

**DOGLAS BASSEGIO**

**POTENCIAL PRODUTIVO DE ACESSOS DE ESPÉCIES BRÁSSICAS SOB  
CONDIÇÕES TROPICAIS**

**Botucatu**

**2017**



**DOGLAS BASSEGIO**

**POTENCIAL PRODUTIVO DE ACESSOS DE ESPÉCIES BRÁSSICAS SOB  
CONDIÇÕES TROPICAIS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Maurício Dutra Zanotto

**Botucatu**

**2017**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

B318p Bassegio, Douglas, 1990-  
Potencial produtivo de acessos de espécies brássicas sob condições tropicais / Douglas Bassegio. - Botucatu : [s.n.], 2017  
56 p. : grafs., ils., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017  
Orientador: Maurício Dutra Zanotto  
Inclui bibliografia

1. Plantas oleaginosas - Cultivo. 2. Plantas oleaginosas - Rendimento. 3. Plantas - Melhoramento genético. I. Zanotto, Maurício Dutra. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: POTENCIAL PRODUTIVO DE ACESSOS DE ESPÉCIES BRASSICAS SOB CONDIÇÕES TROPICAIS

AUTOR: DOGLAS BASSEGIO

ORIENTADOR: MAURÍCIO DUTRA ZANOTTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MAURÍCIO DUTRA ZANOTTO

Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronomicas de Botucatu



Prof. Dr. SÉRGIO GONÇALVES DUTRA  
. / Instituto Mato-Grossense do Algodão



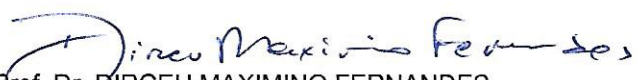
Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronomicas de Botucatu - UNESP



Doutor REGINALDO FERREIRA SANTOS

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ



Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 10 de março de 2017



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus.

Aos meus pais, Dejaime Bassegio e Lires Teresinha Bassegio e minha irmã Chaiane Bassegio, pela compreensão e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto, pela orientação e confiança durante todo o doutorado.

Ao Prof. Dr. Norberto da Silva, pelo excelente trabalho na caracterização inicial dos acessos.

Ao Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos, o qual foi um grande amigo e orientador, e que sempre me apoiou durante a graduação e pós-graduação.

Aos professores e funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal e do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Agricultura da UNESP pelos ensinamentos e auxílio.

Ao Instituto Mato-Grossense do Algodão (IMA-MT), por ter cedido os materiais avaliados neste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro.

Aos colegas e amigos da Pós-Graduação, Mateus Olivo, Marcos Vinicius Mansano Sarto, Jéssyca Dellinhares Lopes Martins, Andréia Rodrigues Ramos, Michely da Silva Alves, Ayza Eugênio Viana Camargos, Patrícia Pereira Dias, Felipe dos Santos de Oliveira, Leonardo Godoy Androcioli, Sebastião Soares de Oliveira Neto entre outros, pelo convívio, amizade e companheirismo.

Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho, muito obrigado!



## RESUMO

O gênero *Brassica* é a terceira maior fonte de óleo vegetal do mundo, com oleaginosas cultivadas no Hemisfério Norte. No Brasil, apesar do aumento nos últimos anos, a espécie *Brassica napus* L., não é um cultivo tradicional, devido as limitações de fotoperíodo e altas temperaturas. Outras espécies do gênero, como é o caso da *Brassica juncea* L. e *Brassica rapa* L., amplamente cultivadas em zonas de baixa precipitação e fertilidade, podem ser opções de cultivo em áreas marginais de sequeiro em condições tropicais, visto que possuem alto teor de óleo com características propícias para o biodiesel, além de menor sensibilidade ao ambiente. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar germoplasma de *Brassica juncea* L. e *Brassica rapa* L., avaliar o potencial produtivo e a divergência genética de acessos em Botucatu – SP, Brasil. Os experimentos tiveram início em outono-inverno de 2012, com a avaliação de 424 acessos de *Brassica juncea* L. e 209 de *Brassica rapa* L. quanto ao florescimento e produção de sementes. Em outono-inverno de 2015 e 2016 acessos de brássicas e um híbrido comercial da espécie *Brassica napus* L. foram avaliados, em experimentos em blocos ao acaso com três repetições, em relação aos componentes da produção, à produção grãos e óleo e a divergência genética. Do total de acessos introduzidos e avaliados, apenas 51 (12%) de *Brassica juncea* L. e 59 (28%) de *Brassica rapa* L. produziram sementes, devido ao efeito de fotoperíodo. Os componentes da produção variaram entre acessos e espécies, com destaque para precocidade e teor de óleo de acessos da espécie *Brassica rapa* L.; e o número de siliquis e a produtividade de grãos e óleo de acessos da espécie *Brassica juncea* L.. A produtividade de grãos e óleo foi em média 15% superior nos acessos de *Brassica juncea* L. em relação a espécie *Brassica rapa* L., com destaque para o acesso PI 180266 com 2056 kg ha<sup>-1</sup> de grãos e 805 kg ha<sup>-1</sup> de óleo. A variabilidade genética entre os acessos de brássicas possibilitou a formação de grupos de acessos para futuros ganhos em melhoramento genético. Conclui-se que os acessos selecionados confirmam a hipótese do potencial produtivo sem efeito de fotoperíodo em condições tropicais, o que demonstra que podem ser opções para cultivo em áreas onde a *Brassica napus* L. não está bem adaptada.

**Palavras-chave:** *Brassica napus* L.. *Brassica juncea* L.. *Brassica rapa* L.. Oleaginosas.



## ABSTRACT

*Brassica* is the third largest source of vegetable oil in the world, with oilseeds grown in the Northern Hemisphere. In Brazil, despite the increase in recent years, *Brassica napus* L., is not a traditional crop due to limitations of photoperiod and high temperatures. Other species of the genus, such as *Brassica juncea* L. and *Brassica rapa* L., widely cultivated in low rainfall zones and fertility, may be cultivation options in marginal rainfed areas under tropical conditions, since they have high oil content with characteristics conducive to biodiesel, in addition to lower sensitivity to environment. The objectives of this work were to characterize the germplasm of *Brassica juncea* L. and *Brassica rapa* L. and to evaluate the productive potential, as well as the genetic divergence of accesses in Botucatu – SP, Brazil. The experiments started in autumn-winter of 2012, with the evaluation of 424 accessions of *Brassica juncea* L. and 209 of *Brassica rapa* L. regarding flowering and seed production. In the autumn-winter of 2015 and 2016, *Brassica napus* L. and commercial *Brassica napus* L. were evaluated in randomized blocks with three replicates, in relation to the production components, grain and oil production, and divergence genetic. Of the total number of accesses introduced and evaluated, only 51 (12%) of *Brassica juncea* L. and 59 (28%) of *Brassica rapa* L. produced seeds, due to the effect of photoperiod. The components of the production varied between accesses and species, with emphasis on precocity and oil content of *Brassica rapa* L.; and the growth and number of siliques of the specie *Brassica juncea* L. The yield of grains and oil was on average 15% higher in the accessions of *Brassica juncea* L. in relation to the species *Brassica rapa* L., with emphasis on access PI 180266 with 2056 kg ha<sup>-1</sup> of grains and 805 kg ha<sup>-1</sup> of oil yield. The genetic variability among the accessions of brassicas allowed the formation of groups of accessions for future gains in genetic improvement. It is concluded that the selected accessions confirm the hypothesis of the productive potential without photoperiod effect in tropical conditions, which demonstrates that they can be options for cultivation in areas where *Brassica napus* L. is not well adapted.

**Keywords:** *Brassica napus* L.. *Brassica juncea* L.. *Brassica rapa* L.. Oilseeds.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Gênero <i>Brassica</i>.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b><i>Brassica napus</i> L. no Brasil.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Melhoramento e cultivares de <i>Brassica napus</i> L.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Brássicas em sistema de produção.....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Avaliação preliminar — Florescimento e produção de sementes.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Potencial produtivo dos acessos.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Características avaliadas.....</b>	<b>27</b>
3.2.1.1	<i>Altura de planta (cm) .....</i>	27
3.2.1.2	<i>Florescimento (dias) .....</i>	27
3.2.1.3	<i>Ciclo (dias).....</i>	28
3.2.1.4	<i>Número de síliquas por planta.....</i>	28
3.2.1.5	<i>Número de grãos por síliqua .....</i>	28
3.2.1.6	<i>Comprimento de síliqua (cm).....</i>	28
3.2.1.7	<i>Peso de mil grãos (g).....</i>	28
3.2.1.8	<i>Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>).....</i>	28
3.2.1.9	<i>Teor de óleo (%).....</i>	29
3.2.1.10	<i>Produtividade de óleo (kg ha<sup>-1</sup>).....</i>	29
<b>3.2.2</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1</b>	<b>Avaliação preliminar — Florescimento e produção de sementes .....</b>	<b>30</b>
<b>4.2</b>	<b>Potencial produtivo dos acessos.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Florescimento .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Ciclo.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Altura de planta .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Número de síliquas.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Comprimento de síliqua e grãos por síliqua .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Peso de mil grãos.....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Teor de óleo .....</b>	<b>38</b>
<b>4.2.8</b>	<b>Produtividade de grãos.....</b>	<b>40</b>

4.2.9	Produtividade de óleo.....	42
4.2.10	Análise de correlação simples.....	42
4.2.11	Análise multivariada .....	43
5	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIAS .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

O gênero *Brassica* é composto por espécies de alto interesse alimentício e industrial, visto que é a terceira maior fonte de óleo do mundo. São oleaginosas primárias na Europa para produção de biodiesel, além de grande valor econômico no Canadá e Índia. No Brasil, a espécie de primavera *Brassica napus* L., conhecida popularmente como canola é a única cultivada, em razão da adaptabilidade às condições do Sul, como opção de cultivo de outono-inverno para produção de óleo de alta qualidade para o consumo humano, além de proporcionar rotação adequada com benefícios ao sistema de produção.

Nos últimos anos houve crescimento na área plantada de canola no Brasil, apesar disto, a espécie ainda não ocupa área considerável de cultivo para atender a demanda de óleo para o consumo humano bem como para se tornar alternativa à soja ao biodiesel, frente a utilização da soja para alimentação e demanda para exportação. Apesar de possuir tecnologia de cultivo e cadeia de produção desenvolvida, alguns gargalos como maior adaptabilidade para tolerância ao déficit hídrico, altas temperaturas e fotoperíodo, visto que são espécies de frio e latitudes altas, ainda dificultam a expansão para se tornar um cultivo tradicional.

O Brasil possui grandes áreas nestas condições de baixa fertilidade natural e propensas ao déficit hídrico, que ficam ociosas em outono-inverno. Aliado a isso, a necessidade de produção de óleo em todo mundo, concentram esforços na busca por espécies mais rústicas com tolerância aos mais variados estresses abióticos e bióticos (BASSEGIO et al., 2016). Neste sentido, brássicas com tolerância a estas condições, especialmente a espécie *Brassica juncea* L., tem sido alvo de estudos nos últimos anos no Canadá (GAN et al., 2007; GAN et al., 2016) e Estados Unidos da América (ENJALBERT et al., 2013; GESCH et al., 2015), com destaque para áreas de baixa precipitação da Índia (SHEKHAWAT et al., 2012; KUMAR et al., 2016) e Austrália (GUNASEKERA et al., 2006a; GUNASEKERA et al., 2009; WILKES et al., 2013).

No Brasil tem sido cultivada somente a espécie *Brassica napus* L. pois o rendimento de grãos foi superior a outras espécies do gênero, especialmente em clima subtropical nas regiões frias com altas latitudes do Sul do Brasil (TOMM, 2009). No entanto, em regiões quentes, em ambientes com limitações hídricas e altas temperaturas, característica de clima tropical, espécies alternativas, como a *Brassica juncea* L. podem ser opção de cultivo (TOMM, 2009).

Para isso, é importante a caracterização de germoplasma dessas brássicas quanto à capacidade de crescimento e produção em condições tropicais. Neste sentido, com a hipótese que, acessos das espécies *Brassica juncea* L. e *Brassica rapa* L. são menos sensíveis ao fotoperíodo e altas temperaturas, aliado ao fato que podem apresentar alto potencial produtivo, o objetivo deste trabalho foi caracterizar, avaliar a divergência genética e o potencial produtivo de acessos de brássicas em outono-inverno em Botucatu – SP, Brasil.

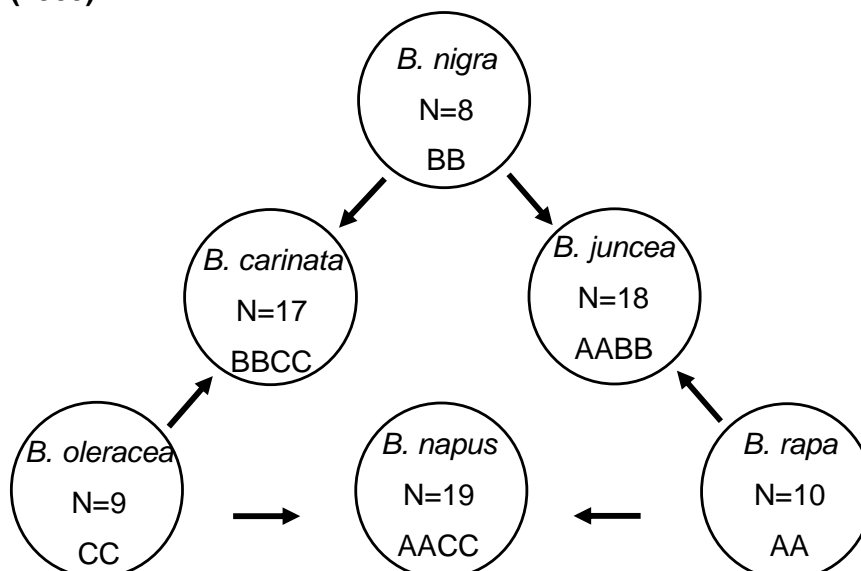
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Gênero *Brassica*

A família Brassicaceae é uma das maiores famílias das angiospermas, compreende 3.500 espécies agrupadas em 350 gêneros (PRAKASH; HINATA, 1980). O gênero *Brassica* é composto por espécies hortaliças importantes, como repolho (*Brassica oleracea* L.), bem como oleaginosas, tais como: canola (*Brassica napus* L.), nabo (*Brassica rapa* L.) e a mostarda (*Brassica juncea* L.).

Nagaharu (1935), a partir do triângulo U, postulou as relações interespecíficas das principais espécies do gênero, que evidenciaram que a *B. carinata*, *B. juncea* e a *B. napus* são espécies anfidiplóides formadas por eventos de hibridização natural entre as espécies parentais diploides *B. nigra*, *B. rapa* e *B. oleracea* que se constituem nas espécies básicas. Espécies diploides de *Brassica rapa* L. possuem duas cópias do genoma A em 20 cromossomos (AA, N=10, 2N=20) e diploide de *Brassica napus* L. duas cópias dos genomas A e C em 38 cromossomos (AACC, N=19, 2N=38) (Figura 1).

**Figura 1 – Relações entre espécies de brássicas, a partir do Triângulo de Nagaharu (1935)**



As espécies brássicas são importantes fontes de óleo vegetal, principalmente em regiões temperadas, onde espécies como a *Brassica napus* L., *Brassica rapa* L., e *Brassica juncea* L. fornecem cerca de 12% de óleo vegetal comestível em todo o

mundo. Os grãos das espécies variam de 38 a 50% de óleo (BEAUDETTE et al., 2010; MOHAMMADI; ROKHZADL, 2012). Os principais países produtores incluem China, Índia, Canadá, França, Alemanha, Austrália, Reino Unido e EUA responsáveis por mais de 80% da produção mundial (PREMI et al., 2013).

Dentre as espécies, a *Brassica napus* L. popularmente conhecida como canola, por apresentar menores níveis de ácido erúxico e glucosinolatos, é a espécie mais cultivada na Europa, Ásia, América do Norte e Austrália, cuja produção normalmente é empregada na produção de óleo comestível e biocombustível (ÖZTÜRK, 2010). Após a extração do óleo, o resíduo da semente, que é rico em proteína, pode ser utilizado na alimentação animal.

Nas últimas décadas, estas espécies se tornaram a terceira maior fonte de óleo do mundo, devido ao melhoramento para qualidade de óleo. O termo “canola” (Canadian Oil Low Acid), ou seja, óleo canadense de baixo teor ácido é utilizado para cultivares que possuem até 2% de ácido erúxico no óleo e valores de glucosinolatos na matéria seca da semente de até 30 micromoles por grama, conforme originalmente registrado pelo Canadian Council of Canola. Este rápido avanço na produção é devido à redução de ácido erúxico e no conteúdo glucosinolatos, o que possibilitou o uso para o consumo humano e como alimento para o gado (SNOWDON; LÜHS; FRIEDT, 2007).

O principal uso da canola está na alimentação humana em que consumo de seu óleo tem sido indicado por médicos e nutricionistas como um alimento funcional por possuir grande quantidade de ácidos graxos insaturados e alta percentagem de ácido oleico (BUTKUTĚ; ŠIDLÁUSKAS; BRAZAUSKIENĖ, 2006). Porém, a canola é a principal fonte para obtenção de biodiesel na Europa, 70% de sua produção são destinadas a este processo e não há mais áreas para expansão das lavouras.

A *Brassica juncea* L., conhecida popularmente como mostarda da Índia ou mostarda, tem sido sugerida na literatura internacional como opção em regiões do mundo com limitações hídricas, devido ao ciclo curto e alta tolerância a seca (ORAM et al., 2005; GUNASEKERA et al., 2006a, 2006b). É cultivada na maior parte sob climas temperados, mas também é cultivada em certas regiões tropicais e subtropicais como uma cultura de clima de inverno, uma vez que possui exigência baixa de precipitação (240-400 mm), o que caracteriza opção de cultivo de sequeiro em sistemas de cultivo. De acordo com Oram et al. (2005), a mostarda (*Brassica juncea* L.) é mais produtiva do que a canola (*Brassica napus* L.), principalmente em regiões

quentes da Rússia, Índia, China, Canadá e regiões com poucas chuvas, enquanto que, a canola é uma espécie de maior rendimento em regiões temperadas e úmidas. Isto se deve, segundo Yadava et al. (2010), pela capacidade de adaptação e ampla tolerância a estresses bióticos e abióticos, o que tem sido atribuído a maiores níveis de ajuste osmótico (WRIGHT et al., 1997).

A *Brassica rapa* L., conhecida popularmente como nabo, também é cultivada em áreas marginais do hemisfério Norte, especialmente devido ao rápido crescimento e florescimento (30 a 35 dias) com até 47% de óleo (OFORI; BECKER, 2008; SHEKHAWAT et al., 2012). Também serve como fonte importante de matéria-prima para uso industrial, como na fabricação de sabões, tintas, lubrificantes e produtos farmacêuticos (NAZNIN et al., 2015).

Apesar de algumas espécies possuírem óleo rico para alimentação humana, nas duas últimas décadas as oleaginosas do gênero destacaram-se devido ao teor de ácido erúcido em suas sementes. O ácido erúcido e seus derivados são matérias-primas em lubrificantes, surfactantes, agentes plastificantes, nylon e revestimentos de superfície. Além do mais, o ácido erúcido possui pontos de inflamação baixos, boa combustão e qualidades lubrificantes o que leva a ser componente valioso para o biodiesel. Assim, o aumento da produção de óleo a partir de brássicas oferece uma alternativa viável para muitos produtos petroquímicos, cujos custos estão impulsionados pelo aumento do preço do petróleo (PREMI et al., 2013).

## **2.2 *Brassica napus* L. no Brasil**

A espécie *Brassica napus* L. de primavera é cultivada no Brasil em outono-inverno. Começou a ser cultivada especificamente no estado do Rio Grande do Sul em 1974, em uma cooperativa em Contrijuí (RS), para rotação com trigo (TOMM, 2006).

Na Embrapa Trigo de Passo Fundo (RS), as pesquisas com canola começaram no início da década de 1980, a partir da avaliação de germoplasma para composição de sistemas de rotação de culturas. Inicialmente, a espécie era vista como alternativa de inverno para cobertura de solo como adubo verde, assim como a nabiça, mas as pesquisas mudaram o foco para produção de óleo comestível, devido à alta demanda e preços por ser um óleo nobre para o consumo humano. O cultivo migrou para o estado do Paraná no início da década de 80 (TOMM et al., 2009).

A partir dos anos 2000, houve crescimento do cultivo de canola, especialmente nos estados do Rio Grande do Sul e do Paraná, o que fez chegar à região sudoeste de Goiás, em 2003 (TOMM et al., 2004). Atualmente, de acordo com a Embrapa Trigo junto, a área semeada com canola no Brasil, em 2016, foi de 57.782 ha, expansão de 7% em relação à safra anterior. A produção de canola está distribuída em oito estados (RS, PR, MS, MG, GO, SC, SP e MT), com destaque para o RS com 87% e o PR com 13% (EMBRAPA, 2016).

Com teor de óleo em torno de 42% e 1.500 kg ha<sup>-1</sup> de grãos em média atualmente, com 24 a 27% de proteína nos grãos, é matéria-prima para produção de óleo para a cadeia do biodiesel. Já o farelo de espécies com qualidade canola possuem 34 a 38% de proteína e pode ser utilizado na alimentação animal. Portanto, diante da alta qualidade do óleo, o mesmo é utilizado apenas na alimentação humana e é considerado alimento funcional em razão da excelente composição de ácidos graxos. No entanto, com a difusão da tecnologia e aumento da produção em grande escala, o cultivo pode se tornar tradicional, similar a Europa, como uma “soja do inverno” (TOMM et al., 2009). Além disso, existe facilidade na adaptação do conjunto de máquinas, comumente utilizado pelos agricultores no cultivo milho e soja, para semeadura e colheita, o que permite a expansão com pouca mão de obra (TOMM et al., 2009).

O óleo é saudável por apresentar quantidade elevada de ômega-3 (reduz triglicerídios e controla arteriosclerose), vitamina E (antioxidante que reduz radicais livres), gorduras monoinsaturadas (que reduzem as gorduras de baixa densidade) e o menor teor de gordura saturada entre os óleos vegetais (atua no controle do colesterol de baixa densidade). Com isso, é recomendado como óleo com melhor composição de ácidos graxos (TOMM et al., 2009).

A produção de biodiesel de brássicas traz uma série de vantagens, como baixa oxidação e estabilidade do biodiesel, matéria prima para substituir a soja (JHAM et al., 2009; AHMED et al., 2014). Na Europa, o óleo de canola é amplamente utilizado para a produção de biodiesel, referência para a produção mundial. No Brasil, a produção de biodiesel a partir de canola ainda é incipiente.

A produção de óleo de canola no Brasil é principalmente para o mercado de alimentos, a utilização para o biodiesel é praticamente inexistente, mas é considerado como uma alternativa à soja (BERGMANN et al., 2013). Segundo Dias (1992), a possibilidade de utilização do óleo de canola no Brasil pode representar aumento da

disponibilidade interna de óleo e farelo, possibilitando a liberação de maior quantidade de soja para o mercado externo e como complemento do óleo diesel.

Por se tratar de um cultivo não tradicional nas condições subtropicais e tropicais do Brasil, a experimentação agrícola desempenha papel fundamental para estudar a canola nas condições de cultivo (ESTEVEZ et al., 2014). Um dos principais gargalos é a época ideal para a semeadura de acordo com cada região, por se tratar de uma cultura sensível ao fotoperíodo e a temperatura (TOMM et al., 2009). De acordo com Tomm et al. (2009), o período recomendado para semeadura dos genótipos de canola para a região Sul do Brasil vai de 11 de abril a 30 de junho.

Existem dois tipos de cultivares de canola, as cultivares de inverno, que exigem vernalização para que ocorra o florescimento, temperatura abaixo de 7 °C por oito semanas, e as cultivares de primavera, que não exigem vernalização, porém no Brasil essas cultivares também são plantadas no outono e inverno (TOMM et al., 2009). Se desenvolve melhor em altitudes acima de 700 metros e temperaturas médias em torno de 20 °C, entre a faixa de temperatura de 13 a 22 °C. No florescimento, temperaturas acima de 27 °C causam o abortamento das flores e siliquas em início de formação em espécies sensíveis, por isso, deve-se evitar o cultivo em épocas tardias e áreas que com temperatura elevada no período de florescimento. Geralmente estes locais se localizam acima do paralelo 24 °S (TOMM et al., 2009).

Como é adaptada ao clima frio das condições temperadas, danos ocorrem no estágio de plântulas nas espécies de primavera apenas com temperaturas em torno de 3 a 4 °C, uma vez que pode ocorrer à morte das plântulas. Nas demais fases, como no florescimento, apresenta boa tolerância às geadas com pequenas perdas em relação as outras espécies de outono-inverno, como o milho. A necessidade hídrica é semelhante a outros cultivos de outono-inverno, como o trigo, aveia e cevada. A exigência hídrica da cultura fica em torno de 300 a 500 mm durante o ciclo. A canola é uma planta relativamente sensível à falta de água, originária de regiões frias e adaptada às condições de baixa evapotranspiração (TOMM et al., 2009).

Nos últimos anos tem sido postulado o cultivo da canola em condições tropicais do Brasil, especialmente em regiões que ficam ociosas após a cultivo da safra de verão. No entanto, a sensibilidade ao fotoperíodo e a temperatura além da escassez hídrica podem dificultar a expansão. Tomm et al. (2008) observaram rendimento de grãos satisfatórios para região Nordeste da Paraíba, com produtividade comparável com regiões produtoras de canola do Sul do Brasil. Souza et al. (2008) e Souza et al.

(2010) também apresentaram resultados positivos para produtividade de grãos e ciclo para híbridos Hyola em Areia, Paraíba, Nordeste do Brasil. De acordo com os autores, o Nordeste do estado da Paraíba pode constituir uma região promissora para o cultivo de genótipos de canola com baixa sensibilidade a fotoperíodo.

De acordo com o levantamento feito por Dossa, Ferreira e Tomm (2014), as principais dificuldades e entraves para o desenvolvimento e crescimento do cultivo de canola no Brasil é a falta de assistência técnica juntamente com conhecimento sobre a cultura dos assistentes técnicos privados, com isso a cultura é percebida como um cultivo de alto risco. De acordo com os autores, apesar das questões econômicas, isto é, preços equiparáveis ao preço da soja, a cultura ainda necessita de difusão a situação é semelhante ao início da expansão no Canadá, o que foi superado com investimentos adequados em pesquisa e organização dos produtores.

Desta forma, mesmo originárias de clima temperado, oleaginosas do gênero *Brassica*, como é o caso da canola, oferecem potencial de produção de óleo e rotação de culturas. O comportamento em baixa latitude no Brasil e até mesmo em áreas de cerrado, deve-se aos avanços em melhoramento genético de híbridos menos sensíveis ao fotoperíodo, o que é chamado de "tropicalização" da canola (TOMM et al., 2008).

### **2.3 Melhoramento e cultivares de *Brassica napus* L.**

O melhoramento de brássicas está intimamente relacionado com outras espécies do gênero *Brassica* (*Brassica napus* L., *Brassica rapa* L. e *Brassica juncea* L.). O país que mais trabalha com melhoramento de brássicas é o Canadá, com os primeiros avanços em melhoramento (PARKIN et al., 1995; BURTON, 2008). Embora classificadas como plantas autógamas, tem sido verificado alogamia em algumas espécies (WANG et al., 2009). Há um certo número de fatores que afetam o fluxo de genes mediada por pólen entre plantas e incluem compatibilidade sexual das espécies receptoras, tempo de floração, tamanho da fonte de pólen, vetores de polinização, viabilidade do pólen e fatores ambientais.

Atualmente, os programas de melhoramento de brássicas desenvolvem cultivares híbridas, com o sistema de macho-esterilidade citoplasmática e técnicas de biotecnologia, para tolerância a herbicidas, resistência a doença, além do aumento no teor de óleo e grãos. Nos últimos anos há interesse no melhoramento de *Brassica*

*juncea* L. devido à sua tolerância ao calor e à seca em relação ao *Brassica napus* L. (COWLING, 2007; BURTON, 2008).

No Brasil, os trabalhos de melhoramento e pesquisa se deram apenas com a cultura da canola, espécie *Brassica napus* L., com avaliação de germoplasma e cultivares (polinização aberta) para recomendação direta aos agricultores (SANTOS; TOMM; BAIER, 2000). No entanto, os acessos da espécie *Brassica napus* L. se mostravam com ciclo muito longo. A Embrapa deixou sua contribuição para o mercado, em 2003 lançou a cultivar de polinização aberta PFB-2, alternativa barata de custo em relação as cultivares híbridas importadas (TOMM, 2007).

No entanto, aos poucos, as cultivares de polinização aberta foram substituídas pelo uso dos híbridos. Isso ocorreu em função, principalmente, da maturação desuniforme, que dificulta o manejo de colheita, com elevadas perdas na colheita, superior a 30% da produção. Além disto, as cultivares de polinização aberta apresentavam ciclo longo e conseqüente atrasos na semeadura de soja e milho na safra principal de verão, o que compromete o potencial de rendimento. Ainda, apresentavam baixa resistência a doenças, especialmente à canela-preta, doença que causou grandes perdas em diversas lavouras do noroeste do Rio Grande do Sul (TOMM, 2007).

Assim, esse insucesso fez com que desde então fossem importados híbridos com resistência a doenças causadas por fungos (TOMM, 2006). Atualmente são utilizado híbridos Hyola, que possuem ciclo de 100 a 140 dias. Os híbridos utilizados são advindos da Argentina e Paraguai, e se baseiam em materiais que se adaptam as condições tropicais da Austrália, cujo país possui um grande cultivo de brássicas oleaginosas (TOMM et al., 2009).

Devido à falta de melhoramento genético no Brasil e necessidade de importação de híbridos, desde 2014, a empresa pioneira “ADVANTA”, começou a Produção de sementes de canola no Brasil, na Região de Uberlândia-MG, com objetivo de produção de sementes em latitudes inferiores e altas temperaturas. Em 2015, foi registrado no Brasil o herbicida do grupo das imidazolinonas para aplicação nos híbridos de canola Hyola 571 CL e Hyola 575 CL desenvolvidos pela empresa. A tecnologia Clearfield (CL) pode facilitar o controle de plantas daninhas em canola através do emprego de herbicida pós-emergente, apesar de não ser considerada uma tecnologia transgênica.

O Brasil não utiliza cultivares transgênicas de canola, embora em outros países, sobretudo no Canadá e nos EUA, os agricultores utilizem variedades e híbridos de canola transgênica na maioria das áreas cultivadas. A tecnologia de canola transgênica para resistência a herbicidas não é preferência no Brasil, frente ao risco de cruzamento com várias espécies de crucíferas nativas ou voluntárias como a nabiça e o nabo forrageiro, uma vez que ocorre a polinização cruzada com algumas espécies do gênero (TOMM, 2007).

## **2.4 Brássicas em sistema de produção**

A importância agrícola da família Brassicaceae é principalmente devido ao gênero *Brassica*, o qual é uma rica fonte de sementes oleaginosas e espécies para cobertura do solo (SCHMIDT; ACARKAN; BOIVIN, 2001). As brássicas se encaixam bem nos sistemas de produção de grãos, podem fornecer cobertura do solo superior a 80%, com 3 a 8 t ha<sup>-1</sup> de biomassa. Devido ao rápido crescimento e ciclo curto pode utilizar o N residual da safra anterior para crescer e acumular biomassa e disponibilizar na safra subsequente. A cultura da canola é considerada uma planta muito exigente em nutrientes, principalmente em nitrogênio, o qual requer em maiores quantidades que outras culturas, como o trigo por exemplo. Diante das características favoráveis, as brássicas oleaginosas tornaram-se opções para vários países de clima temperado frio, onde a maioria das outras oleaginosas não crescem (RICHTER et al., 2010).

A cobertura do solo com brássicas como espécies de cobertura, é realizada com o nabo forrageiro na adubação verde no Brasil, com alta capacidade de reciclagem de nutrientes, desenvolvendo-se de forma normal em solos pobres com acidez, além de boa cobertura do solo e opção para biocombustíveis (CREMONEZ et al., 2013). Constituem excelentes opções de cultivo de inverno, por reduzir problemas fitossanitários de leguminosas, como a soja e o feijão, e das gramíneas, como o milho, trigo e outros cereais (TOMM, 2007), devido aos compostos que produzem isotiocianatos durante a sua degradação no solo, letais para muitos organismos patogênicos presentes no solo. Assim, estas espécies podem interromper ciclos de doenças, pragas e plantas daninhas, já que plantas da família Brassicaceae geralmente não são susceptíveis aos mesmos organismos das plantas da família Poaceae (WAALEN et al., 2013). O efeito alelopático da canola sobre o

desenvolvimento de algumas plantas daninhas já possui resultados satisfatórios (RIZZARDI et al., 2008).

Na região Sul do Brasil é possível adotar no sistema de produção, soja – canola – milho – trigo. Por ser um cultivo ainda, sem tradição, estudos acerca da adubação de canola ainda são contraditórios e restritos apenas a solos e sistemas da região Sul do Brasil. A baixa relação C/N da palha acelera a decomposição o que beneficia o milho em sucessão. Porém, o milho deve ser semeado sempre após no mínimo 20 dias depois da colheita devido ao efeito alelopático (TOMM et al., 2009).

De acordo com a literatura internacional, o uso destas plantas como culturas de cobertura pode proporcionar vários benefícios em rotações de milho e soja (WEIL; KREMEN, 2007; LAWLEY et al., 2011). As espécies geralmente possuem caule ereto com raiz pivotante, com grande número de raízes secundárias fasciculadas, o que permite inferir sobre os benefícios para o sistema de plantio direto na melhoria e construção de um perfil do solo. Rápido crescimento radicular, capaz de penetrar solos compactados e acessar reservas de nutrientes nas camadas mais profundas no perfil do solo e proporcionar melhoria da macroporosidade do solo é fato comum na literatura ao se tratar de brássicas (KIRKEGAARD et al., 1997; PIETOLA; ALAKUKKU 2005; CHEN; WEIL, 2011). Além disto, os canais radiculares (biocanais) profundos deixados no inverno podem ser vantajosos para o crescimento das culturas de verão, particularmente em solos altamente compactados (CHEN; WEIL, 2011). Além de melhor utilização dos recursos do sistema, as plantas fornecem cobertura do solo durante todo o outono e inverno, o que pode reduzir a erosão do solo e a lixiviação de nutrientes (LI et al., 2002; SIELING; KAGE, 2010).

Outro fator importante para a cultura se tornar uma opção para os sistemas de produção tropicais em relação a outros cereais de inverno, é sua alta tolerância à geada, fato característico da região Sul do Brasil, e sua baixa demanda hídrica comparado com outras culturas (TOMM et al., 2009; PAVLISTA et al., 2011). Gunasekera et al. (2006a) e Gunasekera et al. (2006b) avaliaram genótipos de *Brassica juncea* L. e *Brassica napus* L. em ambientes de baixa precipitação no mediterrâneo, Sul da Austrália Ocidental. Os autores verificaram que ambas as espécies se adaptam ao ambiente, porém genótipos de *Brassica juncea* L. são mais adaptados ao estresse e ambientes associados com baixa pluviosidade, temperatura elevada e semeadura tardia, enquanto que, genótipos de canola são mais adaptados aos ambientes de maior fertilidade do solo.

Na utilização de brássicas em rotação no sistema, o manejo de plantas daninhas é importante nos cultivos subsequentes, visto que na colheita há uma perda considerável. O controle de plantas daninhas como o azevém e aveia é de baixo custo em comparação a cultura do trigo em que se utilizam herbicidas mais caros para o controle de gramíneas, o que faz o custo de produção da canola um dos mais baixos (TOMM et al., 2009). No entanto, o problema é agravado no caso de canola resistente ao glifosato. Por isso, a tecnologia de canola transgênica para resistência a herbicidas não é realizada no Brasil, especialmente diante do risco de cruzamento com várias espécies nativas ou plantas voluntárias de espécies cultivadas como a nabiça e o nabo forrageiro (TOMM et al., 2009).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi composto por uma avaliação preliminar de acessos de *Brassica juncea* L. e *Brassica rapa* L. em 2012 e dois experimentos com os acessos promissores em 2015 e 2016. Os experimentos são apresentados a seguir.

#### 3.1 Avaliação preliminar — Florescimento e produção de sementes

A avaliação dos acessos foi realizada na Fazenda Experimental São Manuel, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, localizada no município de São Manuel – SP (22°46' S, 48°34' W e altitude média de 740 m).

O clima predominante, segundo a classificação de Köppen, é tipo Cwa, tropical úmido, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média é de 21 °C com precipitação pluvial média anual de 1.445 mm (CUNHA; MARTINS, 2009). O solo onde foi realizada a avaliação inicial foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (EMPRAPA, 2006).

Foram avaliados em outono-inverno de 2012, 424 acessos de *Brassica juncea* L. e 209 acessos de *Brassica rapa* L. introduzidos do banco de germoplasma do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e do banco de germoplasma holandês (CGN) pelo IMA-MT (Instituto Mato-Grossense do Algodão) e cedido para este trabalho.

Os acessos de *Brassica juncea* L. e *Brassica rapa* L. foram semeados em abril e maio de 2012, respectivamente, com densidade de 20 plantas por m<sup>2</sup>.

Foram avaliados a capacidade de florescimento e a produção de sementes.

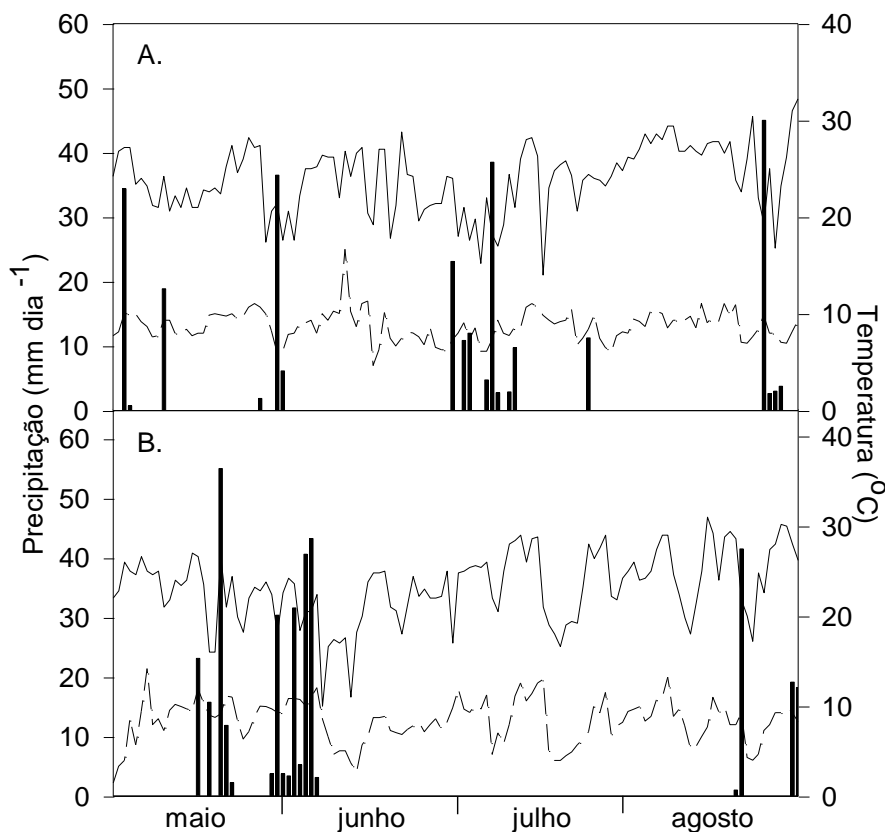
#### 3.2 Potencial produtivo dos acessos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu – SP (22°51' S, 48°23' W e altitude de 765 metros).

O clima predominante, segundo a classificação de Köppen, é tipo Cwa que caracteriza clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). A temperatura média é de 21 °C com precipitação pluvial média anual de 1.430 mm (CUNHA; MARTINS, 2009). As

temperaturas mínimas e máximas e precipitações pluviométricas diárias estão apresentadas na Figura 2.

**Figura 2 – Precipitação pluviométrica (■) e temperatura mínima (---) e temperatura máxima diária (—) entre maio e agosto de 2015 (A) e 2016 (B)**



O solo do local é do tipo Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 2006), cujas características químicas e físicas encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1 – Propriedades químicas e físicas do solo por ocasião da instalação do experimento**

P (Resina)	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	Areia	Silte	Argila
mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%	g kg <sup>-1</sup>		
34	27	5,1	7	48	17	34	105	68	280	90	630

Fonte: Laboratório “Análise Química do Solo para Fins de Fertilidade” da FCA-UNESP.

Como não houve a necessidade de correção do solo (Tabela 1), foi realizada a adubação de manutenção da área, baseada na recomendação para a cultura da canola (TOMM, 2007) e nos resultados da análise de solo da área experimental. A

fertilização foi de 300 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-28-16 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) em espaçamento de 0,45 m entre linhas com semeadora adubadora.

Para avaliar o potencial produtivo dos acessos que floresceram e produziram mais sementes em 2012, experimentos de campo em blocos ao acaso, com três repetições, foram conduzidos sob preparo convencional de solo no dia 8 de maio e 27 de abril de 2015 e 2016, respectivamente. Além dos acessos semeados, conforme a Tabela 2, em 2016 avaliou-se o híbrido comercial da espécie *Brassica napus* L. Hyola 575 CL, ciclo precoce (123 a 158 dias) da empresa Advanta sementes.

**Tabela 2 – Acessos utilizados nos experimentos de 2015 e 2016**

2015		2016	
<i>Brassica juncea</i> L.	<i>Brassica rapa</i> L.	<i>Brassica juncea</i> L.	<i>Brassica rapa</i> L.
PI 432386	PI 6841	PI 432386	PI 6841
PI 432384	PI 6838	PI 432384	PI 6838
PI 180266	PI 603026	PI 180266	PI 603026
PI 449438	PI 6839	PI 449438	PI 6839
PI 169078	PI 352789	PI 212594	PI 352789
PI 649105	PI 340203	PI 649105	PI 347597
PI 426178	PI 432373	PI 358591	PI 432373
PI 426394	PI 340199	PI 426394	PI 340199
PI 180421	PI 347597	PI 180421	<i>Brassica napus</i> L.
PI 432379	—	PI 432379	Hyola

A semeadura foi realizada de forma manual, obtendo-se 40 plantas por m<sup>2</sup> após o desbaste. As parcelas experimentais tiveram dimensões de 6,75 m<sup>2</sup>. Os demais tratos culturais foram realizados baseando-se nas recomendações técnicas de Tomm (2007) para cultura da *Brassica napus* L. no Brasil.

### 3.2.1 Características avaliadas

#### 3.2.1.1 Altura de planta (cm)

Foram avaliadas cinco plantas por parcela, utilizando-se a medida da superfície do solo até o ápice do ramo mais alto, no florescimento pleno (50% das plantas floridas), com auxílio de uma régua graduada.

### 3.2.1.2 *Florescimento (dias)*

Determinado por meio da abertura de 50% das flores.

### 3.2.1.3 *Ciclo (dias)*

Foi realizada por meio da contagem da emergência em relação à colheita (plantas com 80% das vagens secas).

### 3.2.1.4 *Número de síliquas por planta*

Determinada pela contagem do número de síliquas por planta, advindas de cinco plantas escolhidas ao acaso na área amostral de cada parcela.

### 3.2.1.5 *Número de grãos por síliqua*

Obtido pela média da contagem dos grãos de dez síliquas por planta advindas de cinco plantas escolhidas ao acaso na área amostral de cada parcela experimental.

### 3.2.1.6 *Comprimento de síliqua (cm)*

Obtido pela medição com régua do comprimento médio das dez síliquas advindas de cinco plantas escolhidas ao acaso na área amostral de cada parcela experimental.

### 3.2.1.7 *Peso de mil grãos (g)*

Foi obtido através da contagem de cinco amostras de 100 grãos advindas de cinco plantas escolhidas ao acaso, e posterior pesagem e correção para 9% de umidade.

### 3.2.1.8 Produtividade de grãos ( $kg\ ha^{-1}$ )

Foi obtido através da colheita de um  $m^2$  nas duas linhas centrais da área útil da parcela, corrigida para 9% de umidade e posteriormente extrapolada para  $kg\ ha^{-1}$ .

### 3.2.1.9 Teor de óleo (%)

As medidas do teor de óleo foram realizadas a partir de um TD-NMR, em espectrômetro (SLK-SG-200 - SpinLock Magnetic Resonance Solutions, Malagueño, Córdoba, Argentina) a 25 °C, equipado com um ímã permanente de 0,23 T (9 MHz para 1H) e uma sonda de 13 mm x 30 mm de área útil, utilizando-se o software Condor IDE com a sequência de pulso CPMG com Qdamper em base seca (BS%) (COLNAGO et al., 2011).

### 3.2.1.10 Produtividade de óleo ( $kg\ ha^{-1}$ )

Obtido pela multiplicação dos percentuais de óleo na semente pelos devidos rendimentos em cada unidade experimental. Os resultados foram expressos em  $kg\ ha^{-1}$  de óleo.

## 3.2.2 Análise estatística

Os dados foram submetidos a teste de normalidade e transformados em raiz quadrada de  $X+0,5$ , se necessário. Em seguida foram submetidos à análise de variância, e a significância dos quadrados médios obtidos na análise de variância foi testada pelo teste F ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ) de probabilidade e as médias foram agrupadas pelo teste de agrupamento proposto por Scott e Knott, ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ) de probabilidade. Foram determinadas também as correlações das variáveis por meio do método de correlação linear simples ( $p \leq 0,05$ ) e à análise dos componentes principais (PCA). Foi efetuado também agrupamento em dendrograma, cuja dissimilaridade entre acessos foi estimada pela distância euclidiana e pelo método de aglomeração de Ward.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação preliminar — Florescimento e produção de sementes

Dos 424 acessos de *Brassica juncea* L. semeados apenas 57% germinaram. Dos germinados, 27% floresceram precocemente aos 23 dias após a semeadura (dados não apresentados). No entanto, o maior número de acessos floresceram no intervalo entre os 45 e 63 dias (65%) após a semeadura. Aos 51 dias após a semeadura, floresceram (68), 27% do total, o que está de acordo com o período de florescimento normal da literatura (IQBAL et al., 2008; WILKES et al., 2013), uma vez que geralmente com fotoperíodo de 16h de luz e 8h de escuro a espécie floresce (SINGH et al., 2014). Apesar disto, após os 63 dias de semeadura, 8% dos acessos vegetavam, com necessidade de vernalização e não produziram sementes pela sensibilidade.

Em relação a espécie *Brassica rapa* L., 78 acessos tiveram florescimento precoce, o que representa 37% do total dos acessos. Diferentemente do observado para os acessos da espécie *Brassica juncea* L., não houve períodos contrastantes de dias para o florescimento.

Apesar do alto índice de florescimento dos acessos, apenas 51 (12%) de *Brassica juncea* L. e 59 (28%) de *Brassica rapa* L. produziram sementes em condições tropicais (Tabela 3). A maioria dos acessos não produziram sementes.

No Brasil se cultiva apenas a espécie *Brassica napus* L. (canola) melhorada, que possui baixa sensibilidade a fotoperíodo, frente à baixa latitude das regiões de cultivo (de 30 a 6 graus), em clima subtropical e tropical.

**Tabela 3 – Acessos de *Brassica juncea* L. e *Brassica rapa* L. que produziram sementes**

<i>Brassica juncea</i> L.		<i>Brassica rapa</i> L.	
PI 169078	PI 340211	PI 164841	PI 347610
PI 179651	PI 340212	PI 165595	PI 347612
PI 179858	PI 340216	PI 165608	PI 347613
PI 180266	PI 340220	PI 182922	PI 352789
PI 180267	PI 346876	PI 182923	PI 370742
PI 180421	PI 347615	PI 183395	PI 390131
PI 180422	PI 347618	PI 183396	PI 390132
PI 212594	PI 370744	PI 183438	PI 426174
PI 358591	PI 370746	PI 207465	PI 426175
PI 250130	PI 390140	PI 220774	PI 426241
PI 250133	PI 390141	PI 223757	PI 426245
PI 340204	PI 426178	PI 223759	PI 426247
PI 340206	PI 426379	PI 254358	PI 426252
PI 426394	PI 432367	PI 254541	PI 426256
PI 432379	PI 432383	PI 268366	PI 432364
PI 432384	PI 432389	PI 268369	PI 432368
PI 432388	PI 449438	PI 340184	PI 432369
PI 458929	PI 458993	PI 340199	PI 432370
PI 458994	PI 459000	PI 340201	PI 432372
PI 459001	PI 459002	PI 340203	PI 432373
PI 459004	PI 459007	PI 340222	PI 432376
PI 531268	PI 633084	PI 347595	PI 458987
PI 633090	PI 633091	PI 347597	PI 458991
PI 633094	PI 649105	PI 347598	PI 537010
PI 649110	PI 649117	PI 347599	PI 603026
—	—	PI 649159	PI 649160
—	—	PI 6836	PI 6837
—	—	PI 6838	PI 6839
—	—	PI 6840	PI 6841

## 4.2 Potencial produtivo dos acessos

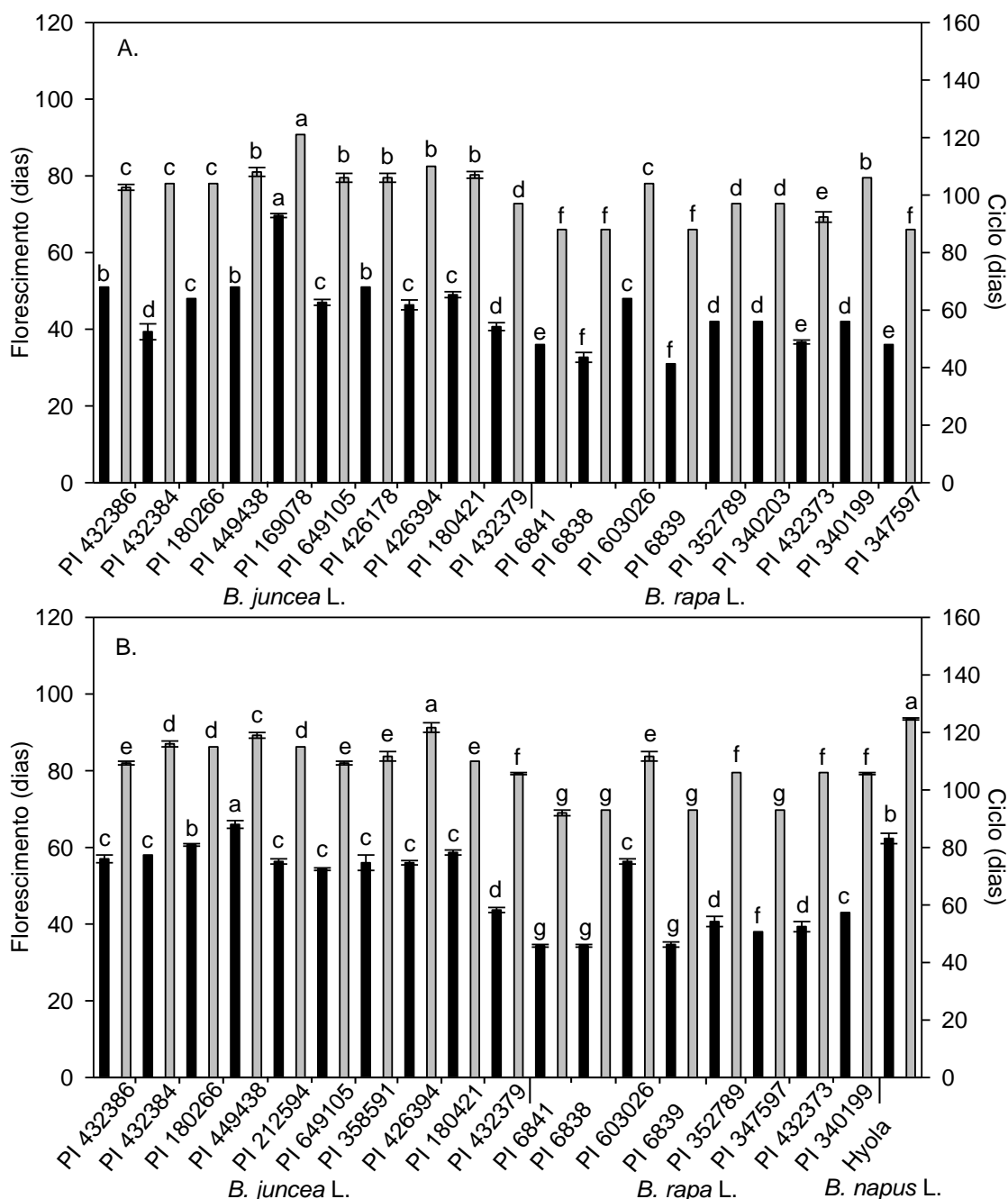
A precipitação total no período experimental (maio-agosto) foi de 268 e 353 mm em 2015 e 2016, respectivamente, o que está acima da média histórica de 208 mm. No entanto, apesar da média anual elevada (1358 mm), devido a irregular precipitação ao longo dos meses, característica da região de inverno seco, a precipitação até o florescimento em 2015 foi de apenas 63 mm, distribuídos quase unicamente aos 30 DAE (Figura 2). Em contrapartida, em 2016 mais de 70% da precipitação total ocorreu até o florescimento, o que resultou no maior crescimento vegetativo. Entretanto, nos meses de julho e agosto de 2016, a precipitação foi de apenas 80 mm, e em julho não houve precipitação. O mês de julho é o mais seco historicamente (37 mm), seguido por agosto (38 mm) (CEPAGRI, 2016).

As temperaturas máximas e mínimas diárias foram semelhantes em ambos os anos, apesar de temperaturas menores no ano de 2016 nos estágios iniciais de crescimento, com até 2 °C. Em 2016 foram constatadas temperaturas mais elevadas no estágio de florescimento (30 °C), cuja fase é a mais sensível a temperatura elevada (HALL, 1992), por acelerar o desenvolvimento das plantas, causar abortamento de flores e redução de rendimento (RAO et al., 1992), isso porque são plantas de ambiente frio e temperado. Temperaturas próximas a 30 °C nestes meses é considerada anormal, visto que as médias históricas não relatam valores superiores a 25 °C. Apesar disto, a *Brassica juncea* L. e *Brassica rapa* L. são menos sensíveis as altas temperaturas em relação *Brassica napus* L. (KUMAR et al., 2011).

### 4.2.1 Florescimento

Os dias para florescimento pleno dos acessos das espécies foram maiores em 2016 (Figura 3A e B) devido a precipitação regular na fase de crescimento vegetativo (Figura 2). Houve distinção de grupos de acessos. Os acessos de *Brassica juncea* L., especialmente o PI 169078 em 2015, floresceram tardiamente. Em contrapartida, em geral, os acessos de *Brassica rapa* L. foram agrupados com florescimento precoce, com até 31 dias, independente das condições ambientais. Padilla et al. (2005) também agruparam acessos de germoplasma de *Brassica rapa* L. no Noroeste da Espanha com florescimento precoce (44 dias).

Figura 3 – Florescimento (■) e ciclo (□) de acessos de brássicas em 2015 (A) e 2016 (B)



Colunas com letras iguais pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott, a 5% de probabilidade. As barras indicam o erro padrão.  $\pm$  três repetições.

Em média os acessos de *Brassica juncea* L. floresceram com 50 dias, mesma média de 94 acessos de Enjalbert et al. (2013) em Colorado-EUA. Já os acessos de *Brassica rapa* L. em média floresceram com 38 dias em 2015 (Figura 3A), o que demonstra o florescimento precoce da espécie em condições tropicais, apesar da proximidade ao intervalo (30 a 36 dias) encontrado por Khan et al. (2013) em Bangladesh. Nesta tendência, em 2016 (Figura 3B) os acessos de *Brassica juncea* L. e *Brassica rapa* L. floresceram com 56 e 40 dias, respectivamente. O híbrido comercial

de *Brassica napus* L. (Hyola) floresceu com 62 dias, o que se alinha com os estudos de Iqbal et al. (2008), que em média observaram que o número de dias para 50% para floração foi maior em *Brassica napus* L., além do florescimento de *Brassica juncea* L. com 52 dias, próximo ao presente estudo. O florescimento do híbrido comercial da espécie *Brassica napus* L. cultivado no Brasil, também está de acordo com Hrchorovitch (2015), que obteve entre 57 a 63 dias em média no Sul do Brasil. O conhecimento da época de florescimento é importante para combinar data de semeadura precoce em regiões com menor disponibilidade hídrica (SI; WALTON, 2004). Gunasekera et al. (2006a), ao estudarem a interação entre genótipo e ambiente, com genótipos de *Brassica juncea* L. e *Brassica napus* L., em regiões de baixa precipitação do mediterrâneo, também observaram variação entre o início do florescimento em relação ao ambiente, sobretudo na variação do florescimento entre genótipos (51 a 114 dias).

#### 4.2.2 Ciclo

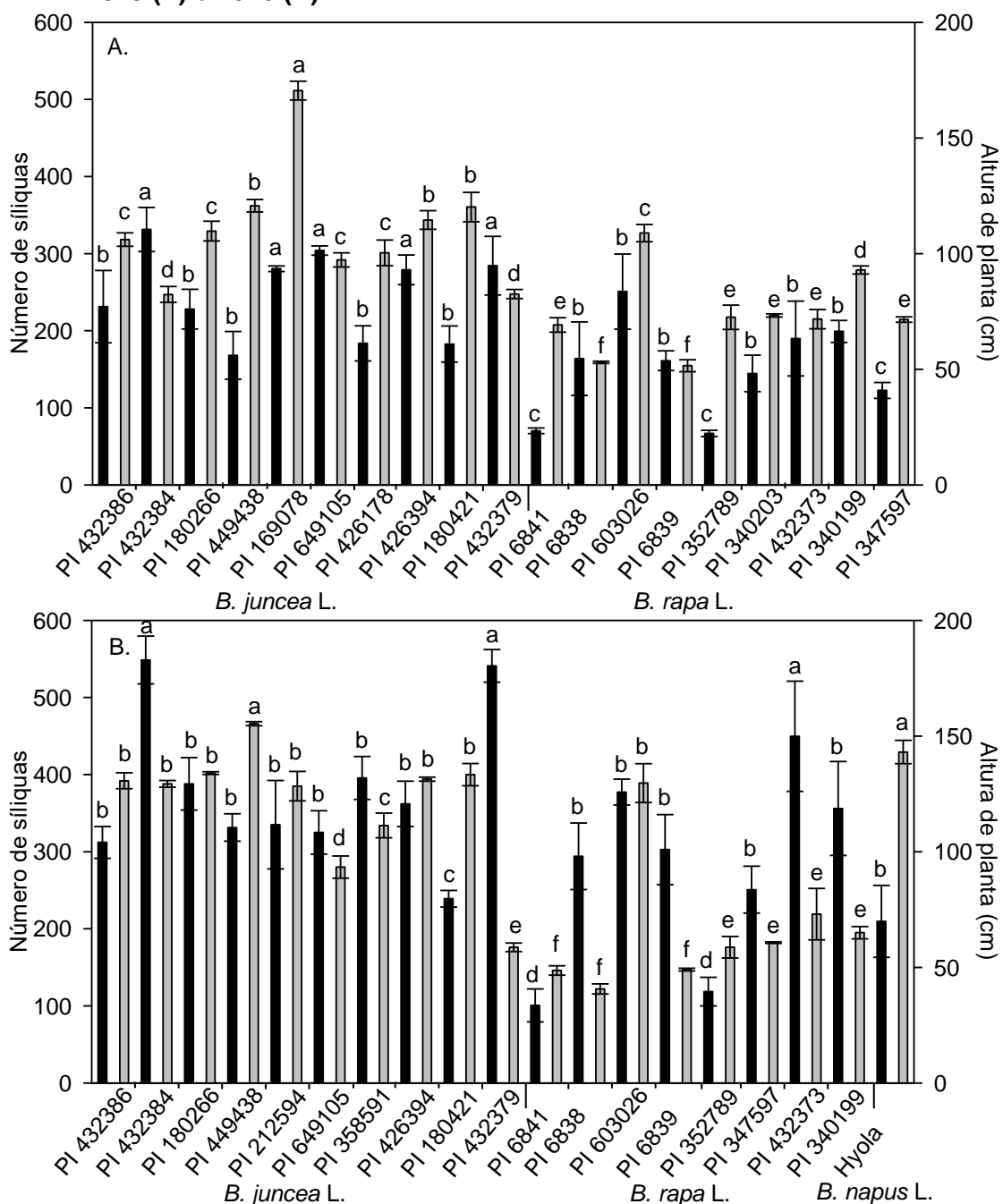
Os ciclos das espécies variaram de 88 a 120 dias (Figura 3A e B). Como floresceram precocemente, os acessos da espécie *Brassica rapa* L., estiveram agrupados em média com 97 dias de ciclo. Já a espécie *Brassica juncea* L. em média atingiu o ponto de maturação com 110 dias. Gesch et al. (2015), ao comparar espécies de brássicas oleaginosas com semeadura em maio em Minnesota-EUA, reportaram de 97 a 113 dias do plantio até a colheita, com menor ciclo para a espécie *Brassica rapa* L., com tendência para maturação precoce produzir menos, como observado no presente estudo. O híbrido comercial da espécie *Brassica napus* L. (Hyola) cultivado apenas em 2016 atingiu o maior número dias para maturação entre as espécies e os acessos (125 dias) (Figura 4B), próximo aos relatados de Hrchorovitch (2015) no Sul do Brasil. O ciclo das espécies do presente trabalho também concorda com a revisão de Shekhawat et al. (2015), que indica a maturação da espécie *Brassica rapa* L. de 70 a 100 dias e a *Brassica juncea* L. de 100 a 160 dias.

#### 4.2.3 Altura de planta

A altura de plantas foi maior nos acessos de *Brassica juncea* L., especialmente no PI 169078 (173 cm), o que é característica da espécie, uma vez que é opção para

cobertura de solo pelo vigoroso crescimento. Resultados semelhantes foi observado por Chauhan et al. (2007) (158 a 179 cm).

**Figura 4 – Altura de planta (□) e número de siliquis (■) de acessos de brássicas em 2015 (A) e 2016 (B)**



Colunas com letras iguais pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott, a 5% de probabilidade. As barras indicam o erro padrão.  $\pm$  três repetições.

Em média, os acessos de *Brassica juncea* L. e *Brassica rapa* L. tiveram altura de 110 e 73 cm, respectivamente (Figura 4A e B). Substancialmente menor que Iqbal et al. (2008) (>200 cm) e maior que Enjalbert et al. (2013) (65 cm).

Apesar das condições climáticas favoráveis ao crescimento vegetativo no segundo cultivo, os acessos de *Brassica rapa* L. tiveram seu tamanho reduzido, portando em média 65 cm, exceto o PI 603026, o que pode estar relacionado com a semeadura mais cedo no segundo ano. Ao contrário, na espécie *Brassica juncea* L. por sua vez, houve acréscimo na altura de plantas, com exceção do PI 649105 e PI 432379 (Figura 4B). O híbrido da espécie *Brassica napus* L. e o PI 449438 (*Brassica juncea* L.) portaram altura semelhante no segundo cultivo, próximos de 150 cm, semelhante aos valores de Adamsen e Coffelt (2005) e Singh et al. (2016). Assim, a arquitetura dos acessos selecionados está de acordo com a literatura e o cultivo em outros ambientes, o que é importante para futuros avanços em melhoramento, já que a arquitetura da planta reflete em ramos primários e assim número de síliquas e consequente produtividade.

#### 4.2.4 Número de síliquas

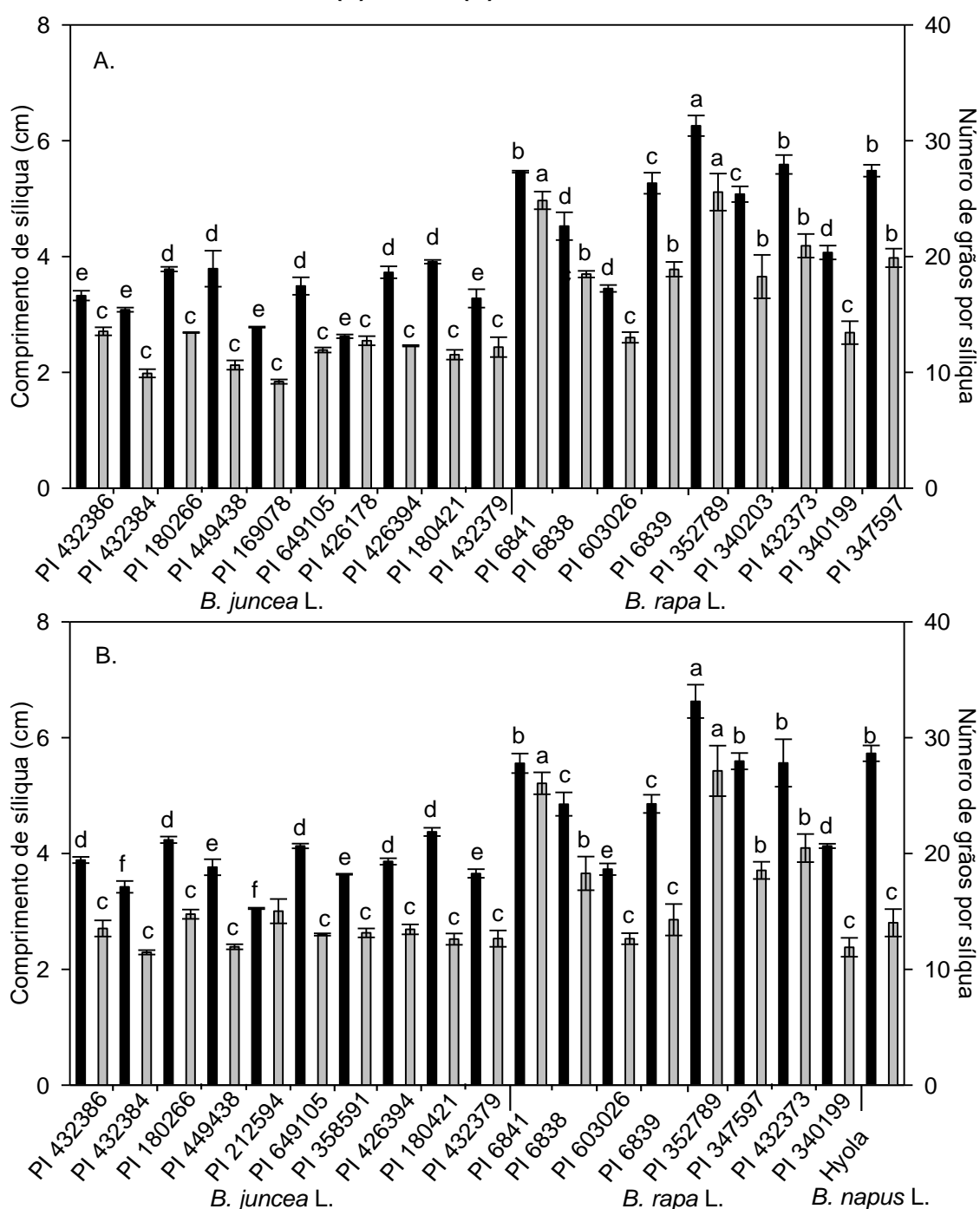
O número de síliquas por planta variou entre espécies e dentro de espécies, no primeiro ano de cultivo foram agrupados cinco acessos promissores de *Brassica juncea* L., com mais de 280 síliquas por planta (Figura 4A e B). A espécie *Brassica juncea* L. produziu em média 62% mais síliquas por planta em relação a *Brassica rapa* L., apesar do PI 603026 produzir 250 síliquas por planta em 2015 (Figura 4A), próximo aos valores de Bilgili et al. (2003). Os acessos com menor número de síliquas por planta pertencem a espécie *Brassica rapa* L., variedade Toria (PI 6841) e Sarson (PI 352789).

No segundo ano de cultivo, além da substancial produção de síliquas em relação ao primeiro ano, com mais de 500 síliquas por planta na espécie *Brassica juncea* L. (PI 432379 e PI 432384), o acesso de *Brassica rapa* L. PI 432373 também se destacou com 450 síliquas por planta (Figura 4B). Em geral, os acessos de *Brassica juncea* L. possuíram mais síliquas por planta que a espécie *Brassica rapa* L. e o híbrido comercial *Brassica napus* L., o que concorda Gunasekera et al. (2006a). A diferença na produção de síliquas por planta em relação ao segundo ambiente, se deve especialmente às condições climáticas, precipitação e temperatura.

#### 4.2.5 Comprimento de síliqua e grãos por síliqua

O comprimento de síliqua e o número de grãos por síliqua, ao contrário da quantidade de sílicas por planta, foi maior nos acessos da espécie *Brassica rapa* L., especialmente nos acessos PI 6841 e PI 352789 (Figura 5A e B).

Figura 5 – Comprimento de síliqua (■) e número de grãos por síliqua (□) de acessos de brássicas em 2015 (A) e 2016 (B)



Colunas com letras iguais pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott, a 5% de probabilidade. As barras indicam o erro padrão.  $\pm$  três repetições.

Os acessos mediram em torno de 6 cm com cerca de 26 grãos por síliqua, embora a média da espécie *Brassica rapa* L. tenha sido de 5 cm com 19 grãos por síliqua (Figura 5A e B), dentro do intervalo para grãos por síliqua (12 a 24 grãos) e comprimento de síliqua (4 a 7 cm) proposto por Khan et al. (2013).

Em geral, as síliquas dos acessos de *Brassica juncea* L. mediram cerca de 3,5 cm com 12 grãos por síliqua, o que está próximo ao intervalo da avaliação de Sharma e Sardana (2013) na Índia para comprimento de síliqua (4,4 a 6,3 cm) e grãos por síliqua (9,3 a 13,1 grãos). O híbrido comercial da espécie *Brassica napus* L., mediu 5,7 cm com 14 grãos por síliqua (Figura 5B), o que concorda com Gunasekera et al. (2006a), cujos autores relataram que genótipos de canola (*Brassica napus* L.) possuem mais grãos por síliqua comparado à *Brassica juncea* L..

#### 4.2.6 Peso de mil grãos

Para o peso de mil grãos, assim como para as demais características da síliqua, os acessos de *Brassica rapa* L. PI 6841 e PI 352789, variedade Toria e Sarson, respectivamente, se destacaram independente da condição de cultivo, com variação de 7 a 9 g (Figura 6A e B).

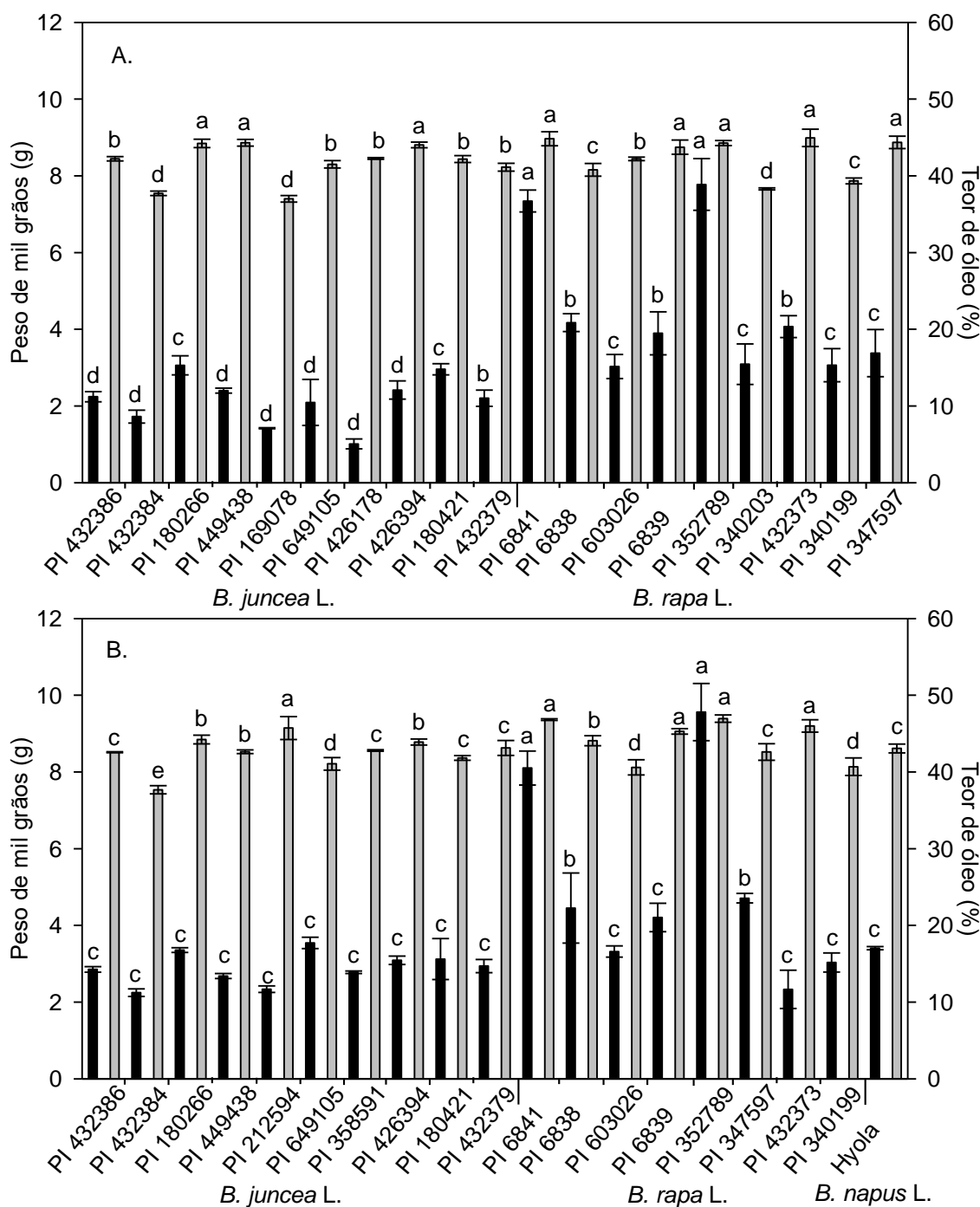
Os acessos da espécie *Brassica juncea* L. foram agrupados com menor peso de mil grãos, em média de 2,5 g, embora em consonância com Enjalbert et al. (2013) (1,09 a 3,20 g) e Gunasekera et al. (2006a) (2,3 a 3,1 g). O híbrido comercial da espécie *Brassica napus* L. obteve peso de mil grãos de 3,4 g, agrupado com os acessos de *Brassica juncea* L., além de semelhante aos relatos de Hrchorovitch (2015) para canola no Brasil. Os caracteres relacionadas as síliquas não variaram expressivamente em relação aos dois cultivos e às condições climáticas, o que permite inferir sobre traços genéticos que controlam estas variáveis.

#### 4.2.7 Teor de óleo

O teor de óleo agrupou acessos de ambas as espécies, cujos acessos com 47% de óleo foram os mais promissores, com destaque para os acessos da espécie *Brassica rapa* L. PI 6841 e PI 352789, variedade Toria e Sarson, que independente do ano, portaram os maiores conteúdos (Figura 6A e B), dentro do intervalo de 41 a

47% proposto por Shekhawat et al. (2012) para espécies *Brassica rapa* var. yellow sarson.

Figura 6 – Peso de mil grãos (■) e teor de óleo (□) de acessos de brássicas em 2015 (A) e 2016 (B)



Colunas com letras iguais pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott, a 5% de probabilidade. As barras indicam o erro padrão.  $\pm$  três repetições.

Ainda no grupo de acessos que se destacaram, nos dois anos de cultivo aparecem acessos tanto de *Brassica rapa* L. como de *Brassica juncea* L. com 44 a

45% de óleo, como também reportaram Gesch et al. (2015) com 44 a 48%. Apesar disto, foram observados alguns acessos com baixo teor de óleo, como por exemplo o PI 432384, que em ambos os anos obteve 37%. Variação no teor de óleo de grãos de 32 a 45% em espécies de brássicas foi encontrado por Gunasekera et al. (2006b).

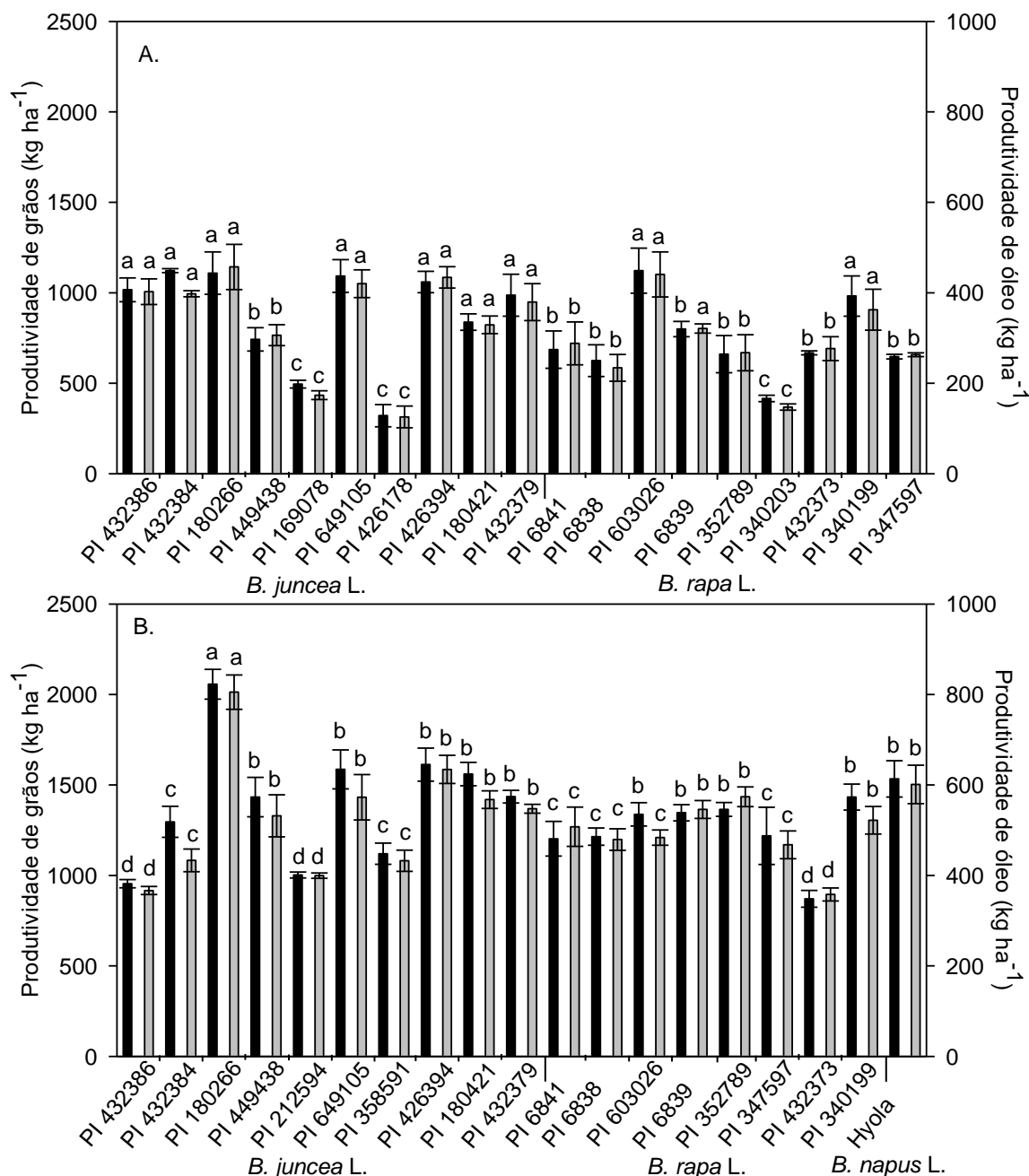
O híbrido comercial de canola Hyola da espécie *Brassica napus* L. obteve 43% de óleo em base seca (Figura 6), próximo ao conteúdo de 39,9% em base úmida de Mezzalira et al. (2014), com semeadura em abril no Sul do Brasil. Apesar de teores próximos, o ambiente, época de plantio e a temperatura têm papel fundamental no teor de óleo (GUNASEKERA et al., 2006b; PAVLISTA et al., 2011; ROBERTSON; LILLEY, 2016). A variabilidade no teor de óleo nos grãos em ambas as espécies de brássicas demonstra o potencial para utilização em futuros programas de melhoramento, e apoia as conclusões de Iqbal et al. (2008).

#### 4.2.8 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos foi 19 e 12% maior nos acessos de *Brassica juncea* L. em relação a espécie *Brassica rapa* L. nos dois cultivos, respectivamente (Figura 7A e B). No primeiro cultivo, apesar da irregular precipitação, a produtividade foi de até 1.122 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, o que está próximo da média de brássicas oleaginosas (1.200 kg ha<sup>-1</sup>) nas condições tropicais da Índia (KUMAR et al., 2016) e semelhante ao encontrado por Enjalbert et al. (2013) no EUA. No entanto, alguns acessos (PI 169078, PI 426178 e PI 340203) de ambas as espécies não produziram rendimentos satisfatórios (<500 kg ha<sup>-1</sup>).

Em 2016 a precipitação regular, especialmente na fase de florescimento dos acessos aumentou a produtividade de grãos até 2.056 kg ha<sup>-1</sup> para o acesso de *Brassica juncea* L. PI 180266, próximo ao encontrado por Iqbal et al. (2008) para espécie *Brassica juncea* L. (RBJ-03047) (2.222 kg ha<sup>-1</sup>) em condições ambientais semi-áridas do Paquistão e Gesch et al. (2015) (2.011 kg ha<sup>-1</sup>) no EUA. Apesar disto, a produtividade de grãos média dos acessos de *Brassica juncea* L. foi de 1.405 kg ha<sup>-1</sup>, em comparação com 1.248 kg ha<sup>-1</sup> da espécie *Brassica rapa* L.. Wilkes et al. (2013) observaram variação de 350 a 1.640 kg ha<sup>-1</sup> em genótipos de *Brassica juncea* L. na Austrália. Variação de 890 a 1.420 kg ha<sup>-1</sup> com semeadura tardia e com limitações hídricas foi observado por Gunasekera et al. (2006a) (30 a 1.800 kg ha<sup>-1</sup>) também na Austrália.

Figura 7 – Produtividade de grãos (■) e óleo (□) de acessos de brássicas em 2015 (A) e 2016 (B)



Colunas com letras iguais pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott, a 5% de probabilidade. As barras indicam o erro padrão.  $\pm$  três repetições.

O híbrido comercial (Hyola) da espécie *Brassica napus* L. cultivado apenas em 2016 produziu 1.533 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 7B), semelhante aos rendimentos encontrados no Brasil para a espécie (MELGAREJO et al., 2014) e próximo da média nacional de 1.544 kg ha<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2015). O híbrido esteve agrupado com a maioria dos acessos, apesar de produtividade menor que alguns acessos de *Brassica juncea* L., o que concorda com Gunasekera et al. (2006a, 2006b), que em vários experimentos

em ambientes no sul da Austrália Ocidental, observaram que a espécie *Brassica juncea* L. apresentou maior estabilidade de produção e ciclo curto em ambientes secos e áreas marginais. Gesch et al. (2015) observaram tendência para as espécies de brássicas com maturação mais precoce (*Brassica rapa* L.) terem menor rendimento que os genótipos de maturação posterior, o que suporta o presente estudo.

#### 4.2.9 Produtividade de óleo

A produtividade de óleo em 2015 variou de 125 a 457 kg ha<sup>-1</sup> e em 2016 de 358 a 805 kg ha<sup>-1</sup> de óleo com destaque para o acesso de *Brassica juncea* L. PI 180266 (Figura 7A e B). Este óleo pode ser utilizado para produção de biodiesel com características dentro das especificações, segundo Anbumani e Singh (2010), Jham et al. (2009) e Ahmed et al. (2014). Apesar da maior produção de grãos pela espécie de *Brassica juncea* L., o alto teor de óleo médio dos acessos de *Brassica rapa* L. reduziu a diferença média de 12% da produtividade de grãos para 7% na produtividade de óleo entre as espécies, o que é indicativo da importância de acessos com alto teor de óleo. Gesch et al. (2015) observaram variação de 287 a 1588 kg ha<sup>-1</sup> e de 210 a 885 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em dois anos de cultivo no Norte central dos EUA com várias espécies de brássicas.

O híbrido Hyola (*Brassica napus* L.) produziu 574 kg ha<sup>-1</sup> de óleo apto para o consumo humano, uma vez que é denominado canola. A alta qualidade do óleo de canola, faz a produção de óleo ser direcionada apenas para alimentação e não para fins industriais.

#### 4.2.10 Análise de correlação simples

Em relação à correlação, se observa que o florescimento teve correlação positiva forte com a altura de plantas e o ciclo, ou seja, os acessos de *Brassica juncea* L. que floresceram entre 50 e 60 dias foram os maiores e tardios, além de redução nos caracteres de síliqua e tendência de redução de óleo, apesar da correlação ( $r$ ) de baixa magnitude (Tabela 4). Acessos com grande quantidade de síliquas, especialmente a espécie *Brassica juncea* L., apresentaram tendência de menor componentes de síliqua, como comprimento, grãos por síliqua e peso de mil grãos.

Já acessos com síliques grandes, como é caso da espécie *Brassica rapa* L., especialmente os acessos da variedade Toria e Sarson, tiveram também mais grãos por síliques, que conseqüentemente apresentaram maior peso de grãos, conforme magnitude da correlação. Por fim, a produtividade de grãos, como é comum na literatura se correlacionou com alta magnitude com a produtividade de óleo, já que é uma combinação entre caracteres (Tabela 4).

**Tabela 4 – Análise de correlação linear (r) entre as variáveis: florescimento (FLO), altura de planta (AL), ciclo (CIC), número de síliques (NS), comprimento de síliques (CS), grãos por síliqua (GS), peso de mil grãos (PMG), produtividade (PRO), teor de óleo (TO) e produtividade de óleo (PRO.O) de acessos de brássicas**

	FLO	AL	CIC	NS	CS	GS	PMG	PRO	TO	PRO.O
FLO		0,95**	0,91**	0,30**	-0,65**	-0,64**	-0,55**	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,37*	0,09 <sup>ns</sup>
AL			0,89**	0,31**	-0,63**	-0,64**	-0,56**	0,18 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
CIC				0,42**	-0,62**	-0,65**	-0,56**	0,24 <sup>ns</sup>	-0,41**	0,16 <sup>ns</sup>
NS					-0,70**	-0,67**	-0,72**	0,30*	-0,52**	0,17 <sup>ns</sup>
CS						0,87**	0,77**	-0,20 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>
GS							0,87**	-0,32*	0,64**	-0,18 <sup>ns</sup>
PMG								-0,01 <sup>ns</sup>	0,55**	-0,02 <sup>ns</sup>
PRO									0,17 <sup>ns</sup>	0,97**
TO										0,05 <sup>ns</sup>
PRO.O										

\*\* , \* : significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo.

#### 4.2.11 Análise multivariada

A análise multivariada é um método estatístico usado na área de melhoramento genético que permite conclusões mais abrangentes e que se baseia no comportamento do acesso (tratamento) em relação a todas as características (variáveis). Dentre as técnicas, a análise de componentes principais e a divergência genética são de suma importância para conhecer germoplasma de espécies desconhecidas, a fim de alinhar passos iniciais para um programa de melhoramento.

O componente principal 1 (CP1) e o componente principal 2 (CP2) contribuíram com 51,6 e 24,1%, respectivamente, da variância remanescente (Tabela 5). Como base nos princípios sugeridos por Jolliffe (2002), ou seja, que a porcentagem acumulada da variância total entre 70 e 90% oferece uma ideia razoável da representação da variância original, dois componentes foram suficientes para explicar 75,7%.

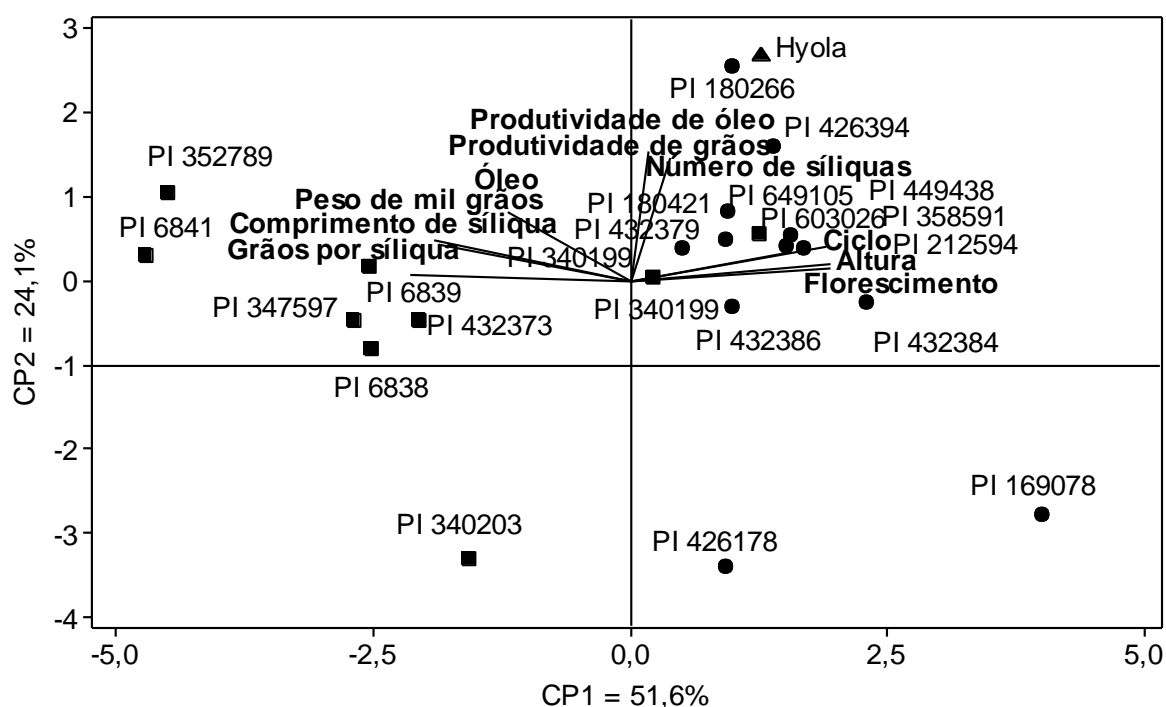
As variáveis comprimento de síliqua, grãos por síliqua e peso de mil grãos atuaram de forma direta com maior poder discriminatório e inversamente aos dias para

florescimento, altura de planta e ciclo. As variáveis com maior poder discriminatório em CP2 foram: produtividade de grãos e óleo (Tabela 5). Assim, esses caracteres em destaque nos dois primeiros componentes principais CP1 e CP2 são consideradas importantes para a seleção de brássicas para região de Botucatu, SP.

**Tabela 5 – Matriz de peso fatorial das variáveis dos acessos de brássicas nos dois componentes principais selecionados**

Variável	CP1	CP2
Florescimento pleno	0,377	0,062
Altura de planta	0,376	0,085
Ciclo	0,369	0,166
Número de síliquas	0,290	0,130
Comprimento de síliqua	-0,360	0,172
Grãos por síliqua	-0,413	0,027
Peso de mil grãos	-0,368	0,198
Produtividade de grãos	0,075	0,607
Teor de óleo	-0,230	0,331
Produtividade de óleo	0,035	0,630
Autovalor	5,164	2,407
% variância explicada	0,516	0,241
% variância acumulada	0,516	0,757

**Figura 8 – Biplot com a projeção das características nos dois primeiros componentes principais com a discriminação dos acessos das espécies *Brassica juncea* L. (●), *Brassica rapa* L. (■) e do híbrido Hyola (▲) da espécie *Brassica napus* L.**



As correlações positivas são responsáveis pela discriminação dos acessos de brássicas localizados à direita de CP1, na maioria acessos da espécie *Brassica juncea* L., e a correlação negativa pela discriminação de apenas acessos de *Brassica rapa* L., à esquerda de CP1 (Figura 8).

As variáveis com correlação positiva são as responsáveis pela discriminação dos genótipos localizados na parte superior de CP2, onde estão presentes as três espécies, e as variáveis com correlação negativa são as responsáveis pela discriminação dos acessos (PI 340203, PI 426178 e PI 169078) localizados na parte inferior de CP2.

É possível observar que as variáveis associadas com o rendimento de grãos e óleo estão voltadas para a direita em CP2. A associação entre os grupos de variáveis e os acessos de brássicas, vê-se que os acessos de *Brassica juncea* L., especialmente o PI 180266 e o híbrido comercial Hyola possuem potenciais de produtividade de grãos e óleo e menor características de siliqua além de menor teor de óleo que os demais (Figura 8). Também, quanto ao CP2 o acesso PI 352789, possui tendência de maior teor de óleo.

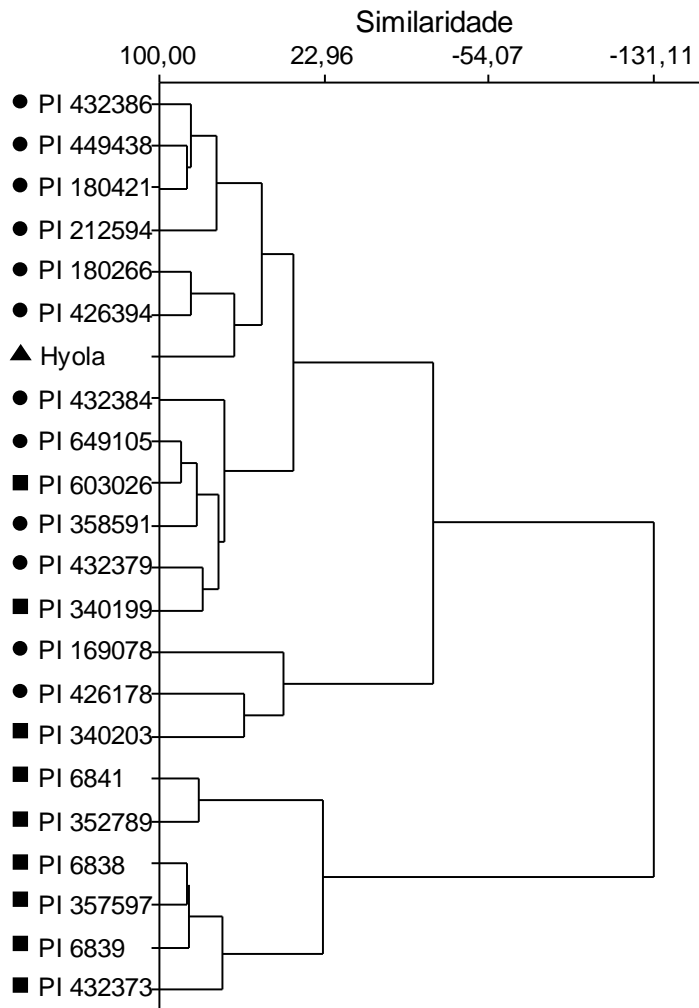
A divergência genética entre os acessos de brássicas, utilizando-se 50% de similaridade como critério para definição dos grupos formou seis grupos (Figura 9). O maior grupo (I) é formado por sete acessos de *Brassica juncea* L. e o híbrido comercial Hyola. O grupo II é formado, a uma distância euclidiana de 2 do grupo I, por seis acessos de ambas espécies (*Brassica rapa* L. e *Brassica juncea* L.), o que evidencia a possibilidade que ocorram combinações interessantes entre estes dois grupos. Os acessos PI 649105 e PI 603026 pertencentes ao grupo II são os mais semelhantes entre todos os acessos. Estes baixos valores de dissimilaridade dos acessos dentro do grupo sugerem não haver êxito caso sejam realizados cruzamentos entre esses genótipos, devido à estreita base genética existente entre eles, no entanto, é possível que ocorram combinações interessantes entre os grupos distintos.

O acesso de *Brassica rapa* L. PI 340203 e os acessos de *Brassica juncea* L. PI 169078 e PI426178 formaram o grupo III e IV respectivamente, distantes dos demais com baixo potencial produtivo. O grupo V e VI é formado por dois e quatro acessos, respetivamente, de *Brassica rapa* L. com alto teor de óleo e componentes de siliqua, como maior número de grãos por siliqua, comprimento da siliqua e peso de mil grãos.

Assim, o cruzamento e a hibridação entre acessos superiores de ambas as espécies com menor similaridade poderão resultar em populações segregantes com

variação genética para supostos ganhos no futuro, uma vez que houve grande concordância entre os grupos e as características dos acessos.

**Figura 9 – Dendrograma representativo do agrupamento dos acessos das espécies *Brassica juncea* L. (●), *Brassica rapa* L. (■) e do híbrido Hyola (▲) da espécie *Brassica napus* L.**



## 5 CONCLUSÕES

Os acessos selecionados confirmam a hipótese do potencial produtivo sem efeito de fotoperíodo, em destaque a precocidade e alto teor de óleo da espécie *Brassica rapa* L. e a produtividade de grãos e óleo da *Brassica juncea* L.

Os componentes da produção e a produtividade de grãos são indicadores que as espécies brássicas podem ser opções para cultivo em áreas tropicais onde a canola (*Brassica napus* L.) não está bem adaptada.

Existe variabilidade genética entre os acessos de ambas espécies brássicas, o que possibilita formar grupos de acessos para futuros ganhos em melhoramento genético.

## REFERÊNCIAS

ADAMSEN, F. J.; COFFELT, T. A. Planting date effects on flowering, seed yield, and oil content of rape and crambe cultivars. **Industrial crops and products**, Amsterdam, v. 21, n. 3, p. 293–307, 2005.

AHMED, S. et al. An experimental investigation of biodiesel production, characterization, engine performance, emission and noise of *Brassica juncea* methyl ester and its blends. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 79, p. 74–81, 2014.

ANBUMANI, K.; SINGH, A. P. Performance of mustard and neem oil blends with diesel fuel in CI engine. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, Paquistão, v. 5, n. 4, p. 14–20, 2010.

BASSEGIO, D. et al. Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 66, p. 311–321, 2016.

BAUDDH, K.; SINGH, R. P. Differential toxicity of cadmium to mustard (*Brassica juncea* L.) genotypes under higher metal levels. **Journal of Environmental Biology**, Lucknow, v. 32, n. 3, p. 355–362, 2011.

BEAUDETTE, C. et al. Tree-based intercropping does not compromise canola (*Brassica napus* L.) seed oil yield and reduces soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Czechoslovakia, v.139, n. 1–2, p. 33–39, 2010.

BERGMANN, J. C. et al. Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 21, p. 411–420, 2013.

BILGILI, U. et al. The influence of row spacing and seeding rate on seed yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, Malden, v. 189, n. 4, p. 250–254, 2003.

BURTON, W. A. et al. Identification of variability in phenological responses in canola-quality *Brassica juncea* for utilisation in Australian breeding programs. **Crop and Pasture Science**, Clayton, v. 59, n. 9, p. 874–881, 2008.

BUTKUTĖ, B.; ŠIDLAUSKAS, G.; BRAZAUSKIENĖ, I. Seed yield and quality oilseed rape as affected by nitrogen rates, sowing time, and fungicide application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 37, n. 15, p. 2225–2744, 2006.

CEPAGRI. (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura). **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em: [http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_379.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_379.html). Acesso em: 21 de nov. 2016.

CHAUHAN, J. S. et al. Drought effects on yield and its components in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). **Plant Breeding**, Malden, v. 126, n. 4, p. 399–402, 2007.

CHEN, G. H. et al. Root growth and yield of maize as affected by soil compaction and cover crops. **Soil and Tillage Research**, Philadelphia, v. 117, p.17–27, 2011.

CHEN, G. H. et al. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. **Soil and Tillage Research**, Philadelphia, v. 136, p. 61–69, 2014.

CREMONEZ, P. A. et al. Nabo forrageiro: do cultivo a produção de biodiesel. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 2, p. 64–72, 2013.

COLNAGO, L. A. et al. Rapid analyses of oil and fat content in agri–food products using continuous wave free precession time domain NMR. **Magnetic Resonance in Chemistry**, Malden, v. 49, p. 113–120, 2011.

COWLING, W. A. Genetic diversity in Australian canola and implications for crop breeding for changing future environments. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 103–111, 2007.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1–11, 2009.

DIAS, J. C. A. Canola/Colza – **Alternativa de inverno com perspectiva de produção de óleo comestível e energético**. Pelotas: EMBRAPA–CPATB, 1992. 46p. (EMBRAPA–CPATB. Boletim de Pesquisa, 3).

DOSSA, A. A.; FERREIRA, P, E, P.; TOMM, G. O. O que dificulta o aumento da área de canola no Brasil? In: Simpósio latino americano de canola, 2014, Passo Fundo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2014. 5 p.

EMBRAPA. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Produção de canola cresce 36% no Brasil**. Disponível em < <https://www.embrapa.br/web/mobile/noticias/-/noticia/18379088/producao-de-canola-cresce-36-no-brasil> >. Acesso em 27 de mar. 2017.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa–SPI; Rio de Janeiro: Embrapa–Solos, 2006. 306 p.

ENJALBERT, J. N. et al. Brassicaceae germplasm diversity for agronomic and seed quality traits under drought stress. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 47, p. 176–185, 2013.

ESTEVEZ, R. L. et al. A cultura da canola (*Brassica napus* var. oleifera). **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Candido Rondon, v. 13, n. 1, p. 1–9, 2014.

GAN, Y. et al. *Brassica juncea* canola in the northern Great Plains: responses to diverse environment sand nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, n. 5, p. 1208–1218, 2007.

GAN, Y. et al. Yield Stability and Seed Shattering Characteristics of Canola in the Northern Great Plains. **Crop Science**, Madison, v. 56, n. 3, p. 1296–1305, 2016.

GESCH, R. W. et al. Comparison of several Brassica species in the north central US for potential jet fuel feedstock. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 75, p. 2–7, 2015.

GUNASEKERA, C. P. et al. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*B. napus* L.) in Mediterranean-type environments I. Crop growth and seed yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 25, n. 1, p. 1–12, 2006a.

GUNASEKERA, C. P. et al. Genotype by environment interactions of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*Brassica napus* L.) in Mediterranean-type environments II. Oil and protein concentrations in seed. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 25, n. 1, p. 13–21, 2006b.

GUNASEKERA, C. P. et al. Comparison of the responses of two Indian mustard (*Brassica juncea* L.) genotypes to post-flowering soil water deficit with the response of canola (*B. napus* L.) cv. Monty. **Crop and Pasture Science**, Clayton, v. 60, n. 3, p. 251–261, 2009.

HALJ, A. E. Breeding for heat tolerance. **Plant Breeding Reviews**, Verlag, p. 129, 1992.

HRCHOROVITCH, V. A. **Produtividade e qualidade de grãos de híbridos de canola cultivados em diferentes épocas no sudoeste do Paraná**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

IQBAL, M.; AKHTAR, S. N.; ZAFAR, I. A. Genotypic responses for yield and seed oil quality of two Brassica species under semi-arid environmental conditions. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 74, n. 4, p. 567–571, 2008.

JHAM, G. N. et al. Wild Brazilian mustard (*Brassica juncea* L.) seed oil methyl esters as biodiesel fuel. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Heidelberg, v. 86, n. 9, p. 917–926, 2009.

JOLLIFFE, I. **Principal component analysis**. John Wiley & Sons, Ltd, 2002.

KHAN, M. H. et al. Variability and heritability analysis in short duration and high yielding *Brassica rapa* L. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, Gazipur, v. 38, n. 4, p. 647–657, 2014.

KIRKEGAARD, J. A. et al. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. II. Break-crop and nitrogen effects on subsequent wheat crops. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 52, n. 1, p. 179–191, 1997.

KUMAR, H. Morphological and molecular characterization of *Brassica rapa* ssp yellow sarson mutants. **Journal of Oilseed Brassica**, Rajasthan, v. 2, n. 1, p. 1–6, 2011.

KUMAR, S. N. et al. Vulnerability of Indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czernj. Cosson) to climate variability and future adaptation strategies. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, Houten, v. 21, n. 3, p. 403–420, 2016.

LAWLEY, Y.; WEIL, R. R.; TEASDALE, J. Forage radish winter cover crops suppress winter annual weeds in fall and before corn planting. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 1, p. 137–144, 2011.

LI, F. R. et al. Soil conservation effectiveness and energy efficiency of alternative rotations and continuous wheat cropping in the Loess Plateau of northwest China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 91, n. 1–3, p. 101–111, 2002.

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

MOHAMMADI, K.; ROKHZADI, A. An integrated fertilization system of canola (*Brassica napus* L.) production under different crop rotations. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 37, n. 1, p. 264–269, 2012.

NAGAHARU, U. Genome analysis in Brassica with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. **Journal of Japanese Botany**, Tokyo, v. 7, p. 389–452, 1935.

NAZNIN, S. et al. Genetic divergence in *Brassica rapa* L. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, Gazipur, v. 40, n. 3, p. 421–433, 2015.

OFORI, A.; BECKER, H. C. Breeding of *Brassica rapa* for biogas production: heterosis and combining ability of biomass yield. **BioEnergy Research**, Verlag, v. 1, n. 1, p. 98–104, 2008.

ORAM, R. N. et al. Breeding Indian mustard [*Brassica juncea* (L.) Czern.] for cold-pressed, edible oil production – a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 56, n. 6, p. 581–596, 2005.

ÖZTÜRK, Ö. Effects of source and rate of nitrogen fertilizer on yield, yield components and quality of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 70, n. 1, p. 132–141, 2010.

PADILLA, G. et al. Genetic diversity in a germplasm collection of *Brassica rapa* subsp. *rapa* L. from northwestern Spain. **Euphytica**, Wageningen, v. 145, n. 1–2, p. 171–180, 2005.

PARKIN, I. A. P. et al. Identification of the A and C genomes of amphidiploid *Brassica napus* (oilseed rape). **Genome**, Ottawa, v. 38, n. 6, p. 1122–1131, 1995.

PAVLISTA, A. D. et al. Planting date and development of spring-seeded irrigated canola, Brown mustard and Camelina. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 451–456, 2011.

PIETOLA, L.; ALAKUKKU, L. Root growth dynamics and biomass input by Nordic annual field crops. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 108, n. 2, 135–144, 2005.

PRAKASH, S.; HINATA, K. Taxonomy, cytogenetics and origin of crop Brassicas: a review. **Opera Botanica**, Lund, n. 55, p. 1–57, 1980.

PREMI, O. P. et al. Green manuring, mustard residue recycling and fertilizer application affects productivity and sustainability of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) in Indian semi-arid tropics. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 41, n. 1, p. 423–429, 2013.

RAO, G. U.; JAIN, A.; SHIVANNA, K. R. Effects of high temperature stress on Brassica pollen: viability, germination and ability to set fruits and seeds. **Annals of botany**, Oxford, v. 69, n. 3, p. 193–198, 1992.

RICHTER, E. K et al. Characterization of rapeseed (*Brassica napus*) oils by bulk C, O, H, and fatty acid C stable isotope analyses. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, California Davis, v. 58, n. 13, p. 8048–8055, 2010.

RIZZARDI, A. et al. Potencial alelopático de extratos aquosos de genótipos de canola sobre *Bidens pilosa*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 717–724, 2008.

ROBERTSON, M. J.; LILLEY, J. M. Simulation of growth, development and yield of canola (*Brassica napus*) in APSIM. **Crop and Pasture Science**, Clayton, v. 67, n. 4, p. 332–344, 2016.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; BAIER, A. C. **Avaliação de germoplasma de colza (*Brassica napus* L. var. oleifera) padrão canola introduzida no sul do Brasil, de 1993 a 1996, na Embrapa Trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 10p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa Online, 6).

SCHMIDT, R.; ACARKAN, A.; BOIVIN, K. Comparative structural genomics in the Brassicaceae family. **Plant Physiology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 39, n. 3–4, p. 253–262, 2001.

SHARMA, P.; SARDANA, V. Screening of Indian mustard (*Brassica juncea*) for thermo tolerance at seedling and terminal stages. **Journal of Oilseed Brassica**, Rajasthan, v. 1, n. 1, p. 61–67, 2016.

SHEKHAWAT, K. et al. Advances in agronomic management of Indian mustard (*Brassica juncea* (L.) Czernj. Cosson): An overview. **International Journal of Agronomy**, Cairo, v. 2012, 2012.

SI, P.; WALTON, G. H. Determinants of oil concentration and seed yield in canola and Indian mustard in the lower rainfall areas of Western Australia. **Crop and Pasture Science**, Clayton, v. 55, n. 3, p. 367–377, 2004.

SIELING, K.; KAGE, H. Efficient N management using winter oilseed rape. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Dordrecht, v. 30, n. 2, p. 271–279, 2010.

SINGH, D. et al. Genetic diversity studies in relation to seed yield and its component traits in Indian mustard (*Brassica juncea* L. Czern & Coss.). **Journal of Oilseed Brassica**, Rajasthan, v. 1, n. 1, p. 19–22, 2016.

SINGH, M. P. et al. Thermal requirement of indian mustard (*Brassica juncea*) at different phenological stages under late sown condition. **Indian Journal of Plant Physiology**, Chennai, v. 19, n. 3, p. 238–243, 2014.

SNOWDON, R.; LÜHS, W.; FRIEDT, W. **Oilseed rape**. In: Kole, C. (Ed.), *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants. Oilseeds*, vol. 2. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany/New York, USA, 2007, p. 55–114.

SOUZA, T. A. F. et al. Desempenho de genótipos de canola (*Brassica napus* L.) no município de Areia – PB. In: Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 5. Lavras: Embrapa Agroenergia: CNPq: **Anais...** Tecbio: Biominas: Sebrae, 2008.

SOUZA, T. A. F. et al. Produção de genótipos de canola no brejo paraibano. Congresso brasileiro de mamona, 4º Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1º, 2010. João Pessoa. Inclusão Social e Energia: **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, p. 1444–1448, 2010.

TOMM, G. O. et al. **Desempenho de genótipos de canola em Goiás, em 2004**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 11 p. html. (Comunicado Técnico Online, 118). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p\\_co118.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p_co118.htm)>. Acesso em 1 agosto 2016.

TOMM, G. O. **Sistema de Produção: Cultivo de Canola**. Embrapa Trigo, 2007. Disponível: <[http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/p\\_sp03\\_2007.pdf](http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/p_sp03_2007.pdf)>. Acesso em 10 agosto 2016.

TOMM, G. O. Canola alternativa de renda e benefícios para cultivos seguintes. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 15, n. 94, p. 4–8, 2006.

TOMM, G. O. et al. **Desempenho de genótipos de canola (*Brassica napus* L.) no Nordeste do estado da Paraíba, Nordeste do Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 15 p. (Embrapa Trigo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Online, 65). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp65.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp65.htm)>. Acesso em 1 agosto 2016.

TOMM, G. O. et al. **Tecnologia para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 41 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 113). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do113.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do113.htm)>. Acesso em 5 agosto 2016.

TOMM, G. O. et al. **Panorama atual e indicações para aumento de eficiência da produção de canola no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 27 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 118). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do118.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do118.htm)>. Acesso em 5 agosto 2016.

WAALEN, W. et al. Winter survival of winter rapeseed and winter turnip rapeseed infield trials, as explained by PPLS regression. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 51, p. 81–90, 2013.

WANG, J. et al. Assessment of genetic diversity in Australian canola (*Brassica napus* L.) cultivars using SSR markers. **Crop and Pasture Science**, Clayton, v. 60, n. 12, p. 1193–1201, 2009.

WEIL, R. R.; KREMEN, A. Thinking across and beyond disciplines to make cover crops pay. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Malden, v. 87, n. 4, p.551–557, 2007.

WILKES, M. A. et al. The effect of genotype and environment on biodiesel quality prepared from Indian mustard (*Brassica juncea*) grown in Australia. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 48, p. 124–132, 2013.

WRIGHT, P. R. et al. Turgor maintenance by osmoregulation in *Brassica napus* and *B. juncea* under field conditions. **Annals of Botany**, Oxford, v. 80, n. 3, p. 313–319, 1997.

YADAVA, D. K. et al. Stability analysis in Indian mustard (*Brassica juncea*) varieties. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 80, n. 9, p. 7651–7655, 2010.