

TAXA DE APARECIMENTO DE FOLHAS E FILOCRONO EM LENTILHA

LEAF APPEARANCE RATE AND PHYLLOCHRON IN LENTILS

MIKAEL BRUM DOS REIS

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil
Mestra em Agronomia. E-mail: mikareis1999@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4226-690X>

ALBERTO CARGNELUTTI FILHO

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil
Doutor em Agronomia. E-mail: alberto.cargnelutti.filho@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8608-9960>

MURILO VIEIRA LORO

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil
Doutor em Agronomia. E-mail: muriloloro@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0241-4226>

VITHÓRIA MORENA ORTIZ

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil
Mestra em Agronomia. E-mail: vithoria.ortiz159@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8112-9812>

Submissão: 05-09-2024 - Aceite 07-04-2026

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi determinar a taxa de aparecimento de folhas (TAF, em folhas dia⁻¹) e o filocrono (FILO, em °C dia folha⁻¹) para a cultura da lentilha (*Lens culinaris* L.). O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e vinte repetições. Foi avaliada a cultivar de lentilha BRS Silvina, em cinco datas de semeadura: 12/05/2023, 19/05/2023, 24/05/2023, 02/06/2023 e 30/06/2023. Semanalmente, em 20 plantas por data, foi contado o número de folhas expandidas (NF). Foram calculados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os valores médios das variáveis analisadas. Para cada planta (100 plantas) foi calculada a TAF, pelo coeficiente angular da regressão linear do NF em função do número de dias após a emergência. Foi calculado o FILO, pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear do NF em função da soma térmica. Foi utilizado a análise de componentes principais e o método de K-means para identificar padrões das variáveis entre as datas de semeadura. Houve variação nos valores da TAF e do FILO entre as datas de semeadura, com a TAF variando de 0,29 a 0,31 folhas dia⁻¹ e o FILO variando de 43,56 a 48,08 °C dia folha⁻¹.



PALAVRAS-CHAVE: *Lens culinaris* L. BRS Silvina. Regressão. Graus dia.

ABSTRACT: The objective of this work was to determine the leaf appearance rate (LAR, in leaves day⁻¹) and the phyllochron (PHY, in °C day leaf⁻¹) for the lentil crop (*Lens culinaris* L.). The experiment was conducted in the experimental area of the Department of Plant Science at the Federal University of Santa Maria. The experimental design used was completely randomized, with five treatments and twenty replications. The lentil cultivar BRS Silvina was evaluated on five sowing dates: 05/12/2023, 05/19/2023, 05/24/2023, 06/02/2023 and 06/30/2023. Weekly, on 20 plants per date, the number of expanded leaves (NL) was counted. Pearson's linear correlation coefficients were calculated between the average values of the analyzed variables. For each plant (100 plants), the LAR was calculated using the angular coefficient of the linear regression of NL as a function of the number of days after emergence. Was calculated the PHY, by the inverse of the angular coefficient of the linear regression of the NL as a function of the thermal sum. Principal component analysis and the K-means method were used to identify patterns of variables between sowing dates. There was variation in LAR and PHY values between sowing dates, with LAR varying from 0.29 to 0.31 leaves day⁻¹ and PHY varying from 43.56 to 48.08 °C day leaf⁻¹.

KEYWORDS: *Lens culinaris* L. BRS Silvina. Regression. Degree days.

Introdução

A lentilha (*Lens culinaris* L.) é uma planta pertencente à família *Fabaceae* com hábito de crescimento indeterminado (Vieira; Lima, 2016; Maphosa *et al.*, 2023). Tem sua origem evidenciada na região Mediterrânea e seu consumo remonta aos primórdios da civilização (Giordano *et al.*, 1993). Faz parte do grupo das *Pulses*¹, que segundo o Instituto Brasileiro do Feijão e *Pulses* (2022), juntamente com mais de onze outras espécies de sementes de leguminosas, são aquelas sementes utilizadas para a extração de óleo e suas vagens para alimentação humana. Nas quais se destacam como mais conhecidas e consumidas no Brasil: o feijão, as ervilhas secas e o grão-de-bico.

A lentilha é uma das cinco leguminosas mais produzidas no mundo, com 6,65 milhões de toneladas produzidas no ano de 2022. O Canadá lidera o ranking com 2,3 milhões de toneladas produzidas, contribuindo com 34% da produção mundial, seguido da Índia, Austrália, Turquia e Rússia com 1,27, 1,0, 0,45 e 0,26 milhão de tonelada, respectivamente. A espécie se expandiu rapidamente, com um crescimento de mais de 31% da área de cultivo e 49% da produção de grãos desde o ano de 2000 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022).

Compreender a dinâmica de crescimento e desenvolvimento da lentilha, em distintas datas de semeadura permite verificar a viabilidade do cultivo da cultura em diferentes condições ambientais. O filocrono, tempo necessário para o emissão de folhas consecutivas (Wilhelm; McMaster, 1995), é uma estimativa que possibilita observar o desenvolvimento da planta. Estudos

¹ Segundo a EMBRAPA (2019), o termo «Puls» deriva do latim e significa «sopa grossa.» Ele se refere a grãos de leguminosas secas que, quando cozidos, produzem um caldo espesso.

descreveram que a temperatura do ar (Kirby, 1995; Mukherjee *et al.*, 2023), temperatura do solo (Fogelberg; Mårtensson, 2024) e as datas de semeadura (Streck *et al.*, 2005; Denardin Junior *et al.*, 2023; Cargnelutti Filho *et al.*, 2024) estão entre os principais fatores que afetam o filocrono. Em um ensaio, Mukherjee *et al.* (2023) constataram que temperaturas mais altas reduziram o intervalo de tempo entre a emissão de folhas consecutivas, acelerando o ciclo de desenvolvimento da planta. Fogelberg e Mårtensson (2024) constataram que a semeadura precoce prolonga a emergência da lentilha, devendo ser evitada quando as temperaturas do solo forem menores que 10 °C.

Esse entendimento permite compreender as respostas fenotípicas da planta às variações meteorológicas ao longo do seu ciclo de cultivo, sendo essencial para entender os padrões de crescimento e desenvolvimento da lentilha. O estudo dessas interações no desenvolvimento da lentilha com o ambiente, incluindo fatores abióticos como temperatura, radiação solar e precipitação pluviométrica, possibilita compreender como a lentilha responde a essas variáveis, permitindo otimizar o seu cultivo em diferentes regiões e sob condições climáticas variadas. Por exemplo, pesquisas indicam que a lentilha possui tolerância à seca em comparação com outras leguminosas, o que a torna uma cultura promissora para áreas suscetíveis a estiagens (Singh *et al.*, 2013; Sinha *et al.*, 2018). Essa característica é particularmente importante em um cenário de mudanças climáticas, onde a frequência e severidade de eventos climáticos extremos estão aumentando (Alpino, 2022).

A capacidade de ajustar seu crescimento e desenvolvimento em resposta à variação na intensidade e qualidade da luz é fundamental para maximizar a produtividade em ambientes agrícolas diversificados. A lentilha apresenta plasticidade fenotípica que lhe permite adaptar-se a diferentes regimes de luminosidade. (Mitache *et al.*, 2024). Portanto, o estudo da ecofisiologia da lentilha é fundamental para a seleção de variedades mais adaptadas a diferentes condições ambientais e para o desenvolvimento de práticas agrícolas que maximizem o rendimento e a sustentabilidade do cultivo. Com o avanço das pesquisas, é possível melhorar as estratégias de manejo agrícola, promovendo o crescimento do cultivo da cultura frente aos desafios ambientais atuais e futuros. Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi determinar a taxa de aparecimento de folhas e o filocrono para a cultura da lentilha.

Metodologia

Foi conduzido um experimento na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, localizada a 29°42'S, 53°49'W e a 95 m de altitude. O clima da região, conforme Alvares *et al.* (2013), é definido como subtropical úmido-Cfa, enquanto a tipologia do solo é identificada como Argissolo Vermelho distrófico arênico (Santos *et al.*, 2018). Foi realizada a análise química do solo na profundidade de 0 - 20 cm, apresentando: pH em água (1:1): 5,7; Ca: 5,2 cmol_c dm⁻³; Mg: 2,7 cmol_c dm⁻³; Al: 0,0 (zero) cmol_c dm⁻³; H+Al: 3,9 cmol_c dm⁻³; índice SMP: 6,1; matéria orgânica: 2,5%; teor de argila: 24,0%; S: 10,1 mg dm⁻³; P (Mehlich): 72,2 mg dm⁻³; K: 0,788 cmol_c dm⁻³; CTC_{pH7}: 12,6 cmol_c dm⁻³; Cu: 1,54 mg dm⁻³; Zn: 1,08 mg dm⁻³; B: 1,23 mg dm⁻³.

Foi avaliada a cultivar de lentilha BRS Silvina, em cinco datas de semeadura: data 1: 12/05/2023, data 2: 19/05/2023, data 3: 24/05/2023, data 4: 02/06/2023 e data 5: 30/06/2023.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 20 repetições, sendo cada planta definida como uma unidade experimental.

Em cada data de semeadura, as plantas foram alocadas em parcelas constituídas por quatro fileiras de 5 m de comprimento espaçadas em 0,25 m entre fileiras, totalizando 5 m². A área experimental total foi de 27 m² e área útil total de 25 m². A densidade de semeadura foi de 40 sementes por metro. Após estabelecimento das plantas foi realizado o raleio de plantas, a fim de estabelecer 20 plantas por metro de fileira, resultando em uma densidade populacional de 800.000 plantas ha⁻¹. A adubação foi realizada juntamente na semeadura, aplicando de 320 kg ha⁻¹ de NPK na formulação de 05-20-20, fornecendo assim 16 kg ha⁻¹ de N, 64 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 64 kg ha⁻¹ de K₂O. Quinze dias após a emergência, foi aplicado 160 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N). A data de emergência foi considerada quando 50% das plântulas na parcela estavam visíveis acima do nível do solo.

Após a emergência, 20 plantas foram marcadas aleatoriamente em cada data de semeadura, sendo dez plantas em cada uma das duas fileiras centrais da parcela, totalizando 100 plantas (5 datas de semeadura × 20 plantas por data de semeadura). Semanalmente, nessas 100 plantas marcadas, foi contado o número de folhas expandidas (NF), ou seja, quando os bordos não se tocavam mais. Em cada data de semeadura, o florescimento foi registrado quando 50% das plantas na parcela apresentaram flores. A partir dessa observação, foi calculado o número de dias da emergência até o florescimento (NDF) das plantas para cada data.

As variáveis meteorológicas foram obtidas da Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada a 100 metros da área experimental. Obtiveram-se, para cada dia, a radiação solar global horária (em MJ m⁻²), as temperaturas máximas e mínimas horárias, em °C e a precipitação pluviométrica horária (em mm), para o período entre a semeadura e o florescimento das plantas, em cada data de semeadura.

Para cada dia, foi obtida a radiação solar global diária, (em MJ m⁻² dia⁻¹), e a precipitação pluviométrica diária (em mm dia⁻¹), por meio do somatório dos valores horários da radiação solar global e precipitação pluviométrica, respectivamente. Após, em cada data de semeadura, a partir da radiação solar global diária e precipitação pluviométrica diária, obteve-se, respectivamente, a radiação solar global acumulada (RAD, em MJ m⁻²) e a precipitação pluviométrica acumulada (PRE, em mm) do período entre a semeadura ao florescimento.

Para cada dia, a partir das temperaturas do ar máximas (Tmax) e mínimas (Tmin) horárias, calcularam-se os 24 valores de temperatura média horária do ar. Em seguida, calculou-se a temperatura média diária do ar (Tmed, em °C), pela média dos 24 valores de Tmed horária. Conforme o método proposto por Arnold (1960) foram calculados os graus-dia (GD, em °C), expresso pela seguinte fórmula: GD = Tmed - Tb. Nesta equação, Tmed representa a temperatura média diária e Tb, definida como 2 °C (Ghanem *et al.*, 2015), é a temperatura base mínima para o desenvolvimento da lentilha. Quando Tmed ≤ Tb, foi considerado GD igual a zero. A soma térmica (ST, em °C dia) desde a emergência da planta até o florescimento foi computada somando-se os valores diários de GD.

Foram calculados os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os valores médios das variáveis NDF, NF, RAD, Tmed, ST, PRE, TAF e FILO (n = cinco datas de semeadura), sendo a significância dos coeficientes verificada pelo teste t de *Student* a 5%. Para cada planta (100 plantas) foi calculada a taxa de aparecimento de folhas (TAF, em folhas dia⁻¹), pelo coeficiente

angular da regressão linear ($y = a + bx$) do número de folhas (NF, y) em função do número de dias após a emergência (DAE, x) (taxa de aparecimento de folhas = b). Para cada planta foi calculado o filocrono (FILO, em $^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$), pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear ($y = a + bx$) do número de folhas (NF, y) em função da soma térmica (ST, x) (filocrono = $1/b$) (Xue; Weiss; Baenziger, 2004). Foram estimados os valores mínimos e máximos da TAF e do FILO e seus coeficientes de determinação.

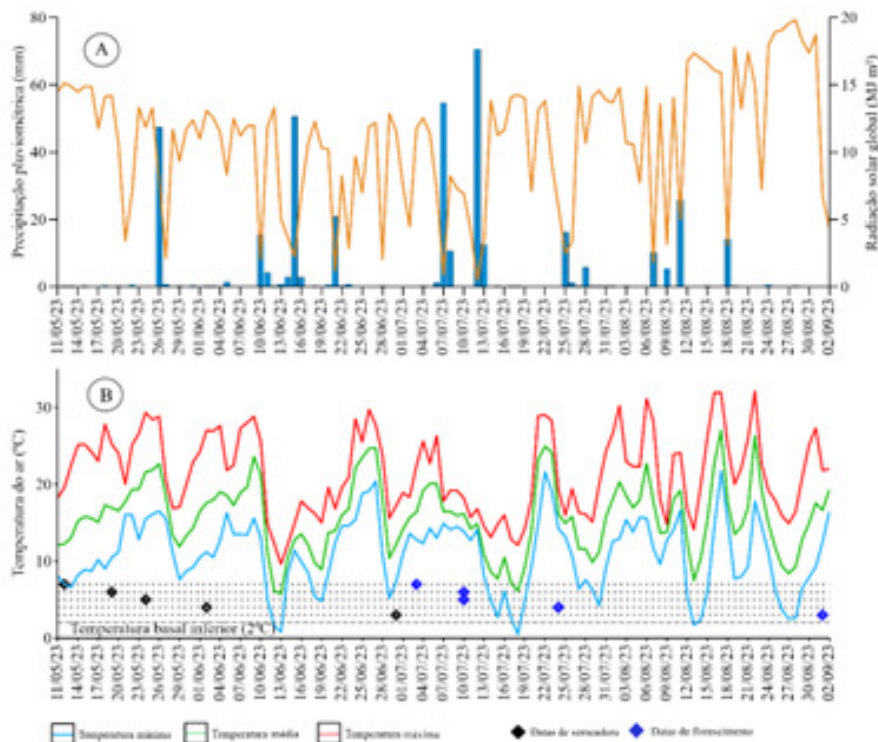
Os dados de NF, TAF e FILO foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F a 5% de probabilidade de erro. As médias foram agrupadas usando o teste de *Scott-Knott* com um nível de significância de 5%. Foi realizada a análise de componentes principais (ACP) (Jolliffe; Cadima, 2016) para avaliar a distribuição das variáveis NF, TAF e FILO nas datas de semeadura, representado por um gráfico *biplot*. Este método de análise multivariada tem sido amplamente utilizado em estudos para identificar padrões e relações entre diferentes variáveis, que aplicaram a ACP para analisar a variabilidade espacial de atributos em diferentes áreas (Hongyu *et al.*, 2016).

Utilizou-se o método *K-Means* para realizar o agrupamento das datas de semeadura com base nas seguintes variáveis padronizadas: NDF, NF, RAD, Tmed, ST, PRE, TAF e FILO. Para a elaboração da ANOVA e dos gráficos, foram utilizados os softwares Microsoft Excel e R (R Core Team, 2024), com auxílio dos pacotes *ExpDes.pt* (Ferreira, 2014), *ggplot2* (Wickham, 2016) e *ggpmisc* (Aphalo, 2022).

Resultados e discussões

Durante o período compreendido entre a semeadura e o florescimento das plantas em cada uma das cinco datas de semeadura, observaram-se oscilações na radiação solar global acumulada e na precipitação pluviométrica (Figura 1 e Tabela 1). A precipitação pluviométrica variou entre 151,40 mm (data 1) a 250,40 mm (data 4), ou seja, uma diferença máxima de 99 mm entre as cinco datas. A distribuição irregular de chuvas pode levar a estresse hídrico, afetando negativamente a produtividade da cultura (Rahman *et al.*, 2021; Zeroual *et al.*, 2022; Mukherjee *et al.*, 2023). Isso pode ser evidenciado na data 3, na qual três dias após a semeadura houve uma precipitação pluviométrica de 47,40 mm, favorecendo o seu desenvolvimento pela maior disponibilidade hídrica.

Figura 1- Condições meteorológicas de precipitação pluviométrica (mm) e radiação solar global (MJ m⁻²) (A) e temperaturas mínima, média e máxima (B) do período entre a primeira data de semeadura até o florescimento das plantas de lentilha (*Lens culinaris* L.), cultivar BRS Silvina, na última data de semeadura.



Fonte: Os autores (2024).

Tabela 1 - Número de dias da emergência até o florescimento (NDF), radiação solar global acumulada (RAD, em MJ m⁻² dia⁻¹), temperatura média do ar (Tmed, em °C), soma térmica (ST, em °C dia) e precipitação pluviométrica acumulada (PRE, em mm) do período da emergência até o florescimento das vinte plantas de lentilha (*Lens culinaris* L.), cultivar BRS Silvina, em cada data de semeadura.

DataS	Data de semeadura	Data de emergência	NDF	RAD	Tmed	ST	PRE
Data 1	12/05/2023	20/05/2023	44	410,49	16,12	643,33	151,40
Data 2	19/05/2023	26/05/2023	45	405,43	16,50	649,37	217,20
Data 3	24/05/2023	01/06/2023	39	350,33	15,95	567,56	168,40
Data 4	02/06/2023	08/06/2023	46	406,70	15,52	619,23	250,40
Data 5	30/06/2023	07/07/2023	56	673,59	15,33	749,31	230,20

Fonte: Os autores (2024).

O NDF apresentou uma correlação significativa e positiva ($r = 0,96$) com a RAD e ST, indicando que a maior duração do NDF promove maiores acúmulos de RAD e ST pelas plantas. Os valores de NDF observados nas datas de semeadura são semelhantes aos relatados por Venugopalan *et al.* (2021), que variaram de 39,1 a 45,8 dias. A data 5, que apresentou o maior NDF, acumulou 17 dias e 10 dias a mais em comparação com as datas 3 e 4, respectivamente. Os menores valores de NDF e RAD foram observados na data 3, com aumento gradativo em

direção à data 1 e data 5. A data 5 acumulou 64,09% e 92,27% a mais de RAD em relação à data 1 e data 3, respectivamente. Houve uma redução gradativa da Tmed com o atraso das datas de semeadura, variando de 15,33 °C (data 5) a 16,50 °C (data 2) (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficiente de correlação linear de Pearson entre o número de dias da emergência até o florescimento (NDF), número de folhas (NF), radiação solar global acumulada (RAD, em MJ m⁻² dia⁻¹), temperatura média do ar (Tmed, em °C), soma térmica (ST, em °C dia), precipitação pluviométrica acumulada (PRE, em mm), taxa de aparecimento de folhas (TAF, em folhas dia⁻¹) e filocrono (FILO, em °C dia folha⁻¹) das cinco datas de semeadura de lentilha (*Lens culinaris* L.), cultivar BRS Silvina.

Variáveis	NDF	NF	RAD	Tmed	ST	PRE	TAF
NF	0,84	-	-	-	-	-	-
RAD	0,96*	0,69	-	-	-	-	-
Tmed	-0,61	-0,20	-0,63	-	-	-	-
ST	0,96*	0,85	0,95*	-0,41	-	-	-
PRE	0,58	0,62	0,41	-0,48	0,40	-	-
TAF	-0,07	0,35	-0,31	0,25	-0,16	0,66	-
FILO	-0,03	-0,32	0,17	-0,06	0,10	-0,80	-0,95*

*significativo pelo teste t de Student a 5% de significância; n = 5; graus de liberdade = 3.

Fonte: Os autores (2024).

Entre as datas de semeadura, os valores mínimos da TAF variaram entre 0,23 e 0,26 folhas dia⁻¹ e valores máximos entre 0,35 e 0,38 folhas dia⁻¹. Os valores do coeficiente de determinação (R²) variaram entre 0,867 e 0,964 (valores mínimos) e entre 0,991 e 0,995 (valores máximos), demonstrando uma forte capacidade preditiva dos modelos de regressão linear para estimar a TAF com base nas condições específicas de cada data de semeadura (Tabela 3). Os altos valores de R² sugerem que o DAE é determinante para estimar a TAF de plantas de lentilha.

Tabela 3 - Valores mínimos (mín) e máximos (máx) de taxa de aparecimento de folhas (TAF, em folhas dia⁻¹), filocrono (FILO, em °C dia folha⁻¹) e coeficiente de determinação (R²) da regressão linear para estimar a TAF e o FILO das vinte plantas de lentilha (*Lens culinaris* L.), cultivar BRS Silvina, nas cinco datas de semeadura.

Datas	Data de semeadura	Taxa de aparecimento de folhas				Filocrono			
		mín	máx	R ²		mín	máx	R ²	
				mín	máx			mín	máx
Data 1	12/05/2023	0,23	0,38	0,884	0,994	35,92	61,07	0,893	0,995
Data 2	19/05/2023	0,26	0,35	0,964	0,995	38,94	53,07	0,973	0,996
Data 3	24/05/2023	0,26	0,36	0,867	0,994	38,42	52,72	0,879	0,995
Data 4	02/06/2023	0,24	0,36	0,943	0,991	37,23	54,82	0,938	0,993
Data 5	30/06/2023	0,25	0,35	0,951	0,993	38,71	53,27	0,962	0,995

Fonte: Os autores (2024).

Quanto ao FILO, os resultados mostraram uma variação dos GD necessários para o surgimento de uma nova folha, com valores mínimos variando de 35,92 °C dia folha⁻¹ a 38,94 °C dia folha⁻¹ e máximos de 52,72 °C dia folha⁻¹ a 61,07 °C dia folha⁻¹, entre as datas de

semeadura. O coeficiente de determinação foi alto, variando de 0,879 a 0,996, o que indica uma boa adequação do modelo de regressão linear para determinar o FILO. A variação dos valores de TAF e FILO reforçam a influência da data de semeadura, como também encontrados em outras culturas como trevo persa (Sganzerla *et al.*, 2010), soja (Ferneda *et al.*, 2016), teosinto (Denardin Junior *et al.*, 2023) e milho (Cargnelutti Filho *et al.*, 2024).

A análise de variância revelou efeito significativo das datas de semeadura para as variáveis NF, TAF e FILO (Tabela 4). Isso indica que há variação no desenvolvimento das plantas em função da data de semeadura. Os coeficientes de variação para NF, TAF e FILO foram de 8,33%, 9,82% e 10,15%, respectivamente. Esses valores são classificados como baixo (inferior a 10%) e médio (10% a 20%) para experimentos agrícolas (Pimentel-Gomes, 2009), o que reforça a confiabilidade dos dados amostrados.

Tabela 4 - Valores do quadrado médio da análise de variância para o número de folhas (NF), taxa de aparecimento de folhas (TAF, folhas dia-1) e filocrono (FILO, °C dia folha-1) em cinco datas de semeadura de lentilha (*Lens culinaris L.*), cultivar BRS Silvina.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio (QM)		
		NF	TAF	FILO
Datas	4	31,99*	2,45×10 ⁻³ *	77,01*
Resíduo	95	1,59	8,69×10 ⁻⁴	21,55
Total	99	-	-	-
Média	-	15,12	0,30	45,74
CV (%)	-	8,33	9,82	10,15

*significativo pelo teste F a 5% de significância.

Fonte: Os autores (2024).

O NF variou significativamente entre as datas de semeadura (13,05 a 16,35 folhas), sendo formados três grupos de médias (Tabela 5). As datas 2 e 5 apresentaram as maiores médias de NF e não diferiram estatisticamente entre si, sendo o maior NF observado na data 5 (16,35 folhas) e o menor NF na data 3 (13,05 folhas). As datas 1 e 4 mostraram resultados intermediários, mas estatisticamente semelhantes entre si, com média de NF de 15,00 e 15,35 folhas, respectivamente. Resultados similares sobre a variação no desenvolvimento da lentilha em resposta a diferentes datas de semeadura foram relatados por Venugopalan *et al.* (2021).

Tabela 5 - Média do número de folhas (NF), taxa de aparecimento de folhas (TAF, folhas dia⁻¹) e filocrono (FILO, °C dia folha⁻¹) de vinte plantas de lentilha (*Lens culinaris* L.), cultivar BRS Silvina, em cinco datas de semeadura.

Datas	Datas de semeadura	NF	TAF	FILO
Data 1	12/05/2023	15,00 b	0,29 b	48,08 a
Data 2	19/05/2023	15,85 a	0,31 a	43,82 b
Data 3	24/05/2023	13,05 c	0,29 b	46,67 a
Data 4	02/06/2023	15,35 b	0,31 a	43,56 b
Data 5	30/06/2023	16,35 a	0,29 b	46,53 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Scott-Knott* (p0,05).

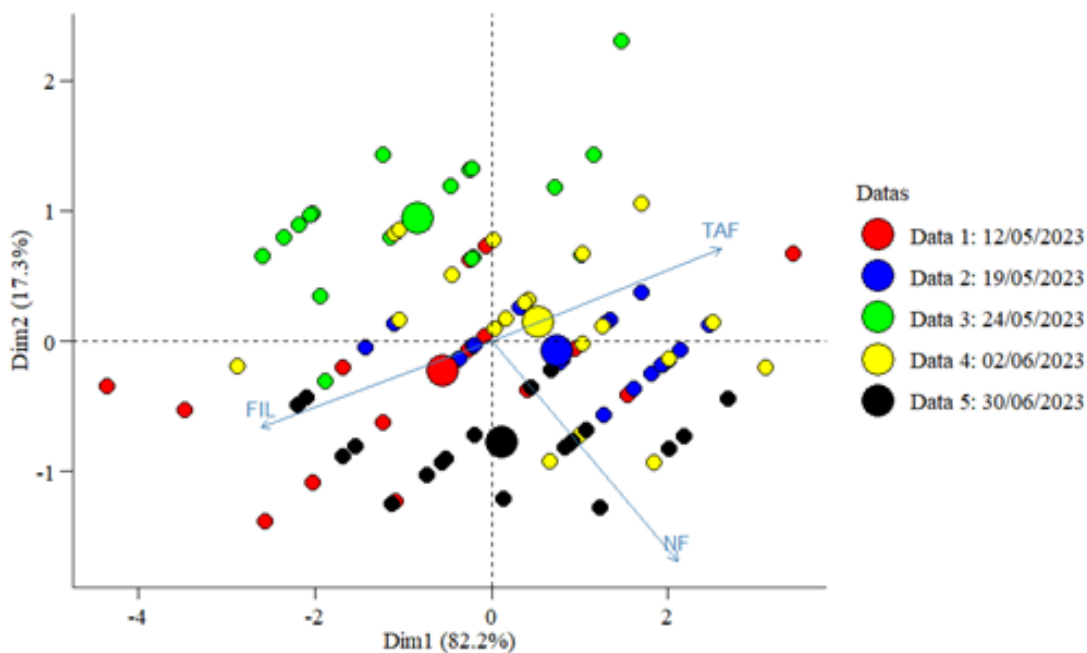
Fonte: Os autores (2024).

Os valores de TAF e o FILO apresentaram variação significativa, indicando que as condições ambientais em cada data de semeadura afetaram o desenvolvimento das plantas. Foram formados dois grupos de médias para TAF e FILO. O primeiro grupo (datas 1, 3 e 5) apresentou os menores valores de TAF e maiores de FILO com média de 0,29 folhas dia⁻¹ e 47,09 °C dia folha⁻¹, respectivamente. Isso indica que, em média são formadas 0,29 folhas por dia ou são necessários 47,09 °C para as plantas do primeiro grupo emitirem uma nova folha.

O segundo grupo (datas 2 e 4) apresentou os menores valores de TAF e FILO com média de 0,31 folhas dia⁻¹ e 43,69 °C dia folha⁻¹. Isso indica que, em média são formadas 0,31 folhas por dia ou são necessários 43,69 °C para as plantas do segundo grupo emitirem uma nova folha. Logo, pode-se inferir que as plantas das datas 2 e 4 apresentaram maior velocidade de aparecimento de folhas, revelando a influência das datas de semeadura nas estimativas de TAF e FILO. Esses resultados corroboram com os estudos de Muhammad *et al.* (2002) e Maphosa *et al.* (2023), que também observaram a influência das datas de semeadura no desenvolvimento da lentilha. Mitache *et al.* (2024) constataram que as plantas, ao serem submetidas a diferentes condições ambientais, exibem distintos padrões de desenvolvimento. Assim, a variação nos valores de NF, TAF e FILO, tendem a ser influenciados por fatores abióticos.

Na análise de componentes principais (ACP) realizada para avaliar a distribuição das variáveis NF, TAF e FILO em cada data de semeadura (Figura 2), observou-se a seguinte contribuição de cada data de semeadura para a variabilidade total dos dados: data 1 (28,01%), data 2 (14,48%), data 3 (22,26%), data 4 (16,74%) e data 5 (17,51%). Os dois primeiros componentes principais do *biplot* da ACP explicaram 82,2% e 17,3% da variância total dos dados, respectivamente. Essa explicação está de acordo com o recomendado por Johnson e Wichern (1998), os quais relataram que uma explicação superior a 80% é suficiente para explicar a variação dos dados pela ACP.

Figura 2 - Análise de componentes principais de lentilha (*Lens culinaris* L.), cultivar BRS Silvina, estratificado pelas cinco datas de semeadura.

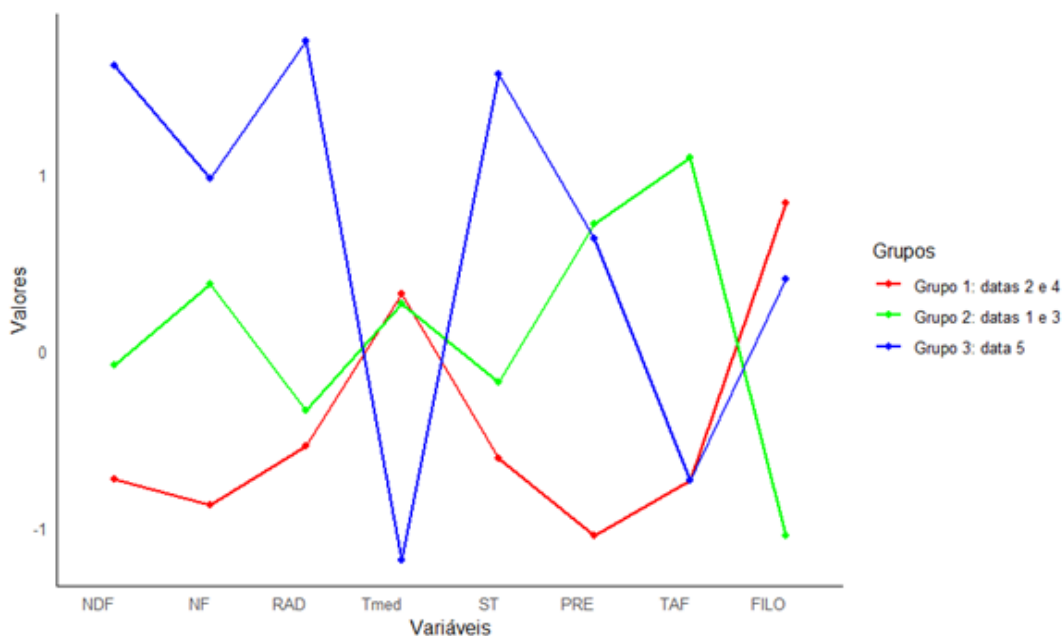


Fonte: Os autores (2024).

As variáveis NE, TAF e FILO são representadas por setas que indicam a direção e a magnitude da correlação dessas variáveis com os componentes principais. A data 1 se destaca ao longo do eixo x, o que indica que as observações nesta data têm maior variabilidade em relação a este componente principal. A data 3 está mais dispersa ao longo do eixo x positivo e do eixo y, refletindo sua considerável contribuição na variação. As datas 4 e 5 têm distribuições mais centradas, indicando contribuições intermediárias, enquanto a data 2 tem uma dispersão mais concentrada próxima ao centro, mostrando menor variabilidade em relação aos componentes principais.

Por meio da análise de agrupamentos realizada pelo método *K-means*, foram formados três grupos (Figura 3). No primeiro grupo, que inclui as das datas 2 e 4, observaram-se valores intermediários para NDF, NF, RAD, Tmed e ST, além da menor média para FILO. Este padrão confirma que as plantas neste grupo, possuíram condições ambientais mais favoráveis para um rápido desenvolvimento, apresentando um ciclo mais precoce.

Figura 3 - Agrupamento K-means das cinco datas de semeadura de lentilha (*Lens culinaris* L.), cultivar BRS Silvina, com base no número de dias da emergência até o florescimento (NDF), número de folhas (NF), radiação solar global acumulada (RAD, em MJ m⁻²), temperatura média do ar (Tmed, em °C), soma térmica (ST, em °C dia), precipitação pluviométrica acumulada (PRE, em mm), taxa de aparecimento de folhas (TAF, em folhas dia⁻¹) e filocrono (FILO, °C dia folha⁻¹).



Fonte: Os autores (2024).

No segundo grupo, composto pelas datas 1 e 3, registrou-se os menores valores de NDF, NF, RAD, ST, PRE e TAF e os maiores valores para Tmed e FILO, indicando um desenvolvimento foliar mais lento. O terceiro grupo, composto apenas pela data 5, apresentou os maiores valores de NDF, NF, RAD e ST e valores intermediários para TAF e FILO. Também foi o grupo com a menor Tmed. Isso indica um desenvolvimento vegetal intermediário, porém mais eficiente se comparado com o grupo 2, uma vez que houve um maior número de folhas emitidas com uma menor necessidade de dias e graus-dia para o aparecimento de cada folha. O método *K-means* mostrou-se eficiente na categorização dos dados, com 83,2% da variação total explicada pelas diferenças entre os grupos, revelando diferenças significativas nas condições de desenvolvimento das plantas entre as datas de semeadura.

Dessa forma, a TAF e o FILO, obtidos com confiabilidade devido aos elevados valores de coeficiente de determinação dos modelos de regressão linear ($R^2 = 0,879$), permitem um monitoramento prático da cultura. Pois a observação da temperatura média local possibilita a previsão do surgimento de novas folhas, o que auxilia diretamente no escalonamento de manejos como adubações de cobertura e aplicações de defensivos. Assim, garante-se que essas intervenções coincidam com os estádios fisiológicos ideais para a obtenção da máxima eficiência em cada operação.

Considerações finais

A taxa de aparecimento de folhas e o filocrono variam entre as datas de semeadura para as condições de Santa Maria - estado do Rio Grande do Sul.

As semeaduras em 12/05/2023, 24/05/2023 e 30/06/2023 resultam em desenvolvimento mais lento da lentilha, apresentando menor taxa de aparecimento de folhas (0,29 folhas dia⁻¹) e maior filocrono (47,09 °C folhas dia⁻¹), exigindo um monitoramento fitossanitário mais prolongado devido ao maior tempo da fase vegetativa.

As semeaduras em 19/05/2023 e 02/06/2023 são as mais indicadas para um estabelecimento rápido da lentilha, apresentando maior taxa de aparecimento de folhas (0,31 folhas dia⁻¹) e menor filocrono (43,69 °C folhas dia⁻¹).

Em média, o período da germinação até o florescimento é caracterizado pela emissão de 15 folhas. Com uma taxa de aparecimento de 0,30 folhas dia⁻¹ e uma necessidade de acúmulo de 46 °C dia folha⁻¹.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processos 304652/2017-2 e 304878/2022-7), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes, *Finance Code 001*) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (Fapergs) pela concessão de bolsas aos autores. Aos estudantes bolsistas e voluntários pelo auxílio na coleta de dados.

Referências

ALPINO, T. M. A.; MAZOTO, M. L.; BARROS, D. C.; FREITAS, C. M. Os impactos das mudanças climáticas na Segurança Alimentar e Nutricional: uma revisão da literatura. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 27, p. 273-286, 2022. DOI: 10.1590/1413-81232022271.05972020.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

APHALO, P. **ggpmisc: Miscellaneous Extensions to 'ggplot2'**. R package version 0.5.2, 2022. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ggpmisc>. Acesso em: 01 jun. 2024.

ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. **Journal of the American Society for Horticultural Sciences**, v. 76, p. 682-692, 1960.

CARGNELUTTI FILHO, A.; LORO, M. V.; ORTIZ, V. M.; ANDRETTA, J. A.; REIS, M. B.; DENARDIN JUNIOR, J. C. Número de folhas, período de emissão foliar, soma térmica e filocrono de variedades de polinização aberta de milho em datas de semeadura. **Caderno Pedagógico**, v. 21, p. 1-20, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n6-050.

CARVALHO, R. B. C. **Uma abordagem multivariada para redes de agrupamento.** Fuzzy Kohonen. 2018.

DENARDIN JUNIOR, J. C.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LORO, M. V.; ANDRETTA, J. A.; REIS, M. B.; ORTIZ, V. M.; SCHULLER, B. R. Estimativa do filocrono para a cultura de teosinto. **Sigmae**, v. 13, p. 18-23, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/2215/1764>. Acesso em: 10 jul. 2024.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Silvina: lentilha.** Embrapa Hortaliças, 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/778475/1/FD-Silvina-lentilha.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2024.

EMBRAPA. **Pulses e o grão-de-bico: importante mercado mundial para o Brasil.** Embrapa Agropecuária Oeste, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/48714778/artigo---pulses-e-o-grao-de-bico-importante-mercado-mundial-para-o-brasil>. Acesso em: 01 jun. 2024.

FERNEDA, B. G.; BOEING, E.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P.; SILVA, S. G.; MARTIM, C. C.; PALADINO, F. G.; TANAKA, A. A. Graus-dias na estimativa das taxas de crescimento de quatro cultivares de soja em diferentes épocas de plantio. **Nativa**, v. 4, p. 121-127, 2016. DOI: 10.14583/2318-7670.v04n03a01.

FERREIRA, É. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs.** v. 5, 19th ed., p. 2952, 2014. DOI: 10.4236/am.2014.519280.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Faostat. 2022. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 01 jun. 2024.

FOGELBERG, F.; MÅRTENSSON, A. M. Lentil (*Lens culinaris* L.) cultivation in Sweden: possibilities and challenges. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**, v. 74, n. 1, p. 1-12, 2024. DOI: 10.1080/09064710.2024.2395839.

GHANEM, M. E.; MARROU, H.; SOLTANI, A.; KUMAR, S.; SINCLAIR, T. R. Lentil Variation in Phenology and Yield Evaluated with a Model. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 1967-1977, 2015. DOI: 10.2134/agronj15.0061.

GIORDANO, L. B.; FRANÇA, F. H.; CRISOSTOMO, L. A.; SILVA, C. B.; AGUILAR, J. A. E.; REIFSCHNEIDER, F. J. B.; CASTRO, R. F. E.; DIAS, J. A. A.; PAES, P. B.; SILVA, H. R.; MATOS, A. T.; GUEDES, A. C.; CARRIJO, O. A.; ANDREOLI, C. **As culturas da ervilha e da lentilha.** Embrapa-SPI; Embrapa-CNPH, 1993. (Coleção Plantar, 2). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11910/2/00013180.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2024.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and science**, v. 5, p. 83-90, 2016. DOI: 10.18607/ES201653398.

INSTITUTO BRASILEIRO DO FEIJÃO E PULSES. **O que são pulses?** IBRAFE, 2019. Disponível em: <https://www.ibrafe.org/artigo/o-que-sao-pulses>. Acesso em: 01 jun. 2024.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis** Madison: Prentice Hall International, 6th ed., p. 433 New Jersey: Pearson prentice hall, 1998.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical transactions. Mathematical, physical, and engineering sciences*, v. 374, p. 374, 2016. DOI: 10.1098/rsta.2015.0202.

KIRBY, E.J. Factors affecting rate of emergence in barley and wheat. **Crop Science**, v.35, p.11-19, 1995. DOI: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500010003x.

MAPHOSA, L.; PRESTON, A.; RICHARDS, M. F. Effect of Sowing Date and Environment on Phenology, Growth and Yield of Lentil (*Lens culinaris* Medikus). Genotypes. **Plants**, v. 12, p. 474, 2023. DOI: 10.3390/plants12030474.

MITACHE, M.; BAIDANI, A.; BENCHARKI, B.; IDRISSE, O. Exploring genetic variability under extended photoperiod in lentil (*Lens Culinaris* Medik): vegetative and phenological differentiation according to genetic material's origins. **Plant Methods**, v. 20, p. 1-11, 2024. DOI: 10.1186/s13007-024-01135-0.

MUHAMMAD, A. M. A.; HUSSAIN, A.; WAJID, S. A.; MAQSOOD, M. M. M. Effect of sowing date, irrigation and plant densities on radiation interception and its utilization efficiency in lentils. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 4, p. 217-219, 2002. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20023116864>. Acesso em: 9 jul. 2024.

MUKHERJEE, B.; NASKAR, M. K.; NATH, R.; ATTA K.; KUMARI, V. V.; BANERJEE, P.; ALAMRI, S.; PATRA, K.; LAING, A. M.; SKALICKY, M.; HOSSAIN, A. Growth, nodulation, yield, nitrogen uptake, and economics of lentil as influenced by sowing time, tillage, and management practices. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1-13, 2023. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1151111.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

RAHMAN, U. M. H.; AHMAD, I.; WANG, D.; FAHAD, S.; AFZAL, M.; GHAFAR, A.; SADDIQUE, Q.; KHAN, M. A.; SAUD, S.; HASSAN, S.; FAHAD, M.; DIN, M.; AHMAD, S.; YUE, Z.; SHAH, R. A.; SÖNMEZ, O.; NASIM, W. Influence of semi-arid environment on radiation use efficiency and other growth attributes of lentil crop. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 13697-13711, 2021. DOI: 10.1007/s11356-020-11376-w.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; FERREIRA, C. T. J. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5 ed., Brasília: Embrapa, p. 356, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094003>. Acesso em: 08 ago. 2024.

- SGANZERLA, D. C.; MONKS, P. L.; CASSAL, V. B.; WUNCH, A. D. Variáveis morfogênicas e estruturais de trevo-persa em diferentes estádios e alturas de corte. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 16, p. 35-40, 2010.
- SINGH, D.; DIKSHIT, H. K.; SINGH, R. A new phenotyping technique for screening for drought tolerance in lentil (*Lens culinaris* Medik.). **Plant Breeding**, v. 132, p. 185-190, 2013. DOI: 10.1111/pbr.12033.
- SINHA, R.; PAL, A. K.; SINGH, A. K. Physiological, biochemical and molecular responses of lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes under drought stress. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 23, p. 772-784, 2018. DOI: 10.1007/s40502-018-0411-7.
- STRECK, N.A.; TIBOLA, T.; LAGO, I.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; SCHNEIDER, F.M.; ZAGO, V. Estimativa do plastocrono em meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado em estufa plástica em diferentes épocas do ano. **Ciência Rural**, v.35, p.1275-1280, 2005. DOI: 10.1590/S0103-84782005000600008.
- VENUGOPALAN, V. K; NATH, R.; SENGUPTA, K.; NALIA, A.; BANERJEE, S.; CHANDRAN, MAS.; IBRAHIMOVA, U.; DESSOKY, E. S.; ATTIA, A. O.; HASSAN, M. M.; HOSSAIN, A. The Response of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) to Soil Moisture and Heat Stress Under Different Dates of Sowing and Foliar Application of Micronutrients. *Plant Science*, v.12, p. 1-16, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.679469.
- VIEIRA, R F.; LIMA, R. C. **Lentilha**. In: NASCIMENTO, Warley M. Embrapa Hortaliças-CNPq, p.121-146, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1054423/hortalicas-leguminosas>. Acesso em: 01 jun. 2024.
- WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. Springer-Verlag New York, 2016.
- WILHELM, W. W.; MCMASTER, G. S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, v. 35, p. 1-3, 1995. DOI: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500010001x.
- XUE, Q.; WEISS, A.; BAENZIGER, P. S. Predicting leaf appearance in field-grown winter wheat: evaluating linear and non-linear models. **Ecological Modelling**, v. 175, p. 261-270, 2004. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2003.10.018
- ZEROUAL, A.; BAIDANI, A.; IDRISSE, O. Drought stress in lentil (*Lens culinaris*, Medik) and approaches for its management. **Horticulturae**, v. 9, p. 1-25, 2022. DOI: 10.3390/horticulturae9010001.