UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FCA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

SEBASTIÃO SOARES DE OLIVEIRA NETO

SELEÇÃO, ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE DE PROGÊNIES DE CÁRTAMO PARA PRODUTIVIDADE E TEOR DE ÓLEO

Botucatu

2020

SEBASTIÃO SOARES DE OLIVEIRA NETO

SELEÇÃO, ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE DE PROGÊNIES DE CÁRTAMO PARA PRODUTIVIDADE E TEOR DE ÓLEO

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

Orientador(a): Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto

Botucatu

2020

O48s

Oliveira Neto, Sebastião Soares de
Seleção, estabilidade e adaptabilidade de progênies de cártamo para produtividade e teor de óleo / Sebastião Soares de Oliveira Neto. -- Botucatu, 2020
62 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Maurício Dutra Zanotto

1. Plantas melhoramento genético. 2. Interação genótipo-ambiente. 3. Genética vegetal. 4. Agronomia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SELEÇÃO, ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE DE PROGÊNIES DE CÁRTAMO PARA PRODUTIVIDADE E TEOR DE ÓLEO

AUTOR: SEBASTIÃO SOARES DE OLIVEIRA NETO
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
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

Pesquisadora Dr.ª MARIA MARCIA PEREIRA SARTORI
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP

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

Prof. Dr. TIAGO ZOZ
. / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Botucatu, 06 de abril de 2020

Ao meu estimado avô Sebastião Soares de Oliveira (*in memorian*) dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo fôlego de vida, pelas oportunidades concedidas ao longo da minha trajetória profissional e acadêmica e por ter dado forças de ter passado pelas dificuldades em todos esses anos.

Aos meus queridos pais Maria José e Edinelson, pela educação, esforços e apoio incondicional em toda a minha vida e à minha irmã Emilce, exemplo de mulher, mãe e guerreira, pelos conselhos e apoio.

Ao Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto, pelos ensinamentos, companheirismo, paciência e dedicação como orientador e mestre para toda a vida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante o período de doutorado.

A Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, por ceder suas instalações e laboratórios para o desenvolvimento da tese, bem como, a todos os seus funcionários do Departamento de Produção Vegetal (DPV) que auxiliaram nas etapas da elaboração dos trabalhos, especialmente à Eliane Gonçalves, Iara Brito, Valéria Giandoni.

Aos professores do DPV, pelos ensinamentos, convivência e boa conversa durante esses anos. Especialmente a Maria Márcia Pereira Pereira Sartori, Marcelo de Almeida Silva, Juliano Carlos Calonego, Edvaldo Aparecido Amaral da Silva.

Aos amigos de pós-graduação pelos bons momentos, trabalhos e amizade, especialmente à Odila Ebertz, Ana Stella Freire, Larissa Chama, Murilo de Souza, Jesion Geibel, Jéssica Pigatto, João Bossolani, Sérgio Freitas e Bruno Gazola.

Aos colegas da UEL e UEM pelo compartilhamento de ideias e ajuda durante esse período, especialmente aos amigos Douglas Mariani Zeffa e Gustavo Freiria.

Aos estagiários: Beatriz Sávio, Guilherme Gonçalves, Giovanni Stocco e Tiago Galvão.

Aos amigos de Botucatu pelo apoio, amizade e descontração, nas pessoas: André Tiago, Fran e Angélica.

Aos amigos e irmãos na fé, pelas orações e apoio em vários momentos de dificuldade: Léo e Luciana.

A todos aqueles que contribuíram para a minha formação pessoal, acadêmica e espiritual e que de alguma forma fizeram parte desse trabalho e dessa conquista.

“Eu sei que tudo quanto Deus faz durará eternamente; nada se lhe deve acrescentar e nada se lhe deve tirar. E isso faz Deus para que haja temor diante dele”.

Eclesiastes, 3:14

RESUMO

O cártamo tem se destacado como uma cultura oleaginosa que apresenta aptidão para utilização no cerrado brasileiro, podendo ser inserida nos já consolidados sistemas de produção. A obtenção de genótipos adaptados é fundamental para o desenvolvimento da cultura, e o estudo da variabilidade genética e do desempenho agronômico em diferentes regiões contribui para a recomendação de novos materiais. Neste contexto foram implantados quatro experimentos independentes em duas regiões do Brasil para a avaliação de dez genótipos de cártamo em fase final de melhoramento (P43, P30, P28, P7, P35, P9, P11, P21, P31 e P14) e uma testemunha (IMA7326), sendo analisados os seguintes caracteres: altura de plantas (cm), número de ramos, número de capítulos, massa de mil sementes (g), teor de óleo (%), produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e produtividade de óleo (kg ha^{-1}). Foi analisada a diversidade genética dos genótipos por meio de análise de similaridade, bem como foi determinada a estabilidade e adaptabilidade dos materiais por meio dos modelos mistos. Além disso, foram aplicados três índices de seleção distintos (Mulamba e Mock, distância ao ideótipo e índice de seleção de Garcia) nas características agronômicas para a determinação de genótipos superiores. Os genótipos P30, P7 e P31 apresentaram elevada estabilidade e adaptabilidade para produção de grãos nos ambientes avaliados e foram selecionados como materiais promissores para constituirem novos cruzamentos no programa de melhoramento de cártamo da FCA/UNESP. Os genótipos P9, P11 e P21 apresentaram estabilidade e estabilidade superior para rendimento de óleo e, portanto, destacam-se como propícios para posterior recomendação de cultivo. Os três índices mostraram-se eficientes e apresentaram resultados similares na seleção de genótipos de cártamo. O uso conjunto dos três índices de seleção permitiu identificar a superioridade dos genótipos P30, P11, P43 e P7 e selecioná-los como materiais promissores, portanto, por ainda apresentarem um teor de óleo relativamente baixo podem ser objeto do Programa de Melhoramento em relação a essa característica.

Palavras-chave: *Carthamus tinctotius* L.. Melhoramento genético de oleaginosas. Adaptação de genótipos. Desempenho agronômico. Seleção de plantas.

ABSTRACT

Safflower has stood out as an oilseed crop that is suitable for use in the Brazilian cerrado, and can be inserted in the already consolidated production systems. Obtaining adapted genotypes is essential for the development of crop, and the study of genetic variability and agronomic performance in different regions contributes to the recommendation of new materials. In this context, four independent experiments were implemented in two regions of Brazil to evaluate ten safflower genotypes in the final stage of improvement (P43, P30, P28, P7, P35, P9, P11, P21, P31 and P14) and IMA7326, being analyzed the following characters: plant height (cm), number of branches, number of capitules, thousand seed mass (g), oil content (%), grain yield (kg ha^{-1}) and oil yield (kg ha^{-1}). The genetic diversity of the genotypes was analyzed through similarity analysis, as well as the stability and adaptability of the materials through the mixed models. In addition, three different selection indexes (Mulamba and Mock, distance to ideotype and Garcia selection index) were applied to agronomic characteristics for the determination of superior genotypes. The genotypes P30, P7 and P31 showed high stability and adaptability for grain yield in the evaluated environments and were selected as promising materials to constitute new crosses in the safflower breeding program of FCA/UNESP. The genotypes P9, P11 and P21 showed stability and superior stability for oil yield and, therefore, stand out as suitable for further cultivation recommendation. The three indexes proved to be efficient and presented similar results in the selection of safflower genotypes. The combined use of the three selection indexes allowed to identify the superiority of the genotypes P30, P11, P43 and P7 and to select them as promising materials, therefore, because they still have a relatively low oil content, they can be object of the breeding in relation to this trait.

Keywords: *Carthamus tinctotius* L.. Oilseed breeding. Genotype adaptation. Agronomic performance. Plant selection.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 17

CAPÍTULO 1 - DIVERSIDADE GENÉTICA E ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CÁRTAMO (*Carthamus tinctorius* L.**) DESENVOLVIDOS PARA O CERRADO BRASILEIRO** 21

1.1 INTRODUÇÃO 22

1.2 MATERIAL E MÉTODOS 24

1.2.1 Material vegetal 24

1.2.2 Locais e detalhes experimentais 24

1.2.3 Design experimental e fenotipagem 26

1.2.4 Análise de dados 27

1.3 RESULTADOS 28

1.4 DISCUSSÃO 34

1.5 CONCLUSÕES 37

REFERÊNCIAS 37

CAPÍTULO 2 - SELEÇÃO DE GENÓTIPOS SUPERIORES DE CÁRTAMO EM QUATRO AMBIENTES POR ÍNDICES NÃO PARAMÉTRICOS 41

2.1 INTRODUÇÃO 42

2.2 MATERIAL E MÉTODOS 43

2.2.1 Locais de experimentação 43

2.2.2 Material vegetal e detalhes experimentais 44

2.2.3 Parâmetros avaliados 44

2.2.4 Análise de dados 44

2.2.4.1 Índice de soma de ranques 44

2.2.4.2 Índice de distância ao ideótipo 45

2.2.4.3 Índice de seleção de cultivares 45

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 46

2.4 CONCLUSÕES 53

REFERÊNCIAS 53

CONSIDERAÇÕES FINAIS 57

REFERÊNCIAS 59

INTRODUÇÃO GERAL

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) também conhecido como falso-açafrão, açafrão bastardo, dentre outros, pertence à família Asteraceae (EMONGOR, 2010; WANG et al., 2011), é originário do Mediterrâneo oriental (WEISS, 2000; BRITANNICA ACADEMIC, 2019), tendo como possíveis centros de origem, o Irã, a Índia, o Afeganistão e a Etiópia (DAJUE; MÜNDEL, 1996, MOURA et al., 2015; BRITANNICA ACADEMIC, 2019). A domesticação da planta foi realizada para a obtenção de corante vermelho, utilizado para coloração de roupas e alimentos, sendo as primeiras evidências de cultivo datadas em 1.600 a.C. no Egito (SEHGAL; RAINA, 2011; BRITANNICA ACADEMIC, 2019).

A planta é herbácea, de caule ereto, com um sistema radicular do tipo pivotante e bastante profundo, podendo atingir até três metros de profundidade, possibilitando a planta o status de tolerante à seca, por captar água em camadas mais profundas (DAJUE; MÜNDEL, 1996; SINGH; NIMBKAR, 2006). Outro benefício do sistema radicular bastante desenvolvido é que a planta consegue aproveitar os nutrientes que estão em camadas mais profundas, fora do alcance das raízes de culturas tradicionais.

A estatura das plantas varia de 30 a 120 cm (BRITANNICA ACADEMIC, 2019), com ramificações de número bastante variável, produzindo ramos classificados como primários, secundários e terciários, de onde surgem as inflorescências, denominadas capítulos. O ciclo do cártamo varia de 130 a mais de 150 dias, apresentando diferentes fases de desenvolvimento: germinação, desenvolvimento foliar, ramificação, alongamento do caule, floração, desenvolvimento de capítulos e de frutos, amadurecimento de capítulos e de frutos e senescência (FLEMMER et al., 2015).

A cultura do cártamo é uma das mais importantes oleaginosas do mundo, ocupando a oitava posição dentre as espécies produtoras de óleo (DAMODARAM; HEDGE, 2002; SHARIFI et al., 2017). Sendo a produção agrícola do cártamo no ano de 2017 de 690,8 mil toneladas, com uma área cultivada de 840,8 mil hectares em todo o mundo (FAO, 2019). Em 2017, o principal país produtor foi o Cazaquistão, produzindo cerca de 224,8 mil toneladas, seguido da Rússia, com 101,6 mil toneladas de grãos (FAO, 2019). O Brasil não possui produção considerável de cártamo (FAO, 2019), no entanto, vários trabalhos demonstram a aptidão do país para sua produção (SILVA et al., 2015; BONFIM-SILVA et al., 2015; PALUDO et al., 2018).

O cártamo se adapta bem em terrenos profundos e poucos compactados, desenvolvendo-se nos mais diferentes tipos de solos, desde que o pH esteja próximo a neutralidade, além disso, não tolera solos encharcados e alta umidade relativa do ar (EMONGOR, 2010; BAGHERI; SAM-DAILIRI, 2011). A exigência pluviométrica da cultura é em torno de 600 mm para completar seu ciclo, com chuvas bem distribuídas, atingindo principalmente os períodos de germinação das sementes, floração e enchimento de grãos. Mesmo em locais com precipitações em torno de 350-400 mm são observados bom desempenho da cultura, abrindo possibilidade para cultivo em regiões áridas, como parte do Nordeste brasileiro e áreas que passam por longo período de veranico como é o caso do Centro-oeste Brasileiro (CORONADO, 2010; SHAHROKHNIA; SEPASKHAH, 2016), apresentando-se como uma cultura bastante promissora para utilização durante a entressafra, proporcionando rotação e diversificação de culturas nas fazendas (BONFIM-SILVA et al., 2015; PALUDO et al., 2018).

A planta tem a capacidade de tolerar uma grande amplitude térmica, suportando desde temperaturas muito baixas (-7°C) até temperaturas bastante elevadas (40°C). Na fase inicial de desenvolvimento, a planta tolera a ocorrência de geadas e de temperaturas negativas (OELKE et al., 1992), podendo ser utilizada como cultura de inverno em locais de temperaturas amenas e como cultura de primavera em locais de temperaturas mais baixas (YAU, 2007).

Atualmente, o cártamo passou a ser amplamente utilizado para a produção de óleo, para alimentação humana e animal, bem como, para fins industriais. Na indústria, o óleo é aplicado em diversos produtos, como por exemplo, na fabricação de biodiesel, tintas, vernizes e cosméticos. Na alimentação animal é utilizada a torta residual após a extração do óleo, podendo ser ingerida por ruminantes e monogástricos, possuindo até 35% de proteína e muita fibra (OELKE et al., 1992; AUGUSTINHO, 2013). Mündel et al. (2004) relataram que no Canadá, a maior parte da produção de cártamo é utilizado para a alimentação de pássaros na forma de alpiste.

A cultura é amplamente cultivada em diversos países e várias pesquisas foram e continuam sendo realizadas visando aumentar principalmente a produtividade, a produção agrícola e o rendimento do seu óleo (ULLAH; BANO, 2011; EL-LATTIEF, 2012; ZANÃO JÚNIOR et al., 2017; PALUDO, 2018).

No ramo farmacêutico, o óleo de cártamo é utilizado como uma importante planta medicinal (SOLEYMANI, 2017), usado também para a fabricação de produtos termogênicos para humanos. O óleo possui substâncias que podem prevenir problemas cardiovasculares (JADHAV; JOSHI, 2015). O teor de óleo nos grãos pode chegar a 50% e apresentam uma fonte importante de ácidos graxos insaturados (PEARL; BURKE, 2014; AMBREEN et al., 2015). O óleo é de altíssima qualidade, com aproximadamente 75% de ácido graxo linoleico (teor consideravelmente maior do que encontrados no milho, soja, algodão, amendoim e oliva), 16 a 20% de ácido oléico, 2 a 3% de ácido esteárico e 6 a 8% de ácido palmítico. Além disso, o óleo não se oxida facilmente e não causa problemas de colesterol no sangue (MÜNDEL et al., 2004).

O cártamo foi introduzido no Brasil recentemente, por pesquisadores do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), que trouxeram alguns acessos importados dos Estados Unidos para testar nas condições de cultivo brasileiras (SILVA, 2015). O IMAmt estuda o potencial de diversas oleaginosas para uso na safrinha tardia há vários anos e o cártamo tem sido apontado como a cultura com maior potencial devido à fácil adaptação ao sistema de cultivo já usado para milho e soja (IMAmt, 2015).

Devido à falta de alternativas que viabilizem o cultivo comercial nos períodos de entressafra, o cártamo é uma cultura estratégica que apresenta boa tolerância à deficiência hídrica, além de características adequadas para mecanização, facilitando o uso dos mesmos equipamentos utilizados nos cultivos de soja e milho. O cultivo do cártamo diminui drasticamente os riscos de perda por estiagens em cultivo de “segunda safra tardia”.

A maior aceitabilidade e utilização do cártamo como uma oleaginosa exige melhoramento genético para as características de interesse, bem como, o desenvolvimento de cultivares adaptadas ao ambiente de diferentes regiões (SILVA, 2015; FLEMMER et al., 2015; AMBREEN et al., 2015; SINGH; NIMBKAR, 2016).

O objetivo principal do melhoramento da cultura tem sido o desenvolvimento de genótipos com alta produtividade de grãos, alto teor de óleo e maior resistência às doenças e pragas (SINGH; NIMBKAR, 2016), além da obtenção de genótipos adaptados aos mais variados ambientes de cultivo (GOLKAR et al., 2017; ESPANANI et al., 2019).

A variabilidade genética é primordial para se ter sucesso nos programas de melhoramento de plantas (SAADAOUI et al., 2017). Existem diversas formas de se introduzir variabilidade genética em uma população, tais como, indução de mutação,

transformação genética e hibridação (GALANT et al., 2015). A variabilidade genética fornece uma boa fonte de variações sobre as quais os programas de melhoramento podem se desenvolver (NADEEM et al., 2018).

A realização de caracterização genética e fenotípica da diversidade no germoplasma global de cártamo pode ajudar na identificação de acessos promissores (USHA KIRAN et al., 2017; ATOLE et al., 2018; ALI et al., 2019). A divergência genética entre genótipos pode ser avaliada a partir de características agronômicas, morfológicas e/ou moleculares, resultando em múltiplas informações de cada genótipo (CRUZ et al., 2012).

Ao redor do mundo, diversos pesquisadores têm desenvolvido trabalhos sobre a capacidade combinatória e a herança de algumas características agronômicas do cártamo (GOLKAR et al., 2012; GOLKAR et al., 2017; OLIVO, 2020). Os métodos de melhoramento baseados na ação gênica de diferentes características têm um papel significativo na produção de genótipos de alto rendimento (GOLKAR, 2014). No entanto, não há acordo sobre a aplicação de métodos que possam ser mais eficazes na cultura do cártamo (ESPANANI et al., 2019).

A interação genótipo x ambiente (GA) é uma das principais fontes de viés que afeta o teste de capacidade de combinação geral e específica (SURESH et al., 2013). A adaptação de genótipos à modificação climática mundial é um importante estágio para sustentar a produção de cártamo ao redor do mundo (GOLKAR et al., 2017; ALIZADEH et al., 2017). O melhorista precisa desenvolver populações específicas para cada ambiente ou realizar seleção de genótipos que apresentam bom desempenho em muitos ambientes (ISIK; KLEINSCHMIT, 2005).

Diante do exposto os objetivos do trabalho foram: (1) estudar a diversidade genética, e a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de cártamo desenvolvidos para o Cerrado brasileiro; (2) comparar índices não paramétricos na seleção de genótipos superiores de cártamo.

CAPÍTULO 1 - DIVERSIDADE GENÉTICA E ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CÁRTAMO (*Carthamus tinctorius* L.) DESENVOLVIDOS PARA O CERRADO BRASILEIRO

RESUMO

O cártamo tem se destacado como uma cultura oleaginosa que apresenta aptidão para utilização no cerrado brasileiro, podendo ser inserida nos já consolidados sistemas de produção. A obtenção de genótipos adaptados é fundamental para o desenvolvimento da cultura, e o estudo da variabilidade genética e do desempenho agronômico em diferentes regiões contribui para a recomendação de novos materiais. Foram realizados quatro experimentos independentes em duas regiões do Brasil para a avaliação de dez genótipos de cártamo em fase final de melhoramento e analisados os seguintes caracteres: altura de plantas, número de ramos, número de capítulos, massa de mil sementes, teor de óleo, produtividade de grãos e produtividade de óleo. Foi analisada a diversidade genética dos genótipos por meio de análise de similaridade, bem como foi determinada a estabilidade e adaptabilidade dos materiais por meio dos modelos mistos. Foi constatada grande variabilidade entre os genótipos avaliados. Os genótipos P30, P7 e P31 apresentaram elevada estabilidade e adaptabilidade para produção de grãos nos ambientes avaliados e foram selecionados como materiais promissores para constituirem novos cruzamentos no programa de melhoramento de cártamo da FCA/UNESP. Os genótipos P9, P11 e P21 apresentaram estabilidade e estabilidade superior para rendimento de óleo e, portanto, destacam-se como propícios para posterior recomendação de cultivo.

Palavras-chave: Oleaginosas. Similaridade. Análises de Cluster. Distância genética. BLUP.

GENETIC DIVERSITY AND ADAPTABILITY AND STABILITY OF SAFFLOWER GENOTYPES (*Carthamus tinctorius* L.) DEVELOPED FOR THE BRAZILIAN CERRADO

ABSTRACT

Safflower has stood out as an oilseed crop that is suitable for use in the Brazilian cerrado, and can be inserted in the already consolidated production systems.

Obtaining adapted genotypes is essential for the development of crop, and the study of genetic variability and agronomic performance in different regions contributes to the recommendation of new materials. Four independent experiments were carried out in two regions of Brazil to evaluate ten safflower genotypes in the final stage of improvement and the following characters were analyzed: plant height, number of branches, number of chapters, mass of a thousand seeds, oil content, grain productivity and oil productivity. The genetic diversity of the genotypes was analyzed through similarity analysis, as well as the stability and adaptability of the materials through the mixed models. Great variability was found between the evaluated genotypes. The genotypes P30, P7 and P31 showed high stability and adaptability for grain yield in the evaluated environments and were selected as promising materials to constitute new crosses in the saffron breeding program of FCA/UNESP. The genotypes P9, P11 and P21 showed stability and superior stability for oil yield and, therefore, stand out as suitable for further cultivation recommendation.

Keywords: Oilseeds. Similarity. Cluster Analysis. Genetic distance. BLUP.

1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil ainda não possui produção considerável de cártamo (FAO, 2019), no entanto, o país apresenta grande aptidão para a sua produção (SILVA et al., 2015; BONFIM-SILVA et al., 2015; PALUDO et al., 2018). O cártamo se configura como uma cultura estratégica que apresenta boa tolerância à deficiência hídrica e tem se mostrado promissora para utilização no Cerrado brasileiro, aparecendo como opção de cultura para a rotação e diversificação (BONFIM-SILVA et al., 2015; PALUDO et al., 2018).

A obtenção de novos genótipos adaptados principalmente às mudanças climáticas é importante para sustentar a produção de cártamo ao redor do mundo (GOLKAR et al., 2017; ALIZADEH et al., 2017). O melhorista precisa desenvolver populações específicas para cada ambiente ou realizar seleção de genótipos que apresentam bom desempenho em muitos ambientes (ISIK; KLEINSCHMIT, 2005).

A variabilidade genética é primordial para se ter sucesso nos programas de melhoramento de plantas (SAADAOUI et al., 2017), e a existência de variabilidade genética no cártamo permite a recombinação e seleção de genótipos adaptados à diferentes ambientes e atender à demanda dos consumidores e da indústria para

diferentes fins e usos. O estudo da variabilidade genética em cultivares comerciais ou linhagens elite é importante para o melhoramento vegetal, pois permite a exploração de características que já estão adaptadas a condições climáticas específicas (FRANCO et al., 2001).

A realização de caracterização genética e fenotípica da diversidade no germoplasma global de cártamo pode ajudar a ampliar a base genética da cultura, bem como, auxiliar na identificação de genótipos promissores (USHA KIRAN et al., 2017; ATOLE et al., 2018; ALI et al., 2019).

O uso de modelos mistos para a estimação de parâmetros genéticos e valores genotípicos é importante para os programas de melhoramento, permitindo o estudo do comportamento do genótipo sem a influência da interação genótipo x ambiente (CHIORATO et al., 2008). Portanto, a seleção simultânea por caracteres de rendimento, estabilidade e adaptabilidade, no panorama dos modelos mistos, pode ser realizada pelo método da média harmônica do desempenho relativo dos valores genéticos (MHPRVG) preditos (SILVA et al. 2011; ROSADO et al. 2012).

Para estudos de estabilidade e adaptabilidade, empregando dados genotípicos que incorporam em uma única estatística a estabilidade, a adaptabilidade e os caracteres de rendimento, simultaneamente, Resende (2007) desenvolveu o método MHPRVG-BLUP, que tem diversas vantagens, tais como, (1) analisa os efeitos genotípicos como aleatórios e, portanto, fornece estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica; (2) permite desbalanceamento, delineamentos não ortogonais, heterogeneidade de variâncias; (3) fornece valores genéticos já deduzidos da instabilidade; (4) pode ser usado para qualquer número de ambientes; (5) permite considerar a estabilidade e adaptabilidade na seleção de indivíduos dentro de progênie; (6) não depende da estimação de outros parâmetros; (7) gera resultados na própria grandeza ou escala do caráter avaliado; e (8) permite calcular o ganho genético com a seleção pelos atributos avaliados simultaneamente (RESENDE, 2007; CARBONNEL et al., 2007).

Essa metodologia tem sido utilizada para interpretação da estabilidade genotípica e da adaptabilidade de culturas como feijão (CARBONELL et al. 2007; SOUSA et al., 2017; DELFINI et al., 2018), cana-de-açúcar (BASTOS et al. 2007), eucalipto (ROSADO et al. 2012), arroz (REGITANO NETO et al. 2013) e algodão (MOIANA et al., 2014; CARVALHO et al., 2016), porém sua aplicação na cultura do cártamo ainda é escassa. Neste contexto, este estudo teve o objetivo de estimar os parâmetros

genéticos e valores genotípicos via REML / BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita / Melhor Previsão Linear Não Enviesada) e, com base nesses valores, estudar a variabilidade genética, e a estabilidade e adaptabilidade de genótipos de cártamo desenvolvido para as condições do cerrado brasileiro, em fase final de melhoramento.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Material vegetal

Os dados usados neste estudo resultaram de quatro experimentos independentes realizados com linhagens elite de cártamo (P43, P30, P28, P7, P35, P9, P11, P21, P31 e P14), desenvolvidas pelo programa de melhoramento vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCA/UNESP), localizada em Botucatu, São Paulo, Brasil e um acesso comercial (IMA7326).

1.2.2 Locais e detalhes experimentais

Os experimentos de caracterização agronômica e morfológica foram instalados em quatro ambientes no Sudeste e Centro-oeste brasileiro; dois na safra de 2018, em Bauru - SP (22°20'37.4"S; 49°06'27.0"W) e Botucatu-SP (22°50'59.5"S; 48°25'56.8"W) e dois na safra de 2019, em Botucatu-SP (22°49'34.3"S; 48°25'46.5"W) e Campo Novo do Parecis-MT (13°40'41.8"S; 57°47'19.4"W).

O experimento de Bauru - SP foi realizado na área experimental das Faculdades Integradas de Bauru, os experimentos de Botucatu-SP foram realizados na área experimental do Departamento de Produção Vegetal da FCA/UNESP e o experimento de Campo Novo do Parecis-MT foi realizado na área experimental do Instituto Federal do Mato Grosso. Os detalhes dos ensaios e da área experimental são fornecidos nas Figuras 1, 2 e 3 e na Tabela 1.

A semeadura de todos os ensaios foi realizada à campo em sistema convencional de cultivo, sendo realizada manualmente (Figura 1). A adubação de base utilizada foi de 200 kg ha^{-1} do adubo comercial 08-20-20 (N-P-K).

Durante todo o ensaio foi realizado controle manual de plantas daninhas. Não foram utilizados produtos químicos para o controle de pragas e doenças.

A colheita (Figura 3, A) foi realizada nas duas linhas centrais das parcelas, realizada manualmente e a debulha das plantas foi realizada em trilhadeira estacionária (Figura 3, B), onde cada parcela foi debulhada individualmente.

Figura 1 – Semeadura do cártamo em Bauru-SP (A) e Botucatu-SP (B)


(A)

(B)

Figura 2 – Detalhes dos estágios vegetativos do cártamo: fase vegetativa (A) e reprodutiva (B).


(A)

(B)

Figura 3 – Colheita (A) e trilha (B) do cártamo


(A)

(B)

Tabela 1 - Caracterização dos quatro ambientes utilizados na avaliação dos 11 genótipos de cártamo.

	Ambientes[1/]			
Características	**1**	**2**	**3**	**4**
Clima[2/]	Cwa	Cwa	Cwa	Aw
Temperatura média anual (°C)	21,6	20,2	20,2	22,7
Precipitação média anual (mm)	1.170,0	1.300,0	1.300,0	1.940,0
Altitude (m)	526,0	760,0	770,0	572,0
Solo[3/]	LVAd	LVd	LVd	LVd
V (%)	74,0	94,0	32,0	55,0
pH (H_20)	6,0	6,9	4,4	6,2
H+Al (mmolc dm^3)	10,0	9,0	56,0	43,8
K (mmolc dm^3)	1,0	2,0	2,0	1,6
Ca (mmolc dm^3)	18,0	98,0	15,0	37,0
Mg (mmolc dm^3)	9,0	41,0	9,0	13,0
Al (mmolc dm^3)	0,0	0,0	1,0	0,0
P (mg dm^3)	10,0	38,0	12,0	26,0
Matéria orgânica (%)	1,1	0,0	3,0	3,0

[1/] Ambiente 1: Bauru-SP; Ambiente 2 e 3: Botucatu-SP; Ambiente 4: Campo Novo do Parecis-MT;
[2/] Classificação climática de Köppen = Cwa (clima subtropical úmido com invernos secos) e Aw (clima tropical úmido megatérmico)
[3/] Classificação conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo distroférrico; LVd: Latossolo Vermelho distroférrico;

1.2.3 Design experimental e fenotipagem

Os experimentos foram organizados em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições e parcelas constituídas por quatro linhas de 4 m espaçadas a 0,5 m e uma densidade de 10 plantas por metro linear, considerando as duas linhas centrais para avaliação.

Este estudo analisou um total de sete variáveis agromorfológicas quantitativas, denominadas: altura de plantas (PH), mensurada do solo até o ponto mais alto da planta, medida com o auxílio de uma régua e dada em centímetros; número de ramos primários (SN), dado fornecido pela contagem do número de ramos primários que despontam da haste principal; número de capítulos (CN), dado pela contagem de todos os capítulos da planta; produtividade de grãos (GY), determinada através da colheita das duas linhas centrais das parcelas, corrigida para 13% de umidade e extrapoladas para kg ha^{-1}; massa de mil sementes (W1000), medida através de balança analítica, dada em gramas; teor de óleo (%O), determinado por ressonância magnética nuclear (TD-NMR), usando um espectrômetro (SLK-SG-200, Spinlock

Magnetic Resonance Solutions®), resultado dado em porcentagem; e rendimento de óleo (OY), que leva em consideração a produtividade de grãos e o teor de óleo, dado em kg ha^{-1}.

1.2.4 Análise de dados

A diversidade genética foi avaliada através do método de Ward utilizando a distância euclidiana média padronizada pelo Software R e o agrupamento dos genótipos foi obtida pelo pacote NbClust.

Os dados agronômicos e morfológicos foram analisados pela metodologia do modelo misto, com delineamento em blocos completos em vários locais e uma observação por parcela (modelo 54) do software Selegen-REML / BLUP (RESENDE, 2016).

O modelo estatístico utilizado foi $\boldsymbol{y} = \boldsymbol{Xr} + \boldsymbol{Zg} + \boldsymbol{Wi} + \boldsymbol{e}$, onde $\boldsymbol{y}$ é o vetor de dados; $\boldsymbol{r}$ o vetor de médias de blocos através dos ambientes (assumido como fixo) adicionado à média geral; $\boldsymbol{g}$ o vetor de efeitos genotípicos (assumido como aleatório); $\boldsymbol{i}$ o vetor de efeitos da interação genótipo x ambiente (GA) (aleatório); e $\boldsymbol{e}$ o vetor de erros (aleatórios). $\boldsymbol{X}$, $\boldsymbol{Z}$ e $\boldsymbol{W}$ representam as matrizes de incidência para os efeitos acima.

As distribuições e estruturas de médias (E) e variâncias (Var) foram:

$$E\begin{bmatrix} y \\ g \\ i \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xr \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; Var\begin{bmatrix} g \\ i \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I\sigma_{g^2} & 0 & 0 \\ 0 & I\sigma_{g^2} & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_{g^2} \end{bmatrix}$$

O modelo foi ajustado usando as equações do modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + I\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \hat{r} \\ \hat{g} \\ \hat{\imath} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{bmatrix}$$

Em que $\lambda_1 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_g^2} = \frac{1-h_g^2-i^2}{h_g^2}$ e $h_g^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2+\sigma_i^2+\sigma_e^2}$ corresponde à herdabilidade individual no sentido amplo do bloco; $i^2 = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_g^2+\sigma_i^2+\sigma_e^2}$ ao coeficiente de determinação dos efeitos da interação GA; σ_g^2 é a variação genotípica entre os materiais; σ_i^2 a variância da interação GA; σ_e^2 variância residual entre parcelas; $r_{gloc} = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_g^2+\sigma_i^2} = \frac{h_g^2}{h_g^2+i^2}$ corresponde à correlação genotípica de genótipos entre ambientes.

Os estimadores iterativos dos componentes de variância, por máxima verossimilhança restrita (REML) e pelo algoritmo EM, foram $\hat{\sigma}_e^2 = \frac{[y'y - \hat{r}'X'y - \hat{g}'Z'y - \hat{\imath}'W'y]}{[N - r\,(x)]}$; $\hat{\sigma}_g^2 = \frac{[\hat{g}'\hat{g} + \hat{\sigma}_e^2\, trC^{22}]'\hat{g}}{q}$; $\hat{\sigma}_i^2 = \frac{\left[i'i + \hat{\sigma}_e^2\, trC^{33}\right]}{s}$; em que C^{22} e C^{33} eram de $C^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} \end{bmatrix}$, onde C é a matriz dos coeficientes das equações do modelo misto; tr é o operador de rastreamento de matriz; $r\,(x)$ é a classificação da matriz X; N, q, s = número total de dados, número de genótipos e número de combinações de GA, respectivamente.

Por esse modelo, foram obtidos os preditores empíricos BLUP (eBLUP ou REML / BLUP) dos valores genotípicos livres da interação, dados por $\hat{\mu} + g_i$, em que $\hat{\mu}$ é a média de todos os ambientes e fornece o efeito genotípico livre da interação GA.

Para cada ambiente j, os valores genotípicos (Vg) são previstos por $\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + (\hat{g}e)_{ij}$, onde $\hat{\mu}_j$ é a média do ambiente j; $\hat{g}_i$ o efeito genotípico do genótipo i no ambiente j; e $(\hat{g}e)_{ij}$ é o efeito da interação GA em relação ao genótipo i.

A predição de valores genotípicos capitalizando a interação média $\hat{g}e_m$ nos diferentes ambientes é dada por $\hat{\mu}_i + \hat{g}_i + \hat{g}e_m$, e é calculada por: $\hat{\mu} + \frac{(\frac{\sigma_{\hat{g}}^2 + \sigma_i^2}{n})}{\sigma_{\hat{g}}^2}\,\hat{g}_i$, em que $\hat{\mu}$ é a média geral de todos os ambientes; n o número de ambientes e g_i o efeito genotípico do genótipo i.

A seleção combinada, considerando simultaneamente a produtividade, a estabilidade e a adaptabilidade do cártamo é dado pelo método HMRPGVi: $HMRPGV_i = n \,/\, \frac{\sum_{j=1}^{n} \times 1}{Vg_{ij}}$.

Os valores genotípicos preditos dos fatores agronômicos e morfológicos foram usados para a análise de correlação de Pearson e análise hierárquica de cluster de Ward com base na média distância Euclidiana padronizada. Para essas análises, foi utilizado o software R (TEAM, 2017) com os pacotes *corrplot* e *ade4*.

1.3 RESULTADOS

A análise de variância (Tabela 2) mostrou diferença significativa para todas as características avaliadas nos genótipos de cártamo nos quatro ambientes. Na maioria dos caracteres foram observadas diferenças significativas ao nível de 1% de

probabilidade, exceto para SN na análise de genótipo e CN na interação genótipo x ambiente, onde foram observadas diferenças ao nível de 5% de probabilidade.

Os menores valores de herdabilidade (h^2) e acurácia seletiva ($\hat{r}$) foram observados para a característica SN, sendo respectivamente, 0,29 e 0,53, ao passo que, os maiores valores de h^2 e $\hat{r}$ foram observados para a característica W1000 (0,65 e 0,80, respectivamente).

Tabela 2 - Análise de variância, herdabilidade (h^2) e acurácia seletiva ($\hat{r}$) das características avaliadas em 11 genótipos de cártamo em quatro ambientes.

Fonte de variação	PH	SN	CN	GY	W1000	%O	OY
Ambiente (A)	21,55**	9,34**	7,98**	50,43**	40,55**	23,33**	34,21**
Genótipo (G)	12,45**	5,66*	8,91**	44,23**	22,81**	8,33**	21,87**
G × A	11,74**	8,12**	5,34*	22,81**	11,72**	8,91**	12,76**
h^2	0,41	0,29	0,33	0,46	0,65	0,44	0,46
$\hat{r}$	0,64	0,53	0,57	0,67	0,80	0,66	0,67

* e ** = significativo ao nível de 5 e 1 % probabilidade pelo teste LRT ou Wald, respectivamente.

Foram preditas as médias genotípicas para as características avaliadas nos dez genótipos de cártamo mais a testemunha em quatro ambientes (Tabela 3).

Tabela 3 - Médias genotípicas preditas para as características avaliadas em 11 genótipos de cártamo avaliados em quatro ambientes.

Genótipo	PH	SN	CN	GY	W1000	%O	OY
IMA7326	96,86	8,80	24,50	746,64	45,52	28,98	215,51
P43	94,29	8,48	19,98	748,41	45,97	25,97	205,51
P30	101,42	8,86	22,25	979,48	48,85	21,69	202,76
P28	95,94	7,92	22,46	872,64	49,33	21,00	177,56
P7	99,18	8,66	17,22	863,27	49,11	22,48	191,93
P35	98,46	8,05	21,16	651,63	48,06	20,34	135,60
P9	104,16	8,54	23,15	835,41	47,93	23,35	195,84
P11	107,13	7,90	19,39	1154,13	51,41	22,28	255,35
P21	96,72	8,59	18,12	1061,22	49,75	23,20	247,80
P31	89,91	7,86	18,56	671,56	49,04	22,51	153,57
P14	94,79	8,16	15,55	745,45	48,74	22,83	164,78
Média	98,08	8,35	20,21	848.16	48.52	23.14	195.11

PH: altura de plantas (cm); SN: número de ramos primários; CN: número de capítulos; GY: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); W1000: massa de mil sementes (g); %O: teor de óleo (%); OY: rendimento de óleo (kg ha^{-1}).

Para PH, a média geral predita foi de 98,08 cm, sendo observada a maior média genotípica para o genótipo P9 (107,13) e a menor para o genótipo P31 (89,91).

Foram observados, em geral, oito ramos primários e 20 capítulos por planta. O genótipo que produziu a maior quantidade de capítulos foi o acesso IMA7326 (aproximadamente 24 capítulos). A menor quantidade de capítulo foi obtida pelo acesso P14 (aproximadamente 15 capítulos).

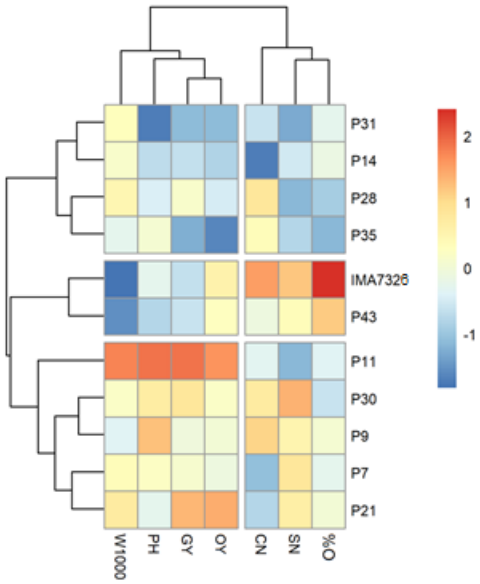
A média geral predita dos experimentos para a produtividade de grãos foi de 848,16 kg ha^{-1}, sendo o genótipo P11 o mais produtivo (1.154,13 kg ha^{-1}).

A média predita do massa de mil sementes variou de 45,52 g (IMA7326) a 51,41 g (P11), com média geral de 48,5 g. A média predita do teor de óleo variou de 20,34% para P35 a 28,98% para o acesso IMA7326 e a média geral foi de 23,14% de óleo.

Foram observadas variações de 135,60 kg de óleo ha^{-1} (P35) a 255,35 kg de óleo ha^{-1} (P11), com uma média geral predita de 195,11 kg de óleo ha^{-1}.

O dendrograma (Figura 4) revelou três grupos de respostas distintos para genótipo e dois grupos para as características avaliadas. Um grupo foi formado pelos genótipos, P31, P14, P28 e P35, os genótipos IMA 7326 e P43 formaram o segundo grupo, enquanto os genótipos P11, P30, P9, P7, e P21 formaram o terceiro grupo de resposta.

Figura 4 - Dendrograma obtido pelo método de Ward utilizando a distância Euclidiana média padronizada entre as características altura de plantas (PH), número de ramos primários (SN), número de capítulos (CN), produtividade de grãos (GY), massa de mil sementes (W1000), teor de óleo (%O) e rendimento de óleo (OY) avaliadas em 11 genótipos de cártamo.

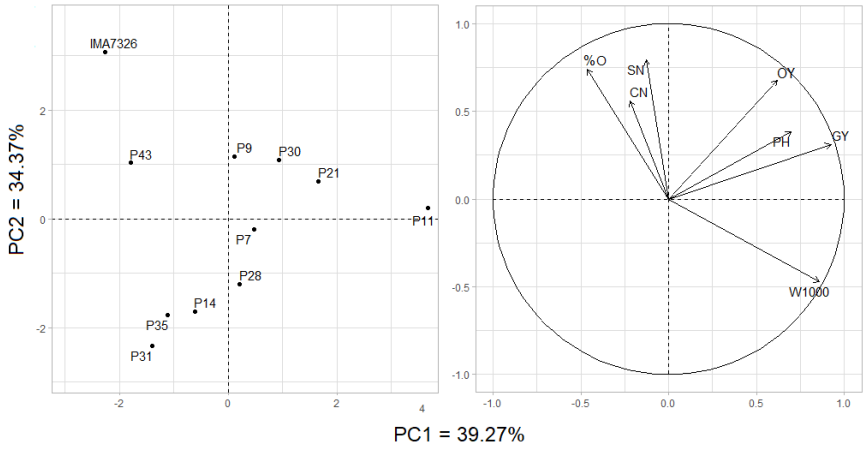


Para os parâmetros avaliados, W1000, PH, GY e OY foram agrupados juntos, constituindo o primeiro grupo, enquanto CN, SN e %O formaram o segundo grupo.

Foi observada superioridade do acesso IMA7326 para os parâmetros CN, SN e %O, ao passo que o genótipo P11 destacou-se para os parâmetros W1000, PH, GY e OY. O genótipo P30 também apresentou resultados superiores para todas as características avaliadas, exceto %O.

A análise de componentes principais (Figura 5) mostrou respostas similares entre os genótipos IMA7326 e P43 para os parâmetros %O, CN e SN e entre os genótipos P9, P30 e P21 para OY, PH e GY. O genótipo P11 destacou-se isoladamente para as características GY e W1000.

Figura 5 - Análise de componentes principais de 11 genótipos de cártamo avaliados para as características altura de plantas (PH), número de ramos primários (SN), número de capítulos (CN), produtividade de grãos (GY), massa de mil sementes (W1000), teor de óleo (%O) e rendimento de óleo (OY).



Os valores genotípicos estimados para produtividade de grãos, teor de óleo e rendimento de óleo (Tabela 4, 5 e 6, respectivamente) demonstram superioridade nas respostas dos genótipos no Ambiente 2 (Botucatu-SP), enquanto observa-se resposta inferior no Ambiente 4 (Campo Novo do Parecis-MT).

As médias dos valores genotípicos estimados para a produtividade de grãos (Tabela 4) foram de 702,41 kg ha^{-1} para o Ambiente 1 (Bauru-SP); 1.512,74 kg ha^{-1} para o Ambiente 2 (Botucatu-SP); 902,63 kg ha^{-1} para o Ambiente 3 (Botucatu-SP); e 274,89 kg ha^{-1} para o Ambiente 4 (Campo Novo do Parecis - MT). O genótipo P11 destacou-se com a maior média de produtividade de grãos entre todos os locais

(1.154,13 kg ha^{-1}), apresentando no Ambiente 1 (Bauru - SP), produtividade acima de 2.000 kg ha^{-1}.

Tabela 4 - Estimativa dos valores genotípicos (*μ* + *g* + *ge*) para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de 11 genótipos de cártamo avaliados em quatro ambientes.

Genótipo	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Média
IMA7326	133,79	1485,14	979,45	388,18	746,64
P43	102,30	1502,32	1111,42	277,60	748,41
P30	473,15	1605,29	1240,88	598,59	979,48
P28	1046,20	1356,15	906,92	181,30	872,64
P7	472,85	1873,79	737,47	368,95	863,27
P35	364,21	1407,14	592,15	243,03	651,63
P9	713,48	1585,26	772,70	270,19	835,41
P11	2016,85	1630,87	841,82	126,98	1154,13
P21	2096,48	1060,98	875,24	212,17	1061,22
P31	280,75	1542,58	719,87	143,03	671,56
P14	26,40	1590,65	1151,04	213,71	745,45
Média	702,41	1512.74	902,63	274,89	848,17

Ambiente 1: Bauru-SP; Ambiente 2 e 3: Botucatu-SP; Ambiente 4: Campo Novo do Parecis-MT.

As médias dos valores genotípicos estimados para o teor de óleo (Tabela 5) foram de 23,44% para o Ambiente 1 (Bauru-SP); 24,91% para o Ambiente 2 (Botucatu-SP); 22,09% para o Ambiente 3 (Botucatu-SP); e 22,14% para o Ambiente 4 (Campo Novo do Parecis-MT).

Tabela 5 - Estimativa dos valores genotípicos (*μ* + *g* + *ge*) de teor óleo (%) de 11 genótipos de cártamo avaliados em quatro ambientes.

Genótipo	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Média
IMA7326	33,03	35,50	25,42	21,98	28,98
P43	20,69	32,70	27,86	22,61	25,97
P30	20,89	20,94	20,70	24,20	21,69
P28	20,66	20,54	20,94	21,85	21,00
P7	22,26	24,37	22,08	21,21	22,48
P35	17,56	21,07	18,94	23,77	20,34
P9	27,19	24,67	21,20	20,31	23,35
P11	24,86	21,97	22,18	20,10	22,28
P21	25,79	23,27	21,41	22,33	23,20
P31	21,33	24,80	21,98	21,91	22,51
P14	23,59	24,17	20,32	23,23	22,83
Média	23,44	24,91	22,09	22,14	23,15

Ambiente 1: Bauru-SP; Ambiente 2 e 3: Botucatu-SP; Ambiente 4: Campo Novo do Parecis-MT.

O acesso IMA7326 obteve as maiores médias de teor de óleo entre todos os genótipos analisados nos Ambientes 1 e 2 (respectivamente, 33,03% e 35,5%), no Ambiente 3 destacou-se o genótipo P43 (27,86%) e no Ambiente 4 o genótipo P30 (24,20%).

As médias dos valores genotípicos estimados para o rendimento de óleo (Tabela 6) foram de 261,51 kg de óleo ha^{-1} para o Ambiente 1 (Bauru-SP); 324,63 kg de óleo ha^{-1} para o Ambiente 2 (Botucatu-SP); 132,88 kg de óleo ha^{-1} para o Ambiente 3 (Botucatu-SP); e 61,42 kg de óleo ha^{-1} para o Ambiente 4 (Campo Novo do Parecis-MT). A média geral dos valores genotípicos estimados para o rendimento de óleo foi de 195,11 kg de óleo ha^{-1}.

No Ambiente 1, o maior rendimento de óleo foi obtido pelo genótipo P21 (604,91 kg de óleo ha^{-1}), ao passo que no Ambiente 2, a maior média de rendimento de óleo foi obtido pelo acesso IMA7326 (448,48 kg de óleo ha^{-1}), no Ambiente 3, destacou-se o genótipo P14 (165,20 kg de óleo ha^{-1}) e no Ambiente 4, o genótipo P30 (141,08 kg de óleo ha^{-1}).

Os genótipos P11 e P21 obtiveram resultados superiores à média geral e à média da testemunha IMA7326, com rendimento de óleo médio de 255,35 kg ha^{-1} e 247,80 kg ha^{-1}, respectivamente.

Tabela 6 - Estimativa dos valores genotípicos (*μ* + *g* + *ge*) do rendimento de óleo (kg ha^{-1}) de 11 genótipos de cártamo avaliados em quatro ambientes.

Genótipo	Ambiente 1	Ambiente 2	Ambiente 3	Ambiente 4	Média
IMA7326	162,65	446,48	166,37	86,56	215,51
P43	124,33	416,16	217,49	64,06	205,51
P30	193,19	294,72	182,07	141,08	202,76
P28	298,96	246,93	124,81	39,53	177,56
P7	203,68	385,99	100,16	77,87	191,93
P35	158,06	263,09	63,42	57,82	135,60
P9	291,08	334,72	102,52	55,03	195,84
P11	567,69	307,60	120,71	25,41	255,35
P21	604,91	216,77	122,22	47,31	247,80
P31	157,18	329,01	96,67	31,40	153,57
P14	114,86	329,45	165,20	49,61	164,78
Média	261,51	324,63	132,88	61,42	195,11

Ambiente 1: Bauru-SP; Ambiente 2 e 3: Botucatu-SP; Ambiente 4: Campo Novo do Parecis-MT.

A média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos preditos (HMRPGVi) (Tabela 7) realizada para os parâmetros produtivos de genótipos de cártamo mostrou superioridade dos genótipos P30 para GY, IMA7326 para %O e P11 para OY.

Os genótipos IMA7326 (763,44 kg ha^{-1}), P30 (977,54 kg ha^{-1}), P7 (761,28 kg ha^{-1}) e P31 (825,59 kg ha^{-1}) obtiveram rendimento de grãos superiores.

O teor de óleo médio obtido por todos os genótipos foi de 19,70%. Valores superiores à média foi observado para os genótipos IMA7326 (27,48%), P43 (24,25%) e P9 (19,96%).

A média geral de rendimento de óleo foi de 153,33 kg de óleo ha^{-1}. Resultados acima da média foram obtidos pelos genótipos P28 (183,99 kg de óleo ha^{-1}), P7 (161,90 kg de óleo ha^{-1}), P9 (207,83 kg de óleo ha^{-1}), P11 (290,23 kg de óleo ha^{-1}) e P21 (207,36 kg de óleo ha^{-1}).

Tabela 7 - Estabilidade e Adaptabilidade de Valores Genéticos (HMRPGVi) de genótipos de cártamo para as características rendimento de grãos (GY), teor de óleo nos grãos (%O) e rendimento de óleo (OY).

Genótipo	HMRPGVi		
	GY (kg ha^{-1})	%O (%)	OY (kg de óleo ha^{-1})
IMA7326	763,44	27,48	133,84
P43	693,56	24,25	79,42
P30	977,54	16,82	148,05
P28	741,44	16,65	183,99
P7	761,28	19,30	161,90
P35	493,35	15,70	98,70
P9	695,76	19,96	207,83
P11	695,78	18,51	290,23
P21	566,32	19,09	207,36
P31	825,59	19,27	113,91
P14	559,88	18,79	61,44
Média	759,44	19,70	153,33

1.4 DISCUSSÃO

Devido à falta de alternativas que viabilizem o cultivo comercial nos períodos de entressafra no Cerrado brasileiro, o cártamo se configura como uma cultura estratégica que apresenta boa tolerância à deficiência hídrica, além de características adequadas para a mecanização, que permitem a utilização dos mesmos

equipamentos usados nos cultivos de soja e milho. A adoção do cártamo favorece o cultivo em épocas secas, proporcionando em algumas regiões a realização de uma segunda safra tardia, além da diversificação das culturas agrícolas (BONFIM-SILVA et al., 2015; PALUDO et al., 2018).

Consequentemente, cultivares com ampla adaptação, estabilidade de produção e alto potencial produtivo devem ser desenvolvidas, e para o sucesso do programa de melhoramento deve ser utilizado germoplasma com alta variabilidade.

A acurácia seletiva $(\hat{r})$ é uma medida baseada na correlação entre os valores genéticos previstos e os reais, e mostra a qualidade dos dados e procedimentos usados para prever valores genéticos; quanto maior a acurácia, maior a confiabilidade de um valor genético previsto (PIMENTEL et al., 2014). Os resultados de $\hat{r}$ foram considerados ideais para todas as características (Tabela 2).

De acordo com Cargnelutti Filho et al. (2009), características com h^2 entre ≥0,49 e <0,81 são consideradas altas. Neste estudo (Tabela 2), apenas a variável W1000 apresentou herdabilidade elevada (0,65) e para as variáveis GY, %O e OY foram observados valores abaixo do ideal (0,46). Parâmetros relacionados com a morfologia das plantas (PH, SN, CN) apresentaram herdabilidade baixa. Silva et al. (2015), Golkar et al. (2017) e Olivo et al. (2020) observaram valores elevados de herdabilidade para diversas características analisadas em genótipos de cártamo.

Todas as características tiveram grande influência da interação GA sobre os valores fenotípicos observados, os resultados deste estudo coincidem com os relatados por outros autores, para feijão (SOUSA et al., 2017; DELFINI et al. 2018) e algodão (CARVALHO et al., 2016). A adoção de valores genotípicos (não afetados pelos efeitos ambientais) para a realização de análise de correlação entre as características é extremamente útil em programas de melhoramento.

As variáveis correlacionadas com a produtividade de grãos foram relacionadas à morfologia da planta e das sementes (PH e W1000) e ao rendimento de óleo (OY). Nossos resultados corroboram com Beyyavas et al. (2011), que ao avaliarem genótipos de cártamo, também obtiveram a produtividade de grãos correlaciona com massa de mil sementes e rendimento de óleo.

No agrupamento dos genótipos de cártamo (Figura 1), o primeiro grupo foi caracterizado por materiais com médias inferiores para a maioria das características, exceto para massa de mil sementes que mostrou valores moderado a elevado.

Para o segundo grupo, as médias foram menores em relação às características W1000, PH e GY, enquanto para CN, SN, e %O foram observadas médias elevadas.

Para o terceiro grupo, o massa de mil sementes, altura de plantas, produtividade de grãos e rendimento de óleo foram maiores. Para as características número de capítulos, número de ramos primários e teor de óleo também foram observados resultados superiores, exceto para o genótipo P11 que destacou-se apenas para W1000, PH e GY.

Cinco dos genótipos identificados como de maior produtividade, maior teor de óleo e maior rendimento de óleo, mais adaptados e estáveis, foram agrupados no grupo III, sendo eles os genótipos P30, P7, P9, P11 e P21.

Os genótipos P30 (977,54 kg ha^{-1}), P7 (761,28 kg ha^{-1}) e P31 (825,59 kg ha^{-1}) mostraram ter alta estabilidade e adaptabilidade para rendimento de grãos, apresentando resultados superiores à média geral do experimento (759,44 kg ha^{-1}) e da testemunha IMA7326 (763,44 kg ha^{-1}). Nossos resultados corroboram com Santos et al. (2017) que avaliaram genótipos de cártamo em condições de campo no Brasil.

Para o teor de óleo, o genótipo P43 apresentou resultados superiores (24,25%), mas ainda inferior à média da testemunha IMA7326 (27,48%). O teor de óleo pode variar significativamente de acordo com as características genéticas das plantas, condições climáticas e do solo e práticas de cultivo. Nas condições brasileiras, Silva et al. (2015), relataram valores médios de teor de óleo de 20,7% à 30,5% e Bortolheiro e Silva (2017) de 19,91% a 30,32%.

Quanto ao rendimento de óleo, seis genótipos (P30, P28, P7, P9, P11 e P21) apresentaram resultados superiores à média da testemunha IMA7326 e, portanto, foram considerados como genótipos de alta estabilidade e adaptabilidade. Em relação à produção de óleo, a literatura relata valores que variam de 200 a 700 kg ha^{-1} (ALIZADEH, 2005; LA BELLA et al., 2019), portanto, embora nossos resultados sejam superiores dentro da realidade brasileira, ainda há muito o que ser trabalhado para melhorar a produtividade de óleo dos genótipos de cártamo desenvolvidos para o Cerrado brasileiro.

Peixouto et al. (2016) ressaltam que a interação GA é um dos grandes desafios para os melhoristas de plantas, principalmente nas etapas de avaliação e recomendação de genótipos, uma vez que os experimentos são realizados em locais distintos, em diferentes anos e épocas de cultivo. De acordo com Carbonell et al. (2007), o método da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos

preditos leva a um refinamento da seleção de cultivares, além de ter a vantagem de fornecer resultados na escala de medição adequada da característica.

Vários estudos têm sido realizados ao redor do mundo para a obtenção de genótipos de cártamo adaptados aos mais variados ambientes de cultivo (GOLKAR et al., 2017; ESPANANI et al., 2019). Nossos resultados retratam os esforços do programa de melhoramento da FCA/UNESP para a obtenção de genótipos de cártamo adaptados à diferentes ambientes, demonstrado principalmente pelo alto desempenho dos genótipos quanto à produtividade de grãos.

1.5 CONCLUSÕES

Os genótipos P30, P7 e P31 apresentaram elevada estabilidade e adaptabilidade para produção de grãos nos ambientes avaliados e foram selecionados como materiais promissores para constituirem novos cruzamentos no programa de melhoramento de cártamo da FCA/UNESP.

Os genótipos P9, P11 e P21 apresentaram estabilidade e estabilidade superior para rendimento de óleo e, portanto, destacam-se como propícios para posterior recomendação de cultivo.

REFERÊNCIAS

ALI, F.; YILMAZ, A.; NADEEM, M. A.; HABYARIMANA, E.; SUBAŞI, I.; NAWAZ, M. A.; CHAUDHARY, H. J.; SHAHID, M. Q.; ERCIŞLI, S.; ZIA, M. A. B.; CHUNG, G.; BALOCH, F. S. Mobile genomic element diversity in world collection of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) panel using iPBS-retrotransposon markers. **Plos One**, v. 14, n. 2, p. 1-19, 2019.

ALIZADEH, K. Evaluation of safflower germplasm by some agronomic characteristics and their relationships on grain yield production in the cold dry land of Iran. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 3, n. 7, p. 389-391, 2005.

ALIZADEH, K.; MOHAMMADI, R.; SHARIATI, A.; ESKANDARI, M. Comparative analysis of statistical models for evaluating genotype x environment interaction in rainfed safflower. **Agricultural Research**, v. 6, n. 4, p. 455-465, 2017.

ATOLE, N. A.; RATHI, S. R.; RATNAPARKHI, R. D.; JANJAL, S. M. Genetic diversity analysis in selected germplasm lines of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 9, n. 1, p. 213-219, 2018.

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELII, L. A.; SILVEIRA, L. C. I.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C. R. Avaliação da interação genótipo × ambiente em cana-de-

açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 195-203, 2007.

BEYYAVAS, V.; HALILOGLU, H.; COPUR, O.; YILMAZ, A. Determination of seed yield and yield components of some safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars, lines and populations under the semi-arid conditions. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 4, p. 527-534, 2011.

BONFIM-SILVA, E. M.; PALUDO, J. T. S.; SOUSA, J. V. R.; SOUSA, H. H. F.; SILVA, T. J. A. Development of Safflower Subjected to Nitrogen Rates in Cerrado Soil. **American Journal of Plant Science,** v. 6, p. 2136-2143, 2015.

BORTOLHEIRO, F. P. A. P.; SILVA, M. A. Physiological response and productivity of safflower lines under water deficit and rehydration. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 4, p. 3051-3066, 2017.

CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A.; BERALDO, A. L. A.; PERINA, E. F. Stability of common bean cultivars and lines in different environments in the state of São Paulo. **Bragantia,** v. 66, p. 193-201. 2007.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; RIBEIRO, N. D. Measures of experimental precision in common bean and soybean genotype trials. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1225-1231, 2009.

CARVALHO, L. P.; FARIAS, J. F. C.; MORELLO, C. D. L; TEODORO, P. E. Use of REML/BLUP methodology for selecting cotton genotypes with higher adaptability and productive stability. **Bragantia**, v. 75, p. 1-8, 2016.

CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M.; DIAS, L. A. S.; RESENDE, M. D. V. Prediction of genotypic values and estimation of genetic parameters in common bean. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 3, p. 465-472, 2008.

DELFINI, J.; MODA CIRINO, V.; RUAS, C. F.; RUAS, P. M.; SANTOS NETO, J.; GONÇALVES, L. S. A. Estimation of genetic parameters and prediction of genotypic values in common beans using mixed models. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 30, n. 12, p. 1026-1035, 2018.

ESPANANI, S.; MAJIDI, M. M.; SAEIDI, G.; ALAEI, H.; REZAEI, V. Wide hybridization and introgression breeding in safflower: Effectiveness of different selection methods. **Plant Breeding**, v. 138, p. 846-861, 2019.

FAO. **Faostat. Crops.** Disponível em: < http://faostat3.fao.org/>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

FRANCO, M. C.; CASSINI, S. T. A.; OLIVEIRA, V. R.; TSAI, S. M. Characterization of the genetic diversity of common beans by RAPD markers. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 381-385, 2001.

GOLKAR, P.; SHAHBAZI, E.; NOURAEIN, M. Combining ability x environment interaction and genetic analysis for agronomic traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.): biplot as a tool for diallel data. **Acta Agriculturae Slovenica**, v. 109, n. 2, p. 229-240, 2017.

ISIK K.; KLEINSCHMIT, J. Similarities and effectiveness of test environments in selecting and deploying desirable genotypes. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 110, p. 311-322, 2005.

LA BELLA, S.; TUTTOLOMONDO, T.; LAZEZZI, L.; MATTEO, R.; LETO, C.; LICATA, M. An agronomic evaluation of new safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm for seed and oil yields under Mediterranean climate conditions. **Agronomy,** v. 9, p. 468, 2019.

MOIANA, L. D.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; MALEIA, M. P; MINDO, N. Application of mixed models for the assessment genotype and environment interactions in cotton (Gossypium hirsutum) cultivars in Mozambique. **African Journal of Biotechnology**, v. 13, n. 19, p. 1985-1991, 2014.

PALUDO, J. T. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; SOUZA, H. H. F.; ZANOTTO, M. D.; FENNER, W. Agronomic performance of Safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) under different soil bulk density levels in the Oxisol of the Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 3, p. 407-412, 2018.

PEIXOUTO, L. S.; NUNES, J. A. R.; FURTADO, D. F. Factor analysis applied to the G GE matrix via REML BLUP for multi-environment data. **Crop Breeding and Applied Biotechnology,** v. 16, n. 1, p. 1-6, 2016.

PIMENTEL, A. J. B.; GUIMARÃES, J. F. R.; SOUZA, M. A.; RESENDE, M. D. V.; MOURA, L. M.; CARVALHO, J. R. R.; RIBEIRO, G. Estimation of genetic parameters and prediction of additive genetic value for wheat by mixed models. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 11, p. 882-890, 2014.

REGITANO NETO, A.; RAMOS JÚNIOR, E. A.; GALLO, P. B.; FREITAS, J. G.; AZZINI, L. E. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas no estado de São Paulo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, p. 512-519, 2013.

RESENDE, M. D. V. **SELEGEN–REML/BLUP: Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada via Modelos Lineares Mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 361p.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen - REML BLUP: A useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology,** v. 16, p. 330-339, 2016.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 964-971, 2012.

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; SILVA, M. A. Productivity and production components of safflower genotypes affected by irrigation at phenological stages. **Agricultural Water Management**, v. 186, p. 66-74, 2017.

SAADAOUI, E.; MARTÍN, J. J.; TLILI, N.; CERVANTES, E. Castor bean (*Ricinus communis* L.): Diversity, seed oil and uses. *In:* PARVAIZ, A. (eds.). **Oil seed crops: yield and adaptations under environmental stress**, Nova Jersey: Wiley Online Library, 2017, p. 19-33.

SILVA, G. O.; CARVALHO, A. D. F.; VEIRA, J. V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE Biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, v. 70, p. 494- 501, 2011.

SILVA, C. J.; SILVA, A. C.; ZOZ, T.; TOPPA, E. V. B.; SILVA, P. B.; ZANOTTO, M. D. Genetic divergence among accessions of *Carthamus tinctorius* L. by morphoagronomic traits. **African Journal of Agricultural Research,** v. 10, n. 52, p. 4825-4830, 2015.

SOUSA, C. M.; GRAVINA, G. A.; VIANA, A. P.; DAHER, R. F.; SOUZA, C. L. Selection of snap bean F2 progenies for production using the REML/BLUP methodology. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 33-40, 2017.

TEAM, R. C. **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <https://www.r-project.org>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2020.

USHA KIRAN, B.; MUKTA, N.; KADIRVEL, P.; ALIVELU, K.; SENTHILVEL, S.; KISHORE, P.; VARAPRASAD, K. S. Genetic diversity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm as revealed by SSR markers. **Plant Genetic Resources**, v. 15, n. 1, p. 1-11, 2017.

CAPÍTULO 2 – SELEÇÃO DE GENÓTIPOS SUPERIORES DE CÁRTAMO EM QUATRO AMBIENTES POR ÍNDICES NÃO PARAMÉTRICOS

RESUMO

O cártamo é uma cultura agrícola recentemente introduzida no Brasil, com poucas cultivares comerciais registradas e que mostra-se como uma alternativa aos sistemas já consolidados. O melhoramento da cultura é essencial para o desenvolvimento das áreas de produção. O objetivo deste estudo foi aplicar três índices de seleção distintos (Mulamba e Mock, distância ao ideótipo e índice de seleção de Garcia) nas características agronômicas de onze genótipos de cártamo testados em quatro ambientes distintos nos estados de São Paulo e Mato Grosso. As características avaliadas foram: produtividade de grãos (kg ha^{-1}), massa de mil sementes (g), teor de óleo (%) e rendimento de óleo (kg ha^{-1}). Os três índices mostraram-se eficientes e apresentaram resultados similares na seleção de genótipos de cártamo. O uso conjunto dos três índices de seleção permitiu identificar a superioridade dos genótipos P30, P11, P43 e P7 e selecioná-los como materiais promissores, portanto, por ainda apresentarem um teor de óleo relativamente baixo podem ser objeto do Programa de Melhoramento em relação a essa característica.

Palavras-chave: *Carthamus tinctorius* L.. Seleção de plantas. Desempenho agronômico. Genótipo x ambiente. Genótipos superiores.

SELECTION OF SUPERIOR SAFFLOWER GENOTYPES IN FOUR ENVIRONMENTS BY NON-PARAMETRIC INDICES

ABSTRACT

Safflower is an agricultural crop recently introduced in Brazil, with few commercial cultivars registered and which shows itself as an alternative to already consolidated systems. Crop improvement is essential for the development of production areas. The aim of this study was to apply three different selection indexes (Mulamba and Mock, distance to ideotype and Garcia selection index) on the agronomic traits of eleven safflower genotypes tested in four different environments in the states of São Paulo and Mato Grosso. The evaluated traits were: grain yield (kg ha^{-1}), thousand seed weight (g), oil content (%) and oil yield (kg ha^{-1}). The three indexes proved to be

efficient and presented similar results in the selection of safflower genotypes. The combined use of the three selection indexes allowed to identify the superiority of the genotypes P30, P11, P43 and P7 and to select them as promising materials, therefore, because they still have a relatively low oil content, they can be object of the breeding in relation to this trait.

Keywords: *Carthamus tinctorius* L.. Plant selection. Agronomic performance. Genotype x environment. Superior genotypes.

2.1 INTRODUÇÃO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é originário do Mediterrâneo oriental (WEISS, 2000; BRITANNICA ACADEMIC, 2019), tendo como possíveis centros de origem o Irã, a Índia, o Afeganistão e a Etiópia (MOURA et al., 2015; BRITANNICA ACADEMIC, 2019). A domesticação da planta ocorreu por volta de 1.600 a.C. no Egito para extração de corantes avermelhados (SEHGAL; RAINA, 2005; BRITANNICA ACADEMIC, 2019), sendo atualmente amplamente utilizado para a produção de óleo, na alimentação humana e animal, bem como, para fins industriais.

O cártamo foi introduzido no Brasil recentemente, mostrando potencial para cultivo mesmo em regiões com baixas precipitações, abrindo possibilidade de cultivo em larga escala em climas áridos, como parte do Nordeste brasileiro e regiões que passam por longos períodos secos, como é o caso do Centro-oeste Brasileiro (SHAHROKHNIA; SEPASKHAH, 2016; SAMPAIO et al., 2016; SANTOS et al., 2017). Pesquisas estão sendo realizadas visando aumentar principalmente a produtividade, a produção agrícola e o rendimento de óleo da cultura (ULLAH; BANO, 2011; EL-LATTIEF, 2012; ZANÃO JÚNIOR et al., 2017; PALUDO, 2018).

Entre os métodos de melhoramento da cultura do cártamo, aqueles baseados na ação gênica de diferentes características têm um papel significativo na produção de genótipos de alto rendimento (GOLKAR, 2014). De acordo com Espanani et al. (2019), ainda não há acordo entre os pesquisadores sobre os métodos que possam ser mais eficazes no melhoramento da cultura, portanto, a utilização de índices de seleção, que é um método alternativo e que combina informações sobre os vários parâmetros avaliados em um único valor, facilitaria a comparação e a classificação de indivíduos com base no conjunto de características de interesse dos pesquisadores (CRUZ et al., 2014).

Os índices de seleção são classificados como lineares ou não lineares. Índices lineares, são obtidos pela função linear dos valores dos genótipos. Seu objetivo é melhorar as médias populacionais, possibilitando a seleção de genótipos com características abaixo de níveis comerciais aceitáveis. Esses índices são indicados apenas para situações em que após o ciclo de seleção a etapa de recombinação seja concluída. Os índices não lineares são também conhecidos como índices não paramétricos, e segundo Garcia e Souza Júnior (1999), não requerem estimativas de parâmetros genéticos, o que permite a classificação simples dos genótipos e a aplicação do método em linhagens durante as etapas finais de um programa de melhoramento.

Na literatura são relatados diversos índices não paramétricos, tais como, o índice multiplicativo proposto por Elston (1963); o índice da distância para classificação de genótipos ideais (ideótipo), citado por Wricke e Weber (1986); o índice de soma de ranques descrito por Mulamba e Mock (1978); e o índice de seleção de cultivares proposto por Garcia (1998). Esses índices foram aplicados na seleção de linhagens superiores de feijão (MARINHO et al., 2014; MAZIERO et al., 2015), milho pipoca (VITTORAZZI et al., 2013) e soja (BÁRBARO et al., 2007; FREIRIA et al., 2019).

Este estudo teve como objetivo: comparar os três principais índices não paramétricos (soma de ranques, distância ao ideótipo e seleção de cultivares) e selecionar linhagens superiores de cártamo avaliadas em diferentes ambientes.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Locais de experimentação

Os experimentos foram realizados durante a safra de 2018 no município de Bauru (22°20'37.4"S; 49°06'27.0"W, altitude de 526 m) e Botucatu (22°50'59.5"S; 48°25'56.8"W, altitude de 760 m), São Paulo, Brasil, e na safra de 2019 em Botucatu (22°49'34.3"S; 48°25'46.5"W, altitude de 770 m), São Paulo, e Campo Novo do Parecis (13°40'41.8"S; 57°47'19.4"W, altitude de 572 m), Mato Grosso, Brasil. O clima de Bauru - SP e Botucatu - SP é classificado como Cwa e o de Campo Novo do Parecis - MT é classificado como Aw, de acordo com a classificação de Köppen.

2.2.2 Material vegetal e detalhes experimentais

Dez linhagens (P43, P30, P28, P7, P35, P9, P11, P21, P31 e P14) e um acesso comercial, utilizado como testemunha (IMA7326), foram avaliados nos quatro ambientes distintos.

A semeadura foi realizada nos meses de março de 2018 e 2019, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram compostas por quatro linhas, cada uma com 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,50 m e 10 plantas por metro linear.

2.2.3 Parâmetros avaliados

Foram avaliados os seguintes parâmetros: produtividade de grãos (GY), determinada através da colheita das duas linhas centrais das parcelas e extrapoladas para kg ha^{-1}; massa de mil sementes (W1000), medida através de balança analítica, dada em gramas; teor de óleo (%O), determinado por ressonância magnética nuclear (TD-NMR), usando um espectrômetro (SLK-SG-200, Spinlock Magnetic Resonance Solutions®), resultado dado em porcentagem; e rendimento de óleo (OY), obtido através dos dados de produtividade de grãos e teor de óleo, em kg ha^{-1}.

2.2.4 Análise de dados

Foram realizadas análises individuais de variância para todas as características em cada experimento e após a confirmação da homogeneidade da variância pelo teste de Hartley, foi realizada uma análise conjunta incluindo todos os ambientes. A participação da interação complexa genótipo x ambiente foi avaliada usando os métodos descritos por Robertson (1959) e Cruz e Castoldi (1991).

2.2.4.1 Índice de soma de ranques

O índice da soma de ranques (MULAMBA; MOCK, 1978), classifica os genótipos em relação a cada característica favorável de acordo com os critérios estabelecidos pelo melhorista em um programa de melhoramento.

Assim, para a obtenção do índice, soma-se a sequência de caracteres favoráveis de cada genótipo, da seguinte forma: $I = r_1 + r_2 + \cdots + r_n$, em que, I é o valor do índice para algum indivíduo ou família; r_jé a classificação ou ranque de um genótipo em relação ao j-ésimo caráter; e n é o número de características consideradas pelo índice.

Esse índice permite a adoção de diferentes pesos no ranking de características. Assim, $I = p_1 r_1 + p_2 r_2 + \cdots + p_n r_n$, em que p_j = peso econômico atribuído pelo melhorista ao j-ésimo caráter.

2.2.4.2 Índice de distância ao ideótipo

O índice de distância ao ideótipo (WRICKE; WEBER, 1986), admite adotar um valor ideal para cada característica avaliada. A distância de cada indivíduo a um genótipo ideal definido para as características GY, W1000, %O, e OY foi calculado a partir das médias fenotípicas.

O ideótipo foi definido como o genótipo com altos valores para todas as características. A seguir, as médias obtidas foram padronizadas e calculadas as distâncias euclidianas para cada genótipo em relação ao ideótipo proposto através da seguinte fórmula: $d_{jI} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_{ij} - x_{Ii})^2}$, em que, d_{jI} = distância euclidiana entre o genótipo j e o ideótipo I ($j = 1 + \cdots + 11$); x_{ij} = valor da característica i no genótipo j ($i = 1, \ldots, 4$); x_{ij} = valor definido para o ideótipo I, referente à característica i.

Os genótipos foram classificados com base na distância ao ideótipo, sendo que os genótipos com as menores distâncias são considerados superiores.

2.2.4.3 Índice de seleção de cultivares

O índice de seleção de cultivares proposto por Garcia (1998), requer estimativas dos parâmetros avaliados e prioriza a fixação dos valores descartados e a aplicação de um teste de médias, para a seleção de cultivares. As etapas para a obtenção do índice são descritas abaixo:

I) Agrupamento de médias: realizada através do teste de Scott-Knott; II) Definição dos níveis mínimo e máximo: determinados em função do padrão aceitável para cada característica. Neste estudo, os níveis mínimos aceitáveis foram os valores estatisticamente superior às melhores médias; III) Transformação de dados pela equação: $y_{tij}^{m} = \frac{y_{ij}^{m} - y_{ij}^{Nm}}{S_m}$, em que: y_{tij}^{m} é a média transformada da característica m; y_{ij}^{m} é a característica m após o agrupamento; y_{ij}^{Nm} é o valor mínimo ou máximo aceitável para a média da característica m; e S_m é o desvio padrão da característica m; IV) Definição de ideótipo: fixado como ideótipo os genótipos com altos valores de GY, W1000, %O e OY; V) Cálculo da distância euclidiana em relação ao ideótipo: proposto

através da seguinte fórmula: $d_{jI} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_{ij} - x_{Ii})^2}$, em que, d_{jI} = distância euclidiana entre o genótipo j e o ideótipo I ($j = 1 + \cdots + 11$); x_{ij} = valor da característica i no genótipo j $(i = 1, \ldots, 4)$; x_{ij} = valor definido para o ideótipo I, referente à característica i; VI) Classificação superior do genótipo: quanto menor a distância ao ideótipo, melhor foi considerado o genótipo.

As análises foram realizadas no programa Genes (CRUZ, 2016) e no Microsoft Excel©.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta (Tabela 1) revelou diferenças significativas para genótipo (G) apenas para a característica %O, ao passo que para ambiente (E) foram constatadas diferenças significativas à 5% de probabilidade para GY, W1000 e OY e 1% para %O.

Tabela 1 - Análise de variância e significância do quadrado médio para as características avaliadas, coeficiente de variação ambiental (CVe), e relação entre o maior e menor quadrado médio residual dos ambientes (QMR+/QMR-) de 11 genótipos de cártamo cultivados em quatro ambientes.

		QM			
FV	**GL**	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**
BLOCO	8	7970,03^{ns}	17,28^{ns}	6,03^{ns}	812,26^{ns}
GENÓTIPO (G)	10	309434,76^{ns}	32,84^{ns}	70,10*	16193,66^{ns}
AMBIENTE (A)	3	5186528,38**	484,88**	76,55*	203737,40**
GXA	30	528892,39**	46,79**	25,57**	31996,58**
RESÍDUO	80	20126,31	14,66	3,98	1065,91
CVe médio (%)		19,82	9,10	9,61	21,64
QMr+/QMr-		7,12	5,76	1,91	7,15
MÉDIA		739,67	39,94	20,58	151,67

GY: produtividade de grãos (kg ha^{-1}); W1000: massa de mil sementes (g); %O: teor de óleo (%); OY: rendimento de óleo (kg ha^{-1}).
Teste F: ^{ns}: não significativo; *: significativo à 5%; **: significativo à 1%.

A interação genótipo x ambiente (GA) demonstrou significância para todas as características avaliadas, indicando que os genótipos apresentaram variabilidade genética e desempenho diferente devido à variação ambiental (USHA KIRAN et al., 2017; ATOLE et al., 2018; ALI et al., 2019). A adaptação de genótipos à modificação

climática mundial é um importante passo para sustentar a produção de cultura ao redor do mundo (GOLKAR et al. 2017, ALIZADEH et al., 2017).

A média geral das características (Tabela 2) foi de 739,67 kg ha^{-1} para GY, 39,94 g para W1000, 20,58% para %O e 151,67 kg ha^{-1} para OY (Tabela 1), ao passo que o Ambiente 2 (Tabela 2) apresentou as maiores médias de GY (1.226,2 kg ha^{-1}) e OY (245,1 kg ha^{-1}), o Ambiente 3 de W1000 (44,9 g) e o Ambiente 4 de %O (22,3%).

Tabela 2 - Médias fenotípicas das características de plantas de 11 genótipos de cártamo cultivados em quatro ambientes.

	AMBIENTE 1				AMBIENTE 2			
GENÓTIPO	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**
IMA7326	263,3	30,8	30,8	81,1	1198,0	35,6	30,5	367,0
P43	231,8	31,0	18,5	42,8	1215,7	41,3	27,7	336,7
P30	602,7	44,0	18,7	111,7	1318,7	39,9	15,9	215,2
P28	1176,7	42,7	18,5	217,5	1069,6	37,9	15,5	167,4
P7	602,4	39,6	20,1	122,2	1587,2	40,6	19,4	306,5
P35	493,7	25,0	15,4	76,6	1120,6	48,0	16,1	183,6
P9	843,0	39,8	25,0	209,6	1298,7	35,7	19,7	255,2
P11	2146,4	42,3	22,7	486,2	1344,3	41,4	17,0	228,1
P21	2226,0	42,7	23,6	523,4	774,4	40,6	18,3	137,2
P31	410,3	41,4	19,1	75,7	1256,0	41,2	19,8	249,5
P14	155,9	37,5	21,4	33,4	1304,1	41,4	19,2	249,9
Média	831,9	37,9	21,2	180,0	1226,2	40,3	19,9	245,1
	AMBIENTE 3				**AMBIENTE 4**			
GENÓTIPO	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**
IMA7326	698,6	43,1	22,2	152,3	392,1	38,3	22,2	87,9
P43	830,6	44,1	24,6	203,4	281,5	33,1	22,8	65,4
P30	960,1	44,0	17,5	168,0	602,5	33,2	24,4	142,4
P28	626,1	47,6	17,7	110,7	185,2	34,9	22,1	40,9
P7	456,7	45,0	18,8	86,1	372,8	36,9	21,4	79,2
P35	311,3	47,0	15,7	49,3	247,0	38,0	24,0	59,2
P9	491,9	45,3	18,0	88,4	274,1	36,6	20,5	56,4
P11	561,0	48,0	19,0	106,6	130,9	39,5	20,3	26,7
P21	594,4	46,4	18,2	108,1	216,0	35,0	22,5	48,7
P31	439,1	42,8	18,7	82,6	146,9	36,5	22,1	32,7
P14	870,2	43,4	17,1	151,1	217,6	38,4	23,4	50,9
Média	654,2	44,9	19,1	127,3	278,8	36,4	22,3	62,7

GY: rendimento de grãos (kg ha^{-1}); W1000: massa de mil sementes (g); %O: teor de óleo (%); OY: rendimento de óleo (kg ha^{-1}).

Para a metodologia de Mulamba e Mock (Tabela 3) foi observado para o Ambiente 1 (Bauru-SP/safra 2018), vários genótipos obtiveram um desempenho superior à testemunha IMA7326 (27).

Tabela 3 - Índice de seleção de Mulamba e Mock (I) aplicado às características das plantas de 11 genótipos de cártamo cultivados em quatro ambientes.

	AMBIENTE 1					AMBIENTE 2				
GENÓTIPO	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**I**	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**I**
IMA7326	9	10	1	7	27	8	11	1	1	21
P43	10	9	9	10	38	7	4	2	2	15
P30	5	1	8	6	20	3	8	10	8	29
P28	3	3	9	3	18	10	9	11	10	40
P7	6	7	6	5	24	1	6	5	3	15
P35	7	11	11	8	37	9	1	9	9	28
P9	4	6	2	4	16	5	10	4	4	23
P11	2	4	4	2	12	2	2	8	7	19
P21	1	2	3	1	7	11	7	7	11	36
P31	8	5	7	9	29	6	5	3	6	20
P14	11	8	5	11	35	4	3	6	5	18

	AMBIENTE 3					AMBIENTE 4					
GENÓTIPO	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**I**	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**I**	**∑I**
IMA7326	4	10	2	3	19	2	3	6	2	13	80
P43	3	7	1	1	12	4	11	4	4	23	88
P30	1	8	9	2	20	1	10	1	1	13	82
P28	5	2	8	5	20	9	9	8	9	35	113
P7	9	6	4	9	28	3	5	9	3	20	87
P35	11	3	11	11	36	6	4	2	5	17	118
P9	8	5	7	8	28	5	6	10	6	27	94
P11	7	1	3	7	18	11	1	11	11	34	83
P21	6	4	6	6	22	8	8	5	8	29	94
P31	10	11	5	10	36	10	7	7	10	34	119
P14	2	9	10	4	25	7	2	3	7	19	97

GY: rendimento de grãos (kg ha^{-1}); W1000: massa de mil sementes (g); %O: teor de óleo (%); OY: rendimento de óleo (kg ha^{-1})

Dentre eles destacou-se o genótipo P21 (7) com o menor valor de índice, seguido P11 (12), P9 (16), P28 (18), P30 (20) e P7 (24). No Ambiente 2 (Botucatu-SP/safra 2018), destacaram-se os genótipos P43 (15), P7 (15), P11 (19), P31 (20) e P14 (18), enquanto que para o Ambiente 3 (Botucatu-SP/safra 2019), mais uma vez os

genótipos P43 (12) e P11 (18) mostraram superioridade aos demais. No Ambiente 4 (Campo Novo do Parecis-MT/safra 2019), a testemunha IMA7326 (13) foi superior a todos os demais materiais testados, exceto apenas ao genótipo P30 que apresentou comportamento similar.

Considerando a somatória pelo índice de seleção dos genótipos de Mulamba e Mock para todos os ambientes (Tabela 3), a testemunha IMA7326 (∑I = 80) mostrou superioridade aos demais materiais, embora destacam-se também os genótipos P30 e P11 com valores próximos ao da testemunha (∑I = 82 e 83, respectivamente). Os materiais em destaque (P30 e P11, respectivamente) apresentaram as seguintes médias: GY (870,0 e 1045,6 kg ha^{-1}); W1000 (40,27 e 42,83 g); %O (19,12 e 19,72%); e OY (159,3 e 211,91 kg ha^{-1}). Em relação à média geral, a seleção desses indivíduos representaria um ganho de rendimento de 218,1 kg ha^{-1} para GY, 1,61 g para W1000 e 33,9 kg ha^{-1} para OY.

A seleção por meio de índices baseados no ranking dos materiais, significa que um valor mais baixo de I indica as combinações mais favoráveis entre todas as características do estudo; por outro lado, um valor mais alto indica uma combinação desfavorável de características (BERTINI et al., 2010). De acordo com Cruz et al. (2014), nas etapas finais de melhoramento, a seleção não deve ter como objetivo o ganho genético populacional, mas deve ser realizada uma seleção individual de genótipos que combinam características necessárias para obter uma cultivar superior, sem características indesejáveis.

A seleção por meio do índice de distância do ideótipo (Dji) (Tabela 4) mostrou para o Ambiente 1 superioridade para os genótipos P28, P7, P9, P11 e P21, com índices variando de 1,74 a 3,74. O genótipo P35 (5,95) apresentou o índice mais distante ao ideótipo. Já no Ambiente 2, os genótipos P43, P7, P11, P31 e P14 se destacaram, apresentando índices abaixo de 4,16. A menor distância ao ideótipo foi observada para o genótipo P43 (2,80). No Ambiente 3 apenas o genótipo P43 (2,21) mostrou superioridade à testemunha IMA7326 (3,31), enquanto que para o Ambiente 4, nenhum genótipo foi superior ao IMA7326 (2,93). O genótipo P30 (2,92) apresentou resultados próximos.

A somatória das distâncias ao ideótipo permitiu verificar resultados similares para os genótipos P30 (7,92) e P43 e P7 (ambos, 7,94), sendo esses considerados os materiais mais próximos do ideal, ao passo que P35 apresentou a maior distância do ideótipo (10,29).

Tabela 4 - Índice de seleção de distância ao ideótipo (Dji) aplicado às características das plantas de 11 genótipos de cártamo cultivados em quatro ambientes.

	AMBIENTE 1					AMBIENTE 2				
GENÓTIPO	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**Dji**	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**Dji**
IMA7326	7,23	4,52	0,00	6,66	4,29	3,72	13,62	0,00	0,00	4,16
P43	7,46	4,37	8,65	7,87	5,32	3,40	3,93	0,33	0,18	2,80
P30	4,95	0,00	8,38	5,77	4,37	1,78	5,71	9,03	4,63	4,60
P28	2,07	0,04	8,70	3,19	3,74	6,60	9,00	9,54	8,00	5,76
P7	4,95	0,49	6,60	5,48	4,19	0,00	4,80	5,28	0,73	3,29
P35	5,63	9,30	13,61	6,80	5,95	5,37	0,00	8,87	6,76	4,58
P9	3,59	0,45	1,94	3,35	3,05	2,05	13,37	5,00	2,51	4,79
P11	0,01	0,07	3,79	0,05	1,98	1,45	3,80	7,80	3,87	4,11
P21	0,00	0,04	2,98	0,00	1,74	16,28	4,80	6,37	10,60	6,17
P31	6,19	0,17	7,79	6,83	4,58	2,70	4,03	4,87	2,77	3,79
P14	8,04	1,08	5,06	8,18	4,73	1,98	3,86	5,47	2,75	3,75

	AMBIENTE 3					AMBIENTE 4					
GENÓTIPO	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**Dji**	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**Dji**	$\sqrt{\sum Dji}$
IMA7326	1,69	6,99	0,96	1,29	3,31	2,42	0,34	2,93	2,88	2,93	7,43
P43	0,41	4,45	0,00	0,00	2,21	5,62	9,05	1,49	5,75	4,68	7,94
P30	0,00	4,74	8,26	0,62	3,69	0,00	8,90	0,00	0,00	2,98	7,92
P28	2,76	0,06	7,74	4,25	3,85	9,50	4,79	3,26	9,99	5,25	9,46
P7	6,27	2,72	5,39	6,81	4,60	2,88	1,50	5,30	3,87	3,68	7,94
P35	10,42	0,31	12,85	11,75	5,94	6,90	0,56	0,11	6,71	3,78	10,29
P9	5,43	2,12	7,16	6,54	4,61	5,89	1,93	8,96	7,17	4,89	8,80
P11	3,94	0,00	5,20	4,64	3,71	12,14	0,00	9,95	12,96	5,92	8,35
P21	3,31	0,75	6,70	4,49	3,91	8,15	4,59	2,09	8,52	4,83	8,93
P31	6,72	7,88	5,57	7,23	5,23	11,33	2,12	3,12	11,65	5,31	9,54
P14	0,20	6,31	9,17	1,35	4,13	8,09	0,30	0,56	8,10	4,13	8,40

GY: rendimento de grãos (kg ha^{-1}); W1000: massa de mil sementes (g); %O: teor de óleo (%); OY: rendimento de óleo (kg ha^{-1})

Para solucionar a questão das diferenças estatísticas / fenotípicas, Garcia (1998) propôs o índice de seleção de cultivares (Tabela 5), que demanda a aplicação de um teste de agrupamento de médias e a substituição das médias fenotípicas observadas pelas médias do grupo em que o genótipo foi inserido.

Os genótipos que combinaram as características mais favoráveis e consequentemente apresentaram os menores índices de seleção (Isc) no método descrito por Garcia (1998), no Ambiente 1 foram: P28 (3,50), P9 (3,02) e P11 e P 21 ambas com 1,69; no Ambiente 2: P43 (1,54); no Ambiente 3: P43 (0,00); e no Ambiente 4: P30 (0,00) e P7 (2,73).

A somatória do desempenho dos genótipos (Tabela 5) mostrou que a testemunha IMA7326 foi superior aos demais genótipos, entretanto, P9, P43 e P11 apresentaram resultados de índices de seleção bastantes próximos ao ideal, com respectivamente, 6,26 e 5,99. Garcia (1998), afirma que os genótipos a serem selecionados teriam um Isc menor e não apresentariam nenhuma característica abaixo do nível mínimo aceitável. Dentre todos os locais, o genótipo P35 apresentou o maior índice de seleção (8,32).

Com base nos três índices distintos de seleção (Figura 1), os genótipos IMA7326, P30, P11, P43 e P7 mostraram-se superiores aos demais.

Figura 1 - Gráfico tridimensional para os índices de seleção aplicadas às características avaliadas em 11 genótipos de cártamo cultivados em quatro ambientes.

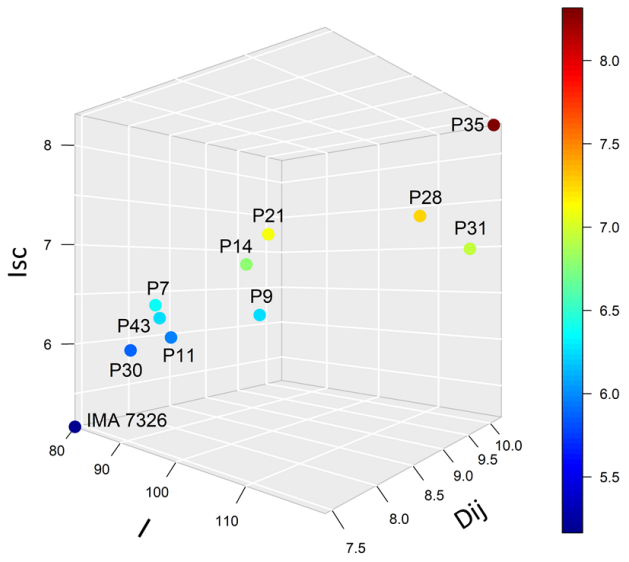


Tabela 5 - Índice de seleção de Garcia (Isc) aplicado às características das plantas de 11 genótipos de cártamo cultivados em quatro ambientes.

	AMBIENTE 1					AMBIENTE 2				
GENÓTIPO	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**Isc**	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**Isc**
IMA7326	7,28e	3,94b	0,00a	5,63c	4,10	2,38b	0,00a	0,00a	0,00a	1,54
P43	7,28e	3,94b	7,47c	7,42d	5,11	2,38b	0,00a	0,00a	0,00a	1,54
P30	5,17d	0,00a	7,47c	5,63c	4,27	2,38b	0,00a	7,17c	1,89b	3,38
P28	1,92b	0,00a	7,47c	2,89b	3,50	5,97c	0,00a	7,17c	6,08c	4,38
P7	5,17d	0,00a	7,47c	5,63c	4,27	0,00a	0,00a	4,13b	0,00a	2,03
P35	5,17d	3,94b	13,61d	5,63c	5,32	5,97c	0,00a	7,17c	6,08c	4,38
P9	3,39c	0,00a	2,85b	2,89b	3,02	2,38b	0,00a	4,13b	1,89b	2,90
P11	0,00a	0,00a	2,85b	0,00a	1,69	2,38b	0,00a	7,17c	1,89b	3,38
P21	0,00a	0,00a	2,85b	0,00a	1,69	16,28d	0,00a	4,13b	6,08c	5,15
P31	5,17d	0,00a	7,47c	5,63c	4,27	2,38b	0,00a	4,13b	1,89b	2,90
P14	7,28e	0,00a	7,47c	7,42d	4,71	2,38b	0,00a	4,13b	1,89b	2,90

	AMBIENTE 3					AMBIENTE 4					
GENÓTIPO	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**Isc**	**GY**	**W1000**	**%O**	**OY**	**Isc**	**∑Isc**
IMA7326	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00	0,00a	0,00a	0,00a	7,44b	2,73	5,16
P43	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00	3,23b	0,00a	0,00a	7,44b	3,27	6,26
P30	0,00a	0,00a	4,98b	0,00a	2,23	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a	0,00	5,89
P28	2,91b	0,00a	4,98b	3,04b	3,31	3,23b	0,00a	0,00a	7,44b	3,27	7,29
P7	2,91b	0,00a	4,98b	3,04b	3,31	0,00a	0,00a	0,00a	7,44b	2,73	6,38
P35	2,91b	0,00a	4,98b	3,04b	3,31	3,23b	0,00a	0,00a	7,44b	3,27	8,32
P9	2,91b	0,00a	4,98b	3,04b	3,31	3,23b	0,00a	0,00a	7,44b	3,27	6,26
P11	2,91b	0,00a	4,98b	3,04b	3,31	3,23b	0,00a	0,00a	7,44b	3,27	5,99
P21	2,91b	0,00a	4,98b	3,04b	3,31	3,23b	0,00a	0,00a	7,44b	3,27	7,14
P31	2,91b	0,00a	4,98b	3,04b	3,31	3,23b	0,00a	0,00a	7,44b	3,27	6,95
P14	0,00a	0,00a	4,98b	0,00a	2,23	3,23b	0,00a	0,00a	7,44b	3,27	6,80

GY: rendimento de grãos (kg ha^{-1}); W1000: massa de mil sementes (g); %O: teor de óleo (%); OY: rendimento de óleo (kg ha^{-1}); *Letras iguais na coluna não se diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

2.4 CONCLUSÕES

Os três índices mostraram-se eficientes e apresentaram resultados similares na seleção de genótipos de cártamo.

O uso conjunto dos três índices de seleção permitiu identificar a superioridade dos genótipos P30, P11, P43 e P7 e selecioná-los como materiais promissores, portanto, por ainda apresentarem um teor de óleo relativamente baixo podem ser objeto do Programa de Melhoramento em relação a essa característica.

REFERÊNCIAS

ATOLE, N. A.; RATHI, S. R.; RATNAPARKHI, R. D.; JANJAL, S. M. Genetic diversity analysis in selected germplasm lines of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 9, n. 1, p. 213-219, 2018.

ALI, F.; YILMAZ, A.; NADEEM, M. A.; HABYARIMANA, E.; SUBAŞI, I.; NAWAZ, M. A.; CHAUDHARY, H. J.; SHAHID, M. Q.; ERCIŞLI, S.; ZIA, M. A. B.; CHUNG, G.; BALOCH, F. S. Mobile genomic element diversity in world collection of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) panel using iPBS-retrotransposon markers. **Plos One,** v. 14, p. 1-19, 2019.

ALIZADEH, K.; MOHAMMADI, R.; SHARIATI, A.; ESKANDARI, M. Comparative analysis of statistical models for evaluating genotype x environment interaction in rainfed safflower. **Agricultural Research**, v. 6, p. 455-465, 2017.

BÁRBARO, I. M.; CENTURION, M. A. P. C.; MAURO, A. O.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; COSTA, M. M. Comparação de estratégias de seleção no melhoramento de populações F5 de soja. **Revista Ceres,** v. 54, p. 250-261, 2007.

BERTINI, C. H. C. M.; ALMEIDA, W. S.; SILVA, A. P. M.; SILVA, J. W. L.; TEÓFILO, E. M. Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. **Acta Scientiarum, Agronomy,** v. 32, p. 613-619, 2010.

BRITANNICA ACADEMIC (2019). **Safflower.** Disponível em: <https://academic-eb-britannica.ez87.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/safflower/64715> Acesso em: 10 de março de 2020.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. Ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum, Agronomy,** v. 38, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Desempenho da interação genótipo x ambiente em pares simples e complexas. **Revista Ceres,** v. 38, p. 422- 430, 1991.

EL-LATTIEF, E. A. Evaluation of 25 safflower genotypes for seed and oil yields under arid environment in upper Egypt. **Asian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 2, p. 72-79, 2012.

ELSTON, R. C. A weight free index for the purpose of ranking of selection with respect to several traits at a time. **Biometrics,** v. 19, p. 85-97, 1963.

ESPANANI, S.; MAJIDI, M. M.; SAEIDI, G.; ALAEI, H.; REZAEI, V. Wide hybridization and introgression breeding in safflower: Effectiveness of different selection methods. **Plant Breeding**, v. 138, p. 846-861, 2019.

FREIRIA, G. H.; PERINI, L. J.; ZEFFA, D. M.; NOVAIS, O. S.; LIMA, W. F.; GONÇALVES, L. S. A.; PRETE, C. E. C. Comparison of non-parametric indexes to select soybean genotypes obtained by recurrent selection. **Semina: Ciências Agrárias,** v. 40, p. 1761-1774, 2019.

GARCIA, A. A. F. **Índice para a seleção de cultivares**. 1998. Tese (Doutorado em Melhoramento de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

GARCIA, A. A. F.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Comparação de índices de seleção não paramétricos para a seleção de cultivares. **Bragantia,** v. 58, p. 253-267, 1999.

GOLKAR, P. Breeding improvements in safflower (*Carthamus tinctorius* L.): A review. **Australian Journal of Crop Science,** v. 8, p. 1079-1085, 2014.

GOLKAR, P.; SHAHBAZI, E.; NOURAEIN, M. Combining ability × environment interaction and genetic analysis for agronomic traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.): biplot as a tool for diallel data. **Acta Agriculturae Slovenica**, v. 109, n. 2, p. 229-240, 2017.

MARINHO, C. D.; GRAVINHA, G. A.; SEBASTIÃO, L. C. A.; ALMEIDA, N. C.; DAHER, R. F.; BRASILEIRO, B. P.; PAULA, T. O. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T. Indexs in the comparison of pre-commercial genotypes of common bean. **Ciência Rural,** v. 44, p. 1159-1165, 2014.

MAZIERO, S. M., RIBEIRO, N. D.; STORCK, L. Simultaneous selection in beans for architecture, grain yield and minerals concentration. **Euphytica,** v. 205, p. 369-380, 2015.

MOURA, P. C. S.; BORTOLHEIRO, F. P. A.; GUIMARAES, T. M.; LEAL, D. P. V.; SILVA, M. A. Características gerais e ecofisiologia do cártamo (*Carthamus tinctorius*). **Journal of Agronomic Sciences,** v. 4, p. 136-150, 2015.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the method Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology***,* v. 7, p. 40-51, 1978.

PALUDO, J. T. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; SOUZA, H. H. F.; ZANOTTO, M. D.; FENNER, W. Agronomic performance of Safflower genotypes

(*Carthamus tinctorius* L.) under different soil bulk density levels in the Oxisol of the Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 3, p. 407-412, 2018.

ROBERTSON, A. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. **Biometrics,** v. 15, p. 469-485, 1959.

SAMPAIO, M. C.; SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; VASCONSELOS, E. S.; SILVA, M. A.; SECCO, D.; SILVA, T. R. B. Fertilizer improves seed and oil yield of safflower under tropical conditions. **Industrial Crops and Products,** v. 94, p. 589-595, 2016.

SANTOS, R. F.; BASSEGIO, D.; SILVA, M. A. Productivity and production components of safflower genotypes affected by irrigation at phenological stages. **Agricultural Water Management**, v. 186, p. 66-74, 2017.

SEHGAL, D.; RAINA, S. N. Genotyping safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars by DNA fingerprints. **Euphytica,** v. 146, p. 67-76, 2005.

SHAHROKHNIA, M. H.; SEPASKHAH, A. R. Effects of irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization on yield, water and nitrogen efficiencies of safflower. **Agricultural Water Management,** v. 172, p. 18-30, 2016.

VITTORAZZI, C.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GONÇALVES, L. S. A.; CANDIDO, L. S.; SILVA, T. R. C. S. Seleção de pré-cultivares de milho-pipoca baseado em índices não-paramétricos. **Ciência Agronômica,** v. 44, p. 356-362, 2013.

ULLAH, F.; BANO, A. Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tictorius* L.). **Brazilian Society of Plant Physiology,** v. 21, p. 27-31, 2011.

USHA KIRAN, B.; MUKTA, N.; KADIRVEL, P.; ALIVELU, K.; SENTHILVEL, S.; KISHORE, P.; VARAPRASAD, K. S. Genetic diversity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm as revealed by SSR markers. **Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization**, v. 15, n. 1, p. 1-11, 2017.

WEISS, E. A. **Oilseed Crops**. 2. Ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. 364p.

WRICKE, G.; WEBER, W. E. **Quantitative genetics and selection in plant breeding.** New York: Walter de Gruyter, 1986. 406p.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; PASCHOAL, T. S.; PEREIRA, N.; ARAÚJO, P. M.; SECCO, D.; SANTOS, R. F.; PRIOR, M. Seed productivity, oil content and accumulation of macronutrients in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes in subtropical region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1254-1260, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cártamo tem demonstrado grande aptidão às áreas de cultivo brasileiras, principalmente nas regiões do Cerrado e apresenta-se como uma opção para utilização pelos produtores das grandes culturas.

Este estudo mostrou que as linhagens desenvolvidas pela Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP possuem elevada produtividade de grãos.

O teor de óleo dos materiais avaliados são relativamente baixos, devido ao fato da seleção de plantas ter sido realizada apenas para produtividade de grãos, sendo necessário o cruzamento desses acessos promissores com genótipos de elevado teor de óleo.

É de extrema importância dar continuidade nos trabalhos de pesquisa e melhoramento do cártamo, a fim de testar os genótipos em um número maior de ambientes distintos para que em um futuro próximo novos materiais possam ser registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e lançados no mercado como opção de cultivares para ampla utilização.

REFERÊNCIAS

ALI, F.; YILMAZ, A.; NADEEM, M. A.; HABYARIMANA, E.; SUBAŞI, I.; NAWAZ, M. A.; CHAUDHARY, H. J.; SHAHID, M. Q.; ERCIŞLI, S.; ZIA, M. A. B.; CHUNG, G.; BALOCH, F. S. Mobile genomic element diversity in world collection of safflower (Carthamus tinctorius L.) panel using iPBS-retrotransposon markers. **Plos One**, v. 14, n. 2, p. 1-19, 2019.

ALIZADEH, K.; MOHAMMADI, R.; SHARIATI, A.; ESKANDARI, M. Comparative analysis of statistical models for evaluating genotype x environment interaction in rainfed safflower. **Agricultural Research**, v. 6, n. 4, p. 455-465, 2017.

AMBREEN, H.; KUMAR, S.; VARIATH, M. T.; JOSHI, G.; BALI, S.; GOEL, S. Development of genomic microsatellite markers in *Carthamus tinctorius* L. (Safflower) using next generation sequencing and assessment of their cross-species transferability and utility for diversity analysis. **Plos One**, v. 10, n. 8, p. 1-22, 2015.

ATOLE, N. A.; RATHI, S. R.; RATNAPARKHI, R. D.; JANJAL, S. M. Genetic diversity analysis in selected germplasm lines of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 9, n. 1, p. 213-219, 2018.

AUGUSTINHO, E. T. **Silagem e torta de cártamo na alimentação de ovinos como alternativa à silagem de milho e farelo de soja**. Nova Odessa. 2013. 58p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) - Instituto de Zootecnia, APTA/SAA, Nova Odessa, SP, 2013.

BAGHERI, B.; SAM-DAILIRI, M. Effect of water estress on agronomic traits of safflower spring (*Carthamus Tinctorius*). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Amman, v.5, n.12, p. 2621-2624, 2011.

BONFIM-SILVA, E. M.; PALUDO, J. T. S.; SOUSA, J. V. R.; SOUSA, H. H. F.; SILVA, T. J. A. Development of Safflower Subjected to Nitrogen Rates in Cerrado Soil. **American Journal of Plant Science,** v. 6, p. 2136-2143, 2015.

BRITANNICA ACADEMIC (2019). **Safflower.** Disponível em: <https://academic-eb-britannica.ez87.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/safflower/64715> Acesso em: 10 de março de 2020.

CORONADO, L. M. **El cultivo del cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en México**. 1. Ed. Obregon: SGI, 2010. 96p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. Ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

DAJUE, L.; MÜNDEL, H. H. **Safflower (*Cartamus tinctorius* L.): Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crop**. Roma: International Plant Genetic Resource Institute, 1996. 81p.

DAMODARAM, T.; HEGDE, D. M. **Oilseeds situation: a statistical compendium 2002**. Rajendranagar: Directorate of Oilseeds Research, 2002. 471p.

EL-LATTIEF, E. A. Evaluation of 25 safflower genotypes for seed and oil yields under arid environment in upper Egypt. **Asian Journal of Crop Science**, v. 4, n. 2, p. 72-79, 2012.

EMONGOR, V. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: A review. **Asian Journal of Plant Science**, v. 9, n. 6, p. 299-306, 2010.

ESPANANI, S.; MAJIDI, M. M.; SAEIDI, G.; ALAEI, H.; REZAEI, V. Wide hybridization and introgression breeding in safflower: Effectiveness of different selection methods. **Plant Breeding**, v. 0, p. 1-16, 2019.

FAO. **Faostat. Crops.** Disponível em: < http://faostat3.fao.org/>. Acesso em: 20 de novembro de 2019.

FLEMMER, A. C.; FRANCHINI, M. C.; LINDSTRÖM, L. I. Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phonological growth stages according to the extended BBCH scale. **Annals of Applied Biology**, v. 166, p. 331-339, 2015.

GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; SILVA, M. A. Melhoramento de cártamo (*Carthamus tinctorius* L.). **Acta Iguazu,** v. 4, n. 1, p. 14-25, 2015.

GOLKAR, P. Breeding improvements in safflower (*Carthamus tinctorius* L.): A review. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 7, p. 1079-1085, 2014.

GOLKAR, P.; ARZANI, A.; REZAI, A. M. Genetic analysis of agronomic traits in safflower (*Carthamus tinctorious* L.). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 40, n. 1, p. 276-281, 2012.

GOLKAR, P.; SHAHBAZI, E.; NOURAEIN, M. Combining ability × environment interaction and genetic analysis for agronomic traits in safflower (*Carthamus tinctorius* L.): biplot as a tool for diallel data. **Acta Agriculturae Slovenica**, v. 109, n. 2, p. 229-240, 2017.

IMAMT, INSTITUTO MATOGROSSENSE DE ALGODÃO. **Cártamo, nova opção de safrinha tardia.** Disponível em: < http://www.imamt.com.br/system/anexos/arquivos/182/original/Informativo_IMAmt_julho-agosto-setembro_-_24.pdf?1355504998> Acesso em: 10 de março de 2020.

ISIK, K.; KLEINSCHMIT, J. Similarities and effectiveness of test environments in selecting and deploying desirable genotypes. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 110, p. 311-322, 2005.

JADHAV, B. A.; JOSHI, A. A. Extraction and quantitative estimation of bioactive component (yellow and red carthamin) from dried safflower petals. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 8, n. 16, p. 1-5, 2015.

MOURA, P. C. S.; BORTOLHEIRO, F. P. de A.; GUIMARAES, T. M.; LEAL, D. P. V.; SILVA, M. de A. Características gerais e ecofisiologia do cártamo (*Carthamus tinctorius*). **Journal of Agronomic Sciences**, v. 4, n. especial, p. 136-150, 2015.

MÜNDEL, H. H.; BLACKSHOW, R. E.; BYERS, J. R.; HUANG, H. C.; JOHNSON, D. L.; KEON, R. **Safflower production on the Canadian Prairies**. Lethbridge: Agriculture and Agri-Food Canada, 2004. 36p.

NADEEM, M. A.; HABYARIMANA, E.; CIFTCI, V.; NAWAZ, M. A.; KARAKOY, T.; COMERTPAY, G.; SHARID, M. Q.; HATIPOĞLU, R.; YEKEN, M. Z.; ALI, F.; ERCIŞLI, S.; CHUNG, G.; BALOCH, F. S. Characterization of genetic diversity in Turkish common bean gene pool using phenotypic and whole-genome DArTseq-generated silicoDArT marker information. **Plos One**, p. 1-28, 2018.

OELKE, E. A.; OPLINGER, E. S.; TEYNOR, T. M.; PUTNAM, D. H.; DOLL, J. D.; KELLING, K. A.; DURGAN, B. R.; NOETZEL, D. M. Safflower. **Alternative Field Crops Manual**, 8p. 1992. Disponível em <www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/safflower.html>. Acesso em: 10 de março de 2020.

OLIVO, M.; BASSEGIO, D.; ZANOTTO, M. D. Combining Ability and Heterosis in a Diallel Cross of Safflower under Brazilian Tropical Conditions. **Agronomy Journal**, 2020.

PALUDO, J. T. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; SOUZA, H. H. F.; ZANOTTO, M. D.; FENNER, W. Agronomic performance of Safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) under different soil bulk density levels in the Oxisol of the Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 3, p. 407-412, 2018.

PEARL, S. A.; BURKE, J. M. Genetic diversity in *Carthamus tinctorius* (Asteraceae; safflower), an underutilized oilseed crop. **American Journal of Botany**, v. 101, p. 1640-1650, 2014.

SAADAOUI, E.; MARTÍN, J. J.; TLILI, N.; CERVANTES, E. Castor bean (*Ricinus communis* L.): Diversity, seed oil and uses. *In:* PARVAIZ, A. (eds.). **Oil seed crops: yield and adaptations under environmental stress**, Nova Jersey: Wiley Online Library, 2017, p. 19-33.

SHARIFI, R. S.; NAMVAR, A.; SHARIFI, R. S. Grain filling and fatty acid composition of safflower fertilized with integrated nitrogen fertilizer and biofertilizers. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 4, p. 236-243, 2017.

SEHGAL, D.; RAINA, S. N. Genotyping safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars by DNA fingerprints. **Euphytica**, v. 146, n. 1-2, p. 67-76, 2005.

SHAHROKHNIA, M. H.; SEPASKHAH, A. R. Effects of irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization on yield, water and nitrogen efficiencies of safflower. **Agricultural Water Management**, v. 172, p. 18-30, 2016.

SILVA, C. J.; SILVA, A. C.; ZOZ, T., TOPPA, E. V. B.; SILVA, P. B.; ZANOTTO, M. D. Genetic divergence among accessions of *Carthamus tinctorius* L. by morphoagronomic traits. **African Journal of Agricultural Research,** v. 10, n. 52, p. 4825-4830, 2015.

SINGH, V; NIMBKAR, N: Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), In: SINGH, R, J (eds.). **Genetic resources chromossome engineering and crop improvement: oil crops**. Boca Raton: CRC Press, 2006. p. 167-194.

SINGH S.; ANGADI, S. V.; GROVER, K.; BEGNA, S.; AULD, D. Drought response and yield formation of spring safflower under different water regimes in the semiarid Southern High Plains. **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 354-362, 2016.

SNPC - SISTEMA NACIONAL DE PROTEÇÃO DE CULTIVARES – **CultivarWeb**. Disponível em: < http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php> Acesso em: 20 nov. 2019.

SOLEYMANI, A. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) seed vigor tests for the prediction of field emergence. **Industrial Crops and Products**, v. 131, p. 378-386, 2017.

SURESH, R.; CHANDRA, B. R.; GOMEZ, S. M.; SHANMUGASUNDARAM, P. Genetic analysis of yield traits in rice under irrigated and water stress environments. **Indian Journal of Genetics**, v. 73, n. 2, p. 162-168, 2013.

ULLAH, F.; BANO, A. Effect of plant growth regulators on oil yield and biodiesel production of safflower (*Carthamus tictorius* L.). **Brazilian Society of Plant Physiology**, v. 21, n. 1, p. 27-31, 2011.

USHA KIRAN, B.; MUKTA, N.; KADIRVEL, P.; ALIVELU, K.; SENTHILVEL, S.; KISHORE, P.; VARAPRASAD, K. S. Genetic diversity of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm as revealed by SSR markers. **Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization**, v. 15, n. 1, p. 1-11, 2017.

WANG, C. C.; CHOY, C. S.; LIU, Y. H.; CHEAH, K. P.; LI, J. S.; WANG, J. T.; YU, W. Y.; LIN, C. W.; CHENG, H. W.; HU, C. M. Protective effect of dried safflower petal aqueous extract and its main constituent, carthamus yellow, against lipopolysaccharide induced inflammation in RAW264.7 macrophages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 91, n. 2, p. 218-225, 2011.

WEISS, E. A. **Oilseed Crops**. 2. Ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. 364p.

YAU, S. K. Winter versus spring sowing of rainded safflower in a semi-arid, high-elevation Mediterranean environment. **European Journal of Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 249-256, 2007.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; PASCHOAL, T. S.; PEREIRA, N.; ARAÚJO, P. M.; SECCO, D.; SANTOS, R. F.; PRIOR, M. Seed productivity, oil content and accumulation of macronutrients in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes in subtropical region. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1254-1260, 2017.