de radiação solar diária. Ademais, Inurreta-Aguirre *et al.* (2018) verificaram que plantas de trigo produzidas em sistema agroflorestal com redução em média de 50% de radiação solar, alcançaram a maturidade mais tardiamente em relação ao cultivo a pleno sol, variando de dias a semana, conforme as safras de cultivo. Já Zhang *et al.* (2019) observaram que o sombreamento em plantas mutantes de floração precoce e senescência prematura, de cultivar arroz causou atraso na senescência das folhas e incremento no rendimento, pelo fato de haver menor acúmulo de espécies reativas de oxigênio nestas. Estes, resultados remetem às diferenças no tempo térmico, verificado no sistema agroflorestal, aquecimento do ar durante a noite e resfriamento do ar durante o dia.

### 5.5.2 Crescimento

A baixa intensidade de radiação solar sobre as plantas interfere na taxa fotossintética (JUMRANI; BHATIA, 2020; LI *et al.*, 2014; MU *et al.*, 2010; POORTER *et al.*, 2019; WANG; DENG; REN, 2015), menor crescimento (YASIN *et al.*, 2019), massa seca e produtividade de grãos (JUMRANI; BHATIA, 2020). Os resultados para altura e massa seca de aveia branca foram prejudicados sob condições sombreadas em alta intensidades. A altura inicial das plantas sombreadas indicou efeito de estiolamento do colmo. Posteriormente, visualizou-se prejuízo ao desenvolvimento das plantas em estatura e acúmulo de matéria seca, em relação a plantas cultivadas a pleno sol, visualizado através dos resultados no final do ciclo das plantas.

A maior altura das plantas sob intensidade alta de sombreamento no início do desenvolvimento pode ter ocorrido devido às respostas à síndrome de evitação a sombra, em que há realocação dos fotoassimilados para promover maior alongamento dos entrenós, aliado a redução do diâmetro (STAMM; KUMAR, 2010; ZHANG *et al.*, 2020). Estes resultados corroboram com Li *et al.* (2010) ao testarem níveis de sombreamento de 0, 8, 15 e 23% impostos

na cultura do trigo do emborrachamento até a maturidade, em que os colmos se apresentaram alongados e com menor massa seca por unidade de entrenó das plantas.

Os efeitos para o acúmulo de massa seca nas plantas pode estar diretamente relacionado com a redução na relação fonte-dreno (ASSENG *et al.*, 2017). O efeito benéfico de nível baixo de sombreamento, pode-se relacionar pelo efeito favorável desta condição oferecida as planta para a taxa fotossintética e possivelmente diminuição da condição de saturação (KANNIAH *et al.*, 2012). A cultura se caracteriza por possuir metabolismo fotossintético C3 (CASTRO *et al.*, 2012), apresentando saturação da assimilação de CO<sub>2</sub> em condições com 30 a 40% do total da radiação, correspondente a 600-900  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (ILIC; FALLIK, 2017).

### 5.5.3 Componentes de rendimento

A redução no número de panículas nas plantas pode estar intimamente ligada a interferência da falta de luminosidade sobre a taxa de emissão de folhas no colmo principal e folhas nos perfilhos, fato este também observado por Tilley *et al.* (2019), em que plantas de trigo sob sombreamento contínuo apresentaram menor número de folhas. Isto, devido a emissão de novos perfilhos ocorrer quando as reservas das plantas estarem superiores ao necessário e ao seu crescimento (CHARLES-EDWARDS; 1984). Sendo assim, o acúmulo de fotoassimilados pode ter sido prejudicado com a restrição intensa de radiação solar, e então limitado o desenvolvimento de novos perfilhos nas plantas. Estes resultados corroboram os obtidos em plantas de aveia (DIETZ *et al.*, 2023), e em braquiárias *Urochloa. decumbens* e *U. brizantha* (MARTUSCELLO *et al.*, 2009).

A condição de restrição de radiação solar contínua sob as plantas durante seu desenvolvimento pode ter afetado a polinização das espiguetas (KOBATA *et al.*, 2013; DENG *et al.*, 2021) e conseqüentemente a formação dos grãos. Além disto, aumentou a quantidade de espiguetas vazias e menor enchimento destas (WANG; DENG; REN, 2015). Fatos estes que podem justificar os resultados para diminuição do número de grãos por metro linear das plantas de aveia branca sombreadas. Nicodemo *et al.* (2016) ao cultivarem aveia preta em sistemas de integração com árvores, verificaram aumento na matéria seca das plantas, massa de mil grãos, número de grãos por panícula e panículas por metro quadrado, quando em maior distância com fileiras de árvores nativas, onde a radiação fotossinteticamente ativa disponível à cultura anual era maior, porém, indicando efeitos prejudiciais de altos níveis de sombra quando as plantas estavam mais próximas das árvores.



A massa de grãos de aveia branca (quantificada por metro linear de cultivo) obtida de plantas produzidas sob níveis e orientações de sombreamento contínuo também se mostrou sensível à condição, assim como a MMG em ambos os anos agrícolas, as quais diminuíram seus valores nos maiores níveis de sombreamento. Considerando a importância da fonte na relação fonte/dreno durante o desenvolvimento das plantas e na formação de grãos, pode-se relacionar os resultados com o efeito prejudicial de limitação da quantidade de tecidos fonte pela imposição da restrição radiação solar (ASSENG *et al.*, 2017). Estes resultados podem estar relacionados à redução da taxa fotossintética e danos no aparelho fotossintético, aliados a diminuição no teor de clorofila e condutância estomática (YANG *et al.*, 2020). Assim, pode ter afetado a fase de perfilhamento, a diferenciação do primórdio floral, a antese e o enchimento de grãos nas plantas de aveia. Estes estádios se caracterizam pela determinação do número de panículas por planta, espiguetas, e número e massa de grãos, respectivamente (LUCHE *et al.*, 2021).

Resultados semelhantes foram encontrados por Yang *et al.* (2019) ao cultivar trigo em sistemas agroflorestais. Estes, verificaram que próximas as árvores, as plantas reduziram o teor de clorofila, índice de área foliar, taxa fotossintética e condutância estomática, biomassa de plantas, número de grãos e massa de mil grãos, quando comparados ao monocultivo.

A redução no índice de colheita (IC) das plantas sob condição sombreada, indica que tal condição afetou a destinação de fotoassimilados aos grãos, devido a menor taxa de crescimento e acúmulo destes nas plantas (LABRA *et al.*, 2017). Inurreta-Aguirre *et al.* (2018) verificaram redução da produtividade de plantas de trigo ao avaliar o efeito de sistemas de cultivo a pleno sol e agroflorestais sobre os genótipos, cujas médias obtidas foram de 203,0 e 62,0 g.m<sup>-2</sup> respectivamente, em 2016, devido a diminuição de perfilhamento, espiguetas e número de grãos de plantas. Além disto, os mesmos verificaram variação nos resultados para IC sob ambos os sistemas e anos, em que sob sistema agroflorestal, a média para IC foi de 0,29 e 0,21, enquanto plantas sob pleno sol apresentaram valores de 0,23 e 0,28, para os anos 2015 e 2016, respectivamente.

O sombreamento contínuo demonstrou ser prejudicial ao desenvolvimento e produção de grãos pelas plantas. A condição de limitação contínua da radiação solar, ou seja, durante todo o desenvolvimento das plantas, como já discutido, pode ter refletido diretamente na relação fonte-dreno das plantas (ASSENG *et al.*, 2017). Conforme Sandanã e Pinochet (2011), a redução do acúmulo de biomassa nas plantas devido a menor interceptação de radiação fotossinteticamente ativa, apresenta impacto negativo no rendimento de grãos. Fato, que pode

ser visualizado no presente trabalho. Pois, estes efeitos do sombreamento sobre as plantas de aveia branca, sobre o rendimento de grãos e seus componentes indica que a aveia branca apresenta sensibilidade média (dependente de intensidade de restrição lumínica) à condição de sombreamento durante o ciclo, em ambos os anos agrícolas de cultivo.

## 5.6 CONCLUSÕES

- i. O índice de clorofila nas folhas (avaliado por sensores óticos) confirmam prejuízo do sombreamento ao processo fotossintético com consequências ao rendimento de grãos de aveia branca da cultivar URS Altiva.
- ii. Nível de sombreamento baixo (contínuo) durante o ciclo de plantas de aveia branca não causa prejuízos significativos ao seu desenvolvimento e produção [área foliar (AF), massa seca (MS), número de grãos (NG), massa de grãos (MG), massa de mil grãos (MMG) e índice de colheita (IC)].
- iii. O sombreamento (contínuo) das plantas na orientação norte/sul se mostrou mais prejudicial ao processo produtivo de aveia branca do que leste/oeste.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho foi realizado com o intuito de verificar a adaptação de plantas de aveia branca sob restrição lumínica durante seu desenvolvimento. O sombreamento foi simulado em diferentes intensidades e orientações, imposto em determinados estádios das plantas e durante todo o desenvolvimento da cultura (sombreamento este imposto sobre as plantas de forma intermitente ou contínua).

A partir dos resultados, pôde-se verificar que as orientações norte/sul x leste/oeste não diferiram na magnitude dos efeitos do sombreamento imposto em determinados estádios (intermitente) não influenciaram objetivamente no crescimento, rendimento de grãos e vigor das sementes de aveia branca produzidas. Isto, indica que a dinâmica de flutuações de radiação solar testada sobre as plantas (através das orientações simuladas pela direção de instalação das tábuas em função do movimento solar) proporcionou condições semelhantes. O sombreamento intermitente (principalmente > 30%) reduziu a área foliar, massa seca de plantas e vigor das sementes (por CE e EA). Além disto, alta intensidade (75%) afetou o NGP, MMG, PH, IC, RG e qualidade industrial dos grãos de aveia branca. Resultados que remetem ao efeito negativo sobre a relação fonte-dreno das plantas, pela limitação fotossintética.

Os estádios fenológicos em que as plantas foram sombreadas geram consequências distintas nas respostas (sob sombreamento intermitente) de alguns caracteres avaliados. A restrição de luz nos estádios iniciais do desenvolvimento, 11 a 31, apresentou efeitos negativos para altura, área foliar e massa seca das plantas, porém, com recuperação posterior ao retorno a pleno sol. Ao sombrear as plantas de aveia em 31-55 houve reduções no rendimento de grãos, por interferir no processo de definição, que ocorre a partir da diferenciação do primórdio floral. O sombreamento nos estádios a partir da antese comprometeram o acúmulo de fotoassimilados nos grãos, visto pelos prejuízos ao PH,  $G > 2\text{mm}$  e RG.

Ademais, os resultados, sob sombreamento intermitente, para o índice de clorofila das plantas com base nas intensidades e dias após alteração da condição imposta e qualidade fisiológica das sementes foram favoráveis. O comportamento do índice de clorofila evidenciou os mecanismos de busca por adaptação ao sombreamento e posteriormente retorno à pleno sol pela clorofila, e, a germinação e vigor das sementes de aveia branca produzidas foi alta, embora com prejuízos na produtividade, ambos (vigor e germinação) se mantiveram altos, independente da limitação de luz imposta.

Em relação ao sombreamento contínuo (todo ciclo), buscando simular sistemas integrados lavoura-floresta permanentes, os resultados para AF, MS, NG, PG, MMG e IC

apontaram tolerância das plantas ao sombreamento de intensidade baixa (25%), caracterizando como possibilidade de utilização em sistemas de produção como integração lavoura-floresta. Contudo, neste caso, as orientações de faixas de sombreamento N/S durante todo desenvolvimento das plantas se mostrou mais prejudicial de que L/O, demonstrando efeitos negativos de alternância frequente (mudança rápida) de luz solar direta seguida de sombreamento e vice-versa (sombreamento para pleno sol).

Tendo visto a crescente importância da cultura da aveia branca na região sul do Brasil pela sua utilização e produção, como aliada na diversificação produtiva, e aumento no consumo (de produtos e subprodutos derivados de seus grãos), visualizou-se a importância de estudos sobre seu desempenho em sistemas produtivos sustentáveis e rentáveis, como em integração lavoura-floresta. Plantas tolerantes à estas condições, podem ser alternativas de utilização nestes sistemas, locais com maior nebulosidade diurna e consórcios. Além disto, identificar o estágio na fenologia das plantas com maior sensibilidade à baixa disponibilidade de luz, pode favorecer a tomada de decisão posterior, em função da possível ocorrência de outros estresses abióticos prejudiciais ao desempenho fotossintético das plantas, resultando em diferentes possibilidades de ajustes de práticas de manejos.

A limitação da fonte de fotoassimilados, com base na relação fonte/dreno da cultura, através de sombreamento, se apresenta suscetível a prejuízos, após a definição do primórdio floral, e principalmente até o estágio que antecede à antese. Assim, pode-se afirmar que em sistemas de integração com árvores (ILF) se praticado o manejo de poda ou desbaste destas árvores no período anterior aos estágios críticos, pode ser visualizado a recuperação do desenvolvimento das plantas a nova condição (pleno sol), minimizando eventuais prejuízos do sombreamento ao rendimento de grãos da aveia branca.

Contudo, ressalta-se a importância de estudos regionais abrangendo os demais fatores que podem interferir no desempenho da aveia branca nestes sistemas. Pois, nas condições testadas considerando o fator radiação solar e os efeitos negativos como mencionados, o rendimento de grãos manteve-se em padrões satisfatórios, comparado ao cenário atual de rendimento de grãos de aveia branca no país. Tudo isto posto, sugere-se que há viabilidade técnica para se produzir de grãos ou sementes em sistemas integrados que acarretem sombreamento (baixo a moderado) das plantas de aveia branca, levando-se em consideração o potencial produtivo e a qualidade de grãos ou de sementes produzidas.

## REFERÊNCIAS

- ABATI, J. *et al.* Growth and yield of wheat in response to seed vigor and sowing densities. **Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 891-899, Oct./Dec. 2018.
- ALBERTSSON, P. A quantitative model of the domain structure of the photosynthetic membrane. **Trends in Plant Science**, [s.l.], v. 6, n. 8, p. 349-354, 2001.
- ARTRU, S. *et al.* Impact of spatio-temporal shade dynamics on wheat growth and yield, perspectives for temperate agroforestry. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 82, n. 1, p. 60-70, Jan. 2017.
- ASSENG, S. *et al.* Simulating the impact of source-sink manipulations in wheat. **Field Crops Research**, Stockholm, v. 202, n. 1, p. 47-56, Feb. 2017.
- BALBINOT JUNIOR, A. A., *et al.* Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**: Santa Maria, v. 39, p. 1925-1933, set. 2009.
- BALLARÉ, C. L. Keeping up with the neighbours: phytochrome sensing and other signaling mechanisms. **Trends in Plant Science**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 97-102, Mar. 1999.
- BELLALLOUI, N. *et al.* Effect of shade on seed protein, oil, fatty acids, and minerals in soybean lines varying in seed germinability in the early soybean production system. **American Journal of Plant Science**, Jackson- USA, v. 3, n. 1, p. 84-95, Jan. 2012.
- BEWLEY, J.D. *et al.* **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. Nova York: Springer, 2013. 407 p.
- BI, Y. *et al.* Interspecific interactions contribute to higher forage yield and are affected by phosphorus application in a fully-mixed perennial legume and grass intercropping system. **Field Crops Research**, Stockholm, v. 244, n. 1, Dec. 2019.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Padrões de identidade e qualidade para a produção e a comercialização de sementes. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 set. 2013. Seção 1, p. 6.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: ACS, 2009. 398 p.
- BRASIL. **Portaria Ministerial nº 191 de 14 de abril de 1975**. Especificações para a padronização, classificação e comercialização interna da Aveia (*Avena sativa*, L). Brasília, 1975.
- BURNER, D. M. *et al.* Using sketchup to simulate tree row azimuth effects on alley shading. **Agronomy Journal**, London, v. 110, n. 1, p. 425-430, Jan. 2018.
- BUTT, M. S. *et al.* Oat: unique among the cereals. **European Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 68-79, Feb. 2008.

- CARVALHO, I. R. *et al.* Análise conjunta do ensaio brasileiro de cultivares de aveia branca, 2022. In: Resultados XLII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Anais...Capão do Leão(RS) FAEM - UFPel, 2023. Disponível em: <<http://www.even3.com.br/anais/reuniaodaaveia2023>>. Acesso em: 23, jun. 2023.
- CASTRO, G. S. A. *et al.* Ecofisiologia da aveia branca. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 11, n. 3, p. 1-15, 2012.
- CHARLES-EDWARDS, D. A. On the ordered development of plants 2. Self-thinning in plant communities. **Annals of Botany**, Oxford, v. 53, n. 5, p. 709-714, May.1984.
- CHEN, F. *et al.* Shading in mother plant during seed development promotes subsequent seed germination in soybean. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 71, n. 6, p. 2072-2084, Mar. 2020.
- CHEN, H. *et al.* Effect of different shading materials on grain yield and quality of rice. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1-9, July. 2019.
- CIGEL, C. *et al.* Physiological potential of wheat seeds produced under light restriction. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 16, n. 1, p. 1-8, Mar. 2021.
- CIGEL, C. *et al.* Physiological quality of soybean seeds produced under shading. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 22, n. 1, p. 1-8, Mar. 2023.
- COELHO, M. S. *et al.* Qualidade da matéria orgânica de solos sob cultivo de café consorciado com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1576-1586, 2013.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2016.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: levantamento safra 2022/23**. Brasília: CONAB, v. 10, n. 7, 2023, 107 p.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras: Aveia**. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?limitstart=0>>. Acesso em: 30 de abr. de 2023.
- CORDEIRO, L. A. M. *et al.* Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 15-43, Jan./Ago. 2015.
- CUSTÓDIO, M. de S.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul, Brasil: climatologia e tendência temporal. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 45-52, Ago. 2009.
- DANIELOWSKI, R. *et al.* Informações técnicas para a cultura da aveia: **40° Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia**. Sociedade Educacional Três de Maio, Três de Maio- Ed. SETREM, 2021.

- DEISS, L. *et al.* Oat grain yield under nitrogen uses in an eucalyptus intercropping system in Subtropical Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 462-470, July./Sept. 2016.
- DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, [s. l.], v. 1, p. 427-452, 1973.
- DENG, F. *et al.* Decreased anther dehiscence contributes to a lower fertilization rate of rice subjected to shading stress. **Field Crops Research**, Stockholm, v. 273, p. 108-291, Nov. 2021.
- DIETZ, J. I. *et al.* Shading in the late stem elongation period generate the greatest grain yield reduction in oat (*Avena sativa* L.). **Archives of Agronomy and Soil Science**, Oxford, v. 69, n. 10, p. 1906-1919, 2023.
- DONG, B. *et al.* Effects of shading stress on grain number, yield, and photosynthesis during early reproductive growth in wheat. **Crop Science**, Madison, v. 59, n. 1, p. 363-378, Jan. 2019.
- DUPRAZ, C. *et al.* Influence of latitude on the light availability for intercrops in an agroforestry alley-cropping system. **Agroforestry Systems**, [s. l.], v. 92, n. 4, p. 1019-1033, Mar. 2018.
- EMBRAPA SOLOS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, v. 3, 2013.
- ESTRADA-CAMPUZANO, G.; MIRALLES, D. J.; SLAFER, G. A. Yield determination in triticale as affected by radiation in different development phases. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 597-605, May. 2008.
- FAN, Y. *et al.* Soybean (*Glycine max* L. Merr.) seedlings response to shading: leaf structure, photosynthesis and proteomic analysis. **BMC Plant Biology**, [s. l.], v.19, n. 34, Jan. 2019.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**, 2023. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em 30. abr. 2023.
- FINNAN, J.; BURKE, B.; SPINK, J. The effect of nitrogen timing and rate on radiation interception, grain yield and grain quality in autumn sown oats. **Field Crops Research**, Stockholm, v. 231, p. 130-140, Feb. 2019.
- FRANKLIN, K. A.; WHITELAM, G. C. Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. **Annals of Botany**. [s. l.], v. 96, n. 2, p. 196-175, Aug. 2005.
- GARCEZ NETO, A. F. *et al.* Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 42-50, Jan. 2010.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; BAKHSHI, J.; DALIL, B. Rate duration of seed filling and yield of soybean affected by water and radiation deficits. **Acta Agriculturae Slovenica**, Eslovenia, v.105, n. 2, p.225-232, Sept. 2015.

GOFFMAN, F. D. *et al.* Light enables a very high efficiency of carbon storage in development embryos of rapeseed. **Plant Physiology**, Oxford, v. 138, p. 2269-2279, July.

GU, L. *et al.* Advantages of diffuse radiation for terrestrial ecosystem productivity. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 107, n. 6, p. 1-23, Ma. 2002.

HEATHCOTE, P.; FYFE, P. K.; JONES, M. R. Reaction centres: the structure and evolution of biological solar power. **Trends in Biochemical Sciences**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 79-87, Feb. 2002.

HUANG, W.; YANG, Y.; ZHANG, S. B. Photoinhibition of photosystem I under fluctuating light is linked to the insufficient  $\Delta pH$  upon a sudden transition from low to high light. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 160, p. 112-119, Apr. 2019.

ILIC, Z. S.; FALLIK, E. Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: a review. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 139, p. 79- 90, July. 2017.

INDEXMUNDI. **Agriculture**. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=oats&graph=production>>. Acesso em 14 abr. 2023.

INOUE, K.; NISHIHAMA, R.; KOHCHI, T. Evolutionary origin of phytochrome responses and signaling in land plants. **Plant, Cell & Environment**, [s. l.], v. 40, n. 11, p. 2502-2508, Jan. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações Automáticas**. 2021. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 29 dez. 2021.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). **International Rules For Seed Testing**, 2010/1. ed. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland, 2014.

INURRETA-AGUIRRE, H.D. *et al.* Yield components and phenology of durum wheat in a Mediterranean alley-cropping system. **Agroforestry Systems**, [s. l.], n. 92, p. 961–974, Jan. 2018.

JESPERSEN, D.; ZHANG, J.; HUANG, B. Chlorophyll loss associated with heat-induced senescence in bentgrass. **Plant Science**, [s. l.], v. 249, p. 1-12, Aug. 2016.

JUMRANI, K.; BHATIA, V. S. Influence of different light intensities on specific leaf weight, stomatal density photosynthesis and seed yield in soybean. **Plant Physiology Reports**, [s. l.], p. 1-7, Mar. 2020.



KANNIAH, K. D. *et al.* Control of atmospheric particles on diffuse radiation and terrestrial plant productivity: A review. **Progress in Physical Geography**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 209-237, 2012.

KEUSKAMP, D. H. *et al.* Blue-light-mediated shade avoidance requires combined auxin and brassinosteroid action in *Arabidopsis* seedlings. **The Plant Journal**, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 208-217, Apr. 2011.

KIM, Il-S. *et al.* Multiple antioxidative and bioactive molecules of oats (*Avena sativa* L.) in human health. **Antioxidants**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. 1-20, Sept. 2021.

KOBATA, T. *et al.* Spikelet sterility is associated with a lack of assimilate in high-spikelet-number rice. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 105, n. 6, p. 1821-1831, Nov. 2013.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. **Vigor de sementes: Conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. 1999. 218 p.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. **Vigor de sementes: Conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. 2021. 601 p.

KUREPIN, L. V.; PHARIS, R. P. Light signaling and the phytohormonal regulation of shoot growth. **Plant Science**, Štip, v. 229, p. 280-289, Dec. 2014.

LABRA, M. H. *et al.* Plasticity of seed weight compensates reductions in seed number of oilseed rape in response to shading at flowering. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 84, p. 113-124, Mar. 2017.

LÂNGARO, N. C. *et al.* In: Cultivares da aveia, qualidade de sementes e implantação da cultura. In: DANIELOWSKI, R. *et al.* **Informações técnicas para a cultura da aveia: 40<sup>o</sup>** Reunião da comissão brasileira de pesquisa de aveia. Sociedade Educacional Três de Maio, Três de Maio- Ed. SETREM, 2021.

LI, H. *et al.* Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. **European Journal of Agronomy**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 267-275, Nov. 2010.

LI, Q. *et al.* Shading decreases rice yield by impeding grain-filling progress after heading. **Agronomy Journal**, Londres, v. 112, n. 5, p. 4018-4030, July. 2020.

LI, T. *et al.* Effects of mutual shading on the regulation of photosynthesis in field-grown sorghum. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [s. l.], v. 137, p. 31-38, Aug. 2014.

LI, X. *et al.* Physiological and molecular responses of wheat to low light intensity. **Agronomy** [s. l.], v.13, n. 272, Jan. 2023.

LIU, K. *et al.* Radiation use efficiency and source-sink changes of super hybrid rice under shade stress during grain-filling stage. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 111, n. 4, p. 1788-1798, July. 2019.

- LIU, W. *et al.* Evaluation of soybean (*Glycine max*) stem vining in maize-soybean relay strip intercropping system. **Plant Production Science**, Tokyo, v. 18, n. 1, p. 69-75. Dec. 2015.
- LIU, Y.; JAFARI, F.; WANG, H. Integration of light and hormone signaling pathways in the regulation of plant shade avoidance syndrome. **Abiotech**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 131-145, Apr. 2021.
- LUCAS, L. H. F. *et al.* Ensaio brasileiro de cultivares de aveia branca em Lages, 2022. In: Resultados XLII Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia. Anais...Capão do Leão(RS) FAEM - UFPel, 2023. Disponível em: <<http://www.even3.com.br/anais/reuniaodaaveia2023>>. Acesso em: 23, jun. 2023.
- LUCHE, H. S. *et al.* Desenvolvimento da planta. In: DANIELOWSKI, R. *et al.* **Informações técnicas para a cultura da aveia**: 40° Reunião da comissão brasileira de pesquisa de aveia. Sociedade Educacional Três de Maio, Três de Maio- Ed. SETREM, 2021.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
- MAHADEVAN, M. *et al.* The critical period for yield determination in oat (*Avena sativa* L.). **Field Crops Research**, Stockholm, v. 199, p. 109-116, Mar. 2016.
- MANTAI, R. D. *et al.* Simulation of oat grain (*Avena sativa*) using its panicle components and nitrogen fertilizer. **African Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 11, n. 40, p. 3975-3983, Oct. 2016.
- MAKINO, A. Photosynthesis, grain yield, and nitrogen utilization in rice and wheat. **Plant Physiology**, Oxford, v. 155, n. 1, p. 125-129, Jan. 2011.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2 ed. Londrina: ABRATES, 2015.
- MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 72, n. 4, p. 363-374, July./Aug. 2015.
- MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes**: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999, p.1-24.
- MARTUSCELLO, J. A. *et al.* Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, Jul. 2009.
- MATYSIAK, K. Influence of trinexapac-ethyl on growth and development of winter wheat. **Journal of Plant Protection Research**, [s. l.], p. 133-143, 2006.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários-**AGROFIT**. (2009). Disponível em: <[http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em 10 set. 2022.

MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 747-766, Dec. 1972.

MORELLI, L. *et al.* Light signals generated by vegetation shade facilitate acclimation to low light in shade-avoider plants. **Plant Physiology**, Oxford, v. 186, n. 4, p. 2137-2151, Aug. 2021.

MU, H. *et al.* Long-term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [s. l.], v. 196, p. 38-47, Jan. 2010.

NAKAGAWA, J. Os componentes da produtividade de sementes. Informativo **ABRATES**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 15-21, 2014.

NEVO, R. *et al.* Composition, architecture and dynamics of the photosynthetic apparatus in higher plants. **The Plant Journal**, New Jersey, v. 70, n. 1, p. 157-176, Mar. 2012.

NICODEMO, M. L. F. *et al.* Reducing competition in agroforestry by pruning native trees. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 3, p. 509-518, May./June. 2016.

PACHECO, M. T. *et al.* Importância da cultura da aveia. In: DANIELOWSKI, R. *et al.* **Informações técnicas para a cultura da aveia: 40° Reunião da comissão brasileira de pesquisa de aveia**. Sociedade Educacional Três de Maio, Três de Maio- Ed. SETREM, 2021.

PADILHA, M. S.; COELHO, C. M.; ANDRADE, G. C. Seed reserve mobilization evaluation for selection of high-vigor common bean cultivars. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, p. 927-935, Oct./Dec. 2020.

PANIGRAHY, M. *et al.* Shade tolerance in Swarnaprabha rice is associated with higher rate of panicle emergence and positively regulated by genes of ethylene and cytokinin pathway. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 9, n. 6817, p. 1-17, May. 2019.

PEARCY, R. W. Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. **Annual Review of Plant Biology**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 421-453, 1990.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G.E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3ª ed. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 2019.

PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 77, p. 1-9, 2020.

POLTHANEE, A.; PROMSAENA, K.; LAOKEN, A. Influence of low light intensity on growth and yield of four soybean cultivars during wet and dry seasons of Northeast Thailand. **Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 61-67, Mar. 2011.

POORTER, H. *et al.* A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. **New Phytologist**, Lancaster, Inglaterra, v. 223, p. 1073-1105, Feb. 2019.

- QIAO, X. *et al.* Yield and quality of intercropped wheat in jujube-and walnut-based agroforestry systems in southern Xinjiang Province, China. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 112, n. 4, p. 2676-2691, May. 2020.
- QUAIL, P. H. Photosensory perception and signaling in plant cells: new paradigms? **Current Opinion in Cell Biology**. [s. l.], v. 14, n. 2, p. 180-188, Apr. 2002.
- R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.
- REN, B. *et al.* Responses of photosynthetic characteristics and leaf senescence in summer maize to simultaneous stresses of waterlogging and shading. **The Crop Journal**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 269-277, Feb. 2023.
- RODOLFO, G. R. Physiological quality of dual-purpose wheat seeds from plants subjected to artificial defoliation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, p. 1-8, 2017.
- SANDAÑA, P., PINOCHET, D. Ecophysiological determinants of biomass and grain yield of wheat under P deficiency. **Field Crops Research**, Stockholm, v. 120, n. 2, p. 311-319, Jan. 2011.
- SCHUCH, L. O. B. *et al.* Vigor de sementes de populações de aveia preta: II. Desempenho e utilização de nitrogênio. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p. 121-127, Mar. 2000.
- SGARBOSSA, J. *et al.* Morphology, growth and yield of black oats cultivated in agroforestry systems in southern Brazil. **Agricultural Systems**, [s. l.], v. 184, p. 1-12, Sept. 2020.
- SHIBAEVA, T. G.; MAMAEV, A. V.; SHERUDILO, E. G. Evaluation of a SPAD-502 plus chlorophyll meter to estimate chlorophyll content in leaves with interveinal chlorosis. **Russian Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 67, p. 690-696, July. 2020.
- SHIMODA, S.; SUGIKAWA, Y. Grain-filling response of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to post-anthesis shading in a humid climate. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [s. l.], v. 206, n. 1, p. 90-100, Oct. 2020.
- SONG, S. *et al.* Effects of shading at different growth stages with various shading intensities on the grain yield and anthocyanin content of colored rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, Stockholm, v. 283, p. 1-10, July. 2022.
- SOUZA, C. A. de. *et al.* Ensaio brasileiro de cultivares de aveia branca em Lages, 2020. In: XL Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, 2021, Três de Maio-RS. Anais [...]. Três de Maio: Setrem, 2021.
- SOUZA, C. A. de. *et al.* Ensaio brasileiro de cultivares de aveia branca em Lages, 2021. In: XLI Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, 2022, Londrina-PR. Anais [...]. IDR-Paraná, 2022.
- SOUZA, C. A. *et al.* Relação entre densidade de plantas e genótipos de soja roundup readyTM. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 887-896, Dez. 2010.
- SOUZA, P. J. de O. P. de. *et al.* Radiation balance in a soybean ecosystem in the Amazon. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 582-592, Dec. 2010.

SPONCHIADO, J. C. **Estratégias de manejo para altas produtividades na aveia branca**. 113 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

SPONCHIADO, J. C.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M. Teste de condutividade elétrica para determinação do potencial fisiológico de sementes de aveia branca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 2405-2414, 2014.

STAMM, P.; KUMAR, P. P. The phytohormone signal network regulating elongation growth during shade avoidance. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 61, n. 11, p. 2889-2903, May. 2010.

STIRBET, A. *et al.* Photosynthesis: basics, history and modelling. **Annals of Botany**, Oxford, v. 126, n. 4, p. 511-537, Sept. 2020.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAN, S.L. *et al.* Balancing light use efficiency and photoprotection in tobacco leaves grown at different light regimes. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 175, p. 1-8, July. 2020.

TENG, Z. *et al.* Environmental Stimuli: a major challenge during grain filling in cereals. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 1-18, Jan. 2023.

TILLEY, M. S.; HEINIGER, R. W.; CROZIER, C. R. Measuring tiller development and mortality in winter wheat under field conditions. **Agroecosystems, Geosciences & Environment**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 1-11, Jan. 2019.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, [s. l.], v. 39, p. 237-257, Dec. 2008.

VANDENBUSSCHE, F. *et al.* Ethylene and auxin control the arabidopsis response to decreased light intensity. **Plant Physiology**, Oxford, v. 133, p. 517-527, Oct. 2003.

VARELLA, A. C. *et al.* Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system?. **Agroforestry Systems**, [s. l.], v. 81, n. 2, p. 157-173, June. 2011.

WANG, J. *et al.* Post-silking shading stress affects leaf nitrogen metabolism of spring maize in Southern China. **Plants**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 1-15, Jan. 2020.

WANG, L.; DENG, F.; REN, W. J. Shading tolerance in rice is related to better light harvesting and use efficiency and grain filling rate during grain filling period. **Field Crops Research**, Stockholm, v. 180, p. 54-62, Aug. 2015.

WANG, Y. *et al.* Photosynthesis in the fleeting shadows: an overlooked opportunity for increasing crop productivity? **The Plant Journal**, [s. l.], v. 101, n. 4, p. 874-884, Jan. 2020.

- WANG, Z. *et al.* Allocation of photosynthates and grain growth of two wheat cultivars with different potential grain growth in response to pre- and post-anthesis shading. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 189, n. 5, p. 280-285, Sept. 2003.
- WAY, D. A.; PEARCY, R. W. Sunflecks in trees and forests: from photosynthetic physiology to global change biology. **Tree Physiology**, Oxford, v. 32, n. 9, p. 1066-1081, Sept. 2012.
- WEN, B. *et al.* Rejuvenating soybean (*Glycine max* L.) growth and development through slight shading stress. **Journal of Integrative Agriculture**, [s. l.], v. 19, n. 10, p. 2439-2450, Oct. 2020.
- WENNECK, G. S. *et al.* Pigmentos foliares na cultura da ervilha: relação entre índice SPAD e conteúdo de clorofila. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 391-400, 2021.
- WIT, M. *et al.* Integration of phytochrome and cryptochrome signals determines plant growth during competition for light. **Current Biology**, [s. l.], v. 26, n. 24, p. 3320-3326, Dec. 2016.
- WREGGE, M. S. *et al.* **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. ed. 2. Brasília: EMBRAPA, 2012.
- WU, L. *et al.* Shading contributes to the reduction of stem mechanical strength by decreasing cell wall synthesis in japonica rice (*Oryza sativa* L.). **Frontiers In Plant Science**, [s. l.], v. 8, p. 1-16, May. 2017.
- XIE, X. *et al.* Integration of light and auxin signaling in shade plants: From mechanisms to opportunities in urban agriculture. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 23, n. 7, p. 3422, Mar. 2022.
- XU, C. L. *et al.* Slight shading after anthesis increases photosynthetic productivity and grain yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) due to the delaying of leaf senescence. **Journal of Integrative Agriculture**, China/Pequin, v. 15, n. 1, p. 63-75, Jan. 2016.
- YANG, F. *et al.* Effects of interactions between light intensity and red-to- far-red ratio on the photosynthesis of soybean leaves under shade condition. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], n. 150, p. 79-87, June. 2018.
- YANG, H. *et al.* Photosynthetic base of reduced grain yield by shading stress during the early reproductive stage of two wheat cultivars. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1-15, 2020.
- YANG, T. *et al.* Effects of distance from a tree line on photosynthetic characteristics and yield of wheat in a jujube tree/wheat agroforestry system. **Agroforestry Systems**, [s. l.], v. 93, n. 4, p. 1545-1555, July. 2019.
- YASIN, M. *et al.* The importance of reduced light intensity on the growth and development of six weed species. **Weed Research**, Doorwerth, v. 59, n. 2, p. 130-144, Feb. 2019.
- ZADOKS, J. C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, Doorwerth, v. 14, n. 6, p. 415-421, 1974.

ZHANG, Q. *et al.* Effects of shading on the senescence and photosynthetic physiology of the early-flowering rice mutant *ftl10* at noon. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 776-784, Aug. 2019.

ZHANG, R. *et al.* Internode elongation pattern, internode diameter and hormone changes in soybean (*Glycine max*) under different shading conditions. **Crop & Pasture Science**, [s. l.], v. 71, n. 7, p. 679-688, July. 2020.

**APÊNDICE A — RESUMO DA ANOVA PARA DIAS DE AVALIAÇÃO DO ÍNDICE SPAD APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO**

QM (2020)												
FV	GL	Intensidade 0% inclusa					GL	Intensidade 0% exclusiva				
		Dia 1	Dia 3	Dia 5	Dia 7	Dia 9		Dia 1	Dia 3	Dia 5	Dia 7	Dia 9
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	1,75	1,47	2,00	6,15	1,87	<b>3</b>	0,84	0,70	1,81	4,27	2,03
<b>Orientação (O)</b>	<b>1</b>	5,70	3,35	0,71	1,53	0,06	<b>1</b>	4,84	2,35	0,45	0,36	0,02
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	7,23	11,92	6,65	8,44	12,49	<b>2</b>	10,66	15,97	8,06	5,97	15,53*
<b>Estádios (E)</b>	<b>1</b>	1124,11**	436,60**	23,92*	0,10	33,99*	<b>1</b>	897,52**	379,24**	15,52*	1,56	18,33
<b>O x I</b>	<b>3</b>	2,77	3,91	3,70	4,84	11,23	<b>2</b>	4,13	5,87	5,54	6,82	16,61*
<b>O x E</b>	<b>1</b>	8,45	4,18	0,50	1,25	2,33	<b>1</b>	6,40	4,81	0,72	0,19	0,63
<b>I x E</b>	<b>3</b>	1,46	4,85	2,67	3,61	7,22	<b>2</b>	0,62	3,48	3,82	3,52	9,65
<b>O x I x E</b>	<b>3</b>	0,74	1,06	0,30	2,87	3,43	<b>2</b>	1,12	1,23	0,34	0,35	4,59
<b>Erro</b>	<b>45</b>	8,03	5,07	3,62	5,42	5,02	<b>33</b>	9,57	6,04	3,64	5,61	4,60
<b>CV (%)</b>		5,23	3,96	3,28	3,94	3,83		5,72	4,31	3,28	3,99	3,65
<b>Média</b>		54,15	56,84	58,07	59,08	58,58		54,11	56,98	58,21	59,34	58,76
QM (2021)												
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	29,67**	28,61*	24,56*	25,31**	23,17*	<b>3</b>	24,38**	16,03	15,34	18,2	17,73*
<b>Orientação (O)</b>	<b>1</b>	14,26	20,25	1,67	0,02	0,78	<b>1</b>	4,16	24,42	0,36	2,94	1,16
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	1,86	3,20	10,23	4,89	17,87*	<b>2</b>	2,66	4,64	9,11	5,91	16,7
<b>Estádios (E)</b>	<b>1</b>	83,38**	8,35	102,85**	26,86*	9,31	<b>1</b>	42,73**	7,91	81,90**	24,08	6,67
<b>O x I</b>	<b>3</b>	7,17	5,20	1,68	5,62	14,82	<b>2</b>	7,72	5,61	2,03	3,37	15,45
<b>O x E</b>	<b>1</b>	0,11	8,38	9,07	1,33	7,04	<b>1</b>	2,10	6,14	7,38	1,78	10,04
<b>I x E</b>	<b>3</b>	2,79	6,68	0,25	1,43	0,10	<b>2</b>	0,43	9,84	0,23	1,79	0,14
<b>O x I x E</b>	<b>3</b>	3,92	14,76	10,23	9,03	2,11	<b>2</b>	3,17	22,14	15,32	13,33	1,65
<b>Erro</b>	<b>45</b>	4,64	7,45	5,87	5,77	5,93	<b>33</b>	5,19	8,13	6,05	6,46	5,73
<b>CV (%)</b>		3,95	4,91	4,20	4,19	4,23		4,18	5,12	4,25	4,42	4,13
		54,56	55,63	57,66	57,33	57,64		54,52	55,68	57,92	57,46	57,96

\*\* e \* : significativo a 1,0 e 5,0%., respectivamente; \*QM: quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação.  
Fonte: Elaborado pela autora (2023).



**APÊNDICE B — RESUMO DA ANOVA PARA ESTÁDIOS DE AVALIAÇÃO  
DO ÍNDICE SPAD APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO**

<b>QM (2020)</b>						
<b>Estádios</b>						
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Intensidade 0% inclusa</b>		<b>GL</b>	<b>Intensidade 0% exclusiva</b>	
		<b>55 - 69</b>	<b>69 - 79</b>		<b>55 - 69</b>	<b>69 - 79</b>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	17,52*	30,40**	<b>3</b>	21,10*	17,89**
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	12,20	34,01**	<b>2</b>	18,08	36,70**
<b>Dias (D)</b>	<b>4</b>	496,08**	12,71**	<b>4</b>	396,76**	11,91*
<b>D x I</b>	<b>12</b>	2,83	2,25	<b>8</b>	3,26	2,36
<b>Erro</b>	<b>137</b>	5,56	3,57	<b>102</b>	6,09	3,69
<b>CV (%)</b>		4,21	3,22		4,41	3,26
<b>Média</b>		56,00	58,69		56,03	58,94

<b>QM (2021)</b>						
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	127,77**	27,52**	<b>3</b>	108,69**	9,67
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	23,04**	8,04	<b>2</b>	29,16**	7,88
<b>Dias (D)</b>	<b>4</b>	95,29**	58,55**	<b>4</b>	76,47**	56,42**
<b>D x I</b>	<b>12</b>	1,54	3,02	<b>8</b>	1,54	2,05
<b>Erro</b>	<b>137</b>	4,66	6,65	<b>102</b>	4,84	6,94
<b>CV (%)</b>		3,86	4,51		3,92	4,60
<b>Média</b>		55,96	57,18		56,11	57,3

\*\* e \*: significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; \* QM: quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE C — RESUMO DA ANOVA PARA ESTÁDIOS DE AVALIAÇÃO DO ÍNDICE SPAD PÓS SOMBREAMENTO**

QM (2020)												
FV	GL	Intensidade 0% inclusa					Intensidade 0% exclusiva					
		Dia 1	Dia 3 <sup>‡</sup>	Dia 5 <sup>‡</sup>	Dia 7 <sup>‡</sup>	Dia 9 <sup>‡</sup>	GL	Dia 1	Dia 3 <sup>‡</sup>	Dia 5 <sup>‡</sup>	Dia 7 <sup>‡</sup>	Dia 9 <sup>‡</sup>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	6,90	0,07	0,91	0,54	0,70	<b>3</b>	3,93	0,10	0,93	0,06	0,55
<b>Orientação (O)</b>	<b>1</b>	4,32	0,05	0,10	0,01	0,61	<b>1</b>	4,60	0,00	0,00	0,09	0,44
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	12,41	0,53	1,45*	2,92**	2,84**	<b>2</b>	18,61	0,43	2,17**	3,778**	2,68**
<b>Estádios (E)</b>	<b>3</b>	1405,60**	17,30**	50,91**	136,37**	133,40**	<b>3</b>	1244,16**	15,010**	36,76**	90,549**	81,38**
<b>O x I</b>	<b>3</b>	5,78	0,08	0,33	0,11	0,21	<b>2</b>	8,43	0,01	0,03	0,07	0,32
<b>O x E</b>	<b>3</b>	24,85	0,01	0,09	0,01	0,86	<b>3</b>	11,64	0,05	0,09	0,01	1,02
<b>I x E</b>	<b>9</b>	49,58**	0,69**	2,26**	3,71**	3,85**	<b>6</b>	57,94**	0,89**	3,19**	4,63**	3,56**
<b>O x I x E</b>	<b>9</b>	10,48	0,08	0,18	0,12	0,21	<b>6</b>	11,98	0,08	0,07	0,17	0,23
<b>Erro</b>	<b>93</b>	10,11	0,25	0,40	0,53	0,44	<b>69</b>	11,12	0,28	0,41	0,46	0,43
<b>CV (%)</b>		6,18	7,18	9,67	11,78	10,62		6,48	7,72	9,77	10,83	10,17
<b>Média</b>		51,44	47,90	44,33	41,64	42,35		51,43	56,98	58,21	59,34	58,76
QM (2021)												
		Dia 1 <sup>‡</sup>	Dia 3	Dia 5	Dia 7 <sup>‡</sup>	Dia 9 <sup>‡</sup>		Dia 1	Dia 3	Dia 5	Dia 7 <sup>‡</sup>	Dia 9 <sup>‡</sup>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	0,07	5,78	22,05	0,23	0,33	<b>3</b>	6,22	0,55	4,96	0,11	0,08
<b>Orientação (O)</b>	<b>1</b>	0,08	8,02	26,51	0,27	0,02	<b>1</b>	0,43	8,80	27,78	0,22	0,02
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	0,42**	113,76**	140,52**	0,69**	0,63*	<b>2</b>	64,557**	81,63**	47,254*	0,38	0,25
<b>Estádios (E)</b>	<b>3</b>	11,99**	1786,12**	1497,27**	12,66**	16,37**	<b>3</b>	2058,18**	1657,77**	1408,03**	11,51**	13,96**
<b>O x I</b>	<b>3</b>	0,06	10,11	11,97	0,2	0,35	<b>2</b>	3,78	14,64	16,64	0,30	0,52
<b>O x E</b>	<b>3</b>	0,06	2,13	2,92	0,2	0,03	<b>3</b>	3,33	8,23	5,92	0,16	0,04
<b>I x E</b>	<b>9</b>	0,32**	65,06	56,25**	0,40*	0,29	<b>6</b>	43,96	58,114**	48,30**	0,24	0,29
<b>O x I x E</b>	<b>9</b>	0,09	13,69*	15,11	0,2	0,35	<b>6</b>	14,41	13,51*	20,53	0,30	0,51
<b>Erro</b>	<b>93</b>	0,05	5,77	11,01	0,15	0,23	<b>69</b>	7,57	6,10	12,17	0,17	0,26
<b>CV (%)</b>		3,08	4,67	6,47	5,58	6,85		5,35	4,87	6,92	5,86	7,32
<b>Média</b>		51,89	51,38	51,31	49,34	48,55		54,52	55,68	57,92	57,46	57,96

\*\* e \* : significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; \* QM: quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; ‡: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE D — RESUMO DA ANOVA PARA ESTÁDIOS DE AVALIAÇÃO DO ÍNDICE SPAD PÓS SOMBREAMENTO**

<b>QM (2020)</b>										
<b>Estádios</b>										
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Intensidade 0% inclusa</b>				<b>Intensidade 0% exclusiva</b>				
		<b>11-31<sup>‡</sup></b>	<b>31-55</b>	<b>55-69</b>	<b>69-79<sup>‡</sup></b>	<b>GL</b>	<b>11-31</b>	<b>31-55</b>	<b>55-69</b>	<b>69-79<sup>‡</sup></b>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	12,93	11,33	7,83	4,168**	<b>3</b>	16,44	34,44*	7,84	2,36
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	229,34**	20,41	32,48**	25,76**	<b>2</b>	209,04**	9,76	9,82	34,50**
<b>Dias (D)</b>	<b>4</b>	195,13**	336,63**	28,38**	101,51**	<b>4</b>	149,33**	252,65**	23,27**	62,68**
<b>D x I</b>	<b>12</b>	7,20	5,14	2,64	3,111**	<b>8</b>	9,52	7,39	3,16	2,66*
<b>Erro</b>	<b>137</b>	11,09	8,72	5,21	1,05	<b>102</b>	9,92	9,02	5,12	1,04
<b>CV (%)</b>		7,92	5,53	3,91	20,73		7,63	5,65	3,84	20,10
<b>Média</b>		42,05	53,44	58,46	28,18		41,30	53,15	58,86	29,05

<b>QM (2021)</b>										
		<b>11-31</b>	<b>31-55</b>	<b>55-69</b>	<b>69-79<sup>‡</sup></b>	<b>11-31</b>	<b>31-55</b>	<b>55-69</b>	<b>69-79<sup>‡</sup></b>	
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	0,125*	36,36**	32,99**	1,24*	<b>3</b>	12,78	21,98**	18,17**	1,07*
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	7,47**	63,55**	6,95	0,23	<b>2</b>	892,80**	31,27**	10,40	0,10
<b>Dias (D)</b>	<b>4</b>	0,20**	36,96**	4,51	10,24**	<b>4</b>	20,18**	32,33**	6,15	8,36**
<b>D x I</b>	<b>12</b>	0,04	3,09	3,09	0,04	<b>8</b>	4,28	1,87	1,92	0,02
<b>Erro</b>	<b>137</b>	0,048	4,68	3,83	0,32	<b>102</b>	5,24	4,84	4,18	0,36
<b>CV (%)</b>		3,41	3,97	3,38	8,14		5,86	4,08	3,53	8,67
<b>Média</b>		41,03	54,5	57,96	48,48		39,05	53,99	57,97	48,10

\*\* e \* : significativo a 1,0 e 5,0%., respectivamente; \*FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; <sup>‡</sup>: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE E — RESUMO DA ANOVA PARA PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS**

<b>QM (2020)</b>												
	<b>Intensidade 0% inclusa</b>						<b>Intensidade 0% exclusiva</b>					
	<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Altura (estádio)</b>	<b>Altura (colheita)</b>	<b>AF</b>	<b>MS</b>	<b>RG</b>	<b>GL</b>	<b>Altura (estádio)</b>	<b>Altura (colheita)</b>	<b>AF</b>	<b>MS</b>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	10,02	9,14	808,75	0,44	107,51	<b>3</b>	33,64	10,49	591,50	0,40	97,14
<b>Orientação (O)</b>	<b>1</b>	1,14	1,67	1274,37	1,40	248,51	<b>1</b>	2,07	39,55	921,30	0,40	131,89
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	36,27	48,83	780,31	0,31	862,16**	<b>2</b>	47,33	61,05	932,83	0,38	332,49**
<b>Estádios (E)</b>	<b>3</b>	21061,83**	94,93**	8334,50**	59,17**	265,63*	<b>3</b>	14841,06**	110,14**	8336,56**	44,14**	220,58**
<b>O x I</b>	<b>3</b>	2,01	72,83*	162,50	0,75*	7,58	<b>2</b>	2,4903	55,79	243,13	0,82	1,937
<b>O x E</b>	<b>3</b>	29,95	38,38	259,00	0,65	47,60	<b>3</b>	19,02	19,64	345,61	0,36	31,25
<b>I x E</b>	<b>9</b>	66,83	25,37	2061,84**	0,77**	52,76	<b>6</b>	52,36	27,55	2439,34*	1,02	75,24
<b>O x I x E</b>	<b>6</b>	42,58*	5,56	696,30	0,53	78,68	<b>6</b>	59,62	6,58	949,90	0,77	101,06
<b>Erro</b>	<b>124</b>	20,6	23,00	518,18	0,27	80,44	<b>69</b>	21,34	26,01	529,74	0,23	69,13
<b>CV (%)</b>		6,11	5,12	23,92	25,88	13,11		6,20	5,46	23,90	24,13	12,56
<b>Média</b>		74,33	93,66	95,18	2,00	68,43		74,52	93,40	96,29	1,99	66,20

<b>QM (2021)</b>												
		<b>Altura (estádio)<sup>‡</sup></b>	<b>Altura (colheita)</b>	<b>AF</b>	<b>MS<sup>‡</sup></b>	<b>RG</b>		<b>Altura (estádio)</b>	<b>Altura (colheita)</b>	<b>AF</b>	<b>MS</b>	<b>RG</b>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	2,97**	1005,83**	825,68	0,06*	155,05**	<b>3</b>	2,05**	963,22**	848,88	0,44	189,79**
<b>Orientação (O)</b>	<b>1</b>	0,13	1,64	4392,07**	0,06	71,51	<b>1</b>	0,11	10,99	2804,66	0,24	45,79
<b>Intensidade (I)</b>	<b>3</b>	0,10	128,48**	902,24	0,10*	403,21**	<b>2</b>	0,13	117,94	1348,99	1,08**	153,59*
<b>Estádios (E)</b>	<b>3</b>	82,00**	12,48	38947,05**	5,10**	79,79*	<b>3</b>	59,12**	38,16	37333,88**	31,01**	119,43*
<b>O x I</b>	<b>3</b>	0,16	48,59	1011,38	0,01	106,95*	<b>2</b>	0,24	63,14	1477,69	0,15	159,87*
<b>O x E</b>	<b>3</b>	0,03	84,24	1994,73*	0,00	20,18	<b>3</b>	0,05	73,58	1875,93	0,02	9,314
<b>I x E</b>	<b>9</b>	0,18	65,99*	1283,51*	0,01	48,35	<b>6</b>	0,05	59,44	381,07	0,11	38,72
<b>O x I x E</b>	<b>6</b>	0,07	38,18	1108,13*	0,01	39,97	<b>6</b>	0,09	53,54	1479,57	0,11	49,14
<b>Erro</b>	<b>124</b>	0,10	28,48	501,70	0,02	27,62	<b>69</b>	0,10	30,70	532,03	0,21	33,36
<b>CV (%)</b>		3,58	5,52	22,38	8,76	10,02		3,55	5,77	23,08	24,41	11,35
<b>Média</b>		80,19	96,73	100,08	1,90	52,43		79,92	96,10	99,93	1,86	50,89

\*\* e \* : significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; \* QM: quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; AF: área foliar; MS: massa seca; RG: rendimento de grãos; ‡: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE F — RESUMO DA ANOVA PARA ESTÁDIOS DE AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS**

		QM									
		2020					2021				
		Estádio 11 a 31									
FV	GL	Altura estádio	Altura colheita	AF	MS	RG	Altura estádio	Altura colheita	AF	MS	RG
Bloco	3	13,64	26,53	21,86	0,01	95,71	15,602	268,10**	175,12	0,01	5,37
Nível (N)	3	164,46**	6,11	395,68	0,09**	118,50	24,448	189,34**	1496,21**	0,12**	72,49*
Erro	25	13,81	23,50	283,67	0,02	71,87	18,679	25,53	245,65	0,02	20,88
CV (%)		8,84	5,16	19,76	21,79	11,71	10,06	5,25	22,72	31,24	8,56
Média		42,03	93,88	85,22	0,56	72,42	43,3	95,54	66,64	0,39	53,12
		Estádio 31 a 55									
FV	GL	Altura estádio	Altura colheita	AF	MS	RG	Altura estádio	Altura colheita	AF	MS	RG
Bloco	3	7,01	6,40	197,91	0,14	125,62	545,61**	126,68**	1383,20	0,38	58,72
Nível (N)	3	10,46	68,87	382,24	0,06	269,64*	104,74*	38,32	2263,70	0,34	263,78**
Erro	25	24,59	25,30	573,30	0,10	77,61	29,91	20,05	1391,50	0,20	23,62
CV (%)		7,54	5,51	23,81	23,84	12,92	6,81	4,65	25,40	23,53	9,19
Média		65,81	91,26	100,58	1,30	68,21	76,60	95,96	149,97	1,87	51,93
		Estádio 55 a 69									
FV	GL	Altura estádio	Altura colheita	AF	MS	RG	Altura estádio	Altura colheita	AF	MS	RG
Bloco	3	52,25	3,90	663,00	0,13	16,75	523,98**	409,21	411,42	0,61*	65,54
Nível (N)	3	40,54	39,11	3482,00**	0,86	431,52**	40,83	38,96**	501,28	0,27	39,91
Erro	25	21,38	23,92	436,60	0,45	75,01	33,18	37,20	557,30	0,17	4,24
CV (%)		5,07	5,19	18,11	26,35	12,83	6,11	6,26	22,30	18,92	12,46
Média		91,19	94,15	115,38	2,54	67,52	93,95	97,08	104,29	22,18	52,90
		Estádio 69 a 79									
FV	GL	Altura estádio	Altura colheita	AF	MS	RG	Altura estádio	Altura colheita	AF	MS	RG
Bloco	3	18,88	25,80	1160,8	1,19	38,20	228,57**	311,38**	128,22	0,14	85,17
Nível (N)	3	21,30	10,74	2705,94*	1,61	200,77	28,90	59,84	491,59	0,49	172,06*
Erro	25	26,24	21,86	838,07	0,74	99,36	14,34	39,79	454,55	0,39	39,33
CV (%)		5,21	4,90	36,40	23,63	15,20	3,67	6,50	27,12	19,99	12,52
Média		98,30	95,34	79,52	3,64	65,58	103,45	97,25	79,16	3,11	49,12

\*\* e \* : significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; \* QM: quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: Grau de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; AF: área foliar; MS: massa seca; RG: rendimento de grãos; †: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE G — RESUMO DA ANOVA PARA COMPONENTES DE RENDIMENTO E QUALIDADE INDUSTRIAL DE GRÃOS**

		QM											
		2020						2021					
FV	GL	NPP	NEP	NGP	MGP <sup>‡</sup>	IC	RG	NPP	NEP	NGP	MGP	IC	RG
<b>Bloco</b>	3	0,66	52,17	162,95	0,02	5,50	0,39	0,77**	25,27	70,34	0,01	14,73	0,56**
<b>Orientação (O)</b>	1	0,03	64,67	279,07	0,08*	15,72	0,89	0,00	4,50	9,19	0,01	11,15	0,26
<b>Intensidade (I)</b>	3	0,22	28,34	241,37	0,06**	99,56**	3,11**	0,16	15,58	56,16	0,24**	125,63**	1,46**
<b>Estádios (E)</b>	3	1,97**	120,95**	603,00**	0,08**	64,54**	0,95*	1,26**	128,99**	539,86**	0,18**	15,08	0,29*
<b>O x I</b>	3	0,05	6,84	117,80	0,02	8,61	0,03	0,14	25,00	96,58	0,13*	4,13	0,38*
<b>O x E</b>	3	0,43	25,26	63,63	0,02	1,18	0,17	0,06	15,23	69,51	0,04	4,73	0,07
<b>I x E</b>	9	1,71	37,60	180,74	0,03*	19,58*	0,19	0,16	16,20	107,48*	0,12	15,42	0,18
<b>O x I x E</b>	9	1,07	46,86	185,31	0,02	8,07	0,28	0,15	21,66	50,65	0,05	3,22	0,15
<b>Erro</b>	93	9,69	29,28	89,63	0,01	8,88	0,29	0,14	20,20	46,85	0,03	15,95	0,10
<b>CV (%)</b>		15,95	20,77	20,53	8,19	6,87	13,11	19,43	22,27	19,44	18,78	10,68	10,04
<b>Média</b>		2,02	26,05	46,11	1,40	43,35	4,11	1,91	20,18	35,20	0,97	37,38	3,15
		UM	PH	ID	MMG	RI	G>2,0	UM	PH	ID <sup>‡</sup>	MMG	RI	G>2,0
<b>Bloco</b>	3	1,40	2,79**	4,15*	1,91	0,29	30,19**	3,32**	0,05**	8,81**	7,74	0,39*	2,27
<b>Orientação (O)</b>	1	0,39	0,36	1,43	2,10	0,38	1,81	5,19**	0,000	15,30**	62,72**	0,01	23,52**
<b>Intensidade (I)</b>	2	6,02**	6,10**	0,86	16,28**	1,95**	11,31**	1,43	0,02**	4,12**	63,15**	1,27**	0,30
<b>Estádios (E)</b>	3	9,14**	0,84*	1,40	25,49**	0,68**	3,35**	1,84*	0,02**	6,28**	23,84**	0,14	5,94**
<b>O x I</b>	3	0,37	1,17**	0,06	1,93	0,02	0,47	0,50	0,00	1,94	9,19	0,13	2,27
<b>O x E</b>	3	0,18	0,69	3,50*	1,79	0,05	0,56	0,39	0,00	0,31	1,29	0,05	9,26**
<b>I x E</b>	9	5,68**	0,64*	0,59	12,77**	0,11	0,73	0,77	0,01**	3,39**	9,87*	0,12	4,26**
<b>O x I x E</b>	9	0,45	0,29	0,74	1,32	0,15	0,21	0,35	0,00	1,00	1,60	0,07	8,45**
<b>Erro</b>	93	0,88	0,27	1,28	2,89	0,17	0,50	0,56	0,00	0,94	4,74	0,11	1,24
<b>CV (%)</b>		6,26	0,90	1,46	5,20	13,43	0,74	6,09	0,60	1,24	5,56	14,44	1,21
<b>Média</b>		14,99	54,03	77,42	32,70	3,03	95,37	12,45	56,28	78,18	39,16	2,25	92,03

QM: Quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; NPP: número de panícula por planta; NEP: número de espiguetas por panícula; NGP: número de grãos por planta; PGP: massa de grãos por planta (g); IC: índice de colheita (%); RG: rendimento de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>); UM: umidade de grãos (%); PH: peso hectolétrico (kg.100 l<sup>-1</sup>); ID: índice de descasque (%); MMG: massa de mil grãos (g); RI: rendimento industrial (kg cariopse. ha<sup>-1</sup>); G>2mm: grãos maiores que 2,0 mm. \*\* e \*: significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; ‡FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; ‡: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE H — RESUMO DA ANOVA PARA COMPONENTES DE RENDIMENTO SOB ORIENTAÇÃO DE SOMBREAMENTO LESTE/OESTE**

QM -- L/O													
FV	GL	2020						2021					
		NPP	NEP	NGP	PGP	IC	RG	NPP <sup>‡</sup>	NEP	NGP	PGP	IC	RG
<b>Bloco</b>	3	0,09	41,35	161,65	0,10	2,99	0,42	0,04 <sup>**</sup>	22,86	31,13	0,01	11,19	0,40 <sup>*</sup>
<b>Intensidade (I)</b>	3	0,03	21,18	194,22	0,28	41,20 <sup>*</sup>	1,85 <sup>**</sup>	0,01	25,10	105,38	0,30 <sup>**</sup>	44,94	0,95 <sup>**</sup>
<b>Estádios (E)</b>	3	0,11	75,32 <sup>*</sup>	416,66 <sup>**</sup>	0,61 <sup>**</sup>	34,69 <sup>*</sup>	0,18	0,06 <sup>**</sup>	40,53	188,45 <sup>*</sup>	0,04	14,24	0,05
<b>I x E</b>	9	0,14	33,75	156,68 <sup>*</sup>	0,12	19,40	0,42	0,03 <sup>**</sup>	17,25	57,77	0,08	7,51	0,24 <sup>*</sup>
<b>Erro</b>	45	0,11	22,83	72,43	0,11	10,77	0,28	0,01	24,38	48,44	0,04	18,05	0,12
<b>CV (%)</b>		16,10	17,86	17,88	22,21	7,51	12,68	6,16	24,24	19,92	21,00	11,28	10,63
<b>Média</b>		2,04	26,76	47,59	1,47	43,70	4,19	1,91	20,37	34,93	0,98	37,67	3,19
FV	GL	UM	PH	ID	MMG	RI	G>2,0	UM	PH	ID	MMG	RI	G>2,0
<b>Bloco</b>	3	0,17	0,68 <sup>*</sup>	1,25	1,35	0,30	14,80 <sup>**</sup>	4,34 <sup>**</sup>	5,54 <sup>**</sup>	3,46 <sup>*</sup>	18,56 <sup>*</sup>	0,19	1,10
<b>Intensidade (I)</b>	3	3,35 <sup>*</sup>	6,23 <sup>**</sup>	0,55	10,38 <sup>*</sup>	1,16 <sup>**</sup>	7,93 <sup>**</sup>	1,19 <sup>*</sup>	3,94 <sup>**</sup>	5,77 <sup>**</sup>	39,19 <sup>**</sup>	0,56 <sup>**</sup>	5,37 <sup>**</sup>
<b>Estádios (E)</b>	3	3,93 <sup>**</sup>	0,49	4,36 <sup>*</sup>	14,50 <sup>**</sup>	0,18	3,06 <sup>**</sup>	0,84	2,07 <sup>*</sup>	2,88 <sup>*</sup>	14,88 <sup>*</sup>	0,16	1,04
<b>I x E</b>	9	2,94 <sup>**</sup>	0,68 <sup>*</sup>	0,88	1,35	0,24	0,64	0,52	1,14	3,73 <sup>**</sup>	5,27	0,12	4,49 <sup>**</sup>
<b>Erro</b>	45	0,79	0,21	1,50	5,76	0,16	0,65	0,39	0,67	0,92	4,69	0,10	1,20
<b>CV (%)</b>		5,92	0,85	1,58	4,89	12,84	0,84	5,07	1,45	1,23	5,43	14,17	1,18
<b>Média</b>		15,04	54,08	77,32	32,57	3,09	95,25	12,25	56,28	77,69	39,86	2,26	92,46

QM: Quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; ad: tratamento adicional (testemunha); NPP: número de panícula por planta; NEP: número de espiguetas por panícula; NGP: número de grãos por planta; PGP: massa de grãos por planta (g); índice de colheita (%); RG: rendimento de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>); UM: umidade de grãos (%); PH: peso hectolítrico (kg.100 l<sup>-1</sup>); ID: índice de descasque (%); MMG: massa de mil grãos (g); RI: rendimento industrial (kg cariópse.ha<sup>-1</sup>); G>2mm: grãos maiores que 2,0 mm. <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: significativo a 1,0 e 5,0%., respectivamente; <sup>‡</sup>FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; <sup>‡</sup>: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: significativo a 1,0 e 5,0%., respectivamente; <sup>‡</sup>FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; <sup>‡</sup>: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE I — RESUMO DA ANOVA PARA COMPONENTES DE RENDIMENTO SOB ORIENTAÇÃO DE SOMBREAMENTO NORTE/SUL**

		QM --N/S											
		2020						2021					
FV	GL	NPP	NEP	NGP	PGP <sup>‡</sup>	IC	RG	NPP	NEP	NGP	PGP	IC	RG <sup>‡</sup>
<b>Bloco</b>	3	0,25	31,91	35,45	0,00	11,71	0,10	0,43	17,94	66,85	0,02	13,85	0,02*
<b>Intensidade (I)</b>	3	0,07	13,99	164,94	0,05*	66,67**	1,29*	0,25	15,47	47,36	0,07*	84,82**	0,06**
<b>Estádios (E)</b>	3	0,69**	70,89	249,97	0,02	31,04**	0,94*	0,76*	103,68**	420,91**	0,17**	5,58	0,02*
<b>I x E</b>	9	0,17	50,71	209,37	0,03*	8,26	0,05	0,07	20,60	100,36*	0,09**	11,13	0,01
<b>Erro</b>	45	0,10	36,27	110,53	0,01	6,97	0,31	0,19	16,33	46,54	0,03	14,21	0,01
<b>CV (%)</b>		15,74	23,70	23,55	8,15	6,14	13,79	22,84	20,21	19,23	16,64	10,17	4,10
<b>Média</b>		2,01	25,34	44,63	1,33	43,00	4,02	1,91	20,00	35,47	0,97	37,08	3,10
FV	GL	UM	PH	ID	MMG	RI	G>2,0	UM	PH <sup>‡</sup>	ID	MMG	RI	G>2,0
<b>Bloco</b>	3	1,71	2,43**	5,85**	1,98	0,10	15,54**	1,47	0,03**	5,79**	5,44	0,37*	1,22
<b>Intensidade (I)</b>	3	3,04*	1,04*	0,37	7,83	0,81**	3,85**	0,74	0,01**	0,29	33,15**	0,84**	3,82
<b>Estádios (E)</b>	3	5,40**	1,05*	0,54	12,77*	0,55*	0,85	1,38	0,01**	3,71*	10,25	0,04	14,16**
<b>I x E</b>	9	3,20**	0,53	0,45	8,33*	0,03	0,30	0,60	0,00**	0,66	6,19	0,07	8,22**
<b>Erro</b>	45	0,99	0,32	0,95	3,33	0,18	0,38	0,31	0,00	1,00	4,01	0,10	1,36
<b>CV (%)</b>		6,67	1,05	1,26	5,56	14,20	0,65	6,16	0,47	1,28	5,21	14,38	1,27
<b>Média</b>		14,93	53,97	77,53	32,82	2,98	95,49	12,65	56,29	78,38	38,46	2,24	91,61

QM: Quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; ad: tratamento adicional (testemunha); NPP: número de panícula por planta; NEP: número de espiguetas por panícula; NGP: número de grãos por planta; PGP: massa de grãos por planta (g); índice de colheita (%); RG: rendimento de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>); UM: umidade de grãos (%); PH: peso hectolítrico (kg.100 l<sup>-1</sup>); ID: índice de descasque (%); MMG: massa de mil grãos (g); RI: rendimento industrial (kg cariopse.ha<sup>-1</sup>); G>2mm: grãos maiores que 2,0 mm. \*\* e \*: significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; \*FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; ‡: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). \*\* e \*: significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; \*FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; ‡: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). Fonte: Elaborado pela autora (2023).



**APÊNDICE J — RESUMO DA ANOVA PARA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES (EXCLUSO INTENSIDADE 0% DE SOMBREAMENTO)**

QM										
2020										
FV	GL	G	PCG	CE	F	EA	IVE	MSP	MSS	MST
<b>Bloco</b>	3	2,29	15,26	158,94**	33,17**	3,43	69,59**	39,70**	87,51**	189,74**
<b>Orientação (O)</b>	1	12,76*	0,09	2,56	23,34*	1,76	0,15	1,12	20,91	14,11
<b>Intensidade (I)</b>	2	0,7	2,95	68,44**	7,25	3,64	0,29	0,59	101,06**	109,91**
<b>Estádios (E)</b>	3	3,71	10,87	109,83**	12,20	7,040	0,28	2,93	8,59	3,63
<b>O x I</b>	2	5,01	0,22	39,90*	23,92*	1,860	0,02	4,16	48,24**	80,51**
<b>O x E</b>	3	5,12	4,76	17,39	5,76	6,070	0,07	3,58	12,80	17,68
<b>I x E</b>	6	1,93	11,14	54,55	2,56	2,250	1,47	3,37	5,22	18,25
<b>O x I x E</b>	6	1,66	10,72	9,56	2,45	3,520	0,63	2,91	22,39*	44,40
<b>Erro</b>	39	2,08	10,35	12,62	5,03	3,96	0,84	4,53	7,63	14,56
<b>CV (%)</b>		1,48	3,47	8,21	2,34	2,06	12,65	18,80	15,05	12,82
<b>Média</b>		97,00	93,00	43,30	96,00	97,00	7,19	11,24	18,46	29,72
2021										
		G	PCG	CE	F	EA	IVE	MSP <sup>¥</sup>	MSS <sup>¥</sup>	MST <sup>¥</sup>
<b>Bloco</b>	3	19,35*	48,29*	61,14**	6,93	168,43**	5,49*	4,66**	0,87**	3,29**
<b>Orientação (O)</b>	1	0,00	0,04	0,00	1,5	5,51	6,04*	0,00	0,06	0,05
<b>Intensidade (I)</b>	2	24,50*	115,20**	67,35**	5,07	9,89	3,49	0,07	0,2	0,088
<b>Estádios (E)</b>	3	5,24	84,04**	85,26**	1,71	2,370	0,17	0,02	0,16	0,23
<b>O x I</b>	2	3,50	4,89	11,17	4,34	4,820	2,05	0,00	0,01	0,04
<b>O x E</b>	3	3,47	16,04	6,71	0,61	9,510	0,47	0,08	0,06	0,09
<b>I x E</b>	6	2,53	40,66*	17,07	1,91	22,500	0,35	0,03	0,09	0,07
<b>O x I x E</b>	6	3,36	17,84	3,19	0,62	4,830	0,19	0,02	0,03	0,03
<b>Erro</b>	39	5,10	14,49	12,00	3,37	15,52	1,30	0,06	0,09	0,12
<b>CV (%)</b>		2,34	4,25	10,69	1,88	4,16	16,64	7,43	6,68	6,34
<b>Média</b>		97,00	90,00	32,40	97,00	95,00	6,85	10,55	19,15	29,63

QM: Quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; \*\* e \* : significativo a 1,0 e 5,0%., respectivamente; \*FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; ¥: Dados transformados através de raiz de (x+0,5).; G: germinação; PCG: primeira contagem de germinação; CE: teste de condutividade elétrica; F: teste de frio; EA: envelhecimento acelerado; IVE: índice de velocidade de emergência; MSP: massa seca de plântula; MSS: massa seca de semente; MST: massa seca total. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE K — RESUMO DA ANOVA PARA A QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES PARA CADA ORIENTAÇÃO DE SOMBREAMENTO**

FV	LESTE/OESTE						NORTE/SUL				
	2020										
	QM						QM				
	GL	G	PCG	CE	F	EA	G	PCG	CE	F	EA <sup>Y</sup>
<b>Bloco</b>	3	7,13*	30,40*	96,56**	13,18*	1,21	2,29	3,60	127,07**	19,04*	6,56
<b>Intensidade</b>											
<b>(I)</b>	3	3,13	0,85	47,05*	18,43**	2,08	1,79	12,94	25,27	2,54	1,77
<b>Estádios</b>											
<b>(E)</b>	3	0,63	3,52	56,79**	7,94	2,380	4,04	5,06	55,24**	3,46	6,310
<b>I x E</b>	9	2,28	9,59	20,29	3,94	4,790	2,29	8,83	34,61*	7,33	2,680
<b>Erro</b>	45	2,46	10,29	12,74	3,49	3,71	2,00	10,60	13,58	6,53	5,19
<b>CV (%)</b>		1,62	3,46	8,28	1,94	2,00	1,45	3,50	8,47	2,68	2,36
<b>Média</b>		97,00	93,00	43,11	96,00	96,00	98,00	93,00	43,48	95,00	97,00
	GL	IVE	MSP	MSS	MST		IVE	MSP	MSS	MST	
<b>Bloco</b>	3	40,98**	10,48	102,51**	161,47**		30,80**	20,76**	58,28**	79,69**	
<b>Intensidade</b>											
<b>(I)</b>	3	0,27	5,39	5,98	10,36		1,01	1,96	101,79**	128,44**	
<b>Estádios</b>											
<b>(E)</b>	3	0,19	1,83	13,420	12,55		0,49	5,14	8,51	9,43	
<b>I x E</b>	9	1,28	4,00	16,240	35,38		0,36	2,19	4,76	14,69	
<b>Erro</b>	45	1,29	5,80	7,80	17,73		0,93	3,06	9,70	13,95	
<b>CV (%)</b>		15,56	21,52	14,94	14,13		13,63	15,47	17,09	12,61	
<b>Média</b>		7,31	11,19	18,69	29,79		7,07	11,30	8,23	29,64	
	GL	G	PCG	CE	F	EA	G	PCG	CE	F	EA
<b>Bloco</b>	3	15,14*	59,68**	47,00*	4,23	85,60**	22,06**	76,60*	28,21*	6,54	91,50**
<b>Intensidade</b>											
<b>(I)</b>	3	4,81	53,18**	28,68	5,77	34,85*	15,56*	31,97	49,31**	2,46	12,63
<b>Estádios</b>											
<b>(E)</b>	3	7,77	29,93*	25,82	3,77	1,270	0,73	26,31	46,39**	0,46	12,080
<b>I x E</b>	9	3,45	36,86**	9,21	2,76	9,880	2,01	24,63	12,11	0,94	14,740
<b>Erro</b>	45	4,19	9,50	13,19	3,19	9,20	4,56	18,40	8,86	2,95	16,63
<b>CV (%)</b>		2,11	3,45	11,24	1,83	3,18	2,21	4,77	9,37	1,76	4,30
<b>Média</b>		97,00	89,45	32,32	98,00	96,00	97,00	90,00	31,78	98,00	95,00
	GL	IVE	MSP	MSS	MST		IVE <sup>Y</sup>	MSP <sup>Y</sup>	MSS <sup>Y</sup>	MST <sup>Y</sup>	
<b>Bloco</b>	3	3,63**	83,24**	40,12**	144,91**		0,54**	3,39**	0,79**	2,88**	
<b>Intensidade</b>											
<b>(I)</b>	3	2,98*	1,06	7,79	13,41		0,05	0,03	0,11	0,06	
<b>Estádios</b>											
<b>(E)</b>	3	1,12	1,41	19,92*	20,13		0,01	0,03	0,050	0,17	
<b>I x E</b>	9	0,18	0,92	2,000	2,18		0,01	0,02	0,070	0,07	
<b>Erro</b>	45	0,84	2,08	5,24	10,62		0,04	0,04	0,09	0,11	
<b>CV (%)</b>		13,80	13,61	11,68	10,79		7,05	5,85	6,73	5,99	
<b>Média</b>		6,66	10,60	19,59	30,20		7,20	10,63	19,13	29,65	

QM: Quadrado médio; FV: Fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; \*\* e \*: significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; \*FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; <sup>Y</sup>: Dados transformados através de raiz de (x+0,5); G: germinação; PCG: primeira contagem de germinação; CE: teste de condutividade elétrica; F: teste de frio; EA: envelhecimento acelerado; IVE: índice de velocidade de emergência; MSP: massa seca de plântula; MSS: massa seca de semente; MST: massa seca total. Fonte: Elaborado pela autora, 2023

**APÊNDICE L — RESUMO DA ANOVA PARA EXPERIMENTO COM SOMBREAMENTO CONTÍNUO (2020)**

FV	GL	QM (2020)									
		SPAD 7	SPAD 14	SPAD 21	SPAD 28	SPAD 35	SPAD42	SPAD49	SPAD 56	SPAD 63	SPAD 70
<b>Orientação (O)</b>	1	7,23	2,17	5,46	9,24	3,17	2,52	18,17**	23,58**	34,03**	87,98
<b>Nível (N)</b>	2	3,94	7,17	4,16	11,17	3,04	0,72	15,06**	3,301	10,11*	108,32
<b>O x N</b>	2	2,87	2,86	9,12	25,05*	48,56**	22,13*	22,71**	25,17**	7,15	23,78
<b>C x TRAT</b>	1	97,31**	144,06**	142,84**	171,5**	0,83	1,68	3,77	5,68	17,62*	925,20**
<b>Erro</b>	18	10,90	3,45	3,57	3,28	3,26	3,76	1,30	2,12	2,45	45,59
<b>CV (%)</b>		7,447	4,725	4,477	4,2	3,74	3,512	1,963	2,42	2,60	12,74
		NDVI 7	NDVI 14	NDVI 21	NDVI 28	NDVI 35	NDVI 42	NDVI 49	NDVI 56 <sup>Y</sup>	NDVI 63	NDVI 70 <sup>Y</sup>
<b>Orientação (O)</b>	1	0,62	0,01	0,11	0,06*	0,11**	0,16*	0,04	0,00	0,03	0,00
<b>Nível (N)</b>	2	0,06	0,54**	0,19*	0,01	0,01	0,11*	0,02	0,01*	0,01	0,01
<b>O x N</b>	2	0,74	0,04	0,04	0,12**	0,00	0,10*	0,044	0,00	0,16*	0,01
<b>C x TRAT</b>	1	0,02	0,68**	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,05	0,19**
<b>Erro</b>	18	0,23	0,08	0,05	0,01	0,01	0,03	0,02	0,00	0,03	0,01
<b>CV (%)</b>		7,62	4,47	3,31	1,65	1,53	2,25	1,83	1,25	2,39	3,35
		Altura 7	Altura 14	Altura 21	Altura 28	Altura 35	Altura 42	Altura 49	Altura 56	Altura 63	Altura 70
<b>Orientação (O)</b>	1	10,44	6,70	22,66	0,27	9,40	26,73	5,47	73,54*	111,28**	105,59*
<b>Nível (N)</b>	2	2,21	17,13	23,69	18,34	46,10*	62,99*	134,13**	247,53**	257,15**	177,89**
<b>O x N</b>	2	5,41	5,05	23,56	9,25	35,40	10,10	25,78	32,20*	15,01	14,04
<b>C x TRAT</b>	1	60,71**	164,34**	195,57**	15,25	2,15	109,79*	249,68	264,13**	322,71**	256,68**
<b>Erro</b>	18	3,03	5,311	10,05	6,06	12,76	14,80	9,96	8,94	11,56	14,71
<b>CV (%)</b>		10,42	8,50	7,81	5,18	5,83	5,21	3,76	3,18	3,56	4,04
		AF 30	AF 60	MS 30	MS 60	NP	MSf	MG / mL	NG / mL	MMG	IC <sup>Y</sup>
<b>Orientação (O)</b>	1	229,84	1350,45*	0,00	0,03	89,51	72,66	26,21	5,53	40,35	0,93*
<b>Nível (N)</b>	2	147,63**	282,68	0,09**	2,04**	675,43*	124,27	249,07	221,21	526,29**	0,59
<b>O x N</b>	2	3,29	275,31	0,01	0,10	103,58	134,84	233,35	91,53	118,42*	0,4
<b>C x TRAT</b>	1	2659,52**	741,68	0,20**	4,46**	29,69	2443,89**	2212,56**	296,64	1013,52	0,01
<b>Erro</b>	18	159,93	282,25	0,01	0,12	119,31	67,25	104,49	163,65	29,77	0,18
<b>CV (%)</b>		11,09	10,24	13,20	12,58	10,65	10,63	13,07	13,90	6,40	4,20
		P 3,2 <sup>Y</sup>	P 2,5	P 2,2	P 2,0	P 1,75	Pf <sup>Y</sup>				
<b>Orientação (O)</b>	1	0,01	33,84	10,14	32,43**	12,18	0,00				
<b>Nível (N)</b>	2	0,00	237,23**	181,94**	33,97**	127,68**	0,04**				
<b>O x N</b>	2	0,00	10,22	45,74	21,70**	5,02	0,00				
<b>C x TRAT</b>	1	0,00	41,50	292,83**	30,26**	154,10**	0,04**				
<b>Erro</b>	18	0,00	15,13	22,25	3,21	8,98	0,00				
<b>CV (%)</b>		33,57	19,43	8,66	18,39	33,31	19,30				

AF: área foliar; MS: massa seca; NP: número de panículas; MSf: massa seca final do ciclo; MG: massa de grãos; NG: número de grãos; MMG: massa de mil grãos; IC: índice de colheita; P: peneira; \*\* e \*: significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; \*FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; <sup>Y</sup>: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE M — RESUMO DA ANOVA PARA EXPERIMENTO COM SOMBREAMENTO CONTÍNUO (2021)**

QM (2021)											
FV	GL	SPAD 7	SPAD 14 <sup>y</sup>	SPAD 21	SPAD 28	SPAD35	SPAD42	SPAD49	SPAD 56	SPAD 63	SPAD 70
<b>Orientação (O)</b>	1	27,22**	0,23**	12,80	0,23	1,59	11,99	60,77**	39,78**	34,08*	44,36*
<b>Nível (N)</b>	2	31,25**	0,32**	110,43**	24,32**	5,77	0,14	52,39**	21,06**	22,20*	30,76*
<b>O x N</b>	2	14,88*	0,02	12,66	2,80	1,71	4,86	10,53	6,12	2,89	3,95
<b>C x TRAT</b>	1	21,37*	0,03	8,24	0,07	17,55	10,48	24,62	0,24	0,12	4,05
<b>Erro</b>	18	2,94	0,02	7,04	2,47	5,72	3,87	5,86	3,42	4,55	6,27
<b>CV (%)</b>		4,088	2,306	6,5413	3,386	5,169	4,447	5,475	3,81	4,19	4,94
NDVI											
		NDVI 7	NDVI 14	NDVI 21	NDVI 28	NDVI 35 <sup>y</sup>	NDVI 42	NDVI 49	NDVI 56	NDVI 63	NDVI 70 <sup>y</sup>
<b>Orientação (O)</b>	1	0,17	0,23	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Nível (N)</b>	2	0,56*	0,40*	0,06**	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
<b>O x N</b>	2	0,05	0,08	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,01	0,02	0,00
<b>C x TRAT</b>	1	0,05	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
<b>Erro</b>	18	0,12	0,07	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00
<b>CV (%)</b>		5,60	4,23	1,47	100,00	0,7	1,15	1,89	1,13	1,12	1,06
Altura											
		Altura 7	Altura 14	Altura 21	Altura 28	Altura 35	Altura 42	Altura 49	Altura 56	Altura 63	Altura 70
<b>Orientação (O)</b>	1	1,50	5,051	7,76	14,71	112,71*	88,78**	81,77*	84,41*	121,01*	71,04
<b>Nível (N)</b>	2	21,14**	35,89**	52,34**	139,14**	243,05**	208,97**	347,37**	450,97**	498,54**	673,22***
<b>O x N</b>	2	6,10	6,23	21,24	6,85	0,95	0,06	0,28	1,79	1,90	13,80
<b>C x TRAT</b>	1	31,31**	80,36**	29,69*	22,70	33,47	30,98	2,72	0,34	98,85	29,44
<b>Erro</b>	18	3,09	3,38	6,18	5,98	15,81	9,99	15,95	13,26	23,55	24,07
<b>CV (%)</b>		7,30	5,48	5,58	4,56	5,91	4,48	5,31	4,64	5,85	5,66
Área Foliar e Massa Seca											
		AF 30	AF 60	MS 30	MS 60	NP	MSf	MG / mL	NG / mL	MMG	IC
<b>Orientação (O)</b>	1	1476,27*	373,83	0,05	0,36	130,95	286,42*	451,36	784,67**	39,68	44,07
<b>Nível (N)</b>	2	4350,63**	16177,02**	0,17**	1,99v	512,25**	1894,45**	2559,22**	2637,40**	130,69	599,67*
<b>O x N</b>	2	606,95	170,39	0,03	0,03	20,89	141,87	370,13	447,93*	0,39	107,80
<b>C x TRAT</b>	1	6381,39**	15474,05**	0,21**	0,05	331,80**	1172,43**	4970,20**	2786,08**	709,14**	2194,59**
<b>Erro</b>	18	282,62	1212,11	0,01	0,20	38,81	42,06	119,12	94,53	50,94	133,42
<b>CV (%)</b>		13,11	15,01	20,70	19,02	6,80	7,71	16,20	12,87	8,14	14,75
Peneira											
		P 3,2 <sup>y</sup>	P 2,5	P 2,2	P 2,0 <sup>y</sup>	P 1,75 <sup>y</sup>	Pf				
<b>Orientação (O)</b>	1	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	12,20				
<b>Nível (N)</b>	2	0,00	0,01*	35,23**	0,00	0,00	161,60				
<b>O x N</b>	2	0,00	0,00	13,73	0,00	0,00	74,97				
<b>C x TRAT</b>	1	0,01	0,01*	35,78*	0,00*	0,00	267,85*				
<b>Erro</b>	18	0,00	0,00	5,22	0,00	0,00	57,78				
<b>CV (%)</b>		23,84	17,22	18,71	8,67	11,28	16,80				

AF: área foliar; MS: massa seca; NP: número de panículas; MSf: massa seca final do ciclo; MG: massa de grãos; NG: número de grãos; MMG: massa de mil grãos; IC: índice de colheita; P: peneira; \*\* e \*: significativo a 1,0 e 5,0%, respectivamente; \*FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV (%): Coeficiente de variação; <sup>y</sup>: Dados transformados através de raiz de (x+0,5). Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## APÊNDICE N — ÍNDICE SPAD EM DIAS APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO CONTÍNUO

(Continua)

Orientação	Níveis de Sombreamento															
	2020				2021											
	Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média				
7 Dias																
L/O	41,98	ns <sup>*</sup>	42,69	44,42	43,03	ns	44,69	aA	44,21	aA	38,95	aB <sup>*</sup>	42,62	a		
N/S	44,31		43,71	44,36	44,13		41,85	bA	39,78	bA <sup>*</sup>	39,83	aA <sup>*</sup>	40,49	b		
Média	43,14	ns	43,20	44,39			43,27	A	41,99	A	39,39	B				
T	48,92				44,05											
14 Dias																
L/O	38,92	ns <sup>*</sup>	37,92	*	37,21	*	38,01	ns	42,96	ns	42,61		38,05	41,21	a	
N/S	39,91	*	37,27	*	38,89	*	38,69		41,15		38,72		36,33	*	38,73	b
Média	39,41	ns	37,59		38,05				42,05	A	40,66	A	37,19	B		
T	44,83				41,15											
21 Dias																
L/O	41,83	ns <sup>*</sup>	41,03	*	39,49	*	40,78	ns	43,11	ns	41,99		38,11	41,07	ns	
N/S	40,33	*	43,09	*	41,80	*	41,74		41,97		42,99		33,99	*	39,61	
Média	41,08	ns	42,06		40,65				42,54	A	42,43	A	36,05	B		
T	47,72				41,89											
28 Dias																
L/O	44,16	ns <sup>*</sup>	41,98	*	38,41	*	41,52	ns	47,21	ns	48,25		44,00	46,49	ns	
N/S	41,84	*	43,26	*	43,17	*	42,76		47,39		46,73		44,76	46,29		
Média	43,00	ns	42,62		40,79				47,30	A	47,49	A	44,38	B		
T	49,21				46,25											
35 Dias																
L/O	51,21	aA	46,94	bB	45,41	bB	47,85	ns	46,89	ns	46,51		45,66	46,35	ns	
N/S	46,31	bB	49,74	aA	49,68	aA	48,58		48,26		46,04		46,29	46,87		
Média	48,76	ns	48,34		47,55				47,57	ns	46,28		45,98			
T	48,71				44,35											
42 Dias																
L/O	56,61	aA	55,33	aAB	52,79	bB	54,91	ns	44,72	ns	45,92		44,89	45,17	ns	
N/S	54,20	aA	55,49	aA	56,98	aA	55,56		44,35		42,71		44,22	43,76		
Média	55,41	ns	55,41		54,89				44,53	ns	44,31		44,55			
T	54,80				42,72											
49 Dias																
L/O	59,55	aA <sup>*</sup>	58,49	aA	53,87	bB <sup>*</sup>	57,04	b	47,96	ns	46,39		41,91	45,42	a	
N/S	58,40	aA	59,52	aA <sup>*</sup>	59,31	aA	59,04	a	45,04		40,79	*	40,88	*	42,24	b
Média	58,98	A	58,96	A	56,59	B			46,50	A	43,59	B	41,40	B		
T	57,13				46,51											
56 Dias																
L/O	60,97	aA	60,02	bAB	57,46	bB	59,48	b	51,51	ns	50,93		47,13	49,85	a	
N/S	59,22	aB	62,41	aA <sup>*</sup>	62,77	aA <sup>*</sup>	61,46	a	48,49		46,87		46,87	47,28	b	
Média	60,09	ns	61,21		60,11				50,00	A	48,90	AB	46,80	B		
T	59,19				48,30											

Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). \*L/O: Leste/Oeste; N/S: Norte/Sul; T: Testemunha. \*Médias diferem da testemunha. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE N — ÍNDICE SPAD EM DIAS APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO  
CONTÍNUO**

(Conclusão)

Orientação	Níveis de Sombreamento													
	2020				2021									
	Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média						
<b>63 Dias</b>														
L/O	58,54	aB	61,40	aA	58,21	bB	59,38	b	53,54	ns	51,82	51,00	52,12	a
N/S	60,52	aA	62,13	aA*	62,65	aA*	61,77	a	51,39		50,50	47,32	49,74	b
Média	59,53	B	61,76	A	60,43	AB			52,47	A	51,16	AB	49,16	B
T	58,31				51,11									
<b>70 Dias</b>														
L/O	47,32	ns	55,54	*	57,50	*	53,45	ns	53,70	ns	53,66	49,34	52,23	a
N/S	55,09	*	57,91	*	58,85	*	57,28		51,08		49,49	47,98	49,51	b
Média	51,20	ns	56,73		58,17				52,39	A	51,58	AB	48,66	B
T	38,94				49,79									

Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). \*L/O: Leste/Oeste; N/S: Norte/Sul; T: Testemunha. \*Médias diferem da testemunha. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## APÊNDICE O — NDVI EM DIAS APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO CONTÍNUO

(Continua)

Direção		Níveis de Sombreamento							
		2020				2021			
		Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média
7 Dias									
L/O		6,63 <sup>ns</sup>	6,02	6,51	6,39 <sup>ns</sup>	6,67 <sup>ns</sup>	6,02	6,21	6,30 <sup>ns</sup>
N/S		5,73	6,34	6,14	6,07	6,37	6,03	5,99	6,13
	Média	6,18 <sup>ns</sup>	6,18	6,32		6,52 <sup>A</sup>	6,03 <sup>AB</sup>	6,10 <sup>B</sup>	
T		6,15				6,34			
14 Dias									
L/O		6,43 <sup>ns</sup>	5,98 <sup>*</sup>	5,81 <sup>*</sup>	6,07 <sup>ns</sup>	6,57 <sup>ns</sup>	6,32	6,28	6,39 <sup>ns</sup>
N/S		6,34	6,01	5,98 <sup>*</sup>	6,11	6,45	6,29	5,85 <sup>*</sup>	6,20
	Média	6,38 <sup>A</sup>	5,99 <sup>B</sup>	5,89 <sup>B</sup>		6,51 <sup>A</sup>	6,31 <sup>AB</sup>	6,07 <sup>B</sup>	
T		6,54				6,54			
NVI 21 Dias									
L/O		6,55 <sup>ns</sup>	6,75	6,52	6,61 <sup>ns</sup>	6,61 <sup>ns</sup>	6,51	6,45	6,52 <sup>ns</sup>
N/S		6,82	6,75	6,52	6,75	6,57	6,53	6,37	6,49
	Média	6,68 <sup>AB</sup>	6,83 <sup>A</sup>	6,52 <sup>B</sup>		6,59 <sup>A</sup>	6,52 <sup>AB</sup>	6,41 <sup>B</sup>	
T		6,71				6,54			
28 Dias									
L/O		6,73 <sup>aA</sup>	6,79 <sup>aA</sup>	6,50 <sup>bB*</sup>	6,67 <sup>b</sup>	6,81 <sup>ns</sup>	6,82	6,68	6,77 <sup>ns</sup>
N/S		6,76 <sup>aA</sup>	6,68 <sup>aA</sup>	6,87 <sup>aA</sup>	6,77 <sup>a</sup>	6,80	6,76	6,77	6,78
	Média	6,74 <sup>ns</sup>	6,74	6,68		6,81 <sup>ns</sup>	6,79	6,73	
T		6,81				6,77			
35 Dias									
L/O		7,00 <sup>ns</sup>	7,03	7,03	7,02 <sup>b</sup>	6,72 <sup>ns</sup>	6,74	6,71	6,72 <sup>ns</sup>
N/S		7,13	7,14	7,20	7,16 <sup>a</sup>	6,73	6,69	6,71	6,71
	Média	7,07 <sup>ns</sup>	7,08	7,12		6,72 <sup>ns</sup>	6,72	6,71	
T		7,10				6,71			
42 Dias									
L/O		7,15 <sup>aA</sup>	7,16 <sup>aA</sup>	7,20 <sup>aA</sup>	7,17 <sup>a</sup>	6,79 <sup>ns</sup>	6,72	6,73	6,75 <sup>ns</sup>
N/S		6,73 <sup>bB*</sup>	7,09 <sup>aA</sup>	7,19 <sup>aA</sup>	7,00 <sup>b</sup>	6,78	6,77	6,75	6,77
	Média	6,94 <sup>B</sup>	7,13 <sup>AB</sup>	7,19 <sup>A</sup>		6,79 <sup>ns</sup>	6,74	6,74	
T		7,10				6,73			
49 Dias									
L/O		7,08 <sup>ns</sup>	6,91	7,14	7,04 <sup>ns</sup>	6,81 <sup>ns</sup>	6,88	6,75	6,81 <sup>ns</sup>
N/S		7,14	7,15	7,10	7,13	6,86	6,67	6,75	6,76
	Média	7,11 <sup>ns</sup>	7,03	7,12		6,84 <sup>ns</sup>	6,77	6,75	
T		7,00				6,79			
56 Dias									
L/O		6,82 <sup>ns</sup>	7,02	7,07	6,97 <sup>ns</sup>	6,85 <sup>ns</sup>	6,84	6,88	6,86 <sup>ns</sup>
N/S		6,70	7,05	6,91	6,89	6,84	6,88	6,82	6,85
	Média	6,76 <sup>B</sup>	7,03 <sup>A</sup>	6,99 <sup>AB</sup>		6,84 <sup>ns</sup>	6,86	6,85	
T		7,04				6,81			

Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). \*L/O: Leste/Oeste; N/S: Norte/Sul; T: Testemunha. \*Médias diferem da testemunha. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## APÊNDICE O — NDVI EM DIAS APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO CONTÍNUO

(Conclusão)

Direção	Níveis de Sombreamento							
	2020				2021			
	Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média
	63 Dias							
L/O	6,88 <sup>aB</sup>	7,00 <sup>aAB</sup>	7,21 <sup>aA*</sup>	7,03 <sup>ns</sup>	6,86 <sup>ns</sup>	6,85	6,92	6,88 <sup>ns</sup>
N/S	7,03 <sup>aA</sup>	7,02 <sup>Aa</sup>	6,83 <sup>bA</sup>	6,96	6,85	6,92	6,81	6,86
Média	6,95 <sup>ns</sup>	7,01	7,02		6,85 <sup>ns</sup>	6,89	6,86	
T	6,87				6,81			
	70 Dias							
L/O	6,37 <sup>ns</sup>	6,82 <sup>*</sup>	6,90 <sup>*</sup>	6,70 <sup>ns</sup>	6,77 <sup>ns</sup>	6,70	6,72	6,73 <sup>ns</sup>
N/S	6,81 <sup>*</sup>	6,79 <sup>*</sup>	6,87 <sup>*</sup>	6,82	6,80	6,58	6,64	6,67
Média	6,59 <sup>ns</sup>	6,81	6,89		6,79 <sup>ns</sup>	6,64	6,68	
T	5,60				6,69			

Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). \*L/O: Leste/Oeste; N/S: Norte/Sul; T: Testemunha. \*Médias diferem da testemunha. Fonte: Elaborado pela autora (2023).



## APÊNDICE P — ALTURA EM DIAS APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO CONTÍNUO

(Continua)

Direção	Níveis de Sombreamento							
	2020				2021			
	Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média
<b>7 Dias</b>								
L/O	17,04 <sup>ns</sup>	16,26	16,67	16,65 <sup>ns</sup>	23,67 <sup>ns</sup>	24,83	25,75	24,75 <sup>ns</sup>
N/S	16,35	18,54	18,92	17,97	21,86	26,21	24,96	24,25
Média	16,75 <sup>ns</sup>	17,40	17,79		22,63 <sup>B</sup>	25,52 <sup>A</sup>	25,35 <sup>A</sup>	
T	13,11				21,48			
<b>14 Dias</b>								
L/O	26,88 <sup>ns</sup>	27,67	28,21	27,58 <sup>ns</sup>	33,54 <sup>ns</sup>	36,00	34,54	34,70 <sup>ns</sup>
N/S	26,21	29,04	30,67	28,64	31,00	36,96	33,38	33,78
Média	26,54 <sup>ns</sup>	28,35	29,44		32,27 <sup>B</sup>	36,48 <sup>A</sup>	33,96 <sup>B</sup>	
T	21,19				29,40			
<b>21 Dias</b>								
L/O	40,75 <sup>ns</sup>	40,79	40,58	40,71 <sup>ns</sup>	47,42 <sup>ns</sup>	45,75	43,63	45,6 <sup>ns</sup>
N/S	38,96	45,75	43,25	42,65	44,34	48,38	40,67	44,46
Média	39,85 <sup>ns</sup>	43,27	41,92		45,88 <sup>A</sup>	47,06 <sup>A</sup>	42,15 <sup>B</sup>	
T	34,13				42,09			
<b>28 Dias</b>								
L/O	48,88 <sup>ns</sup>	48,67	46,17	47,90 <sup>ns</sup>	56,34 <sup>ns</sup>	57,25	50,96	54,85 <sup>ns</sup>
N/S	46,25	50,17	46,67	47,69	54,21	57,75	47,89	53,28
Média	47,56 <sup>ns</sup>	49,42	46,42		55,27 <sup>A</sup>	57,50 <sup>A</sup>	49,43 <sup>B</sup>	
T	45,69				51,49			
<b>35 Dias</b>								
L/O	64,08 <sup>ns</sup>	60,83	56,83	60,58 <sup>ns</sup>	70,37 <sup>ns</sup>	73,96	63,30	69,21 <sup>a</sup>
N/S	60,50	64,92	60,08	61,83	66,84	69,25	58,54	64,88 <sup>b</sup>
Média	62,29 <sup>ns</sup>	62,88	58,46		68,61 <sup>A</sup>	71,60 <sup>A</sup>	60,92 <sup>B</sup>	
T	62,00				63,92			
<b>42 Dias</b>								
L/O	76,29 <sup>aA</sup>	71,33 <sup>abA</sup>	68,54 <sup>aB</sup>	72,06 <sup>ns</sup>	74,50 <sup>ns</sup>	77,17	67,25	72,97 <sup>a</sup>
N/S	75,92 <sup>aA</sup>	74,04 <sup>aA</sup>	72,54 <sup>aA</sup>	74,17	70,46	73,42	63,50	69,13 <sup>b</sup>
Média	76,11 <sup>A</sup>	72,69 <sup>AB</sup>	70,54 <sup>B</sup>		72,48 <sup>A</sup>	75,29 <sup>A</sup>	65,38 <sup>B</sup>	
T	78,77				68,04			
<b>49 Dias</b>								
L/O	87,46 <sup>aA</sup>	83,42 <sup>aA</sup>	75,96 <sup>aB</sup>	82,28 <sup>ns</sup>	78,83 <sup>ns</sup>	82,62	70,13	77,19 <sup>a</sup>
N/S	84,74 <sup>aA</sup>	84,54 <sup>aA</sup>	80,42 <sup>aA</sup>	83,23	75,34	79,17	66	73,5 <sup>b</sup>
Média	86,1 <sup>A</sup>	83,98 <sup>A</sup>	78,19 <sup>B</sup>		77,08 <sup>A</sup>	80,9 <sup>A</sup>	68,06 <sup>B</sup>	
T	91,29				74,46			
<b>56 Dias</b>								
L/O	98,42 <sup>aA</sup>	91,72 <sup>aB</sup>	83,33 <sup>bC</sup>	91,06 <sup>b</sup>	82,59 <sup>ns</sup>	86,75	71,67	80,33 <sup>a</sup>
N/S	98,33 <sup>aA</sup>	94,17 <sup>aAB</sup>	91,17 <sup>aB</sup>	94,56 <sup>a</sup>	79,50	81,92	68,33	76,58 <sup>b</sup>
Média	98,38 <sup>A</sup>	92,79 <sup>B</sup>	87,58 <sup>C</sup>		81,04 <sup>A</sup>	84,33 <sup>A</sup>	70,00 <sup>B</sup>	
T	101,58				78,77			

Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). \*L/O: Leste/Oeste; N/S: Norte/Sul; T: Testemunha. \*Médias diferem da testemunha. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE P — ALTURA EM DIAS APÓS INÍCIO DO SOMBREAMENTO CONTÍNUO**

(Conclusão)

Direção	Níveis de Sombreamento														
	2020				2021										
	Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média							
63 Dias															
L/O	98,97	aA	92,83	aA	84,75	bB	92,08	b	90,17	ns	89,08	75,25	84,83	a	
N/S	100,92	aA	96,08	aAB	92,17	aB	96,39	a	85,58		83,67	71,78	80,34	b	
Média	99,79	A	94,46	B	88,46	C			87,88	A	86,38	A	73,51	B	
T	103,94				87,96										
70 Dias															
L/O	96,50	aA	92,84	aA	85,17	bB	91,50	a	92,58	ns	92,67	78,75	88,00	ns	
N/S	99,84	aA	94,92	aAB	92,33	aB	85,70	b	91,75		89,25	72,67	84,56		
Média	98,17	A	93,88	A	88,75	B			92,17	A	90,96	A	75,71	B	
T	102,25				89,21										

Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). \*L/O: Leste/Oeste; N/S: Norte/Sul; T: Testemunha. \*Médias diferem da testemunha. Fonte: Elaborado pela autora (2023).

**APÊNDICE Q — RETENÇÃO DE GRÃOS EM PENEIRAS DE PLANTAS  
PRODUZIDAS SOB SOMBREAMENTO CONTÍNUO**

		QM							
		2020				2021			
Direção		Níveis de Sombreamento				Níveis de Sombreamento			
		Baixo	Médio	Alto	Média	Baixo	Médio	Alto	Média
		Peneira 3,2							
L/O		0,55 <sup>ns</sup>	1,78	0,78	1,03 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,22	0,30	0,50 <sup>ns</sup>
N/S		3,28	1,93	2,08	2,43	0,16	0,23	0,43	0,27
	Média	1,91 <sup>ns</sup>	1,85	1,43		0,56 <sup>ns</sup>	0,22	0,36	
T		2,50				0,59			
		Peneira 2,5							
L/O		21,68 <sup>ns</sup>	22,43	10,90	18,33 <sup>ns</sup>	4,63 <sup>ns</sup>	2,17 <sup>*</sup>	3,85	3,55 <sup>ns</sup>
N/S		22,00	24,43	15,70	20,71	5,74	4,03	3,04	4,27
	Média	21,84 <sup>A</sup>	23,43 <sup>A</sup>	13,30 <sup>B</sup>		5,18 <sup>A</sup>	3,10 <sup>B</sup>	3,45 <sup>B</sup>	
T		23,00				5,75			
		Peneira 2,2							
L/O		59,58 <sup>ns</sup>	50,75 <sup>*</sup>	47,13	52,48 <sup>ns</sup>	13,75 <sup>ns</sup>	11,01	10,79	11,85 <sup>ns</sup>
N/S		57,70	49,73 <sup>*</sup>	53,93	53,78	13,33	13,54	8,09 <sup>*</sup>	11,65
	Média	58,64 <sup>A</sup>	50,24 <sup>B</sup>	50,53 <sup>B</sup>		13,54 <sup>A</sup>	12,27 <sup>AB</sup>	9,44 <sup>B</sup>	
T		62,38				14,98			
		Peneira 2,0							
L/O		8,73 <sup>aB</sup>	9,70 <sup>aB</sup>	15,76 <sup>aA</sup>	11,33 <sup>a</sup>	12,28 <sup>ns</sup>	11,16	11,35	11,60 <sup>ns</sup>
N/S		8,83 <sup>aA</sup>	8,70 <sup>aA</sup>	9,50 <sup>bA</sup>	9,01 <sup>b</sup>	11,15	11,88	12,09	11,70
	Média	8,78 <sup>B</sup>	9,20 <sup>B</sup>	12,54 <sup>A</sup>		11,72 <sup>ns</sup>	11,52	11,72	
T		7,20				14,19			
		Peneira 1,75							
L/O		5,70 <sup>ns</sup>	11,05 <sup>*</sup>	15,25 <sup>*</sup>	10,67 <sup>ns</sup>	28,86 <sup>ns</sup>	21,62	25,39	25,29 <sup>ns</sup>
N/S		5,95	9,43 <sup>*</sup>	12,35 <sup>*</sup>	9,24	26,39	24,70	27,85	26,31
	Média	5,83 <sup>B</sup>	10,24 <sup>A</sup>	13,80 <sup>A</sup>		27,63 <sup>ns</sup>	23,16	26,62	
T		3,25				26,83			
		Peneira 0 (não retido)							
L/O		3,80 <sup>ns</sup>	4,30	10,35 <sup>*</sup>	6,15 <sup>ns</sup>	39,51 <sup>ns</sup>	53,83 <sup>*</sup>	48,33	47,22 <sup>ns</sup>
N/S		2,28	5,75 <sup>*</sup>	6,45 <sup>*</sup>	4,83	43,24	45,64	48,51	45,80
	Média	3,04 <sup>B</sup>	5,03 <sup>B</sup>	8,40 <sup>A</sup>		41,38 <sup>ns</sup>	49,73	48,42	
T		1,60				37,67			

Letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). \*L/O: Leste/Oeste; N/S: Norte/Sul; T: Testemunha. \*: Médias diferem da testemunha. Fonte: Elaborado pela autora (2023).