

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

Francilene de Lima Tartaglia

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS E ECOFISIOLÓGICAS DA CULTURA
DA CANOLA AO EXCESSO HÍDRICO**

Santa Maria, RS

2016

Francilene de Lima Tartaglia

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS E ECOFISIOLÓGICAS DA CULTURA DA CANOLA
AO EXCESSO HÍDRICO**

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

Orientador: Prof. Dr. Evandro Zanini Righi

Santa Maria, RS

2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Tartaglia, Francilene de Lima
Respostas agronômicas e ecofisiológicas da cultura da canola ao excesso hídrico. / Francilene de Lima
Tartaglia.-2016.
97 f.; 30cm

Orientador: Evandro Zanini Righi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2016

1. Brassica napus 2. Drenagem 3. Produtividade 4. Morfologia 5. Fenologia I. Righi, Evandro Zanini II. Título.

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Francilene de Lima Tartaglia. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

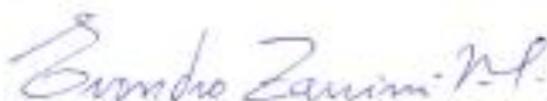
E-mail: fran.tartaglia@yahoo.com.br

Francilene de Lima Tartaglia

RESPOSTAS AGRONÔMICAS E ECOFISIOLÓGICAS DA CULTURA DA
CANOLA AO EXCESSO HÍDRICO

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

Aprovado em 19 de fevereiro de 2016:



Evandro Zanini Righi, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Arno Bernardo Heldwein
(Coorientador)



Genes Antonio Dalmago

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

A meus pais, Osmar Tartaglia e Maria das Graças de Lima Tartaglia, pelo apoio, exemplo e carácter. A minha filha Helena Tartaglia Alves e meus irmãos Francieli, Vanderley e Francismar.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar e me conceder a oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

Aos meus pais Osmar e Maria das Graças, que sempre incentivaram e batalharam por um futuro melhor, apoiando nas minhas decisões e meus irmãos Francismar, Vanderley e Francieli, pela ajuda, compreensão e amor.

A minha filha Helena, pelo companheirismo, motivação e amor e a Gibran Alves pelos ensinamentos e cuidado.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de aprendizado durante o curso de Mestrado.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudos, possibilitando dedicação integral a realização desse trabalho.

Ao professor Evandro Zanini Righi, pela orientação, ensinamento, confiança e contribuição para crescimento pessoal e profissional.

Ao professor Arno Bernardo Heldwein, pela primeira oportunidade de trabalhar na UFSM e pela coorientação neste trabalho, exemplo de profissionalismo e conhecimentos transmitidos.

A Ivan Carlos Maldaner e Luís Henrique Loose, pela coorientação, amizade, paciência, transmissão de conhecimentos e auxílio na realização dos experimentos.

As minhas amigas da Fitotecnia, Jocélia Rosa, Leidiana Rocha e Silvane Brand, pela amizade, auxílio na condução dos experimentos e pelos momentos de descontração.

A Equipe de trabalho do IF de São Vicente do Sul, coordenada por Ivan Maldaner, muito obrigada pelo auxílio e colaboração.

Aos amigos da Fitotecnia, Adriana Amarante, Gabriel Brixner, Mateus Bortoluzzi, Samuel Kovaleski, Junior Cesar Somavilla, Victor Snovarski, Mateus Leonardi e Ijésica Streck.

As amigas Suany Pinheiro, Amanda Thirza Santos, Myrian Neves, Lillian Oliveira, Luana Ferreira e Juliete Araújo pela amizade e apoio durante a realização desse trabalho.

Aos meus tios, primos e amigos não citados que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

RESPOSTAS AGRONÔMICAS E ECOFISIOLÓGICAS DA CULTURA DA CANOLA AO EXCESSO HÍDRICO

AUTORA: Francilene de Lima Tartaglia
ORIENTADOR: Evandro Zanini Righi

Objetivou-se com esse trabalho avaliar as respostas agronômicas e ecofisiológicas de cultivares de canola submetidas ao excesso hídrico no solo, determinando-se quais os estádios de maior sensibilidade da cultura, o período de tempo com excesso hídrico tolerado e cultivares mais tolerantes. Quatro experimentos foram instalados, dois a campo e dois em casa de vegetação. Os experimentos de campo foram realizados em dois anos agrícolas, 2014 e 2015, na Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, em delineamento em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 2 x 3, sendo os fatores, dreno (com dreno e sem dreno) e cultivares de canola (Hyola 433, Hyola 411 e Hyola 61), com quatro repetições. Determinou-se altura de plantas, número de folhas, área foliar, duração dos subperíodos de desenvolvimento, condutância foliar, taxa fotossintética e componentes de rendimento de grãos. O experimento de casa de vegetação foi conduzido no ano de 2015, em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 5 em Santa Maria, RS, e fatorial com tratamento adicional 5 x 4 + 1 em São Vicente do Sul, RS, sendo os fatores estádios fenológicos e 0, 24, 48, 96 e 192 h de excesso hídrico contínuo, com 3 repetições. Determinou-se o índice de velocidade de emergência, porcentagem de emergência e componentes de rendimento. O excesso hídrico no solo causa alterações morfológicas, fenológicas, ecofisiológicas e produtivas na cultura da canola. No subperíodo semeadura-emergência, o excesso hídrico no solo por períodos prolongados resulta na redução da população de plantas. Após a emergência das plantas, os estádios de formação de roseta e início da antese são os mais críticos para a cultura da canola. A população de plantas e o número de siliquis por planta são as variáveis que mais influenciam a produtividade de grãos da canola em locais com excesso hídrico. O uso de drenos é eficiente para permitir o estabelecimento e desenvolvimento da canola em condições de excesso hídrico. O tempo em que a canola suporta o excesso hídrico sem comprometer a produtividade de grãos depende do estágio fenológico, porém, 24 h de excesso hídrico são capazes de reduzir a velocidade de emergência, o número de siliquis por planta, a massa seca da parte aérea e a produtividade de grãos. A produtividade de grãos é mais prejudicada quando o excesso hídrico ocorre na formação de roseta e no início da antese. Existe uma relação decrescente entre o aumento no período de excesso hídrico e a produtividade de grãos na cultura da canola. As cultivares Hyola 411 e Hyola 433 podem ser promissoras para cultivo em locais com excesso hídrico. A cultivar Hyola 61 tem potencial produtivo, porém, parece ser mais sensível ao excesso hídrico no solo.

Palavras-chave: *Brassica napus*. Drenagem. Produtividade. Morfologia. Fenologia.

ABSTRACT

AGRONOMIC AND ECOPHYSIOLOGICAL RESPONSES OF THE CANOLA CROP TO WATER EXCESS

AUTHOR: Francilene de Lima Tartaglia
ADVISER: Evandro Zanini Righi

The objective of this study was to evaluate the agronomic and ecophysiological responses of canola cultivars grown under water excess in the soil, determining which crop stages are more sensitive, the length time of water excess tolerated and the tolerant cultivars. Four experiments were installed, two field and two in the greenhouse. Field experiments were conducted in two crop years (2014 and 2015), in Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, in a randomized block design, with split plot design, in a factorial 2 x 3, with factors drainage (with drain and no drain) and canola cultivars (Hyola 433, Hyola 411 and Hyola 61), with four replications. Were quantified plant height, number of leaves, leaf area, thermal time length of the development subperiods, leaf conductance, photosynthetic ratio and grain yield components. The experiments in greenhouse were conducted in Santa Maria and São Vicente do Sul, in 2015, in a factorial completely randomized design 4 x 5 in Santa Maria and with an additional treatment 5 x 4 + 1 in São Vicente do Sul, whose factors were phenological stages and time length with soil water excess (0, 24, 48, 96 and 192 h), with 3 replications. Were quantified the index of emergency velocity, emergency rate and yield components. The water excess in the soil causes morphological, phenological, physiological and productive changes in the canola crop. In the sowing-emergence subperiod, the soil water excess for a long time reduces the plant population. After the crop emergence, the rosette formation and onset of anthesis are the most critical stages to the canola crop. The plant population and the number of siliques per plant are the variables that most influence the productivity of canola grain in areas with water surplus. The use of drains is effective for the establishment and development of the canola in areas or periods with water excess. The length time that the canola crop supports water excess without reducing grain yield depends on the phenological stage, however, 24 h of water excess can reduce emergency velocity index, number of siliques per plant, dry mass of shoots and grain yield. Productivity is most affected when the water excess occurs in the rosette formation and in onset of anthesis. There is a decreasing relationship between the increase in water surplus period and grain yield of the canola crop. The Hyola 411 and Hyola 433 cultivars may be promising for cultivation in areas with water excess. The Hyola 61 cultivar has productive potential, however, seems to be more sensitive to water excess in the soil.

Key words: *Brassica napus*. Drainage. Productivity. Morphology. Phenology.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REVISÃO BIBLIGRÁFICA	12
2.1	CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E AGRONÔMICAS DA CANOLA	12
2.2	FENOLOGIA E FATORES QUE INFLUENCIAM A DURAÇÃO DOS SUBPERÍODOS DE DESENVOLVIMENTO	13
2.3	EXCESSO HÍDRICO NO SOLO E OS MECANISMOS DE RESPOSTA DAS PLANTAS	14
3	CAPÍTULO 1 – USO DE DRENOS PARA O CULTIVO DE CANOLA EM SOLOS COM EXCESSO HÍDRICO.....	17
3.1	INTRODUÇÃO	17
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.2.1	Instalação, condução e delineamento experimental	19
3.2.2	Variáveis meteorológicas e balanço hídrico	20
3.2.3	Avaliações de crescimento.....	23
3.2.4	Avaliações fenológicas	24
3.2.5	Avaliações ecofisiológicas	25
3.2.6	Componentes de rendimento de grãos	26
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.3.1	Variáveis meteorológicas e balanço hídrico	27
3.3.2	Variáveis de crescimento.....	31
3.3.3	Variáveis fenológicas	33
3.3.4	Variáveis ecofisiológicas	40
3.3.5	Componentes de rendimento de grãos	45
3.4	CONCLUSÕES	56
4	CAPÍTULO 2 – EFEITO DO EXCESSO HÍDRICO EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DE CULTIVARES DE CANOLA.....	57
4.1	INTRODUÇÃO	57
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	59
4.2.1	Caracterizações dos ambientes, descrição dos tratamentos e delineamento experimental	59
4.2.2	Instalação e condução	61
4.2.3	Índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência.....	62
4.2.4	Componentes do rendimento de grãos.....	63
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
4.3.1	Índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência.....	66
4.3.2	Componentes de rendimento de grãos em Santa Maria	69
4.3.3	Componentes de rendimento de grãos em São Vicente do Sul.....	73
4.3.4	Discussão dos resultados de Santa Maria e São Vicente do Sul	74
4.4	CONCLUSÕES	76
5	DISCUSSÃO	77
6	CONCLUSÕES.....	79
	REFERÊNCIAS.....	80
	APÊNDICES	87

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da canola é influenciado por diferentes fatores ambientais. Dentre eles, a disponibilidade hídrica é de grande importância, pois a água é o principal componente das plantas, desempenha papel importante na absorção e transporte de nutrientes, na formação de novos produtos, no crescimento da planta, no controle da temperatura dos tecidos e da resposta da planta a estresses abióticos (TAIZ e ZEIGER, 2013). No entanto, o excesso de água no solo é tão prejudicial para as plantas quanto a falta de água, pois ele reduz ou paralisa as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, causando deficiência de oxigênio no solo, o que reduz a respiração e o crescimento das raízes, podendo levar a planta a morte (LIAO e LIN, 2001).

O Rio Grande do Sul é o maior produtor nacional de canola, respondendo por 67% de toda a área cultivada no Brasil (CONAB, 2015). No entanto, essa área é pouco expressiva quando se compara toda área produzida com culturas de verão, com aquela cultivada com culturas de inverno, o que gera mais de 6 milhões de hectares ociosos no inverno, que poderiam ser utilizadas para expandir o cultivo da canola no estado. Porém, essas áreas ociosas no inverno geralmente apresentam problemas edáficos, como a baixa drenagem natural e lençol freático elevado, que somado a baixa demanda atmosférica, ocasionam regiões com excessos hídricos frequentes, principalmente nas regiões produtoras de arroz irrigado na região central, oeste, leste e sul do Rio Grande do Sul, se constituindo em uma restrição ao cultivo da canola, pois segundo alguns autores (BOEM et al., 1996; KU et al., 2009; TOMM, 2009; XU et al., 2015; ZHOU e LIN, 1995), a canola apresenta sensibilidade ao excesso hídrico no solo.

Para fazer uso dessas áreas com excesso hídrico e expandir o cultivo da canola no Rio Grande do Sul, tem-se duas possíveis ações: o uso de drenos no solo ou a implantação de cultivares tolerantes ao excesso hídrico. A drenagem do solo é viabilizada, atualmente, pelo desenvolvimento de semeadoras que semeiam em camalhões, facilitando a implantação da cultura. Quanto a cultivares tolerantes ao excesso hídrico, bons resultados estão sendo obtidos na China, onde cultivares tolerantes quando submetidas ao excesso hídrico se desenvolvem semelhante às mesmas cultivares em locais bem drenados (ZOU et al., 2014).

O cultivo da canola nas áreas ociosas no inverno e com possibilidade de excesso hídrico pode ser importante alternativa social e econômica dentro do sistema de produção do Rio Grande do Sul, pois não compete com a cultura principal de verão, tornando-se uma alternativa de renda adicional para os produtores nesse período, otimizando a mão-de-obra e a

utilização do parque de máquinas nas propriedades. Além disso, insere os produtores de arroz na estratégia nacional de desenvolvimento de biocombustíveis, facilitando a obtenção de financiamentos para o cultivo da canola.

O cultivo da canola em sucessão/rotação com culturas de verão também exerce importante papel ambiental, pois quebra o ciclo de algumas doenças (TOMM et al., 2009), possibilita a redução da infestação de algumas ervas daninhas e melhora a estrutura do solo. No entanto, apesar dos resultados recentes obtidos na China indiquem a canola como uma opção para essas condições de cultivo, existe grande carência de informações sobre o desempenho das cultivares utilizadas no Brasil em condições de excesso hídrico (PERBONI et al., 2012), tornando necessários estudos que gerem informações para melhor utilização dessas áreas com cultivos de canola.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar as respostas agronômicas e ecofisiológicas de cultivares de canola quando submetidas a solos com excesso hídrico, determinando qual estágio de desenvolvimento ocorre maior sensibilidade da cultura, qual o tempo de excesso hídrico necessário para comprometer os componentes produtivos e quais cultivares são mais tolerantes a essas condições.

2 REVISÃO BIBLIGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS BOTÂNICAS E AGRONÔMICAS DA CANOLA

A canola é uma cultura anual resultante do cruzamento natural entre *Brassica rapa* e *Brassica oleracea* (BROWN et al., 2008). Possui sistema radicular pivotante que atinge em média 1,4 metros de profundidade (THOMAS, 2014), caule ereto e herbáceo com altura variando de 0,5 a 1,3 metros (GULDEN et al., 2008). As folhas basais possuem pecíolos curtos, medem de 5 a 20 cm de comprimento, são ovais a alongadas, não são persistentes e formam roseta. Após a elongação do caule as folhas são menores, lanceoladas e semi amplexiformes (GULDEN et al., 2008).

O fruto é uma siliqua cilíndrica deiscente, em média com 6 cm de comprimento e 4 mm de espessura. Os grãos, dispostos em fila simples no interior dos frutos, são esféricos com 1 a 2 mm de diâmetro e sua coloração varia do marrom ao preto quando maduros (GULDEN et al., 2008), possuindo teor de óleo entre 40 e 45% da massa dos grãos. Para serem utilizados na alimentação, os grãos devem possuir um teor de ácido erúxico menor que 2% no óleo e menos de 30 μmol de glucosinolatos g^{-1} de farelo seco desengordurado.

O óleo é o principal produto da canola, considerado de alta qualidade nutricional por apresentar baixos níveis de gordura saturada (7%) e altos teores de gorduras insaturadas (93%), como o ácido oleico (ômega 9), o linoleico (ômega 6) e o linolênico (ômega 3) (SHARAFIZADEH et al., 2012), os quais oferecem proteção contra o risco de coronariopatias.

Além do óleo comestível, a canola também é utilizada para a fabricação de biodiesel e produção de farelo. O biodiesel é obtido após o processo de transesterificação do óleo, sendo uma fonte de combustível renovável e de grande importância para o ambiente, por reduzir a emissão de monóxido de carbono, compostos de enxofre e hidrocarbonetos (CHENG et al., 2010).

O farelo de canola é um importante subproduto das indústrias de processamentos de grãos, sendo usado principalmente para alimentação animal, pois possui 33% de proteína. Ele é utilizado também para a produção de enzimas como a fitase, que disponibiliza fósforo, e xilanase, que decompõe a hemicelulose (RAMACHANDRAN et al., 2009). Recentemente, o farelo de canola também está sendo usado para obtenção de catalizador para produção de biodiesel (RAO et al., 2011).

2.2 FENOLOGIA E FATORES QUE INFLUENCIAM A DURAÇÃO DOS SUBPERÍODOS DE DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento das culturas compreende as mudanças de fase que um vegetal passa durante seu ciclo de vida, que envolve o aparecimento e aumento no tamanho de órgãos e acúmulo de matéria seca (crescimento). O ciclo de desenvolvimento de um vegetal se divide em duas fases principais: a vegetativa e a reprodutiva.

Na cultura da canola, a fase vegetativa é composta pelo estágio de germinação, emergência e roseta, enquanto que a fase reprodutiva se divide em alongação do ramo floral, floração-formação de siliques e maturação fisiológica (IRIARTE e VALETTI, 2008). Cada subperíodo de desenvolvimento é influenciado por fatores intrínsecos da cultivar (fatores genéticos) e por fatores ambientais, como temperatura do ar, fotoperíodo, disponibilidade hídrica e nutrição mineral (TAIZ e ZEIGER, 2013), que determinam a duração de cada subperíodo.

A temperatura do ar é o fator mais importante para determinar a duração dos estádios fenológicos da canola (THOMAS, 2014), sendo que seu desenvolvimento é ótimo com temperaturas do ar próximas aos 20°C. Temperaturas do ar superiores a 27°C causam esterilidade do pólen (MORRISON, 1993).

O ciclo da cultura é acelerado quando ocorre aumento da temperatura do ar, existindo uma correlação linear negativa entre o aumento da temperatura do ar e a duração do ciclo da cultura, sendo que o período entre o início da antese e o final da antese são os de maior sensibilidade (LUZ et al., 2012). Porém, pode-se considerar o estágio de florescimento o mais sensível às altas temperaturas do ar, visto que temperaturas do ar iguais ou superiores a 27°C ocasionam abortamento floral (BATTISTI et al., 2013), reduzindo o potencial produtivo da cultura.

Foraji et al. (2009) confirmam que há uma relação negativa entre o aumento na temperatura do ar com a produtividade da canola nos estádios de floração até enchimento de grãos e cada grau aumentado na temperatura média diária do ar nesses estádios, ocorre uma redução média na produtividade de grãos de 320 e 310 kg ha⁻¹, respectivamente.

A duração da fase vegetativa da canola é influenciada também pelo fotoperíodo, que é caracterizado pela soma do comprimento do dia mais a duração dos crepúsculos. Ele influencia o desenvolvimento das plantas, fazendo com que aquelas sensíveis tenham a entrada na fase reprodutiva dependente do fotoperíodo diário. Para a cultura da canola foi verificado que a adição de 6 horas de fotoperíodo sobre o fotoperíodo natural reduziu de 3 a

40% a duração da fase de emergência – aparecimento dos botões florais e que quanto mais curto for o ciclo da cultura até a maturação, menor é o número de grãos por área (GOMEZ e MIRALLES, 2011).

Essa resposta da canola ao fotoperíodo é indicativa de que a cultura é classificada como de dias longos, visto que o aumento na duração do dia induz o florescimento e reduz o ciclo de desenvolvimento da espécie *B. napus*. Nanda et al. (1996) verificou que o aumento no fotoperíodo de 12 para 14 horas ocasionou redução de 40% no tempo entre a emergência e o aparecimento dos botões florais em algumas cultivares, porém, fotoperíodo abaixo de 12 horas não teve influência no ciclo da cultura.

Existe uma interação entre temperatura do ar e fotoperíodo que rege o desenvolvimento da espécie *B. napus*, sendo que a combinação de curtos fotoperíodos com altas temperaturas do ar retarda o desenvolvimento, mas longo fotoperíodo com altas temperaturas do ar aceleram-no (NANDA et al., 1996).

Em relação à necessidade hídrica, a canola não necessita de muita água durante seu ciclo, utilizando em torno de 455 mm (DOGAN et al., 2011) a 670 mm (BERRY e SPINK, 2006). No entanto, níveis muito baixos de água no solo limitam sua extração pelas raízes, acelerando o ciclo de desenvolvimento das plantas (KAMKAR et al., 2011). Em casos em que ocorre excesso hídrico, a porosidade do solo se torna um fator importante para a planta, pois as raízes precisam ter acesso ao oxigênio. Solos com predominância de microporos possuem, consequentemente, grande retenção de água, o que é o caso dos solos argilosos e planossolos. Nesses locais, os efeitos do excesso hídrico podem ser potencializados, comprometendo o transporte de oxigênio para as raízes (TAIZ e ZEIGER, 2013).

2.3 EXCESSO HÍDRICO NO SOLO E OS MECANISMOS DE RESPOSTA DAS PLANTAS

O excesso hídrico prolongado no solo é considerado um estresse abiótico que interfere no desenvolvimento das culturas agrícolas (AHMED et al., 2013) e seu efeito é potencializado quando o lençol freático permanece próximo da superfície após a semeadura e estabelecimento das culturas. É caracterizado pela ocupação dos espaços porosos do solo pela água, criando regiões de anaerobiose (CAMARGO et al., 1999) devido ao consumo do oxigênio pelas raízes e principalmente pelos microrganismos aeróbicos, que com o tempo são substituídos pelos anaeróbicos, criando um ambiente de redução e acúmulo de CO₂ (PONNAMPERUMA, 1972).

Sob condições de excesso hídrico no solo ocorrem limitações graves às espécies não adaptadas a essa condição, como o suprimento inadequado de oxigênio às raízes, o acúmulo de íons minerais reduzidos, produto do metabolismo anaeróbico (JACKSON e COLMER, 2005), desequilíbrio hormonal, senescência precoce de folhas e posterior morte das plantas (RODRÍGUEZ-GAMIR et al., 2011). Outra limitação às culturas é a deficiência de nitrogênio no solo, devido ao uso do mesmo para a respiração anaeróbica (CAMARGO et al., 1999).

O acúmulo de íons minerais tóxicos ocorre durante a respiração anaeróbica, quando a matéria orgânica é oxidada e componentes do solo são reduzidos, ocasionando acúmulo de íons como Mn^{2+} , Fe^{2+} , N_2 , H_2S , N_2O e NO_2^- , que absorvidos em grandes quantidades pelas plantas causam toxicidade as mesmas (PONNAMPERUMA, 1972).

Por outro lado, a falta de oxigênio no solo compromete a respiração radicular, prejudicando a síntese de ATP e inibindo a atividade metabólica das raízes, o que ocasiona redução do crescimento radicular e posteriormente da parte aérea do vegetal (LIAO e LIN, 2001). Também compromete a absorção de nutrientes e água, o que ocasiona murcha das plantas (AHMED et al., 2013, LOOSE, 2013), mesmo com água disponível no solo.

Com o metabolismo radicular reduzido, ocorre acúmulo de amido em folhas, devido possivelmente ao comprometimento do transporte no floema (WAMPLE e DAVIS, 1983). Outra consequência da deficiência de oxigênio no solo é o fechamento dos estômatos, ocasionado pela produção extra de ácido abscísico pelas folhas (ZHANG e ZHANG, 1994). O fechamento estomático reduz as trocas gasosas, influenciando a fotossíntese e limitando a queda do potencial de água nas folhas (LIAO e LIN, 2001), o que limita o fluxo de massa da seiva, que é importante para o transporte de nutrientes na planta.

A fim de evitar todos esses efeitos prejudiciais do excesso de água no solo, muitas plantas desenvolvem estruturas anatômicas e morfológicas (BAILEY-SERRES e VOESENEK, 2008), como a formação de aerênquima e produção de raízes adventícias (ARMSTRONG et al., 1991; JACKSON, 1990; ZOU et al., 2014), além de mudanças ecofisiológicas, como o fechamento estomático, buscando compensar a redução da absorção de água devido à baixa atividade radicular causada pelas baixas concentrações de oxigênio.

As raízes adventícias surgem na base do caule das plantas e aumentam em número com a duração do estresse em detrimento das raízes originais (CHEN et al., 2002). Seu principal mediador é o etileno endógeno (CHRISTIANSON et al., 2010; DREW et al., 1979). O aerênquima surge no córtex radicular devido ao aumento das concentrações endógenas de etileno, que causa lise em algumas células, criando espaços porosos nas raízes novas (CAMPBELL e DREW, 1983; TAIZ e ZEIGER, 2013).

O fechamento estomático é uma resposta comum ao estresse hídrico, evitando a perda excessiva de água pela planta para a atmosfera (TAIZ e ZEIGER, 2013). Sendo assim, a falta de O_2 no solo paralisa o metabolismo radicular, fazendo com que a planta não consiga absorver água suficiente para atender a demanda atmosférica, mesmo estando disponível no solo, fazendo com que as folhas percam a turgência.

Na China, estudos com cultivares de canola concluíram que o excesso de umidade no solo pode causar a degradação da clorofila, senescência precoce, aumento na produção de etileno pelas folhas e redução da taxa fotossintética (ZHOU e LIN, 1995). Os autores concluíram ainda que os estádios de maior sensibilidade da cultura são o de roseta, seguido pelo estádio de botão floral e o de formação das síliquas, sendo que os efeitos permaneceram após a retirada do estresse, resultando em significativa redução de rendimento de grãos.

Boem et al. (1996), também na China, concluíram que um período de 3 dias sob solo encharcado são suficientes para reduzir a produtividade da canola. No Brasil, estudos desenvolvidos por Perboni et al. (2012) objetivaram determinar cultivares tolerantes ao encharcamento do solo a partir da fluorescência da clorofila. Os autores concluíram que o genótipo Hyola 420 foi mais tolerante ao encharcamento no solo entre os híbridos estudados, Hyola 43, 401 e 432. Porém, sendo este o único estudo com canola submetida ao excesso hídrico no solo no Brasil, ainda existe forte carência de estudos que avaliem os efeitos do excesso de umidade no solo para a cultura da canola em condições de campo.

A canola é uma cultura de grande valor econômico, pois seu óleo tem qualidades alimentícias muito apreciadas e ainda pode ser utilizada para fabricação de biodiesel, com preço dos grãos e, apesar de ser cultivada em vários países, é na China que se têm as condições hídricas do solo mais próximas daquelas observadas no extremo sul do Brasil, com áreas que sofrem frequentes eventos de excesso hídrico.

Nesse sentido, desenvolver tecnologias que possibilitem a implantação ou aumento da área cultivada com canola, principalmente em locais com possibilidade de excesso hídrico, tornaria a canola a principal cultura de inverno, visto que as gramíneas cultivadas atualmente não se adaptam, como o arroz, a esses locais. Sendo assim, para indicação de cultivares que possam ser utilizadas em áreas com excesso de umidade é necessário à realização de estudos que comprovem a tolerância dessas cultivares nas condições ambientais brasileiras.

3 CAPÍTULO 1 – USO DE DRENOS PARA O CULTIVO DE CANOLA EM SOLOS COM EXCESSO HÍDRICO

3.1 INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus*) é uma cultura com grande potencial socioeconômico no Rio Grande do Sul, visto que tem alto valor agregado, com o valor dos grãos próximo aquele da cultura da soja (AGROLINK, 2016). Porém, seu cultivo ainda é pouco expressivo no estado (CONAB, 2015), tendo grande possibilidade de crescimento, principalmente em sistema de rotação de culturas no inverno intercalado com culturas de verão, pois não compete com as culturas principais, como a soja, o arroz e o milho, tornando-se uma opção de renda no outono/inverno para os produtores, otimizando a mão-de-obra, a utilização do solo e do parque de máquinas nas propriedades.

Durante o cultivo da canola no Rio Grande do Sul, a baixa demanda atmosférica por vapor de água aliada às chuvas frequentes ocasionam áreas com excesso hídrico no solo. O excesso hídrico se constitui em uma restrição às culturas que não apresentem mecanismos de tolerância ou a culturas não adaptadas, pois paralisa o crescimento radicular e posteriormente da parte aérea das plantas (ZOU et al., 2014), refletindo em baixas produtividades, com possibilidade de inviabilização técnica e econômica do seu cultivo.

A canola é considerada por muitos autores como uma cultura sensível ao excesso hídrico no solo (BOEM et al., 1996; ZHOU e LIN, 1995), porém, estudos realizados na China evidenciam existir cultivares com elevada tolerância, apresentando mecanismos de resposta, como a produção de raízes adventícias, para evitar os efeitos negativos da falta de oxigênio no solo, obtendo altas produtividades mesmo nessas condições desfavoráveis (ZOU et al., 2014).

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

No RS, dos 7,2 milhões de hectares cultivados no verão, apenas 1,2 milhões são cultivados no inverno, gerando uma área ociosa de mais de 6 milhões de hectares (CONAB, 2015), devido principalmente o excesso hídrico desqualificar boa parte dessas áreas para cultivo com culturas tradicionais de inverno. Porém, segundo as recentes pesquisas realizadas na China, a canola pode ser uma opção para essas áreas, se cultivares forem selecionadas para esses ambientes ou houver outras técnicas de manejo desses solos.

Além da seleção de cultivares que se desenvolvam sem perdas significativas de produtividade, outra opção para utilização dessas áreas é a realização de drenagem, que atualmente é viabilizada pelo desenvolvimento de semeadoras que semeiam em camalhões, facilitando a implantação da cultura. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar as respostas agronômicas e ecofisiológicas de cultivares de canola a campo em dois sistemas de preparo do solo, com e sem dreno, em locais com excesso hídrico no solo, visando identificar cultivares com maior tolerância e que possam ser implantadas nessas áreas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Instalação, condução e delineamento experimental

Os experimentos foram desenvolvidos em condições de campo nos anos agrícolas de 2014 e 2015 no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), situada na Depressão Central do Rio Grande do Sul (29° 43' 23" S; 53° 43' 15" W; 95 m). O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida, de acordo com a classificação de Köppen (HELDWEIN et al., 2009), com um regime pluviométrico isoígro e média anual de 1712 mm (BURIOL et al., 2006). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (STRECK et al., 2008). O local do experimento é caracterizado pela presença de lençol freático subsuperficial, o qual frequentemente aflora na superfície durante o inverno e em períodos chuvosos.

Para a instalação dos tratamentos foram realizados drenos em volta de cada unidade experimental, com auxílio de retroescavadora, cujo tratamento foi o drenado (Figura 1). Os drenos contaram de 60 cm de profundidade e 30 cm de largura.

Figura 1 - Vista frontal (A) de uma unidade experimental no tratamento drenado e vista parcial (B) do experimento com tratamento drenado (à esquerda) e sem dreno (à direita)



No ano de 2014 a adubação de base foi 420 kg ha⁻¹ do formulado 5-30-20 (N-P-K) mais 20 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia. A adubação de cobertura foi realizada quando as plantas apresentavam quatro folhas verdadeiras, aplicando-se 40 kg ha⁻¹ de ureia. No ano de 2015 aplicou-se na base 420 kg ha⁻¹ do formulado 5-20-10-7-5 (N-P-K-Ca-S) e 42 kg ha⁻¹ de K

mais 88 kg ha⁻¹ de ureia em cobertura. Na semeadura o adubo foi disposto abaixo das sementes, 3 a 4 cm de profundidade e a adubação de cobertura foi realizada ao lado das linhas de plantas e incorporado com auxílio de enxada.

Foram semeadas três cultivares de canola: Hyola 433, Hyola 411 e Hyola 61, as duas primeiras de ciclo precoce e a última de ciclo médio. As semeaduras foram realizadas com auxílio de semeadora manual, entre um e dois centímetros de profundidade, de modo a garantir um estande mínimo de 40 plantas m⁻². No ano de 2014 a semeadura foi realizada em 09/06 e no ano de 2015 em 22/04. Os desbastes foram realizados no dia 18/07/15 e 18/05/14, respectivamente, visando manter um estande de 40 plantas m⁻².

O espaçamento utilizado foi de 0,50 m entre linhas e 0,05 m entre plantas, totalizando uma população de 400.000 plantas ha⁻¹. Após o desbaste, os tratos culturais constaram de capinas manuais e controle de insetos mastigadores sempre que necessário. Ocorreu ataque de pássaros nos dois anos de experimentação, utilizando-se sacos plásticos transparentes para proteger as siliquas na área útil das parcelas.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 2, sendo os fatores as três cultivares de canola e os dois sistema de drenagem do solo (com dreno e sem dreno), totalizando 24 unidades experimentais. Os níveis do fator dreno foram as parcelas principais, dentro de cada bloco, e os níveis do fator cultivar foram casualizados em subparcelas dentro de cada parcela principal. Cada unidade experimental constou de 2,5 x 5 m, totalizando 12,5 m², com 5 fileiras de plantas.

A colheita foi realizada manualmente quando os grãos, na haste principal, mudaram da cor verde para a cor marrom, colhendo-se todas as plantas das duas fileiras centrais. Em 2014 a colheita das cultivares Hyola 411 e Hyola 433 foi realizada no dia 16/10 e da Hyola 61 no dia 21/10. No ano de 2015, a colheita das cultivares Hyola 411 e Hyola 433 foi realizada no dia 27/08 e da cultivar Hyola 61 no dia 04/09. As plantas foram cortadas e armazenadas em um galpão, até que atingissem baixo teor de umidade, então foi procedida trilha e separação das impurezas.

3.2.2 Variáveis meteorológicas e balanço hídrico

Os dados diários de chuva, temperatura mínima e máxima do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar foram obtidos na Estação Meteorológica Convencional de Santa Maria (devido a falhas nos dados da estação automática) e os dados de radiação solar global na

Estação Meteorológica Automática, ambas pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada a 50 m da borda do experimento. Os dados históricos mensais de chuva, temperatura máxima e mínima do ar em Santa Maria foram obtidos na publicação de dados normais do INMET do período de 1961 e 1990, com objetivo de fazer a comparação com os anos de execução do estudo. A evapotranspiração de referência (ET_0 , mm d^{-1}) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, calculada conforme Allen et al. (1998):

$$ET_0 = \frac{0,408S(Q - G) + \frac{y 900u^2(es - e)}{T + 273}}{S + y(1 + 0,34u^2)} \quad (1)$$

em que: Q = saldo de radiação ($\text{MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$); G = fluxo de calor no solo (considerado igual a 5% do Q , $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); y = constante psicométrica ($0,066 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); u^2 = velocidade média do vento (m s^{-1}); es = pressão de saturação de vapor do ar (kPa); e = pressão parcial de vapor no ar (kPa); T = temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$); e S = Tangente à curva de saturação de vapor do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

A evapotranspiração da cultura (ET_c , mm d^{-1}) foi calculada pela equação:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad (2)$$

em que: K_c é o coeficiente da cultura e foi considerado variável de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura. Foram utilizados os valores de 0,35 da emergência ao estágio de formação de roseta e também a partir da maturação fisiológica dos grãos e 1,15 do início do ao final do florescimento (ALLEN et al., 1998). Nos subperíodos FR-IF e FF-MF os valores diários foram interpolados em função da soma térmica determinados localmente.

Para caracterizar as condições hídricas do solo foram calculados balanços hídricos sequenciais (BHS) diários durante o período de condução dos experimentos nos anos 2014 e 2015, com o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) e Pereira (2005). Utilizou-se a adaptação de Dourado Neto et al. (1999) para ponderar a variação diária da capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) ao longo do ciclo, em função do crescimento radicular da cultura.

A equação proposta por Dourado Neto et al. (1999) para determinar a CAD é uma função sigmoideal, no qual o valor de F assumido para canola foi 0,80, o mesmo utilizado por Maldaner (2012) para a cultura do girassol. Considerou-se uma CAD inicial (CAD_{in}) de 17,11 mm para a profundidade de 0,10 m e uma CAD final (CAD_f) de 34,88 mm para a profundidade de 0,20 m:

$$CAD_n = CAD_{in} + \left(\frac{CAD_f - CAD_{in}}{2} \right) \left\{ 1 - \cos \left[\left(\pi^{\left(\frac{1}{F} \right)} \cdot \frac{ST_{(n)}}{ST} \right)^F \right] \right\} \quad (3)$$

em que:

$ST_{(n)}$ é o valor de soma térmica do dia “n”;

ST é o valor de soma térmica necessária para atingir a CAD_f , considerada como 634,35 °C d, definida quando a planta atingiu o estágio de início do florescimento.

Foi considerada a profundidade radicular da canola de 0 a 20 cm (ROCHA, 2015) e assumido que a umidade do solo abaixo de 75% da CAD implicou em deficiência hídrica no solo para a cultura.

A soma térmica foi calculada utilizando-se as três temperaturas cardinais da cultura. A temperatura base foi considerada como de 5°C (LUZ et al., 2012; NANDA et al., 1995), temperatura ótima, 21°C (MORRISON, 1993) e a temperatura base superior, 27°C (BATTISTI et al., 2013; MORRISON, 1993).

O armazenamento de água no solo (Armaz, em mm) foi ajustado para considerar o crescimento do sistema radicular da cultura, pois o aprofundamento da raiz a expõe ao contato com solo mais úmido (assumido na CC) e, assim, o valor do armazenamento (Armaz) do BHS passou a ter uma nova computação:

$$Armaz = (CAD * e^{(Neg.Ac./CAD)}) + \{(PROF_n - PROF_{n-1}) * (LS - LI) * DS\} \quad (4)$$

em que:

Neg.Ac. = é o negativo acumulado do balanço hídrico sequencial da cultura, calculado a partir da diferença entre a chuva e a evapotranspiração da cultura (ETc), se este valor for menor que 0 mm;

$PROF_n$ = profundidade do sistema radicular no dia “n” em mm;

$PROF_{n-1}$ = profundidade do sistema radicular no dia “n-1” em mm;

LS = é o limite superior (CC) de umidade gravimétrica do horizonte do solo em $g\ g^{-1}$;

LI = é o limite inferior (PMP) de umidade gravimétrica do horizonte do solo em $g\ g^{-1}$;

DS = densidade do solo em $g\ cm^{-3}$.

A profundidade do sistema radicular foi calculada com a equação sigmoidal de Dourado Neto et al. (1999):

$$PROF_n = PROF_{in} + \left(\frac{PROF_f - PROF_{in}}{2} \right) \left\{ 1 - \cos \left[\left(\pi^{\left(\frac{1}{F} \right)} \cdot \frac{ST_{(n)}}{ST} \right)^F \right] \right\} \quad (5)$$

em que:

$PROF_n$ é a profundidade radicular do dia “n”;

$PROF_{in}$ = é a profundidade inicial considerada de 0,10 m;

$PROF_f$ = é a profundidade final efetiva da canola, considerada de 0,20 m.

A capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) foi determinada por Loose (2016) em área anexa ao local do experimento.

3.2.3 Avaliações de crescimento

Nos dois anos agrícolas (2014 e 2015) foi mensurada a altura de plantas (AP), o número de folhas (NF) e a área foliar (AF) de duas plantas por unidade experimental. A AP foi determinada com régua graduada, medindo-se do colo até a região apical do caule principal. O NF foi determinado pela contagem das folhas em cada planta. A AF foi determinada medindo-se a largura (L) de cada folha com uma régua milimetrada, aplicando-se em seguida a fórmula $AF = 0,88735 L^2 + 0,93503 L$, sendo que a soma da área de todas as folhas permitiu obter a área foliar por planta (TARTAGLIA et al., 2016). A AF e o NF foram mensurados no estágio de início da antese e a AP no final da antese, quando não havia mais flores no ramo principal.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias dos tratamentos, Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, em cada variável. Os dados que não atenderam as pressuposições da análise de variância foram transformados pelo

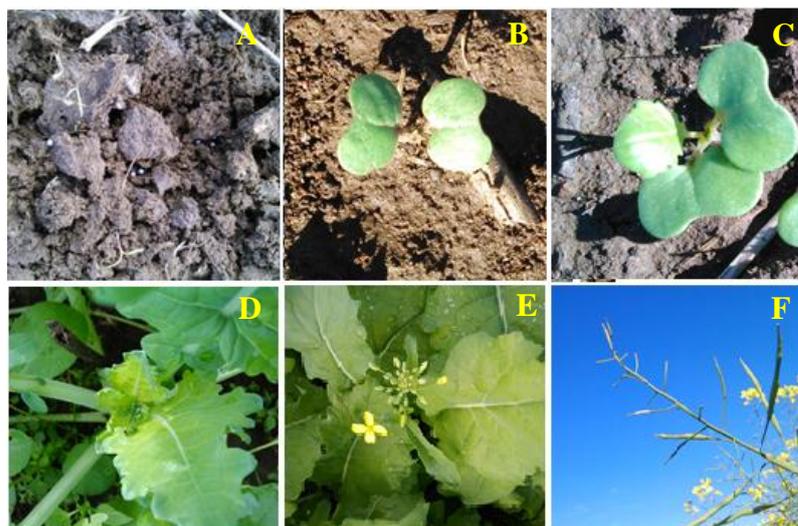
Box Cox no programa Action (EQUIPE ESTATCAMP, 2014). Posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância e quando verificado efeito significativo os mesmos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.2.4 Avaliações fenológicas

As avaliações fenológicas foram realizadas em duas plantas em cada unidade experimental, que ficaram identificadas do início ao fim do experimento, anotando-se diariamente as datas de ocorrência dos principais estádios fenológicos da cultura, como emergência (E), formação de roseta (FR), surgimento do botão floral (SBF), início da antese (IA), final da antese (FA) e colheita (C), seguindo a escala descrita por Iriarte e Valetti (2008).

A E foi caracterizada quando as duas folhas cotiledonares emergiram e se apresentaram totalmente abertas, em forma de coração (Figura 2B). A FR foi caracterizada pela emissão da primeira folha verdadeira (Figura 2C). O SBF foi caracterizado pela visualização dos botões florais no centro da roseta foliar (Figura 2D). O IA foi caracterizado pela abertura da primeira flor do ramo principal (Figura 2E) e o FA foi caracterizado pela queda da última flor no ramo principal (Figura 2F).

Figura 2 - Ilustração dos principais estádios fenológicos e da semeadura da canola avaliados a campo nos anos de 2014 e 2015, em Santa Maria, RS: A: semeadura (S), B: emergência (E), C: formação de roseta (FR), D: surgimento do botão floral (SBF), E: início da antese (IA) e F: final da antese (FA)



A duração dos subperíodos de desenvolvimento em termos de soma térmica S-E, E-FR, FR-SBF, SBF-IA, IA-FA, FA-C foi calculado pelo método da soma térmica, $STd = (T_{med} - T_b) \cdot 1d$, quando $T_b < T_{med} \leq Tot$ e $STd = (Tot - T_b) \cdot (T_{max} - T_{med}) / (T_{max} - Tot)$ quando $Tot < T_{med} \leq T_{max}$. Nessa função T_b é a temperatura base da cultura, considerada como 5°C (LUZ et al., 2012; NANDA et al., 1995), Tot é a temperatura ótima para desenvolvimento da cultura, considerada como 21°C (MORRISON, 1993) e T_{max} é a temperatura máxima do ar para o desenvolvimento da canola, considerada como 27°C (MORRISON, 1993; BATTISTI et al., 2013). A soma térmica acumulada (STa , °C d) foi calculada por $STa = \sum_n^1 STd$, onde n é a duração em dias do subperíodo de desenvolvimento.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias dos tratamentos, Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, em cada variável. Posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância e quando verificado efeito significativo os mesmos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.2.5 Avaliações ecofisiológicas

Foram avaliadas a taxa fotossintética (TF) e a condutância foliar (CF), ambas determinadas em 2 folhas em cada unidade experimental. As determinações foram realizadas no terço final folhas (incluindo a nervura central), em folhas totalmente expandidas, sem danos por doenças, perfurações ou outros danos. Para tanto, utilizou-se um sistema portátil de medição de fotossíntese (IRGA - Infrared Gas Analyzer, equipamento LCi-SD Portable Photosynthesis System) em momento próximo ao meio dia, no qual ocorre maior incidência de radiação solar e em dias sem nuvens.

No ano de 2014 foram realizadas duas avaliações, nos dias 22/09 e 02/10, aos 97 e 107 dias após a emergência (DAE) das plantas. Em 2015 foram realizadas sete avaliações, nos dias 22/05, 02/06, 12/06, 16/06, 19/06, 10/07 e 27/07, aos 30, 41, 51, 55, 58, 79 e 96 DAE.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias dos tratamentos, Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, em cada variável. Os dados que não atenderam as pressuposições da análise de variância foram transformados pelo procedimento Box Cox no programa Action (EQUIPE ESTATCAMP, 2014). Posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância e quando verificado efeito significativo os mesmos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.2.6 Componentes de rendimento de grãos

Foi determinada a produtividade de grãos (PG), o número de síliquas por planta (NSP), o comprimento de síliqua (CS), número de grãos por síliqua (NGS), massa de 20 síliquas (M20S), massa de cem grãos (MCG), massa seca da parte aérea (MSPA), teor de óleo nos grãos (TO) e rendimento de óleo (RO).

A PG foi determinada na área útil da parcela, que correspondeu a duas fileiras de plantas, totalizando 5 m², onde os grãos foram colhidos, trilhados, pesados e posteriormente a massa foi convertida para kg ha⁻¹, com correção da umidade para 10%. Apesar de ter ocorrido falhas na emergência de plantas no ano de 2014 nas parcelas cujo tratamento era o sem dreno, devido o acúmulo de água na superfície do solo pelas chuvas, apenas as plantas que estavam nas duas fileiras selecionadas foram colhidas para determinação da produtividade, não importando quantas plantas existiam.

O NSP foi determinado em duas plantas colhidas aleatoriamente por unidade experimental, calculando-se a média por planta. Para a determinação do CS, foi realizada a medição de 20 síliquas por unidade experimental (UE), medidas com régua graduada, para posteriormente calcular-se a média do comprimento das síliquas. O NGS foi determinado pela média do número de grãos de 20 síliquas. A M20S foi determinada pesando-se 20 síliquas, secas em estufa, com balança digital de precisão com resolução de três casas decimais. A MCG foi determinada pela pesagem de cem grãos, com correção da umidade para 10%.

A MSPA foi determinada colhendo-se duas plantas por unidade experimental no dia da colheita dos grãos, as quais foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 60°C por quatro dias. Após a secagem, foram pesadas em balança de precisão com resolução de três casas decimais.

Para determinação do TO dos grãos foi selecionada uma amostra composta de grãos em cada repetição, totalizando 24 amostras. De cada amostra o óleo foi extraído pelo método Soxhlet e posteriormente o TO dos grãos foi determinado em relação à massa de grãos utilizados. O RO foi estimado pela relação $PG \times TO/100$.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias dos tratamentos, Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente, pelo programa Action (EQUIPE ESTATCAMP, 2014) em cada variável. Posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância e quando verificado efeito significativo os mesmos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

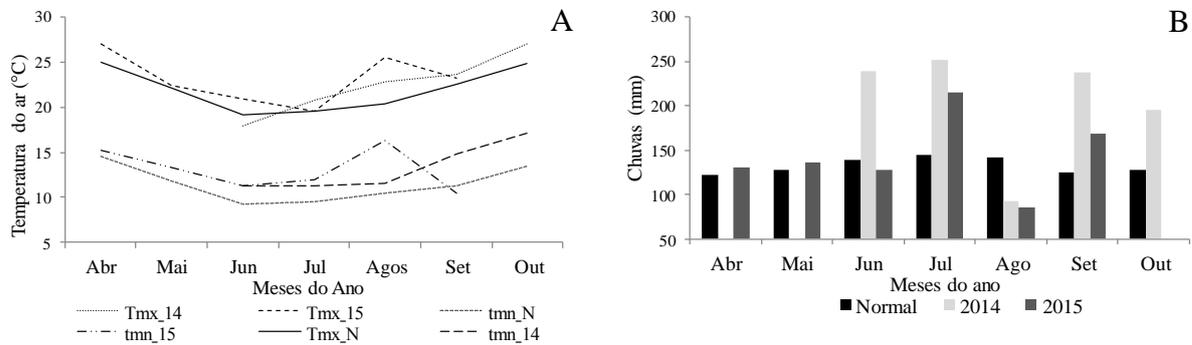
3.3.1 Variáveis meteorológicas e balanço hídrico

As temperaturas máximas (T_{mx}) do ar nos anos de 2014 e 2015 durante a execução dos experimentos foram superiores as temperaturas máximas normais do ar, sendo que no ano de 2015 as temperaturas máximas do ar durante os meses de julho a setembro ficaram bem acima das normais e das de 2014 nesse mesmo período. As temperaturas mínimas do ar (T_{mn}) seguiram a mesma tendência. Em ambos os anos (2014 e 2015) elas ficaram acima das normais para esse período e em 2015, nos meses de junho a agosto, elas foram maiores que em 2014 e que as normais mínimas (Figura 3A).

As chuvas foram muito variáveis durante os anos em que foram realizados os experimentos. No ano de 2014 choveu um total de 1014 mm durante o período experimental, sendo que nos meses de junho, julho, setembro e outubro as chuvas mensais ficaram muito acima das chuvas normais, enquanto no mês de agosto elas ficaram abaixo das normais. No ano de 2015, durante a condução do experimento, choveu um total de 625,8 mm e nos meses de abril a maio a chuva foi similar à chuva normal da região, porém, nos meses de junho e setembro choveu bem acima dos valores normais e no mês de agosto não choveu metade dos valores esperados (Figura 3B).

Em 2014 houve muitas sequências de dias chuvosos, o primeiro entre 21/06 a 06/07, com apenas dois dias nesse intervalo sem a ocorrência de chuvas, totalizando praticamente 16 dias consecutivos de chuva, que abrangeu os estádios de emergência e roseta. Ocorreram várias outras sequências de dias chuvosos, entre 08/08 e 12/08, 16/08 a 20/08, 31/08 a 05/09, 24/09 a 01/10 e 17/10 a 20/10, quando as plantas se encontravam, respectivamente, nos estádios de botão floral, início da antese, antese, maturação dos grãos e colheita. Em 2015 houve apenas um período prolongado de chuvas, entre 13/07 a 21/07, totalizando nove dias seguidos de chuva. Nesse período as plantas se encontravam entre o estágio de botão floral e início da antese. Dessa forma, o ano de 2014 teve maiores eventos contínuos de chuvas, o que possibilitou um maior número e um maior tempo de eventos de saturação do solo em todo o ciclo da cultura, inclusive no estágio de emergência e roseta.

Figura 3 - Temperatura máxima (Tmx) e mínima (Tmn) mensal do ar na área experimental no período de junho a outubro 2014 e abril a setembro de 2015 e as temperaturas do ar normais (N) de 1961 a 1990 (A); chuva total mensal de junho a outubro de 2014, abril a setembro de 2015 e as normais de 1961 a 1990 na área experimental (B). Santa Maria – RS, 2016



No ano de 2014, como a semeadura foi realizada mais tardiamente, a cultura da canola foi submetida a temperaturas do ar maiores que em 2015, principalmente na época da antese, que foi iniciada na segunda semana de agosto. No ano de 2015, as temperaturas máximas do ar foram menores que 2014, principalmente na época da antese, que iniciou na segunda semana de junho, devido à semeadura ter sido realizada em final de abril (Figura 4A e 5B).

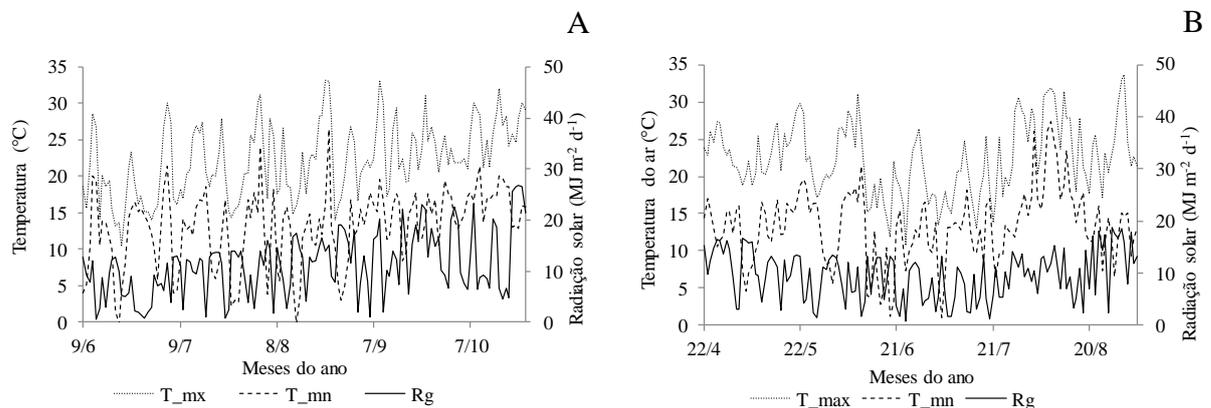
No ano de 2014, as Tmn do ar ficaram muitas vezes próximas a 15°C, ocorrendo quatro eventos de geadas, uma no mês de junho, uma em julho e duas em agosto (Figura 4A). Nesses períodos as plantas estavam, respectivamente, nos estádios de emergência, roseta, surgimento do botão floral e antese. A geada atingiu o período de antese, que segundo Dalmago et al., (2010) é de grande sensibilidade na canola, pois causa redução no número de síliquas por planta, bem como no número de grãos por síliqua, podendo levar as plantas a morte.

No ano de 2015, as Tmn do ar foram maiores no mês de agosto, com muitos períodos abaixo dos 15°C, com a ocorrência de dois eventos de geada (Figura 4B), um em junho e outro em julho. Nesses períodos as plantas se encontravam nos estádios, respectivamente, de botão floral e antese. Notou-se que quando a geada ocorreu na fase vegetativa, não houve efeito prejudicial visível nas plantas, porém quando ocorreu na fase reprodutiva, estágio inicial de formação de síliqua (um a dois cm), as mesmas escureceram e abortaram aproximadamente dois dias após a geada. Os danos por geada não foram de grande importância visto que as geadas ocorreram após pelo menos 3 dias com as plantas sob

temperaturas em torno de 10°C, possibilitando a aclimação da cultura (DALMAGO et al., 2010).

Apesar de terem ocorridos com mais frequência dias encobertos em 2014, nesse ano ocorreu maior incidência de radiação solar sobre a cultura, 1543,52 MJ m⁻² (Figura 4A), do que em 2015, 1316,44 MJ m⁻² (Figura 4B), o que se deve à sementeira de 2014 ter ocorrido em junho, com ciclo da cultura em dias mais longos, especialmente durante a primavera, apesar de ocorrer longos períodos de nebulosidade.

Figura 4 - Radiação solar global incidente na superfície (R_g , MJ m⁻² d⁻¹) e temperatura máxima (T_{mx} , °C) e mínima do ar (T_{mn} , °C) ocorridas durante o ciclo da canola em 2014 (A) e 2015 (B) em função dos meses do ano. Santa Maria – RS, 2016

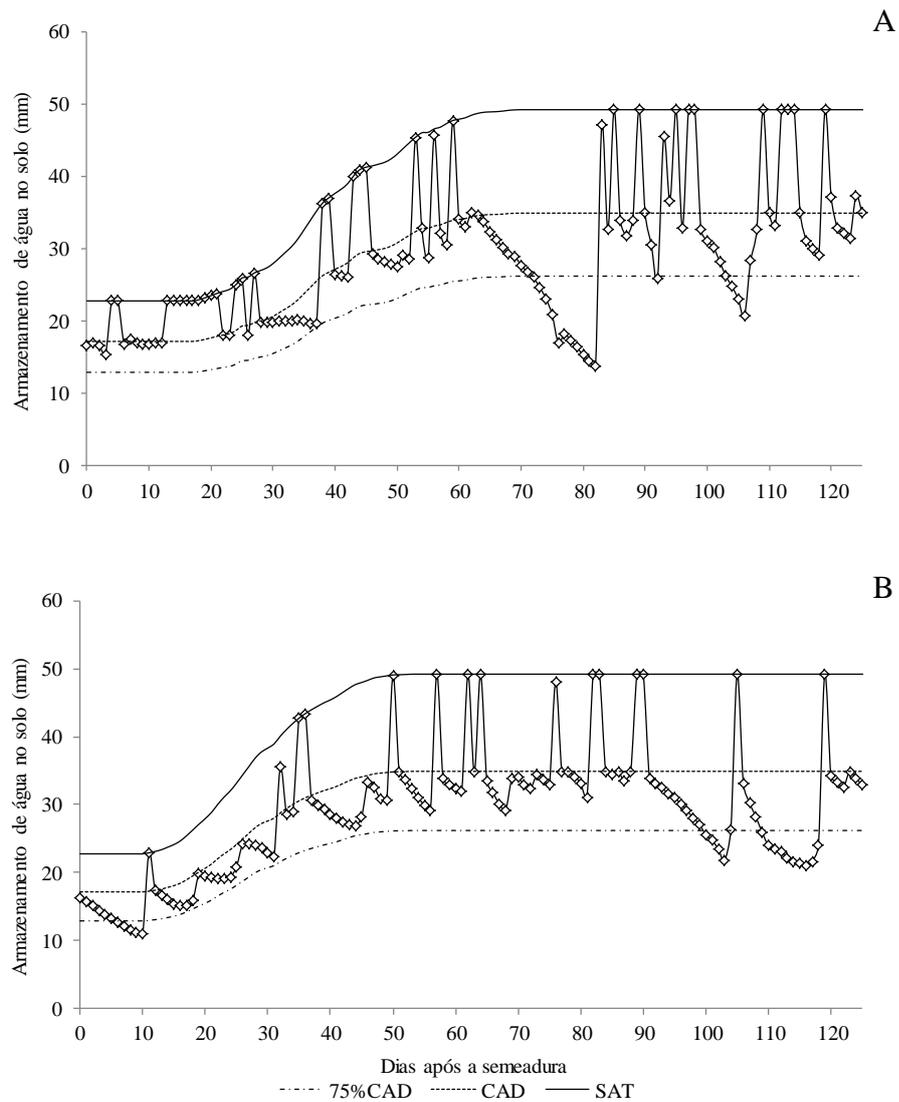


O armazenamento de água no solo foi diferente nos dois anos agrícolas estudados. Em 2014, a sementeira foi realizada quando o solo se encontrava com a capacidade máxima de armazenamento de água (CAD). Após a sementeira ocorreram vários eventos de saturação do solo, principalmente após dez dias da sementeira, quando, durante nove dias o solo permaneceu saturado (Figura 5A). Após 60 dias da sementeira ocorreu um período seco e a umidade do solo ficou abaixo de 75% da CAD (Figura 5A). Um período de excesso hídrico seguido de um período de seca pode submeter a planta a um estresse hídrico mais intenso devido ao seu sistema radicular reduzido limitar a planta a um menor volume de solo para absorção de água. Assim, a planta destina mais energia para produção de raízes, em detrimento do crescimento da parte aérea.

Diferentemente, em 2015, a sementeira foi realizada quando o solo já se encontrava um pouco abaixo da CAD, após uma chuva. Depois da sementeira, não houve eventos de chuva e a umidade do solo foi decrescendo, ficando abaixo de 75% da CAD, caracterizando

estresse hídrico. Houve apenas um evento de saturação no período inicial de estabelecimento da cultura e a maior parte do tempo o solo ficou com a umidade entre a CAD e 75% da CAD (Figura 5B), ocorrendo alguns eventos de saturação durante o ciclo da cultura. A partir dos 90 DAE ocorreu um período sem chuva e a umidade do solo baixou consideravelmente, ficando abaixo da CAD e algumas vezes abaixo de 75% da CAD (Figura 5B).

Figura 5 - Balanço hídrico sequencial diário durante o período de 09/06/2014 até 29/10/2014 (A) e durante o período de 22/04/2015 a 04/09/2015 (B) em um Argissolo Vermelho distrófico arênico cultivado com canola. Santa Maria – RS, 2016



3.3.2 Variáveis de crescimento

A interação entre cultivar e dreno não foi significativa, porém ocorreu influência dos fatores isolados sobre as variáveis de crescimento das plantas. O fator cultivar influenciou o número de folhas (NF) em 2015 e a área foliar (AF) em 2014 e 2015. O fator dreno influenciou apenas a altura de plantas (AP) nos dois anos agrícolas (Apêndice A).

As plantas de canola apresentaram maiores AP quando foram cultivadas com dreno nos dois anos agrícolas. A não drenagem do solo causou redução de 10,7 e 2,6% na AP no ano de 2014 e 2015, respectivamente, quando comparados ao cultivo sem dreno (Tabela 1). Além disso, em 2014, ano com maior quantidade de chuvas, as plantas tiveram menor altura do que em 2015, mostrando que o excesso hídrico inibe o crescimento da parte aérea na cultura da canola ao contrário do que ocorre na cultura do arroz irrigado.

Esse fato se deve provavelmente à baixa porosidade da raiz, por não formação de aerênquima, causando baixa difusão de oxigênio no sistema radicular e assim, restringindo seu crescimento e posteriormente o crescimento da parte aérea (VOESENEK et al., 1999). Redução de 50% na AP quando a canola foi submetida ao excesso hídrico do solo também foi relatada por Zou et al. (2014), confirmando o efeito prejudicial do excesso hídrico no solo no crescimento da canola.

Tabela 1 - Altura de planta (AP, cm) na cultura da canola em função de drenos em dois anos agrícolas, 2014 e 2015. Santa Maria, RS, 2016

	AP (2014)	AP (2015)
Com dreno	121,14 a	136,31 a
Sem dreno	108,18 b	132,72 b

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Nos dois anos agrícolas, 2014 e 2015, a cultivar Hyola 411 produziu maior AF e no ano de 2015 também emitiu o maior NF quando comparada as cultivares Hyola 433 e Hyola 61. As cultivares Hyola 433 e Hyola 61 foram iguais e inferiores a cultivar Hyola 411 (Tabela 2).

A AF e o NF podem ser importantes variáveis na determinação da produtividade das culturas agrícolas, visto que a produção de matéria seca pelas plantas é realizada a partir dos

fotoassimilados produzidos pelas folhas, onde o CO₂ atmosférico é transformado em carboidratos. Maior NF e AF, como na Hyola 411, podem indicar superioridade produtiva, pois há maior capacidade de assimilação do CO₂, possibilitando a planta disponibilizar mais energia para produção e manutenção de maior número de estruturas florais.

Em 2015, ano de menor volume de chuvas, ocorreu maior produção de AF que em 2014, porém, pouca diferença foi observada na PG, demonstrando a pouca importância da AF na produtividade final e evidenciando que a maior parte dos fotoassimilados utilizados no enchimento dos grãos são produzidos em outros órgãos que não as folhas, como siliquis e ramos (BERRY e SPINK, 2006).

Tabela 2 - Número de folhas (NF) e área foliar (AF, cm²) de canola em função de diferentes cultivares em dois anos agrícolas, 2014 e 2015. Santa Maria, RS, 2016

Cultivar	2014		2015	
	AF	NF	AF	NF
Hyola 411	11.608,4 a	32,0 a	25.313,8 a	32,0 a
Hyola 433	6.163,1 b	23,4 b	15.869,3 ab	23,4 b
Hyola 61	7.016,0 b	23,7 b	11.921,0 b	23,7 b

Médias seguidas por mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

O uso de dreno possibilitou a canola atingir maior AP, o que conseqüentemente pode contribuir para que as plantas atinjam maior produção de fotoassimilados na etapa final de enchimento de grãos, pois boa parte da fotossíntese após o final da antese é realizada no caule e nas siliquis, visto que as folhas da roseta entram em processo de senescência. Maior AF na fase vegetativa pode significar maior capacidade de produção de fotoassimilados pelas folhas para o desenvolvimento das estruturas reprodutivas, embora o enchimento de grãos se dê significativamente a partir dos fotoassimilados produzidos nos caules e siliquis (BERRY e SPINK, 2006).

Cultivares que apresentam maior AF e NF na fase vegetativa, como a Hyola 411, pode não exatamente apresentar maiores produtividades de grãos ou de óleo, visto que isso pode caracterizar apenas maiores gastos de energia pelas plantas. Talvez, maior número de ramos laterais e maior altura desses ramos possam melhor se relacionar com a produtividade de

grãos e de óleo, visto que são eles os responsáveis pela produção de fotoassimilados no estágio de enchimento de grãos.

3.3.3 Variáveis fenológicas

O fator dreno influenciou todos os subperíodos de desenvolvimento estudados (Apêndice B). O fator cultivar também influenciou todos os subperíodos, com exceção apenas para o surgimento do botão floral – início da antese (SBF-IA). Os fatores dreno e cultivar interagiram e influenciaram os subperíodos semeadura - emergência (S-E), emergência - formação de roseta (E-FR), formação de roseta - surgimento do botão floral (FR-SBF) e início da antese - final da antese (IA-FA) (Apêndice B).

No ano de 2014, o excesso hídrico no solo após a semeadura provocou aumento no tempo entre a semeadura e a emergência das plantas de canola no cultivo sem dreno (72,37 °C d). Quando se utilizou dreno, esse período foi reduzido para 58,64 °C d. As cultivares Hyola 411 e Hyola 433 tiveram a emergência atrasada quando foram submetidas ao excesso hídrico no solo, no entanto a Hyola 61 não foi influenciada (Tabela 3).

No cultivo drenado, a cultivar Hyola 411 teve a emergência atrasada em relação às demais cultivares estudadas. No cultivo sem dreno, a emergência foi atrasada para a Hyola 411 e Hyola 433, enquanto que a Hyola 61 foi a que emergiu mais rapidamente (Tabela 3). Apesar da Hyola 61 ter emergido mais rapidamente, foi observada nas parcelas sem dreno, grande quantidade de falhas no estande de plantas, devido ao acúmulo de água na superfície do solo.

Ao contrário do que ocorreu no subperíodo S-E, o excesso hídrico reduziu a duração do subperíodo E-FR, enquanto que os drenos proporcionaram maior duração para esse subperíodo. A cultivar Hyola 61 teve maior duração nesse subperíodo em relação às demais cultivares testadas (Tabela 3). Redução no subperíodo E-FR pode ser devido a maior duração do subperíodo S-E no sistema sem dreno. Maior duração do subperíodo de S-E permitiu que as plântulas acumulassem mais soma térmica, fazendo com que o subperíodo E-FR fosse mais rápido, devido a um efeito compensatório, o que possibilitou maior rapidez na emissão da folha definitiva.

O subperíodo FR-SBF foi maior quando a canola foi cultivada sem dreno, evidenciando que o excesso hídrico alongou a fase vegetativa na cultura. A cultivar Hyola 433 foi a mais influenciada pelo excesso hídrico, apresentando maior duração nesse subperíodo em relação às demais cultivares estudadas (Tabela 3). Maior duração nesse

subperíodo pode representar apenas gastos energéticos desnecessários para manutenção e crescimento da planta, visto que não se sabe ao certo qual a contribuição dos fotoassimilados produzidos antes da antese no enchimento de grãos (BERRY e SPINK, 2006).

O período de antese (IA-FA) da cultura também foi alterado pelo teor de umidade no solo e o excesso hídrico aumentou a duração nesse subperíodo para todas as cultivares estudadas, porém a diferença foi significativa apenas para a Hyola 433. A Hyola 433 apresentou maior período de antese, tanto com dreno, quanto sem dreno, porém sem dreno foram necessários mais 54,8 °C d para que a cultivar completasse esse subperíodo. No cultivo com dreno não ocorreram diferenças entre as cultivares estudadas (Tabela 3).

Maior duração no subperíodo de antese não é desejável na cultura da canola, visto que a duração desse subperíodo se correlaciona negativamente com a produtividade de grãos (KRÜGER et al., 2014), possivelmente devido a partir do meio do florescimento ocorrer a interceptação da radiação solar pela grande camada de flores, que absorvem e refletem a radiação solar (BERRY e SPINK, 2006), diminuindo a fotossíntese pelos tecidos verdes e assim, a planta não tem capacidade de produzir fotoassimilados suficientes para formar e manter as estruturas reprodutivas, podendo ocasionar menor produção de síliquas e grãos por área.

Além disso, durante a antese da cultura ocorreu duas sequências de dias chuvosos, um de quatro dias e outro de seis dias, o que pode ter influenciado negativamente na produtividade grãos, visto que o período de antese é considerado um período de muita sensibilidade da canola ao excesso hídrico no solo. Além do provável efeito danoso do excesso hídrico, as chuvas podem ter prejudicado a polinização das flores, que é realizada por abelhas, ocasionando aborto dessas estruturas.

Tabela 3 - Duração, em soma térmica (°C d), dos subperíodos de desenvolvimento semeadura-emergência (S-E), emergência-formação de roseta (E-FR), formação de roseta – surgimento do botão floral (FR-SBF) e início da antese-final da antese (IA-FA) em função de drenos e cultivares de canola no ano agrícola de 2014. Santa Maria, RS, 2016

		S-E		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		53,83 Ba	63,55 Ab	58,56 ABb
Sem Dreno		57,06 Ba	80,79 Aa	79,27 Aa
		E-FR		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		88,00 Aa	78,27 Ba	83,26 ABa
Sem Dreno		84,76 Aa	61,03 Bb	62,55 Bb
		FR-SBF		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		334,10 Bb	351,44 Bb	405,18 Ab
Sem Dreno		380,51 Ba	389,79 Ba	495,42 Aa
		IA-FA		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		270,47 Aa	235,50 Aa	274,61 Ab
Sem Dreno		274,54 Ba	240,28 Ba	329,41 Aa

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

O excesso hídrico no solo antecipou o início da antese, reduzindo o tempo entre o SBF-IA e também reduziu o período entre o FA-C (Tabela 4), o que permite inferir que o excesso hídrico acelera o início da antese e a maturação dos grãos de canola, reduzindo o tempo de formação e enchimento de grãos.

Essa redução no tempo de formação e enchimento de grãos pode refletir em menor produtividade de grãos e rendimento de óleo, visto que as plantas tem menor tempo para produzir fotoassimilados para formar e encher os grãos. Estudos apontam que maiores produtividades de grãos podem ser alcançadas aumentando o período entre o final da antese e a maturação fisiológica dos grãos (BERRY e SPINK, 2006; KRÜGER et al., 2014), o que

daria mais tempo para as plantas enviarem fotoassimilados para os grãos, aumentando sua massa.

A duração entre o FA-C foi em média, de 34 dias, o que representa o período que a cultura teve para enchimento dos grãos. Porém, Berry e Spink (2006) inferiram a necessidade de que as cultivares tenham 50 dias de enchimento de grãos para obterem-se maiores produtividades. Segundo os autores, o fato de ser exigido maior tempo durante a fase de enchimento de grãos é devido a menor eficiência no uso da radiação solar pelas plantas.

A menor eficiência no uso da radiação solar durante a fase de enchimento de grãos é devido a dois fatores. Primeiro, são exigidos quase o dobro de fotoassimilados para produzir um grama de grãos oleaginosos quando comparado a outras estruturas da planta (SINCLAIR e WIT, 1945). Segundo, as siliquis, que são os principais órgãos fotossintetizantes nesse período, possuem em torno de 50% da capacidade fotossintética das folhas (MAJOR, 1975). Assim, cultivares com maior período de enchimento de grãos são desejadas, visto que conseguiriam, teoricamente, produzir grãos de maior tamanho e possivelmente maior teor de óleo.

Tabela 4 - Duração, em soma térmica (°C d), dos subperíodos surgimento do botão floral - início da antese (SBF-IA) e final da antese - colheita (FA-C) da canola em função de drenos no ano agrícola de 2014. Santa Maria, RS, 2016

	SBF- IA	FA-C
Com Dreno	113,87 a	447,54 a
Sem dreno	99,89 b	399,12 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Maior duração no subperíodo FA-C, que representa o período de enchimento de grãos, foi obtido com a Hyola 411 e a Hyola 61. A Hyola 433 teve a menor duração nesse subperíodo (Tabela 5) e maior duração no subperíodo IA-FA (Tabela 3) sendo essas características indesejáveis. O contrário ocorreu com a Hyola 411, que em 2014 teve menor período de antese (Tabela 3) e, junto com a Hyola 61, teve maior período para enchimento dos grãos (FA-C), características desejáveis e que podem indicar maior potencial produtivo das cultivares, visto que eles estão correlacionados com a produtividade de grãos (KRÜGER et al., 2014), como citado anteriormente.

Esses resultados, baseados apenas na duração dos subperíodos, podem indicar que a Hyola 411 pode ser uma cultivar promissora para ser utilizada em áreas propícias a ocorrência de excesso hídrico, porém a Hyola 433 pode não ser capaz, nessas condições, de atingir todo seu potencial produtivo e a Hyola 61 seria uma cultivar intermediária.

Tabela 5 - Duração, em soma térmica ($^{\circ}\text{C d}$), do subperíodo de desenvolvimento final da antese - colheita (FA-C) em função de cultivares de canola no ano agrícola de 2014. Santa Maria, RS, 2016

Cultivar	FA-C
Hyola 61	427,55 a
Hyola 411	448,14 a
Hyola 433	394,31 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Em 2015, a duração dos subperíodos S-E, E-FR, FR-SBF, SBF-IA, IA-FA e FA-C não foram influenciados pelos drenos. O fator cultivar influenciou os subperíodos FR-SBF, SBF-IA, IA-FA e FA-C. Os fatores interagiram somente na duração do subperíodo E-FR (Apêndice C).

O cultivo da canola com ou sem dreno não alterou significativamente a duração do subperíodo E-FR, porém dentro do cultivo com dreno, a cultivar Hyola 61 teve maior duração em relação às demais cultivares estudadas. No cultivo sem dreno não ocorreu diferença entre elas (Tabela 6).

Nos dois anos de estudo a resposta na duração do subperíodo E-FR foi diferente. Em 2014 o excesso hídrico antecipou o estágio de FR, encurtando o subperíodo de E-FR. No entanto, em 2015 ocorreu o contrário, havendo uma tendência de aumento na duração do subperíodo E-FR no cultivo sem dreno em relação ao drenado. Esse fato pode ser explicado pela diferença nas chuvas ocorrida após a semeadura, que em 2014 foi em excesso e em 2015 foi provavelmente insuficiente (Figuras 5A e 5B), causando em 2014, redução na população de plantas e em 2015 desuniformidade e atraso na emergência e no estabelecimento das plantas, alongando o subperíodo, pois enquanto algumas plantas encontravam-se emergindo, outras estavam no estágio de roseta.

Esse fato possibilita inferir que a redução na duração do subperíodo E-FR ocorreu nos dois anos de estudo devido a uma possível existência de estresse, tanto por insuficiência como

por excesso de água no solo. No entanto, em 2014, o excesso hídrico com lâmina de água na superfície das parcelas sem dreno ocasionou a morte das sementes, mas em 2015 o estresse hídrico não levou as sementes à morte, apenas atrasou o processo germinativo.

Tabela 6 - Duração, em soma térmica ($^{\circ}\text{C d}$), do subperíodo de desenvolvimento emergência - formação de roseta (E-FR) em função de dreno e cultivares de canola no ano agrícola de 2015. Santa Maria, RS, 2016

	E-FR		
	Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno	91,32 Aa	59,47 ABa	49,47 Ba
Sem Dreno	60,10 Aa	77,22 Aa	74,47 Aa

Médias seguidas por letras iguais maiúscula nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Maior duração nos subperíodos FR-SBF e SBF-IA foram obtidos com a Hyola 61 e menor duração com a Hyola 411 e Hyola 433 (Tabela 7). No subperíodo IA-FA maior duração foi obtida com as cultivares de ciclo curto, Hyola 411 e Hyola 433 e menor duração com a Hyola 61. O subperíodo FA-C foi maior na cultivar Hyola 411 e menor na cultivar Hyola 433, sendo que a Hyola 61 apresentou um período de tempo térmico intermediário entre a Hyola 411 e a 433 (Tabela 7).

Maior duração no período vegetativo da Hyola 61, representado pelos subperíodos de FR-SBF e SBF-IA, pode ser devido a cultivar ser de ciclo médio, possuindo maior duração em soma térmica nesses subperíodos em relação as demais cultivares estudadas (DALMAGO et al., 2013).

Em 2014 a cultivar Hyola 411 e a Hyola 61 tiveram maior duração no período de enchimento de grãos em relação à Hyola 433 (Tabela 5), porém em 2015, maior duração foi obtida com a Hyola 411, tendo mais tempo para enchimento de grãos, o que é desejado, visto que os grãos, nesse caso, podem ser mais pesados, podendo resultar em aumento no rendimento de óleo. Em 2015 a duração da Hyola 61 foi menor mais não diferindo da Hyola 411 nem da Hyola 433.

Tabela 7 - Duração, em soma térmica (°C d), dos subperíodos de desenvolvimento formação de roseta – surgimento do botão floral (FR-SBF), surgimento do botão floral – início da antese (SBF-IA), início da antese – final da antese (IA-FA) e final da antese – colheita (FA-C) em função de cultivares de canola no ano agrícola de 2015. Santa Maria, RS, 2016

Cultivar	FR-SBF	SBF-IA	IA-FA	FA-C
Hyola 61	483,19 a	179,00 a	292,74 b	298,82 ab
Hyola 411	346,93 b	131,43 b	355,22 a	322,61 a
Hyola 433	339,58 b	146,38 b	396,90 a	287,82 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Nos dois anos de estudo, os locais foram os mesmos, porém as condições meteorológicas tornaram os ambientes diferentes, sendo essa diferença caracterizada principalmente pela distribuição e quantidade das chuvas após a semeadura (Figura 5A e 6B).

Em 2015, as condições de umidade no solo variaram em níveis dentro de uma faixa em que a água foi facilmente disponível (CAD a 0,75 CAD), com ocorrência de chuvas quando a umidade do solo atingia cerca 75% da CAD, elevando a umidade do solo a CAD ou próxima a ela, condição em que permaneceu maior parte do tempo. Por esse motivo, provavelmente, os drenos não tiveram efeito significativo sobre as variáveis estudadas no ano de 2015, pois os eventos de chuvas não ocorreram por períodos prolongados, mas concentrados em um ou dois dias seguidos, permitindo a drenagem do excesso hídrico também nos tratamentos sem dreno.

Em 2014, as chuvas foram mais frequentes e poucas vezes a umidade do solo diminuiu até 75% da CAD, tendo vários eventos de saturação e eventos sequenciais, com vários dias seguidos de saturação do solo.

Essa diferença na quantidade de chuva teve clara influência no subperíodo S-E, que permite inferir que esse subperíodo é o mais crítico para a cultura, por nele ser definida a população de plantas. Fortes chuvas e chuvas por períodos prolongados após a semeadura impediram a emergência das plantas de canola em 2014, resultando em redução na população de plantas, principalmente em locais onde ocorreu acúmulo de água na superfície do solo. A emergência ficou mais prejudicada na cultivar Hyola 61. Em 2015 ocorreu uma estiagem após a semeadura, porém quando a chuva ocorreu, as plantas emergiram e não houve redução na população de plantas, apenas atraso da emergência.

Essa redução na população de plantas em 2014 influenciou negativamente a produtividade de grãos, visto que a produtividade é calculada sobre a área de cultivo.

O excesso hídrico reduziu a duração da fase vegetativa, representada pelo subperíodo FR-SBF, o que pode levar plantas ainda imaturas para o estágio reprodutivo e ocasionar menor produção de estruturas reprodutivas. O excesso hídrico também reduz o período de enchimento de grãos (FA-C), o que pode resultar em grãos mais leves e menor produtividade, o que leva a inferir que, cultivares com maior duração no subperíodo FA-C, como a Hyola 61 e a Hyola 411, podem ser mais produtivas.

3.3.4 Variáveis ecofisiológicas

No ano de 2014 a condutância foliar (CF) medida no enchimento de grãos, não foi influenciada pelos fatores de estudo nas duas datas de avaliação. Somente a taxa fotossintética (TF) foi influenciada aos 97 dias após a emergência (DAE) das plantas, tanto pelos fatores isolados (cultivar e dreno) quanto pela interação de ambos (Apêndice D).

O uso de dreno reduziu em 38,5% a TF da Hyola 433 quando comparado ao cultivo sem dreno, porém, nas demais cultivares o dreno não influenciou a TF significativamente (Tabela 8). A redução da TF da Hyola 433 no cultivo com dreno pode ser devido à avaliação ter sido realizada após uma chuva e o solo encontrava-se com maior teor de umidade (Figura 5A), o que disponibilizou mais água para as plantas no cultivo sem dreno e foi favorável para Hyola 433.

No sistema com dreno, a maior TF foi aferida na Hyola 61, sendo que a Hyola 411 e a Hyola 433 apresentaram os menores valores de TF. No cultivo sem dreno não ocorreu diferença significativa entre as cultivares (Tabela 8). A maior TF da cultivar Hyola 61 pode ser devido seu maior ciclo, com folhas com maior atividade fotossintética aos 97 DAE, enquanto que as demais cultivares passaram a realizar a maior parte da fotossíntese nos caules e nas síliquas (MAJOR e CHARNETSKI, 1976), órgãos das plantas em que não foram feitas medidas.

Tabela 8 - Taxa fotossintética (TF, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) da cultura da canola em função de drenos e de cultivares aos 97 dias após a emergência no ano agrícola de 2014. Santa Maria, RS, 2016

	TF		
	Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno	15,60 Aa	9,34 Ba	8,54 Bb
Sem Dreno	14,00 Aa	11,91 Aa	13,90 Aa

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e iguais maiúsculas nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

No ano de 2015 a TF foi influenciada pelo fator cultivar aos 30, 79 e 96 dias após a emergência (DAE) das plantas. A CF foi influenciada aos 55 e aos 58 DAE pelo fator dreno e aos 79 e 96 DAE pelo fator cultivar (Apêndice E).

A TF não foi influenciada pelo fator dreno, possivelmente, devido ao fato de que nas datas de avaliação a umidade do solo encontrava-se em níveis próximos ou abaixo da CAD (Figura 5B). Assim, provavelmente não ocorreu deficiência de oxigênio no solo pelo excesso de água. Segundo Leul e Zhou (1998) e Zhou e Lin (1995) o excesso hídrico reduz a fotossíntese foliar, por paralisar o metabolismo radicular e a planta não conseguir absorver água, o que leva ao fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, a redução da absorção de CO_2 para realização da fotossíntese.

Maior TF na cultura da canola foi mensurada na cultivar Hyola 61 nos três períodos avaliados que apresentaram significância e foi crescente até o meio do ciclo, 79 DAE, que coincidiu com o período de antese das plantas e com umidade do solo um pouco abaixo da CAD (Tabela 9). A TF foi reduzida praticamente pela metade ao final do ciclo da cultura, aos 96 DAE, principalmente nas cultivares de ciclo precoce, Hyola 411 e Hyola 433 (Tabela 9).

Redução na TF das cultivares após 79 DAE se deve primeiramente a idade das folhas, que, até sua maturidade possuem grande atividade fotossintética. A partir de então, as folhas entram em senescência e amarelam devido à degradação da clorofila, tornando-as gradativamente incapazes de realizar a fotossíntese. Além da idade das folhas, o sombreamento, causado pelas flores, siliquis e caules em desenvolvimento, reflete ou absorve a radiação solar que seria interceptada pelas folhas (BERRY e SPINK, 2006; ROOD et al., 1984), reduzindo a TF.

Cultivares com arquitetura adequada e ramos bem distribuídos, curto período de antese, adequado número de siliquis e correto espaçamento entre plantas possibilitariam

manter por mais tempo a atividade fotossintética das folhas, por reduzir o sombreamento das folhas da roseta e até mesmo das folhas intermediárias que surgem durante o alongamento do caule, distribuindo a radiação solar mais uniformemente na planta, contribuindo com mais fotoassimilados para formação das estruturas reprodutivas, o que pode culminar em maior produtividade de grãos.

Devido à senescência das folhas basais da roseta, a maior parte do carbono utilizado no enchimento dos grãos é procedente de folhas e siliquis que aparecem após o florescimento (MAJOR e CHARNETSKI, 1976). Na cultura da canola ocorre modificação na relação fonte-dreno durante a ontogenia da planta, sendo que durante o período de produção e enchimento de grãos, as folhas, caules e siliquis contribuem com 19, 43 e 32% do carbono assimilado, respectivamente, enquanto que no período de maturação de grãos, as folhas, caules e siliquis contribuem com 17, 29 e 46% do carbono assimilado (ROOD et al., 1984). Ou seja, com o desenvolvimento das plantas, ocorre uma alteração na relação fonte-dreno, onde quem era dreno, como as siliquis novas, se transformam também em fontes na medida em que vão se desenvolvendo.

Outro fator que pode estar ligado à diferença na TF antes e após a antese pode ser a diferença morfológica das folhas. Até o alongamento do botão floral, as folhas são ovaladas e dispostas em forma de roseta. Durante e após o alongamento do botão floral, começa uma fase de transição entre folhas ovaladas e lanceoladas, chegando ao final do ciclo apenas com as folhas lanceoladas. Assim, maior TF coincide com o momento em que a planta ainda possui como maioria, folhas ovaladas, provenientes da roseta, o que possibilita hipotetizar que as folhas ovaladas da roseta possuem maior TF que as folhas que aparecem após a alongação do caule, visto que nos dias das avaliações as condições meteorológicas foram favoráveis a altas taxas fotossintéticas, com alta radiação solar, e assim, as diferenças entre cultivares são apenas devido ao genótipo.

Tabela 9 - Taxa fotossintética (TF, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) da cultura da canola em função de diferentes cultivares avaliadas aos 30, 79 e 96 dias após a emergência (DAE) no ano agrícola de 2015. Santa Maria, RS, 2016

Cultivar	TF		
	30 DAE	79 DAE	96 DAE
Hyola 61	18,63 a	20,72 a	15,44 a
Hyola 411	13,03 b	16,54 b	6,92 b
Hyola 433	16,51 ab	18,85 ab	7,07 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

A CF em 2015 foi maior no cultivo sem dreno, tanto aos 55 quanto aos 58 DAE e o uso de dreno ocasionou redução de 20 e 32%, respectivamente, na CF (Tabela 10). O cultivo com dreno reduziu a condutância foliar possivelmente devido ao menor teor de umidade no solo nos dois períodos em que se realizaram as avaliações (Figura 5B), visto que o período de cultivo de 2015 foi bem mais seco do que o de 2014. Ocorreu redução na disponibilidade de água para absorção pelas plantas no sistema com dreno, enquanto no sistema sem dreno o solo conseguiu manter maiores níveis de umidade, favorecendo a absorção pelas plantas.

Com baixa disponibilidade de água nos tratamentos com dreno, possivelmente ocorreu redução no potencial de água nas folhas, e assim, os estômatos fecharam para evitar maiores perdas de água da planta para a atmosfera, ocasionando menor CF. Redução na CF devido ao déficit de água no solo também foi observado por Issarakraisila et al. (2007) em duas espécies de brássicas, *Brassica oleracea* var. *alboglabra* e *Brassica rapa* subsp. *Parachinensis*. Esse impacto negativo do uso dreno não foi identificado nos valores de TF nessas datas, possivelmente pela grande variabilidade inerente a essas duas variáveis de resposta ecofisiológica das plantas. Interpretação semelhante pode ser obtida para os dias em que houve diferença significativa entre os tratamentos para TF, mas não para CF.

A resposta da planta ao estresse ambiental pode resultar na redução da produção de matéria seca de grãos, visto que os estômatos são as portas de entrada do CO_2 na folha para a realização da fotossíntese. Assim, variação da umidade no solo pode comprometer também a produção de matéria seca da parte aérea e de raízes, visto que quando o solo possui excesso hídrico, o sistema radicular é superficial, se concentrando nos primeiros centímetros de solo. Como no campo não se pode controlar a chuva, um período de excesso hídrico pode tornar as plantas mais suscetíveis a um período seco seguinte, pois seu sistema radicular é superficial e

como resposta à redução da umidade do solo e maior demanda atmosférica (característica de períodos de estiagem) as plantas investem na produção de novas raízes para aprofundamento no solo (ISSARAKRAISILA et al., 2007).

Em cultivos com a utilização de dreno, associado a déficit hídrico elevado pode comprometer as trocas gasosas entre a planta e atmosfera e ainda aumentar o gasto de energia para o crescimento radicular em busca de água. Cabe ressaltar que todas as medidas de TF e CF foram realizadas após as folhas terem passado por alguma aclimatação ao frio, o que pode ter alterado a eficiência fotossintética das mesmas.

Tabela 10 - Condutância foliar (CF, mol m⁻² s⁻¹) da cultura da canola em função de dreno aos 55 e 58 dias após a emergência (DAE), no ano agrícola de 2015. Santa Maria, RS, 2016

	CF - 55 DAE	CF - 58 DAE
Com Dreno	0,36 b	0,36 b
Sem dreno	0,45 a	0,53 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

A cultivar Hyola 61, aos 79 e 96 DAE, apresentou maior CF em relação as demais cultivares estudadas, mas aos 79 DAE a Hyola 433 não diferiu significativamente (Tabela 11). Como ocorreu para TF, a maior CF para cultivar Hyola 61 pode estar relacionada ao seu maior ciclo e assim maior atividade fisiológica nesses períodos enquanto as demais cultivares já se encontravam em processo de senescência das folhas da roseta, reduzindo as atividades fisiológicas nas folhas.

A maior CF na Hyola 61 aos 79 e 96 DAE está de acordo com os resultados obtidos para TF, em que foi essa cultivar que também manteve maior TF no decorrer das avaliações, (Tabela 9). Essa maior CF possivelmente possibilitou a maior TF na cultivar, visto que a maior abertura estomática possibilitou maior difusão de CO₂ para o interior da folha e maior fixação de carbono pelas mesmas (MACHADO e LAGÔA, 1994).

Tabela 11 - Condutância foliar (CF, mol m⁻² s⁻¹) da cultura da canola em função diferentes cultivares aos 79 e 96 dias após a emergência (DAE), no ano agrícola de 2015. Santa Maria, RS, 2016

Cultivar	CF - 79 DAE	CF - 96 DAE
Hyola 61	0,33 a	0,55 a
Hyola 411	0,21 b	0,28 b
Hyola 433	0,25 ab	0,26 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

No ano de 2014, devido à indisponibilidade de equipamentos não foi possível realizar avaliações ecofisiológicas durante o ciclo da cultura. Porém, em 2015 foi possível fazê-los durante grande parte do desenvolvimento das plantas. Como ocorreram menores quantidades de chuvas em 2015, durante a condução do experimento, não se pode inferir muito sobre os efeitos do excesso hídrico nas plantas, pois mesmo quando ocorreu chuva, as avaliações muitas vezes foram canceladas devido à falta de radiação solar, pois na maioria das vezes após as chuvas o céu ficou parcialmente ou totalmente encoberto pelas nuvens.

As avaliações que foram realizadas resultaram em uma tendência da Hyola 61 manter maior TF e CF durante todo seu ciclo no ano de 2015. Esses resultados revelam que a cultivar tem maior capacidade em converter o CO₂ atmosférico em carboidratos e posteriormente transformá-los em matéria seca e cultivares de ciclo médio, em condições de menor excesso hídrico, como em 2015, podem ser superiores às cultivares de ciclo precoce. Porém, não se pode afirmar o mesmo para condições de excesso hídrico, como ocorreu em 2014.

Períodos de estiagem, caracterizando déficit hídrico no solo, reduzem tanto a TF quanto a CF em folhas de canola, comprometendo a produção de matéria seca, o que pode ocasionar perdas na produção de grãos, principalmente se o problema ocorrer na formação e enchimento de grãos.

3.3.5 Componentes de rendimento de grãos

Em 2014 a massa seca da parte aérea (MSPA), a massa de 20 síliquis (M20S), o número de síliquis por planta (NSP), a massa de cem grãos (MCG) e o teor de óleo dos grãos (TO) não foram influenciados pelos fatores estudados. A produção de grãos (PG) e o rendimento de óleo (RO) foram influenciados pelos fatores isolados. Os fatores estudados

interagiram e influenciaram apenas o número de grãos por siliqua (NGS) e o comprimento de siliqua (CS) (Apêndice F).

O cultivo da canola sem dreno possibilitou obter maior NGS e maior CS para Hyola 61, porém nas demais cultivares não houve diferença significativa para nenhuma das duas variáveis (Tabela 12). O uso de dreno reduziu em 24,4% o NGS e em 13,8% o CS da Hyola 61 em relação ao cultivo sem dreno. Esse resultado provavelmente se deve à elevada quantidade de falhas no cultivo sem dreno da Hyola 61, o que resultou em menor competição intraespecífica pelos recursos do meio, como radiação solar e nutrientes, possibilitando a produção de síliquas maiores e com mais grãos. Com uso de dreno, maior NGS e maior CS foram obtidos com as cultivares de ciclo precoce, Hyola 411 e Hyola 433, sendo que a Hyola 61 obteve os menores resultados. Sem o uso de dreno não ocorreu diferença entre as cultivares estudadas (Tabela 12).

Na China, Xu et al. (2015), encontraram resultados diferentes e aferiram que o excesso hídrico de 7 dias no estágio de antese é suficiente para reduzir em 24,3% o NGS, porém os mesmos usaram uma lâmina de água acima do solo, o que possibilitou a eliminação total do oxigênio do solo. No caso atual, os eventos de excesso hídrico ocorreram naturalmente, devido às chuvas, havendo muitas vezes conservação de uma lâmina de água na superfície do solo sem dreno, fazendo com que o uso de dreno impactasse de forma positiva no NGS e no CS apenas nas cultivares Hyola 411 e Hyola 433.

Tabela 12 - Número de grãos por siliqua (NGS) e comprimento de siliqua (CS, cm) em função de drenos e de cultivares de canola no ano agrícola de 2014. Santa Maria, RS, 2016

		NGS		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		12,7 Bb	15,3 Aa	18,2 Aa
Sem Dreno		16,8 Aa	15,8 Aa	16,1 Aa
		CS		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		4,87 Bb	5,57 Aa	5,85 Aa
Sem Dreno		5,65 Aa	5,40 Aa	5,70 Aa

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Em 2014, a PG e o RO foram reduzidos quando a cultura da canola foi cultivada em condições de excesso hídrico, sem o uso de drenos (Tabela 13). A não utilização de drenos resultou em períodos com excesso hídrico no solo, que reduziu em 57,6% a PG e em 57,4% o RO na cultura da canola quando comparados com o cultivo com dreno. A principal hipótese para explicar a menor PG no cultivo sem dreno foi a redução na população de plantas, que ocorreu devido às chuvas frequentes e constantes após a semeadura (Figura 5A), comprometendo a emergência no sistema sem dreno.

Segundo Zou et al. (2014) o excesso hídrico no solo reduz a PG de canola principalmente pela redução no teor de oxigênio do solo, restringindo o crescimento da parte aérea (Tabela 1) e posteriormente comprometendo os componentes de rendimento, podendo reduzir a PG em até 50% quando comparado ao sistema com boa drenagem.

O TO não foi alterado significativamente devido ao excesso hídrico no solo, corroborando com resultados de Xu et al. (2015) na China, onde o excesso hídrico aplicado no estágio de antese também não influenciou o TO dos grãos, porém ocasionou redução no RO, possivelmente devido a menor PG nos tratamentos com excesso hídrico.

A média geral para o TO nos grãos foi de 40,9% e mesmo não ocorrendo diferença entre os cultivos com e sem dreno, o uso de dreno possibilitou uma média de 41,2% enquanto que o cultivo sem dreno a média foi de 40,5%, evidenciando uma possível tendência de o excesso hídrico reduzir o TO na canola. Entre as cultivares também não ocorreu diferença significativa, porém foi obtido maior TO com a Hyola 411 (42,5%), seguida pela Hyola 433 (41,1%) e Hyola 61 (39%).

O TO obtido nos grãos está acima da média nacional, que segundo Tomm et al. (2009) se encontra próximo de 38%. Porém, segundo Melgarejo et al. (2014), o TO em canola é variável em função da época de semeadura, sendo crescente com semeadura realizada até início de abril, ocorrendo redução seguindo uma função quadrática no TO com o atraso na semeadura após abril. Krüger (2011), trabalhando com diferentes espaçamentos, também encontrou grande variação no teor de óleo na cultura da canola, que foram de 16,6 até 37,4%.

A redução no TO com o atraso na época de semeadura pode também estar relacionado com os fatores meteorológicos, principalmente a baixa radiação solar e estresse hídrico, que limita o crescimento das plantas pela redução nas taxas fotossintéticas e acúmulo de matéria seca, resultando em menor TO dos grãos (MELGAREJO et al., 2014).

Tabela 13 - Produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) e rendimento de óleo (RO, kg ha⁻¹) da canola em função do fator dreno no ano agrícola de 2014. Santa Maria, RS, 2016

	PG	RO
Com Dreno	1516,1 a	624,6 a
Sem dreno	641,7 b	265,6 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

No ano de 2014 a maior PG e o maior RO foram alcançados pelas cultivares Hyola 433 e Hyola 411, que produziram, respectivamente, 31,6 e 25,3% mais grãos e 42,6 e 46,2% mais óleo que a Hyola 61 (Tabela 14). Os resultados inferiores da Hyola 61 se devem principalmente à maior redução na densidade de plantas, visto que a produtividade da canola é igual ao produto entre a densidade de plantas, o número de síliquas por plantas, o número de grãos por síliqua e a massa dos grãos (DIEPENBROCK, 2000). No caso da Hyola 61, houve redução mais intensa da densidade de plantas, o que prejudicou a avaliação dos componentes de rendimento de grãos no ano de 2014. Por outro lado, ficou evidente que o subperíodo da cultura mais sensível ao encharcamento do solo é semeadura - emergência das plantas.

A maior PG da Hyola 411 no ano de 2014 pode estar relacionada com a maior duração do período de enchimento de grãos (FA-C), porém, apesar da Hyola 61 também ter sido uma das cultivares com maior duração no subperíodo FA-C (Tabela 5), sua produtividade foi prejudicada principalmente pela redução na população de plantas. Como o RO é uma função da PG e do TO dos grãos e como não houve diferença significativa entre os tratamentos para o TO, os resultados de RO derivam principalmente dos resultados da PG.

Tabela 14 - Produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) e rendimento de óleo (RO, kg ha⁻¹) em função de diferentes cultivares de canola no ano agrícola de 2014. Santa Maria, RS, 2016

Cultivar	PG	RO
Hyola 61	906,9 b	343,2 b
Hyola 411	1136,3 ab	501,9 a
Hyola 433	1193,52 a	489,6 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

No ano de 2015, o número de grãos por siliqua (NGS) não foi influenciado significativamente por nenhum dos fatores estudados. A massa seca da parte aérea (MSPA), a massa de 20 síliquas (M20S) e o número de síliquas por planta (NSP) foram influenciados apenas pelo fator cultivar. O comprimento de siliqua (CS) e a massa de cem grãos (MCG) foram influenciados pelo fator cultivar e pela interação de cultivar x dreno (C x D). O teor de óleo (TO) foi influenciado pela interação de ambos os fatores. A produtividade de grãos (PG) foi influenciada pelos fatores isoladamente, enquanto o rendimento de óleo foi influenciado pelos fatores isolados e pela interação de ambos (Apêndice G).

Maior MCG foi obtida com a cultivar Hyola 411 quando foi cultivada sem dreno, ocorrendo uma redução de 8,6% na massa de grãos quando se utilizou dreno. Porém, as demais cultivares estudadas não apresentaram diferenças entre o cultivo com ou sem dreno. No cultivo sem dreno, a maior MCG foi obtida com a cultivar Hyola 411, seguida da Hyola 61 e da Hyola 433. No cultivo com dreno não houve diferença significativa entre as cultivares (Tabela 15).

A massa dos grãos é um importante componente da produtividade, visto que ela contribui diretamente na produtividade final da canola (DIEPENBROCK, 2000; XU et al., 2015). Assim, cultivares como a Hyola 411 e Hyola 61 apresentam uma tendência de maior produtividade de grãos, pois foram as cultivares que apresentaram maior peso de grãos. Porém, a PG também é composta por outros componentes e não se pode, apenas com essa variável, obter conclusões.

O maior CS foi mensurado na cultivar Hyola 411 com dreno e a falta de dreno reduziu em 13,3% o comprimento das síliquas (Tabela 15). No entanto, não ocorreu diferença significativa para as outras cultivares estudadas quando cultivadas com ou sem dreno no solo. No cultivo com dreno, maior comprimento de siliqua foi mensurado na cultivar Hyola 411, sendo 16,3 e 17,7% superior a Hyola 61 e a Hyola 433, respectivamente. No cultivo sem dreno não foi verificado diferença entre as cultivares. Maior CS pode indicar maior produção de grãos pelas mesmas, que aliado ao peso dos grãos pode contribuir significativamente para determinar a produtividade da canola. Assim, a cultivar Hyola 411 apresentou uma tendência de superioridade na PG, com síliquas maiores e grãos com maior massa.

O maior TO nos grãos foi obtido com a Hyola 61 no cultivo sem dreno, porém para as demais cultivares não houve diferença entre o uso ou não de dreno. No cultivo com dreno, o maior TO foi alcançado com a Hyola 411, sendo 6,6 e 2,7% superior a Hyola 61 e a Hyola 433, respectivamente. No cultivo sem dreno, a Hyola 61 apresentou maior TO nos grãos, sendo 8,2 e 3,8% superior à Hyola 411 e Hyola 433, respectivamente (Tabela 15). Maior TO

da Cultivar Hyola 61 no cultivo sem dreno pode ser devido primeiramente ao grau de maturação dos grãos, que provavelmente foi maior no cultivo sem dreno, visto que a emergência das plântulas foi mais rápida e mais uniforme nesse sistema, o que possibilitou, na colheita, grãos mais maduros e maiores, e assim, com maior TO. Outro fato que possivelmente contribuiu para o maior TO no cultivo sem dreno foi a menor PG, pois quanto maior a PG, menor o TO dos grãos (DUARTE et al., 2008)

O TO nos grãos é uma variável, que, junto com a PG determinam o RO. Maiores TO na Hyola 61 no cultivo sem dreno e da Hyola 411 no cultivo com dreno podem ser uma resposta a um estresse, não uma resposta genética, pois o estresse pode ocasionar aumento no teor de óleo nos grãos, embora sem ocasionar maiores RO (ALVES et al., 2013).

O uso de dreno contribuiu de forma positiva para as cultivares Hyola 411 e Hyola 433 alcançarem maior RO, proporcionando um aumento de 18 e 22% no RO, respectivamente, em relação ao cultivo sem dreno. Porém, na cultivar Hyola 61 o uso de dreno exerceu efeito contrário e seu uso reduziu em 7,8% o RO quando comparado ao cultivo sem dreno. No cultivo com dreno as cultivares tiveram resultados semelhantes, porém no cultivo sem dreno o maior RO foi alcançado pela cultivar Hyola 61 (Tabela 15).

O maior RO é objetivo a ser alcançado na cultura da canola, visto que o óleo é a fração comercial mais importante, tanto para o consumo humano, quanto para a fabricação de biodiesel. Cultivares que atinjam elevados TO e PG são desejáveis, visto que resultam em maiores RO. Nesse sentido, os melhores resultados de RO da cultivar Hyola 61 podem ser devidos ao maior TO nos grãos, principalmente no sistema sem dreno, e possivelmente a maior PG, o que refletiu em maior rendimento de óleo por hectare.

Tabela 15 - Massa de cem grãos (MCG, g (100 grãos)⁻¹), comprimento de síliqua (CS, cm), teor de óleo (TO, %) e rendimento de óleo (RO, kg ha⁻¹) de grãos de canola em função de drenos e cultivares no ano agrícola de 2015. Santa Maria, RS, 2016

		MCG		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		0,34 Aa	0,32 Ab	0,30 Aa
Sem Dreno		0,33 ABa	0,35 Aa	0,31 Ba
		CS		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		5,40 Ba	6,45 Aa	5,31 Ba
Sem Dreno		5,44 Aa	5,59 Ab	5,56 Aa
		TO		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		34,7 Bb	37,0 Aa	36,0 ABa
Sem Dreno		38,3 Aa	35,4 Ba	36,8 Ba
		RO		
		Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433
Com Dreno		560,4 Aa	543,5 Aa	568,0 Aa
Sem Dreno		607,9 Aa	460,3 Bb	465,1 Bb

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

Em 2015, a PG foi diminuída em 9,6% quando a canola foi cultivada sem dreno, evidenciando que o uso de dreno influenciou de forma positiva a produtividade da cultura da canola quando comparado ao cultivo sem dreno (Tabela 16).

Mesmo os drenos não proporcionando aumentos tão grandes na PG em 2015 quanto em 2014, seu efeito foi benéfico para cultura diante das condições meteorológicas durante o cultivo e a menor discrepância de valores entre a PG no cultivo com dreno e sem dreno se deve, em primeiro lugar, as chuvas menos frequentes e em menores quantidades em 2015 em relação a 2014 (Figura 3B), submetendo as plantas a menor estresse. Outro fato que pode ter contribuído para menor diferença na PG entre os cultivos com dreno e sem dreno em 2015 foi o estande inicial de plantas, que em 2015 não foi comprometido pelas chuvas e as cultivares emergiram uniformemente, com adequada população de plantas nas parcelas, exceto no final

do ciclo, quando as cultivares Hyola 411 e Hyola 433 tiveram seu estande de plantas diminuído devido à ocorrência de esclerotínia.

Porém, os resultados diferentes obtidos com as cultivares entre os dois anos de cultivo se devem principalmente a três fatos. Em primeiro lugar, o menor estande de plantas em 2014 para cultivar Hyola 61 no cultivo sem dreno que ocasionou menor produtividade de grãos para essa cultivar. Segundo, a esclerotínia (*Sclerotinia sclerotiorum*) em 2015, que atingiu as cultivares Hyola 433 e principalmente a Hyola 411, que apesar de obter-se bons resultados em muitas variáveis componentes de rendimento de grãos, não conseguiram se manter como as mais produtivas em 2015, como em 2014. O terceiro foi a distribuição das chuvas, que em 2014 foram maiores e com mais períodos prolongados de dias chuvosos que em 2015 (Figura 3B), o que ocasionou maior estresse às plantas.

Esses resultados permitem aferir que as cultivares Hyola 411 e Hyola 433, com maiores produtividades do que a Hyola 61 em 2014, podem ser consideradas mais tolerantes ao excesso hídrico, enquanto a Hyola 61 produziu melhor em 2015, considerado um ano com melhores condições meteorológicas e menor estresse por excesso hídrico.

Tabela 16 - Produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) de três cultivares de canola em função do fator dreno no ano agrícola de 2015. Santa Maria, RS, 2016

	PG			
	Hyola 61	Hyola 411	Hyola 433	Média
Com Dreno	1613,3	1466,7	1539,5	1539,8 a
Sem dreno	1585,4	1297,6	1289,8	1390,9 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

A cultivar Hyola 61 apresentou maior PG, porém, produziu menor MSPA, menor M20S e menor NSP em relação às demais cultivares. As Hyola 411 e Hyola 433 foram as cultivares com PG menor, porém alcançaram os maiores acúmulos de MSPA, M20S (com exceção da Hyola 433) e maior NSP. A Hyola 61 produziu 15,7 e 13,0% mais em produtividade de grãos que a Hyola 411 e Hyola 433, respectivamente. No entanto a Hyola 411 e Hyola 433 emitiram 45,9 e 37% mais siliquas por planta que a Hyola 61 (Tabela 17).

É sabido que a produtividade da canola é igual ao produto entre a densidade de plantas, o número de siliquas por plantas, o número de grãos por síliqua e a massa dos grãos

(DIEPENBROCK, 2000). Nesse contexto, apesar da Hyola 61 ter produzido menor MSPA, CS e emitido menor NSP, sua maior PG pode ser creditada principalmente a boa média de MCG e ao maior número de plantas saudáveis nas parcelas, visto que as cultivares Hyola 433 e principalmente Hyola 411 tiveram muitas plantas afetadas por esclerotínia (*Sclerotinia sclerotiorum*), o que reduziu a população produtiva de plantas na área, resultando em menor PG. Mesmo essas cultivares tendo resultados superiores em muitas variáveis componentes de rendimento de grãos, isso não foi suficiente para serem as mais produtivas.

O maior NSP e MSPA, mas menor PG obtida nas cultivares Hyola 411 e Hyola 433, pode ser explicado pelas avaliações de NSP e MSPA terem sido feitas em plantas saudáveis, o que possibilitou obter bons resultados. Porém, para determinação da PG é levado em conta toda área útil da parcela, o que incluiu a área ocupada pelas plantas doentes ou que morreram devido à doença e assim, a menor PG foi decorrente da menor população de plantas saudáveis e da falha no estande final de plantas, mesmo sendo a MCG levemente superior para a Hyola 411.

Tabela 17 - Produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), massa seca da parte aérea (MSPA, g planta⁻¹), massa de 20 siliquas (M20S, g) e número de siliqua por planta (NSP) em função de diferentes cultivares de canola no ano agrícola de 2015. Santa Maria, RS, 2016

Cultivar	PG	MSPA	M20S	NSP
Hyola 61	1599,3 a	59,3 b	1,87 ab	209,7 b
Hyola 411	1382,2 b	84,7 a	2,02 a	306,1 a
Hyola 433	1414,6 b	79,1 a	1,79 b	287,5 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro

O uso de dreno resultou em diferenças significativas no crescimento e produtividade da canola nos dois anos estudados e o uso de dreno foi decisivo para garantir maiores produtividades, principalmente no ano de 2014. Nesse ano a semeadura foi realizada mais tardiamente, no início do mês de junho e coincidiu com chuvas frequentes e intensas, que ocasionaram saturação do solo e acúmulo de água na superfície das parcelas onde se cultivou sem dreno (Figura 5A).

Em 2015 a semeadura foi antecipada e ocorreu após uma chuva, a qual foi seguida de dez dias de estiagem (Figura 5B). A falta de chuvas ocasionou progressiva redução da

umidade nas camadas superficiais do solo, alcançando níveis abaixo de 75% da CAD, o que caracterizou estresse hídrico, principalmente nos tratamentos onde o solo foi drenado, causando atraso e desuniformidade na emergência das plântulas. No sistema sem dreno, a umidade presente nas camadas superficiais do solo foi suficiente para garantir uma germinação rápida e uniforme.

As plantas que emergiram nos tratamentos sem dreno em 2014, mesmo sob frequentes eventos de excesso hídrico, se desenvolveram e produziram semelhantemente às dos tratamentos com dreno. A grande diferença foi a redução no estande inicial e posteriormente na população de plantas ocasionada pelo excesso hídrico no subperíodo S-E, principalmente na cultivar Hyola 61 em 2014. Nesse sentido é possível afirmar que, para as cultivares estudadas, o subperíodo S-E é crítico para a cultura e é necessário adotar medidas que garantam o estabelecimento inicial das plântulas, como a programação da semeadura para períodos sem previsões de chuvas prolongadas e fortes ou o uso de drenagem no solo.

Para muitos autores (BOEM et al., 1996; TOMM et al., 2009; ZHOU e LIN, 1995; ZOU et al., 2014), o excesso hídrico no solo é um fator limitante ao desenvolvimento da canola. Porém, no trabalho atual a canola não apresentou grande sensibilidade ao excesso hídrico no solo, sendo capaz de tolerar de forma aceitável o estresse por excesso de água no solo após a emergência. Uma hipótese para esses resultados é que, especialmente em 2014, o período com excesso hídrico apresentou temperaturas do ar amenas a baixas, o que deve ter reduzido a atividade dos microorganismos e o consequente consumo de O₂ do solo.

Apesar do atraso na semeadura no ano de 2014, o TO médio nos grãos de canola foi de 40,9%. Em 2015 o TO médio nos grãos foi de 36,4%, caracterizando uma redução de 11% no TO em 2015, quando comparado com o TO em 2014. Esses resultados diferem dos obtidos por Melgarejo et al. (2014) e por Tomm et al. (2004), que aferiram que o atraso na semeadura da canola ocasiona redução no teor de óleo dos grãos. Talvez o maior teor de óleo nos grãos em 2014 esteja associado ao maior estresse que as plantas sofreram devido ao maior excesso hídrico, visto que o estresse pode contribuir para aumentar o TO dos grãos (ALVES et al., 2013).

As três cultivares também apresentaram respostas diferentes às condições ambientais nos dois anos de cultivo, ou seja, mesmo a Hyola 411 produzindo maior AF, menor duração no subperíodo IA-FA e maior duração no subperíodo de enchimento de grãos (FA-C), resultando em maior PG no ano de 2014, ela não conseguiu manter os mesmos resultados em 2015, quando a Hyola 61 se sobressaiu e alcançou maior PG. Os melhores resultados de PG para Hyola 61 em 2015 podem ter ocorrido, também, pelo menor tempo de duração do

subperíodo IA-FA, maior duração do tempo no subperíodo enchimento de grãos (FA-C) além da maior eficiência fotossintética, representada pelas maiores TF durante as avaliações. No entanto, o que contribuiu negativamente com o desempenho produtivo da Hyola 411 foi o grande índice de severidade de esclerotínia nessa cultivar, visto que o cultivo foi realizado no mesmo local, nos dois anos e, assim, focos da doença em 2014 se espalharam na área em 2015 e as cultivares Hyola 411 e Hyola 433 foram mais sensíveis, o que contribuiu para menor PG.

3.4 CONCLUSÕES

O excesso hídrico no solo ocasiona alterações morfológicas, fenológicas, ecofisiológicas e produtivas, porém o uso de dreno no cultivo da canola é eficiente para que as cultivares alcancem elevadas produtividades.

O subperíodo de semeadura-emergência pode ser considerado crítico na cultura da canola quando o cultivo é realizado em locais propensos a longos períodos de excesso hídrico no solo.

As cultivares Hyola 411 e Hyola 433 podem ser promissoras para cultivo em locais com excesso hídrico. A cultivar Hyola 61 tem maior potencial produtivo em áreas sem excesso hídrico.

Cultivares com maior duração do subperíodo final da antese-colheita e menor duração do subperíodo início da antese-final da antese apresentam maior produtividade de grãos.

4 CAPÍTULO 2 – EFEITO DO EXCESSO HÍDRICO EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DE CULTIVARES DE CANOLA

4.1 INTRODUÇÃO

O excesso hídrico compõe um estresse abiótico que compromete o desenvolvimento vegetal por impedir a difusão do oxigênio para o interior do solo (BAILEY-SERRES e VOESENEK, 2008). É ocasionado principalmente por excessos de chuva, de irrigação, lençol freático superficial e má drenagem natural dos solos (SAIRAM et al., 2008), que somados com a baixa demanda atmosférica ocasionam o acúmulo excessivo de água no solo. Nessas situações, o suprimento inadequado de oxigênio às raízes é considerado o principal problema às plantas não adaptadas, principalmente por inibir a respiração celular das raízes e a produção de energia em forma de ATP (TAIZ e ZEIGER, 2013), comprometendo o crescimento radicular, da parte aérea (LIAO e LIN, 2001) e a absorção de nutrientes e água, o que ocasiona murcha das plantas (AHMED et al., 2013; LOOSE, 2013). Além disso, pode ocorrer desequilíbrio hormonal, senescência precoce de folhas e posterior morte das plantas não adaptadas a essas condições (RODRÍGUEZ-GAMIR et al., 2011).

O Rio Grande do Sul é o maior produtor nacional de canola, com possibilidade de aumento da área de cultivo, visto que a diferença entre a área cultivada no verão com a de inverno é de 6 milhões de hectares (CONAB, 2015). Porém, essas áreas cultivadas no verão muitas vezes se tornam inaptas para muitas culturas durante o inverno devido a problemas edáficos, como a baixa drenagem natural do solo e/ou lençol freático elevado.

Apesar da canola ser considerada uma cultura sensível ao excesso hídrico no solo (BOEM et al., 1996; KU et al., 2009; XU et al., 2015; ZHOU e LIN, 1995), estudos recentes na China tem apontado essa cultura como alternativa de cultivo em áreas com excesso hídrico, como nas margens do rio Yangtze, cujo principal cultivo é o arroz irrigado. Têm-se descoberto cultivares tolerantes ao excesso hídrico, como a ZS9 (YONG et al. 2010; ZOU et al., 2013; ZOU et al., 2014) que apresenta baixa redução na produtividade quando cultivada em solo com excesso hídrico (ZOU et al., 2014). No entanto, no Brasil, as cultivares, o clima e o solo são diferentes daqueles da China, o que torna necessário o desenvolvimento de pesquisas visando testar as cultivares nessas condições, avaliando a resposta agrônômica e a possibilidade de inserção da canola nessas áreas.

Além da seleção de cultivares, determinar o estágio fenológico e o tempo de tolerância da canola ao excesso hídrico se torna necessário, visto que pode determinar maior ou menor

tolerância da cultivar. Em canola de inverno, Zhou e Lin (1995) aferiram que o estágio de roseta é o mais suscetível ao excesso hídrico prolongado no solo, seguidos do estágio de aparecimento do botão floral e formação de siliquis. Porém, Ku et al. (2009) aferiram que apesar do excesso hídrico na fase vegetativa reduzir a condutância estomática e a taxa fotossintética, os maiores efeitos são observados quando o estresse é aplicado na fase reprodutiva, causando além da redução da condutância e da taxa fotossintética, redução no crescimento de brotos e posterior morte das plantas após 2 semanas de exposição ao excesso hídrico.

A duração do excesso hídrico é um fator importante e segundo Boem et al. (1996), um período de apenas 3 dias sob condições de excesso hídrico no solo é suficiente para reduzir significativamente a produtividade de grãos de canola. Nesse sentido, determinar o estágio de maior sensibilidade e o tempo de excesso hídrico tolerado pelas cultivares utilizadas no Brasil é importante, visto que se pode fazer melhor planejamento da data de semeadura e até mesmo aumentar as áreas aptas para cultivo por meio do zoneamento agrícola, possibilitando financiamentos agrícolas em áreas antes consideradas impróprias para a cultura. Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar o estágio de desenvolvimento de maior sensibilidade da canola e o período de excesso hídrico necessário para comprometer a emergência, o crescimento e os componentes de rendimento de grãos da cultura.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação em dois locais, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria (29° 43' 23" S; 53° 43' 15" W; 95 m) e no Instituto Federal Farroupilha (IFF), campus São Vicente do Sul (29°42'21" S; 54°41'39" W; 129 m), RS, no ano de 2015. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida.

4.2.1 Caracterizações dos ambientes, descrição dos tratamentos e delineamento experimental

Em Santa Maria (SM), o experimento foi conduzido em uma casa de vegetação com 10 m de comprimento, 4,5 m de largura, 2,5 m de altura na cumeeira e 2 m nas laterais, com cobertura de polietileno transparente e laterais fechadas com tela antiafídica, orientada no sentido norte-sul. Em São Vicente do Sul (SVS), o experimento foi conduzido em casa de vegetação com 50 m de comprimento, 10 m de largura e 2,5 m de altura na cumeeira e 2,3 m nas laterais, com cobertura de polietileno transparente e as laterais abertas. Em SM as temperaturas do ar dentro da estufa atingiram elevados valores, principalmente a partir do início da antese das plantas, devido as laterais serem fechadas com tela antiafídica.

Em SM e em SVS utilizaram-se vasos com 24,5 e 19,0 cm de diâmetro nas bordas superior e inferior, respectivamente, e 22,5 cm de altura. Cada vaso foi preenchido com solo até a altura de aproximadamente 17 cm, deixando-se uma borda livre de 5 cm. O solo utilizado para preenchimento dos vasos foi peneirado, homogeneizado e corrigido de acordo com análise química, sessenta dias antes da semeadura e solarizado pelo mesmo período antes do enchimento dos vasos. Em SVS os procedimentos foram semelhantes, com exceção da solarização, que não foi realizada e do preenchimento dos vasos, que foi realizado até a borda superior.

Cada vaso foi preenchido com solo e foi colocado dentro de um balde com dimensões maiores que a sua (Figura 1). No fundo interno de cada balde foram colocados calços de madeira, sobre os quais foram apoiados os vasos com solo, que ficaram suspensos a 3,0 cm do fundo para possibilitar a drenagem de água quando necessária. Nos tratamentos com excesso hídrico, a água foi colocada dentro do balde, submergindo parte do vaso, complementando-se

a saturação com irrigação sobre o vaso sempre que necessária. Em SVS a irrigação foi realizada com gotejamento e em SM foi realizada manualmente.

Figura 1 - Unidade experimental usada no experimento realizado em Santa Maria (A) e a utilizada em São Vicente do Sul (B), correspondendo ao vaso com solo, dentro do balde que recebeu água para caracterizar o excesso hídrico



O nível da água durante a aplicação do tratamento de excesso hídrico foi mantido por meio de uma perfuração de 3 mm de diâmetro na borda lateral de cada balde na altura de 15 cm. Dessa maneira, o nível da água ficou mantido em torno de 2 cm abaixo das sementes, caracterizando assim, uma condição de excesso hídrico no solo (LOOSE, 2013). Em SM os vasos foram enumerados de 1 a 100 e em SVS de 1 a 84, os quais foram casualizados e dispostos em bancadas de 50 cm de altura, em 2 fileiras simples em cada bancada.

Nos tratamentos que receberam excesso hídrico, a água foi aplicada diretamente sobre o solo do vaso e dentro dos baldes, ambos diariamente e até duas vezes por dia, quando a demanda atmosférica foi alta, mantendo a água dentro dos baldes ao nível de 15 cm, delimitado pelo orifício. Terminado o período de excesso hídrico, a água foi retirada do balde, permitindo a drenagem do excesso através dos furos no fundo do vaso. A umidade dos demais tratamentos que não foram o excesso hídrico foi mantida próxima à capacidade de campo por irrigações diárias.

O delineamento experimental utilizado em SM foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições, em esquema fatorial 4 x 5, sendo os fatores estágio fenológico e períodos de excesso hídrico, totalizando 100 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi representada por um vaso plástico com duas plantas. Em SVS utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial com tratamento adicional 5 x 4 + 1, sendo cinco

estádios fenológicos, quatro períodos de excesso hídrico e um tratamento adicional, sem excesso hídrico, com 4 repetições, totalizando 84 unidades experimentais. Na análise dos dados em SVS, verificou-se grande variação entre as repetições dos tratamentos, sendo que se observou um padrão de ocorrência de uma repetição discrepante das demais. Por conta disso, decidiu-se eliminar da análise a repetição mais discrepante de cada tratamento e as análises foram feitas sobre as três repetições restantes. Sendo assim, o esquema final foi o fatorial $5 \times 4 + 1$, com 3 repetições, totalizando 69 unidades experimentais avaliadas.

O fator qualitativo, estágio fenológico, foi composto por três estádios de desenvolvimento da canola em SM, sendo eles formação de roseta (FR), início da antese (IA) e final da antese (FA), mais a aplicação do excesso hídrico no momento da semeadura (S). Em SVS o excesso foi aplicado na semeadura (S) e em quatro estádios de desenvolvimento, referentes aos citados anteriormente, mais o estágio de emergência (EM). Assim, em SM o fator estágio fenológico foi composto por três níveis (S, FR, IA e FA) e em SVS foi composto por 5 níveis (S, EM, FR, IA e FA). A EM foi caracterizada pelo momento em que ocorreu a abertura das duas folhas cotiledonares acima da superfície do solo. A formação de roseta (FR) foi caracterizada pela emissão da primeira folha definitiva. O início da antese (IA) foi caracterizada pela abertura da primeira flor e o final da antese (FA) pela queda da última flor no caule principal (IRIARTE e VALETTI, 2008).

O fator quantitativo, período de excesso hídrico, foi composto por 5 períodos de excesso hídrico contínuo no solo: 0, 24, 48, 96 e 192 horas, aplicados em cada nível do fator estágio fenológico, quando 50% das plantas mudavam para o estágio fenológico desejado. O excesso hídrico foi mantido em cada vaso pelo período correspondente de cada tratamento. Após a retirada do excesso, a planta foi conduzida como as demais, sem excesso hídrico.

4.2.2 Instalação e condução

A semeadura foi realizada com o solo em condições de capacidade de campo no dia 28/05/15 em SM, com o híbrido Hyola 411 e no dia 08/05/15 em SVS com o híbrido Hyola 433, ambos com poder germinativo de 87% e a semente disposta a uma profundidade média de 1 cm. Em cada vaso foram semeadas 10 sementes, cinco em cada extremidade lateral e oposta dos vasos em SM e 8 sementes, quatro em cada extremidade lateral e oposta dos vasos em SVS. Foram utilizadas sementes tratadas com fungicidas e após a semeadura iniciou-se a aplicação dos tratamentos de excesso hídrico nas unidades experimentais nos quais o tratamento de excesso hídrico foi na semeadura.

Em SM, a adubação foi realizada no dia 18/06, aplicando-se 6 g vaso⁻¹ do formulado 5-20-10-7-5 (N-P-K-Ca-S) e a adubação de cobertura, no dia 08/07/15, quando as plantas apresentavam quatro folhas definitivas, aplicando 4 g vaso⁻¹ do formulado 5-20-10-7-5 (N-P-K-Ca-S) mais 2 g vaso⁻¹ de ureia. Em SVS, a adubação de base foi realizada para uma expectativa de rendimento de 1500 kg ha⁻¹. A adubação de cobertura foi realizada quando as plantas emitiram a quarta folha definitiva, aplicando-se 30 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. Os adubos foram diluídos em água e aplicados no solo em volta das plantas.

O desbaste foi realizado quando as plantas apresentaram duas folhas definitivas, deixando-se uma planta por cova e duas plantas por vaso, conduzidas assim até a colheita. A colheita foi realizada no dia 07/10/15 (129 dias após a semeadura) em SM e no dia 09/09/15 (121 dias após a semeadura) em SVS, colhendo-se as duas plantas de cada unidade experimental.

Os dados meteorológicos, temperatura mínima e máxima do ar foram obtidos do arquivo da Estação Meteorológica convencional de Santa Maria e os dados de radiação solar global medido na Estação Meteorológica Automática, ambas pertencentes ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET), cedidos pelo INMET e obtidos trimestralmente do sítio eletrônico deste órgão governamental.

4.2.3 Índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência

Nos dois locais de estudo foram determinados a porcentagem de emergência (PE) e o índice de velocidade de emergência (IVE). Para determinar a porcentagem de emergência, foram realizadas contagens diárias do número de plantas emergidas desde a emergência da primeira planta, quando a primeira plântula apresentou as folhas cotiledonares abertas, até a estabilização, quando não ocorreu mais emergência de plantas. Com o número final de plantas emergidas foi determinada a porcentagem de emergência, com valor corrigido em função do poder germinativo das sementes de 87%. O IVE foi calculado utilizando-se a equação proposta por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{N_1}{D_1} + \frac{N_2}{D_2} + \dots + \frac{N_n}{D_n} \quad (1)$$

em que, N1 é o número de plantas emergidas na primeira contagem; D1 é o número de dias após semeadura para a primeira contagem; Nn é o número de plantas emergidas na última contagem; Dn é o número de dias após semeadura para a última contagem.

4.2.4 Componentes do rendimento de grãos

No dia da colheita, as plantas foram cortadas rente ao solo e determinado em cada planta do vaso o número de siliquas (NSP). Após, as plantas foram armazenadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar por dez dias, quando foram retiradas e determinou-se a massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade de grãos por vaso (PG), o comprimento de siliquas (CS), número de grãos por síliqua (NGS), massa de 20 siliquas (M20S) e a massa de cem grãos (MCG).

A PG foi determinada nas duas plantas de cada vaso, com correção da umidade para 10%. O CS foi determinado medindo-se o comprimento de 20 siliquas escolhidas aleatoriamente das duas plantas, fazendo-se, posteriormente, a média do comprimento das siliquas. O NGS foi determinado por contagem de grãos em 10 siliquas e depois realizado a média dos valores. A M20S foi determinada pesando-se as mesmas 20 siliquas, secas em estufa, citadas anteriormente em balança digital com resolução de três casas decimais. A MCG foi determinada pela pesagem de cem grãos em balança digital com resolução de três casas decimais, com correção da umidade para 10%. Em SVS foram determinados apenas o NSP, a massa de mil grãos (MMG) e a PG.

Os dados de cada variável foram submetidos ao teste de normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias dos tratamentos, Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Os dados que não atenderam a essas pressuposições foram transformados por $\log(x)$ e utilizados para as análises. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e quando verificado efeito significativo, os dados referentes ao período de excesso hídrico foram submetidos à análise de regressão e os dados referentes aos estádios fenológicos foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Quando ocorreu interação, foi realizado o desdobramento dos períodos de excesso hídrico dentro de cada nível de estágio fenológico, utilizando o programa estatístico R (RCT, 2013). Os dados de SVS foram inicialmente submetidos à análise de variância com teste de contraste entre o tratamento testemunha (tratamento adicional) e os demais tratamentos. Após foi realizado a análise de variância e os demais testes conforme citados acima apenas com os dados do

tratamento com excesso hídrico (sem o tratamento testemunha, que foi sem excesso hídrico) com o programa R (RCT, 2013).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

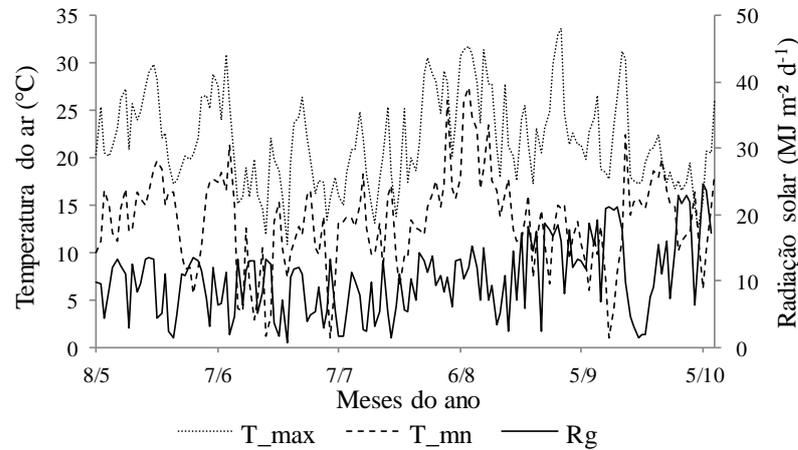
Durante os primeiros 32 dias após a semeadura (DAS) (dia 08/05/15 até 10/06/15) as temperaturas máximas (T_{mx}) e as temperaturas mínimas (T_{mn}) do ar foram elevadas em SM (Figura 2). Entre 33 e 78 DAS (dia 11/06/15 até 26/07/15) ocorreu redução das T_{mx} e das T_{mn} e uma pequena redução da radiação solar global (R_g). Porém, dos 79 aos 130 DAE (27/07/15 até 15/09/15) as temperaturas do ar, tanto as mínimas como as máximas, ficaram bem elevadas, ocorrendo uma redução das mínimas após 130 DAE. No entanto as T_{mx} do ar e a radiação solar se mantiveram altas nesse último período. Após os 127 DAE (12/09/15) as mínimas começaram a aumentar novamente (Figura 2).

Em SM esse período de maiores temperaturas do ar, a partir dos 78 DAE (26/07/15), coincidiu com o alongamento do botão floral e se prolongou pelo restante do ciclo da canola. Esses valores de T_{max} e de T_{mn} foram obtidos junto à estação meteorológica, situada a 75 m da casa de vegetação, porém, no interior da mesma, as temperaturas do ar foram maiores devido às laterais fechadas com tela antiafídica dificultar a movimentação do ar e a cobertura plástica impedir as trocas turbulentas para remoção de calor do interior da estufa.

Em SVS esse período de maiores temperaturas do ar coincidiu com a antese das plantas e também se prolongou até o final do ciclo. Porém, como lá as laterais foram mantidas abertas, as temperaturas do ar provavelmente não foram tão elevadas no interior da estufa quanto em SM.

A T_{max} do ar provavelmente exerceu efeito negativo no desenvolvimento da canola, visto que a medição foi realizada fora da estufa e provavelmente no interior da estufa foram maiores, o que pode ter interferido na produtividade de grãos, pois temperaturas do ar acima de 27°C são limitantes para a cultura, por prejudicar a polinização (MORRISON, 1993; BATTISTI et al., 2013), podendo causar aborto de órgãos reprodutivos. A T_{mn} ficou abaixo de 10°C fora da estufa, porém no interior ela pode ter se aproximado dos 15°C, o que possivelmente levou à aclimatação das folhas às baixas temperaturas do ar pela exposição frequente, reduzindo os danos que eventualmente poderia ocorrer nas plantas devido à ocorrência de geadas (DALMAGO et al. 2010).

Figura 2 - Radiação solar global incidente na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), temperatura máxima (T_{max}) e temperatura mínima do ar (T_{mn}) em $^{\circ}\text{C}$, ocorridas durante o ciclo da canola em função dos meses do ano. Santa Maria - RS



4.3.1 Índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência

O excesso hídrico no solo influenciou o índice de velocidade de emergência (IVE) tanto em Santa Maria (SM) quanto em São Vicente do Sul (SVS), no entanto não exerceu influência sobre a porcentagem de emergência nos dois locais de estudo (Apêndice H).

Em SM, o IVE decresceu exponencialmente com o aumento no período de excesso hídrico no solo, sendo máximo sem excesso hídrico (5,67) e mínimo com a aplicação de 192 h de excesso hídrico (0,85). O maior período de excesso hídrico no solo (192 h) reduziu em 85% o IVE quando comparado ao tratamento sem a aplicação de excesso hídrico (Figura 3A) e um período de apenas 24 horas de excesso hídrico reduziu em 21,3% o IVE. Resultados semelhantes foram obtidos por Loose (2013) na cultura do girassol, em que o aumento nos períodos de excesso hídrico no solo de zero para 240 h reduziu exponencialmente o IVE, sendo que o período de 48 h de excesso hídrico foi suficiente para comprometer e reduzir o IVE.

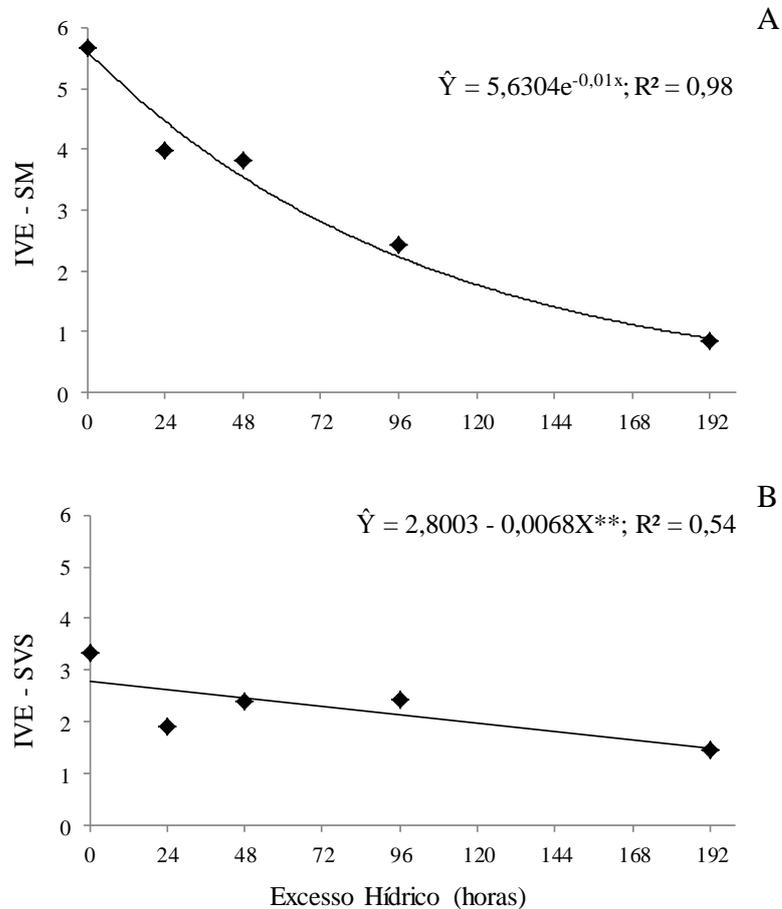
Em SVS os resultados foram semelhantes, ocorrendo decréscimo linear do IVE com o aumento do período de excesso hídrico no solo, sendo máximo sem excesso hídrico (3,33) e mínimo com a aplicação de 192 h de excesso hídrico (1,46). O maior período de excesso hídrico no solo (192 h) reduziu em 46,4% o IVE de plântulas canola quando comparado ao tratamento sem excesso hídrico (Figura 3B) e um período de apenas 24 h de excesso reduziu em 5,8% o IVE.

O IVE em solos com excesso hídrico reflete o vigor das sementes, ou seja, a capacidade que as sementes têm para uma rápida emergência e estabelecimento em condições desfavoráveis. Assim, o excesso hídrico no solo reduz o vigor das sementes de canola e isso pode culminar em redução do estande de plantas se o excesso hídrico persistir por muitos dias devido a chuvas frequentes, baixa demanda atmosférica, solos mal drenados ou com lençol freático elevado, causando a morte das plântulas por falta de oxigênio no solo.

Apesar de ocorrer tendência de redução do IVE com aumento do período de excesso hídrico nos dois locais, em SM ela foi mais acentuada, indicando que a Hyola 433 é mais tolerante ao excesso hídrico no solo durante a emergência. Embora em SM utilizou-se duas sementes a mais por vaso do que em SVS, o que tem efeito nos valores do IVE, a grande diferença entre os coeficientes lineares das curvas indica que as sementes da Hyola 411 apresentavam maior vigor, haja visto que, sob ausência de excesso hídrico, o IVE foi de 5,63, enquanto que em SVS para Hyola 433 ele foi de apenas 2,80.

Cultivares que são capazes de manter alto IVE sob condições desfavoráveis, como a Hyola 433, podem ser consideradas mais tolerantes ao excesso hídrico, podendo-se utilizar o índice de vigor, que integra a taxa de sobrevivência e o vigor do crescimento após o excesso hídrico, para selecionar cultivares de canola tolerantes ao excesso hídrico no solo em fase inicial de desenvolvimento com grande confiabilidade (YONG et al., 2010). A seleção de cultivares de canola tolerantes ao excesso hídrico a partir de testes de germinação pode ser uma opção barata e eficaz, visto que a tolerância é uma característica transmitida durante a ontogenia da planta (ZOU et al., 2014).

Figura 3 - Índice de velocidade de emergência (IVE) em função de período de excesso hídrico no solo em Santa Maria (A) e em São Vicente do Sul (B), Santa Maria, RS, 2016



Apesar de ter ocorrido grande redução no IVE, não ocorreu diferença na porcentagem de germinação. O que se notou durante a condução do experimento foi atraso no tempo de emergência das plantas quanto mais longo foi o período de excesso hídrico. Porém, as sementes mantiveram-se viáveis, visto que, alguns dias após a remoção do estresse ocorreu a emergência das plantas. Essa capacidade das cultivares Hyola 411 e Hyola 433 manterem alta porcentagem de emergência quando submetidas ao excesso hídrico pode estar ligada ao teor de melanina do tegumento das sementes, pois quanto maior o teor de melanina (mais escuro o tegumento) mais lenta é a absorção de água e menor é a perda de solutos pelas sementes (ZHANG et al., 2008), explicando a demora na emergência, sem a perda de viabilidade.

O principal problema que causa redução no IVE de plântulas de canola é a redução no teor de oxigênio no solo, que inibe ou reduz temporariamente a atividade fisiológica das sementes por falta de oxigênio para o processo respiratório, reduzindo a velocidade de

germinação e conseqüentemente a emergência das plântulas. No entanto, após a remoção do estresse, o oxigênio retorna ao solo, dando prosseguimento ao processo germinativo. Por isso é importante a programação da semeadura para períodos que não ocorram chuvas abundantes por longos períodos. Esses resultados corroboram com aqueles obtidos a campo no ano de 2014 (primeiro capítulo dessa dissertação), em que nas parcelas sem drenagem houve grande desuniformidade na emergência, com elevada quantidade de falhas, devido ao excesso de chuvas. Isso indica que, mesmo com elevado teor de melanina, se o período de excesso hídrico for muito prolongado, ocorre desuniformidade no estande devido às falhas na germinação e emergência.

4.3.2 Componentes de rendimento de grãos em Santa Maria

O estágio fenológico de aplicação do excesso hídrico influenciou o número de síliquas por planta (NSP) e a produtividade de grãos (PG). O excesso hídrico (EH) influenciou a massa seca da parte aérea (MSPA) e a produtividade de grãos (PG). Os fatores interagiram sobre a MSPA, o NSP e a PG (Apêndice I).

A MSPA se ajustou ao modelo linear quando o excesso hídrico foi aplicado na semeadura (S), ocorrendo aumento na MSPA com o aumento no tempo de exposição da cultura ao excesso hídrico. Quando o excesso hídrico foi aplicado no início da antese (IA), os valores também se ajustaram ao modelo linear, porém a MSPA foi decrescente com o aumento no tempo de exposição da cultura ao excesso hídrico (Figura 4A).

O excesso hídrico de 192 h contínuas, aplicado na S, possibilitou um aumento de 21,2% na MSPA em relação à testemunha. Por outro lado, o excesso hídrico de 192 h contínuas aplicado no IA reduziu em 22,9% a MSPA quando comparado à testemunha (Figura 4A). Resultados semelhantes foram obtidos por Boem et al. (1996), que relatou redução na MSPA de canola a partir de três dias de excesso hídrico no solo, aplicado no estágio de roseta (4 folhas) e no enchimento de grãos, sendo que quanto maior o período de exposição da cultura ao estresse, maior foi a redução da MSPA, a qual foi mais intensa quando o excesso hídrico foi aplicado no estágio de roseta.

Mesmo as médias da MSPA, quando o excesso foi aplicado no estágio de FR e no FA, não terem se ajustado a nenhum modelo matemático testado (linear, quadrático, exponencial e potencial), ocorreu uma tendência de redução na MSPA com o aumento no tempo de exposição da cultura ao estresse. O excesso hídrico de 192 h contínuas reduziu em 7,6 e 1% a MSPA da canola quando foi aplicado no estágio de FR e FA, respectivamente (Figura 4A).

Resultados semelhantes foram obtidos por Issarakraisila et al. (2007), que trabalhando com duas espécies de brássicas relataram redução de 81% na MSPA quando as plantas foram submetidas a excesso hídrico no solo no estágio de roseta (com 4 a 6 folhas).

O modelo linear se ajustou ao NSP em função do tempo de excesso hídrico aplicado na S, sendo crescente com o aumento no tempo de exposição da cultura ao excesso hídrico. Um período de 192 h de excesso proporcionou um aumento de 46,4% no NSP. Apesar de o NSP, em função dos períodos de excesso hídrico nos estádios de FR, IA e FA não terem se ajustado a nenhum modelo matemático testado, houve, principalmente no estágio de FR, uma tendência de redução no NSP com o aumento no tempo de exposição da canola ao excesso hídrico (Figura 4B).

Quando a canola foi exposta a 192 h contínuas de excesso hídrico no estágio de FR, ocorreu uma redução de 26,5% no NSP quando comparado com a testemunha (Figura 4B). Resultados semelhantes foram obtidos por Leul e Zhou (1998) e Zhou e Lin (1995) com canola de inverno, ocorrendo uma redução de 28,2 e 14,2%, respectivamente, no NSP quando o excesso hídrico foi aplicado no estágio de roseta (5 folhas). Quando o excesso hídrico foi aplicado no estágio FR, no IA e no FA a média do NSP foi, respectivamente, 129, 143 e 151 siliquis por planta. A menor redução na média do NSP quando o excesso hídrico foi aplicado no FA, se deve, possivelmente, as siliquis já estarem formadas, não ocorrendo aborto de siliquis. Isso evidencia que nesse estágio, os efeitos negativos do excesso hídrico são menores para a planta do que na FR, quando a produção das plantas está sendo definida.

Quando o excesso hídrico foi aplicado no IA por 192 h, ocorreu uma redução de apenas 5,2% no NSP comparado com a testemunha. Embora no presente trabalho ocorreu menor redução, esses resultados corroboram com os obtidos na China por Xu et al. (2015), que aferiram que o excesso hídrico de sete dias aplicado no IA reduziu em média 24,3% o NSP e também com os obtidos por Ku et al. (2009), que encontraram uma redução de 65,9% no NSP quando o excesso hídrico de 10 dias foi aplicado no estágio reprodutivo da canola, quando as plantas estavam com 3 e 5 meses.

Os valores da PG com aplicação de excesso hídrico na S e no FA não se ajustaram a nenhum modelo matemático testado, porém, a aplicação do excesso hídrico na S tendeu a aumentá-la (Figura 4C), bem como a MSPA e o NSP (Figura 4A e 4B). Quando o excesso hídrico foi aplicado nos estádios de FR e IA, a PG foi reduzida linearmente com o aumento no tempo de exposição da canola ao excesso hídrico e o período de 192 h ocasionou menor PG (Figura 4C). Os estádios de FR e IA na cultura da canola podem ser considerados os mais sensíveis ao excesso hídrico no solo após a emergência das plantas, pois a aplicação de 192 h

de excesso ocasionou uma redução de 42,7 e 30,7% na PG, respectivamente, quando comparados à testemunha, sem excesso hídrico (Figura 4C).

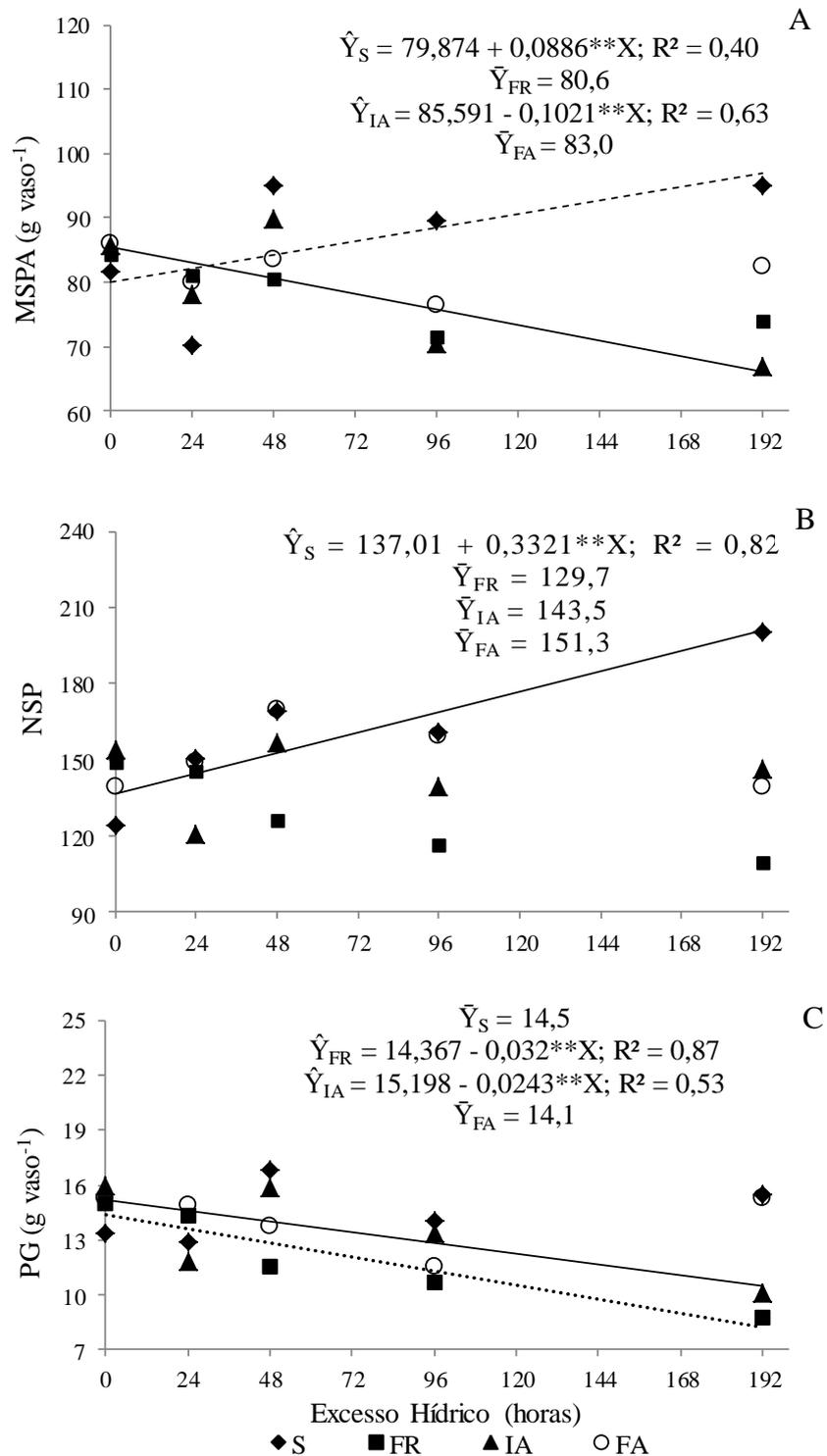
Leul e Zhou (1998), Zou et al. (2014) e Zhou e Lin (1995) também encontraram redução na PG quando o excesso hídrico foi aplicado no estágio de roseta, com redução de 21,3, 26,2 e 50% no rendimento de grãos, respectivamente. No IA, Xu et al. (2015) encontraram redução média de 20% no rendimento de grão de canola, porém algumas cultivares tiveram redução de 30 a 41,9% em relação à testemunha.

A redução da PG com o aumento no tempo de exposição da canola ao excesso hídrico no estágio de FR pode ser devido às plantas serem jovens e mais frágeis (ZOU et al., 2014), com menores reservas e menor sistema radicular. Além de possuir pequeno sistema radicular, a ausência de O₂ no solo reduz a taxa de crescimento da raiz (VIDAL, 2011), ocasionando redução na produção de ATP e no transporte de fotoassimilados na parte aérea (WAMPLE e DAVIS, 1983), resultando em menor produção de MSPA (Figura 4A) e menor PG. Além disso, nos estádios iniciais de desenvolvimento, como na FR, os tecidos respiram mais rapidamente por necessitarem de mais energia e esqueletos de carbono para as células que estão se dividindo e se alongando (TAIZ e ZEIGER, 2013), e assim, os efeitos do excesso hídrico são mais pronunciados, comprometendo mais intensamente a PG.

O inverno de 2015 foi ameno a quente, comparado às condições normais para SM e o telado nas paredes laterais da estufa dificultou a renovação do ar no seu interior, fazendo com que as temperaturas do ar atingissem valores mais elevados do que no ambiente externo. Portanto, infere-se ter ocorrido maior demanda hídrica atmosférica por vapor de água no interior da estufa nas horas mais quentes do dia. Com o sistema radicular reduzido, pode ter havido dificuldade de atendimento da demanda hídrica atmosférica pelas plantas em função da absorção insuficiente de água, mesmo a água estando disponível no solo.

No IA a redução da PG com o aumento dos períodos de excesso hídrico pode ser devido ao abortamento de flores e síliquas pela redução no transporte de fotoassimilados para essas estruturas, pois o excesso hídrico compromete o transporte no floema (WAMPLE e DAVIS, 1983), além de reduzir a produção de fotoassimilados (LIAO e LIN, 2001). Assim, o excesso hídrico reduz a produção de energia química pela planta e seu transporte e distribuição para os drenos, comprometendo a produção e fixação de estruturas reprodutivas, como flores e síliquas.

Figura 4 - Massa seca da parte aérea (MSPA) - A, número de síliqua por planta (NSP) - B e produtividade de grãos (PG) - C da cultivar Hyola 411 submetida a diferentes períodos de excesso hídrico em diferentes estádios fenológicos e na semeadura, cultivada em casa de vegetação em Santa Maria, RS, no ano de 2015. Santa Maria, RS, 2016



4.3.3 Componentes de rendimento de grãos em São Vicente do Sul

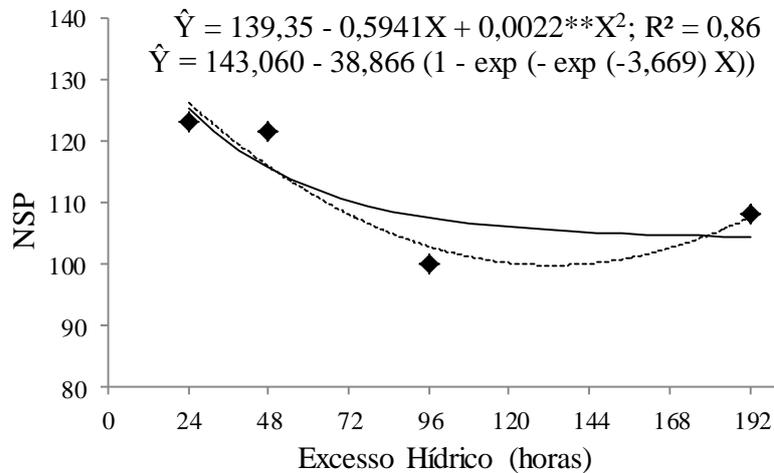
De acordo com o teste de contraste, comparando a testemunha (sem excesso hídrico) com os demais tratamentos, não ocorreu diferença significativa para a variável massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PG). No entanto, para variável número de síliquas por planta (NSP) ocorreu diferença significativa, ou seja, o excesso hídrico no solo reduziu o NSP (Apêndice J).

Dentro dos tratamentos de excesso hídrico, o estágio fenológico e a interação dos fatores (E x EH) não influenciaram nenhuma das variáveis estudadas, porém o fator excesso hídrico influenciou o NSP (Apêndice J). A não diferença significativa para a PG pode ser devido ao grande coeficiente de variação (CV) que a variável apresentou e mesmo não havendo diferença, foi obtido PG numericamente maior quando o excesso foi de apenas 24 e 48 h, sendo que a aplicação do excesso hídrico de 96 e 192 h reduziu a PG de canola em 10 e 18,9%, respectivamente, em relação à aplicação de excesso hídrico por 24 h.

O maior NSP foi obtido sem a aplicação de excesso hídrico no solo, com uma média de 131 síliquas por planta. Uma possibilidade para representar a diminuição do NSP em função do aumento dos períodos de excesso hídrico, é uma curva de segundo grau, o que implicaria em aumento no número de síliquas com períodos de excesso hídrico maiores que 192 h. No entanto, essa variação não é lógica, haja visto que, períodos mais longos de excesso hídrico causariam problemas de respiração radicular e a partir de um certo valor crítico, causaria a morte das plantas. Outra explicação pode ser dada com uma curva assíntota, em que a partir de 96 h de excesso hídrico haveria tendência de estabilizar a redução no NSP próximo a um valor limite mínimo, que resultaria do gasto de energia que a planta teria para modificar estruturas morfológicas ou fisiológicas para se aclimatar a condição de excesso hídrico (Figura 5). A exposição da canola por 24, 48, 96 e 192 h ao excesso hídrico ocasionou uma redução de 9,3, 16,8, 26,3 e 23,6%, respectivamente, no NSP em relação à testemunha. Os resultados corroboram com os obtidos por Leul e Zhou (1998), Xu et al. (2015), Zou et al. (2014) e Zhou e Lin (1995).

O NSP é um importante componente da PG na cultura da canola (DIEPENBROCK, 2000; XU et al., 2015) e plantas que produzem maior número de síliquas, possivelmente alcançam maiores produtividades. No entanto, no presente trabalho não se obteve diferença na PG em SVS, apesar de ter ocorrido essa diferença para o NSP. Esse fato pode ser devido a grande variação nas repetições dos tratamentos. Novos estudos devem ser implantados, a fim de confirmar os resultados obtidos.

Figura 5 - Número de siliqua por planta (NSP) da cultivar Hyola 433 submetida a diferentes períodos de excesso hídrico, cultivada em casa de vegetação em São Vicente do Sul, RS ano de 2015. Santa Maria, RS, 2016



4.3.4 Discussão dos resultados de Santa Maria e São Vicente do Sul

O excesso hídrico na S é bastante limitante para a cultura da canola por reduzir o IVE, podendo levar a ocorrência de falhas nas lavouras caso o excesso hídrico perdure por períodos muito longos. No entanto, o excesso hídrico de até 192 h, oito dias, ainda permite que, após sua retirada, as sementes continuem o processo de germinação e as plântulas emergjam. Esse fato está relacionado também a cultivar, haja vista que elevados teores de melanina na semente estão associados com tolerância ao excesso hídrico (ZHANG et al., 2008).

Ocorrendo a emergência, o excesso hídrico na S resulta em maiores produtividades, desde que não ocorram mais períodos de estresse ao longo do ciclo da cultura. Essas maiores produtividades podem decorrer do fato do excesso hídrico dificultar a emergência pela falta de oxigênio no solo, mas, como hipótese, o embebedimento da semente com a água ativa as enzimas, permitindo que, quando novamente aumentarem as concentrações de oxigênio no solo, o processo germinativo ocorra de forma rápida, possibilitando maior produção de MSPA pelas plantas nos tratamentos com excesso hídrico, desde que esse não seja excessivamente longo.

Os resultados obtidos em SVS e SM para os componentes de rendimento de grãos foram divergentes no sentido das variáveis que sofreram efeito dos fatores estudados, mas a tendência se manteve: menor produção de grãos quanto maior o período com excesso hídrico.

As variáveis mais sensíveis ao excesso hídrico foram MSPA, NSP e PG, tendo efeito do estágio de desenvolvimento da cultura em SM e somente do excesso hídrico em SVS para o NSP. Dentre os estágios de desenvolvimento, os mais sensíveis foram FR e IA, com efeitos negativos, evidenciando que o excesso hídrico é prejudicial à cultura, especialmente nesses estágios. Na S, o excesso hídrico ocasionou efeito positivo, quando aplicado por curtos espaços de tempo e sem acúmulo de água na superfície do solo.

Em SM a PG apresentou-se associada diretamente com a MSPA e com o NSP, visto que quando o excesso foi aplicado no estágio de FR e IA houve menor MSPA (Figura 4A) e menor NSP (Figura 4B), ou seja, plantas com menor MSPA e menor NSP resultam em plantas com menor PG (Figura 4C). Em SVS, apesar de não haver diferença significativa para PG, os valores obtidos indicaram que ela está associada com a redução do NSP.

Maior efeito negativo do excesso hídrico no estágio de FR é devido, possivelmente, ao menor porte da planta e ao pouco desenvolvimento de suas estruturas, principalmente radiculares, o que reduz a produção de energia na forma de ATP, paralisando o crescimento radicular, fazendo com que a planta não consiga produzir energia para manter o crescimento da parte aérea, o que resulta em menor produção de matéria seca. Porém no IA ocorre o desenvolvimento das estruturas florais da planta, sendo que a aplicação do excesso hídrico compromete a formação e desenvolvimento das flores, pois mesmo após a remoção do excesso, o solo pode permanecer saturado por algum tempo e se a demanda atmosférica por vapor de água for baixa, os efeitos negativos se prolongam, ocasionando abortos florais, mesmo as plantas sendo mais fortes, com estruturas mais desenvolvidas.

4.4 CONCLUSÕES

O excesso hídrico por 24 h contínuas é suficiente para reduzir o índice de velocidade de emergência da canola, porém o percentual de emergência não é comprometido com o excesso hídrico por até 192 h contínuas.

O período de tolerância da canola ao excesso hídrico no solo é variável de acordo com o estágio fenológico, porém, 24 h de excesso hídrico é capaz de reduzir os componentes de rendimento de grãos, como o número de síliquas por planta, a massa seca da parte aérea e a produtividade de grãos.

O estágio de formação de roseta (FR) e início da antese (IA) podem ser considerados os estádios de maior sensibilidade da canola ao excesso hídrico no solo.

Deve-se programar a semeadura da canola para épocas com baixo risco de excesso hídrico no solo e de modo a se evitar o excesso hídrico no estágio de formação da roseta.

5 DISCUSSÃO

Inicialmente esperava-se que a canola fosse uma cultura com pouca ou nenhuma tolerância ao excesso hídrico no solo (PERBONI et al., 2012; TOMM et al., 2009). No entanto, o que se pode concluir com esse trabalho é que a canola é uma cultura que tem boa tolerância ao excesso hídrico, suportando relativamente bem períodos prolongados de tempo com solo saturado, como observado nos experimentos conduzidos em casa de vegetação e a campo.

No campo, pôde-se notar que a resposta das cultivares foi muito influenciada pelas condições meteorológicas, principalmente pela chuva. Em anos com previsão de muita chuva e de longos períodos chuvosos, como ocorreu em 2014, a semeadura deve ser realizada quando não se tem previsão de chuvas por períodos prolongados nos dias subsequentes, pois como observado em casa de vegetação, o excesso hídrico reduz o IVE e quanto maior o período de tempo em que a cultura é exposta ao excesso hídrico, menor é a velocidade de emergência. Então, se nesse intervalo de tempo ocorrem chuvas intensas, pode ocorrer a morte das plântulas, como observado a campo, no ano de 2014, quando o acúmulo de água na superfície das parcelas, devido o excesso de chuvas, reduziu o estande inicial de plantas nos tratamentos sem dreno, o que comprometeu a produtividade de grãos.

Os efeitos negativos do excesso hídrico por até oito dias após a semeadura, sem o acúmulo de água na superfície do solo, pode ser revertido pelas sementes. Após a retirada do excesso hídrico, o oxigênio volta para o solo e as sementes retomam suas atividades fisiológicas, podendo atingir altas porcentagens de emergência. Plantas que conseguem emergir e se estabelecer suportaram o excesso hídrico e se desenvolvem semelhantemente às plantas em locais drenados.

O maior efeito negativo do excesso hídrico após a emergência das plantas foi observado nos estádios de FR e IA, o que foi confirmado a campo, quando as cultivares, em 2014, sofreram vários eventos sequentes de saturação do solo, ocasionando aumento do subperíodo FR-SBF (alongamento da fase vegetativa da cultura), devido, possivelmente, às plantas ainda serem muito novas e suas estruturas em formação, como o sistema radicular, serem prejudicadas, necessitando de mais tempo para crescimento posterior.

O efeito negativo no IA também foi confirmado a campo, visto que o excesso hídrico prolongou o estágio de antese da cultura, o que não é desejado na canola, pois longos períodos de antese reduzem o aproveitamento da radiação solar (BERRY e SPINK, 2006), além de tornar as plantas mais vulneráveis à ocorrência de eventos meteorológicos numa fase do ciclo

da cultura muito suscetível a estresses ambientais, como chuvas e geadas, que podem comprometer a polinização e o desenvolvimento inicial das síliquas, como aferido por Dalmago et al. (2010).

A produtividade de grãos foi variável nos dois anos de cultivo a campo e também nos dois locais de cultivo em casa de vegetação, porém o que foi possível aferir é que ela é dependente do NSP, da duração do período de enchimento de grãos (FA-C) (KRÜGER et al., 2014) e, principalmente da população de plantas, pois tanto as chuvas em 2014, quanto alta a severidade de danos por esclerotínia em 2015 reduziram a população de plantas, o que repercutiu em menores produtividades de grãos para a Hyola 61 e Hyola 411. Nesse sentido, é importante que a semeadura seja realizada sem previsão de fortes chuvas ou chuvas por vários dias, evitando o cultivo no mesmo local, em dois anos sucessivos.

A menor PG da Hyola 61 no ano de 2014 e maior em 2015 está relacionada, principalmente, com a população de plantas e condições de cultivos mais próximas da ideal em 2015. Em anos em que a chuva não restringe a emergência, como em 2015, ela pode ser indicada para cultivo, a qual possui maior TF, o que contribuiu, juntamente com a população de plantas, para uma maior PG. Porém, em condições de excesso hídrico é a cultivar Hyola 411 que melhor se desenvolve, tanto a campo, quanto em casa de vegetação, sendo estes resultados promissores para implantação em áreas de várzea.

Estes resultados mostram que a canola pode ser cultivada em áreas com excesso hídrico, o que possibilita converter, por meio do zoneamento agrícola, áreas consideradas inaptas em áreas possíveis de cultivo, tornando o financiamento agrícola uma realidade nesses locais, dando mais segurança para o produtor e possibilitando a implantação de sistemas de rotação de culturas em que a canola faça parte do conjunto de culturas utilizadas.

Nesses experimentos, conduzidos em ambientes considerados desfavoráveis, alcançou-se a produtividade média em torno de 1500 kg ha^{-1} , semelhante à média do estado do Rio Grande do Sul, de 1587 kg ha^{-1} para a cultura (CONAB, 2015). Esses resultados podem inserir a canola definitivamente no mapa da produção agrícola nas várzeas, com resultados promissores. Porém, novas pesquisas são necessárias para se testar novas cultivares, como as utilizadas na China e estudar quais os mecanismos que as plantas tolerantes utilizam para evitar os danos do excesso hídrico, a fim de se selecionar cultivares com essas características. Além disso, maiores estudos são necessários para confirmar melhor, os estádios de maior sensibilidade da cultura e qual a repercussão de períodos de excesso hídrico acima de oito dias.

6 CONCLUSÕES

O excesso hídrico no solo causa alterações morfológicas, fenológicas, ecofisiológicas e produtivas na cultura da canola.

No subperíodo semeadura-emergência, o excesso hídrico no solo por períodos prolongados resulta na redução da população de plantas. Após a emergência das plantas os estádios de formação de roseta e início da antese são os mais críticos para a cultura da canola.

A população de plantas e o número de síliquas por planta são as variáveis que mais influenciam a produtividade de grãos de cultivares de canola em locais com excesso hídrico.

Cultivares que consigam manter menor duração do período de antese e maior duração do período de enchimento de grãos tem maior potencial produtivo para serem utilizadas em áreas com possibilidades de ocorrência de excesso hídrico.

O uso de drenos é eficiente para permitir o estabelecimento e desenvolvimento da cultura em anos e/ou áreas propícia para a ocorrência de excesso hídrico no solo.

A duração do tempo em que a canola suporta o excesso hídrico sem comprometer a produtividade de grãos depende do estágio fenológico em que o excesso ocorre, porém, 24 h de excesso hídrico são capazes de reduzir a velocidade de emergência das plântulas, o número de síliqua por planta, a massa seca da parte aérea e a produtividade de grãos.

As reduções de produtividade são mais acentuadas quando o excesso hídrico ocorre na formação de roseta e no início da antese.

Plantas que sofrem excesso hídrico na formação de roseta e no início da antese produzem menor massa seca na parte aérea e quando atingem a fase reprodutiva produzem menor número de síliquas por planta e menor produtividade de grãos.

Existe uma relação decrescente entre o aumento no período de excesso hídrico e a produtividade de grãos na cultura da canola.

As cultivares Hyola 411 e Hyola 433 podem ser consideradas promissoras para o cultivo em locais com excesso hídrico. A cultivar Hyola 61 tem maior potencial produtivo, porém, parece ser mais sensível ao excesso hídrico no solo, principalmente no subperíodo da semeadura-emergência.

REFERÊNCIAS

- AGROLINK. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/cotacoes/Produto.aspx?c=267>>. Acesso em: 11 de jan. de 2016.
- AHMED, F.; RAFII, M. Y.; ISMAIL, M. R.; JURAIIME, A.S.; RAHIM, H. A.; ASFALIZA, R. e LATIF, M. A. Waterlogging tolerance of crops: breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects. **BioMed Research International**, v.2013, p.1-10, 2013.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrig. and Drain. Paper, n. 56).
- ALVES, G. da S.; TARTAGLIA, F. de L.; ROSA, J. C.; LIMA, P. C. de; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. de M. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do girassol em Rondônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 275-282, 2013.
- ARMSTRONG, W.; JUSTIN, S. H. F. W.; BECKETT, P. M. e LYTHER, S. Root adaptation to soil waterlogging. **Aquatic Botany**, v. 39, p. 57-73, 1991.
- BAILEY-SERRES, J. e VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.313-339, 2008.
- 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, 2013.
- BERRY, P. M.; SPINK, J. H. A physiological analysis of oilseed rape yields : Past and future. **Journal of Agricultural Science**, v.144, p.381-392, 2006.
- BOEM, F. H. G.; LAVADO, R. S. e PORCELLI, C. A. Note on the effects of winter and spring waterlogging on growth, chemical composition and yield of rapeseed. **Field Crops Research**, v.47, p.175-179, 1996.
- BROWN, J.; DAVIS, J. B.; LAUVER, M. e WYSOCKI, D. United States Canola Association: **Canola Growers' Manual**. University of Idaho & Oregon State University, 2008. 71p.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SWAROWSKY, A.; D'AVILA, R. F.; HELDWEIN, A. B. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.11, n.4, p.89-97, 2006.
- CAMARGO, F. A. de O.; SANTOS, G. de A. e ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, v.29, n.1, p.171-180, 1999.

- CAMPBELL, R. e DREW, M. C. Electron microscopy of gas space (aerenchyma) formation in adventitious roots of *Zea mays* L. subjected to oxygen shortage. **Planta**, v.157, p.350-357, 1983.
- CHEN, H.; QUALLS, R. G. e MILLER, G. Adaptive responses of *Lepidium latifolium* to soil flooding: biomass allocation, adventitious rooting, aerenchyma formation and ethylene production. **Environmental and Experimental Botany**, v.48, p.119-128, 2002.
- CHENG, L.; YEN, S.; SU, L. e CHEN, J. Study on membrane reactors for biodiesel production by phase behaviors of canola oil methanolysis in batch reactors. **Bioresource Technology**, v.101, p.6663-6668, 2010.
- CHRISTIANSON, J. A.; LLEWELLYN, D. J.; DENNIS, E. S. e WILSON, L. W. Global gene expression responses to waterlogging in roots and leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plant & Cell Physiology**, v.51, n.1, p.21-37, 2010.
- CONAB– Companhia Nacional de Abastecimento. **Acomp. safra bras. grãos**, v. 2 - Safra 2014/15, n. 8 - Oitavo levantamento, Brasília, p. 1-118, maio 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>
- 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, 2010.
- DALMAGO, G. A.; FOCHESSATO, 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, 2013.
- DIEPENBROCK, W. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): a review. **Field Crops Research**, v.67, p.35-49, 2000.
- DOGAN, E.; COPUR, O.; KAHRAMAN, A.; KIRNAK, H.; GULDUR, M. E. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1403-1408, 2011.
- DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A. G. y; FANCELLI, A. L.; FRIZZONE, J. A.; REICHARDT, K. Balance hídrico cíclico y secuencial: estimación de almacenamiento de água em El suelo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.3, p.537-546, 1999.
- DUARTE, A. P.; CARVALHO, C. R. L.; CAVICHIOLI, J. C. Densidade, teor de óleo e produtividade de grãos em híbridos de milho. **Bragantia**, v.67, n.3, p.759-767, 2008.
- DREW, M. C.; JACKSON, M. B. e GIFFARD, S. Ethylene-promoted adventitious rooting and development of cortical air spaces (aerenchyma) in roots may be adaptive responses to flooding in *Zea mays* L. **Planta**, v.147, p.83-88, 1979.
- EQUIPE ESTATCAMP (2014). **Software Action**. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. URL <http://www.portalaction.com.br/>.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFPA), v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FORAJI, A.; LATIFI, N.; SOLTANI, A.; RAD, A. H. S. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. **Agricultural Water Management**, v.96, p.132-140, 2009.
- GOMEZ, N. V.; MIRALLES, D. J. Factors that modify early and late reproductive phases in oilseed rape (*Brassica napus* L.): Its impact on seed yield and oil content. **Industrial Crops and Products**, v.34, p.1277-1285, 2011.
- GULDEN, R. H.; WARWICK, S. I. e THOMAS, A. G. The biology of Canadian Weeds. 137. *Brassica napus* L. and *B. rapa* L. **Canadian Journal of Plant Science**, v.88, n.5, p951-996, 2008.
- HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v.38, p.43-58, 2009.
- IRIARTE, L. B.; VALETTI, O. E. **Cultivo de Colza**. 1. ed. – C.A. de Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária – INTA, 2008. 156 p.
- ISSARAKRAISILA, M.; MA, Q.; TUNER, D. W. Photosynthetic and growth responses of juvenile Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*) and Caisin (*Brassica rapa* subsp. *parachinensis*) to waterlogging and water deficit. **Scientia Horticulturae**, v.11, p.107-113, 2007.
- JACKSON, M. B. e COLMER, T. D.; Response and adaptation by plants to flooding stress. **Annals of Botany**, v.96, n.4, p.501-505, 2005.
- JACKSON, M. B. Hormones and developmental change in plants subjected to submergence or soil waterlogging. **Aquatic Botany**, v.38, p.49-72, 1990.
- KAMKAR, B.; DANESHMAND, A. R.; GHOOSHCHI, F.; SHIRANIRAD, A. H.; SAFAHANI LANGEROUDI, A. R. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1005-1012, 2011.
- KU, Y-G.; PARK, W.; BANG, J-K.; JANG, Y-S.; KIM, Y-B.; BAE, H-J.; SUH, M-C.; AHN, S-J. Physiological response, fatty acid composition and yield component of *Brassica napus* L. under short-term waterlogging. **Journal of Bio-Environment Control**, v.18, n.2, p.142-147, 2009.
- KRÜGER, C. A. M. B. **Arranjo de plantas e seus efeitos na produtividade de grãos e teor de óleo em canola**. 2011. 89 f. Tese (Doutorado de Doutorado)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2011.
- KRÜGER, C. A. M. B.; SILVA, J. A. G. da; MEDEIROS, S. L. P. M.; DALMAGO, G. A.; SILVA, A. J.; ARENHARDT, E. G.; GEWEHR, E. Relações de variáveis ambientais e subperíodos na produtividade e teor de óleo em canola. **Ciência Rural**, v.44, n.9, p.1671-1677, 2014.

LEUL, M.; ZHOU, W. Alleviation of waterlogging damage in winter rape by application of uniconazole: Effects on morphological characteristics, hormones and photosynthesis. **Field Crops Research**, v.59, p.121-127, 1998.

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

LIN, H-H.; LIN, K-H.; CHEN, S-C.; SHEN, Y-H., LO, H-F. Proteomic analysis of broccoli (*Brassica oleracea*) under high temperature and waterlogging stresses. **Botanical Studies**, v.56, p.1-11, 2015.

LOOSE, L. H. **Emergência e crescimento inicial de plantas de girassol sob excesso hídrico**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2013.

LOOSE, L. H. **Respostas agronômicas e morfológicas do girassol ao déficit e excesso hídrico em dois solos**. 2016 []f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2016.

LUZ, G. L da; MEDEIROS, S. L. P.; TOMM, G. O.; BIALOZOR, A.; AMARAL, A. D. do; PIVOTO, A. D. Temperatura base inferior e ciclo de híbridos de canola. **Ciência Rural**, v.42, n.9, 2012.

MACHADO, E. C.; LAGÔA, A. M. M. A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, v.53, n.2, p.141-149, 1994.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science, Madison**. v.2, p.176-177, 1962.

MAJOR, D. J. Stomatal frequency and distribution in rape. **Canadian Journal of Plant Science**, v.55, p.1077-1078, 1975.

MAJOR, D. J.; CHARNETSKI, W. A. Distribution of ¹⁴C-labeled assimilates in rape plants. **Crop Science**, v.16, n.4, p.530-532, 1976.

MALDANER, I. C. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na cultura do girassol na região Central do Rio Grande do Sul**. 2012. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2012.

MELGAREJO A., M. A.; DUARTE JÚNIOR, J. B.; COSTA, A. C. T. da; MEZZALIRA, É. J.; PIVA, A. L.; SANTIN, A. Características agronômicas 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.

MORRISON, M.J. Heat stress during reproduction in summer rape. **Canadian Journal of Botany**, v.71, p.303-308, 1993.

- 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**, n.46 p.93-103, 1996.
- PERBONI, A. T.; CASSOL, D.; SILVA, F. S. P. da; SILVA, D. M. e BACARIN, M. A. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of flooding in canola hybrids. **Biologia**, v.67, n.2, p.338-346, 2012.
- PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p.29-96, 1972.
- R CORE TEAM (2013). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- RAMACHANDRAN, S.; SINGH, S. K.; LARROCHE, C.; SOCCOL, C. R. e PANDEY, A. Oil cakes and their biotechnological applications - A review. **Bioresource Technology**, v.98, n.10, p.2000-2009, 2009.
- RAO, B. V. K.; CHANDRA MOULI, K.; RAMBABU, N.; DALAI, A. K.; e PRASAD, R. B. N. Carbon-based solid acid catalyst from de-oiled canola meal for biodiesel production. **Catalysis Communications**, v.14, n.1, p.20-26, 2011.
- ROCHA, L. **Condutância estomática e taxa fotossintética em canola cultivada em solo com dreno e sem dreno**. 2015. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2015.
- RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; ANCILLO, G.; GONZÁLEZ-MAS, M. C.; PRIMO MILLO, E.; IGLESIAS, D. J.; FORNER-GINER, M. A. Root signalling and modulation of stomatal closure in flooded citrus seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.49, p.636-645, 2011.
- ROOD, S. B.; MAJOR, D. J.; CHARNETSKI. Seasonal changes in $^{14}\text{CO}_2$ assimilation and ^{14}C translocation in oilseed rape. **Field Crops Research**, v.8, p.341-348, 1984.
- SAIRAM, R. K.; KUMUTHA, D.; EZHILMATHI, K.; DESHMUKH, P. S.; SRIVASTAVA, G. C. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, v.52, n.3, p.401-412, 2008.
- SINCLAIR, T.R. & DE WIT, C. T. (1975). Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. **Science**, v.189, 565-567.
- SHARAFIZADEH, M.; GHOLIZADEH, M. R. E.; ARYANNIA, N. e RAZAZ, M. Effect of planting date and planting pattern on quality and quantity yield of canola hybrid seed (Hayola 401). **Advances in Environmental Biology**, v.6, n.7, p.2184-2189, 2012.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do. SHNEIDER, P.; GIASSON, E. e PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. - 2 ed.- Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p. ISBN 978-85-98842-04-2.

TAIZ, L. e ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. [tradução: Armando Molina Divan Junior ...et al.]; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. - 5. ed. - Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p

TARTAGLIA, F. de L.; RIGHI, E. Z.; ROCHA, L. da; LOOSE, L. H.; MALDANER, I. C.; HELDWEIN, A. B. Modelos não destrutivos para determinação da área foliar em canola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20 n.[] p., [2016?].

THOMAS, P. **The growers' manual: Canola Council of Canada**, 2014. Disponível em: <<http://www.canolacouncil.org/crop-production/canola-grower's-manual-contents/chapter-5-temperature-frost-hail/temperature-frost-hail#Temperatureeffectsoncanolagrowth>>. Acesso em 28 de novembro de 2014.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

TOMM, G. O.; GARRAFA, M.; BENETTI, V.; WOLBOLT, A. A.; FIGER, E. **Efeitos de épocas de semeadura sobre o desempenho de genótipos de canola em Três de Maio, RS**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 8p. (Circular Técnica Online 17).

TOMM, G. O.; WIETHÖLTER, S.; DALMAGO, G. A. e SANTOS H. P. dos. **Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 41p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 113). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do113.htm>.

VIDAL, D. B. **Efeitos da anoxia na germinação de sementes e do alagamento do solo no crescimento de mudas de *Copaifera lucens* Dwyer (Fabaceae)**. 2011. 51 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)-Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA. 2011.

VOESENEK, L. A. C. J.; ARMSTRONG, W.; BÖGEMANN, G. M.; COLMER, T. D.; McDONALD, M. P. The lack of Aerenchyma and high rates of loss of oxygen radially from the root of the base contribute to intolerance flooding *Brassica napus*. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.26, n.1, p.87-93, 1999.

WAMPLE, R. L. e DAVIS, R. W. Effect of flooding on starch accumulation in chloroplasts of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Plant Physiology**, v.73, p.195-198, 1983.

XU, M.; MA, H.; ZENG, L.; CHENG, Y.; LU, G.; XU, J.; ZHANG, X.; ZOU, X. The effect of waterlogging on yield and seed quality at the earlyflowering stage in *Brassica napus* L. **Field Crops Research**, v.182, p.238-245, 2015.

YONG, C.; MIN, G.; YE, C.; CHONG-SHUN, Z.; XUE-KUN, Z.; HAN-ZHONG, W. Combining Ability and Genetic Effects of Germination Traits of *Brassica napus* L. Under Waterlogging Stress Condition. **Agricultural Sciences in China**, v.9, n.7, p.951-957, 2010.

ZHANG, J. e ZHANG, X. Can early wilting of old leaves account for much of the ABA accumulation in flooded pea plants? **Journal of Experimental Botany**, v.45, n.9, p.1335-1342, 1994.

ZHANG, X. K.; CHEN, J.; CHEN, L. WANG, H. Z.; LI, J. N. Imbibition behavior and flooding tolerance of rapeseed seed (*Brassica napus* L.) with different testa color. **Genet Resour Crop Evol**, v.55, p.1175-1184, 2008.

ZHOU, W. e LIN, X. Effects of waterlogging at different growth stages on physiological characteristics and seed yield of winter rape (*Brassica napus* L.). **Field Crops Research**, v.44, p.103-110, 1995.

ZOU, X.; TAN, X.; HU, C.; ZENG, L.; LU, G.; FU, G.; CHENG, Y.; ZHANG, X. The Transcriptome of *Brassica napus* L. Roots under Waterlogging at the Seedling Stage. **International Journal of Molecular Sciences**, v.14, p.2637-2651, 2013.

ZOU, X.; HU, C.; ZENG, L.; CHENG, Y.; XU, M. e ZHANG, X. A comparison of screening methods to identify waterlogging tolerance in the field in *Brassica napus* L. during plant ontogeny. **Plos One**, v.9, n.3, p.1-9, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A VARIÁVEL ALTURA DE PLANTA (AP, cm), NÚMERO DE FOLHAS (NF) E ÁREA FOLIAR (AF, cm²) EM FUNÇÃO DE DRENO (D) E DIFERENTES CULTIVARES (C) DE CANOLA EM DOIS ANOS AGRÍCOLAS, 2014 E 2015. SANTA MARIA, RS, 2016

Fontes de variação	GL	QM					
		2014			2015		
		AP	NF	AF	AP	NF	AF
Bloco	3	126,2**	46,2 ^{ns}	16025,3 ^{ns}	36,9*	58,6 ^{ns}	2,5 x 10 ^{-9ns}
Dreno (D)	1	1007,5**	96,0 ^{ns}	49365,1 ^{ns}	77,0**	11,3 ^{ns}	6,8 x 10 ^{-9ns}
Erro 1	3	0,3	29,9	50857,0	3,2	41,6	1,2 x 10 ⁻⁹
Cultivar (C)	2	223,5 ^{ns}	57,0 ^{ns}	84377,0**	13,9 ^{ns}	188,6*	1,4 x 10 ^{-8*}
D x C	2	35,51 ^{ns}	45,8 ^{ns}	1297,3 ^{ns}	10,3 ^{ns}	39,5 ^{ns}	1,8 x 10 ^{-9ns}
Erro 2	12	72,5	24,0	14082,8	71,5	37,0	2,0 x 10 ⁻⁹
Total	23	-	-	-	-	-	-
CV 1 (%)	-	0,5	25,4	48,5	1,3	24,4	0
CV 2 (%)	-	7,5	22,8	25,5	6,2	23,0	0

** , * e ^{ns} significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio; CV = coeficiente de variação

APÊNDICE B - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A DURAÇÃO, EM SOMA TÉRMICA (°C d) DOS SUBPERÍODOS DE DESENVOLVIMENTO DA CANOLA SEMEADURA - EMERGÊNCIA (S-E), EMERGÊNCIA - FORMAÇÃO DE ROSETA (E-FR), FORMAÇÃO DE ROSETA - SURGIMENTO DO BOTÃO FLORAL (FR-SBF), SURGIMENTO DO BOTÃO FLORAL - INÍCIO DO FLORESCIMENTO (SBF-IF), INÍCIO DO FLORESCIMENTO - FINAL DO FLORESCIMENTO (IF-FF) E FINAL DO FLORESCIMENTO - COLHEITA (FF-C) EM FUNÇÃO DE DRENOS E DIFERENTES CULTIVARES DE CANOLA NO ANO AGRÍCOLA DE 2014. SANTA MARIA, RS, 2016

FV	GL	QM					
		S-E	E-FR	FR-SBF	SBF-IF	IF-FF	FF-C
Bloco	3	83,9 ^{ns}	83,9 ^{ns}	273,8 ^{ns}	113,9 ^{ns}	396,2*	101,1 ^{ns}
Dreno (D)	1	1130,9**	1130,9**	20416,6**	1171,9**	1950,1**	14066,4*
Erro 1	3	31,7	31,7	614,9	51,8	26,67	648,3
Cultivar (C)	2	629,1**	629,1**	20231,7**	19,14 ^{ns}	8240,1**	5902,7**
D x C	2	171,2**	171,2**	1559,4*	523,1 ^{ns}	2066,7*	829,6 ^{ns}
Erro 2	12	19,45	19,45	422,4	457,3	430,3	549,4
Total	23	-	-	-	-	-	-
CV 1 (%)	-	8,60	7,38	6,31	6,73	1,91	6,01
CV 2 (%)	-	6,73	5,78	5,23	20,01	7,66	5,54

**, * e ns, significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio do resíduo; CV = coeficiente de variação

APÊNDICE C - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A DURAÇÃO, EM SOMA TÉRMICA (°C d) DOS SUBPERÍODOS DE DESENVOLVIMENTO DA CANOLA SEMEADURA-EMERGÊNCIA (S-E), EMERGÊNCIA-FORMAÇÃO DE ROSETA (E-FR), FORMAÇÃO DE ROSETA-SURGIMENTO DO BOTÃO FLORAL (FR-SBF), SURGIMENTO DO BOTÃO FLORAL-INÍCIO DO FLORESCIMENTO (SBF-IF), INÍCIO DO FLORESCIMENTO-FINAL DO FLORESCIMENTO (IF-FF) E FINAL DO FLORESCIMENTO-COLHEITA (FF-C) EM FUNÇÃO DE DRENOS (D) E DIFERENTES CULTIVARES (C) DE CANOLA NO ANO AGRÍCOLA DE 2015. SANTA MARIA, RS, 2016

FV	GL	QM					
		S-E	E-FR	FR-SBF	SBF-IF	IF-FF	FF-C
Bloco	3	2095,6 ^{ns}	1534,7 ^{ns}	3104,3 ^{ns}	349,7 ^{ns}	1728,9 ^{ns}	1103,3 ^{ns}
Dreno (D)	1	7315,0 ^{ns}	88,5 ^{ns}	133,0 ^{ns}	2899,6 ^{ns}	3046,9 ^{ns}	3998,4 ^{ns}
Erro 1	3	797,2	720,0	509,1	421,7	1255,4	955,1
Cultivar (C)	2	355,3 ^{ns}	378,0 ^{ns}	52324,3**	4733,4**	22017,4**	2529,3**
D x C	2	1954,9 ^{ns}	1870,7*	349,7 ^{ns}	721,2 ^{ns}	3598,2 ^{ns}	549,86 ^{ns}
Erro 2	12	883,6	360,7	530,6	505,6	1681,3	398,06
Total	23	-	-	-	-	-	-
CV 1 (%)	-	23,6	39,0	5,7	13,4	10,1	10,2
CV 2 (%)	-	24,9	27,6	5,9	14,7	11,7	6,5

**, * e ns, significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio dos resíduos; CV = coeficiente de variação

APÊNCIDE D - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA CONDUTÂNCIA FOLIAR (CF, mol m⁻² s⁻¹) E TAXA FOTOSSINTÉTICA (TF, µmol m⁻² s⁻¹) EM FUNÇÃO DE DRENO (D), DIFERENTES CULTIVARES E DIAS APÓS A EMERGÊNCIA (DAE) NA CULTURA DA CANOLA, NO ANO AGRÍCOLA DE 2014. SANTA MARIA, RS, 2016

FV	GL	QM			
		97 DAE		107 DAE	
		CF	TF	CF	TF
Bloco	3	0,001 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,060 ^{ns}	8,017 ^{ns}
Dreno (D)	1	0,022 ^{ns}	0,040*	0,051 ^{ns}	1,047 ^{ns}
Erro 1	3	0,003	0,003	0,012	1,124
Cultivar (C)	2	0,029	0,044**	0,003 ^{ns}	7,512 ^{ns}
D x C	2	0,003 ^{ns}	0,028**	0,050 ^{ns}	2,708 ^{ns}
Erro 2	12	0,009 ^{ns}	0,004	0,045	9,66
Total	23	-	-	-	-
CV (1)	-	28,55	5,60	22,27	8,62
CV (2)	-	47,11	6,09	43,16	25,27

** , * e ns, significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio do resíduo; CV = coeficiente de variação

APÊNDICE E - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL CONDUTÂNCIA FOLIAR (CF, mol m⁻² s⁻¹) E TAXA FOTOSSINTÉTICA (TF, µmol m⁻² s⁻¹) EM FUNÇÃO DE DRENO (D), DIFERENTES CULTIVARES (C) E DIAS APÓS A EMERGÊNCIA (DAE) NA CULTURA DA CANOLA, NO ANO AGRÍCOLA DE 2015. SANTA MARIA, RS, 2016

		QM							
		30 DAE		41 DAE		51 DAE		55 DAE	
FV	GL	CF	TF	CF	TF	CF	TF	CF	TF
Bloco	3	0,008 ^{ns}	23,55 ^{ns}	0,020 ^{ns}	9,70 ^{ns}	0,006 ^{ns}	5,45 ^{ns}	0,007 ^{ns}	9,87 ^{ns}
Dreno	1	0,010 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,001 ^{ns}	182,43 ^{ns}	0,055 ^{ns}	9,38 ^{ns}	0,045*	0,58 ^{ns}
(D)									
Erro 1	3	0,003	12,25	0,004	47,95	0,007	8,51	0,003	12,27
Cultivar	2	0,001 ^{ns}	63,98*	0,005 ^{ns}	20,00 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	14,98 ^{ns}	0,026 ^{ns}	2,83 ^{ns}
(C)									
D x C	2	0,002 ^{ns}	4,12 ^{ns}	0,006 ^{ns}	13,72 ^{ns}	0,003 ^{ns}	5,51 ^{ns}	0,001 ^{ns}	1,09 ^{ns}
Erro 2	12	0,002	13,96	0,010	8,39	0,013	5,27	0,016	3,52
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (1)	-	34,60	21,80	24,68	50,49	34,20	19,76	13,94	18,43
CV (2)	-	30,76	23,27	37,06	21,12	45,64	15,55	32,00	9,88
		58 DAE		79 DAE		96 DAE			
FV	GL	CF	TF	CF	TF	CF	TF		
Bloco	3	0,003 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,008 ^{ns}	29,64 ^{ns}	0,77 ^{ns}	5,30 ^{ns}		
Dreno (D)	1	0,18*	0,85 ^{ns}	0,007 ^{ns}	23,74 ^{ns}	3,35 ^{ns}	3,77 ^{ns}		
Erro 1	3	0,011	12,21	0,018	25,66	1,50	4,92		
Cultivar (C)	2	0,075 ^{ns}	24,05 ^{ns}	0,030*	35,21*	12,63**	190,16**		
D x C	2	0,04 ^{ns}	3,45 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,14 ^{ns}	3,39 ^{ns}		
Erro 2	12	0,02	9,87	0,005	7,78	0,48	5,41		
Total	23	-	-	-	-	-	-		
CV (1)	-	23,87	20,09	50,23	27,08	0,02	22,60		
CV (2)	-	35,13	18,07	27,83	14,92	0,04	23,70		

**, * e ns, significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio do resíduo; CV = coeficiente de variação

APÊNDICE F - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL NÚMERO DE GRÃOS POR SÍLIQUA (NGS), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), MASSA DE 20 SÍLIQUA (M20S), COMPRIMENTO DE SÍLIQUA (CS), NÚMERO DE SÍLIQUAS POR PLANTA (NSP), MASSA DE CEM GRÃOS (MCG), TEOR DE ÓLEO NAS SEMENTES (TO), PRODUTIVIDADE DE GRÃOS (PG) E RENDIMENTO DE ÓLEO EM FUNÇÃO DE DRENO (D) E DIFERENTES CULTIVARES DE CANOLA (C) NO ANO AGRÍCOLA DE 2014. SANTA MARIA, RS, 2016

FV	GL	QM				
		NGS	MSPA	M20S	CS	NSP
Bloco	3	1,23 ^{ns}	239,5 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,033 ^{ns}	1497,5 ^{ns}
Dreno (D)	1	1,70 ^{ns}	628,3 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,135 ^{ns}	12308 ^{ns}
Erro 1	3	1,71	695,8	0,032	0,06	7489,3
Cultivar (C)	2	11,89*	689,6 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,527**	8697,0 ^{ns}
D x C	2	20,82**	221,2 ^{ns}	0,062 ^{ns}	0,586**	4690,0 ^{ns}
Erro 2	12	2,32	439,9	0,073	0,089	2959,7
Total	23	-	-	-	-	-
CV 1 (%)	-	8,26	37,72	9,70	4,63	47,69
CV 2 (%)	-	9,60	29,99	14,62	5,44	29,98
FV	GL	MCG	TO	PG	RO	
Bloco	3	0,01 ^{ns}	25,6 ^{ns}	33657,1 ^{ns}	13980,3 ^{ns}	
Dreno (D)	1	0,07 ^{ns}	2,9 ^{ns}	4587452,1**	775462,3**	
Erro 1	3	0,013	34,6	19867,56	14257,3	
Cultivar (C)	2	0,005 ^{ns}	25,4 ^{ns}	184001,8*	62345,7**	
D x C	2	0,016 ^{ns}	5,0 ^{ns}	32126,3 ^{ns}	6450,5 ^{ns}	
Erro 2	12	0,006	13,6	36544,0	4890,7	
Total	23	-	-	-	-	
CV 1 (%)	-	41,7	14,4	13,06	26,84	
CV 2 (%)	-	29,26	9,0	17,72	15,72	

** , * e ns, significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio do resíduo; CV = coeficiente de variação.

APÊNDICE G - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL NÚMERO DE GRÃOS POR SÍLIQUA (NGS), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), MASSA DE 20 SÍLIQUA (M20S), COMPRIMENTO DE SÍLIQUA (CS), NÚMERO DE SÍLIQUAS POR PLANTA (NSP), MASSA DE CEM GRÃOS (MCG), TEOR DE ÓLEO DAS SEMENTES (TO), PRODUTIVIDADE DE GRÃOS (PG) E RENDIMENTO DE ÓLEO (RO) EM FUNÇÃO DE DRENO (D) E DIFERENTES CULTIVARES DE CANOLA (C) NO ANO AGRÍCOLA DE 2015. SANTA MARIA, RS, 2016

FV	GL	QM				
		NGS	MSPA	M20S	CS	NSP
Bloco	3	1,71 ^{ns}	275,58	0,001 ^{ns}	0,30 ^{ns}	13099,7 ^{ns}
Dreno (D)	1	0,01 ^{ns}	201,8 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,219 ^{ns}	53960,1 ^{ns}
Erro 1	3	3,72	80,9	0,08	0,109	6974,8
Cultivar (C)	2	2,95 ^{ns}	1423,7**	0,103*	0,947**	83627,1**
D x C	2	3,05 ^{ns}	329,5 ^{ns}	0,035 ^{ns}	0,695*	21775,1 ^{ns}
Erro 2	12	2,13	94,32	0,025	0,154	73,60
Total	23	-	-	-	-	-
CV 1 (%)	-	10,44	12,09	15,79	5,89	15,59
CV 2 (%)	-	7,89	13,05	8,38	6,99	16,02
FV	GL	MCG	TO	PG	RO	
Bloco	3	0,0002 ^{ns}	4,67 ^{ns}	10689,0 ^{ns}	2042,7 ^{ns}	
Dreno (D)	1	0,00001 ^{ns}	1,08 ^{ns}	133036,7**	12804,0**	
Erro 1	3	0,0001	0,95	2116,9	283,9	
Cultivar (C)	2	0,002**	0,161 ^{ns}	109781,0**	15399,0*	
D x C	2	0,001*	15,82**	25209,7 ^{ns}	13366,8*	
Erro 2	12	0,0002	1,39	18027,9	2990,3	
Total	23	-	-	-	-	
CV 1 (%)	-	3,34	2,69	3,14	3,15	
CV 2 (%)	-	5,01	3,24	9,16	10,24	

** , * e ns, significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio do resíduo; CV = coeficiente de variação

APÊNCIDE H - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL ÍNDICE DE VELOCIDADE DE EMERGÊNCIA (IVE) E PORCENTAGEM DE EMERGÊNCIA (PE, %) DE SEMENTES DE CANOLA EM SM E SVS, EM FUNÇÃO DE EXCESSO HÍDRICO (EH) NO SOLO, SANTA MARIA, RS, 2016

FV	GL	QM			
		SM		SVS	
		IVE	PE	IVE	PE
EH	4	13,36**	0,113 ^{ns}	0,060*	0,059 ^{ns}
Erro	17	0,81	0,075	0,016	0,045
Total	21	-	-	-	-
CV (%)	-	27,3	5,49	36,1	12,71

** , * e ns, significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio, CV= coeficiente de variação, FV= fontes de variação. Dados transformados por log(x)

APÊNDICE I - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL NÚMERO DE GRÃOS POR SÍLIQUA (NGS), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA), MASSA DE 20 SÍLIQUA (M20S), COMPRIMENTO DE SÍLIQUA (CS), NÚMERO DE SÍLIQUAS POR PLANTA (NSP), MASSA DE CEM GRÃOS (MCG) E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS (PG) DA CULTURA DA CANOLA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES S FENOLÓGICOS E PERÍODOS DE EXCESSO HÍDRICO (EH) NO ANO AGRÍCOLA DE 2015 EM SANTA MARIA. SANTA MARIA, RS, 2016

FV	GL	QM						
		NGS	MSPA	M20S	CS	NSP	MCG	PG
Estádio (E)	3	1,92 ^{ns}	193,55 ^{ns}	0,171 ^{ns}	0,31 ^{ns}	4353,9 ^{**}	0,010 ^{ns}	27,15 ^{**}
EH	4	3,03 ^{ns}	440,59 ^{**}	0,073 ^{ns}	0,21 ^{ns}	697,6 ^{ns}	0,004 ^{ns}	22,24 ^{**}
E x EH	12	3,71 ^{ns}	197,80 ^{**}	0,162 ^{ns}	0,38 ^{ns}	2183,9 [*]	0,007 ^{ns}	24,44 ^{**}
Erro	80	6,05	79,35	0,095	0,52	1074,8	0,005	6,52
Total	99	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	17,0	10,8	13,9	12,5	22,3	20,76	18,6

******, ***** e **ns**, significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio, CV= coeficiente de variação, FV= fontes de variação

APÊNDICE J - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL NÚMERO DE SÍLIQUAS POR PLANTA (NSP), MASSA DE MIL GRÃOS (MCG) E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS (PG) DA CULTIVAR HYOLA 433 EM FUNÇÃO DE DIFERENTES S FENOLÓGICOS E PERÍODOS DE EXCESSO HÍDRICOS (EH) NO ANO AGRÍCOLA DE 2015 EM SÃO VICENTE DO SUL. SANTA MARIA, RS, 2016

FV	GL	QM		
		NSP	MMG	PG
Estádio (E)	4	370,27 ^{ns}	0,202 ^{ns}	10,103 ^{ns}
EH	3	1832,64**	0,232 ^{ns}	6,103 ^{ns}
E x EH	12	299,42 ^{ns}	0,400 ^{ns}	6,665 ^{ns}
Erro	40	243,97	0,191	3,91
Total	59	-	-	-
CV (%)	-	13,79	11,58	27,79

** , * e ns, significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F. QM = quadrado médio, CV= coeficiente de variação, FV= fontes de variação