

A data de semeadura influencia
respostas fenológicas, vegetativas e
produtivas de genótipos de canola



**OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

2 FOME ZERO
E AGRICULTURA
SUSTENTÁVEL



ISSN 1677-8901
Novembro/2022

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Trigo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
106**

A data de semeadura influencia
respostas fenológicas, vegetativas e
produtivas de genótipos de canola

*Genei Antonio Dalmago
Jorge Alberto de Gouvêa
Gilberto Rocca da Cunha
Samuel Kovaleski
Aldemir Pasinato*

Embrapa Trigo
Passo Fundo, RS
2022

Embrapa Trigo
Rodovia BR-285, Km 294
Caixa Postal 3081
99050-970 Passo Fundo, RS
Telefone: (54) 3316-5800
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Trigo

Presidente
Leila Maria Costamilan

Vice-Presidente
Ana Lídia Variani Bonato

Secretária
Marialba Osorski dos Santos

Membros
*Elene Yamazaki Lau, Fabiano Daniel De Bona,
João Leodato Nunes Maciel, Luiz Eichelberger,
Maria Imaculada Pontes Moreira Lima, Martha
Zavariz de Miranda, Sirio Wiethölter*

Normalização bibliográfica
Graciela Olivella Oliveira (CRB 10/1434)

Tratamento das ilustrações e editoração
eletrônica
Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa
Elisson Stéphânio Savi Pauletti

1ª edição
Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Trigo

A data de semeadura influencia respostas fenológicas, vegetativas e produtivas de genótipos de
canola / Genei Antonio Dalmago... [et al.]. — Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2022.
PDF (71 p.) : il. color.— (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Trigo, ISSN
1677-8901 ; 106)

1. Colza. 2. Planta oleaginosa. 3. Época de semeadura. 4. Grão. 5. Rendimento. 6. Matéria
seca. I. Dalmago, Genei Antonio. II. Gouvêa, Jorge Alberto de. III. Cunha, Gilberto Rocca da. IV.
Kovaleski, Samuel. V. Pasinato, Aldemir. VI. Embrapa Trigo. VII. Série.

CDD (21. ed.) 633.11

Graciela O. Oliveira (CRB-10/1434)

© Embrapa, 2022

Sumário

| | |
|------------------------------|----|
| Resumo | 5 |
| Abstract | 6 |
| Introdução..... | 6 |
| Material e Métodos | 11 |
| Resultados e Discussão | 16 |
| Conclusões..... | 62 |
| Agradecimentos..... | 63 |
| Referências | 63 |

A data de semeadura influencia respostas fenológicas, vegetativas e produtivas de genótipos de canola

Genei Antonio Dalmago¹

Jorge Alberto de Gouvêa²

Gilberto Rocca da Cunha¹

Samuel Kovaleski³

Aldemir Pasinato⁴

Resumo

A canola (*Brassica napus* L.) é altamente responsiva a fatores do ambiente nas regiões produtoras do mundo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de datas de semeadura sobre fenologia, características agrônomicas, rendimento de grãos, componentes do rendimento de grãos e teor de óleo em genótipos de canola. Três experimentos foram conduzidos em Coxilha, RS, em 2016, 2017 e 2018, em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos constaram de datas de semeadura e genótipos, alocados na parcela e na subparcela, respectivamente. Foram avaliadas variáveis fenológicas, crescimento da planta, componentes do rendimento de grãos, rendimento de grãos, teor de óleo e índice de colheita. A data de semeadura de canola foi o fator de maior influência e definiu as respostas fenológicas, vegetativas e produtivas, exceto o subperíodo do início ao final do florescimento. Para cada dia de atraso na semeadura ocorreram reduções médias entre 0,21% e 0,88% nas variáveis. As datas de máxima resposta ocorreram entre 20/04 e 18/06, e a antecipação da semeadura implicou em perdas médias diárias que variaram de 1,16% a 6,08%. A resposta dos genótipos ocorreu de forma aleatória.

Termos para indexação: *Brassica napus* L., épocas de semeadura, matéria seca, número de siliquis, número de grãos por siliqua, massa de mil grãos.

¹Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia/Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

²Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

³Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, Bolsista BEI – Embrapa-FAPED, Passo Fundo, RS.

⁴Analista de sistemas, mestre em Fitotecnia/Sistemas de Produção Vegetal, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

The sowing date influences phenological, vegetative and productive responses of canola genotypes

Abstract

Canola (*Brassica napus* L.) is highly responsive to environmental factors in the producing regions of the world. The objective of this work was to evaluate the influence of sowing dates on phenology, agronomic characteristics, grain yield, grain yield components, and oil content in canola genotypes. Three experiments were conducted in Coxilha, Rio Grande do Sul, Brazil, in 2016, 2017 and 2018, in randomized blocks, with subdivided plots and four replications. The treatments consisted of sowing dates and genotypes, allocated in the plot and subplot, respectively. Phenological variables, plant growth, grain yield components, grain yield, oil content and harvest index were evaluated. The date of canola sowing was the factor of greatest influence and defined the phenological, vegetative, and productive responses, except for the subperiod from the beginning to the end of flowering. For each day of delaying in sowing date, there were mean reductions between 0.21% and 0.88% in the variables. The dates of maximum response occurred between 20/04 and 18/06, and the anticipation of the sowing date implied average daily losses ranging from 1.16% to 6.08%. The response of the genotypes occurred randomly.

Keywords: *Brassica napus* L., dry matter, number of siliques, number of grains by silique, mass of thousand grains.

Introdução

A canola (*Brassica napus* L.) é uma das principais culturas de grãos produtoras de óleo no mundo (Shafiqhi et al., 2021), perdendo apenas para a soja, e os principais países produtores são o Canadá e a China, responsáveis por cerca de 40% da produção mundial (FAO, 2022). O óleo extraído dos grãos é o produto mais nobre, utilizado, principalmente, na alimentação humana e na produção de biodiesel, além de aplicações em diversos ramos na indústria.

O farelo, subproduto do esmagamento do grão, pode ser utilizado na alimentação animal, como fonte de proteína (De Mori et al., 2014; Micuanski et al., 2014). A sensibilidade elevada aos fatores ambientais ainda é uma das principais características da espécie em todas as regiões produtoras (Escobar et al., 2011; Marjanović-Jeromela et al., 2011; Rondanini et al., 2012; Zhang et al., 2013), especialmente naquelas que utilizam material genético importado, como é o caso do Brasil (Krüger et al., 2011).

A canola é uma espécie importante por diversos motivos (Hammac et al., 2017). Além do retorno econômico semelhante à cultura da soja (De Mori et al., 2014), pertence a família Brassicaceae, uma família botânica distinta das principais culturas de grãos, o que a torna, potencialmente, importante para a composição de sistemas de rotação de culturas (Kirkegaard et al., 1997; Hammac et al., 2017). A cultura, normalmente, não exige incremento de custos fixos, por utilizar a mesma estrutura física das demais espécies produtoras de grãos (Hammac et al., 2017). Como é cultivada no outono/inverno e termina o ciclo no início da primavera, é alternativa adequada para rotação de culturas com cereais da estação hibernal, especialmente com trigo (Sinaki et al., 2007; Hammac et al., 2017).

A planta da canola tem raiz pivotante, com alta capacidade de penetração no solo. Esta característica é desejável em sistemas de produção de grãos por explorar melhor os recursos do ambiente, além de auxiliar no rompimento de camadas compactadas no solo (Foloni et al., 2006; Logsdon, 2013). Resultados encontrados na literatura apontam que a canola é uma espécie “faxineira” do solo e de restos culturais, por eliminar e/ou reduzir agentes patogênicos, especialmente fungos (Hansen et al., 2019) e limitar e/ou inibir o crescimento e o desenvolvimento de plantas daninhas, devido ao seu efeito alelopático (Rizzardi et al., 2008).

No Brasil, atualmente, o cultivo de canola está concentrado na região Sul, especialmente no estado do Rio Grande do Sul, que, na safra 2021, contabilizou praticamente 100% da área cultivada (Conab, 2022). Como o país não tem programa de melhoramento genético para esta espécie, depende de material genético importado de outras regiões do mundo (De Mori et al., 2014), com características de clima e solo diferentes. Por isso, estudos envolvendo avaliações de genótipos desenvolvidos/produzidos em ambientes diferentes daqueles de produção no país, em distintas datas de semeadura, são

condição essencial para identificar o manejo temporal da data de semeadura, com vistas à obtenção do potencial de rendimento de grãos e à compreensão das limitações ao potencial produtivo da cultura (Butkevičienė et al., 2021). No caso do sul do Brasil, essa necessidade é ainda mais importante devido à alta variabilidade climática regional e à ocorrência de fenômenos adversos que podem impactar em perdas para a cultura, como geadas (Dalmago et al., 2010). De acordo com Escobar et al. (2011), Marjanović-Jeromela et al. (2011) e Zhang et al. (2013), os fatores ambientais respondem por 70% a 85% da variabilidade do rendimento de grãos de canola no mundo (Dalmago et al., 2018a), razão pela qual estes estudos com data de semeadura destacam-se em importância.

Estudos sobre respostas produtivas de genótipos de canola são encontrados na literatura para distintos ambientes de cultivo no Brasil, seja na área tradicional (Estevez, 2012; Nied, 2013; Almeida et al., 2014; Comin et al., 2016; Caraffa et al., 2016; Bottega et al., 2020; Costa et al., 2020) ou em áreas de expansão da cultura (Laviola et al., 2019). Via de regra, observa-se alta variabilidade no rendimento de grãos, desde a introdução do cultivo da colza (denominação antiga da canola no Brasil) na região, na década de 1980 (Barni et al., 1984, 1985), em cultivares de canola mais antigos (Tomm et al., 2004; Almeida et al., 2014) e em híbridos mais modernos (Nied, 2013; Caraffa et al., 2016; Salbego et al., 2017). A diferença de rendimento de grãos de um mesmo genótipo, para a região Sul do Brasil, pode variar de 1% a mais de 60%, entre anos de cultivo, e de 35% a mais de 230% entre locais, para um mesmo ano de cultivo, o que corresponde a rendimentos de grãos que variam de 586 kg ha⁻¹ a 2.383 kg ha⁻¹ (Nied, 2013; Krüger et al., 2011; Kaefer et al., 2014; Dalmago et al., 2018b). Esses valores estão abaixo do potencial produtivo, que oscila em torno de 5.000 kg ha⁻¹ (Lilley et al., 2015; Gan et al., 2016).

A melhor forma de alcançar rendimento de grãos mais elevados, com estabilidade, é ajustar as datas de semeadura às necessidades de cada genótipo (Butkevičienė et al., 2021). Para a região Sul do Brasil, as melhores datas de semeadura para a canola são aquelas centradas entre final de março e início de junho, conforme indica o Zoneamento Agrícola de Risco Climático da cultura (Brasil, 2021). Entretanto, sabe-se que há variações entre regiões quanto ao melhor momento de semeadura, decorrentes da resposta elevada da cultura aos fatores do ambiente (Escobar et al., 2011; Marjanović-Jeromela et al., 2011; Zhang et al., 2013; Almeida et al., 2014; Dalmago et al., 2018a, 2018b).

Portanto, a definição das melhores datas de semeadura requer vários anos de experimentação. Tomm et al. (2004) observaram redução de rendimento de grãos e alterações de outras características de planta a partir de meados de abril na região Oeste do Rio Grande do Sul, com base em apenas um ano experimental. Na região de Guarapuava, PR, Almeida et al. (2014) e Comin et al. (2016), observaram maior rendimento de grãos de canola com semeadura realizada no início de abril. Estudos semelhantes realizados por outros autores, como Hrchorovitch (2015), Melgarejo et al. (2014); Righi et al. (2017), Costa et al. (2020) e Rosa et al. (2020), no estado do Paraná, e por Nied (2013), Salbego et al. (2017), Dahmer et al. (2017a, 2017b) e Bottega et al. (2020), no estado do Rio Grande do Sul, observaram redução do rendimento de grãos com o atraso da data de semeadura. De acordo com Butkevičienė et al. (2021), as condições meteorológicas que ocorrem durante o ciclo de cultivo da canola têm efeito maior do que a própria data de semeadura.

O efeito da data de semeadura ocorre também sobre o teor de óleo nos grãos (Estevez, 2012; Melgarejo et al., 2014; Schmatz, 2015; Lima et al., 2017; Confortin et al., 2019). A antecipação ou o atraso da data de semeadura, em relação a uma data média, implica em posicionar a cultura em condições ambientais e meteorológicas distintas. O teor de óleo nos grãos é sensível à variação destes fatores (Lima et al., 2017; Righi et al., 2017). Na região Sul do Brasil, a temperatura média do ar é mais elevada durante os subperíodos de floração e enchimento de grãos, comparada às semeaduras no início do período indicado (Wrege et al., 2012). Atrasos na semeadura também implicam em posicionar a cultura em condições de umidade do solo, que, em média, tendem a ser menores nesta fase crítica por conta da maior demanda evaporativa da atmosfera, fazendo com que a redução da disponibilidade de água no solo contribua para um menor teor de óleo nos grãos (Ullah et al., 2012; Hergert et al., 2016; Elferjani; Soolanayakanahally, 2018).

As distintas condições ambientais que se apresentam em função das diferentes datas de semeadura afetam características morfológicas e fenológicas importantes para alcançar o potencial produtivo da cultura (Dalmago et al., 2013; Nelson et al., 2016; Comin, 2017; Rosa et al., 2020). Estudos identificaram variações na altura de plantas (Comin, 2017; Rosa et al., 2020), número de folhas (Dalmago et al., 2013), número de ramos (Comin, 2017; Costa et al., 2020), tamanho e distribuição da área foliar nas plantas (Dalmago et al., 2013; Comin, 2017; Dalmago et al., 2018a, 2018b), bem como na fenologia,

tanto no ciclo quanto na duração das fases e subperíodos de desenvolvimento da cultura (Comin, 2017; Rosa et al., 2020). Porém, o efeito da data de semeadura sobre o crescimento e o desenvolvimento da canola apresenta variações entre anos e locais em função da temperatura média do ar e do fotoperíodo (Morrison et al., 1989; Nanda et al., 1996; Luz et al., 2012). Além disso, a canola tem alta resposta à aclimação das plantas a temperaturas baixas do ar (Dalmago et al., 2010) e à ocorrência e intensidade de geadas, especialmente no Sul do Brasil, o que também influencia a resposta das plantas durante o ciclo da cultura (Dalmago et al., 2010, Comin, 2017, Kovaleski, 2015, 2019). Em função disso, detalhar respostas de plantas em diferentes anos de cultivo contribui para a definição das melhores datas de semeadura da cultura no ambiente de cultivo (Rad et al., 2014).

À medida que novos genótipos de canola são introduzidos no sistema produtivo, a avaliação das respostas a diferentes datas de semeadura torna-se ainda mais importante. A expressão plena do potencial de rendimento de grãos dos genótipos de canola em uso do Brasil, que depende de processos de construção do potencial produtivo que ocorrem durante a fase vegetativa e reprodutiva da planta, ainda permanece pouco explorada. Integrar esses processos biológicos com fatores do ambiente, de modo a favorecerem a expressão do potencial produtivo da cultura, envolve estratégia constante para a compreensão das interações clima-planta. A realização de estudos com distintas datas de semeadura possibilita o contexto adequado para esse fim. Por isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da data de semeadura de canola sobre fenologia, características agrônômicas, rendimento de grãos, componentes do rendimento de grãos e teor de óleo nos grãos de genótipos de canola, visando à compreensão dos processos envolvidos.

Esta publicação contribui para o alcance do 2º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2) do Brasil (Nações Unidas, 2022), intitulado “Fome zero e agricultura sustentável: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável”. Os resultados estão alinhados à meta 2.4 dos ODSs do Brasil: “Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do

solo”, por apresentarem informações referentes às melhores datas de semeadura de canola no ambiente de alta variabilidade meteorológica e ambiental do Sul do Brasil.

Material e Métodos

Os experimentos foram realizados na área experimental da Embrapa Trigo, no município de Coxilha, RS (28°11'11”S, 52°19'31”W e 689 m de altitude). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico húmico (Streck et al., 2008). O clima da região é do tipo Cfa pela classificação de Köppen, ou seja, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (Alvares et al., 2013). A precipitação pluvial anual média é de 1.930 mm. Os meses de dezembro e junho apresentam a maior e a menor densidade de fluxo de radiação solar global, respectivamente. Nos meses de junho, julho e agosto há a maior probabilidade de ocorrência de geadas (Wrege et al., 2012).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições, com o fator data de semeadura (DS) na parcela principal (Fator A) e o fator genótipo na subparcela (Fator B), semelhante ao utilizado por Shafighi et al. (2021). No primeiro experimento (Exp.1), realizado em 2016, e no segundo (Exp.2), realizado em 2017, as dimensões das parcelas foram de 9,00 m por 4,00 m e das subparcelas foram de 4,00 m por 3,00 m, e no terceiro experimento (Exp.3), realizado em 2018, as dimensões foram de 6,12 m por 3,00 m, para as parcelas, e 3,06 m por 3,00 m para as subparcelas, respectivamente.

No Exp.1, foram alocadas as DS de 07/04, 15/04, 02/05, 15/05, 03/06 e 15/06 e os genótipos Diamond, ALHT M6 e Hyola 61; no Exp.2, as DS foram 08/04, 02/05, 22/05 e 16/06, e os genótipos Diamond, ALHT M6 e Hyola 61; no Exp.3, as DS foram 13/04, 27/04, 14/05, 29/05, 15/06, 12/07 e 30/07, com os genótipos Diamond e ALHT B4. Em todos os experimentos, as DS foram escolhidas em função das condições meteorológicas e ambientais que possibilitaram a semeadura.

No verão anterior às semeaduras dos Exp.1 e Exp.2, as áreas foram cultivadas com soja e, anteriormente ao Exp.3, a área foi cultivada com crotalária (*Crotalaria juncea* L.). Antes da primeira DS de cada experimento, foi realiza-

da adubação de base em toda a área experimental, inclusive nas bordaduras, com auxílio de semeadora adubadora. O espaçamento entre as linhas de adubação e de semeadura foi de 0,34 m. Nos Exp.1 e Exp.2, foram utilizados 250 kg ha⁻¹ de fertilizante N-P₂O₅-K₂O (formulação 0-25-25), 100 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (20% de nitrogênio e 24% de enxofre) e 30 kg ha⁻¹ de multi-boro (17% de B). No Exp.3, foram utilizados 300 kg ha⁻¹ de fertilizante N-P₂O₅-K₂O (formulação 10-20-20) e 50 kg ha⁻¹ de bórax (11% de B). A adubação de base foi calculada de acordo com a análise de solo, histórico das áreas e/ou indicações para o cultivo de canola (Tomm et al., 2009).

A semeadura foi realizada sobre as linhas de distribuição do adubo, utilizando semeadora protótipo desenvolvida para a cultura da canola, operada manualmente. Após a emergência, quando as plantas tinham entre duas a três folhas verdadeiras, foi realizado o desbaste para uma densidade final de 40 plantas m⁻². No Exp.1 e no Exp.2, a adubação de cobertura foi dividida em duas aplicações, sendo a primeira com 100 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia (20% de N e 24% de S) no estágio de quatro folhas, e a segunda com 100 kg ha⁻¹ de ureia (46% de N) no estágio de inflorescência visível, correspondendo aos estádios B4 e D1, respectivamente, da escala fenológica para a canola (Iriarte; Valetti, 2008). No Exp.3, foram utilizados apenas 100 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia (20% de N e 24% de S) no estágio B4. Os experimentos foram mantidos livres de pragas e doenças com aplicações de fungicidas e inseticidas quando necessárias, utilizando-se produtos indicados para a cultura. O controle de plantas daninhas foi realizado por capinas periódicas e antes da ocorrência do nível de dano econômico.

A fenologia das plantas foi avaliada duas a três vezes por semana, com base em Iriarte e Valetti (2008). As avaliações ocorreram nos estádios de emergência (EM), início do florescimento (IF), final do florescimento (FF) e maturação fisiológica (MF), contabilizados quando 50% das plantas na sub-parcela apresentavam o respectivo estágio. Com os dados de fenologia, foram calculados os intervalos em dias entre EM-IF, IF-FF, FF-MF e EM-MF.

No estágio da floração, foi medida a estatura das plantas (EPL, em centímetros), em três plantas por subparcela, com régua graduada. No mesmo momento, foi quantificada a matéria seca total no florescimento (MSF). No Exp.1 e no Exp.2, a MSF foi avaliada em três plantas retiradas ao acaso do dossel em cada unidade experimental e, no Exp.3, foi obtida em um segmento de

linha de 1 m. Em todos os casos, o material vegetal foi acondicionado em embalagens de papel e levado para estufa de secagem regulada a 70 °C, com circulação de ar forçada, até massa constante. A MSF foi pesada em balança com precisão de 2 g.

No estádio da MF, foi avaliada a matéria seca total (MST) seguindo o procedimento de coleta, armazenamento, secagem e pesagem da MSF. Antes da coleta das plantas, realizou-se a contagem do número de plantas em segmento de 1 metro de linha, para obtenção do número de plantas por área (NPA), em cada subparcela.

Para quantificar o rendimento de grãos (REN), foram colhidas áreas de 3,40 m² nos Exp.1 e Exp.2 e de 6,12 m² no Exp.3. As plantas foram cortadas logo antes da inserção da primeira síliqua e acondicionadas em embalagens de algodão, sendo colocadas para secar naturalmente em estufa de vidro. Após atingir grau de secagem adequado, as plantas foram trilhadas em trilhadora estacionária e os grãos foram separados da palha. Em seguida, foi avaliada a matéria seca dos grãos e o REN foi corrigido para umidade de 8%.

No momento da colheita da amostra para estimar o REN, foram realizadas três subamostragens de uma planta em cada subparcela para a contagem do número de síliquis por planta (NSP) e o número de ramos (NR). Após a retirada de todas as síliquis, foi realizada amostragem aleatória de 10 síliquis por planta, contando-se o número de grãos por síliqua (NGS). No Exp.1, o NSP e o NGS não foram contabilizados, devido à contaminação das amostras, provocada pelo rompimento das embalagens e mistura de material.

A massa de mil grãos (MMG) no Exp.1 e no Exp.2 foi obtida pela razão entre a massa de grãos e o número total de grãos das três plantas amostradas em cada subparcela para quantificação do NSP e NGS. No Exp.3, a MMG foi obtida de uma subamostra de mil grãos, retirada da amostra de REN, corrigida para 8% de umidade.

Para a avaliação do teor de óleo nos grãos (TO) foi retirada uma subamostra de grãos do REN de cada unidade experimental. O TO foi estimado pela metodologia de análise por espectroscopia NIR (*Near Infrared Reflectance*), utilizando protocolos Lacon (Infrasoft International LLC, 2007), no Laboratório de Pós-Colheita de Grãos da Embrapa Trigo. O equipamento utilizado foi um NIR modelo FOSS XDS – RCA, da marca FOSS NIRSystems (Hoganas,

Suécia), utilizando-se curva de calibração específica de canola para obter o TO (em %).

As variáveis NPA, MSF, MST e REN foram tratadas algebricamente, para obter os valores em unidade por área, como segue: NPA ($\text{n}^\circ \text{m}^{-2}$), MSF (g m^{-2}), MST (g m^{-2}) e REN (kg ha^{-1}). O NR e o NSP foram mantidos na unidade de número por planta ($\text{n}^\circ \text{pl}^{-1}$) e a MMG foi mantida em gramas (g). Com os dados de MST e PRO foi calculado o índice de colheita (IDC), pela razão REN/MST.

Os dados meteorológicos foram obtidos da estação meteorológica convencional do 8º Distrito de Meteorologia (8º DISME) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na Embrapa Trigo, a 10 km dos experimentos. As variáveis diárias obtidas foram radiação solar global (R_g , em $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), temperatura média (T_m , em $^\circ\text{C}$), temperatura mínima (T_n , em $^\circ\text{C}$) e temperatura máxima (T_x , em $^\circ\text{C}$) do ar, umidade relativa do ar (UR, em %) e precipitação pluvial (P, em mm). A série histórica decedial de 1961 a 2021, da mesma estação, foi utilizada para caracterização da condição meteorológica típica dos anos experimentais. Os dados decediais foram organizados em função do número do decêndio do ano, em que o primeiro decêndio de janeiro é o decêndio 1º e o último de dezembro é o 36º. A T_n também foi medida junto aos experimentos, com sensor termopar de cobre-constantan, para identificar a ocorrência de temperatura mínima do ar de formação de geada (T_{ng}), considerada como sendo igual ou menor a $3,0^\circ\text{C}$. Foram contabilizados o *número de dias com formação* de geadas e o número de dias com T_x igual ou superior a $29,5^\circ\text{C}$, limite crítico para início de abortamento de flores e siliquis em início de formação (Morrison; Stewart, 2002).

A partir dos dados meteorológicos, foi realizado o cálculo do balanço hídrico climatológico diário, adaptado de Bergamaschi et al. (1992), Pereira et al. (1997, 2002), com capacidade de água disponível no solo (CAD) de 75 mm. A evapotranspiração de referência (ET_o) utilizada foi a de Penman-Monteith, segundo Pereira et al. (2013). O déficit hídrico foi considerado quando a água disponível no solo foi inferior a 80% da CAD.

Para as variáveis relacionadas à fenologia da cultura, foi utilizada a abordagem da análise não paramétrica, devido à dificuldade de atender aos pressupostos das análises estatísticas paramétricas, em função da baixa variabilidade entre as repetições. Neste caso, foram considerados apenas os efeitos individuais dos fatores: DS e genótipos. A comparação entre as médias dos

tratamentos foi realizada pelo teste não paramétrico de Friedman a 5% de probabilidade de erro.

Os dados das demais variáveis foram submetidos à análise de variância explorando a interação entre os tratamentos dos fatores e/ou os efeitos individuais. Quando a interação foi significativa, avaliou-se a resposta dos genótipos em cada DS, e quando a interação não foi significativa, foram avaliadas as médias dos tratamentos de cada fator. A significância dos tratamentos foi avaliada pelo teste F e a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A análise de regressão foi utilizada para explorar os efeitos das DS sobre as variáveis medidas quando o efeito das mesmas foi significativo. Foram usados os modelos linear e quadrático, em que as variáveis dependentes de entrada foram as fenológicas (em dias) e as biológicas (medidas nas respectivas unidades). A variável independente, em todos os casos, foi o dia do calendário, contabilizado de 1 a 365, considerado como variável quantitativa. Os ajustes foram feitos para genótipo, nos respectivos experimentos, ou para a média entre genótipos, quando a interação não foi significativa.

Nos ajustes lineares de cada variável, o coeficiente angular das equações foi utilizado para calcular a taxa média de variação diária decrescente (TMD), quando o mesmo foi negativo, e a taxa média de variação diária crescente (TMC), quando foi positivo. Essas taxas correspondem à redução diária da variável (caso da TMD) em análise a partir de um ponto de máxima resposta (PMR) ou o incremento da variável até o PMR (caso de TMC). O PMR correspondeu ao dia do ano (1 a 365) em que a variável em análise apresentou seu maior valor dentro do intervalo das DS dos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3). Nos casos em que o ajuste linear apresentou apenas TMC, a última DS foi assumida como sendo o PMR e nos casos em que apresentou TMD, a primeira DS avaliada foi considerada como PMR. Em termos práticos, a TMC e a TMD estimam ganhos ou perdas diárias de uma variável, respectivamente, com a mudanças da DS.

Nos ajustes quadráticos, cuja parábola formada foi côncava, o PMR foi obtido pela manipulação algébrica dos coeficientes da função de segundo grau ajustada aos dados, conforme Ferreira (1999). Neste caso, a TMC correspondeu à tangente entre a primeira DS, e o PMR e a TMD à tangente entre o PMR e a última DS. Já nos ajustes quadráticos em que a parábola formada

foi convexa, a função apresentou ponto de mínima. As taxas TMC e TMD foram calculadas pela tangente entre o ponto de mínima e a última DS e pela tangente entre a primeira DS e o ponto de mínima, respectivamente.

As análises estatísticas foram realizadas com o software R. A análise da variância foi realizada por meio do *Generalized Liner Model (glm)*, devido ao desbalanceamento dos dados. A análise de regressão linear foi realizada com o procedimento *Linear Model (lm)*. Nas análises de variância e regressão foram avaliados os pressupostos específicos, relacionados aos resíduos: normalidade pelos testes de Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk e Anderson-Darling; homogeneidade da variância: testes de Breusch-Pagan e teste F; autocorrelação positiva de primeira ordem: teste de Durbin-Watson; e autocorrelações negativas e positivas de ordem superior a 1: teste de Breusch-Godfrey. As autocorrelações foram corrigidas, quando necessário. A não-aditividade foi testada pelo teste de Tukey.

Também foi utilizada a análise de correlação pelo teste de Pearson, utilizando-se o procedimento *cor.test*, após atendimento dos pressupostos estatísticos para o teste e avaliação da existência de *outliers*, os quais foram retirados da amostra de dados sempre que demonstraram ser alavancas fortes de influência nas respostas. Para identificar a presença de *outliers*, foi utilizado o procedimento *boxplot.stats*.

Resultados e Discussão

Condições meteorológicas no período de condução dos experimentos

As principais variáveis meteorológicas (radiação solar global, temperatura média do ar, temperatura mínima do ar, temperatura máxima do ar e umidade relativa do ar) apresentaram correlações significativas e fortes a muito fortes (Mukaka, 2012) com as médias históricas decendiais do período entre 1961 e 2021, conforme demonstra o coeficiente de correlação de Pearson, exceto a precipitação pluvial (Figura 1). Para essa variável, é esperada correlação fraca a moderada, devido à maior variabilidade natural em comparação com as outras variáveis, razão pela qual apenas a correlação do Exp.1 foi significa-

tiva. É importante verificar que as correlações encontradas indicaram que os anos experimentais (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) representaram a condição climática normal do local, ou seja, não houve excepcionalidades atípicas. Valores decendiais acima ou abaixo da média histórica geralmente foram compensados em decêndios subsequentes (Figura 1).

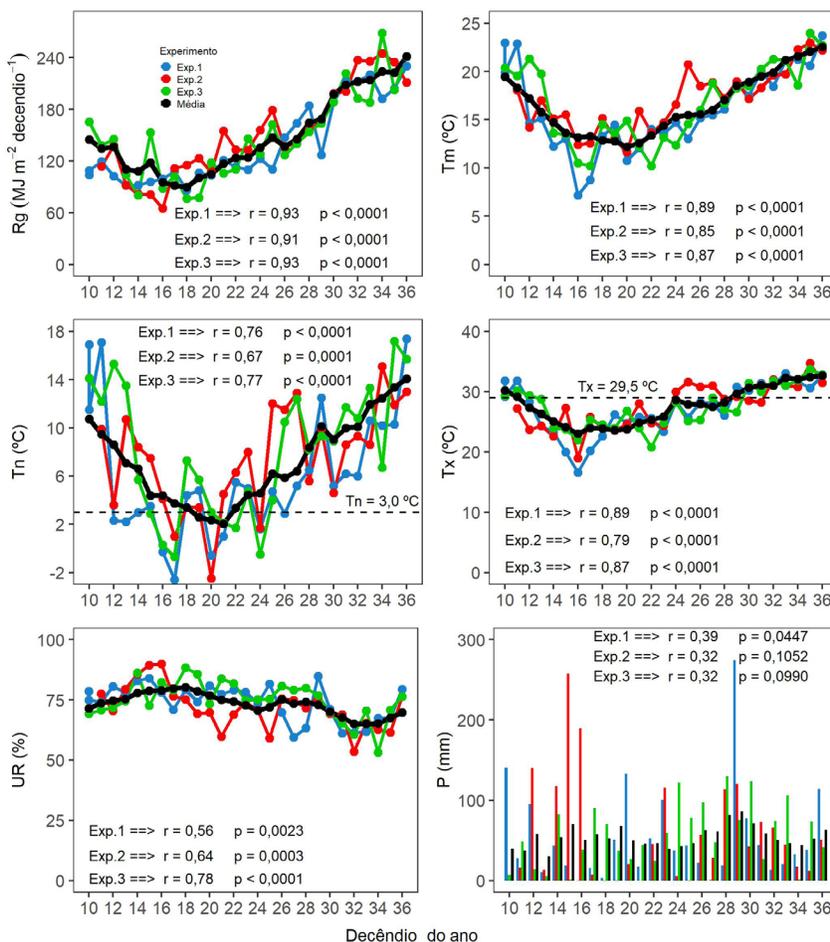


Figura 1. Radiação solar global acumulada (Rg), temperatura média do ar (Tm), temperatura mínima absoluta do ar (Tn), temperatura máxima absoluta do ar (Tx), umidade relativa média do ar (UR) e precipitação pluvial acumulada (P) em Passo Fundo, RS, durante os decêndios de cultivo de canola, nos experimentos Exp.1 (2016), Exp.2 (2017) e Exp.3 (2018), com respectivos valores médios da série 1961 a 2021. r = coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis meteorológicas medidas durante o ciclo e as correspondentes médias entre 1961 e 2021.

Durante os experimentos, a radiação solar diária (R_g) variou bastante, com mínimo de $4,6 (\pm 0,0) \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, no inverno, e $28,0 (\pm 0,1) \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, na primavera. O valor acumulado foi de $-5,4\%$, $+1,1\%$ e $-1,1\%$ em relação à série histórica nos Exp.1, Exp.2 e Exp.3, respectivamente. A temperatura média do ar diária (T_m) foi de $15,4 (\pm 0,7) ^\circ\text{C}$, não ultrapassando a $24,3 (\pm 0,8) ^\circ\text{C}$ (Figura 1) e, em alguns dias, foi inferior à temperatura base para a canola, que é de $5,0 ^\circ\text{C}$. Esses valores são considerados como dentro da faixa ótima para a espécie (Dalmago et al., 2009) e também proporcionaram períodos de aclimação ao frio, que são importantes para a cultura (Dalmago et al., 2010).

A temperatura máxima (T_x) decendial superou o limite de $29,5 ^\circ\text{C}$, a partir do segundo decêndio de outubro, em todos os experimentos (Figura 1). Esse valor é considerado crítico para abortamento de flores e siliquas em fase inicial de desenvolvimento (Morrison; Stewart, 2002). Em escala diária, foram verificados 9, 10 e 10 dias com T_x acima desse limite após o início do período de florescimento (1º jun.), nos Exp.1, Exp.2 e Exp.3, respectivamente. Porém, apenas no Exp.2 o limite crítico foi superado durante o florescimento das sementeiras mais tardias. Nos demais experimentos, a maior concentração de dias com T_x acima de $29,5 ^\circ\text{C}$ ocorreu no final do enchimento de grãos das últimas datas de sementeira. A T_x diária absoluta nos três experimentos oscilou em torno de $31,7 (\pm 0,1) ^\circ\text{C}$, valor abaixo do limite de $35 ^\circ\text{C}$ que, segundo Kirkegaard et al. (2016), promove o encerramento do ciclo da canola.

O padrão decendial da temperatura mínima do ar (T_n) foi semelhante entre os três experimentos, apresentando as maiores oscilações em relação à média histórica, comparado com as outras variáveis, com amplitude térmica de $21,6 ^\circ\text{C}$ (Figura 1). A T_n absoluta diária foi de $-2,6 ^\circ\text{C}$, $-2,5 ^\circ\text{C}$ e $-0,7 ^\circ\text{C}$ nos Exp.1, Exp.2 e Exp.3, respectivamente. O número de geadas foi bastante diferente entre os períodos de condução dos experimentos. No Exp.1 foram registradas 22 geadas na estação meteorológica, enquanto que, na área experimental, foram contabilizados 46 eventos, com base na temperatura mínima do ar (T_{ng}). A primeira geada no Exp.1 ocorreu em 27/04, com T_{ng} igual a $1,3 ^\circ\text{C}$. Nos Exp.2 e Exp.3, ocorreram 6 e 14 geadas, respectivamente, com base nos dados da estação meteorológica, e 6 e 18 geadas com base em T_{ng} , com a primeira geada observada em final de maio e início de junho, respectivamente. O maior número de geadas no Exp.1 ocorreu devido a área experimental estar localizada na base de um local de drenagem e acúmulo de ar frio, favorecendo a ocorrência de T_{ng} iguais ou menores a $3,0 ^\circ\text{C}$ (Kovaleski, 2019).

Em apenas um decêndio dos três experimentos, não houve registro de precipitação pluvial (P). Dois decêndios, um no Exp.1 e outro no Exp.2, apresentaram P acumulada superior a 200,0 mm, com máxima diária de 101,0 mm e de 110,6 mm, respectivamente (Figura 1). Durante os períodos experimentais, a P acumulada foi 1,6% inferior à média histórica no Exp.1 e superior em 26,0% e 14,6% nos Exp.2 e Exp.3, respectivamente. Mesmo com P próximas (Exp.1) ou acima da média (Exp.2 e Exp.3), o balanço hídrico climatológico diário durante os experimentos apontou dois períodos de déficit hídrico no Exp.1 (21/09 a 12/10 e 05/11 a 13/11) e Exp.2 (24/06 a 11/08 e 28/08 a 15/09) e um no Exp.3 (26/04 a 14/05) (dados não apresentados).

De maneira geral, as condições ambientais estiveram dentro do padrão esperado para o crescimento e o desenvolvimento da canola nos três experimentos (Dalmago et al., 2009). As geadas, especialmente no início do crescimento, provocaram morte de plantas, reduzindo o estande. Danos por geada também foram observados durante a floração, com prováveis impactos sobre o rendimento (Kovaleski, 2019). A deficiência hídrica que ocorreu no Exp.3 afetou a emergência das plântulas de canola nas datas de semeadura (DS) de final de abril e da primeira quinzena de maio. No entanto, o maior impacto da deficiência, provavelmente, aconteceu no Exp.2, quando atingiu a floração e o início do enchimento de grãos de, praticamente, todas as DS.

Informações gerais dos experimentos

Em função da morte de plantas provocada por geada e/ou redução da emergência de plântulas em função da deficiência hídrica (Exp.3), o número de plantas (NPA) foi avaliado como covariável na análise de variância. Os resultados demonstraram que não houve efeito de covariável para as variáveis medidas e que as variações no NPA foram decorrentes dos tratamentos (datas de semeadura e/ou genótipos). Isso pode ter acontecido devido à alta plasticidade, com elevada capacidade de emissão de novos ramos (Krüger et al., 2011; Bandeira et al., 2013), o que, provavelmente, compensou a redução do NPA. Por isso, no presente trabalho, o NPA foi considerado componente do rendimento de grãos.

O conjunto de dados, segmentado por experimento, genótipo, data de semeadura e variáveis, foi avaliado quanto à dispersão dos mesmos em relação à média, utilizando o coeficiente de variação (CV) e seguindo a classificação proposta por Gomes (1990). Com base nestes critérios, cerca de 44,9% dos CVs foram baixos

(inferiores a 10%), 22,5% foram médios (entre 10% e 20%), 15,4% foram altos (entre 20% e 30%) e 17,2% foram muito altos (superiores a 30%). Apesar da maioria dos casos apresentar precisão experimental adequada, os casos de CVs altos e muito altos ocorreram em todas as variáveis e podem ser atribuídos à ocorrência de geadas, as quais afetaram as estruturas reprodutivas das plantas, causando danos em folhas e levando, inclusive, à morte total ou de partes das plantas (haste principal e/ou ramos), aumentando a variabilidade (Kovaleski, 2019; Kovaleski et al., 2019).

A plasticidade fenotípica elevada que a canola apresenta (Krüger et al., 2011; Rosa et al., 2020) é outro fator que pode estar relacionado com a amplitude dos coeficientes de variação encontrados. A alta influência do ambiente sobre a amplitude do CV em canola foi apontada por Laviola et al. (2019) e foi atribuída a respostas poligênicas, no caso do rendimento de grãos (REN). De acordo com Escobar et al. (2011), Marjanović-Jeromela et al. (2011) e Zhang et al. (2013), os fatores ambientais respondem por 70% a 85% da variabilidade do REN, o que pode elevar o valor dos CVs. Para experimentos com canola envolvendo datas de semeadura, CVs elevados foram encontrados por Nied (2013), Sanches et al. (2014), Comin et al. (2016) e Comin (2017), para experimentos conduzidos no Brasil, e por Takashima et al. (2013) na Argentina. Outros trabalhos com DS encontraram apenas CVs dentro das faixas baixa e média (Estevez, 2012; Hrchorovitch, 2015; Lima et al., 2017; Rigon et al., 2017; Bottega et al., 2020; Rosa et al., 2020), semelhantes à maioria daqueles encontrados no presente trabalho.

Fenologia da canola

A canola apresentou diferenças de ciclo e nos subperíodos da emergência ao início do florescimento (EM-IF), início do florescimento e final do florescimento (IF-FF) e final do florescimento à maturação fisiológica (FF-MF) entre genótipos (Figura 2A) e data de semeadura (DS) (Figura 2B). As diferenças foram mais intensas entre as DS do que entre genótipos, em consequência da variabilidade meteorológica (Figura 1), a qual explica a maior parte das respostas da canola, conforme apontado por Escobar et al. (2011), Marjanović-Jeromela et al. (2011) e Zhang et al. (2013), especialmente a temperatura média do ar e o fotoperíodo (King; Kondra, 1986; Morrison et al., 1989; Nanda et al., 1996; Miralles et al., 2001; Robertson; Lilley, 2016; Rahman et al., 2018).

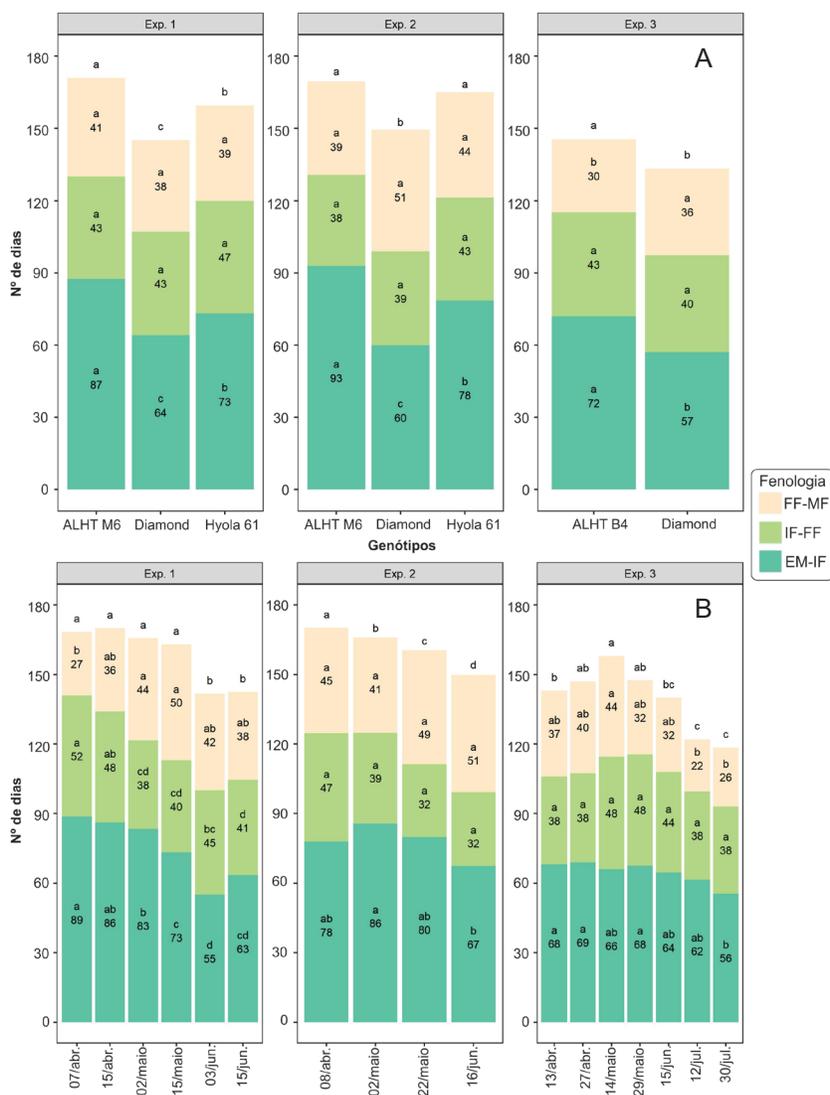


Figura 2. Número de dias para os subperíodos fenológicos da emergência ao início do florescimento (EM-IF), início do florescimento ao final do florescimento (IF-FF), final do florescimento à maturação fisiológica (FF-MF) e ciclo total (soma EM-IF + IF-FF + FF-MF), para genótipos de canola (A), em função da data de semeadura (B) para os experimentos Exp.1 (2016), Exp.2 (2017) e Exp.3 (2018). Número interno nas colunas correspondem ao número de dias dos respectivos subperíodos. Letras internas nas colunas comparam subperíodos e letras fora das colunas (topo) comparam o ciclo da canola entre genótipos (A) e data de semeadura (B) em cada experimento, pelo teste não-paramétrico de Friedman a 5% de probabilidade de erro.

O genótipo ALHT M6 apresentou o ciclo mais longo, com médias de 162 dias (Exp.2) e 171 dias (Exp.1) (Figura 2A), e o mais curto foi Diamond, com duração entre 117 dias e 158 dias. Em situação intermediária, Hyola 61 teve ciclo entre 142 dias e 174 dias, com média de 159 dias no Exp.1 e 163 dias no Exp.2, diferindo de ALHT M6 apenas no Exp.1. No Exp.3, o ciclo de ALHT B4 variou entre 119 dias e 162 dias, com média de 146 dias. De maneira geral, a amplitude de variação do ciclo dos genótipos ficou entre 23 dias e 37 dias para Diamond, 37 dias e 42 dias para ALHT M6, 29 dias e 32 dias para Hyola 61 e 43 dias para ALHT B4, com média geral de 25 dias (Figura 2A). A precocidade do genótipo Diamond, a longevidade dos ciclos de ALHT M6 e de ALHT B4 e a melhor adaptação/estabilidade de Hyola 61 já eram conhecidas na literatura (Panozzo, 2012; Comin, 2017; Lima et al., 2017; Laviola et al., 2019; Araújo, 2020), características essas corroboradas no presente trabalho.

Ciclos de crescimento e desenvolvimento mais longos e com menor variabilidade foram observados nas sementeiras de abril até meados de maio (Figura 2A). Posteriormente, houve decréscimo progressivo e linear até o final de julho (Tabela 1). Essa resposta foi significativa, com melhor ajuste nos Exp.1 ($r^2 = 0,79$) e Exp.2 ($r^2 = 0,95$) em relação ao Exp.3 ($r^2 = 0,59$), apesar do menor número de datas de sementeira (DS) no Exp.2. A taxa média de decréscimo (TMD) foi próxima entre os Exp.1 e Exp.2, variando de 0,25% a 0,28% de redução de ciclo por dia de atraso na DS em relação ao início de abril (08/04), valores semelhantes ao encontrado por Rosa et al. (2020), que foi de 0,33% (07/04). No Exp.3 a TMD foi de 0,19% a cada dia de atraso após 13/04 (Tabela 1). Isso equivale ao encurtamento do ciclo de 2,0 dias a 3,2 dias a cada semana de atraso na sementeira. O erro de ajuste do ciclo oscilou de 3,37 dias a 9,12 dias entre os experimentos (Tabela 1).

A variabilidade entre genótipos para o subperíodo emergência ao início do florescimento (EM-IF) apresentou a mesma tendência dos ciclos, com EM-IF maior em ALHT M6 nos Exp.1 e Exp.2 e em ALHT B4 no Exp.3, e menor em Diamond em todos os experimentos (Figura 2A). Para Hyola 61, o subperíodo EM-IF foi intermediário, de 73 dias a 78 dias. Entre as DS, o subperíodo EM-IF foi mais longo nas sementeiras precoces em relação àquelas tardias, variando de 80 dias a 90 dias nos Exp.1 e Exp.2 e de 60 dias a 70 dias no Exp.3, nas primeiras DS, e de 55 dias a 80 dias nas demais, dependendo do ano (Figura 2B). A redução deste subperíodo seguiu resposta linear entre as DS nos Exp.1 ($r^2 = 0,82$) e Exp.3 ($r^2 = 0,80$), com TMD de 0,51% a 0,16%,

respectivamente, a cada dia de atraso, em relação ao início de abril (08/04 e 13/04), correspondente ao ponto de máxima resposta (PMR). Resultados de Rosa et al. (2020) apontaram variação de TMD de 0,22%, dentro da faixa encontrada no presente trabalho. Em termos absolutos, isso significa 3,2 dias e 0,8 dias a menos do subperíodo EM-IF a cada semana de atraso na DS, em relação ao PMR, respectivamente (Tabela 1), condição também observada por Tobe et al. (2013) em trabalho realizado no Irã.

Entre genótipos não houve diferença do subperíodo início do florescimento ao final do florescimento (IF-FF) em nenhum dos experimentos. O subperíodo médio foi de 42 dias (Figura 2A), variando de 40 dias no Exp.2 a 45 dias no Exp.1. O IF-FF não foi afetado pela DS (Tabela 1), diferentemente do que foi verificado por Rosa et al. (2020), cuja taxa média de decréscimo (TMD) foi de 0,42% por dia de atraso da DS em relação à 07/04. Tobe et al. (2013) também encontraram diferenças para o subperíodo IF-FF, da ordem de 57% entre a primeira e a última DS.

Para o subperíodo final da floração à maturação fisiológica (FF-MF), diferenças entre genótipos ocorreram apenas no Exp.3, com ALHT B4 apresentando subperíodo mais curto (30 dias) do que Diamond (36 dias). Nos Exp.1 e Exp.2, o FF-MF foi, em média, de 40 dias e 45 dias, respectivamente (Figura 2A). Porém, entre as DS ocorreram diferenças no Exp.1 e no Exp.3, provavelmente devido ao maior número de DS, ao contrário do Exp.2, com quatro datas (Figura 2B). De maneira geral, nas semeaduras entre a segunda quinzena de abril e a primeira de junho, o FF-MF variou entre 30 dias e 50 dias, diferindo das semeaduras extremas (mais precoces e/ou mais tardias). Nestes dois experimentos, o FF-MF apresentou ajuste significativo, sendo mais elevado no Exp.1 ($r^2 = 0,92$), quando o efeito foi quadrático, do que no Exp.3 ($r^2 = 0,66$), no qual houve redução linear com o atraso na semeadura (Tabela 1). No caso do Exp.1, a taxa média de crescimento (TMC) indicou aumento do FF-MF de 1,90% ao dia para cada dia de atraso da semeadura, com ponto de máxima resposta (PMR) em 17/05. Após essa data, a taxa média de decréscimo (TMD) apontou redução do subperíodo em 0,74% ao dia para cada dia de atraso na semeadura, demonstrando diferença importante entre TMD e TMC quando o ajuste foi quadrático. No Exp.3, o ajuste linear apresentou TMD de -0,39% a cada dia de atraso a partir de 13/04, valor menor do que no Exp.1, porém próximo ao encontrado por Rosa et al. (2020), que foi de 0,26% (07/04). As diferenças entre os ajustes e TMD também se refletiram no erro (RSE) (Tabela 1).

Tabela 1. Taxa média de variação crescente (TMC) e decrescente (TMD) dos subperíodos emergência ao início do florescimento (EM-IF), início do florescimento ao final do florescimento (IF-FF), final do florescimento à maturação fisiológica (FF-MF) e para o ciclo de genótipos de canola, antes e após a data de ocorrência dos valores máximos no ponto de máxima resposta (PMR) conforme a data de semeadura (DS), com respectivo modelo ajustado aos dados, significância (p-valor), coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão residual (RSE) dos mesmos, nos experimentos Exp.1 (2016), Exp.2 (2017) e Exp.3 (2018).

| Ciclo/ Subperíodo | Experimento | Estatísticas | | | | TMC ⁽¹⁾ | PMR (dia) | | TMD ⁽¹⁾ |
|----------------------|-------------|--------------|---------|-------|------|--------------------|----------------------|---------|--------------------|
| | | Modelo | p-valor | r^2 | RSE | | (DDA) ⁽²⁾ | Data | |
| Ciclo | Exp.1 | Linear | 0,0108 | 0,79 | 5,87 | - | 98 | 08/abr | -0,434 (0,25%) |
| EM-IF | | Linear | 0,0083 | 0,82 | 5,76 | - | 98 | 08/abr | -0,459 (0,51%) |
| IF-FF | | Linear | 0,2159 | - | - | - | - | - | - |
| FF-MF | | Quadrático | 0,0103 | 0,92 | 2,18 | 0,528 (1,90%) | 136 | 17/maio | -0,356 (0,74%) |
| Ciclo | Exp.2 | Linear | 0,0182 | 0,95 | 3,37 | - | 98 | 08/abr | -0,485 (0,28%) |
| EM-IF | | Linear | 0,3651 | - | - | - | - | - | - |
| IF-FF | | Linear | 0,0708 | - | - | - | - | - | - |
| FF-MF | | Linear | 0,3057 | - | - | - | - | - | - |
| Ciclo | Exp.3 | Linear | 0,0264 | 0,59 | 9,12 | - | 103 | 13/abr | -0,294 (0,19%) |
| EM-IF | | Linear | 0,0040 | 0,80 | 2,10 | - | 103 | 13/abr | -0,110 (0,16%) |
| IF-FF | | Quadrático | 0,1011 | - | - | - | - | - | - |
| FF-MF | | Linear | 0,0164 | 0,66 | 4,38 | - | 103 | 13/abr | -0,161 (0,39%) |

⁽¹⁾ TMC e TMD: número de dias, com o correspondente percentual de redução diária entre parênteses.

⁽²⁾ DDA: dia do ano.

Traço (-) representa valor não apresentado, em função da não significância do modelo.

O número de dias observados neste estudo, para a canola completar o ciclo e para os subperíodos da emergência ao início do florescimento (EM-IF), início do florescimento ao final do florescimento (IF-FF) e final do florescimento à maturação fisiológica (FF-MF), corresponderam à amplitude encontrada na literatura para os principais genótipos de canola cultivados na região Sul (Tomm et al., 2004; Luz et al., 2012; Nied, 2013; Comin, 2017; Dahmer et al., 2017a, 2017b; Rigon et al., 2017; Rosa et al., 2020) e em outras regiões do Brasil (Panozzo, 2012; Araújo, 2020). Para os genótipos ALHT M6 e ALHT B4, a extensão do ciclo e dos subperíodos pode estar relacionada à origem de material genético, a Alemanha (Comin, 2017), com provável presença de genes invernais promovendo ciclo mais longo, devido às condições do ambiente na região de origem, especialmente baixa temperatura média do ar e mais horas de luz. Os genótipos australianos, como Hyola 61 e Diamond, são de primavera e não necessitam de vernalização para indução floral, como acontece com aqueles de inverno (Comin, 2017). Por isso, os genótipos de primavera têm ciclos e subperíodos mais curtos do que aqueles de inverno ou que tem mescla de material genético.

A redução do ciclo, em função do atraso da semeadura, é conhecida na literatura internacional (Tobe et al., 2013; Kirkegaard et al., 2016; Khayat et al., 2018). Resultados de Luz et al. (2012), Dahmer et al. (2017a, 2017b) e Rosa et al. (2020) mostraram que isso também ocorre no Brasil, o que é corroborado pelos resultados do presente trabalho. No caso do sul do Brasil, isso é explicado pela semeadura que acontece entre os solstícios de verão e de inverno, quando ocorre diminuição da temperatura média do ar (T_m) e do fotoperíodo (Figura 1), mas, após o solstício de inverno, ocorre aumento progressivo destas variáveis (Wrege et al., 2012), coincidindo com as fases vegetativa e reprodutiva da cultura. Nos experimentos, essa condição promoveu menor acúmulo térmico diário nas semeaduras precoces, que, associado à redução concomitante do fotoperíodo, atrasou o início da floração, prolongando os subperíodos e o ciclo das plantas de canola. Por outro lado, a T_m mais elevada após o solstício de inverno acelerou o desenvolvimento, devido ao aumento do acúmulo térmico diário e, com isso, as plantas necessitaram de menos dias para atingirem a soma térmica necessária para completar o ciclo (Lilley et al., 2019). De acordo com Rahman et al. (2018), temperatura do ar elevada, acima de 26 °C, acelera os subperíodos e o ciclo da canola, devido ao baixo período de juvenildade (20 dias a 30 dias após a emergên-

cia) que a canola apresenta (King; Kondra, 1986). Temperaturas do ar acima de 26 °C foram observadas em todos os experimentos, conforme demonstra a temperatura máxima do ar durante o ciclo (Figura 1).

Segundo Miralles et al. (2001), além do efeito isolado da temperatura mínima do ar (T_m) e do fotoperíodo, a interação entre essas variáveis tem forte influência na modulação do início do florescimento da canola, especialmente quando não se encontram em níveis limitantes (Morrison et al., 1989; Nanda et al., 1996; Robertson; Lilley, 2016). Desta forma, o início do florescimento pode ser antecipado quando acúmulo térmico mínimo for atingido e a condição fotoperiódica crítica (10,8 horas de luz) for alcançada para iniciar o florescimento (Robertson et al., 2002). A sinalização do fotoperíodo e a resposta a ela pode ser observada pelo subperíodo emergência ao início do florescimento mais curto nas sementeiras tardias, em comparação àquelas mais precoces (Figura 2B). Em condições de cultivo da região central do Brasil (Cerrado), onde a T_m do ar é mais elevada do que na região Sul e o fotoperíodo não é limitante, a canola responde, basicamente, à temperatura do ar (Assis et al., 2020).

Resultados de outros autores na região Sul do Brasil (Comin, 2017; Rigon et al., 2017), em alguns anos experimentais, mostraram resposta inversa na fenologia daquela encontrada neste trabalho. Esses autores verificaram aumento do ciclo com o atraso na sementeira, o que, *a priori*, não seria esperado nas condições de cultivo do Sul do Brasil. Entretanto, há outros fatores que afetam o ciclo da canola. No caso de Comin (2017), as sementeiras foram feitas entre o primeiro decêndio de fevereiro e primeiro decêndio de maio. Nestas condições, nas sementeiras precoces (fevereiro e março), o acúmulo térmico para iniciar a floração é mais rápido do que em sementeiras mais tardias (abril e maio), devido à temperatura média do ar (T_m) mais elevada. Nas sementeiras de fevereiro e março, o fotoperíodo não foi limitante ($\approx 12h$) o que favoreceu a rápida iniciação floral e a abertura da primeira flor. Nas sementeiras mais tardias (abril e maio), a T_m é menor em relação a fevereiro e março (Figura 1), resultando em menor acúmulo térmico diário e, ainda, o fotoperíodo encontra-se decrescente, sinalizando para a planta que a iniciação floral deve esperar (Morrison et al., 1989; Nanda et al., 1996; Miralles et al., 2001; Robertson; Lilley, 2016). Diante dessas condições, a canola retarda o início da floração e alonga o ciclo. No trabalho de Rigon et al. (2017), foi relatada a ocorrência de granizo. Provavelmente, esse fenômeno

afetou a dominância apical das plantas de canola, favorecendo a emissão de ramos, o que prolongou o período de florescimento e o ciclo.

A ocorrência de geadas durante a floração é outro fator que explica o prolongamento deste subperíodo fenológico, em consequência da emissão de novos ramos e flores. A partir do impacto do abortamento das estruturas reprodutivas ou da haste principal, provocado pela geada (Kovaleski, 2019), o ciclo da canola pode aumentar, causando variabilidade inclusive na maturação das síliquas, com provável aumento das perdas na colheita, por maturação desuniforme e alta deiscência natural em função de atrasos na colheita (Panozzo, 2012).

Crescimento vegetativo da canola

Para todas as variáveis de crescimento do dossel de canola, a interação foi significativa, exceto para a massa da matéria seca total nos Exp.1 e Exp.2 (Tabela 2). Este resultado indica que os genótipos tiveram crescimento vegetativo diferenciado nas DS e de maneira distinta em cada caso. Isso pode ser atribuído às diferenças genéticas que determinam os diferentes subperíodos de crescimento (Figura 2) e ao posicionamento dos mesmos em relação às distintas condições meteorológicas que, sabidamente, afetam o crescimento e o desenvolvimento da canola (Escobar et al., 2011; Marjanović-Jeromela et al., 2011; Zhang et al., 2013). Trabalhando com diferentes genótipos de canola e DS, no sul do Brasil, Hrchorovitch (2015), Comin (2017) e Khayat et al. (2018) também verificaram efeito de interação entre datas de semeadura e genótipos para variáveis de crescimento de planta.

As respostas dos genótipos de canola foram consistentes entre as datas de semeadura. Os genótipos ALHT M6 (Exp.1 e Exp.2) e ALHT B4 (Exp.3) apresentaram maior estatura de planta (EPL), massa da matéria seca de folhas (MSF), massa da matéria seca total (MST) e número de ramos (NR), ou não diferiram dos outros genótipos. Porém, quando houve interação, geralmente não houve diferença entre genótipos na segunda e na terceira últimas datas de semeadura (DS) do Exp.1 e do Exp.3, respectivamente, exceto para EPL. De maneira geral, o genótipo com menor EPL, menores acúmulos de MSF e de MST e menor NR foi Diamond, diferindo de Hyola 61 em algumas DS/experimentos. Assim, o genótipo Hyola 61 ficou posicionado de maneira intermediária entre Diamond e ALHT M6 (Tabela 2).

Tabela 2. Estatura de planta, massa seca total no florescimento, massa seca total na maturação fisiológica e número de ramos por planta de genótipos de canola em função de distintas datas de semeadura, nos experimentos Exp.1 (2016), Exp.2 (2017) e Exp.3 (2018).

| Experimento/ Genótipo | Variável/Data de semeadura | | | | | | | Média |
|--|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| | Estatura de planta (cm) | | | | | | | |
| Exp.1 | 07/04/2016 | 15/04/2016 | 02/05/2016 | 15/05/2016 | 03/06/2016 | 15/06/2016 | - | Média |
| Diamond | 62,3 b | 63,2 b | 62,4 b | 54,3 b | 48,9 b | 68,8 b | - | 60,0 |
| Hyola 61 | 57,8 b | 64,5 b | 89,6 b | 65,5 b | 51,8 b | 64,3 b | - | 65,6 |
| ALHT M6 | 94,7 a | 109,2 a | 108,3 a | 95,7 a | 84,6 a | 90,8 a | - | 97,2 |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 65,7 b | 68,7 a | 38,8 a | 66,7 a | - | - | - | 60,0 |
| Hyola 61 | 62,1 b | 57,4 a | 21,5 b | 29,3 b | - | - | - | 42,6 |
| ALHT M6 | 122,1 a | 65,9 a | 37,3 a | 59,4 a | - | - | - | 71,2 |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 119,0 a | 141,8 a | 69,1 b | 55,7 b | 67,3 b | 62,1 b | 47,9 b | 80,4 |
| ALHT B4 | 97,6 b | 120,7 b | 91,6 a | 102,8 a | 83,3 a | 90,6 a | 72,3 a | 94,1 |
| Massa seca total no florescimento (g m ⁻²) | | | | | | | | |
| Exp.1 | 07/04/2016 | 15/04/2016 | 02/05/2016 | 15/05/2016 | 03/06/2016 | 15/06/2016 | - | Média |
| Diamond | - | 316,6 b | 251,4 b | 151,8 b | 67,6 a | 138,6 a | - | 185,2 |
| Hyola 61 | - | 314,7 b | 495,3 a | 141,3 b | 55,4 a | 120,8 a | - | 225,5 |
| ALHT M6 | - | 741,7 a | 364,2 b | 311,2 a | 122,3 a | 180,3 a | - | 343,9 |

Continua...

Tabela 2. Continuação.

| Experimento/ Genótipo | Variável/Data de semeadura | | | | | | | |
|--|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| | Massa seca total no florescimento (g m ⁻²) | | | | | | | |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 342,4 b | 161,2 c | - | - | - | - | - | 251,8 |
| Hyola 61 | 257,7 c | 237,4 b | - | - | - | - | - | 247,6 |
| ALHT M6 | 421,9 a | 431,0 a | - | - | - | - | - | 426,5 |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 584,3 a | 716,0 a | 140,2 b | 131,6 b | 205,7 b | 199,3 a | 86,8 a | 294,8 |
| ALHT B4 | 358,3 b | 402,0 b | 347,3 a | 441,2 a | 514,7 a | 235,3 a | 221,6 a | 360,1 |
| Massa seca total na maturação fisiológica (g m ⁻²) | | | | | | | | |
| Exp.1 | 07/04/2016 | 15/04/2016 | 02/05/2016 | 15/05/2016 | 03/06/2016 | 15/06/2016 | - | Média |
| Diamond | 287,9 | 533,1 | 892,7 | 732,3 | 665,6 | 921,1 | - | 672,1 b |
| Hyola 61 | 300,5 | 955,4 | 975,3 | 786,6 | 528,0 | 806,5 | - | 725,4 b |
| ALHT M6 | 878,8 | 1317,6 | 2033,1 | 1143,5 | 804,6 | 866,7 | - | 1174,1 a |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 649,4 | 532,5 | 355,4 | 313,7 | - | - | - | 462,8 a |
| Hyola 61 | 728,1 | 325,0 | 619,1 | 232,1 | - | - | - | 476,1 a |
| ALHT M6 | 644,7 | 333,9 | 239,1 | 292,3 | - | - | - | 377,5 a |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 580,9 b | 1056,9 b | 742,6 b | 810,3 a | 600,0 a | 482,4 a | 322,1 a | 656,5 |
| ALHT B4 | 919,1 a | 1283,8 a | 876,5 a | 835,3 a | 752,9 a | 576,5 a | 439,2 a | 811,9 |

Continua...

Tabela 2. Continuação.

| Experimento/ Genótipo | Variável/Data de semeadura | | | | | | | Média |
|--------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| | Número de ramos por planta | | | | | | | |
| Exp.1 | 07/04/2016 | 15/04/2016 | 02/05/2016 | 15/05/2016 | 03/06/2016 | 15/06/2016 | - | Média |
| Diamond | 7,2 b | 4,3 b | 5,5 a | 4,2 b | 4,3 a | 4,2 a | - | 5,0 |
| Hyola 61 | 9,7 a | 8,4 a | 6,0 a | 5,8 a | 4,6 a | 4,8 a | - | 6,6 |
| ALHT M6 | 8,2 a | 7,7 a | 6,8 a | 5,3 a | 5,2 a | 4,8 a | - | 6,3 |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 6,3 a | 3,6 b | 3,3 b | 4,3 b | - | - | - | 4,4 |
| Hyola 61 | 6,6 a | 4,7 a | 6,3 a | 4,0 b | - | - | - | 5,4 |
| ALHT M6 | 6,6 a | 5,3 a | 6,2 a | 6,8 a | - | - | - | 6,2 |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 4,6 b | 5,3 b | 4,9 a | 4,3 b | 4,8 a | 4,5 a | 3,8 a | 4,6 |
| ALHT B4 | 7,8 a | 6,9 a | 5,8 a | 6,1 a | 5,2 a | 4,8 a | 4,8 a | 5,9 |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Diferenças entre genótipos, normalmente, são atribuídas a características intrínsecas relacionadas à base genética dos mesmos (Comin, 2017; Khayat et al., 2018). Esse pode ser o caso do presente trabalho, uma vez que a maiorias das variáveis relacionadas ao crescimento das plantas apresentou o mesmo padrão de variação nos três experimentos (Tabela 2). Os genótipos ALHT M6 e ALHT B4 apresentam genes de inverno e têm ciclo mais longo (Comin, 2017), com fase vegetativa maior do que os outros genótipos (Figura 2). As diferenças no ciclo e/ou subperíodos podem posicionar o material genético em uma condição de escape a fatores que afetam negativamente o crescimento das plantas, como, por exemplo, condições ambientais adversas (Hrchorovitch, 2015).

A influência das condições meteorológicas durante o ciclo das plantas pode ser observada, por exemplo, pela inversão de resposta da estatura de plantas (EPL) que ocorreu nas primeiras semeaduras no Exp.3 (Tabela 2). Essa inversão, provavelmente, está associada à temperatura média do ar (T_m) mais elevada nos primeiros decêndios, em comparação àquela observada no Exp.1 e no Exp.2 (Figura 1), favorecendo o maior crescimento das plantas de Diamond, que apresenta características primaveris e é mais precoce do que ALHT B4. O efeito do ambiente sobre a canola é conhecido e corresponde entre 70% e 85% da variabilidade encontrada na cultura (Escobar et al., 2011; Marjanović-Jeromela et al., 2011; Zhang et al., 2013). Entretanto, a intensidade do efeito depende da interação com o fator biológico, especialmente nos subperíodos críticos, uma vez que a canola apresenta alta plasticidade fenotípica (Krüger et al., 2011; Rosa et al., 2020).

A data de semeadura (DS) afetou todas as variáveis de crescimento vegetativo da canola (estatura de planta, massa da matéria seca de folhas, massa da matéria seca total e número de ramos). Os limites extremos apresentaram grande variação, com os valores mais elevados ocorrendo, principalmente, nas semeaduras do mês de abril até início de maio e decrescendo posteriormente (Tabela 2). A EPL variou entre 21,5 cm e 141,8 cm entre os tratamentos em todos os experimentos. Na máxima EPL, a MSF mínima foi de 55,4 g m⁻², e a máxima, de 741,7 g m⁻². A MST também apresentou grande variabilidade, porém, inferior à MSF, oscilando entre 232,1 g m⁻² e 1.300,3 g m⁻². A diferença média entre MSF e MST confirma resultados apresentados por Dalmago et al. (2018a, 2018b), de que cerca de 50% da MST da canola é produzida após o florescimento da cultura, com base na fotossíntese produzida pelas

síliquas (Fochesatto et al., 2016). O NR variou de 3,3 a 9,7 ramos por planta, dependendo do genótipo e da DS (Tabela 2). Apesar da grande variação, os limites das variáveis de crescimento de plantas ficaram dentro da amplitude encontrada em outros trabalhos (Tomm et al., 2004; Bandeira et al., 2013; Kaefer et al., 2014; Sanches et al., 2014; Hrchorovitch, 2015; Dahmer et al., 2017a; Comin, 2017; Rigon et al., 2017; Assis et al., 2020; Costa et al., 2020).

A maioria das regressões entre as variáveis EPL, MSF, MST e NR e DS foi significativa ($p \leq 0,05$), apesar do baixo r^2 (Tabela 3). O ajuste linear prevaleceu em todas as variáveis, com o ponto de máxima resposta (PMR) ocorrendo do início até meados de abril. Após essa data, houve decréscimo progressivo com o atraso na DS. Nos casos em que o ajuste foi quadrático, o PMR variou do início ao final de maio, exceto para a MSF de Diamond no Exp.3, que foi no final de julho. Para a MSF, isso ocorreu em função do ajuste quadrático ter sido uma parábola com formato convexo e, portanto, com existência de ponto de mínima. Relações lineares e quadráticas entre variáveis que representam o crescimento de plantas e DS também foram encontradas por Tomm et al. (2004), Panozzo (2012), Dahmer et al. (2017a) e Rosa et al. (2020) para EPL; Rad et al. (2014) e Costa et al. (2020) para NR; e Khayat et al. (2018) para MSF e MST. Em todos os casos, foi verificada redução dos valores absolutos com o atraso na semeadura.

A taxa média de decréscimo (TMD) para as variáveis EPL, MSF, MST e NR, com resposta linear, variou de 0,16% a 2,21% em relação ao ponto de máxima resposta (PMR), indicando perdas significativas de potencial produtivo a cada dia de atraso na semeadura de canola (Tabela 3). Quando o ajuste foi quadrático, com formato côncavo, o PMR foi deslocado mais para o centro do intervalo das semeaduras nos três experimentos. Nestes casos, a taxa mínima de crescimento (TMC) variou de 0,28% a 2,09% por dia de antecipação da semeadura em relação ao PMR (Tabela 3), sugerindo que antecipar muito a data de semeadura pode limitar mais o potencial produtivo, em comparação a atrasos maiores após 25 de maio. Isso se baseia no fato da TMC ter sido, proporcionalmente, maior do que a TMD. A faixa de variação, especialmente da TMD, contempla os coeficientes angulares apresentado por Tomm et al. (2004), Dahmer et al. (2017a), Costa et al. (2020) e Rosa et al. (2020), para diversas variáveis de crescimento de canola, embora localizados no limite inferior daqueles encontrados no presente trabalho.

Tabela 3. Taxa média de variação crescente (TMC) e decrescente (TMD) das variáveis estatura de planta, massa seca total no florescimento, massa seca total na maturação fisiológica e número de ramos por planta de genótipos de canola, antes e após a data de ocorrência dos valores máximos no ponto de máxima resposta (PMR), conforme a data de semeadura, com respectivo modelo ajustado aos dados, significância (p-valor), coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão residual (RSE), nos experimentos Exp.1 (2016), Exp.2 (2017) e Exp.3 (2018).

| Genótipo | Experimento | Tipo e estatísticas do modelo | | | | TMC ⁽¹⁾ | PMR (dia) | | TMD ⁽¹⁾ |
|---|-------------|-------------------------------|----------|-------|--------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|
| | | Ajuste | p-valor | r^2 | RSE | | DDA ⁽²⁾ | Data | |
| Estatura de planta (cm) | | | | | | | | | |
| Diamond | Exp.1 | Linear | 0,1609 | - | - | - | - | - | - |
| Hyola 61 | | Quadrático | 0,0523 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT M6 | | Linear | 0,0049 | 0,30 | 6,72 | - | 98 | 07/abr | -0,178 (0,17%) |
| Diamond | Exp.2 | Linear | 0,7358 | - | - | - | - | - | - |
| Hyola 61 | | Linear | 0,0003 | 0,59 | 12,44 | - | 98 | 08/abr | -0,576 (1,19%) |
| ALHT M6 | | Linear | 0,0009 | 0,53 | 22,67 | - | 98 | 08/abr | -0,941 (0,91%) |
| Diamond | Exp.3 | Quadrático | < 0,0001 | 0,79 | 14,40 | - | 103 | 13/abr | -0,717 (0,55%) |
| ALHT B4 | | Linear | < 0,0001 | 0,51 | 10,17 | - | 103 | 13/abr | -0,287 (0,26%) |
| Massa seca total no florescimento (g m⁻²) | | | | | | | | | |
| Diamond | Exp.1 | Linear | 0,0004 | 0,48 | 81,38 | - | 98 | 07/abr | -3,587 (1,09%) |
| Hyola 61 | | Linear | 0,0008 | 0,44 | 124,70 | - | 98 | 07/abr | -5,109 (1,22%) |
| ALHT M6 | | Linear | < 0,0001 | 0,75 | 107,30 | - | 98 | 07/abr | -8,702 (1,27%) |
| Diamond | Exp.2 | Linear | 0,0004 | 0,87 | 36,47 | - | 98 | 08/abr | -7,552 (2,21%) |
| Hyola 61 | | Linear | 0,3179 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT M6 | | Linear | 0,7578 | - | - | - | - | - | - |

Continua...

Tabela 3. Continuação.

| Genótipo | Experimento | Tipo e estatísticas do modelo | | | | TMC ⁽¹⁾ | PMR (dia) | | TMD ⁽¹⁾ |
|---|-------------|-------------------------------|----------|----------------|--------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|
| | | Ajuste | p-valor | r ² | RSE | | DDA ⁽²⁾ | Data | |
| Massa seca total no florescimento (g m⁻²) | | | | | | | | | |
| Diamond | Exp.3 | Quadrático | < 0,0001 | 0,69 | 136,50 | 1,582 (1,55%) | 211 | 30/jul | - |
| ALHT B4 | | Quadrático | 0,0005 | 0,44 | 82,05 | 2,369 (0,71%) | 145 | 25/maio | -3,652 (0,84%) |
| Massa seca total na maturação fisiológica (g m⁻²) | | | | | | | | | |
| Média | Exp.1 | Quadrático | 0,0268 | 0,22 | 293,10 | 13,373 (2,09%) | 133 | 12/maio | -12,674 (1,14%) |
| Média | Exp.2 | Linear | 0,0015 | 0,66 | 101,50 | - | 98 | 08/abr | -5,555 (0,93%) |
| Diamond | Exp.3 | Quadrático | 0,0001 | 0,47 | 191,30 | 2,080 (0,28%) | 129 | 09/maio | -6,388 (0,79%) |
| ALHT B4 | | Linear | < 0,0001 | 0,76 | 112,70 | - | 103 | 13/abr | -5,877 (0,54%) |
| Número de ramos por planta | | | | | | | | | |
| Diamond | Exp.1 | Linear | 0,0084 | 0,24 | 1,24 | - | 98 | 07/abr | -0,029 (0,50%) |
| Hyola 61 | | Linear | 0,0004 | 0,47 | 1,24 | - | 98 | 07/abr | -0,047 (0,62%) |
| ALHT M6 | | Linear | 0,0002 | 0,46 | 1,23 | - | 98 | 07/abr | -0,046 (0,59%) |
| Diamond | Exp.2 | Linear | 0,0978 | - | - | - | - | - | - |
| Hyola 61 | | Linear | 0,0130 | 0,42 | 0,94 | - | 98 | 08/abr | -0,034 (0,55%) |
| ALHT M6 | | Linear | 0,7009 | - | - | - | - | - | - |
| Diamond | Exp.3 | Linear | 0,0027 | 0,27 | 0,48 | - | 103 | 13/abr | -0,008 (0,16%) |
| ALHT B4 | | Linear | < 0,0001 | 0,59 | 0,82 | - | 103 | 13/abr | -0,028 (0,38%) |

⁽¹⁾ TMC e TMD assumem as unidades das variáveis.

⁽²⁾ DDA = dia do ano.

Traço (-) representa valores não apresentados, em função da não significância do modelo.

Usando como exemplo a variação da taxa média de decréscimo (TMD) para a estatura de plantas (EPL) e para o número de ramos (NR), em termos práticos significa que a EPL pode ser reduzida de 1,8 cm a 9,4 cm a cada dez dias de atraso na semeadura, enquanto o NR pode ser reduzido de 0,1 ramo a 0,5 ramo, no mesmo período. O mesmo raciocínio é válido para a massa da matéria seca de folhas (MSF) e massa da matéria seca total (MST), com a diferença de que essas duas variáveis apresentam situações com taxa média de crescimento (TMC) e de TMD, devido ao ajuste do modelo quadrático. Portanto, os resultados são consistentes em evidenciar que houve decréscimo nas variáveis de crescimento das plantas com o atraso na semeadura, e houve perdas importantes em antecipar demasiadamente a semeadura em relação ao ponto de máxima resposta (PMR), uma vez que essas condições ocorreram para os quatro genótipos e em dezessete datas de semeadura, dos três experimentos.

A redução da produtividade biológica (massa da matéria seca de folhas e massa da matéria seca total) e do crescimento (estatura de plantas) e a modificação da estrutura de plantas (número de ramos), com o atraso da semeadura, são explicadas pelas distintas condições ambientais encontradas entre as datas de semeadura (DS), especialmente, temperatura média do ar (T_m) e fotoperíodo. Quanto mais tardias foram as semeaduras, mais o ciclo e os subperíodos da canola estiveram expostos a condições crescentes de T_m (Figura 1) e de fotoperíodo e à redução da disponibilidade hídrica do ambiente. Em condições ambientais com T_m mais elevada, as plantas acumulam maior soma térmica em menor tempo, o que implica em acelerado crescimento e desenvolvimento vegetal. Datas de semeadura tardias significam, ainda, que as plantas em sua marcha temporal irão encontrar valores de fotoperíodo superiores a 10,8h (valor crítico para os genótipos utilizados), que ocorrem a partir do dia 02 de agosto, em um tempo menor do que as plantas semeadas no período ótimo ou em relação às DS precoces. A canola é uma espécie classificada como planta de dia longo e apresenta resposta ao florescimento do tipo facultativa ou quantitativa. Nas plantas de dias longos, o florescimento é estimulado apenas quando o fotoperíodo do dia excede ao valor em horas do fotoperíodo crítico da espécie (Taiz; Zeiger, 2009). Plantas com respostas quantitativas, portanto, dependem da sinalização de fatores ambientais (externos) para o florescimento, mas não exclusivamente. Plantas de canola cultivadas em condições controladas, e submetidas a fotoperíodo muito abaixo do fotoperíodo crítico, transferem o controle do floresci-

mento para os fatores genéticos (endógenos). Nestes casos, na ausência do fotoperíodo crítico, a sinalização para o florescimento ocorrerá com base em um marca-passo interno (oscilador endógeno) e as plantas irão florescer após atingirem determinados valores de soma térmica que, para os genótipos utilizados neste trabalho, situam-se na faixa de 900 graus dia a 1.200 graus dia. Deste modo, atrasos nas sementeiras promovem forte desenvolvimento em função dos valores crescentes de T_m , e a cultura alcança, em menor tempo, a data de sinalização fotoperiódica que deflagra o início imediato do florescimento (Figura 2). As consequências são os menores tempos para crescer (EPL), para acumular biomassa (MSF e MST) e para emitir ramos (NR) antes da abertura da primeira flor (Morrison et al., 1989; Nanda et al., 1996; Miralles et al., 2001; Robertson; Lilley, 2016).

Em sementeiras precoces, o fenômeno é o oposto. Devido à antecipação da data de sementeira da cultura, as plantas são expostas ao decréscimo diário do tempo de luz (fotoperíodo) e à redução da temperatura média do ar (T_m), que seguem em declínio até 21 de junho (solstício de inverno). Como consequência, as plantas permanecem mais tempo no subperíodo vegetativo (Figura 2B) até ocorrer a inflexão da curva fotoperiódica e o aumento gradual do fotoperíodo e da T_m , após o solstício de inverno, nos ambientes produtivos de canola da região Sul. Portanto, DS antecipadas alocam a cultura em uma janela temporal de maior exposição a T_m mais baixas em relação a DS tardias. Para espécies originárias de clima temperado, como a canola, condições de baixa T_m favorecem a produção biológica, em virtude da alta capacidade de aclimação ao frio, e respondem satisfatoriamente nestas condições térmicas encontradas em quase todo o Rio Grande do Sul (Dalmago et al., 2010). Na Austrália, Kirkegaard et al. (2016) verificaram que, em sementeiras precoces, a canola produziu mais biomassa, elevando o potencial de rendimento de grãos (REN) em anos sem eventos de geada, menos quentes e de baixo estresse hídrico, comparado com sementeiras tardias, em que o estresse hídrico, associado ao calor mais elevado, reduz o REN.

Componentes do rendimento de grãos

Nos três experimentos, a interação entre os tratamentos foi significativa para os componentes do rendimento de grãos (REN), exceto para número de síliquas de plantas (NSP), condição também verificada por Comin (2017). Isso era esperado, considerando-se a amplitude das datas de sementeira

(DS), as diferenças genéticas dos genótipos e, principalmente, a variabilidade ambiental, tanto das condições meteorológicas durante o período quanto da variação na umidade do solo no ciclo das plantas (Butkevičienė et al., 2021). Estudos realizados em ambientes similares também encontraram interação significativa entre DS e genótipos (Almeida et al., 2014; Righi et al., 2017; Comin, 2017; Salbego et al., 2017; Botttega et al., 2020), o que confirma a forte influência do ambiente sobre os componentes do REN da canola na região Sul do Brasil.

As diferenças nos componentes do REN entre genótipos foram observadas em apenas algumas datas de semeadura ($\approx 25\%$ dos casos), com a mesma tendência para todas as variáveis: número de plantas (NPA), número de siliquas por planta (NSP), número de grãos por siliqua (NGS) e massa de mil grãos (MMG) (Tabela 4). De maneira geral, elas ocorreram nas semeaduras entre meados de maio e meados de junho, exceto para o NPA (Exp.2), NGS (Exp.2 e Exp.3) e MMG (Exp.1), cujas diferenças foram observadas nas semeaduras do início do período experimental, especialmente no mês de abril e início de maio (NGS no Exp.2). Nas datas de semeadura em que houve diferença, o genótipo Diamond apresentou resposta superior ou não diferiu dos demais, inclusive para NGS, em que não houve interação. No Exp.1 e no Exp.2, Hyola 61 e ALHT M6, na maioria das vezes, não diferiram e, quando diferiram, Hyola 61 foi superior a ALHT M6, ou o contrário (Tabela 4).

Considerando que houve diferença nos componentes do rendimento de grãos entre genótipos em apenas 25% dos casos possíveis, pode-se afirmar que as principais causas foram relacionadas a fatores ambientais pontuais e não de base genética. Isso pode ser observado no caso do número de plantas, que apresentou alta variabilidade entre os experimentos em decorrência da mortalidade de plantas causada por geadas (ex.: semeadura de 07/04/2016) na fase inicial de crescimento (Figura 1) e pelo déficit hídrico no Exp.3. Os efeitos deletérios da geada e do déficit hídrico (especialmente no Exp.2) também ocorreram sobre o número de siliquas por planta (NSP), número de grãos por siliqua (NGS) e massa de mil grãos (MMG), dependendo do estágio de desenvolvimento destas estruturas, resultando em decréscimo no valor dos mesmos (Dalmago et al., 2010; Kovaleski, 2019; Kovaleski et al., 2019).

Tabela 4. Número de plantas, número de siliquas por planta, número de grãos por siliqua e massa de mil grãos de genótipos de canola, em função de datas de semeadura, nos Exp.1 (2016), Exp.2 (2017) e Exp.3 (2018).

| Experimento/ Genótipo | Variável/Data de semeadura | | | | | | | |
|---|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| Número de plantas (n° m⁻²) | | | | | | | | |
| Exp.1 | 07/04/2016 | 15/04/2016 | 02/05/2016 | 15/05/2016 | 03/06/2016 | 15/06/2016 | - | Média |
| Diamond | 4,6 a | 30,9 a | 34,2 a | 30,8 a | 21,6 a | 38,6 a | - | 26,8 |
| Hyola 61 | 6,0 a | 24,0 a | 27,6 a | 18,8 b | 18,2 a | 27,7 a | - | 20,4 |
| ALHT M6 | 13,8 a | 30,7 a | 38,2 a | 40,4 a | 24,3 a | 30,9 a | - | 29,7 |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 39,6 a | 29,8 a | 37,4 a | 17,2 a | - | - | - | 31,0 |
| Hyola 61 | 17,5 b | 25,2 a | 23,1 b | 11,9 a | - | - | - | 19,4 |
| ALHT M6 | 18,2 b | 24,9 a | 10,0 b | 12,2 a | - | - | - | 16,3 |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 20,2 a | 29,1 a | 44,4 a | 48,3 a | 50,2 a | 41,3 a | 32,2 a | 38,0 |
| ALHT B4 | 21,9 a | 23,6 a | 38,6 a | 36,8 b | 32,2 b | 41,3 a | 25,2 a | 31,4 |
| Número de siliquas por planta (n° planta⁻¹) | | | | | | | | |
| Exp.2 | 08/04/17 | 02/05/17 | 22/05/17 | 16/06/17 | - | - | - | Média |
| Diamond | 180,4 | 162,8 | 86,3 | 159,0 | - | - | - | 147,1 a |
| Hyola 61 | 315,0 | 136,3 | 295,6 | 164,0 | - | - | - | 227,7 a |
| ALHT M6 | 233,6 | 123,8 | 224,4 | 236,8 | - | - | - | 204,6 a |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 238,6 | 333,2 | 175,4 | 214,9 | 162,8 | 160,5 | 115,7 | 200,2 b |
| ALHT B4 | 360,6 | 375,7 | 202,0 | 275,7 | 174,4 | 233,8 | 139,6 | 251,7 a |

Continua...

Tabela 4. Continuação.

| Experimento/ Genótipo | | Variável/Data de semeadura | | | | | | |
|--|------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| Número de grãos por siliqua (n° siliqua⁻¹) | | | | | | | | |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 8,9 a | 13,8 a | 13,3 a | 10,2 a | - | - | - | 11,6 |
| Hyola 61 | 8,4 a | 9,0 b | 6,3 b | 9,3 a | - | - | - | 8,3 |
| ALHT M6 | 9,1 a | 2,9 c | 2,5 b | 5,9 a | - | - | - | 5,1 |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 17,9 a | 26,2 a | 17,2 a | 23,4 a | 16,6 a | 19,0 a | 18,0 a | 19,8 |
| ALHT B4 | 17,6 a | 18,6 b | 18,2 a | 15,6 b | 15,4 a | 16,8 a | 16,8 a | 17,0 |
| Massa de mil grãos (g) | | | | | | | | |
| Exp.1 | 07/04/2016 | 15/04/2016 | 02/05/2016 | 15/05/2016 | 03/06/2016 | 15/06/2016 | - | Média |
| Diamond | 2,5 c | 3,5 a | 4,6 a | 4,7 a | 3,4 a | 3,7 a | - | 3,7 |
| Hyola 61 | 5,5 a | 2,1 b | 3,7 a | 3,5 b | 2,7 a | 3,5 a | - | 3,5 |
| ALHT M6 | 3,6 b | 4,0 a | 4,1 a | 3,9 ab | 3,4 a | 3,9 a | - | 3,8 |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 1,2 b | 2,8 a | 3,0 a | 3,7 a | - | - | - | 2,7 |
| Hyola 61 | 2,5 a | 2,3 a | 2,5 a | 3,0 ab | - | - | - | 2,6 |
| ALHT M6 | 2,9 a | 2,6 a | 2,7 a | 2,5 b | - | - | - | 2,7 |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 2,8 a | 3,6 a | 5,4 a | 4,8 a | 5,3 a | 3,9 a | 3,6 a | 4,2 |
| ALHT B4 | 2,9 a | 4,2 a | 4,2 a | 3,8 a | 3,8 b | 3,7 a | 3,2 a | 3,7 |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Número de siliquas por planta e número de grãos por siliqua não foram avaliados no Exp.1.

Os limites extremos dos componentes do rendimento de grãos (número de plantas, número de siliquis por planta, número de grãos por siliqua e massa de mil grãos) permaneceram dentro da amplitude encontrada por outros autores (Bandeira et al., 2013; Sanches et al., 2014; Hrchorovitch, 2015; Rigon et al., 2017; Comin, 2017; Araújo, 2020; Bottega et al., 2020; Costa et al., 2020), semelhante ao que aconteceu com as variáveis de crescimento de plantas. Na maioria dos casos, os valores mais elevados ocorreram nas semeaduras de abril e maio, decrescendo posteriormente até julho (Tabela 4). O número de plantas (NPA) mínimo foi de 4,6 plantas m^{-2} e ocorreu na primeira semeadura do Exp.1, em função da mortalidade de plantas causada por geada. O máximo NPA foi de 50,2 plantas m^{-2} e ocorreu no Exp.3, na semeadura de meados de junho. Neste Exp.3, a precipitação pluvial foi melhor distribuída e próxima à média histórica nas semeaduras tardias, garantindo estabelecimento adequado das plantas (sem excessos ou déficits hídricos severos). Para NSP, NGS e MMG também ocorreu grande variação entre valores extremos, com mínimo de 86,3 siliquis planta⁻¹, 2,5 grãos siliqua⁻¹ e 1,2 g, e máximo de 375,7 siliquis planta⁻¹, 26,2 grãos siliqua⁻¹ e 5,5 g, respectivamente. Essa variabilidade também pode ser atribuída à influência das condições meteorológicas e/ou ambientais que ocorreram ao longo do ciclo.

Para os componentes do rendimento de grãos, a maioria das regressões foi significativa ($p \leq 0,05$), especialmente para Diamond e para a média dos genótipos quanto ao número de siliquis por planta (NSP) (Tabela 5). Por outro lado, não foram verificados ajustes significativos nos componentes do rendimento de grãos envolvendo Hyola 61, indicando que foi menos responsivo aos fatores do ambiente do que os demais. Isso demonstra que Hyola 61 teve mais estabilidade em função das datas de semeadura (DS), conforme apontado por Lima et al. (2017). Para os genótipos ALHT M6 e ALHT B4, alguns componentes do rendimento de grãos apresentaram ajustes significativos, e outros não, provavelmente por estarem relacionados à variabilidade genética destes genótipos (Comin, 2017), principalmente no que se refere ao ciclo e/ou ao posicionamento das fases críticas da cultura em momentos diferentes, comparado a Diamond e Hyola 61. Porém, Comin (2017) observou maior estabilidade produtiva nos genótipos ALHT M6 e ALHT B4, em comparação ao grupo de genótipos avaliados, entre os quais se encontrava Hyola 61. Isso demonstra que o efeito do ambiente é fator fundamental para a identificação do melhor genótipo de canola para cultivo em cada região, independentemente da maior ou menor estabilidade do material genético.

Tabela 5. Taxa média de variação crescente (TMC) e decrescente (TMD) das variáveis número de plantas por área, número de siliquas por planta, número de grãos por siliqua e massa de mil grãos de genótipos de canola, antes e após a data de ocorrência dos valores máximos no ponto de máxima resposta (PMR) conforme a data de semeadura, com respectivo modelo ajustado aos dados, significância (p-valor), coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão residual (RSE), nos experimentos Exp.1 (2016), Exp.2 (2017) e Exp.3 (2018).

| Genótipo | Experimento | Tipo e estatísticas do modelo | | | | TMC ⁽¹⁾ | PMR (dia) | | TMD ⁽¹⁾ |
|---|-------------|-------------------------------|----------|-------|-------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|
| | | Ajuste | p-valor | r^2 | RSE | | DDA ⁽²⁾ | Data | |
| Número de plantas por área (n° m²) | | | | | | | | | |
| Diamond | Exp.1 | Quadrático | 0,0204 | 0,24 | 11,38 | 0,399 (2,79%) | 147 | 26/maio | -0,162 (0,48%) |
| Hyola 61 | | Quadrático | 0,0779 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT M6 | | Quadrático | 0,0035 | 0,36 | 9,00 | 7,381 (40,49%) | 136 | 15/maio | -8,817 (2,95%) |
| Diamond | Exp.2 | Linear | < 0,0001 | 0,86 | 3,54 | - | 98 | 08/abr | -0,313 (0,80%) |
| Hyola 61 | | Linear | 0,1444 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT M6 | | Linear | 0,0447 | 0,26 | 4,82 | - | 98 | 08/abr | -0,116 (0,60%) |
| Diamond | Exp.3 | Quadrático | < 0,0001 | 0,77 | 5,33 | 0,477 (2,42%) | 164 | 13/jun | -0,371 (0,76%) |
| ALHT B4 | | Quadrático | 0,0004 | 0,43 | 6,31 | 0,271 (1,31%) | 166 | 15/jun | -0,197 (0,52%) |
| Número de siliquas por planta (n° planta⁻¹) | | | | | | | | | |
| Média ⁽⁴⁾ | Exp.2 | Quadrático | 0,0337 | 0,46 | 38,63 | - | 98 | 08/abr | -2,441 (1,03%) |
| Média ⁽⁴⁾ | Exp.3 | Linear | 0,0001 | 0,47 | 61,70 | - | 103 | 13/abr | -1,639 (0,53%) |
| Número de grãos por siliqua (n° siliqua⁻¹) | | | | | | | | | |
| Diamond | Exp.2 | Quadrático | 0,0005 | 0,74 | 1,28 | 0,141 (1,56%) | 134 | 14/maio | -0,123 (0,87%) |
| Hyola 61 | | Linear | 0,0766 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT M6 | | Quadrático | < 0,0001 | 0,85 | 1,24 | ⁽³⁾ | 98 | 08/abr | -0,192 (1,92%) |
| Diamond | Exp.3 | Linear | 0,2101 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT B4 | | Linear | 0,3288 | - | - | - | - | - | - |

Continua...

Tabela 5. Continuação.

| Genótipo | Experimento | Tipo e estatísticas do modelo | | | | TMC ⁽¹⁾ | PMR (dia) | | TMD ⁽¹⁾ |
|-------------------------------|-------------|-------------------------------|----------|----------------|------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|
| | | Ajuste | p-valor | r ² | RSE | | DDA ⁽²⁾ | Data | |
| Massa de mil grãos (g) | | | | | | | | | |
| Diamond | Exp.1 | Quadrático | 0,0002 | 0,52 | 0,60 | 0,048 (1,74%) | 136 | 15/maio | -0,041 (0,90%) |
| Hyola 61 | | Quadrático | 0,8052 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT M6 | | Quadrático | 0,5290 | - | - | - | - | - | - |
| Diamond | Exp.2 | Quadrático | 0,0001 | 0,79 | 0,45 | 0,038 (3,13%) | 156 | 05/jun | -0,008 (0,22%) |
| Hyola 61 | | Quadrático | 0,2063 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT M6 | | Linear | 0,0722 | - | - | - | - | - | - |
| Diamond | Exp.3 | Quadrático | < 0,0001 | 0,74 | 0,39 | 0,032 (1,12%) | 161 | 10/jun | -0,028 (0,59%) |
| ALHT B4 | | Quadrático | 0,0023 | 0,35 | 0,44 | 0,015 (0,46%) | 154 | 03/jun | -0,017 (0,43%) |

⁽¹⁾TMC e TMD assumem as unidades das variáveis.

⁽²⁾ DDA = dia do ano.

⁽³⁾ não calculada devido ao ajuste do modelo quadrático convexo e PMR ter ocorrido na primeira data de semeadura.

⁽⁴⁾ A média na coluna do genótipo significa a média dos genótipos, em função da análise de variância;

Todos os componentes do rendimento de grãos apresentaram ajuste quadrático ($p \leq 0,05$), exceto para o número de plantas (NPA) no Exp.2 e para o número de síliquas por planta (NSP) no Exp.3, nos quais o ajuste foi linear (Tabela 5). O NPA mais elevado no Exp.1 e no Exp.3 ocorreu nas semeaduras entre 15 de maio e 15 de junho, quando foi observado o ponto de máxima resposta (PMR). Antes do PMR, a taxa média de crescimento (TMC) diária variou de 1,31% a 40,49% e a taxa média de decréscimo (TMD), de 0,48% a 2,95%, com variações elevadas entre genótipos (Tabela 5). Essas taxas sugerem que antecipar a semeadura em relação ao PMR pode ocasionar reduções mais significativas no NPA do que atrasar a mesma, provavelmente, devido à maior probabilidade de ocorrência de geadas sem aclimação prévia das plantas nas semeaduras mais precoces. Nas semeaduras de maio e junho, a probabilidade de aclimação das plantas às temperaturas médias do ar (T_m) baixas é maior, tornando-as mais tolerantes a geadas, reduzindo a mortalidade (Dalmago et al., 2010). No Exp.2, o ajuste foi linear, provavelmente, devido ao menor número de datas de semeadura (DS) em relação aos demais experimentos. Neste caso, só foi possível estimar a TMD, a qual indicou redução no NPA em semeaduras após 08/04 em taxas diárias variando entre 0,6% e 0,8%. Apesar das diferenças nos modelos de ajustes dos dados, a plasticidade elevada da canola é importante fator compensatório (Krüger et al., 2011; Bandeira et al., 2013; Melgarejo et al., 2014), que pode determinar relações distintas em outros componentes do rendimento de grãos, especialmente NSP (Costa et al., 2020).

Devido à falta de interação, o ajuste dos dados médios do número de síliquas (NSP) ocorreu de maneira diferente entre os experimentos (Tabela 5). No Exp.2, a data de semeadura (DS) de 02/05 teve o menor NSP, favorecendo o ajuste dos dados à função quadrática, com parábola convexa e tendo ponto de mínima. A taxa média de decréscimo (TMD), obtida neste caso, entre o máximo NSP em 08/04 e o mínimo estimado em 17/05, indicou redução de 1% ao dia com o atraso da semeadura a partir de 08/04. No Exp.3, o ajuste foi linear e a TMD foi cerca da metade daquela do Exp.2, mas também indicou redução do NSP a partir de semeaduras de meados de abril (13/04) (Tabela 5), condição observada por Costa et al. (2020) a partir de sequência de semeaduras iniciadas em março, no Oeste do Paraná. Outro fator a ser considerado para a resposta observada pode ser as distintas formas

de amostragem entre os experimentos, mas, seguramente, com efeito muito menor do que as DS.

Entre as possíveis causas de variação do número de siliquas por planta (NSP), a falta de interação indica que a variabilidade associada foi causada pelo número de geadas que ocorreram durante o ciclo da cultura (46, 6 e 18 nos Exp.1, Exp.2 e Exp.3, respectivamente). As geadas podem afetar o NSP quando ocorrem durante o florescimento e início de formação dos grãos (Dalmago et al., 2010). Além das geadas, o NSP é afetado por temperatura média do ar (T_m) e por temperatura máxima do ar (T_x) elevadas e pelo déficit hídrico durante a fase inicial da sua ontogenia (Gan et al., 2004; Kirkegaard et al., 2016), sugerindo ser uma característica mais associada ao ambiente e menos ao fator genético, uma vez que diferenças entre genótipos foram verificadas apenas no Exp.3 (Tabela 4). Nas datas de semeadura, a redução do NSP pode ser atribuída também à menor emissão de flores, devido ao subperíodo da floração ser mais curto (Figura 2), como consequência da temperatura do ar e do fotoperíodo em ascensão (Figura 1) (Morrison et al., 1989; Nanda et al., 1996; Miralles et al., 2001; Robertson; Lilley, 2016). Entretanto, é pouco provável que o número de flores seja o limitador, em função da canola emitir mais flores do que aquelas que consegue fixar. Neste caso, abortamentos causados por T_x e demanda evaporativa elevada podem explicar a redução no NSP (Morrison; Stewart, 2002; Battisti et al., 2013). Porém, há outros fatores que podem influenciar esta variável, conforme apontado por Wang et al. (2015). Estes autores observaram que o NSP de canola de inverno foi associado a maior índice de área foliar e maior eficiência de uso da radiação solar, características altamente associadas à massa da matéria seca de folhas, conforme observado neste trabalho.

Quanto ao número de grãos por síliqua (NGS), apenas no Exp.2 houve o ajuste significativo ao modelo quadrático e somente para Diamond e ALHT B4 (Tabela 5). Nos demais experimentos, as diferenças não foram significativas, semelhante ao que foi observado por Butkevičienė et al. (2021) e por Costa et al. (2020). No caso de Diamond, a taxa média de crescimento (TMC) indicou incremento médio de 1,56% a cada dia de atraso da semeadura até 14/05 (ponto de máxima resposta, PMR), ou seja, quanto mais próximo ao PMR, maior foi o NGS (Tabela 5). A taxa média de decréscimo (TMD) para este genótipo foi inferior à TMC, com valores de 0,87% após 14/05, seguindo o que foi observado para outras variáveis, em que semeaduras muito precoces reduziram mais o

NGS do que atrasos na semeadura após o PMR. Para ALHT M6, a parábola teve formato convexo com ponto de mínima ocorrendo após o PMR, originando TMD de 1,92% a cada dia de atraso na semeadura após 8/04 (Tabela 5). Este valor foi bem superior ao encontrado por Estevez (2012) no Oeste do Paraná, de 0,78% ao dia. Ajustes linear e quadrático do NGS de canola, em função de data de semeadura, também foram encontrados por Panozzo (2012), em experimentos conduzidos em região tropical de Minas Gerais.

As diferenças entre o formato (côncavo, convexo) do ajuste dos dados de número de grãos por síliqua (NGS) dos genótipos Diamond e ALHT B4 no Exp.2 indicam que, de maneira geral, as causas de variação foram mais impactantes nas datas de semeadura extremas do que naquelas centralizadas no período estudado. Em grande parte, essas diferenças foram associadas à variabilidade das condições meteorológicas, como a ocorrência de geadas outonais e/ou primaveris, à temperatura média do ar (T_m) e à demanda evaporativa da atmosfera, que foram mais elevadas nas semeaduras extremas tardias, podendo ocasionar déficit hídrico e afetar o NGS (Dalmago et al., 2022). A evidência de que o efeito das condições meteorológicas adversas nivelou para baixo a resposta deste componente do rendimento de grãos é suportada pela diferença no NGS entre genótipos, a qual ocorreu apenas nas semeaduras com maior NGS, ou seja, naquelas centrais do período estudado, entre final de abril e final de maio (Tabela 4), onde a expressão do potencial produtivo foi maior. A modulação do NGS da canola em resposta às variações das condições ambientais explica grande parte dos grãos chochos que aparecem nas síliquas. Esses grãos são embriões fertilizados logo após a abertura da flor, e que foram eliminados pelas plantas no transcorrer do enchimento de grãos, em função da translocação de fotoassimilados, e da fotossíntese produzida nas síliquas não ser suficiente para completar o mesmo. O impacto destes efeitos sobre o NGS é reportado no rendimento de grãos (REN), pois, segundo Coimbra et al. (2004), este é um dos principais componentes do REN.

Para a massa de mil grãos (MMG), a resposta às datas de semeadura foi significativa ($p \leq 0,05$) apenas para Diamond, em todos os experimentos, e para ALHT B4, no Exp.3. O melhor ajuste foi o quadrático, com r^2 variando de 0,35 a 0,79. Para Hyola 61 e ALHT M6, que não apresentaram ajustes significativos, a variabilidade sugere maior suscetibilidade aos fatores do ambiente, especialmente durante o enchimento de grãos. Comin (2017) e Costa et al. (2020) também não encontraram efeito de DS sobre a MMG de alguns híbridos

de canola, e atribuíram este fato às variações das condições meteorológicas ocorridas na fase final do ciclo da cultura. Em híbridos de canola em que a MMG apresentou ajuste significativo, os resultados de Hrchorovitch (2015) e Comin (2017) sugerem efeito quadrático, semelhante ao que foi apresentado nas equações ajustadas por Dahmer et al. (2017a, 2017b). Já Rosa et al. (2020), encontraram redução linear da MMG como função das DS.

As taxas médias de crescimento (TMC) relativas foram maiores do que aquelas da taxa média de decréscimo (TMD) para a massa de mil grãos (MMG) (Tabela 5), variando de 0,46% a 3,13%, comparadas a 0,22% e 0,90%, respectivamente. O ajuste linear da MMG apresentado por Rosa et al. (2020) também indica TMD nessa faixa de amplitude, da ordem de 0,53% a cada dia de atraso após o ponto de máxima resposta (PMR), em 07/04. Iguamente ao observado em outros componentes do rendimento de grãos, sementeiras muito antecipadas em relação ao período de 15 de maio a 10 de junho (PMR) implicaram em maiores limitações de MMG do que atrasos após o PMR. Provavelmente, essa resposta está relacionada a dois fatores atuando conjuntamente com resultados distintos entre sementeiras mais precoces em relação às mais tardias, que são o efeito ambiental e a resposta fisiológica da planta. Nas sementeiras mais tardias, as plantas de canola cumprem rapidamente o seu estado juvenil (King; Kondra, 1986) e imediatamente entram na fase reprodutiva (Figura 2), em consequência das condições de fotoperíodo e de temperatura do ar crescentes (Morrison et al., 1989; Nanda et al., 1996; Miralles et al., 2001; Robertson; Lilley, 2016). Nesta condição, toda a produção de fotoassimilados é direcionada para a formação de siliquas e, principalmente, para o enchimento de grãos, uma vez que o ambiente sinaliza ser mais restritivo com o passar do tempo (Figura 1), forçando o encerramento do ciclo da cultura. O contrário acontece nas sementeiras mais precoces, onde a temperatura média do ar (T_m) apresenta tendência de redução (Figura 1), resultando em menor acúmulo térmico diário, com o passar do tempo, e o fotoperíodo decrescente, abaixo do crítico, retarda o início do florescimento. Esse cenário favorece que a planta direcione a produção de fotoassimilados para as regiões de armazenamento e de formação de folhas, acumulando reservas que serão direcionadas, posteriormente, ao enchimento dos grãos das primeiras siliquas.

A variação da massa de mil grãos (MMG) também pode estar relacionada a fatores como o tamanho das siliquas (Comin, 2017), a duração do perío-

do de enchimento de grãos (Tizott et al., 2015), o espaçamento entre linhas (Bandeira et al., 2013), a adubação nitrogenada (Kaefer et al., 2014), a disponibilidade hídrica (Sanches et al., 2014) e a produção total de biomassa (Wang et al., 2015). No presente estudo, além da base genética, a variação na disponibilidade de fotoassimilados (Habekotte, 1993) e o total de número de grãos por síliqua (NGS) produzidos podem ter contribuído para a variabilidade da MMG. No caso da canola, os grãos nas síliquas estão em posições topológicas distintas dentro da mesma (Fochezatto, 2015). Grãos posicionados mais próximos ao pedúnculo têm maior força de dreno do que grãos no ápice das síliquas, na ausência de fatores de estresse, como, por exemplo, geadas. Essa condição explica porque existe alta variabilidade na MMG da canola.

Rendimento de grãos, índice de colheita e teor de óleo nos grãos

A análise da variância detectou interação significativa entre os tratamentos para rendimento de grãos (REN), índice de colheita (IDC) e teor de óleo nos grãos (TO) em todos os experimentos, exceto para REN no Exp.3. Os valores máximos de REN, IDC e TO foram 2.334,8 kg ha⁻¹, 0,37% e 48,4%, respectivamente, e os mínimos, de 173,7 kg ha⁻¹, 0,04% e 34,2%, respectivamente (Tabela 6). Tanto a variabilidade do REN quanto o próprio REN estão dentro da amplitude esperada para a região, que varia de 1% a 60% e de 586 kg ha⁻¹ a 2.383 kg ha⁻¹, respectivamente (Nied, 2013; Krüger et al., 2011; Kaefer et al., 2014; Dalmago et al., 2018a, 2018b), e que corresponde a cerca de 50% do potencial da cultura, a qual oscila em torno de 5.000 kg ha⁻¹ (Lilley et al., 2015; Gan et al., 2016). Esses resultados evidenciam os efeitos de distintos ambientes de produção da canola, expressos pela combinação entre anos e datas de semeadura.

O rendimento de grãos (REN) entre genótipos foi distinto para cada experimento (Tabela 6). No Exp.1 foram observadas diferenças apenas nas primeiras semeaduras, em que Diamond apresentou os menores valores em relação aos outros genótipos. Porém, no Exp.2, a resposta foi contrária. Diamond teve REN maior do que Hyola 61 e ALHT M6 nas três últimas datas de semeadura (DS). Nos Exp.1 e Exp.2 não foram observadas diferenças no REN entre os genótipos Hyola 61 e ALHT M6. Já no Exp.3, não houve diferença entre Diamond e ALHT B4, com REN médio de 886 kg ha⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 6. Rendimento de grãos (REN), índice de colheita (IDC) e teor de óleo nos grãos (TO) de genótipos de canola, em função das datas de semeadura (DS) distintas nos experimentos Exp.1 (2016), Exp.2 (2017) e Exp.3 (2018).

| Experimento/ Genótipo | | Variável/Data de semeadura | | | | | | |
|---|------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| Rendimento de grãos (kg ha⁻¹) | | | | | | | | |
| Exp.1 | 07/04/2016 | 15/04/2016 | 02/05/2016 | 15/05/2016 | 03/06/2016 | 15/06/2016 | - | Média |
| Diamond | 423,6 b | 907,2 a | 982,2 b | 2153,2 a | 2134,0 a | 2161,6 a | - | 1460,3 |
| Hyola 61 | 645,7 a | 1023,7 a | 1827,7 a | 1991,7 a | 1389,0 a | 1678,6 a | - | 1426,1 |
| ALHT M6 | 1390,1 a | 1703,3 a | 2334,8 a | 2285,3 a | 1919,0 a | 1674,3 a | - | 1884,5 |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 320,5 a | 938,1 a | 1331,2 a | 1105,3 a | - | - | - | 923,8 |
| Hyola 61 | 499,0 a | 625,1 ab | 900,4 b | 487,9 b | - | - | - | 628,1 |
| ALHT M6 | 173,7 a | 245,7 b | 181,9 b | 574,9 b | - | - | - | 294,1 |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 428,3 | 936,5 | 668,2 | 1098,6 | 1031,3 | 1026,3 | 674,9 | 837,7 a |
| ALHT B4 | 619,2 | 1305,4 | 1122,1 | 1098,6 | 1017,6 | 988,7 | 394,3 | 935,1 a |
| Índice de colheita | | | | | | | | |
| Exp.1 | 07/04/2016 | 15/04/2016 | 02/05/2016 | 15/05/2016 | 03/06/2016 | 15/06/2016 | - | Média |
| Diamond | 0,14 a | 0,17 a | 0,10 a | 0,32 a | 0,33 a | 0,25 a | - | 0,22 |
| Hyola 61 | 0,25 a | 0,12 a | 0,19 a | 0,26 a | 0,28 a | 0,25 a | - | 0,23 |
| ALHT M6 | 0,28 a | 0,13 a | 0,13 a | 0,16 a | 0,23 a | 0,19 a | - | 0,19 |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 0,05 a | 0,18 ab | 0,37 a | 0,21 a | - | - | - | 0,20 |
| Hyola 61 | 0,09 a | 0,20 a | 0,15 b | 0,24 a | - | - | - | 0,17 |
| ALHT M6 | 0,04 a | 0,08 b | 0,08 b | 0,24 a | - | - | - | 0,11 |

Continua...

Tabela 6. Continuação.

| Experimento/ Genótipo | Variável/Data de semeadura | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| | Índice de colheita | | | | | | | |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 0,11 a | 0,18 a | 0,12 a | 0,20 a | 0,25 a | 0,34 a | 0,31 a | 0,22 |
| ALHT B4 | 0,07 a | 0,18 a | 0,20 a | 0,17 a | 0,21 a | 0,28 a | 0,12 b | 0,18 |
| Teor de óleo nos grãos (%) | | | | | | | | |
| Exp.1 | 07/04/2016 | 15/04/2016 | 02/05/2016 | 15/05/2016 | 03/06/2016 | 15/06/2016 | - | Média |
| Diamond | 34,2 c | 39,4 b | 41,5 c | 47,2 a | 44,4 b | 45,1 ab | - | 42,0 |
| Hyola 61 | 39,4 b | 40,0 b | 45,1 b | 44,8 a | 42,6 b | 41,7 b | - | 42,3 |
| ALHT M6 | 47,0 a | 48,4 a | 48,2 a | 46,9 a | 45,2 a | 45,8 a | - | 46,9 |
| Exp.2 | 08/04/2017 | 02/05/2017 | 22/05/2017 | 16/06/2017 | - | - | - | Média |
| Diamond | 35,7 c | 40,7 a | 42,6 a | 39,8 a | - | - | - | 39,7 |
| Hyola 61 | 38,1 b | 39,4 a | 40,0 b | 38,2 a | - | - | - | 38,9 |
| ALHT M6 | 41,2 a | 39,9 a | 39,6 b | 40,2 a | - | - | - | 40,2 |
| Exp.3 | 13/04/2018 | 27/04/2018 | 14/05/2018 | 29/05/2018 | 15/06/2018 | 12/07/2018 | 30/07/2018 | Média |
| Diamond | 37,4 a | 38,1 a | 40,8 a | 41,1 a | 41,5 a | 41,3 a | 41,7 a | 40,3 |
| ALHT B4 | 39,2 a | 34,5 b | 36,0 b | 39,7 a | 41,1 a | 41,4 a | 41,9 a | 39,1 |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Respostas contrastantes de rendimento de grãos (REN) entre genótipos de canola, em épocas de semeadura distintas, também foram relatadas por outros estudos, cujas diferenças foram atribuídas, principalmente, a efeitos diversos das condições ambientais durante o ciclo, com impactos diferentes conforme os ambientes (Costa et al., 2020; Bottega et al., 2020; Salbego et al., 2017; Comin, 2017; Rigon et al., 2017; Hrchorovitch, 2015). Nos estudos em que genótipos de canola foram avaliados, em função de épocas de semeadura, Hyola 61, normalmente, apresentou REN significativamente superior ou não diferiu dos demais genótipos, na maioria das datas de semeadura (Costa et al., 2020; Bottega et al., 2020; Salbego et al., 2017; Comin, 2017; Rigon et al., 2017; Hrchorovitch, 2015). Isso sinaliza uma importante característica deste material genético, que é a melhor adaptabilidade/estabilidade, conforme apontado por Lima et al. (2017). No presente trabalho, Hyola 61 foi comparado aos genótipos Diamond e ALHT M6, que foram lançados mais recentemente e não estiveram presentes nos estudos anteriormente citados. Embora as diferenças entre Diamond e Hyola 61 não sejam tão previsíveis, de acordo com Salbego et al. (2017), podendo variar entre eles dependendo do ambiente (Araújo, 2020), Diamond, em muitos casos, tem se mostrado superior a Hyola 61 em estudos de avaliação de genótipos (Araújo, 2020), inclusive para o genótipo ALHT B4 (Araújo, 2020; Gularte et al., 2020). Por outro lado, Comin (2017) observou maior estabilidade produtiva nos genótipos ALHT M6 e ALHT B4 em comparação a Hyola 61, sinalizando que a constância de oferta de material genético é importante para a expansão da cultura da canola (Gularte et al., 2020) não apenas no Sul do Brasil (Laviola et al., 2019; Araújo, 2020), uma vez que o efeito do ambiente em canola supera o efeito da base genética do material (MarjanovićJeromela et al., 2011; Zali et al., 2016; Agahi et al., 2020).

Em todos os experimentos, o rendimento de grãos (REN) foi mais elevado nas semeaduras de meados de maio a início de junho, comparado com aquelas mais precoces ou mais tardias. Devido a isso, prevaleceu o ajuste quadrático ($p < 0,05$) para o REN na maioria dos genótipos e para a média dos mesmos no Exp.3, conforme foi observado também por Melgarejo et al. (2014), Costa et al. (2020) e Rosa et al. (2020). Exceção ocorreu com Diamond no Exp.1, em que o ajuste linear foi superior ao quadrático, indicando aumento de REN com o atraso na semeadura. Independentemente do tipo de ajuste, o ponto de máxima resposta (PMR) do REN variou entre 14 de maio e 16 de junho (Tabela 6), datas um pouco mais avançadas do que foi observado

para a máxima massa da matéria seca total (MST) (Tabela 3), que tem elevada associação com o REN (Kirkegaard et al., 2016; Dalmago et al., 2018a, 2018b). Resultados de Rosa et al. (2020) demonstraram que o PMR para a condição do estudo ocorreu durante o mês de abril, ou seja, antes daqueles observados no presente trabalho. Segundo Kirkegaard et al. (2016), o melhor período de semeadura de canola é aquele que busca o equilíbrio entre o risco de geada durante o florescimento das semeaduras mais precoces e o risco de calor e estresse hídrico dos genótipos que florescem mais tarde.

A taxa média de crescimento (TMC) diária variou de 1,73% a 6,05%, o que indica incrementos no rendimento de grãos (REN) da canola em semeaduras próximas ao ponto de máxima resposta (PMR) em comparação às mais precoces, conforme observado para outras variáveis. A taxa média de decréscimo (TMD) teve variação menor, oscilando de 0,56% a 0,96%, de acordo com o genótipo e/ou experimento (Tabela 7). Resultados semelhantes foram observados por Butkeviciėnė et al. (2021) na Lituânia, com genótipos de primavera, em que o decréscimo do REN da canola após a melhor data de semeadura foi de 1,7% a cada dia de atraso na semeadura. Já Bottega et al. (2020) encontraram TMD de 0,63% ao dia, após PMR ocorrida em 21/04.

Conforme observado para outras variáveis, os resultados de rendimento de grãos (REN) mostraram que o potencial produtivo pode ser limitado mais fortemente pela antecipação da semeadura do que pelo atraso após o ponto de máxima resposta (PMR). Entretanto, essa resposta deve ser considerada com cuidado, porque o rendimento de grãos (REN) representa apenas grãos colhidos e não potencial produtivo da canola, que nem sempre se equivalem em função da alta deiscência natural das siliquis e da debulha na colheita (Pizolotto et al., 2018; Madeira et al., 2020). Aceitando a massa da matéria seca de folhas (MSF) e/ou a massa da matéria seca total (MST) como indicadores de potencial produtivo, a máxima produtividade biológica ocorreu nas semeaduras de início de abril até meados de maio (Tabela 3), enquanto que o máximo REN colhido foi observado entre meados de maio e meados de junho. Portanto, esses resultados sugerem que pode ter havido perda de parte do potencial produtivo desenvolvido pela canola, ou seja, parte dos grãos pode não ter sido colhida, em função da deiscência natural das siliquis (Madeira et al., 2020) ou da debulha das mesmas durante a operação de colheita (Pizolotto et al., 2018; Madeira et al., 2020), ou, ainda, do abortamento de siliquis causado por geada (Kovaleski, 2019). O dano causado pela gea-

da favorece a emissão de novos ramos e/ou de novas camadas de flores nos ramos existentes, ampliando o período de floração e atrasando a maturação fisiológica das sílikas mais novas, enquanto aquelas que foram emitidas por primeiro atingem a maturação fisiológica antecipadamente ao ponto de colheita da planta, causando a desuniformidade na maturação (Madeira et al., 2020). No caso dos Exp.1 e Exp.2, a deficiência hídrica ocorrida durante a floração e o enchimento de grãos também pode ter contribuído para a variabilidade observada no REN.

Decréscimos no rendimento de grãos (REN) da canola com o atraso na data de semeadura são apontados por diversos trabalhos na literatura (Comin, 2017; Rigon et al., 2017; Confortin et al., 2019; Bottega et al., 2020; Costa et al., 2020; Rosa et al., 2020). Os resultados destes trabalhos também sinalizam que as melhores DS, especialmente para a região subtropical do Brasil, se concentram nos meses de abril e maio. Estes meses também são apontados como o melhor período de semeadura de canola de primavera na Austrália (Kirkegaard et al., 2016), como consequência, principalmente, da variabilidade das condições meteorológicas e ambientais, uma vez que têm maior importância na definição do REN da canola do que os genótipos também naquele país (Agahi et al., 2020). De acordo com MarjanovićJeromela et al. (2011) e Zali et al. (2016), as condições do ambiente explicaram 72,49% e 79,80% do REN da canola, enquanto que 19,80% e 13,83% foram devidos à interação genótipo x ambiente, e apenas 7,71% e 6,19% corresponderam ao efeito do genótipo, respectivamente.

O índice de colheita (IDC) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre genótipos nos Exp.2 e Exp.3, nas datas de semeadura (DS) centrais e final, respectivamente, do período experimental de cada experimento (Tabela 6). Nestas datas, Diamond apresentou IDC maior que Hyola 61, ALHT M6 e ALHT B4, exceto na data de 02/05/17 do Exp.2, em que não diferiu de Hyola 61. O IDC mínimo foi de 0,04 e o máximo foi de 0,37. Cerca de 50% dos IDC ficaram dentro da faixa considerada normal para a canola, que, de acordo com Fan et al. (2017), varia de 0,20 a 0,40. O IDC mínimo (0,04), ocorrido na semeadura de 08/04/17 do Exp.2, foi em consequência do baixo rendimento de grãos (REN) (Tabela 6), já que a massa da matéria seca total (MST) (Tabela 2) foi a mais elevada de todas as DS do Exp.2. O baixo REN nesta data foi consequência das geadas ocorridas nos dias 18/07/17 e 19/07/17, sendo as temperaturas mínimas do ar (T_n) de $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e de $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Nestes dias, o genótipo Diamond encontrava-se no início

do enchimento de grãos, Hyola 61 em pleno florescimento e ALHT M6 em botões florais, estádios altamente sensíveis à geada (Kovaleski et al., 2019), que resultam em impactos negativos no REN (Kovaleski, 2019). O IDC representa a razão entre REN e MST, correspondendo a um índice de eficiência e não a um indicador de potencial produtivo. Por isso, varia em função da alteração de uma e/ou outra variável.

A data de semeadura (DS) afetou o índice de colheita (IDC) em todos os experimentos, exceto para Hyola 61 no Exp.1, em que o ajuste não foi significativo ($p \leq 0,05$). Ao contrário do rendimento de grãos (REN), os dados de IDC ajustaram-se ao modelo linear em, praticamente, todos os casos, menos para ALHT B4 do Exp.3, cujo melhor modelo foi o quadrático (Tabela 7). Igualmente ao REN, o r^2 foi mediano, característica também verificada para a massa da matéria seca total (MST) (Tabela 3), o que demonstra alta variabilidade destas variáveis, provavelmente devido ao forte efeito do ambiente sobre as mesmas (Escobar et al., 2011; Marjanović-Jeromela et al., 2011; Zhang et al., 2013).

O índice de colheita (IDC) apresentou a mesma tendência do rendimento de grãos (REN), com valores mais elevados concentrados nas semeaduras de meados de maio a meados de junho. No Exp.3, que teve mais datas de semeadura (DS), verificou-se que o IDC continuou alto mesmo nas semeaduras de julho, especialmente para Diamond (Tabela 6). Essa tendência também foi observada no ajuste do modelo linear, em que a inclinação da reta foi positiva, indicando aumento do IDC com o atraso da DS, condição contrária ao que aconteceu com a maioria das variáveis avaliadas neste estudo e que apresentaram ajuste linear. Em função disso, os pontos de máxima resposta (PMR) concentraram-se em meados de junho, para a maioria dos casos. Para o genótipo Diamond, no Exp.3, o maior IDC (PMR) aconteceu no final de julho, provavelmente em função de mais DS neste experimento, em relação aos Exp.1 e Exp.2.

Como prevaleceu o ajuste linear para o índice de colheita (IDC), com inclinação positiva, foi calculada apenas a taxa média de crescimento (TMC). A exceção foi para o genótipo ALHT B4 do Exp.3, para o qual foi possível calcular também a taxa média de decréscimo (TMD), devido ao ajuste quadrático. A TMC variou entre 0,98% e 15,05% para cada dia de atraso na semeadura, situando-se entre uma das maiores variabilidades encontradas neste trabalho. A TMD do genótipo ALHT B4 foi de 0,60%, portanto inferior à TMC do mesmo (Tabela 7), semelhante ao que ocorreu com outras variáveis neste estudo.

Tabela 7. Taxa média de variação crescente (TMC) e decrescente (TMD) das variáveis Rendimento de grãos, índice de colheita e teor de óleo nos grãos de genótipos de canola, antes e após a data de ocorrência dos valores máximos no ponto de máxima resposta (PMR) das mesmas conforme o dia da semeadura, com modelo ajustado aos dados, significância (p-valor), coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão residual (RSE), nos experimentos Exp.1 (2016), Exp.2 (2017) e Exp.3 (2018).

| Genótipo | Experimento | Tipo e estatísticas do modelo | | | | TMC ⁽¹⁾ | PMR (dia) | | TMD ⁽¹⁾ |
|---|-------------|-------------------------------|----------|-------|--------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|
| | | Ajuste | p-valor | r^2 | RSE | | DDA ⁽²⁾ | Data | |
| Rendimento de grãos (kg ha⁻¹) | | | | | | | | | |
| Diamond | Exp.1 | Linear | < 0,0001 | 0,66 | 477,90 | 26,613 (4,64%) | 167 | 15/jun | - |
| Hyola 61 | | Quadrático | 0,0007 | 0,45 | 456,20 | 28,387 (4,23%) | 141 | 20/maio | -16,159 (0,85%) |
| ALHT M6 | | Quadrático | 0,0439 | 0,19 | 598,50 | 24,983 (1,79%) | 135 | 14/maio | -22,296 (0,96%) |
| Diamond | Exp.2 | Quadrático | 0,0107 | 0,52 | 346,70 | 18,492 (6,05%) | 149 | 29/maio | -6,934 (0,56%) |
| Hyola 61 | | Linear | 0,7312 | - | - | -- | - | - | - |
| ALHT M6 | | Quadrático | 0,0001 | 0,76 | 89,97 | 7,255 (4,42%) | 167 | 16/jun | - |
| Média ⁽³⁾ | Exp.3 | Quadrático | < 0,0001 | 0,57 | 169,80 | 9,721 (1,73%) | 158 | 07/jun | -9,203 (0,84%) |
| Índice de colheita | | | | | | | | | |
| Diamond | Exp.1 | Linear | 0,0017 | 0,38 | 0,06 | 0,002 (1,55%) | 167 | 15/jun | - |
| Hyola 61 | | Linear | 0,1625 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT M6 | | Linear | 0,0215 | 0,21 | 0,05 | 0,001 (0,98%) | 167 | 15/jun | - |
| Diamond | Exp.2 | Linear | < 0,0001 | 0,91 | 0,04 | 0,007 (15,05%) | 167 | 16/jun | - |
| Hyola 61 | | Linear | 0,0086 | 0,47 | 0,05 | 0,002 (1,98%) | 167 | 16/jun | - |
| ALHT M6 | | Linear | 0,0004 | 0,64 | 0,04 | 0,002 (8,31%) | 167 | 16/jun | - |
| Diamond | Exp.3 | Linear | < 0,0001 | 0,68 | 0,05 | 0,002 (1,91%) | 211 | 30/jul | - |
| ALHT B4 | | Quadrático | 0,0011 | 0,39 | 0,06 | 0,002 (2,45%) | 169 | 18/jun | -0,001 (0,60%) |

Continua...

Tabela 7. Continuação.

| Genótipo | Experimento | Tipo e estatísticas do modelo | | | | TMC ⁽¹⁾ | PMR (dia) | | TMD ⁽¹⁾ |
|-----------------------------------|-------------|-------------------------------|----------|----------------|------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|
| | | Ajuste | p-valor | r ² | RSE | | DDA ⁽²⁾ | Data | |
| Teor de óleo nos grãos (%) | | | | | | | | | |
| Diamond | | Quadrático | < 0,0001 | 0,89 | 1,47 | 0,225 (0,65%) | 148 | 27/maio | -0,092 (0,20%) |
| Hyola 61 | Exp.1 | Quadrático | < 0,0001 | 0,58 | 1,70 | 0,149 (0,38%) | 137 | 16/maio | -0,120 (0,27%) |
| ALHT M6 | | Linear | 0,0015 | 0,36 | 1,24 | - | 98 | 07/abr | -0,039 (0,08%) |
| Diamond | | Quadrático | 0,0002 | 0,78 | 1,16 | 0,131 (0,36%) | 141 | 21/maio | -0,081 (0,19%) |
| Hyola 61 | Exp.2 | Quadrático | 0,2066 | - | - | - | - | - | - |
| ALHT M6 | | Linear | 0,0002 | 0,69 | 0,46 | - | 98 | 08/abr | -0,026 (0,06%) |
| Diamond | Exp.3 | Quadrático | < 0,0001 | 0,58 | 1,35 | 0,057 (0,15%) | 184 | 03/jul | -0,018 (0,04%) |
| ALHT B4 | | Linear | < 0,0001 | 0,72 | 1,64 | 0,081 (0,80%) | 211 | 30/jul | - |

⁽¹⁾ TMC e TMD assumem as unidades das variáveis; entre parênteses, é apresentada a variação percentual das respectivas taxas.

⁽²⁾ DDA: dia do ano.

⁽³⁾ A média na coluna do genótipo significa a média dos genótipos, em função da análise de variância;

Para o teor de óleo nos grãos (TO), também foram encontradas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre genótipos em todos os experimentos (Tabela 6). ALHT M6, utilizado nos Exp.1 e Exp.2, apresentou os maiores TO ou não diferiu dos demais genótipos em apenas uma data de semeadura (DS), na qual o TO de Diamond foi o maior de todos. Nos Exp.1 e Exp.2, em apenas três DS houve diferença entre todos os genótipos. Estas datas concentraram-se entre início de abril e início de maio. Nas demais datas em que o ALHT B4 se destacou com maior TO, não houve diferença entre Diamond e Hyola 61. Já no Exp.3, o genótipo ALHT B4, de genética semelhante ao ALHT M6 (Comin, 2017), não repetiu o mesmo desempenho. Nas duas DS em que houve diferença, Diamond apresentou TO maior do que o ALHT B4 (Tabela 6). Considerando que não houve diferenças consistentes entre genótipos no TO e que aquelas encontradas se concentraram nas primeiras DS, é possível inferir que o efeito ambiental preponderou sobre o efeito genético dos genótipos estudados (MarjanovićJeromela et al., 2011; Zali et al., 2016; Kirkegaard et al., 2016). Rosa et al. (2020) não encontraram diferenças no TO entre genótipos.

A amplitude de variação do teor de óleo nos grãos (TO) ocorreu entre um mínimo de 34,2% e um máximo de 48,4%, com média de 41,2%, valor este superior ao indicado como referência para a canola produzida no Brasil (Tomm et al., 2009). O valor médio e os limites encontrados estão dentro da faixa considerada normal para cultura no mundo, que é entre 40% e 45% (El-Shafey; Abdelhalim, 2020).

No Paraná, Lima et al. (2017) e Costa et al. (2020) também não encontraram diferenças no teor de óleo nos grãos (TO) entre genótipos, e os valores variaram entre 31,3% e 40,0%. Porém, na mesma região, Estevez (2012), Hrchorovitch (2015) e Righi et al. (2017) encontraram diferença no TO entre genótipos, com valores médios entre 26,0% e 42,6% e extremos de até 45% (Estevez, 2012). No Rio Grande do Sul, Confortin et al. (2019) identificaram diferenças no TO de genótipos de canola em diferentes datas de semeadura, entre os quais estava presente Hyola 61, mas a amplitude de variação do TO ficou entre 31,4% e 34,7%. Conforme pôde ser constatado, a variação no TO em genótipos de canola é alta e independe do material genético utilizado.

O efeito de data de semeadura foi significativo ($p \leq 0,05$) para todos os genótipos e em todos os experimentos, exceto para Hyola 61 no Exp.2. Para

Hyola 61 e Diamond, o teor de óleo nos grãos (TO) apresentou resposta quadrática às DS, semelhante ao que foi encontrado por Rosa et al. (2020), enquanto que, para ALHT M6 e ALHT B4, o efeito foi linear (Tabela 7). Os r^2 variaram de 0,36 a 0,89, indicando grande variabilidade no TO na interação genótipo x ambiente, conforme anteriormente citado. Para o ALHT M6, o PMR ocorreu em início de abril (07/04 e 08/04), indicando decréscimo no TO com o atraso na DS entre 0,06% e 0,08% ao dia, conforme aponta a taxa média de decréscimo (TMD). ALHT B4 apresentou resposta contrária a ALHT M6, ou seja, houve acréscimo no TO com o atraso da semeadura, em cerca de 0,80% ao dia, de acordo com a taxa média de crescimento (TMC). O ponto de máxima resposta (PMR) deste genótipo foi 30/07, que correspondeu à última DS. Essa resposta, completamente inversa, entre genótipos de mesma base genética (Comin, 2017) não era esperada e pode ser atribuída às distintas condições ambientais entre os experimentos. Ressalta-se que o genótipo ALHT B4 foi utilizado apenas no Exp.3.

Para os genótipos Diamond e Hyola 61, com ajuste quadrático, a taxa média de crescimento (TMC) variou de 0,15% a 0,60% ao dia, em relação ao ponto de máxima resposta (PMR), calculado entre meados de maio e início de julho. Os mesmos genótipos apresentaram taxa média de decréscimo (TMD) de 0,04% a 0,27% ao dia, valores menores do que a TMC se comparados àqueles de outras variáveis, como o índice de colheita (IDC) e o rendimento de grãos (REN) (Tabela 7), ou ainda àqueles dos componentes do rendimento de grãos (Tabela 5) ou de variáveis do crescimento de plantas (Tabela 3). Isso sugere que semeaduras muito antecipadas em relação ao PMR podem comprometer mais o teor de óleo nos grãos (TO) do que semeaduras realizadas após o PMR, semelhante ao que foi encontrado para outras variáveis neste trabalho. Desta forma, para o TO, as melhores datas de semeadura foram aquelas mais tardias, inclusive em relação ao REN. Os resultados de Rosa et al. (2020) sugerem o contrário, ou seja, o ajuste quadrático do TO descreveu uma parábola na qual o PMR ocorreu em 07/04, com TMD de cerca de 0,31%, valor próximo ao encontrado no presente estudo. Porém, em se tratando de produção de óleo por área, o equilíbrio entre a melhor DS para REN e TO é o desejável para buscar rentabilidade.

Os resultados de teor de óleo nos grãos (TO), em função da DS, corroboram aqueles encontrados na Austrália por Kirkegaard et al. (2016), pois os autores verificaram redução do TO com semeaduras após o início a meados

de abril, indicando efeito linear negativo. No Paraná, Melgarejo et al. (2014) também observaram redução quadrática do TO entre as semeaduras de 24/03 a 16/06 e associaram essa resposta ao aumento da temperatura média do ar durante o ciclo da cultura.

A resposta em teor de óleo nos grãos (TO) da canola em função da DS está relacionada a diversos fatores ambientais, destacando-se precipitação pluvial (P) e temperatura média do ar (Tm) que atuam isoladamente ou em conjunto e preponderam sobre o efeito genético (Si et al., 2003). Deficiência hídrica (Dalmago et al., 2022) e Tm elevada (Righi et al., 2017) têm efeito negativo no TO de canola, condições encontradas, principalmente nas semeaduras mais tardias (Figura 1). No caso da Tm, esse efeito está relacionado ao aumento do nitrogênio disponível na célula, o qual compete por esqueletos de carbono necessários para produção do óleo (Singer et al., 2016). Já o efeito do déficit hídrico sobre o TO da canola parece ser mais complexo, afetando diferentes processos e rotas metabólicas, desencadeando respostas diversas das plantas, como o encerramento precoce do ciclo, comprometendo o enchimento de grãos (Singer et al., 2016). De acordo com Champolivier e Merrien (1996) e Sinaki et al. (2007), o efeito é maior quando as condições ambientais limitantes ocorrem durante o florescimento da canola, podendo definir o TO final da cultura. A temperatura do ar e o déficit hídrico ou disponibilidade de água no solo são os fatores ambientais mais importantes relacionados ao TO (Si et al., 2003; Gunasekera et al., 2006).

Análise integrada

A literatura referente à fenologia da canola mostra que essa espécie é sensível à variação do fotoperíodo e responde ao acúmulo térmico durante os subperíodos iniciais do ciclo da cultura de maneira isolada ou na forma de interação (Morrison et al., 1989; Nanda et al., 1996; Miralles et al., 2001; Robertson; Lilley, 2016). Para a maioria dos ambientes onde a canola é cultivada no mundo durante a primavera/verão, essa relação funcional é perfeitamente estabelecida e sincronizada na planta, uma vez que as variáveis fotoperíodo e temperatura do ar apresentam a mesma tendência de evolução temporal. Nestes ambientes, tanto o acúmulo térmico quanto o fotoperíodo diário aumentam da semeadura à colheita, e isso favorece a fisiologia da

planta, especialmente a produção de fotoassimilados e a translocação dos mesmos para formação de siliquis e grãos.

Nas condições de cultivo do Sul do Brasil, os genótipos utilizados também são responsivos ao fotoperíodo e ao acúmulo térmico. No entanto, como a cultura é semeada durante o outono e no começo do inverno, o incremento térmico no início do ciclo ocorre em taxas cada vez menores, à medida em que a data de semeadura se aproxima do inverno climatológico. Porém, nesta condição, o fotoperíodo encontra-se em fase decrescente, a qual vai até o solstício de inverno. Por isso, semeaduras muito precoces, nos ambientes do Sul do Brasil, fazem com que as plantas alcancem o acúmulo térmico necessário para iniciar o florescimento em um momento em que o fotoperíodo se encontra abaixo do crítico e, portanto, as plantas não florescem. A sinalização fotoperiódica para desencadear o processo de florescimento só vai acontecer após o solstício de inverno, na fase crescente do fotoperíodo, e somente após alcançar o valor crítico. Isso explica porque plantas de canola com diferenças na semeadura de 69 dias (Exp.1 e Exp.2) ou de 108 dias (Exp.3) (primeira e última semeadura em cada caso) completaram o ciclo com diferenças de apenas 23 dias, em média (Figura 1). Esse resultado mostra que, nas condições de cultivo do Sul do Brasil, a canola, de fato, modula a duração dos subperíodos fenológicos intermediários de acordo com as condições ambientais, especialmente pela relação entre acúmulo térmico e sinalização fotoperiódica.

Em ambientes que proporcionam esses ajustes internos no ciclo, é esperado que haja variabilidade na construção do potencial produtivo e na expressão do mesmo pela canola, especialmente em locais de alta variabilidade climática/meteorológica, como a que ocorre no Sul do Brasil. Essa relação de construção de potencial produtivo pela canola e expressão do mesmo em ambiente de alta variabilidade pode ser demonstrada pelos principais resultados dos Exp.1, Exp.2 e Exp.3, esquematizados na Figura 3. De maneira geral, o potencial produtivo, representado pela estatura de planta, massa da matéria seca de folha e massa da matéria seca total, diminuiu a partir de semeaduras de início de abril em relação àquelas de final de julho. Menor produção biológica, seja ela até o florescimento (massa da matéria seca de folhas) ou final do ciclo (massa da matéria seca total), representa menor potencial de produção de grãos, uma vez que o rendimento de grãos depende da produção biológica (Dalmago et al., 2018a, 2018b). Por outro lado, o maior

rendimento de grãos, via de regra, foi alcançado em sementeiras realizadas entre metade de maio e metade de junho, indicando ser esse o período mais propício à sementeira de canola para obter maiores rendimentos de grãos no Sul do Brasil. Ainda, verificou-se que o índice de colheita, que é a razão entre o rendimento de grãos e a matéria seca total, muito utilizado como indicador de avaliação de resposta produtiva, aponta para o sentido contrário, ou seja, os maiores valores concentraram-se nas sementeiras mais tardias, chegando até ao final de julho.

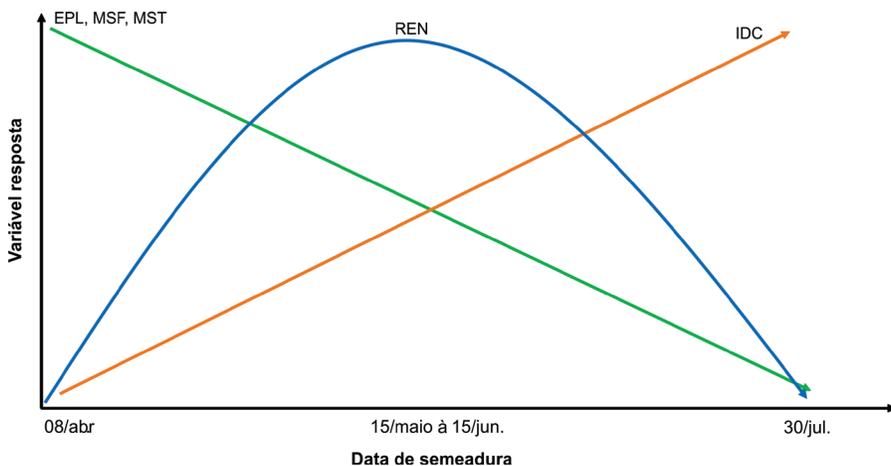


Figura 3. Representação esquemática da síntese dos principais resultados de rendimento de grãos (REN), estatura de plantas (EPL), matéria seca no florescimento (MSF), matéria seca total (MST) e índice de colheita (IDC) de canola, cultivada em datas de sementeira realizadas entre 08/04 e 30/07, durante os anos de 2016, 2017 e 2018, em Coxilha, RS.

O deslocamento temporal entre esses três principais resultados (produção biológica, rendimento de grãos e índice de colheita) é explicado por diferentes fatores relacionados às condições ambientais e de modulação pela planta, que afetam a produção e a translocação de fotoassimilados. O deslocamento do rendimento máximo de grãos, especialmente em relação à massa da matéria seca de folhas, que indica potencial de produção de síliquis e grãos, foi causado, provavelmente, pela perda de rendimento de grãos das primeiras síliquis, localizadas na base da inflorescência principal, e dos primeiros ramos primários. A perda destas síliquis, conforme já explicado, pode acontecer por diferentes motivos. No caso deste trabalho, a causa mais pro-

vável foi o abortamento direto causado por geadas que ocorreram quando as temperaturas mínimas extremas do ar junto à siliqua causaram a morte dos embriões, e a siliqua foi, naturalmente, destacada da planta devido à perda do efeito hormonal dos embriões sobre a fixação da mesma no ramo (Kovaleski, 2019; Kovaleski et al., 2019). Isso ocorre naturalmente quando todos os embriões morrem, o que nem sempre acontece. O efeito da geada sobre a siliqua pode causar a morte de apenas alguns embriões, normalmente aqueles com maior teor de água e menor concentração de solutos internos. Nestas condições, os embriões restantes, não afetados pela geada, conseguem evitar o abortamento da siliqua por ação hormonal, mas o potencial de produção é afetado (Fochesatto, 2015) e o rendimento de grãos será reduzido.

O efeito de geadas durante a floração causa abortamento de estruturas reprodutivas em diferentes estádios de desenvolvimento e inclusive pode causar a morte completa da inflorescência (Kovaleski, 2019; Kovaleski et al., 2019). Nestas situações, a canola responde com a emissão de novos ramos e novas flores, ampliando o período de floração. Na maioria das vezes, a consequência da ampliação do subperíodo de floração aparece no final do ciclo, representada pela desuniformidade na maturação das síliquas, favorecendo a deiscência natural e a debulha por ocasião da colheita, o que reduz o rendimento de grãos, ou seja, parte do rendimento de grãos pode não ser colhida. Essa hipótese explica grande parte do deslocamento entre o potencial de produção e o rendimento de grãos colhidos.

Quanto ao deslocamento dos valores máximos de índice de colheitas para as semeaduras mais tardias, inclusive aquelas de final de julho, há duas razões principais. A primeira foi consequência da falta de sincronia entre potencial de produção e rendimento de grãos, em função do não aproveitamento das primeiras síliquas. Com o abortamento de síliquas, as plantas, estrategicamente, direcionam fotoassimilados para as síliquas fixadas, aumentando o número de grãos por siliqua e, em menor escala, a massa de mil grãos. Ou seja, grande parte da produção biológica realizada após o início do florescimento foi direcionada para os grãos e não para a formação de novas estruturas produtivas e/ou ramos (Fochesatto, 2015). Uma segunda hipótese é o posicionamento do subperíodo do início da floração à maturação fisiológica de semeaduras mais tardias, o qual ocorreu em um momento de aumento da temperatura média do ar, o que acelerou o crescimento da planta e fez

com que os fotoassimilados fossem direcionados para as siliquas e grãos já fixados, em detrimento de investimento em novas estruturas de ramos e siliquas. Com isso, a razão entre o rendimento de grãos e a massa da matéria seca total favoreceu o rendimento de grãos nas semeaduras mais tardias, elevando os valores do índice de colheita.

O desafio de definir o melhor período de semeadura da canola sinalizado por Kirkegaard et al. (2016), que consiste na busca do equilíbrio entre o risco de geada, durante o florescimento das semeaduras mais precoces, e o risco de calor e estresse hídrico dos genótipos que florescem mais tarde, não é uma tarefa fácil para ambientes com alta variabilidade meteorológica/ambiental, como é o caso do Rio Grande do Sul. O cálculo do ponto de máxima resposta, por grupo de variáveis (Tabelas 1, 3, 5 e 7), assumido aqui como índice de escolha da melhor data de semeadura, possibilita uma amostra do tamanho do desafio. Pela média do ponto de máxima resposta das variáveis fenológicas (Tabela 1) e de crescimento de plantas (Tabela 3), a melhor data de semeadura seria 20/04. Pelo ponto de máxima resposta médio dos componentes do rendimento de grãos, a data ideal de semeadura seria deslocada para 12/05. Assumindo o rendimento de grãos e o teor de óleo nos grãos como variáveis definidoras do ponto de máxima resposta médio, estas variáveis indicariam 29/05 como a melhor data de semeadura de canola. Porém, se o ponto médio de máxima resposta do índice de colheita for assumido como variável indicadora, a melhor data de semeadura seria deslocada para 23/06, ou seja, uma diferença de 61 dias entre o primeiro e o último critério. Apesar da dificuldade envolvida, a escolha da melhor data de semeadura deve ser feita sempre equacionando a necessidade de cada material genético com a melhor oferta de recursos do ambiente, em escala local.

Conclusões

A data de semeadura de canola afeta mais intensamente fenologia, características agrônômicas, rendimento de grãos e seus componentes e teor de óleo no grão, e é fator mais importante que a base genética do material utilizado.

As diferenças significativas entre genótipos de canola são circunstanciais.

O ciclo e os subperíodos fenológicos de genótipos de canola apresentam redução linear e progressiva com o atraso da data de semeadura, com referência ao início de abril.

As variáveis de crescimento de planta em canola aumentam com o avanço da data de semeadura, independente do genótipo utilizado.

A data de semeadura tem efeito predominantemente quadrático, com ponto de máxima resposta sobre os componentes do rendimento de grãos da canola.

O efeito da data de semeadura de canola sobre rendimento de grãos e teor de óleo nos grãos é preponderantemente quadrático, com ponto de máxima resposta, enquanto que, para índice de colheita, é prevalentemente linear e crescente.

Há deslocamento temporal, em função da data de semeadura, do ponto médio de máxima resposta, de acordo com grupos de variáveis, na ordem: variáveis fenológicas e de crescimento de plantas; componentes do rendimento; rendimento e teor de óleo nos grãos; e índice de colheita.

Antecipar muito a semeadura da canola, em relação ao ponto de máxima resposta, representa maior perda do que atrasar a semeadura após o mesmo ponto de máxima resposta para as variáveis com ajuste quadrático.

Agradecimentos

Os autores agradecem, em especial, aos empregados da Embrapa Trigo Elisson Stéphânio Savi Pauletti e Cristian Maicol Plentz pelo auxílio na condução dos experimentos.

Referências

AGAHI, K.; AHMADI, J.; OGHAN, H. A.; FOTOKIAN, M. H.; ORANG, S. F. Analysis of genotype x environment interaction for seed yield in spring oilseed rape using the AMMI model. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 1, e26502012, Jan./Mar. 2020.

ALMEIDA, J. L. de; FOSTIM, M. L.; TOMM, G. O. Canola seeding time as a strategy to stabilize grain yield in subtropical Brazil. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CANOLA, 1., 2014, Passo Fundo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2014. 5 p. Trabalho 6.

- 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, n. 6, p. 711-728, Dec. 2013.
- ARAÚJO, L. N. de. **Desempenho de genótipos de canola no núcleo do cerrado**. 2020. 51 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Brasília, Brasília.
- ASSIS, R. M.; SILVA, F. A. N.; CARNEIRO, L. C.; SILVA, G. Z. da; CRUZ, S. C. S.; MACHADO, C. G. Canola agronomic performance in three sowing dates in Jataí-GO. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 1, p. 36-47, Nov./Dec. 2020.
- BANDEIRA, T. P.; CHAVARRIA, G.; TOMM, G. O. Desempenho agrônômico de canola em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 10, p. 1332-1341, out. 2013.
- BARNI, N. A.; BERGAMASCHI, H.; WESTPHALEN, S. L.; GOMES, J. E. S.; GONÇALVES, J. C. Resposta da colza (*Brassica napus* L. var. oleifera Metzg.) a épocas de semeadura na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sulriograndense**, v. 20, p. 75-100, 1984.
- BARNI, N. A.; HILGERT, E. R.; ZANOTELLI, V.; VARGAS, J. N. R. de; TEDESCO, A.; BOHN, D.; GOMES, J. E. da S.; GONÇALVES, J. C. Introdução e avaliação de cultivares de colza (*Brassica napus* L. var. oleifera Metzg.) no Estado do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sulriograndense**, v. 21, n. 1, p. 21-54, 1985.
- BATTISTI, R.; PILAU, F. G.; SCHWERZ, L.; SOMAVILLA, L.; TOMM, G. O. Dinâmica floral e abortamento de flores em híbridos de canola e mostarda castanha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 2, p. 174-181, fev. 2013.
- BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G. R. da; SANTOS, M. L. V. dos; FARIAS, J. R. B.; BARNI, N. A. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1992. 125 p.
- BOTTEGA, E. L.; OLIVEIRA, Z. B. de; KNIES, A. E.; SILVA, C. M. da; SOUZA, I. J. de; RODRIGUES, L. R.; LINK, T. T. Desempenho produtivo de genótipos de canola na região Central do Rio Grande do Sul. **Cultura Agrônômica**, v. 29, n. 1, p. 1-10, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 497/2021, de 9 de novembro de 2021. Aprova o zoneamento agrícola de risco climático para a cultura de canola, em sistema de cultivo de sequeiro, no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial da União**, 11 nov. 2021. Seção 1, p. 60-71.
- BUTKEVIČIENĖ, L. M.; KRIAUCIŪNIENĖ, Z.; PUPALIENĖ, R.; VELIČKA, R.; KOSTECKIENĖ, S.; KOSTECKAS, R.; KLIMAS, E. Influence of sowing time on yield and yield components of spring rapessed in Lithuania. **Agronomy**, v. 11, n. 11, 2170, Oct. 2021.
- CARAFFA, M.; RIFFEL, C. T.; DAHMER, N.; SCARANTTI, V.; CARNEIRO, E. A.; WITCZAK, G. P.; ZAWACKI, M. E. Características agrônômicas e rendimento de grãos de genótipos de brassicas em Três de Maio, RS, 2016. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CANOLA, 1., 2017, Passo Fundo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 291-296.
- CHAMPOLIVIER, L.; MERRIEN, A. Effects of water stress applied at different growth stages to *Brassica napus* L. var. oleifera on yield, yield components and seed quality. **European Journal of Agronomy**, v. 5, n. 3-4, p. 153-160, Dec. 1996.
- COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; ALMEIDA, M. L. de; SANGOI, L.; ENDER, M.; MEROTTO JÚNIOR, A. Análise de trilha dos componentes do rendimento de grãos de genótipos de canola. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1421-1428, out. 2004.

COMIN, G. R. **Época de semeadura, características morfológicas e componentes produtivos de híbridos de canola (*Brassica napus* L.)**. 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava.

COMIN, G. R.; KAWAKAMI, J.; ALMEIDA, J. L. de; FOSTIM, M. L.; GUERRA, I. E. Híbridos e épocas de semeadura afetam a produtividade de canola (*Brassica napus* L.)? In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA; SEMANA OFICIAL DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 73., 2016, Foz de Iguaçu. **A engenharia a favor do Brasil: mudanças e oportunidades: anais**. Foz de Iguaçu: Confea: Crea-PR, 2016.

CONAB. **Séries históricas das safras**: grãos: canola. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=10>. Acesso em: 27 abr. 2022.

CONFORTIN, T. C.; TODERO, I.; LUFT, L.; UGALDE, G. A.; MAZUTTI, M. A.; OLIVEIRA, Z. B.; BOTTEGA, E. L.; KNIES, A. E.; ZABOT, G. L.; TRES, M. V. Oil yields, protein contents, and cost of manufacturing of oil obtained from different hybrids and sowings dates of canola. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 2, 102972, Apr. 2019.

COSTA, A. C. T. da; ROSSOL, C. D.; DUARTE JÚNIOR, J. B.; TOMM, G. O. Comportamento de dois híbridos de canola cultivados em diferentes épocas na região Oeste do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72498-72510, Sept. 2020.

DAHMER, N.; CARAFFA, M.; RIFFEL, C. T.; TOMM, G. O.; CARNEIRO, E. A. Efeito de épocas de semeadura nas características fenométricas de híbridos de canola, safra 2012. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CANOLA, 1., 2017, Passo Fundo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2017b. p. 296-300.

DAHMER, N.; CARAFFA, M.; RIFFEL, C. T.; TOMM, G. O. Efeito de épocas de semeadura sobre o desempenho de híbridos de canola, safra 2010. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CANOLA, 1., 2017, Passo Fundo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2017a. p. 296-300.

DALMAGO, G. A.; CUNHA, G. R. da; SANTI, A.; PIRES, J. L. F.; MÜLLER, A. L.; BOLIS, L. M. Aclimação ao frio e dano por geada em canola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 933-943, set. 2010.

DALMAGO, G. A.; CUNHA, G. R. da; TEIXEIRA, C. A. M. B.; PASINATO, A.; GOUVÊA, J. A. de; SANTI, A. **Limites críticos do conteúdo de água no solo para a cultura da canola (*Brassica napus* L.)**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. 53 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 102).

DALMAGO, G. A.; CUNHA, G. R. da; TOMM, G. O.; SANTI, A.; PIRES, J. L. F. Canola. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (org.). **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: Inmet, 2009. p. 131-149.

DALMAGO, G. A.; FOCESATTO, E.; KOVALESKI, S.; TAZZO, I. F.; BOLIS, L. M.; CUNHA, G. R. da; NIED, A. H.; BERGAMASCHI, H.; SANTI, A. Filocrono e número de folhas da canola em diferentes condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 6, p. 573-581, jun. 2013.

DALMAGO, G. A.; GOUVÊA, J. A. de; CUNHA, G. R. da; BIANCHI, C. A. M.; SANTI, A. **El Niño e La Niña influenciam o rendimento de grãos de canola no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2018a. 22 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 92).

DALMAGO, G. A.; PINTO, D. G.; FONTANA, D. C.; GOUVÊA, J. A.; BERGAMASCHI, H.; FOCESATTO, E.; SANTI, A. Use of solar radiation in the improvement of spring canola (*Brassica napus* L., Brassicaceae) yield influenced by nitrogen topdressing fertilization. **Agrometeoros**, v. 26, n. 1, p. 223-237, jul. 2018b.

DE MORI, C.; TOMM, G. O.; FERREIRA, P. E. P. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da canola no mundo e no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2014. 36 p. (Embrapa Trigo. Documentos online, 149). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103763/1/2014-documentos-online149.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2022.

ELFERJANI, R.; SOOLANAYAKANAHALLY, R. Canola responses to drought, heat, and combined stress: shared and specific effects on carbon assimilation, seed yield, and oil composition. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 1224, Aug. 2018.

EL-SHAFFEY, A. L.; ABDELHALIM, A. K. Impact of potassium fertilization on growth, yield and water productivity of canola under water stress condition. **Plant Archives**, v. 20, n. 2, p. 8389-8402, 2020.

ESCOBAR, M.; BERTI, M.; MATUS, I.; TAPIA, M.; JOHNSON, B. Genotype x environment interaction in canola (*Brassica napus* L.) seed yield in Chile. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 71, n. 2, p. 175-186, 2011.

ESTEVEZ, R. L. **Características agrônômicas e produção de óleo de dois híbridos de canola (*Brassica napus* var. oleífera) em diferentes épocas de semeadura**. 2012. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Guarapuava.

FAN, J.; MCCONKEY, B.; JANZEN, H.; SMITH, L. T.; WANG, H. Harvest index-yield relationship for estimating crop residue in cold continental climates. **Field Crops Research**, v. 204, p. 153-157, Mar. 2017.

FAO. **Faostat**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QI>. Acesso: 26 abr. 2022.

FERREIRA, R. S. **Matemática aplicada às ciências agrárias: análise de dados e modelos**. Viçosa: UFV, 1999. 333 p.

FOCHESATTO, E. **Acúmulo de matéria seca em siliquis e taxa de crescimento de grãos de canola sob distintas condições de manejo**. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FOCHESATTO, E.; NIED, A. H.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; PINTO, D. G.; KOVALESKI, S.; CUNHA, G. R. da; GOUVÊA, G. A. Interception of solar radiation by the productive structures of spring canola hybrids. **Ciência Rural**, v. 46, n. 10, p. 1790-1796, out. 2016.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L. de; BÜLL, T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 49-57, fev. 2006.

GAN, Y.; ANGADI, S. V.; CUTFORTH, H.; POTTS, D.; ANGADI, V. V.; MCDONALD, C. L. Canola and mustard response to short periods of temperature and water stress at different developmental stages. **Canadian Journal Plant Science**, v. 84, n. 3, p. 697-704, 2004.

GAN, Y.; HARKER, K. N.; KUTCHER, H. R.; GULDEN, R. H.; IRVINE, B.; MAY, W. E.; O'DONOVAN, J. T. Canola seed yield and phenological responses to plant density. **Canadian Journal Plant Science**, v. 96, n. 1, p. 151-159, 2016.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Esalq-USP, 1990. 240 p.

GULARTE, J. A.; GOUVEA, J. A.; VANIER, N. L.; MATTOS, K. H. de; SOUZA, C. R. de; PANOZZO, L. E. Produtividade de canola em terras baixas. In: SEMANA INTEGRADA, 6., 2020. Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2020. p. 1-4.

- GUNASEKERA, C. P.; MARTIN, L. D.; SIDDIQUE, K. H. M.; WALTON, G. H. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*Brassica napus* L.) in Mediterranean-type environments II. Oil and protein concentrations in seed. **European Journal of Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 13-21, July 2006.
- HABEKOTTE, B. Quantitative analysis of pod formation, seed set and seed filling in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) under field conditions. **Field Crops Research**, v. 35, n. 1, p. 21-33, Oct. 1993.
- HAMMAC, W. A.; MAAZ, T. M.; KOENIG, R. T.; BURKE, I. C.; PAN, W. L. Water and temperature stresses impact canola (*Brassica napus* L.) fatty acid, protein, and yield over nitrogen and sulfur. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 48, p. 10429-10438, Dec. 2017.
- HANSEN, J. C.; SCHILLINGER, W. F.; SULLIVAN, T. S.; PAULITZ, T. C. Soil microbial biomass and fungi reduced with canola introduced into long-term monoculture wheat rotations. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 1488, July 2019.
- HERGERT, G. W.; MARGHEIM, J. F.; PAVLISTA, A. D.; MARTIN, D. L.; SUPALLA, R. J.; ISBELL, T. A. Yield, irrigation response, and water productivity of deficit to fully irrigated spring canola. **Agricultural Water Management**, v. 168, p. 96-103, Apr. 2016.
- HRCHOROVITCH, V. A. **Produtividade e qualidade de grãos de híbridos de canola cultivados em diferentes épocas no Sudoeste do Paraná**. 2015. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.
- INFRASOFT INTERNATIONAL LLC. **WinISI™ 4**: routine calibration software for FOSS near infrared instruments, version 4.0. State College, 2007.
- IRIARTE, L. B.; VALETTI, O. E. **Cultivo de colza**. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 2008. 156 p.
- KAEFER, J. E.; GUIMARÃES, V. F.; RICHART, A.; TOMM, G. O.; MÜLLER, A. L. PRO e componentes de produção de canola de acordo com fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 4, p. 273-280, abr. 2014.
- KHAYAT, M.; RAHNAMA, A.; LORZADEH, S.; LACK, S. Physiological indices, phenological characteristics and trait evaluation of canola genotypes response to different planting dates. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 88, n. 1, p. 153-163, Mar. 2018.
- KING, J.; KONDRA, Z. P. Photoperiod response of spring oilseed rape (*Brassica napus*, L. and *B. campestris* L.). **Field Crops Research**, v. 13, p. 367-373, 1986.
- KIRKEGAARD, J. A.; HOCKING, P. J.; ANGUS, J. F.; HOWE, G. N.; GARDNER, P. A. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. II. Break-crop and nitrogen effects on subsequent wheat crops. **Field Crops Research**, v. 52, n. 1-2, p. 179-191, May 1997.
- KIRKEGAARD, J. A.; LILLEY, J. M.; BRILL, R. D.; SPRAGUE, S. J.; FETTEL, N. A.; PENGILLEY, G. C. Re-evaluating sowing time of spring canola (*Brassica napus* L.) in South-eastern Australia - how early is too early? **Crop & Pasture Science**, v. 67, n. 3-4, p. 381-396, May 2016.
- KOVALESKI, S. **Caracterização, quantificação e modelagem de danos provocados pela geada no período reprodutivo da canola**. 2019. 208 f. Tese (doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

- KOVALESKI, S. **Efeitos da geada em canola (*Brassica napus* L.) em função da distribuição da palha na superfície do solo**. 2015. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- KOVALESKI, S.; HELDWEIN, A. B.; DALMAGO, G. A.; GOUVÊA, J. A. Frost damage to canola (*Brassica napus* L.) during reproductive phase in a controlled environment. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 397-407, dez. 2019.
- KRÜGER, C. A. M. B.; SILVA, J. A. G. da; MEDEIROS, S. L. P.; DALMAGO, G. A.; SARTORI, C. O.; SCHIAVO, J. Arranjo de plantas na expressão dos componentes da produtividade de canola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1448-1453, nov. 2011.
- LAVIOLA, B. G.; SANTOS, A. dos; ROCHA, L. de S.; GOMES, E. S.; BORGES, M.; GOUVÊA, J. A. de; RODRIGUES, E. V. **Performance de genótipos de canola nas condições de Cerrado, Brasília, DF**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2019. 24 p. (Embrapa Agroenergia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 20).
- LILLEY, J. M.; BELL, L. W.; KIRKEGAARD, J. A. Optimizing grain yield and grazing potential of crops across Australia's high-rainfall zone: a simulation analysis. 2. Canola. **Crop & Pasture Science**, v. 66, n. 3-4, p. 349-364, 2015.
- LILLEY, J. M.; FLOHR, B. M.; WHISH, J. P. M.; FARRE, I.; KIRKEGAARD, J. A. Defining optimal swing and flowering periods for canola in Australia. **Field Crops Research**, v. 235, n. 2, p. 118-128, 2019.
- LIMA, L. H. S.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; PICCININ, G. G.; PONCE, R. M. Adaptability and stability of canola hybrids in different sowing dates. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 374-380, 2017.
- LOGSDON, S. D. Root effects on soil properties and processes: synthesis and future research needs. In: TIMLIN, D.; AHUJA, L. (ed.). **Enhancing understanding and quantification of soil-root growth interactions**. Madison: American Society of Agronomy, 2013. v. 4, p. 173-196. (Advances in agricultural systems modeling). DOI: 10.2134/advagricsystmodel4.c8.
- LUZ, G. L.; MEDEIROS, S. L. P.; TOMM, G. O.; BIALOZOR, A.; AMARAL, A. D. do; PIVOTO, D. Temperatura base inferior e ciclo de híbridos de canola. **Ciência Rural**, v. 42, n. 9, p. 1549-1555, set. 2012.
- MADEIRA, L. G.; ROSA, E. D. F. F. da; WITTER, A. P. W.; NOHATTO, M. A.; BERETA, S. F. Manejo de dessecação com herbicidas em diferentes épocas de maturação das siliquas de canola. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 4, p. 15-23, 2020.
- MARJANOVIĆJEROMELA, A.; NAGL, N.; GVOZDANOVIĆVARGA, J.; HRISTOV, N.; KONDIĆŠPIKA, A.; VASIĆ, M.; MARINKOVIĆ, R. Genotype by environment interaction for seed yield per plant in rapeseed using AMMI model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 2, p. 174181, fev. 2011.
- MELGAREJO, M. A.; DUARTE JÚNIOR, J. B.; COSTA, A. C. T. da; MEZZALIRA, E. J.; PIVA, A. L.; SANTIN, A. Características agrônômicas e teor de óleo da canola em função da época de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 934-938, 2014.
- MICUANSKI, V. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; AZEVEDO, R. L.; VANZELLA, E.; ARNAUTS, G.; CABRAL, A. C. A cultura energética - canola (*Brassica napus* L.). **Acta Iguazu**, v. 3, n. 2, p. 141-149, 2014.
- MIRALLES, D. J.; FERRO, B. C.; SLAFER, G. A. Developmental responses to sowing date in wheat, barley and rapeseed. **Field Crops Research**, v. 71, n. 3, p. 211-223, 2001.

MORRISON, M. J.; MCVETTYI, P. B. E.; SHAYKEWICH, C. F. The determination and verification of a baseline temperature for the growth of westar summer rape. **Canadian Journal Plant Science**, v. 69, n. 2, p. 455-464, Apr. 1989.

MORRISON, M. J.; STEWART, D. W. Heat stress during flowering in summer brassica. **Crop Science**, v. 42, n. 3, p. 797-803, May/June 2002.

MUKAKA, M. M. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, Sept. 2012.

NANDA, R.; BHARGAVA, S. C.; TOMAR, D. P. S.; RAWSON, H. M. Phenological development of *Brassica campestris*, *B. juncea*, *B. napus* and *B. carinata* grown in controlled environments and from 14 sowing dates in the field. **Field Crops Research**, v. 46, n. 1-3, p. 93-113, June 1996.

NELSON, M. N.; LILLEY, J. M.; HELLIWELL, C.; TAYLOR, C. M.; SIDDIQUE, K. H. M.; CHEN, S.; RAMAN, H.; BATLEY, J.; COWLING, W. A. Can genomics assist the phenological adaptation of canola to new and changing environments? **Crop and Pasture Science**, v. 67, n. 3-4, p. 284-297, May 2016.

NIED, A. H. **Parâmetros bioclimáticos e resposta da canola ao ambiente físico**. 2013. 135 f. Tese (Doutorado em Agrometeorologia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/80779>. Acesso em: 2 abr. 2018.

NAÇÕES UNIDAS. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: fome zero e agricultura sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 29 ago. 2022.

PANOZZO, L. E. **Qualidade de sementes, características agrônômicas e produtividade de híbridos de canola em diferentes épocas de semeadura e colheita em Viçosa-MG**. 2012. 52 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PEREIRA, A. P.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fealq, 1997. 183 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. **Evapotranspiração**. Campinas: Fundag, 2013. 323 p.

PIZOLOTTO, C. A.; BOLLER, W.; LÂNGARO, N. C.; TOMM, G. O. Manejos para redução de perdas em pré-colheita de canola sob elevada pluviosidade. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 2, p. 219-225, 2018.

RAD, A. H. S.; BITARAFAN, Z.; RAHMANI, F.; TAHERKHANI, T.; AGHDAM A, M.; NASRESFAHANI, S. A. Effects of planting date on spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under different irrigation regimes. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 19, n. 2, p. 153-157, 2014.

RAHMAN, H.; BENNETT, R. A.; KEBEDE, B. Molecular mapping of QTL alleles of *Brassica oleracea* affecting days to flowering and photosensitivity in spring *Brassica napus*. **Plos One**, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2018.

RIGHI, E. Z.; VAZATA, S.; DALMAGO, G. A.; MÜLLER, A. L.; CARVALHO, L. Z. B. de; DAGA, J. Sowing times influence canola grain yield and oil quality. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p. 415-425, 2017.

- RIGON, C. A. G.; GOERGEN, A. B.; BORDIN, R.; PILLA, R. B.; ZANATTA, T. P.; SILVA, V. R. da; TOMM, G. O. Características agrônômicas, rendimento de óleo e proteína de canola em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 2, p. 124-132, 2017.
- RIZZARDI, A.; RIZZARDI, M. A.; LAMB, T. D.; JOHANN, L. B. Potencial alelopático de extratos aquosos de genótipos de canola sobre *Bidens pilosa*. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 717-724, 2008.
- ROBERTSON, M. J.; LILLEY, J. M. Simulation of growth, development and yield of canola (*Brassica napus*) in APSIM. **Crop & Pasture Science**, v. 67, n. 3-4, p. 332-344, Mar. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/CP15267>.
- ROBERTSON, M. J.; WATKINSON, A. R.; KIRKEGAARD, J. A.; HOLLAND, J. F.; POTTER, T. D.; BURTON, W.; WALTON, G. A.; MOOT, D. J.; WRATTEN, N.; FARRE, I.; ASSENG, S. Environmental and genotypic control of time to flowering in canola and Indian mustard. **Australian Journal Agricultural Research**, v. 53, n. 7, p. 793-809, 2002.
- RONDANINI, D. P.; GOMEZ, N. V.; AGOSTI, M. B.; MIRALLES, D. J. Global trends of rapessed grain yield stability and rapessed-to-wheat yield ration in the last four decades. **European Journal of Agronomy**, v. 37, n. 1, p. 56-65, Feb. 2012.
- ROSA, W. B.; DUARTE JÚNIOR, J. B.; TOMM, G. O.; PEREGO, I.; QUEIROZ, S. B.; RINALDI, L. C.; COSTA, B. P.; COSTA, A. C. T. da. Influência de época de semeadura nos subperíodos e desempenho agrônômico de híbridos de canola. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65774-65788, Sept. 2020.
- SALBEGO, E.; MALDANER, I. C.; MONTEIRO, E. C.; BOFF, J. M.; MACHADO, T. G. C.; DALMAGO, G. A. Produtividade de genótipos de canola em diferentes DS em São Vicente do Sul, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CANOLA, 1., 2017, Passo Fundo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 296-300.
- SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RAMOS, W. B.; MAUAD, M.; SANTOS, S. dos; BISCARO, G. A. Produtividade de canola sob irrigação e doses de adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 688-693, jul. 2014.
- SCHMATZ, A. A. **Obtenção e caracterização físico-química do óleo de canola (*Brassica napus*) em função da variabilidade no cultivo da planta**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.
- SHAFIGHI, A.; ARDAKANI, M. R.; RAD, A. H. S.; ALAVIFAZEL, M.; RAFIEI, F. **Italian Journal of Agronomy**, v. 16, n. 1, 1648, 2021.
- SI, P.; MAILER, R. J.; GALWEY, N.; TURNER, D. W. Influence of genotype and environment on oil and protein concentrations of canola (*Brassica napus* L.) grown across southern Australia. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 54, n. 4, p. 397-407, 2003.
- SINAKI, J. M.; HERAVAN, E. M.; RAD, A. H. S.; NOURMOHAMMAD, G.; ZAREI, G. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). **American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science**, v. 2, n. 4, p. 417- 422, July/Aug. 2007.
- SINGER, S. D.; ZOU, J.; WESELAKE, R. J. Abiotic factors influence plant storage lipid accumulation and composition. **Plant Science**, v. 243, p. 1-9, Feb. 2016.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TAKASHIMA, N. E.; RONDANINI, D. P.; PUHL, L. E.; MIRALLES, D. J. Environmental factors affecting yield variability in spring and winter rapeseed genotypes cultivated in the southeastern Argentine Pampas. **European Journal of Agronomy**, v. 48, p. 88-100, July 2013.

TIZOTT, J. M.; CAZALI, I.; KRÜGER, C. A. M. B.; SILVA, J. A. G. da; DALMAGO, G. A. Taxa de enchimento de grãos de canola em função de épocas de semeadura. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 23., 2015, Ijuí. **Anais...** Ijuí: Unijuí, 2015. p. 1-7.

TOBE, A.; HOKMALIPOUR, S.; JAFARZADEH, B.; DARBANDI, M. A. effect of sowing date on some phenological stages and oil contents in spring canola (*Brassica napus*, L.) cultivars. **Middle-East Journal of Scientific Research**, v. 13, n. 9, p. 1202-1212, 2013.

TOMM, G. O.; GARRAFA, M.; BENETTI, V.; WOLBOLT, A. A.; FIGER, E. **Efeito de épocas de semeadura sobre o desempenho de genótipos de canola em Três de Maio, RS**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 11 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica online, 17). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPT-2010/40356/1/p-ci17.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022.

TOMM, G. O.; WIETHOLTER, S.; DALMAGO, G. A.; SANTOS, H. P. **Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 88 p. (Embrapa Trigo. Documentos online, 92). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35530/1/Tecnologia-para-a-producao-de-Canola.pdf>. Acesso: 22 ago. 2022.

ULLAH, F.; BANO, A.; NOSHEEN, A. Effects of plant growth regulators on growth and oil quality of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. **Pakistan Journal of Botany**, v. 44, n. 6, p. 1873-1880, Dec. 2012.

WANG, R.; CHENG, T.; HU, L. Effect of wide-narrow row arrangement and plant density on yield and radiation use efficiency of mechanize direct-seeded canola in Central China. **Field Crops Research**, v. 172, p. 42-45, Feb. 2015.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de (ed.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 333 p.

ZALI, H.; SOFALIAN, O.; HASANLOO, T.; ASGHARI, A. AMMI and GGE biplot analysis of yield stability and drought tolerance in *Brassica napus* L. **Agricultural Communications**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2016.

ZHANG, H.; BERGER, J. D.; MILROY, S. P. Genotype x environment interaction studies highlight the role of phenology in specific adaptation of canola (*Brassica napus*) to contrasting Mediterranean climates. **Field Crops Research**, v. 144, p. 77-88, Mar. 2013.

Embrapa

Trigo