

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CÁRTAMO QUANTO AO
DESEMPENHO AGRONÔMICO, DIVERGÊNCIA GENÉTICA E
PRODUTIVIDADE DA ÁGUA**

TIAGO ZOZ

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

BOTUCATU – SP

Janeiro – 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CÁRTAMO QUANTO AO
DESEMPENHO AGRONÔMICO, DIVERGÊNCIA GENÉTICA E
PRODUTIVIDADE DA ÁGUA**

TIAGO ZOZ
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto

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

BOTUCATU – SP

Janeiro – 2015

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

Zoz, Tiago, 1988-
Z91a Avaliação de genótipos de cártamo quanto ao desempenho agrônomo, divergência genética e produtividade da água / Tiago Zoz. - Botucatu : [s.n.], 2015
xi, 64 f. : ils. color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015
Orientador: Maurício Dutra Zanotto
Inclui bibliografia

1. Cártamo - Melhoramento genético. 3. Análise multivariada. 4. Plantas oleaginosas. 5. Irrigação. I. Zanotto, Maurício Dutra. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

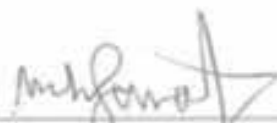
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CÂRTAMO QUANTO AO
DESEMPENHO AGRONÔMICO, DIVERGÊNCIA GENÉTICA E
PRODUTIVIDADE DA ÁGUA"

ALUNO: TIAGO ZOZ

ORIENTADOR: PROF. DR. MAURICIO DUTRA ZANOTTO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. MAURICIO DUTRA ZANOTTO



PROF. DR. CARLOS JORGE DA SILVA



PROF. DR. FABIO STEINER



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



PROF. DR. RUBENS FEY

Data da Realização: 15 de janeiro de 2015.

“Se você quer ser bem sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si”.

Ayrton Senna

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz”.

Ayrton Senna

“Sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá”.

Ayrton Senna.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Tiago Zoz, filho de Leonésio Zoz e Maria Henriqueta Sevigani Zoz, nasceu na cidade de Palotina, estado do Paraná, no dia 24 de abril de 1988.

Diplomou-se em Agronomia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon, em Dezembro de 2010.

Em março de 2011, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia área de concentração Agricultura, no Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Botucatu, obtendo o título de Mestre em Agronomia em Julho de 2012.

Em Agosto de 2012, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia área de concentração Agricultura, no Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Botucatu, obtendo o título de Doutor em Agronomia em Janeiro de 2015.

Ofereço aos meus pais, Maria H. S. Zoz e Leonésio Zoz, pelo amor, apoio, educação e por tudo que fizeram e continuam fazendo por mim.

Dedico à minha noiva, Ana Claudia Saviam pela paciência, compreensão, amor e apoio durante toda essa etapa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pois sem ele nada seria possível.

Aos meus pais, Leonésio Zoz e Maria H. S. Zoz, aos quais sou eternamente agradecido pela vida, amor, educação, força, apoio incondicional e lição de vida. Muito obrigado.

Ao meu irmão, Cássio Zoz, por todo apoio e amizade.

A minha noiva, Ana Claudia Saviam, pela compreensão, paciência, apoio e amor durante toda essa fase.

Ao meu orientador e professor Maurício Dutra Zanotto, pela orientação, ensinamentos, paciência, amizade e confiança durante todo o doutorado.

Ao meu coorientador e professor Dick L. Auld, pela orientação, ensinamentos, confiança e amizade durante e após o meu doutorado sanduiche na Texas Tech University – TTU.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Doutorado e pelo suporte financeiro.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado Sanduiche através do programa Ciência Sem Fronteira.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Agricultura da FCA, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos meus amigos, os quais considero como meus pais adotivos, Quelson e Angélica, por todo apoio e ajuda durante essa etapa.

Ao Dr. Lauro Akio Okuyama, por todos os ensinamentos, conselhos e apoio, sem os quais não poderia chegar até aqui e também pelo exemplo de pesquisador, pelo qual sempre terei admiração.

Ao Dr. Rubens Fey, o qual foi um grande amigo e orientador, e que sempre me apoiou durante a graduação e pós-graduação.

Aos meus grandes amigos e colegas do curso de Pós-Graduação, Fábio, Carlos Jorge, Laerte, Laércio, Diego, Eder, Ismael, João Vitor, Emerson, Genivaldo entre outros, pelo convívio, amizade e apoio.

Aos amigos e colegas da Texas Tech University – TTU, Travis, Kelby, Loren, Brailie, Deepika por toda ajuda, apoio, aprendizado e amizade durante o período em que estive fazendo parte do meu doutorado nos Estados Unidos.

Aos amigos e colegas das Faculdades Integradas de Ourinhos – FIO, Renato Maravalhas, Marcos Perino, Claudinei, Alexandre Medici, Yvana, Marcos, Odair, e Armando pelo convívio, amizade e aprendizado.

Aos meus alunos, porém, antes de tudo, grandes amigos, Jardel, Gabriel, Almir, Fernando, Otavio, Felipe e Renan.

Ao seu Milton pela amizade, apoio e ajuda durante a condução do presente trabalho.

A todos os funcionários do Departamento de Produção Vegetal – Agricultura, pela amizade e auxílio durante meu doutorado.

As funcionárias da Seção de Pós-Graduação, Regina, Jaqueline, Taynan, Katia e Marlene.

Aos funcionários da biblioteca ‘Paulo de Carvalho Mattos’.

Ao Instituto Mato-Grossense do Algodão – IMA-MT por fornecer as sementes de cártamo e dar todo o apoio para que o presente trabalho pudesse ser concluído.

E por fim, a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1. Aspectos Gerais do Cártamo.....	7
4.2. Divergência Genética	11
4.3. Correlações Genéticas	12
4.4. Análise de Trilha.....	14
4.5. Análise de Componentes Principais	15
4.6. Produtividade da Água	17
5 MATERIAL E MÉTODOS	20
5.1 Experimento I.....	20
5.2 Experimento II	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6.1 Experimento I.....	34
6.2 Experimento II	46
7 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Esquema da análise de variância entre os genótipos para o delineamento experimental de blocos ao acaso.....	23
Tabela 2. Esquema da análise de variância das características X, Y e da soma X+Y para o experimento em blocos ao acaso	24
Tabela 3. Esquema da análise de variância entre os genótipos para delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema de parcela subdividida	32
Tabela 4. Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), número de capítulos por planta (NCP), diâmetro do capítulo (DIAM), produtividade de grãos (P.GRÃO), teor de óleo (T.ÓLEO) e produtividade de óleo (P.ÓLEO) de doze genótipos de cártamo	34
Tabela 5. Altura de planta (AP), número de capítulos por planta (NCP), diâmetro do capítulo (DIAM), produtividade de grãos (P.GRÃO), teor de óleo (T.ÓLEO) e produtividade de óleo (P.ÓLEO) de doze genótipos de cártamo.....	36
Tabela 6. Análise de variância da produtividade da água em relação a grãos (WPg) e em relação a óleo (WPo) de 12 genótipos de cártamo.....	38
Tabela 7. Estimativas dos coeficientes de correlações fenotípicas (F), genotípicas (G) e ambiental (A), entre cinco características avaliadas em doze genótipos de cártamo	40
Tabela 8. Variância de cada componente principal e sua importância em relação à variância total.....	44
Tabela 9. Dissimilaridade entre os genótipos baseada na Distância Euclidiana, obtida a partir dos escores dos dois primeiros componentes principais	46
Tabela 10. Análise de variância da produtividade de grãos (PROD), produtividade da água total (WPt) e produtividade da água irrigada (WPi) de cinco genótipos de cártamo cultivados em diferentes lâminas de água	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática do conceito de produtividade da água.....	18
Figura 2. Precipitação mensal relacionada com os estádios de desenvolvimento da cultura do cártamo durante o período de condução do experimento na Fazenda Experimental de São Manuel – FCA/UNESP, em São Manuel - SP. Fonte: Departamento de Ciências Ambientais - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu – FCA/UNESP. ..	21
Figura 3. Precipitação mensal relacionada com os estádios de desenvolvimento da cultura do cártamo durante o período de condução do experimento na Fazenda Experimental da Texas Tech Universtiy – TTU, em Lubbock - TX. Fonte: National Weather Service – NWS..	30
Figura 4. Produtividade da água em relação a grãos de 12 genótipos de cártamo. Médias seguidas pela mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão.....	38
Figura 5. Produtividade da água em relção a óleo de 12 genótipos de cártamo. Médias seguidas pela mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão.	39
Figura 6. Efeitos diretos e indiretos de cinco características sobre a produtividade de grãos de doze genótipos de cártamo.	42
Figura 7. Efeitos diretos e indiretos de cinco características sobre a produtividade de óleo de doze genótipos de cártamo.	44
Figura 8. Dispersão gráfica dos escores de doze genótipos de cártamo em relação aos componentes principais 1 e 2.....	45
Figura 9. Produtividade de grãos de cinco genótipos de cártamo com diferentes lâminas de água..	47
Figura 10. Produtividade de grãos de cinco genótipos de cártamo em função da lâmina de água.	48
Figura 11. Produtividade da água total de cinco genótipos de cártamo com diferentes lâminas de água.....	49
Figura 12. Produtividade da água total de cinco genótipos de cártamo em função da lâmina de água.	50

Figura 13. Produtividade da água irrigada de cinco genótipos de cártamo com diferentes lâminas de água.....	50
Figura 14. Produtividade da água irrigada de cinco genótipos de cártamo em função da lâmina de água.....	51

1 RESUMO

O conceito de “produtividade da água” aplicado na área agrícola diz respeito a relação entre a produção de determinada cultura e a quantidade de água requerida para atingir essa produção. Sabendo que a água é um recurso cada vez mais valioso para a agricultura, é interessante a adoção de culturas com maior capacidade produtiva utilizando menores quantidades de água. O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma espécie oleaginosa que vem ganhando destaque nos últimos anos, principalmente devido ao seu elevado teor de óleo de alta qualidade presente em seu grão e a tolerância a deficiência hídrica. No entanto, no Brasil o cártamo ainda é pouco conhecido, sendo escassos os estudos voltados ao melhoramento genético e tolerância à deficiência hídrica dessa cultura. O objetivo neste estudo foi avaliar o desempenho agrônômico, a produtividade da água e a divergência genética de cultivares de cártamo provenientes dos Estados Unidos nas condições de cultivo do Brasil e também avaliar a produtividade da água de cinco genótipos de cártamo alto-oleicos sob diferentes lâminas de água. O estudo foi composto por dois experimentos. O primeiro experimento, relacionado ao desempenho agrônômico, produtividade da água e divergência genética de cultivares norte-americanas nas condições de cultivo do Brasil foi conduzido no município de São Manuel, SP, entre os meses de abril e setembro de 2012. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições e os tratamentos constituídos por 12 cultivares de cártamo provenientes dos Estados Unidos. A partir dos dados de produtividade de grãos e de óleo estimou-se a produtividade da água em relação a grãos e a óleo. Foram estimados os coeficientes de correlações genéticas e a partir destes estimou-se os efeitos diretos e indiretos das características avaliadas sobre a produtividade de grãos e de óleo por meio da análise de trilha. A análise de divergência genética entre os cultivares foi realizada por meio da técnica de

análise multivariada denominada de componentes principais (ACP). O segundo experimento, relacionado à produtividade da água de genótipos de cártamo alto oleicos sob diferentes lâminas de água foi conduzido em Lubbock – TX, nos Estados Unidos, entre os meses de maio a outubro de 2013. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. Na parcela foram alocadas as diferentes lâminas de água (7,62; 15,24; 25,40 e 35,56 mm semana⁻¹), e na subparcela foram alocados cinco genótipos de cártamo alto oleicos. O fornecimento das lâminas de água foi realizado uma vez por semana, com um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, com profundidade de 0,35 m. Iniciou-se o fornecimento das lâminas de água após a emergência de 50% das plantas, e foi mantido até o início do estágio de maturação da cultura (15/09/2013), totalizando 130 dias. Após o dia 15 de setembro a irrigação foi suspensa em todos os tratamentos e a colheita foi realizada no dia 23 de outubro. A partir dos dados de produtividade de grãos, de lâmina de água aplicada e precipitação, foi estimada a produtividade da água total e a produtividade da água irrigada. Os resultados do primeiro experimento revelaram que não houve diferença entre os 12 genótipos de cártamo quanto a produtividade de grãos e de óleo nas condições de cultivo no Brasil. As produtividades médias de grãos (516,5 kg ha⁻¹) e de óleo (177,4 kg ha⁻¹) foram baixas devido a três fatores: semeadura tardia, falta de adaptação dos genótipos americanos as condições de cultivo no Brasil e a distribuição irregular das chuvas, com ocorrência de estiagem (51 dias) durante a fase reprodutiva e de formação do grão. A produtividade da água em relação a grãos e a óleo foi baixa, sendo consequência da baixa produtividade de grãos e da distribuição irregular das chuvas. A partir da análise de componentes principais foi possível alocar os 12 genótipos de cártamo em cinco grupos distintos geneticamente. No segundo experimento, foi possível identificar os genótipos mais produtivos com menor lâmina de água aplicada, além de identificar os genótipos mais responsivos a irrigação. A produtividade da água total máxima (0,44 kg m⁻³) para o genótipo 615 foi estimada com a aplicação de 26,25 mm de água por semana. Para cada 1 mm de lâmina de água aplicada por semana houve redução da produtividade da água total para os genótipos 580 e 672 de aproximadamente 0,01 kg m⁻³. Com o aumento da lâmina de água aplicada houve redução média da produtividade da água irrigada de aproximadamente 0,03 kg m⁻³ para cada 1 mm de lâmina de água aplicada por semana.

Palavras chave: *Carthamus tinctorius* L.; Teor de óleo, Análise multivariada; Análise de componentes principais; Irrigação; Lâmina de água.

EVALUATION OF SAFFLOWER GENOTYPES TO AGRONOMIC PERFORMANCE, GENETIC DIVERGENCE AND WATER PRODUCTIVITY. Botucatu, 2015. 64p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Author: TIAGO ZOZ

Adviser: MAURÍCIO DUTRA ZANOTTO

2 SUMMARY

The concept "water productivity" in agriculture is the relation between the yield of crop and the water quantity required to get that yield. Water is a valuable resource for agriculture; therefore, it is interesting to adopt crops with higher yield capacity and requires lower water quantity. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an oil crop that is getting highlight in last years, mainly due its high oil content of high quality and drought tolerance. However, safflower is an underexplored commercially crop in Brazil and due it, there are few studies about plant breeding and drought tolerance. This study aim to evaluate the agronomic performance, water productivity and the genetic divergence in safflower cultivars imported from United States in crop conditions of Brazil. In addition, this study aim to evaluate the water productivity of high oleic safflower genotypes under different water depth. The study was composed by two trials. The first trial, related to agronomic performance and genetic divergence of American cultivars in crop conditions of Brazil was run in Sao Manuel, SP, from April to September of 2012. The experimental design was randomized blocks with four replications. It were evaluated 12 safflower cultivars imported from United States. From the data of grain and oil yield it was estimated the water productivity in relation to grain and oil. It were estimated the genetic correlation coefficients, and from them, it were estimated the direct and indirect effects of traits evaluated on grain yield and oil yield by path analysis. The genetic divergence analysis between cultivars was performed by multivariate analysis technique of principal components analysis (PCA). The second trial, related to water productivity of high oleic safflower genotypes under different water depth was run in Lubbock - TX, United States, from May to October of 2013. The experimental design was randomized blocks with four replications, in split plot scheme. In plot were allocated the different water depths (7.62; 15.24;

25.40 e 35.56 mm week⁻¹), and, in the subplot were allocated five safflower genotypes from the plant breeding program of Texas Tech University. The water depths supply was performed one time per week, by a subsurface drip irrigation system 0.35 m bellow the soil surface. The water depths supply began after 50% of plants emerged, and it was kept until the early of maturation phase (September 15th), totaling 130 days after emergence. After September 15, the irrigation was suspended in all water depths and the harvest was performed in October 23. From the data of yield grain, water depth and precipitation, the total water productivity and irrigation water productivity were estimated. The results of trial 1 showed that there was no difference between the safflower genotypes relative to grain yield and oil yield in crop conditions of Brazil. The average grain yield (516,5 kg ha⁻¹) and oil yield (177,4 kg ha⁻¹) were low due three factors: late sowing, no adaption of American safflower genotypes to crop conditions of Brazil and irregular rain distribution with incidence of drought during reproductive and grain formation phase. The water productivity was low, resulting of low grain yield and irregular rain distribution. From the principal components analysis, was possible to allocate the safflower genotypes in five genetically distinct groups. In the second trial related to water productivity, the genotypes with the highest productivity of grains using the lowest water quantity were identified. In addition, the more responsive genotypes to irrigation were identified. The maximum total water productivity (0.44 kg m⁻³) for genotype 615 was estimated with application 26.25 mm week⁻¹. For each 1 mm week⁻¹ of water applied there was a decrease of total water productivity for genotypes 580 and 672 around 0.01 kg m⁻³. With the increase of water depth applied there was a decrease of irrigation water productivity around 0.03 kg m⁻³ for each 1 mm week⁻¹ applied.

Keywords: *Carthamus tinctorius* L.; Genetic divergence; Oil content, Multivariate analysis; Principal components analysis; Irrigation; Water depth.

3 INTRODUÇÃO

A utilização da água na agricultura tem se tornado cada vez mais problemática, seja pela legislação mais rigorosa, seja pelo custo cada vez mais elevado, ou mesmo pela escassez deste recurso natural. Nesse contexto, o termo “produtividade da água” é de grande importância para a agricultura, pois faz uma relação entre a produção comercial da cultura em questão e a quantidade de água total requerida para atingir essa produção. Aliado a isso, a adoção de novas culturas que sejam mais eficientes, ou seja, que possam produzir maiores quantidades de grãos ou biomassa, requerendo menor quantidade de água é uma alternativa que deve ser cada vez mais estudada.

O cártamo é uma planta oleaginosa com enorme potencial para cultivo em regiões desérticas, ou com baixa disponibilidade hídrica. A espécie possui sistema radicular profundo favorecendo a tolerância às condições de deficiência hídrica (FEIZI, et al., 2010). O sistema radicular do cártamo permite a absorção de água em camadas de solo onde a maioria das culturas não consegue explorar. Aliado a isto, o sistema radicular profundo também permite a absorção de nutrientes que foram deslocados para as camadas mais profundas do solo e tornando-os disponíveis nas camadas mais superficiais para as culturas cultivadas em sucessão, ou seja, o cártamo é uma excelente alternativa para a reciclagem de nutrientes em sistemas de rotação de cultura.

Outro grande potencial do cártamo é a elevada produção de biomassa, com excelente qualidade nutricional, tornando viável sua utilização para alimentação animal, seja na forma de pastagem e forragem ou mesmo armazenado como feno ou silagem. Outro aspecto que deve ser destacado é a elevada produção de massa seca, o que pode contribuir para a manutenção de palhada em sistema de plantio direto (ZOZ et al., 2012).

Apesar de todas as vantagens destacadas, a cultura é pouco estudada e explorada no Brasil. Atualmente existem apenas cinco cultivares de cártamo registradas no Brasil (SNPC, 2014). Algumas universidades e institutos de pesquisa têm realizado estudos visando utilizar o cártamo na segunda safra ou mais conhecida como “safrinha”, na região do cerrado, uma vez que a espécie é tolerante as condições de deficiência hídrica, comuns na época de safrinha nessas regiões.

O Instituto Mato-Grossense do Algodão – IMA-MT, importou dos Estados Unidos aproximadamente 926 acessos de cártamo e em conjunto com a Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu – FCA/UNESP, tem realizado estudos visando avaliar o desempenho dos mesmos.

Entretanto, a importação e avaliação de cultivares de outros países também é uma alternativa interessante, pois as cultivares apresentam maior número de alelos favoráveis acumulados em relação aos acessos, devido ao trabalho já realizado por programas de melhoramento genético, com isso reduz-se o tempo e torna mais fácil o trabalho do melhorista para identificar possíveis parentais, realizar as hibridações e selecionar genótipos promissores para as condições brasileiras.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho agrônômico, a produtividade da água e a divergência genética entre doze cultivares norte-americanas de cártamo, nas condições de cultivo no Brasil, e também avaliar a produtividade da água de cinco genótipos de cártamo alto-oleicos cultivados sob diferentes lâminas de água.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Aspectos Gerais do Cártamo

Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma planta herbácea, anual, pertencente à família Asteraceae (SEHGAL; RAINA, 2005; CHAPMAN et al., 2010; WANG et al., 2010). Apresenta vários ramos, tem altura entre 30 e 150 cm e apresenta flores globulares denominadas capítulos (LI; MÜNDEL 1997). O cártamo é originário da região oeste do mediterrâneo (KNOWLES, 1989). Acredita-se que foi domesticado à 4000 anos atrás (KNOWLES; ASHRI, 1995) e está distribuído desde o meditarâneo até o oceano Pacífico (WANG et al., 2010).

Do gênero *Carthamus* a espécie *Carthamus tincitorius* L. é a única espécie cultivada possuindo 24 cromossomos. Estudos realizados por Ravikumar et al. (2005) revelaram baixa variabilidade genética nas variedades cultivadas. No entanto, as espécies selvagens apresentam alto polimorfismo, sugerindo que estas espécies podem ser utilizadas em hibridações interespecíficas para gerar maior variabilidade (KUMARI, 2009).

Primeiramente foi cultivado devido à sua flor, da qual era extraído o corante *carthamine*, que era muito utilizado para colorir roupas e outros produtos têxteis (CHAPMAN et al., 2010) e também colorir e aromatizar diversos alimentos e medicamentos (WANG et al., 2010). Além disso, seus capítulos apresentam propriedades medicinais, sendo também muito utilizados para alimentação humana (WEISS, 1971).

Os grãos de cártamo possuem teor de óleo em torno de 27 a 37% (SIDDIQUI; OAD, 2006), alguns autores relatam genótipos com até 50% de teor de óleo

(CAMAS et al., 2007). O óleo é insípido e incolor com composição similar ao óleo de girassol (KAFFKA; KEARNEY, 1998). O óleo extraído do seu grão é rico em ácido linoléico (70 a 87%) (HAN et al., 2009). Apresenta grande potencial devido à elevada quantidade de ácidos graxos poli-insaturados associado aos elevados teores de tocoferol (VELASCO; FERNANDEZ-MARTINEZ, 2002). Além disso, o óleo de cártamo é uma importante fonte de vitamina E. Também possui propriedades medicinais, sendo utilizado para tratamento de arteriosclerose, doenças cardíacas coronárias e pode melhorar a microcirculação (LU et al., 2004). Os grãos são ricos em minerais (Zn, Cu, Mn e Fe), vitaminas (tiamina (B1) e β -caroteno) e tocoferol α , β e γ (VELASCO et al., 2005) e apresenta de 15 a 20% de proteína (RAHAMATALLA et al., 2001). As sementes de cártamo também têm sido utilizadas para alimentação de passáros (KOUTROUBAS et al., 2008; KOUTROUBAS et al., 2009; KOUTROUBAS; PAPAKOSTA, 2010).

A planta de cártamo também pode ser utilizada como forragem, pastagem ou armazenada como feno ou silagem apresentando valor nutricional e rendimento similar ou até superior a aveia e alfafa (SMITH, 1996). O cártamo no início da fase de florescimento apresenta alta produção de matéria seca, em torno de 7 toneladas por hectare, porcentagem de matéria seca entre 16 e 20%, proteína bruta em torno de 9% e fibra bruta em torno de 30% (CORLETO et al., 2005).

A importância de culturas oleaginosas como o cártamo tem aumentado consideravelmente nos últimos anos devido ao alto valor do óleo para consumo humano (YAU, 2004; KAR et al., 2007) e ao interesse para a produção de biocombustíveis (DORDAS; SIOULAS, 2008).

O cártamo aparece em oitavo lugar como cultura produtora de óleo no mundo, ficando atrás da soja [*Glycine max* (L.) Merr.], amendoim (*Arachis hypogaea* L.), colza (*Brassica napus* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), gergelim (*Sesamum indicum* L.), linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.) (MOVAHHEDY-DEHNAVY et al., 2009).

Segundo dados da FAO (FAOSTAT 2014), os cinco maiores produtores mundiais de cártamo em 2013 foram: Cazaquistão (174,9 mil toneladas), Índia (109,0 mil toneladas), Estados Unidos (95,0 mil toneladas), México (91,8 mil toneladas) e Argentina (49,8 mil toneladas) e as maiores produtividades mundiais em 2013 foram verificadas na China (1.565 kg ha⁻¹), Turquia (1.536 kg ha⁻¹) e Estados Unidos (1.381 kg ha⁻¹) (FAOSTAT, 2014).

Esta espécie tem sido relatada como uma planta rústica, que cresce em áreas com condições limitante, como a deficiência hídrica (KAFFKA; KEARNEY, 1998; WEISS, 2000). A planta de cártamo apresenta raiz pivotante profunda, podendo ultrapassar 2,20 m de profundidade, o que proporciona alta tolerância à deficiência hídrica e tolerância moderada à salinidade (FEIZI, et al., 2010; LOVELLI et al., 2007; DAJUE e MÜNDEL, 1996). O sistema radicular profundo permite que esta cultura explore maior volume de solo quando comparado a maioria das espécies cultivadas, suprimindo assim a sua necessidade hídrica (KNOWLES, 1958). Além do sistema radicular profundo, o cártamo é capaz de extrair água do solo com umidade muito baixa, em que a maioria das culturas não é capaz de extrair água (WEISS, 2000). O sistema radicular profundo também permite absorver nutrientes que foram deslocados para fora da região de exploração radicular de outras culturas de interesse econômico (TANAKA; MERRILL, 1998).

Vários estudos em diferentes países têm mostrado que o cártamo pode ser utilizado como cultura de inverno em áreas com temperaturas mais amenas ou como cultura de primavera em áreas mais frias (MÜNDEL et al., 1994a; CAZZATO et al., 1997; KOUTROUBAS et al., 2004; YAU, 2007). Cultivares adaptadas às condições úmidas de clima temperado já são comercializadas (REINBRECHT et al., 2005). O ciclo da cultura varia normalmente entre 110 e 150 dias, dependendo do genótipo e das condições ambientais (SILVA, 2013).

Nas regiões tradicionais de cultivo, como por exemplo a região de mediterrâneo, o cártamo geralmente é cultivado após cereais ou pousio em sistemas de rotação de cultura e também pode ser utilizado em sistemas orgânicos (BAVEC; BAVEC, 2007).

O cártamo tem sido avaliado como uma oleaginosa alternativa para a agricultura orgânica no sudoeste e norte da Alemanha desde 2002 (ELFADL et al., 2009). Em um estudo de longo prazo com várias culturas que comparou diferentes sistemas de produção agrícola (cultivo orgânico, cultivo convencional e cultivo com baixa utilização de insumos) na Califórnia, foi constatado que todas as culturas com exceção de cártamo, tiveram rendimentos significativamente menores em condições de cultivo orgânico (CLARK et al., 1999).

Em um estudo comparativo de insumos energéticos necessários para a produção de milho, tomate, trigo, feijão, cártamo e aveia em sistemas de produção de baixa e alta utilização de insumos, sistema de produção orgânica e sistema de produção convencional, o cártamo foi a cultura mais eficiente em termos de energia no sistema de baixa utilização de insumos (GRISTINA et al., 1994). Estes estudos destacam o potencial para utilização da cultura

de cártamo como uma oleaginosa em sistemas de produção com baixa utilização de insumos agrícolas (ELFADL et al., 2009).

A produtividade de grãos do cártamo é dividida em quatro componentes de rendimento principais, sendo número de plantas por área, número de capítulos por planta, número de grãos por capítulo e massa de grãos (GILBERT E TUCKER, 1967). A importância relativa de cada um desses componentes é afetada por vários fatores, como por exemplo genótipo, condições ambientais e práticas culturais (KOUTROUBAS et al., 2008).

Temperatura, água e nitrogênio disponíveis são importantes fatores que afetam os componentes de rendimento do cártamo (KOUTROUBAS et al., 2008). Baixas temperaturas durante o período de roseta prolongam esta fase, entretanto, estão associadas a altas produtividades devido o aumento do número de capítulos por planta e número de grãos por capítulo (ABEL, 1975). Segundo Erie e French (1969), a irrigação aumenta a massa de grãos e o número de grãos por capítulo e reduz a porcentagem de grãos chochos.

A resposta do cártamo ao nitrogênio é maior quando comparado aos demais nutrientes. O nitrogênio aumenta o número de capítulos por planta e, conseqüentemente, a produtividade de grãos (WEISS, 2000). Entretanto, a quantidade de nitrogênio requerida para produção de cártamo depende do rendimento de grãos que deseja-se obter, da cultura anterior e das outras culturas envolvidas no sistema de rotação de culturas (BERGLUND et al., 2007). O cártamo requer em torno de 5,0 kg de nitrogênio para produzir 100 kg de grãos (MÜNDEL et al., 2004a). Na Alemanha recomenda-se a utilização de 50 a 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio (ELBASSAM, 1998). Quando o solo apresenta teor adequado de nitrogênio, o fator limitante para obter altas produtividades de grão é o suprimento insuficiente de água (JONES; TUCKER, 1968).

A densidade de semeadura varia consideravelmente, dependendo do ambiente, sistema de produção e cultivar (MÜNDEL et al., 1994b). Recomenda-se a densidade de 40 a 50 plantas por metro quadrado (REHM; ESPIG, 1991). O cártamo pode compensar a variação espacial produzindo capítulos secundários e terciários. Além disso, devido ao hábito de crescimento semi-determinado, o cártamo pode compensar a perda de alguns capítulos, produzindo mais grãos nos capítulos restantes (MÜNDEL et al., 2004).

4.2. Divergência Genética

A existência de variabilidade genética na população é condição básica para que um programa de melhoramento genético obtenha sucesso (IVOGLIO et al., 2008). Vellini (2007) destaca que o sucesso de um programa de melhoramento depende da variabilidade da população a ser trabalhada. Para a formação de população-base, recomenda-se o inter cruzamento entre cultivares superiores e divergentes (VELLINI, 2007). 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; CARNEIRO, 2003).

A diversidade genética entre grupos de progenitores é avaliada com o objetivo de identificar as combinações híbridas de maior efeito heterótico e maior heterozigose, sendo que em suas gerações segregantes, se tenha a maior possibilidade de recuperação de genótipos superiores, além de que a divergência genética, com base em evidências científicas, também é de grande importância no contexto de evolução das espécies, uma vez que fornece informações sobre recursos disponíveis e auxilia na localização e intercâmbio dos mesmos (CRUZ; REGAZZI, 1997). Além disso, o estudo da divergência genética é importante para o monitoramento de bancos de germoplasma (CRUZ; CARNEIRO, 2003), pois obtêm-se informações úteis para preservação e uso dos acessos (TOQUICA et al., 2003).

A divergência genética está relacionada ao grau de distanciamento entre populações quanto ao conjunto de caracteres que lhes são peculiares (OLIBONI, 2009). Na maioria dos casos, a distância genética está positivamente correlacionada com a heterose, considerando-se, dessa forma, que a magnitude da heterose é proporcional à distância genética entre os parentais (MOREIRA et al., 1996). Segundo Falconer e Mackay (1996), a heterose manifestada em híbridos intervarietais é função dos efeitos da dominância dos genes para o caráter em questão e do quadrado da diferença de frequência gênica dos genitores.

A divergência genética pode ser avaliada por meio de técnicas biométricas, baseadas na quantificação da heterose, ou por processos preditivos (CRUZ; REGAZZI, 1997). Dentre os métodos fundamentados em modelos biométricos, que têm por objetivo avaliar a divergência genética dos progenitores, pode-se citar as análises dialélicas, que avaliam tanto a capacidade específica quanto a heterose manifestada nos híbridos (CRUZ; REGAZZI, 1997). Entretanto, quando o número de progenitores é muito grande, a utilização de análises dialélicas fica impraticável, pois o número total de combinações híbridas entre os progenitores é muito grande (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Na predição da divergência genética, vários métodos multivariados podem ser aplicados (CRUZ; REGAZZI, 1997). Quando várias características são avaliadas simultaneamente, as distâncias genéticas relativas podem ser estimadas por procedimentos multivariados, como a distância generalizada de Mahalanobis, as variáveis canônicas, a análise de componentes principais, entre outros, sendo que a escolha do método é função da precisão desejada, da facilidade de análise e da forma de obtenção dos dados (CRUZ et al., 2004).

4.3. Correlações Genéticas

Uma das formas de aumentar a eficiência da seleção de um caráter é a utilização da seleção indireta através do uso de caracteres correlacionados. A correlação é a medida da intensidade de associação entre duas variáveis, ou uma medida do grau de variação conjunta de duas variáveis, podendo ser positiva, quando ocorre aumento nas duas variáveis ou negativa, quando ocorre acréscimo de uma e decréscimo de outra (STEEL; TORRIE, 1980). De acordo com Hallauer e Miranda Filho (1981), a correlação medida através do coeficiente de correlação tem importância no melhoramento de plantas porque mede o grau de associação genética ou não genética entre dois ou mais caracteres.

Cruz e Regazzi (1997) ressaltaram a importância das correlações, afirmando que elas quantificam a possibilidade de ganhos indiretos por seleção em caracteres correlacionados e que caracteres de baixa herdabilidade têm a seleção mais eficiente quando realizada sobre caracteres que lhe são correlacionados. Dessa forma, a seleção correlacionada com um caráter de alta herdabilidade, e de fácil mensuração, pode ser mais conveniente e conduzir a progressos mais rápidos no melhoramento (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Além dos casos de baixa herdabilidade, a correlação também é estudada quando é difícil a seleção de uma característica desejável, em razão da herança complexa, manifestações em gerações avançadas ou de problemas de avaliação e identificação (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A associação entre dois caracteres diretamente observados é a correlação fenotípica (CARVALHO et al., 2004). A correlação genotípica e a ambiental são os componentes da correlação fenotípica, mas apenas a genotípica é que encerra uma associação de características herdáveis e é utilizada na orientação dos programas de seleção (ROBINSON et al., 1951). Segundo Ramalho et al. (2008), a correlação genotípica procura explicar por meio

de mecanismos genéticos, a variação conjunta de duas variáveis, sendo a pleiotropia e a ligação gênica os fenômenos genéticos que explicam a ocorrência da correlação genotípica.

A pleiotropia é definida como sendo o fenômeno pelo qual um gene controla dois ou mais caracteres (RAMALHO et al., 2008). Desta forma, se um gene estiver segregando causará variação simultânea nos dois caracteres (BÁRBARO, 2006). O grau de correlação originado pelo pleiotropismo expressa o quanto duas características são influenciadas pelos mesmos genes (GALVANI, 2008).

Segundo Falconer (1987), é importante ressaltar que alguns genes podem atuar aumentando ou diminuindo ambas as características, causando correlações positivas e negativas, enquanto outros podem atuar em sentidos opostos. Portanto, o pleiotropismo não causa, necessariamente, uma correlação que se possa detectar.

O desequilíbrio da ligação gênica também é uma das causas de associação entre caracteres, porém, é transitória, ocasionada principalmente em populações oriundas de cruzamentos divergentes (FALCONER; MACKAY, 1996). Essa correlação será maior quanto mais próximo estiverem os genes no cromossomo, aumentando a possibilidade de permanecerem juntos mesmo após a autofecundação, mantendo-se assim a correlação entre eles (FALCONER; MACKAY, 1996).

Cruz e Regazzi (1994) destacaram que o ambiente torna-se uma causa de correlação entre duas características quando estas são influenciadas pelas mesmas variações nas condições ambientais. Valores negativos desta correlação indicam que o ambiente favorece um caráter em detrimento do outro, e valores positivos indicam que os dois caracteres são beneficiados ou prejudicados pelas mesmas causas de variações ambientais (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Em geral, as correlações genotípicas e ambientais apresentam o mesmo sinal (positivo ou negativo), porém, nos casos em que isso não ocorre, há indicativo de que as causas de variação genética e ambiental influenciam os caracteres por meio de diferentes mecanismos fisiológicos (FALCONER, 1987).

Cruz et al. (1988) ressaltam que o estudo de correlações possibilita a obtenção de diversas informações úteis para os programas de melhoramento, tais como: identificação das variações genética e ambiental contidas na variação fenotípica, quantificação de ganhos indiretos através de seleção em caracteres correlacionados, avaliação da complexidade dos caracteres envolvidos na seleção, e a possibilidade de seleção indireta através de caracteres correlacionados.

Falconer e Mackay (1996) reportaram que se dois caracteres apresentam correlação genotípica positiva, é possível obter ganhos para um deles por meio da seleção indireta no outro associado. Em alguns casos, a seleção indireta, com base na resposta correlacionada, pode levar a progressos mais rápidos do que a seleção direta do caráter desejado, porém, se um caráter correlacionar-se negativamente com alguns e positivamente com outros, deve-se tomar o cuidado para, ao selecionar esse, não provocar mudanças indesejáveis em outros (FALCONER; MACKAY, 1996). O melhorista tem maior dificuldade quando as duas características são desejáveis, porém, apresentam correlações negativas de alto valor, ou quando as duas características são positivamente correlacionadas com alto grau de associação e uma delas é indesejável (FALCONER, 1987).

Cruz e Regazzi (1997) ressaltam que algumas importantes observações devem ser feitas em relação ao coeficiente de correlação:

1. O coeficiente de correlação é adimensional, e seu valor absoluto não supera a unidade, ou seja, fica no intervalo entre -1 e 1;
2. Um coeficiente de correlação igual a zero não implica falta de relação entre duas variáveis, apenas reflete a ausência de relação linear entre essas variáveis;
3. Se X e Y são duas variáveis aleatórias independentes, então, a covariância e a correlação entre elas serão nulas. Entretanto, quando a covariância, e consequentemente, a correlação são nulas, não é possível concluir que as variáveis são independentes, tal associação pode ser feita quando as variáveis apresentam distribuição normal bidimensional;
4. No contexto de análise de regressão simples, o coeficiente de correlação corresponde à raiz quadrada do coeficiente de determinação simples, ou ainda à média geométrica dos coeficientes angulares das regressões de X em função de Y e vice-versa. Se o coeficiente de regressão é negativo certamente a correlação é negativa.

4.4. Análise de Trilha

A produtividade de grãos é uma característica complexa, resultante da expressão e da associação de diferentes componentes, que são considerados pelo melhorista no processo de seleção de novos genótipos (AMORIM et al., 2008). Apesar da utilidade da correlação genotípica no entendimento de um caráter complexo como a produção, a mesma não determina a importância dos efeitos diretos e indiretos das características que a compõem

(FURTADO et al., 2002). Desta forma, é impossível afirmar que a sua estimativa foi estabelecida por verdadeiras relações de causa e efeito (CARVALHO et al., 1999).

Dewey e Lu (1959) ressaltam que a interpretação da magnitude de uma correlação simples pode, contudo, resultar em equívocos na estratégia de seleção quando uma correlação alta entre dois caracteres for consequência do efeito indireto de outros caracteres.

Neste contexto, a análise de trilha, proposta por Wright (1921), permite particionar o coeficiente de correlação em efeitos diretos e indiretos, denominados de coeficiente de trilha. Além do entendimento das relações de causa e efeito entre as variáveis, o desdobramento das correlações é dependente do conjunto de variáveis estudadas, normalmente estabelecido pelo conhecimento prévio do melhorista, de sua importância e de possíveis inter-relações definidas em diagramas de trilha (CRUZ; CARBEIRO, 2003).

A análise de trilha baseia-se na avaliação do efeito de uma variável independente (x) sobre uma variável dependente (y), após a remoção da influência de todas as outras variáveis independentes (xi) incluídas na análise (HARTWIG et al., 2007).

Dessa forma, para utilização no melhoramento de plantas, é importante identificar entre as características de alta correlação com a variável básica (dependente), as de maior efeito direto no sentido favorável à seleção, de tal forma que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente (CRUZ; REGAZZI, 1997).

4.5. Análise de Componentes Principais

A análise multivariada é um método estatístico que pode ser aplicado a qualquer delineamento experimental e, quando aliado a outras técnicas de análise multivariada, tem sido de grande utilidade em pesquisas científicas (COSTA, 2006). As análises multivariadas têm por objetivo avaliar um conjunto de variáveis aleatórias relacionadas entre si, em que cada uma possui o mesmo grau de importância, podendo fornecer coeficientes de distância genética entre os genótipos, resultando em grande contribuição para os programas de melhoramento genético (OLIBONI, 2009).

Em um programa de melhoramento, o estudo da diversidade genética por meio de técnicas multivariadas é de primordial importância, principalmente no planejamento de programas e na definição de estratégias de trabalhos (IVOGLIO et al., 2008). Várias técnicas de análise multivariada podem ser empregadas para avaliar a divergência genética em programas de melhoramento genético, podendo-se citar a análise por variáveis

canônicas, métodos aglomerativos e análise de componentes principais (CRUZ; REGAZZI, 1997).

A análise de componentes principais está certamente entre as mais importantes ferramentas da análise multivariada, inclusive por constituir a base onde se fundamentam a maioria dos outros métodos multivariados de análise de dados, e como uma ferramenta de análise exploratória, a análise de componentes principais permite revelar a existência ou não de amostras anômalas, de relações entre as variáveis avaliadas e de relações ou agrupamentos entre amostras (LYRA et al., 2010). É um método estatístico essencialmente descritivo (CHIORATO, 2004) e foi originalmente descrita por Pearson em 1901, e posteriormente, aplicada por Hotteling em 1933 e 1936 em diversas áreas da ciência (CRUZ; REGAZZI, 1997).

A análise de componentes principais consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto de dimensão equivalente, mas com propriedades importantes, que sejam de interesse em certos estudos de melhoramento (CRUZ; REGAZZI, 1997). Cada componente principal consiste de uma combinação linear das variáveis originais, sendo independentes entre si e estimados com o propósito de reter em ordem de estimação, o máximo da informação, em termos de variação total, contida nos dados iniciais (CRUZ; REGAZZI, 1997). Esta análise sintetiza a variação multidimensional dos dados, ordenando-os nos eixos do diagrama de acordo com a similaridade das variáveis consideradas (ALVARENGA; DAVIDE, 1999).

Segundo Cruz e Regazzi (1997), a viabilidade de utilização dos componentes principais em estudos de divergência genética depende da possibilidade de resumir o conjunto de variáveis originais em poucos componentes, o que significa ter uma boa aproximação do comportamento dos indivíduos, oriundo de um espaço n -dimensional (n = número de caracteres estudados), em um espaço bi ou tridimensional. Cruz e Regazzi (1997) ainda complementaram que quando este requisito for satisfeito, a referida técnica proporcionará uma simplificação considerável nos cálculos estatísticos e na interpretação dos resultados com relação aos demais métodos alternativos, principalmente quando o número de genótipos avaliados for grande.

Além de possibilitar o estudo da divergência genética em um grupo de genótipos, a análise de componentes principais possibilita a identificação de caracteres menos e mais representativos para explicar a variação total (PEREIRA, 1989). O objetivo nessa avaliação consiste da possibilidade de descartar caracteres que contribuem pouco para a

discriminação do material avaliado reduzindo dessa forma a mão-de-obra, tempo e custo despendidos na experimentação agrícola (CRUZ; REGAZZI, 1997).

4.6. Produtividade da Água

Devido ao decréscimo de disponibilidade de água para a agricultura, aos altos custos de energia (LÓPEZ-MATA et al., 2010) e a crescente preocupação mundial com os recursos hídricos, torna-se necessária a adoção de estratégias de manejo que possibilitem economia de água sem prejuízos de produtividade das culturas que demandam irrigação (MANTOVANI et al., 2013). Uma estratégia adequada de manejo da irrigação é fundamental para economizar água sem, no entanto, por em risco o rendimento das culturas (JALOTA et al., 2006; PEREIRA et al., 2009).

Devido à agricultura irrigada consumir atualmente, a maior parte da água doce disponível dos países em desenvolvimento, estimada entre 60 e 80% (CHISTOFIDIS, 2008), encontrar meios de produzir mais alimentos com menos água é um dos maiores desafios enfrentados pela agricultura (BRITO et al., 2012).

Sob condições de escassez de recurso hídrico, a água disponível deve ser usada mais eficientemente na produção agrícola (LEITE et al., 2011). O termo “eficiência do uso de água” é muitas vezes relacionado com diferentes significados: alguns autores referem-se a este termo como um sinónimo de eficiência de aplicação, outros utilizam este termo para expressar a produtividade da água como uma relação do rendimento de água (ALMEIDA, 2008). Contudo, a expressão eficiência do uso de água deve ser limitada a funções fisiológicas e ecofisiológicas (STEDUTO, 1996) ou ser substituída pelo termo de relação de transpiração ou semelhante (PEREIRA, 2007).

Entretanto, mais importante do que conhecer a eficiência é entender como a água é usada e quais os benefícios que se retiram do seu uso. Para tanto, foi designado o conceito de “produtividade da água” o qual é definido pela razão entre a quantidade de produto ou serviço produzido e a quantidade de água usada (não só consumida) para a sua obtenção (PEREIRA 2004). Por exemplo: quilograma de grão produzido por metro cúbico de água utilizada na irrigação; metros de tecidos por metro cúbico de água utilizada na indústria têxtil; kWh produzido por metro cúbico de água para a geração de energia (PEREIRA et al., 2002a). Quando a produtividade da água é analisada do ponto de vista econômico, pode-se substituir a produção pelo valor do produto produzido (PEREIRA et al., 2002a).

Nos sistemas de produção agrícola a produtividade da água é usada para definir a relação entre a produção comercial das culturas e a quantidade de água consumida nesta produção, e tem servido como indicador para quantificar o impacto dos calendários de irrigação com relação ao manejo da água (LEITE et al., 2011).

Segundo Almeida (2008), o termo “produtividade da água” é definido e utilizado de várias formas (Figura 1). Entretanto, não existe uma única definição que englobe todas as situações (BARKER et al., 2003).

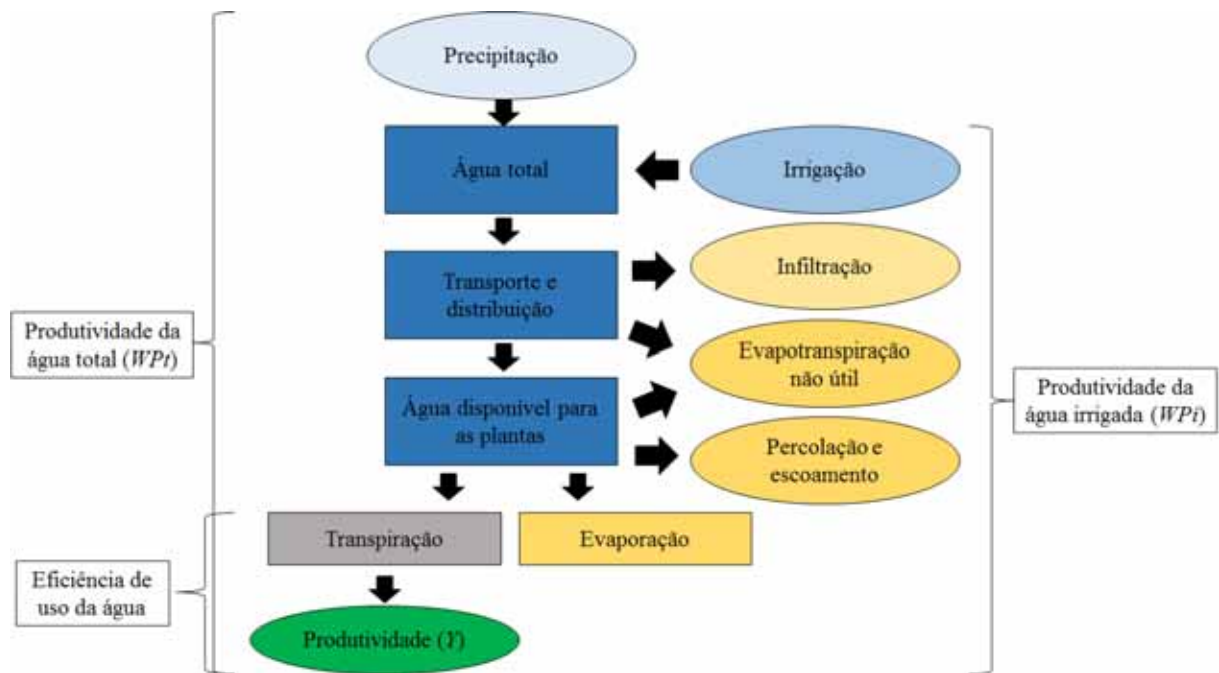


Figura 1. Representação esquemática do conceito de produtividade da água.
Fonte: Adaptado de Pereira (2007).

Dessa forma, a produtividade da água pode ser definida como uma relação entre a produção atingida pela cultura (Y) em quilograma (kg), e a quantidade de água utilizada para esse fim, em metro cúbico (m^3) (ALMEIDA, 2008). Entretanto, o denominador pode referir-se a água total utilizada (A_t), incluindo a precipitação, expressa em m^3 , sendo então definida como produtividade de água total (WPt), determinado como em Pereira (2007), de acordo com a Equação 1.

$$WPt = \frac{Y}{A_t} \quad [1]$$

O denominador também pode-se referir apenas à água utilizada na irrigação (A_i) em m^3 , sendo por sua vez definida como produtividade da água irrigada (WPI) (PEREIRA, 2007), e estimado de acordo com a Equação 2.

$$WPI = \frac{Y}{A_i} \quad [2]$$

No contexto da agricultura, o aumento da produtividade da água está relacionado a vários fatores, como qualidade do material genético, práticas eficientes de manejo do solo e água, práticas agronômicas e políticas de incentivo à produção (BRITO et al., 2012). Entendido dessa forma, o aumento da produtividade da água pode ser uma resposta ao problema da escassez hídrica, principalmente considerando a água para produzir alimentos (BRITO et al., 2012).

5 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi composto por dois experimentos, um conduzido em São Manuel, São Paulo, Brasil e o outro em Lubbock, Texas, Estados Unidos. Os experimentos são apresentados e detalhados a seguir de forma separada.

5.1 Experimento I

5.1.1 Localização e Caracterização da Área Experimental

O experimento I foi conduzido no município de São Manuel, SP, na Fazenda Experimental São Manuel pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas, FCA/UNESP (latitude 22°46'S, longitude 48°34'W, e altitude de 740 m). O clima da região, segundo classificação de Köppen, é classificado, como tipo Cwa, tropical úmido, com inverno seco e verão chuvoso (Köppen, 1948). A precipitação total durante o período de condução do experimento foi de 655,5 mm (Figura 2). Os dados mensais de precipitação durante o período de condução do experimento na Fazenda Experimental São Manuel (FCA/UNESP) são apresentados na Figura 2.

O solo da área experimental foi classificado por Espíndola et al. (1974) como Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa, e denominado pela nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMPRAPA, 2006) como Latossolo Vermelho distrófico típico.

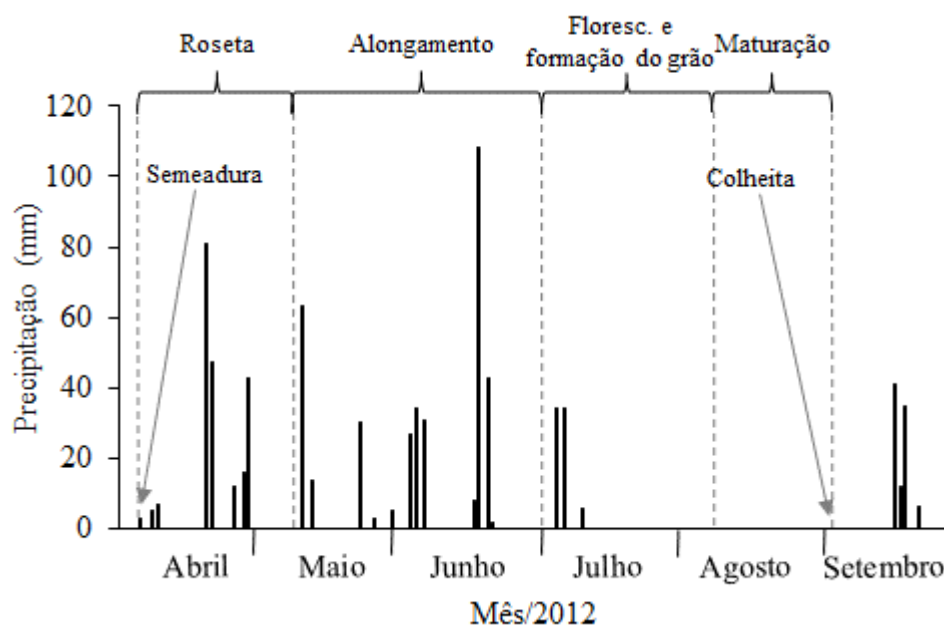


Figura 2. Precipitação mensal relacionada com os estádios de desenvolvimento da cultura do cártamo durante o período de condução do experimento na Fazenda Experimental de São Manuel – FCA/UNESP, em São Manuel - SP. Fonte: Departamento de Ciências Ambientais - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu – FCA/UNESP.

Na análise química e física de amostras do solo coletadas antes da instalação do experimento, foram determinados os seguintes resultados na camada de 0 – 20 cm: pH em CaCl_2 : 5,4; M.O.: $12,23 \text{ g dm}^{-3}$; P (Resina): $66,50 \text{ mg dm}^{-3}$; K (Resina): $2,20 \text{ mmolc dm}^{-3}$; Ca (Resina): $28,50 \text{ mmolc dm}^{-3}$; Mg (Resina): $9,00 \text{ mmolc dm}^{-3}$; H+Al: $14,50 \text{ mmolc dm}^{-3}$; SB: $39,70 \text{ mmolc dm}^{-3}$; CTC: $54,20 \text{ mmolc dm}^{-3}$; V%: 73,25; Argila: $48,0 \text{ g kg}^{-1}$; Silte: $116,0 \text{ g kg}^{-1}$ e Areia: $836,0 \text{ g kg}^{-1}$.

5.1.2 Material Vegetal Utilizado

Foram avaliados 12 genótipos obtidos junto ao Instituto Matogrossense do Algodão – IMA-MT. Os 12 genótipos são cultivares comerciais importados dos Estados Unidos, porém, não possuem registro no Brasil. Devido a isso, os doze genótipos serão denominados de 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12.

5.1.3 Instalação e Condução do Experimento

O experimento foi implantado no dia 05 de abril de 2012, em área de preparo convencional. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com quatro

repetições. Os tratamentos foram compostos por 12 genótipos de cártamo provenientes dos Estados Unidos. Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas com espaçamentos entre linhas de 0,50 m e cinco metros de comprimento. As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais deixando-se 1,0 m de bordadura nas extremidades.

A semeadura e adubação foram realizadas de forma manual. A profundidade de semeadura foi em torno de três centímetros, colocando-se 12 sementes por metro. Para adubação foram aplicados no sulco 400 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 4-14-8 (NPK), fornecendo 16 kg ha⁻¹ de N, 56 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 32 kg ha⁻¹ de K₂O. O controle de plantas daninhas durante o ciclo da cultura foi realizado com capina manual.

Ao final do ciclo da cultura os seguintes parâmetros foram avaliados:

- Altura de planta (cm) – obtida através da medida do solo até o ápice da planta, em dez plantas da área útil da parcela, obtendo-se a média;
- Número de capítulos por planta – obtido através de contagem em dez plantas da área útil da parcela, obtendo-se a média;
- Diâmetro do capítulo (cm) – obtido através da medida com um paquímetro digital em vinte cinco capítulos dentro da área útil da parcela. A medida foi realizada na parte mediana e transversal de cada capítulo, antes de ocorrer a senescência, obtendo-se a média;
- Produtividade de grãos (kg ha⁻¹) – obtida através da colheita de todas as plantas da área útil da parcela, corrigida para 13% de umidade e posteriormente extrapolada para kg ha⁻¹;
- Teor de óleo (%) – determinado pelo método de ressonância magnética nuclear (RMN), utilizando-se uma amostra de 7 g de sementes para cada parcela;
- Produtividade de óleo (kg ha⁻¹) – obtido por meio da multiplicação da produtividade de grãos pelo teor de óleo no grão.

Através dos dados de produtividade de grãos e precipitação ocorrida durante o período experimental, foi estimada a produtividade de água total (WPt), conforme proposto por Pereira et al. (2009). A equação para estimar a produtividade da água total é apresentada a seguir:

Produtividade da água total de grãos e óleo (WPt)

$$WPt = \frac{Y}{A_t}$$

WPt = Produtividade de água total (kg m⁻³)

Y = Produtividade de grãos (kg ha^{-1})

A_t = Quantidade total de água (irrigação + precipitação durante todo o ciclo da cultura) (m^3)

5.1.4. Análise Estatística e Genética

Os dados foram submetidos à análise de variância, e a significância dos quadrados médios obtidos na análise de variância foi testada pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e as médias dos genótipos foram agrupadas pelo teste de agrupamento proposto por Scott e Knott (1974) ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados provenientes da produtividade de grãos e produtividade de óleo foram transformados em raiz de x.

A análise de variância para as características avaliadas entre os genótipos foi realizada adotando-se o esquema de análise de variância conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Esquema da análise de variância entre os genótipos para o delineamento experimental de blocos ao acaso

F.V.	G.L.	Q.M.	F
Blocos	$r - 1$	-	-
Genótipos	$g - 1$	QMG	QMG/QME
Erro	$(r - 1) * (g - 1)$	QME	-
Total	$r.g - 1$	-	-

As médias relativas a produtividade de água em relação a grãos e a óleo foram apresentadas na forma de gráfico de barras apresentando também o desvio padrão.

A herdabilidade (h^2), coeficiente de variação experimental (CVe), coeficiente de variação genética (CVg) e a relação CVg/CVe foram estimadas conforme as equações apresentadas abaixo:

Herdabilidade (h^2):

$$h^2 (\%) = 100[\hat{\sigma}_g^2 / \text{QMG} / r]$$

$\hat{\sigma}_g^2$ = Variância genética, obtida a partir de: $(\text{QMG} - \text{QME}) / r$

QMG = Quadrado médio dos genótipos

r = número de repetições

Coefficiente de variação experimental (CVe):

$$CVe (\%) = 100(\sqrt{QME/\bar{x}})$$

QME = Quadrado médio do erro

$\bar{x}$ = média da característica estudada

Coefficiente de variação genética (CVg):

$$CVg (\%) = 100(\sqrt{\hat{\sigma}_g^2/\bar{x}})$$

$\hat{\sigma}_g^2$ = Variância genética, obtida a partir de: (QMG - QME)/r

$\bar{x}$ = média da característica estudada

Relação CVg/CVe:

$$CVg/CVe = CVg (\%)/CVe (\%)$$

As correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais para características avaliadas foram estimadas pelas análises de variância e covariância. A partir dos valores observados para as características X e Y em um mesmo genótipo, foi realizada a análise de variância para cada característica separadamente e para a soma delas (X + Y), (CRUZ; REGAZZI, 1997) (Tabela 2).

Tabela 2. Esquema da análise de variância das características X, Y e da soma X+Y para o experimento em blocos ao acaso

F.V.	G.L.	Quadrado médio		
		X	Y	X+Y
Blocos	r - 1	-	-	-
Genótipos	g - 1	QMG _x	QMG _y	QMG _{x+y}
Erro	(r - 1).(g - 1)	QME _x	QME _y	QME _{x+y}

A partir da análise de variância das características X, Y e da soma X+Y obteve-se o produto médio dos genótipos (PMG_{xy}) e o produto médio do erro (PME_{xy}) conforme as equações descritas abaixo:

$$PMT_{xy} = (QMT_{x+y} - QMT_x + QMT_y)/2$$

$$PME_{xy} = (QME_{x+y} - QME_x + QME_y)/2$$

Com base no produto médio dos genótipos (PMG_{xy}), produto médio do erro (PME_{xy}), quadrado médio dos genótipos (QMG), quadrado médio do erro (QME) e número de repetições (r), foram estimados os coeficientes de correlação, utilizando as seguintes fórmulas:

Coefficiente de correlação fenotípica (r_f):

$$r_f = \frac{PMT_{xy}}{\sqrt{QMG_x \cdot QMG_y}}$$

PMT_{xy} = Produto médio dos genótipos

QMG_x = Quadrado médio dos genótipos para característica x

QMG_y = Quadrado médio dos genótipos para característica y

Coefficiente de correlação ambiental (r_e):

$$r_e = \frac{PME_{xy}}{\sqrt{QME_x \cdot QME_y}}$$

PME_{xy} = Produto médio do erro

QME_x = Quadrado médio do erro para característica x

QME_y = Quadrado médio do erro para característica y

Coefficiente de correlação genotípica (r_g):

$$r_g = \frac{\hat{\sigma}_g(X, Y)}{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2(X) \cdot \hat{\sigma}_g^2(Y)}}$$

$\hat{\sigma}_g(X, Y)$ = Covariância genotípica, obtida por: $[PMG_{xy} - PME_{xy}]/r$;

$\hat{\sigma}_g^2(X)$ = Variância genotípica de X, obtida por: $[QMG_x - QME_x]/r$;

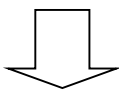
$\hat{\sigma}_g^2(Y)$ = Variância genotípica de Y, obtida por: $[QMG_y - QME_y]/r$.

Os coeficientes de correlação genotípica foram desdobrados em efeitos diretos e indiretos das características avaliadas (variáveis independentes) sobre a produtividade de grãos e de óleo (variáveis dependentes) por meio da análise de trilha (WRIGHT, 1921).

Os efeitos diretos são obtidos por meio da equação $\mathbf{X}'\mathbf{Y} = \mathbf{X}'\mathbf{X}.\boldsymbol{\beta}$ (CRUZ; REGAZZI, 1997) conforme o modelo apresentado abaixo:

Efeitos diretos

$$\mathbf{X}'\mathbf{Y} = \mathbf{X}'\mathbf{X} \boldsymbol{\beta}$$

$$\begin{bmatrix} r_{01} \\ \vdots \\ r_{05} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & r_{15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{51} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{01} \\ \vdots \\ P_{05} \end{bmatrix}$$


$$\boldsymbol{\beta} = \mathbf{X}'\mathbf{X}^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Y}$$

$$\begin{bmatrix} P_{01} \\ \vdots \\ P_{05} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & r_{15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{51} & \cdots & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} r_{01} \\ \vdots \\ r_{05} \end{bmatrix}$$

P_{01} = Efeito direto da característica 1 sobre a variável dependente.

P_{05} = Efeito direto da característica 5 sobre a variável dependente.

$r_{16} = r_{61}$ = Correlação genotípica entre as características 1 e 5.

r_{01} = Correlação genotípica entre a característica 1 e a variável dependente.

r_{05} = Correlação genotípica entre a característica 5 e a variável dependente.

Os efeitos indiretos são obtidos por meio do conjunto de equações apresentado a seguir de acordo com Cruz e Regazzi (1997).

Efeitos indiretos

$$\begin{array}{lcl} I_{12} & = & P_{01} \times r_{12} \\ \vdots & & \vdots \\ I_{54} & = & P_{05} \times r_{54} \end{array}$$

I_{12} = Efeito indireto da característica 1 via característica 2 sobre a variável dependente.

P_{01} = Efeito direto da característica 1 sobre a variável dependente

r_{12} = Correlação genotípica entre as características 1 e 2.

I_{54} = Efeito indireto da característica 5 via característica 4 sobre a variável dependente.

P_{05} = Efeito direto da característica 5 sobre a variável dependente

r_{54} = Correlação genotípica entre as características 5 e 4.

Coefficiente de determinação do modelo causal (R^2)

$$R^2 = P_{01} \times r_{01} + P_{02} \times r_{02} + \dots + P_{05} \times r_{05}$$

P_{01} = Efeito direto da característica 1 sobre a variável dependente

r_{01} = coeficiente de correlação genotípica entre a característica 1 e a variável dependente.

P_{02} = Efeito direto da característica 2 sobre a variável dependente

r_{02} = coeficiente de correlação genotípica entre a característica 2 e a variável dependente.

P_{05} = Efeito direto da característica 5 sobre a variável dependente

r_{05} = coeficiente de correlação genotípica entre a característica 5 e a variável dependente.

Efeito da variável residual (EVR)

$$EVR = \sqrt{1 - R^2}$$

EVR = efeito da variável residual

R^2 = Coeficiente de determinação do modelo causal

A matriz de correlação genotípica foi submetida ao teste de multicolinearidade (MONTGOMERY; PECK, 1981). Segundo Montgomery e Peck (1981) o grau de multicolinearidade da matriz $X'X$ é calculado com base no seu número de condição (NC), que é dado pela divisão entre o maior e o menor autovalor da matriz. Segundo Carvalho et al. (2002), se NC for menor que 100, a multicolinearidade é considerada fraca e não causa problema sério na análise, se NC ficar entre 100 e 1000, a multicolinearidade é considerada de moderada a forte, e NC maior que 1000 a multicolinearidade é considerada severa.

No caso em que foi constatada multicolinearidade moderada a forte ou severa foi adicionada uma constante k aos valores dos elementos da diagonal da matriz, como proposto por Hoerl e Kennard (1970). O valor da constante k foi determinado quando todos os valores de inflação da variância ficaram abaixo de 10. A ocorrência de no mínimo um fator de inflação da variância com valor maior que 10 é suficiente para que os coeficientes de regressão associados a estes valores tenham suas estimativas afetadas pela multicolinearidade (NETER; WASSERMAN, 1974)

Após a obtenção dos efeitos diretos e indiretos, os mesmos foram apresentados na forma de gráfico de barras.

5.1.5. Análise Multivariada

Para a análise de componentes principais foram utilizadas, as médias gerais de cada genótipo para cada uma das características avaliadas. Os dados foram padronizados dividindo-se cada média pelo desvio-padrão da variável (CRUZ; REGAZZI, 1997), conforme apresentado a seguir:

$$u_i = \frac{\bar{x}}{\hat{\sigma}_x}$$

u_i = média da característica padronizada

$\bar{x}$ = média da característica não padronizada

$\hat{\sigma}_x$ = desvio padrão da característica avaliada

A partir dos dados padronizados elaborou-se a matriz de correlações R conforme apresentado abaixo:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \dots & r_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{61} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$r_{16} = r_{61}$ = correlação de Pearson entre a característica 1 e a característica 6

Os autovalores da matriz R foram obtidos através das raízes do polinômio característico $|R - \lambda I| = 0$ conforme apresentado a seguir:

$$\begin{bmatrix} 1 & \dots & r_{16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{61} & \dots & 1 \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} = 0$$

Após obtidos os autovalores, os mesmos são ordenados em ordem decrescente, e tem-se para o maior autovalor λ_1 o primeiro componente principal (CP 1); para o segundo maior autovalor λ_2 tem-se o segundo componente principal (CP 2) e assim sucessivamente.

Após a ordenação dos autovalores e obtenção dos componentes principais, avaliou-se a contribuição de cada componente principal (λ_j) na explicação da variação total por meio da equação apresentada abaixo:

$$\text{Cont } \lambda_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^P \lambda_j}$$

Cont λ_j = contribuição do componente principal j na explicação da variação total.

λ_j = autovalor do componente principal j obtido da matriz R

$\sum_{j=1}^P \lambda_j$ = somatório dos autovalores da matriz R

Este método foi utilizado para fornecer a tabela de estimativa dos autovalores que indica, em porcentagem, quanto que cada característica contribuiu para explicar a variação total dos dados. Quando esta porcentagem se concentra nas primeiras características sabe-se que deve parar com o processo de descarte de variáveis.

Também foram obtidos os autovetores procedendo-se da seguinte forma: para cada autovalor encontrado, resolve-se o sistema linear $|\mathbf{R} - \lambda\mathbf{I}|\mathbf{v} = 0$.

Após obtidos os autovalores e os autovetores procedeu-se a obtenção dos escores em relação aos componentes principais.

A partir dos escores obtidos para cada componente principal foi elaborado um gráfico com a dispersão gráfica dos genótipos em relação aos dois primeiros componentes principais.

A dissimilaridade entre os genótipos foi estimada também pela distância Euclidiana a partir dos escores dos dois primeiros componentes principais utilizados para elaboração da dispersão gráfica (CRUZ; REGAZZI, 1997), conforme apresentado a seguir:

$$d_{cpi} = \sqrt{(Y_{i1} - Y_{i'1})^2 + (Y_{i2} - Y_{i'2})^2}$$

d_{cpi} = distância Euclidiana entre o genótipo i e i'

Y_{i1} = escore do primeiro componente principal do genótipo i

$Y_{i'1}$ = escore do primeiro componente principal do genótipo i'

Y_{i2} = escore do segundo componente principal do genótipo i

$Y_{i'2}$ = escore do segundo componente principal do genótipo i'

5.2 Experimento II

5.2.1. Localização e Caracterização da Área Experimental

O experimento II foi conduzido no município de Lubbock, estado do Texas, nos Estados Unidos, na Fazenda Experimental da Texas Tech University – TTU (Latitude 33°33'N, Longitude 101°53'W, e altitude de 990 m).

O clima da região é árido de estepes frias, de média latitude e grande altitude, classificado como: BSk (Köppen, 1948). A precipitação total durante o período de condução do experimento foi de 320 mm (Figura 3).

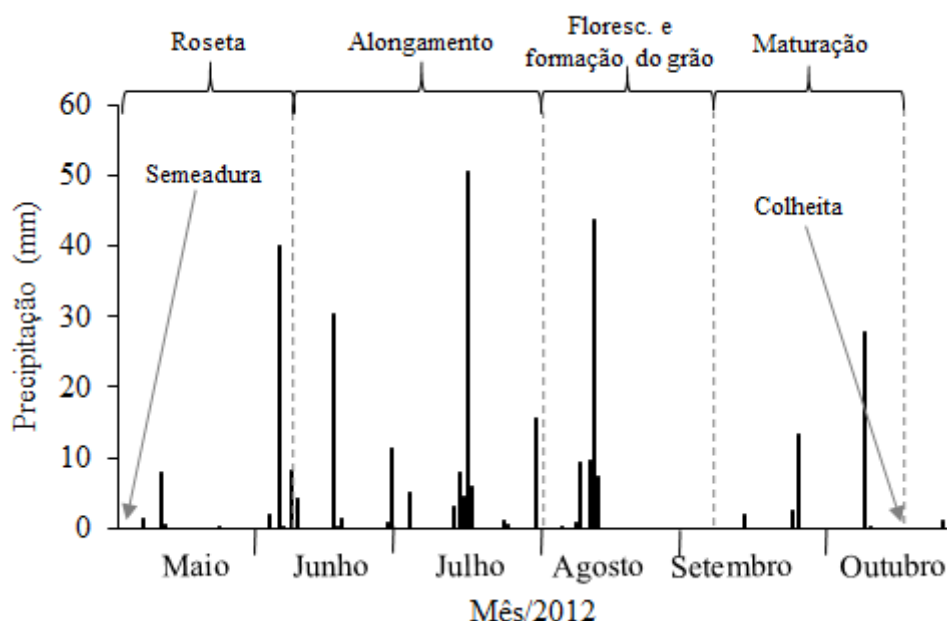


Figura 3. Precipitação mensal relacionada com os estádios de desenvolvimento da cultura do cártamo durante o período de condução do experimento na Fazenda Experimental da Texas Tech University – TTU, em Lubbock - TX. Fonte: National Weather Service – NWS.

O solo da área experimental tem origem da formação de depósitos eólicos de argila da era pleistoceno, com declividade entre 0 e 2% e boa drenagem (USDA-NRCS, 2014). O solo pertence ao grupo hidrológico B segundo classificação do Serviço de Conservação de Recursos Naturais dos Estados Unidos – USDA-NRCS, ou seja, é classificado como moderadamente profundo a profundo, possui taxa de infiltração moderada quando atinge capacidade de campo e apresenta condutividade hidráulica (K) moderada ($3,81$ a $7,62 \text{ mm h}^{-1}$) (USDA-NRCS, 2014). A condutividade hidráulica do solo na camada mais limitante (K_{sat}) é classificada como moderadamente alta a alta ($14,48$ a $50,29 \text{ mm h}^{-1}$) e a profundidade do lençol freático é maior que 2,0 metros (USDA-NRCS, 2014). A capacidade de armazenamento de água no solo é considerada moderada ($221,00 \text{ mm}$).

A textura do solo na camada de 0 a 0,36 m é classificada como areinosa-fina, e nas camadas de 0,36 a 1,17 m e 1,17 a 2,03 m é classificada como argilo-arenosa (USDA-NRCS, 2014).

A análise química do solo da área experimental antes da instalação do experimento apresentou os seguintes resultados na camada de 0 – 20 cm: pH: 8,6; M.O.: $6,00 \text{ g dm}^{-3}$; P (Weak-Bray): $38,00 \text{ mg dm}^{-3}$; P (Strong-Bray): 54 mg dm^{-3} ; K: $1,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca: $12,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: $6,67 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e CTC: $20,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

5.2.2. Material Vegetal Utilizado

Foram avaliadas cinco linhagens alto oleicas, provenientes do Programa de Melhoramento Genético da Texas Tech University – TTU, coordenado pelo Professor Dr. Dick L. Auld. As linhagens são denominadas pelos números 580; 615; 643; 651; 672.

5.2.3. Instalação e Condução do Experimento

O experimento foi implantado no dia 01 de maio de 2013, em área de preparo convencional. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema fatorial de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram alocadas quatro lâminas de água (7,62; 15,24; 25,40 e 35,56 mm de água por semana) e nas subparcelas foram alocados cinco genótipos de cártamo provenientes do Programa de Melhoramento Genético da Texas Tech University – TTU (580; 615; 643; 651 e 672). O fornecimento das lâminas de água foi realizado uma vez por semana, com um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, com profundidade de 0,35 m. Iniciou-se o fornecimento das lâminas de água após a emergência de 50% das plantas, e foi mantido até o início da maturação da cultura (15/09/2013), totalizando 130 dias após a emergência. Após o dia 15 de setembro a irrigação foi suspensa em todos os tratamentos e a colheita foi realizada no dia 23 de outubro.

Deixou-se uma distância de 10 metros entre as parcelas (lâminas de água) com o objetivo de evitar uma possível interferência da lâmina de água aplicada nas parcelas vizinhas. Cada subparcela foi constituída por quatro linhas com espaçamentos entre linhas de um metro e cinco metros de comprimento. As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais deixando-se 1,5 m de bordadura nas extremidades.

A semeadura e adubação foram realizadas de forma mecanizada. A profundidade de semeadura foi em torno de três centímetros, colocando-se 15 sementes por metro. Para adubação foram aplicados 21 kg ha⁻¹ de N através da formulação 32-00-00. O controle de plantas daninhas durante o ciclo da cultura foi realizado de forma manual e ao final do ciclo da cultura avaliou-se a produtividade de grãos.

Através dos dados de produtividade de grãos, precipitação e quantidade de água aplicada via irrigação, foram estimadas as produtividades de água total (WPt) e de água irrigada (WPI), conforme proposto por Pereira et al. (2009). As equações para as estimativas da produtividade de água total e de água irrigada são apresentadas a seguir:

Produtividade da água total (WPt)

$$WPt = \frac{Y}{A_t}$$

WPt = Produtividade da água total (kg m^{-3})

Y = Produtividade de grãos (kg ha^{-1})

A_t = Quantidade total de água (irrigação + precipitação durante todo o ciclo da cultura) (m^3)

Produtividade da água irrigada (WPI)

$$WPI = \frac{Y}{A_i}$$

WPI = Produtividade da água irrigada (kg m^{-3})

Y = Produtividade de grãos (kg ha^{-1})

A_i = Quantidade total de água irrigada (m^3)

5.2.4. Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, e a significância dos quadrados médios obtidos na análise de variância foi testada pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

A análise de variância para as características avaliadas entre os genótipos foi realizada adotando-se o esquema da análise de variância conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Esquema da análise de variância entre os genótipos para delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema de parcela subdividida

F.V.	G.L.	Q.M.	F
Blocos (A)	$r - 1$	QM_r	-
Parcela (B)	$b - 1$	QM_b	QM_b/QM_1
Erro 1 = (A) * (B)	$(r - 1).(b - 1)$	QM_1	-
Subparcela (C)	$c - 1$	QM_c	QM_c/QM_2
Interação (B) * (C)	$(b - 1).(c - 1)$	QM_{bxc}	QM_{bxc}/QM_2
Erro 2	$b.(c-1).(r-1)$	QM_2	-
Total	$r.b.c - 1$	-	-

As médias referentes aos genótipos foram comparadas pelo teste t (LSD). Para as médias referentes às lâminas de água, foram ajustadas equações de regressão. A significância dos coeficientes das equações de regressão foi testada pelo teste t de Student.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Experimento I

Verificou-se diferença entre os genótipos para as características de altura de planta (AP), número de capítulos por planta (NCP), diâmetro do capítulo (DCA) e teor de óleo (T.ÓLEO) ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 4). Os genótipos não diferiram quanto a produtividade de grãos (P.GRÃO) e produtividade de óleo (P.ÓLEO) (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), número de capítulos por planta (NCP), diâmetro do capítulo (DIAM), produtividade de grãos (P.GRÃO), teor de óleo (T.ÓLEO) e produtividade de óleo (P.ÓLEO) de doze genótipos de cártamo

F.V.	G.L.	Quadrado Médio					
		AP	NCP	DIAM	P.GRÃO	T.ÓLEO	P.ÓLEO
Bloco	3	22,51	42,24	3,68	26,77	5,90	7,96
Genótipo	11	164,66**	27,70**	4,49**	12,09 ^{ns}	26,12**	5,88 ^{ns}
Resíduo	33	44,87	7,38	0,71	8,76	2,44	3,31
h^2 (%)		72,75	73,35	84,14	27,60	90,66	43,64
CVe (%)		8,37	25,11	3,97	13,15	4,56	13,83
CVg (%)		16,03	48,64	9,98	15,46	14,93	18,42
CVg/CVe		1,92	1,94	2,51	1,18	3,27	1,33

h^2 – herdabilidade; CVe – coeficiente de variação experimental; CVg – coeficiente de variação genético; ** Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade. ^{ns} Não significativo.

A herdabilidade (h^2) variou de 27,60% para a produtividade de grãos à 90,66% para o teor de óleo (Tabela 4). Os coeficientes de herdabilidade para altura de planta, número de capítulos por planta, diâmetro de capítulo e teor de óleo foram elevados, entretanto os coeficientes de herdabilidade para a produção de grãos e de óleo foram baixos. Isso se deve ao elevado efeito do ambiente sobre essas duas características, principalmente, se considerar a

ocorrência de um período de deficiência hídrica, em que o efeito do ambiente é mais pronunciado.

Em um trabalho realizado com acessos de cártamo em Botucatu, SP, Silva (2013) verificou elevados coeficientes de herdabilidade, inclusive para a produtividade de grãos, sendo que o autor atribuiu esse elevado coeficiente de herdabilidade aos acessos avaliados que não passaram por processos de melhoramento genético, e também por possuírem origens distintas. Cabe ressaltar que no presente trabalho, os genótipos de cártamo avaliados, são cultivares provenientes de um único programa de melhoramento, ou seja, os baixos valores de herdabilidade se devem aos genótipos possuírem a mesma origem e já terem passado por processos de melhoramento.

Deve-se destacar que a seleção de características com herdabilidade próxima a 100% permite ganhos significativos de seleção nas gerações iniciais, entretanto, com a redução da variabilidade genética esses ganhos de seleção são significativamente reduzidos (SILVA, 2013). Para características com baixo coeficiente de herdabilidade, como exemplo a produtividade de grãos e de óleo, os ganhos de seleção são pequenos, principalmente devido ao maior efeito do ambiente.

O coeficiente de variação experimental (CVe) variou de 3,97% para o diâmetro de capítulo a 25,11% para o número de capítulos por planta (Tabela 4). O número de capítulos por planta apresentou um coeficiente de variação experimental, classificado como alto segundo Gomes (2009), por se situar entre 20 e 30%. Entretanto, esse valor é aceitável devido a elevada influência do ambiente sobre esta variável. Para as demais características os coeficientes de variação experimental são classificados entre médio ou baixo.

O coeficiente de variação genética (CVg) variou de 9,98% verificado para o diâmetro de capítulo à 48,61% para o número de capítulos por planta (Tabela 4). As características com maior valor de CVg, apresentam maior variação genética, portanto, tem maior potencial para a seleção.

A relação CVg/CVe variou de 1,18 para produtividade de grãos a 3,27 para o teor de óleo (Tabela 4). Em todas as características avaliadas a relação CVg/CVe apresentou valor maior que 1,00, o que é muito importante, pois favorece a seleção de plantas (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Valores de relação CVg/CVe superiores a 1,00 indicam que a variação genética é superior a variação ambiental, o que favorece a seleção de plantas com maior eficiência e menor efeito ambiental (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Para altura de planta observou-se a formação de dois grupos por meio do teste de agrupamento, sendo que os genótipos 2, 6, 7, 9, 11 e 12 apresentaram altura semelhante entre si e em torno de 12% superior à média dos demais genótipos (Tabela 5).

Os genótipos 3, 5 e 7 apresentaram número de capítulos semelhantes entre si e em torno de 50% superior aos demais genótipos, que por sua vez não apresentaram diferença entre si (Tabela 5).

Quanto ao diâmetro de capítulo, os genótipos 4, 8, 9, 10 e 11, apresentaram as maiores médias. Por outro lado, os genótipos 2, 3 e 6 apresentaram as menores médias para o diâmetro de capítulo (Tabela 5). O diâmetro de capítulo está diretamente associado ao número de grãos por capítulo e ao tamanho de grãos. Portanto, plantas com capítulo de maior diâmetro, apresentam maior número de grãos por capítulo e/ou maior tamanho de grão.

Quanto ao teor de óleo do grão, verificou-se grande diferença entre os genótipos. O genótipo 9 apresentou o maior teor de óleo do grão (39,47%), enquanto que os genótipos 4 e 10 apresentaram os menores teores de óleo no grão (31,55% e 29,30% respectivamente) (Tabela 5).

Tabela 5. Altura de planta (AP), número de capítulos por planta (NCP), diâmetro do capítulo (DIAM), produtividade de grãos (P.GRÃO), teor de óleo (T.ÓLEO) e produtividade de óleo (P.ÓLEO) de doze genótipos de cártamo

Genótipo	AP	NCP	DIAM	P.GRÃO	T.ÓLEO	P.ÓLEO
	cm	nº planta ⁻¹	mm	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
1	73,3 b	9,9 b	21,1 b	533,5 a	33,7 c	180,4 a
2	88,0 a	11,4 b	19,9 c	545,6 a	34,2 c	185,1 a
3	77,2 b	14,6 a	19,5 c	439,1 a	36,9 b	161,7 a
4	79,2 b	7,4 b	22,2 a	320,2 a	31,6 d	102,0 a
5	67,9 b	15,6 a	20,7 b	583,4 a	35,4 b	206,7 a
6	81,2 a	11,0 b	20,1 c	573,9 a	33,6 c	192,9 a
7	84,6 a	13,2 a	21,3 b	518,7 a	35,3 b	183,0 a
8	72,6 b	10,6 b	22,2 a	527,2 a	32,8 c	175,1 a
9	84,4 a	8,2 b	22,7 a	540,2 a	39,5 a	213,3 a
10	78,8 b	8,4 b	22,4 a	520,7 a	29,3 d	152,9 a
11	86,6 a	8,0 b	22,0a	582,4 a	34,8 b	203,6 a
12	86,9 a	11,7 b	20,7 b	513,0 a	33,8 c	172,2 a
Média.	80,1	10,8	21,2	516,5	34,2	177,4

Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Não foi verificada diferença entre os genótipos quanto a produtividade de grãos e de óleo. A produtividade de grãos variou de 320,2 kg ha⁻¹ a 583,4 kg ha⁻¹ e a produtividade de óleo variou de 102,0 kg ha⁻¹ a 213,3 kg ha⁻¹ (Tabela 5).

A produtividade média de grãos foi relativamente baixa ($516,5 \text{ kg ha}^{-1}$) se comparada com as produtividades médias dos demais trabalhos realizados com cártamo na mesma região. Silva (2013) avaliando 19 acessos de cártamo em Botucatu/SP, obteve a produtividade média de $1057,6 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo em torno de 104% superior à produtividade observada no presente trabalho.

Como causas da baixa produtividade de grãos deve-se destacar alguns fatores, sendo o primeiro a data de plantio tardia (05/04/2012). A semeadura entre o início de fevereiro e o início de março são mais favoráveis ao desenvolvimento da cultura na região de São Manuel/SP. Também deve ser levado em consideração a baixa adaptabilidade dos genótipos americanos às condições de cultivo no Brasil. Apesar dos genótipos avaliados serem cultivares registrados nos Estados Unidos, a mudança drástica das condições ambientais e de cultivo ocorridas quando os genótipos foram cultivados no Brasil impossibilitou os genótipos expressarem todo o seu potencial. São necessários mais ciclos de adaptação para que os genótipos expressem todo o seu potencial produtivo.

Outro fator a ser considerado é a precipitação. Analisando a Figura 2 verifica-se que a precipitação total do início ao final do ciclo da cultura foi de 655,50 mm, considerada adequada para o desenvolvimento da cultura. Entretanto, a distribuição da precipitação durante o período experimental foi irregular, sendo que a partir do dia 12 de julho até a data da colheita do experimento (01/09/2012), não houve precipitação. Este período de 51 dias sem chuva coincidiu com as fases reprodutiva e de enchimento de grãos da cultura. Também é importante ressaltar como agravante, que o solo da área experimental apresenta grande quantidade de areia ($836,0 \text{ g kg}^{-1}$) em relação a silte (116 g kg^{-1}) e argila (48 g kg^{-1}), portanto com pouca capacidade de retenção e armazenamento de água.

A produtividade de óleo também foi baixa, sendo consequência da baixa produtividade de grãos. Ao comparar a produtividade média de óleo do presente trabalho ($177,4 \text{ kg ha}^{-1}$) com a produtividade de óleo do trabalho realizado por Silva (2013) ($272,0 \text{ kg ha}^{-1}$), diferentemente da produtividade de grãos anteriormente citada, que foi em torno de 104% superior ao presente trabalho, a produtividade de óleo no trabalho de Silva (2013) foi superior em torno de 53%. Isto é atribuído a dois fatores: primeiro, o teor de óleo médio dos genótipos deste trabalho foi em torno de 9% superiores ao teor de óleo médio dos acessos de cártamo do trabalho de Silva (2013), devendo aqui ser ressaltado que os acessos não passaram por nenhum trabalho de melhoramento, enquanto que, os genótipos deste trabalho já são resultados de um programa de melhoramento, que tem como um dos objetivos, aumentar o teor de óleo do grão. Segundo, o teor de óleo do grão tem pouca influência do ambiente. Com isso, mesmo que a

semeadura tenha sido realizada tardiamente, que os genótipos não estão adaptados as condições de cultivo no Brasil e que houve um período com deficiência hídrica, esses fatores não resultaram em redução significativa do teor de óleo do grão. De acordo com Hang e Evans (1985), a concentração de óleo nas sementes é pouco influenciada pela deficiência hídrica, sendo o nível dessa influência dependente do genótipo trabalhado.

A exemplo da produtividade de grãos, não houve diferença entre os genótipos para a produtividade da água em relação a grãos e em relação a óleo (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de variância da produtividade da água em relação a grãos (WPg) e em relação a óleo (WPo) de 12 genótipos de cártamo

F.V.	G.L.	Quadrado médio	
		WPg	WPo
Bloco	3	0,00133	0,00013
Genótipo	11	0,00050 ^{ns}	0,00008 ^{ns}
Resíduo	33	0,00046	0,00006
CV (%)		27,17	28,33
Média geral		0,08	0,03

^{ns} Não significativo.

A média a produtividade da água em relação a grãos foi de 0,08 kg m⁻³, ou seja, para cada metro cúbico de água que entrou no sistema por meio de precipitação, foram produzidos 0,08 kg de grãos de cártamo (Figura 4). Pode-se estimar também que, para cada 1 kg de grãos de cártamo produzido, foram necessários aproximadamente 12.500 litros de água.

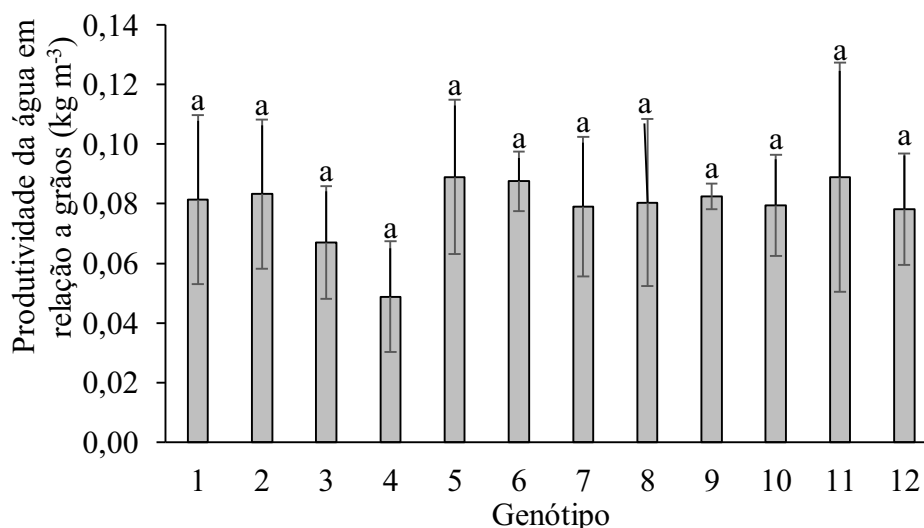


Figura 4. Produtividade da água em relação a grãos de 12 genótipos de cártamo. Médias seguidas pela mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão.

Para a produtividade da água em relação a óleo, a média foi de 0,03 kg m⁻³, ou seja, para produzir 1 kg de óleo são necessários 33.333 litros de água. As quantidades de água necessárias para o cártamo produzir grãos e óleo são relativamente altas. Isso se deve a baixa produtividade de grãos e de óleo associada a distribuição irregular da precipitação ao longo do ciclo da cultura (Figura 2).

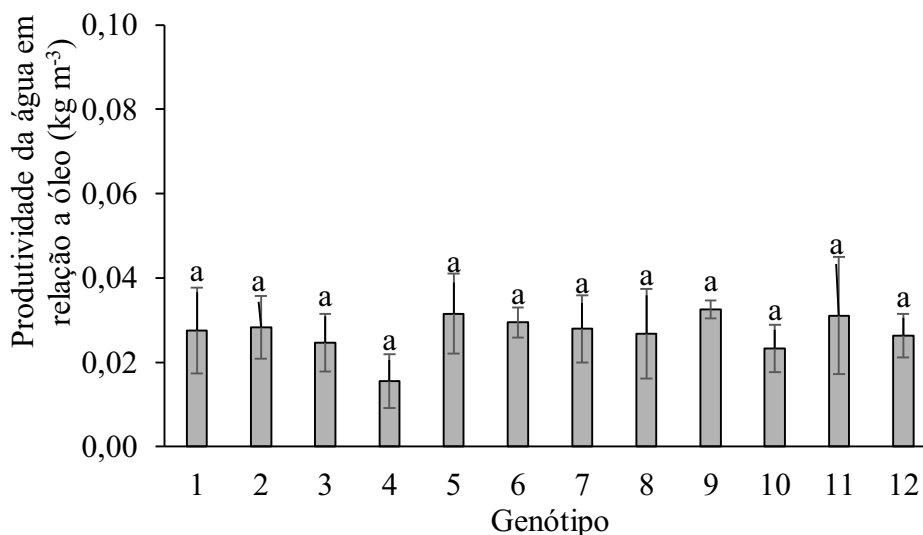


Figura 5. Produtividade da água em relação a óleo de 12 genótipos de cártamo. Médias seguidas pela mesma letra, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), a 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o desvio padrão.

As correlações genotípicas e ambientais entre teor de óleo e altura de planta, número de capítulos por planta e produtividade de grãos e entre produtividade de óleo e número de capítulos por planta, produtividade de grãos e teor de óleo, apresentaram sinais iguais (Tabela 7). Para as demais, as correlações genotípica e ambiental apresentaram sinais diferentes, indicando que as causas de variação genética e ambiental influenciam as características por meio de mecanismos fisiológicos diferentes (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Todos os coeficientes de correlação ambiental estimados foram positivos, e na maioria dos casos significativo (Tabela 7). Isto evidência que as características foram influenciadas pelas mesmas diferenças de condições ambientais e como são positivas, as mesmas foram favorecidas ou prejudicadas pelas mesmas causas de variação ambiental (CRUZ; REGAZZI, 1997).

As correlações ambientais entre a produtividade de grãos e altura de planta, número de capítulos por planta e produtividade de óleo foram de maior magnitude que as correlações genotípicas, indicando que os fatores ambientais tiveram maior contribuição nas correlações que os fatores genéticos (Tabela 7).

Tabela 7. Estimativas dos coeficientes de correlações fenotípicas (F), genotípicas (G) e ambiental (A), entre cinco características avaliadas em doze genótipos de cártamo

Características		AP	NCP	DIAM	P.GRÃO	T.ÓLEO
NCP	F	-0,335*	-	-	-	-
	G	-0,681**	-	-	-	-
	A	0,603**	-	-	-	-
DIAM	F	-0,009	-0,736**	-	-	-
	G	-0,045	-0,943**	-	-	-
	A	0,127	0,028	-	-	-
P.GRÃO	F	0,048	0,233	-0,143	-	-
	G	-0,424**	-0,036	-0,420**	-	-
	A	0,535**	0,567**	0,177	-	-
T.ÓLEO	F	0,161	0,333*	-0,196	0,255	-
	G	0,127	0,381**	-0,275	0,378**	-
	A	0,363*	0,138	0,364*	0,254	-
P.ÓLEO	F	0,096	0,315*	-0,181	0,920**	0,611**
	G	-0,221	0,170	-0,407**	0,834**	0,828**
	A	0,562**	0,564**	0,219	0,988**	0,394**

AP - Altura de planta, NCP - número de capítulos por planta, DIAM - diâmetro do capítulo, P.GRÃO – produtividade de grãos, T.ÓLEO – teor de óleo, P.ÓLEO - Produtividade de óleo. ** e *: Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste t respectivamente.

As características de altura de planta e diâmetro do capítulo apresentaram correlação genotípica negativa e significativa com a produtividade de grãos (Tabela 7). Deve-se ressaltar que a planta tem crescimento semi-determinado, e a medida que a planta direciona o fotoassimilados para o crescimento, principiamente em relação a altura, os mesmos deixam de ser utilizados para a formação e enchimento de grãos, resultando em menor produtividade, podendo-se atribuir a isso a correlação genotípica negativa. Essa correlação provavelmente foi mais pronunciada devido as condições de deficiência hídrica.

Quanto ao diâmetro de capítulo, em trabalho realizado por Zoz (2012), verificou-se correlação positiva entre o diâmetro do capítulo e a massa de 1000 grãos, portanto, a medida que aumenta o diâmetro do capítulo, maior será a massa e o tamanho do grão. Entretanto, quando o tamanho do grão é maior, verifica-se menor número de grãos no capítulo se comparado com grãos menores. Diante disso, a medida que o tamanho de grão é maior, menor será o número de grãos por capítulo, resultando em menor produtividade de grãos, o mesmo também pode ser verificado para a produtividade de óleo. Em trabalhos realizados por Arslan (2007) e Tunçtürk et al. (2005) os autores constataram correlação negativa entre a massa de grãos e a produtividade de grãos em cártamo.

A correlação genotípica entre a produtividade de óleo e o diâmetro do capítulo foi de maior magnitude que a respectiva correlação ambiental (Tabela 7). Todas as demais características apresentaram correlação ambiental com a produtividade de óleo de maior magnitude que as respectivas correlações genotípicas (Tabela 7). Isso indica que os fatores ambientais tiveram maior contribuição nas correlações que os fatores genéticos.

As características de teor de óleo e produtividade de óleo apresentaram correlação genotípica positiva e significativa com a produção de grãos (Tabela 7). Isso se deve ao fato de que com o aumento de produtividade de grãos, a quantidade de óleo produzida por área também será maior. A ocorrência de correlações positivas evidencia a ocorrência de pleiotropismo ou desequilíbrio de ligação gênica entre os pares de características e dessa forma facilita a seleção simultânea de dois ou mais caracteres, pela seleção de apenas um destes (FALCONER, 1987).

Os coeficientes de trilha explicaram 100% da variação ocorrida na produtividade de grãos, sendo isso confirmado pelo alto valor do coeficiente de determinação ($r^2 = 1,000$) e efeito residual igual a zero (Figura 6).

A produtividade de óleo apresentou efeito direto positivo sobre a produtividade de grãos, enquanto que o teor de óleo apresentou efeito negativo sobre a produtividade de grãos. As demais características avaliadas apresentaram efeitos diretos negativos sobre a produtividade de grãos, porém, de baixa magnitude (Figura 6).

A altura de planta apresentou efeitos indiretos negativos via teor de óleo e produtividade de óleo (Figura 6). Quanto ao número de capítulo por planta, pode-se verificar efeito indireto positivo via diâmetro do capítulo e produtividade de óleo sobre a produtividade de grãos. Entretanto, também verifica-se efeito indireto negativo do número de capítulos por planta via teor de óleo sobre a produtividade de grãos (Figura 6).

O diâmetro de capítulo apresentou efeito indireto positivo via número de capítulos por planta e teor de óleo sobre a produtividade de grãos (Figura 6). Entretanto, o mesmo apresentou efeito indireto negativo via produtividade de óleo sobre a produtividade de grãos (Figura 6).

Para a produtividade de grãos, verificou-se alto efeito indireto positivo via produtividade de óleo sobre a produtividade de grãos (Figura 6). Entretanto, houve efeito indireto negativo da produtividade de óleo via teor de óleo sobre a produtividade de grãos (Figura 6).

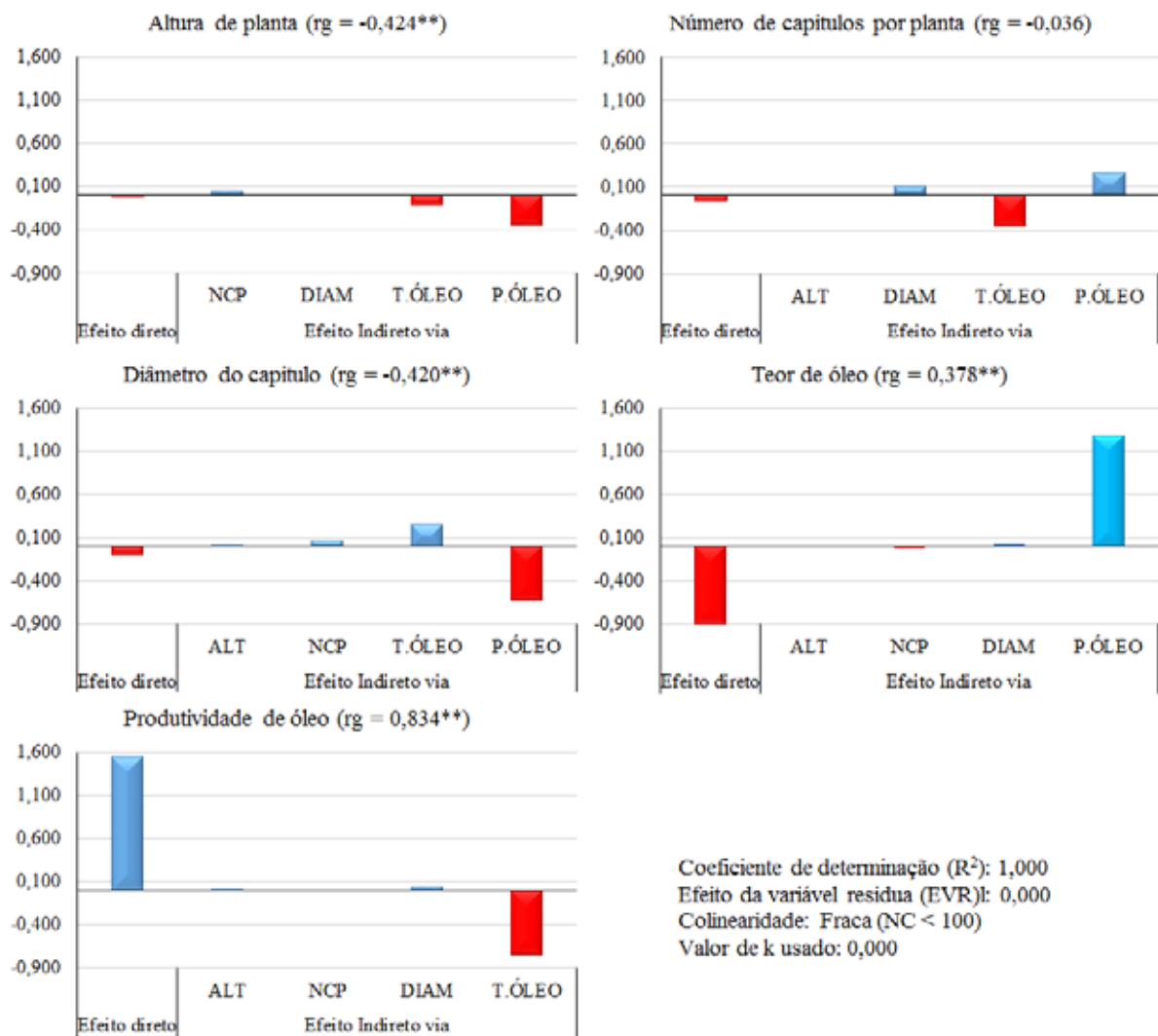


Figura 6. Efeitos diretos e indiretos de cinco características sobre a produtividade de grãos de doze genótipos de cártamo.

A exemplo da produtividade de grãos, os coeficientes de trilha explicaram 100% da variação ocorrida na produtividade de óleo, sendo isso confirmado pelo alto valor do coeficiente de determinação ($r^2 = 1,000$) e efeito residual igual a zero (Figura 7).

Tanto a produtividade de grãos quanto o teor de óleo apresentaram efeitos diretos positivos de alta magnitude sobre a produtividade de óleo (Figura 7). As demais características também apresentaram efeitos diretos positivos sobre a produtividade de óleo, porém, de menor magnitude (Figura 7).

A altura de plantas apresentou efeito indireto positivo via teor de óleo sobre a produtividade de óleo (Figura 7). Entretanto, a altura de planta apresentou efeito indireto negativo via produtividade de grãos sobre a produtividade de óleo (Figura 7).

O número de capítulos por planta apresentou efeito indireto positivo via teor de óleo sobre a produtividade de grãos e efeito indireto negativo via diâmetro de capítulo sobre a produtividade de óleo (Figura 7).

O diâmetro de capítulo apresentou efeito indireto negativo via número de capítulos por planta, teor de óleo e produtividade de grãos sobre a produtividade de óleo (Figura 7).

O teor de óleo apresentou efeito indireto positivo via produtividade de grãos sobre a produtividade de óleo (Figura 7). E a produtividade de grãos apresentou efeito indireto positivo via teor de óleo sobre a produtividade de óleo (Figura 7).

Segundo Cruz e Regazzi (1997), para fins de melhoramento é importante identificar, dentre as características com alta correlação com a variável dependente, aqueles que tem maior efeito direto em sentido favorável à seleção, de tal forma que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente. No presente trabalho, pode-se verificar que a produtividade de óleo apresentou alta correlação genotípica e alto efeito direto sobre a produtividade de grãos. Para a produtividade de óleo, observa-se que a produção de grãos e o teor de óleo apresentaram alta correlação genotípica positiva e efeitos diretos de alta magnitude.

Características que apresentaram alta correlação com a variável dependente, mas com efeito direto em sentido desfavorável, indicam a ausência de causa e efeito, ou seja, a característica não é o principal determinante das alterações na variável básica, existindo outros que poderão proporcionar maior impacto em termos de ganho de seleção (CRUZ; RAGZZI, 1997). Como exemplo, verifica-se neste trabalho a altura de planta e diâmetro do capítulo, que apresentaram alta correlação com a produtividade de grãos, porém, efeitos indiretos de baixa magnitude, em sentido contrário.

Portanto, não pode-se fazer a seleção de plantas baseado apenas em características isoladas. Como por exemplo no cártamo, além da produtividade de grãos, a produtividade de óleo é de extrema importância. Diante disso, tomando-se como base os resultados fornecidos pela análise de trilha sobre os genótipos avaliados, para a obtenção de genótipos com maior produtividade de grãos e de óleo, a seleção de plantas deve levar em consideração também o teor de óleo devido seus efeitos diretos e o número de capítulos devido seus efeitos indiretos.

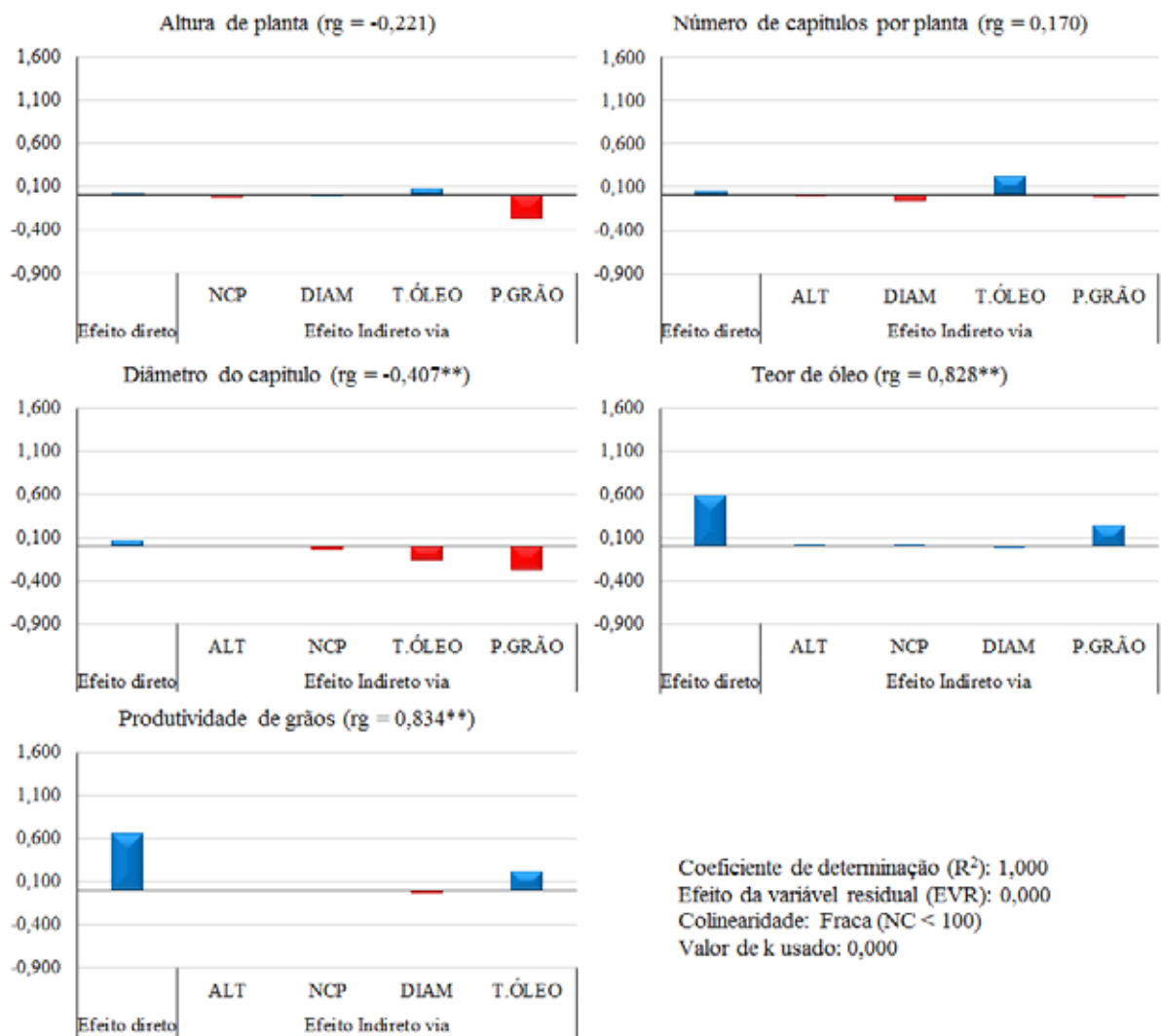


Figura 7. Efeitos diretos e indiretos de cinco características sobre a produtividade de óleo de doze genótipos de cártamo.

Na Tabela 8, são apresentados os seis componentes principais com os respectivos autovalores, a variância (%) e a variância acumulada (%). Pode-se observar que os três primeiros componentes são responsáveis por 85,66% da variação existente.

Tabela 8. Variância de cada componente principal e sua importância em relação à variância total

Componente	Autovalores	Variância (%)	Variância Acumulada (%)
CP 1	2,61	43,45	43,45
CP 2	1,53	25,49	68,94
CP 3	1,00	16,72	85,66
CP 4	0,71	11,78	97,44
CP 5	0,15	2,56	99,99
CP 6	0,0004	0,01	100,00

Na Figura 8 é apresentada a dispersão gráfica dos escores de 12 genótipos de cártamo em relação aos componentes principais 1 e 2 (CP 1 e CP 2).

Pode-se verificar a formação de cinco grupos distintos, o primeiro contendo seis genótipos (1; 2; 6; 7; 8 e 12), o segundo grupo contendo dois genótipos (3 e 5), o terceiro grupo também contendo dois genótipos (9 e 11), o quarto contendo um genótipo (10) e o quinto e ultimo grupo, também contendo apenas um genótipo (4) (Figura 8).

A hibridação entre genótipos pertencentes ao um mesmo grupo, resultará em uma população segregante com pequena variabilidade. Portanto, é interessante que as hibridações sejam realizadas entre genótipos de grupos distintos, ou divergentes, o que resultará em populações de plantas segregantes com grande variabilidade, aumentando a probabilidade de identificação e seleção de plantas superiores pelo melhorista.

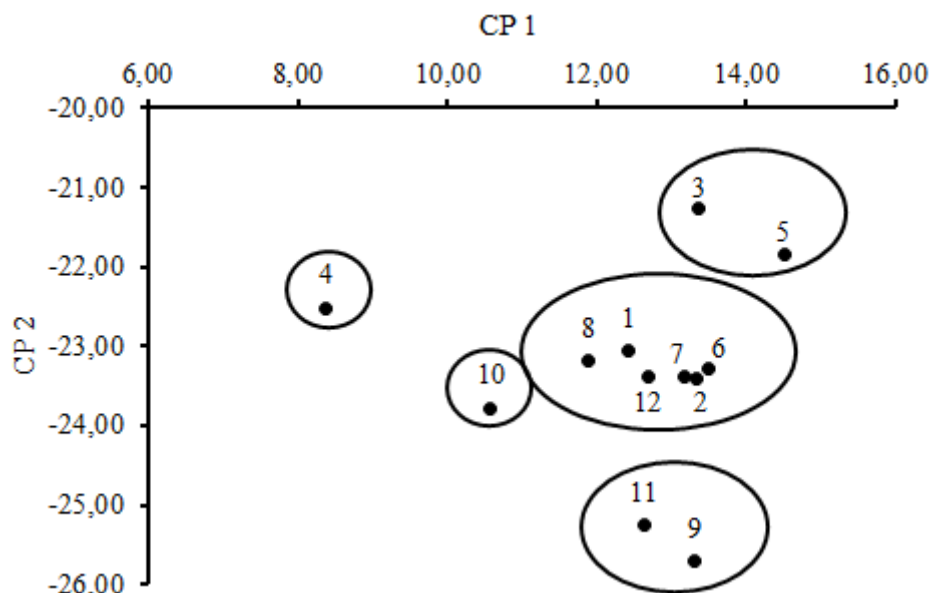


Figura 8. Dispersão gráfica dos escores de doze genótipos de cártamo em relação aos componentes principais 1 e 2.

As distâncias gráficas apresentadas na Figura 8 foram estimadas pelas distâncias Euclidianas e são apresentadas na tabela 9.

A menor distância Euclidiana foi verificada entre os genótipos 2 e 7 (0,17), ou seja, apresentam a menor divergência genética (Tabela 9). Por outro lado a maior distância genética foi verificada entre os genótipos 4 e 5 (6,17) (Tabela 9). Os resultados obtidos são importantes para o direcionamento de futuras hibridações. O cruzamento entre genótipos com a maior divergência genética possível, provavelmente, dará origem a uma população segregante com a maior variância possível.

Tabela 9. Dissimilaridade entre os genótipos baseada na Distância Euclidiana, obtida a partir dos escores dos dois primeiros componentes principais

Genótipos	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,98	2,04	4,08	2,41	1,10	0,81	0,55	2,79	1,98	2,21	0,43
2		2,16	5,03	1,96	0,20	<u>0,17</u>	1,47	2,30	2,78	1,98	0,65
3			5,15	1,29	2,04	2,14	2,44	4,45	3,77	4,07	2,24
4				<u>6,17</u>	5,17	4,86	3,57	5,86	2,54	5,05	4,39
5					1,76	2,05	2,95	4,04	4,38	3,89	2,39
6						0,35	1,61	2,43	2,96	2,15	0,81
7							1,29	2,32	2,61	1,94	0,47
8								2,89	1,44	2,20	0,83
9									3,33	0,82	2,40
10										2,52	2,15
11											1,87

6.2 Experimento II

Na Tabela 10, é apresentado o resumo da análise de variância para a produtividade de grãos (PROD), produtividade da água total (WPt) e produtividade da água irrigada (WPI). Houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre as lâminas de água, quanto à produtividade de grãos e produtividade da água irrigada. O mesmo não foi observado para a produtividade da água total, em que não houve diferença entre as lâminas de água (Tabela 10).

Tabela 10. Análise de variância da produtividade de grãos (PROD), produtividade da água total (WPt) e produtividade da água irrigada (WPI) de cinco genótipos de cártamo cultivados em diferentes lâminas de água

F.V.	G.L.	QUADRADO MÉDIO		
		PROD	WPt.	WPI
Bloco (A)	3	1221179 ^{ns}	0,0193 ^{ns}	0,0787 ^{ns}
Lâmina de água (B)	3	7527717**	0,0309 ^{ns}	2,8015**
Erro 1: (A*B)	9	533298	0,0098	0,0577
Genótipo	4	1505883**	0,0370**	0,2523**
Lâmina de água * Genótipo	12	424396*	0,0143**	0,1377**
Resíduo	48	210835	0,0043	0,0280
Total	79	-	-	-
C.V. 1 (%)	-	26,78	25,53	28,63
C.V. 2 (%)	-	16,84	17,05	19,94
Média geral	-	2726,6	0,39	0,84

^{ns}: não significativo. * e ** significativo a 5 e 1 % pelo teste F respectivamente.

Houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre os cinco genótipos de cártamo avaliados para a produtividade de grãos, produtividade da água total e produtividade da água irrigada (Tabela 10).

Também houve interação significativa entre as lâminas de água aplicadas e os genótipos de cártamo avaliados para a produtividade de grãos, produtividade da água total e produtividade da água irrigada (Tabela 10).

Na Figura 9 são apresentadas as produtividades de grãos dos cinco genótipos de cártamo nas quatro lâminas de água (Figura 9). Na menor lâmina de água (7,62 mm semana⁻¹) os genótipos 580 e 672 apresentaram as maiores médias de produtividade de grãos.

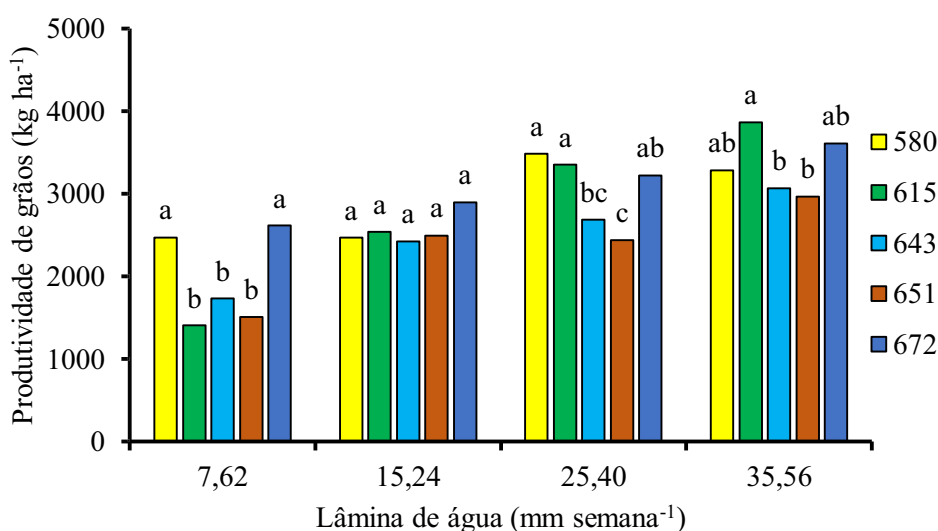


Figura 9. Produtividade de grãos de cinco genótipos de cártamo com diferentes lâminas de água.

Na lâmina de água de 15,24 mm semana⁻¹, não foi verificada diferença entre os genótipos quanto a produtividade de grãos (Figura 9). Para a lâmina de água de 25,40 mm semana⁻¹, verificou-se que os genótipos 580, 615 e 672 apresentaram as maiores médias de produtividade de grãos, enquanto que o genótipo 651 apresentou a menor média (Figura 9)

Quando aplicou-se a maior lâmina de água (35,56 mm semana⁻¹), os genótipos 580, 615 e 672 apresentaram as maiores médias de produtividade de grãos. (Figura 9).

Para todos os genótipos avaliados verificou-se aumento da produtividade de grãos com o aumento da lâmina de água aplicada (Figura 10). O genótipo 615 foi o mais responsivo à aplicação de lâminas de água. Para cada 1 mm de lâmina de água

aplicado por semana foi estimado aumento de $84,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos. No entanto, levando-se em consideração a área, pode-se afirmar que para cada 10 m^3 de água aplicados em um hectare, houve aumento de $84,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos.

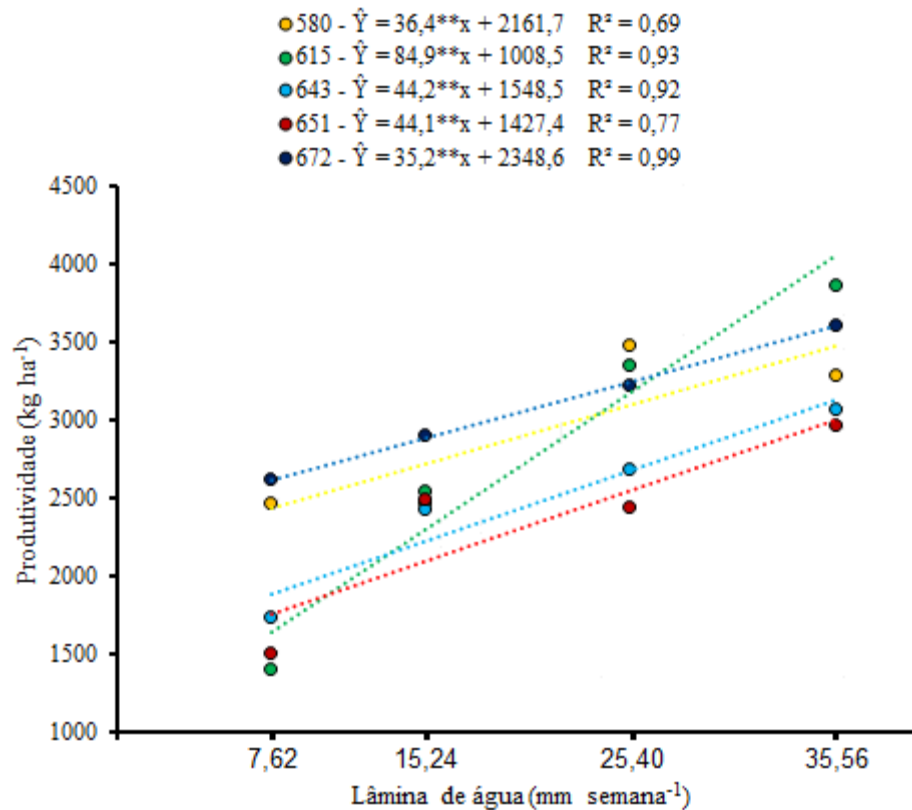


Figura 10. Produtividade de grãos de cinco genótipos de cartamo em função da lâmina de água.

Na Figura 11 são apresentadas as médias de produtividade da água total dos genótipos em cada lâmina de água. Na menor lâmina de água ($7,62 \text{ mm semana}^{-1}$), os genótipos 580 e 672 apresentaram as maiores médias de produtividade da água total. A produtividade média da água dos genótipos 580 e 672 foi em torno de 64% superior a média dos demais genótipos. Não houve diferença entre os demais genótipos quanto a produtividade de água total (Figura 11).

Não houve diferença entre os genótipos quanto a produtividade da água total quando aplicou-se a lâmina de água de $15,64 \text{ mm semana}^{-1}$ (Figura 11). Na lâmina de água de $25,40 \text{ mm semana}^{-1}$, os genótipos 580, 615 e 672 apresentaram as maiores médias de produtividade da água total, enquanto que o genótipo 651 apresentou a menor média de produtividade de água total (Figura 11). Com a maior lâmina de água não houve diferença entre os genótipos quanto a produtividade da água total (Figura 11).

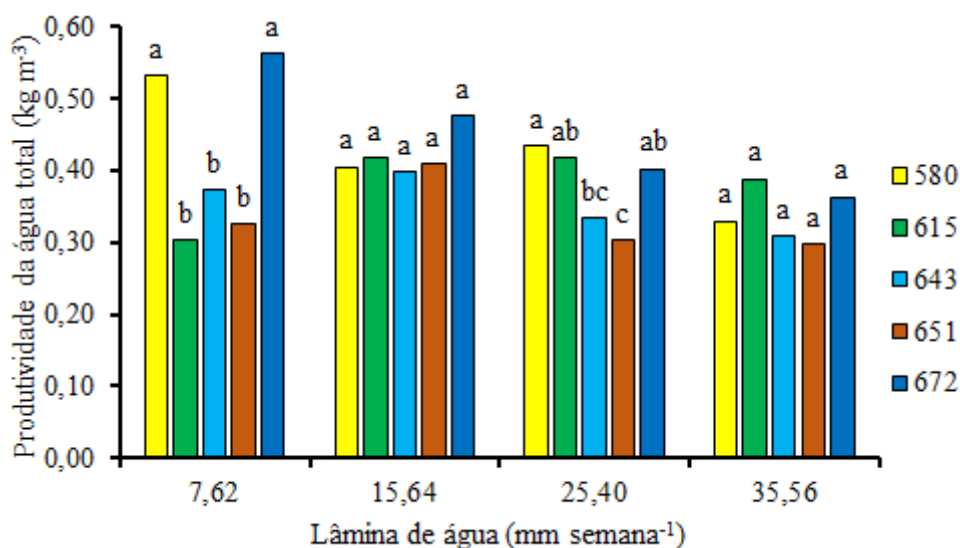


Figura 11. Produtividade da água total de cinco genótipos de cártamo com diferentes lâminas de água.

De forma geral, pode-se observar que os genótipos 580 e 672 foram os mais produtivos em relação a utilização da água total, em outras palavras, entre os genótipos avaliados, estes foram os que produziram maior quantidade de grãos utilizando a mesma quantidade de água.

Na figura 12, pode-se observar a produtividade de água total dos genótipos em função da lâmina de água aplicada. Não houve ajuste de equações de regressão para os genótipos 643 e 651.

Os genótipos 580 e 672 apresentaram comportamento semelhante, com decréscimo da produtividade da água total a medida que houve aumento da lâmina de água fornecida (Figura 12).

A máxima produtividade da água para o genótipo 615 foi estimada com aplicação de 26,25 mm semana⁻¹ de lâmina de água (Figura 12). A aplicação de quantidades de lâmina de água menores que 26,25 mm semana⁻¹ limita o desenvolvimento e a produção de grãos do genótipo 615, resultando em redução da produtividade da água total. Por outro lado, quantidades superiores a 26,25 mm semana⁻¹ não são aproveitadas eficientemente pelas plantas de cártamo, sendo que provavelmente ocorrem perdas de água por processos de escoamento e percolação em que a água não é absorvida pela planta, resultando em menor produtividade da água total (Figura 12).

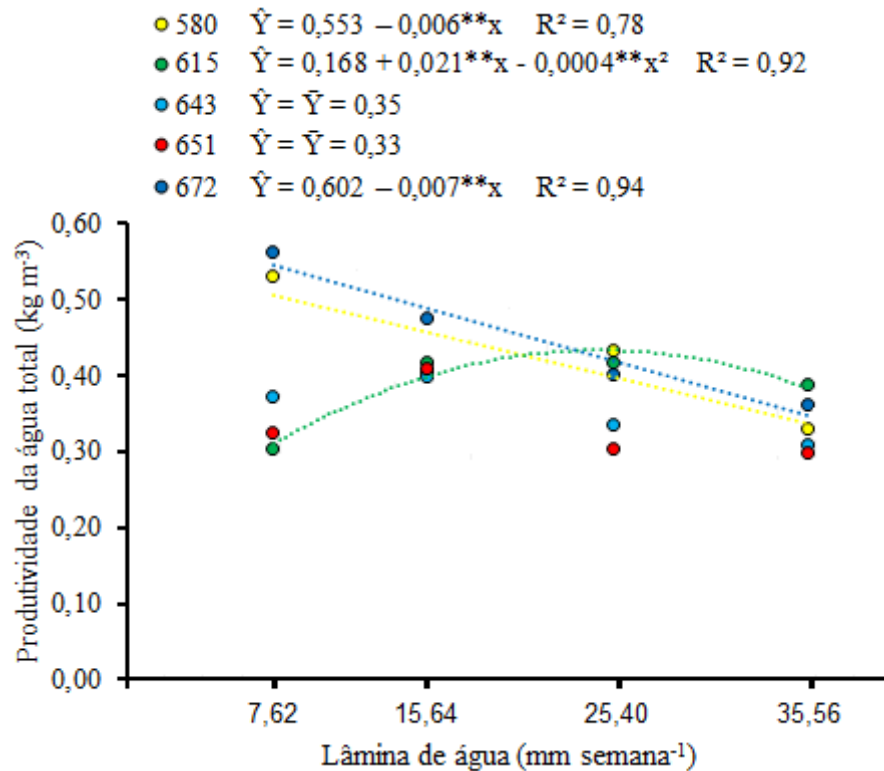


Figura 12. Produtividade da água total de cinco genótipos de cartãoho em função da lâmina de água.

Na Figura 13 são apresentadas as médias de produtividade da água irrigada dos cinco genótipos de cartãoho em cada uma das lâminas de água. Na menor lâmina de água (7,62 mm semana⁻¹), os genótipos 580 e 672 apresentaram as maiores médias de produtividade da água irrigada, sendo em torno de 64% superior aos demais genótipos.

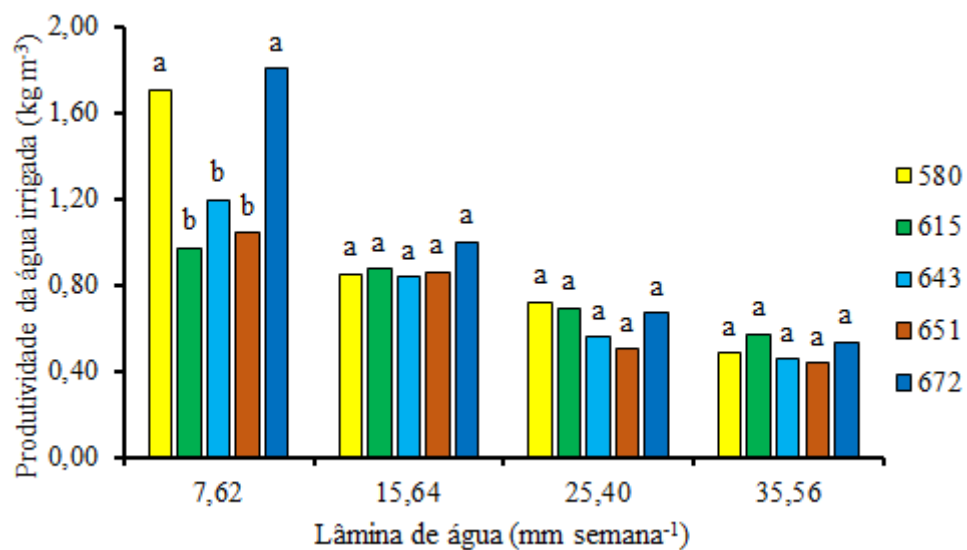


Figura 13. Produtividade da água irrigada de cinco genótipos de cartãoho com diferentes lâminas de água.

Não houve diferença entre os genótipos 615, 643 e 651 quanto a produtividade da água irrigada com a aplicação de 7,62 mm semana⁻¹. Nas demais lâminas de água (15,64; 25,40 e 35,56 mm semana⁻¹) não foi verificada diferença entre os genótipos quanto a produtividade da água irrigada (Figura 13).

Na Figura 14 pode-se observar a produtividade da água irrigada dos genótipos em função da lâmina de água aplicada. Verifica-se que houve decréscimo da produtividade de água nos cinco genótipos de cártamo avaliados a medida que aumenta a lâmina de água aplicada.

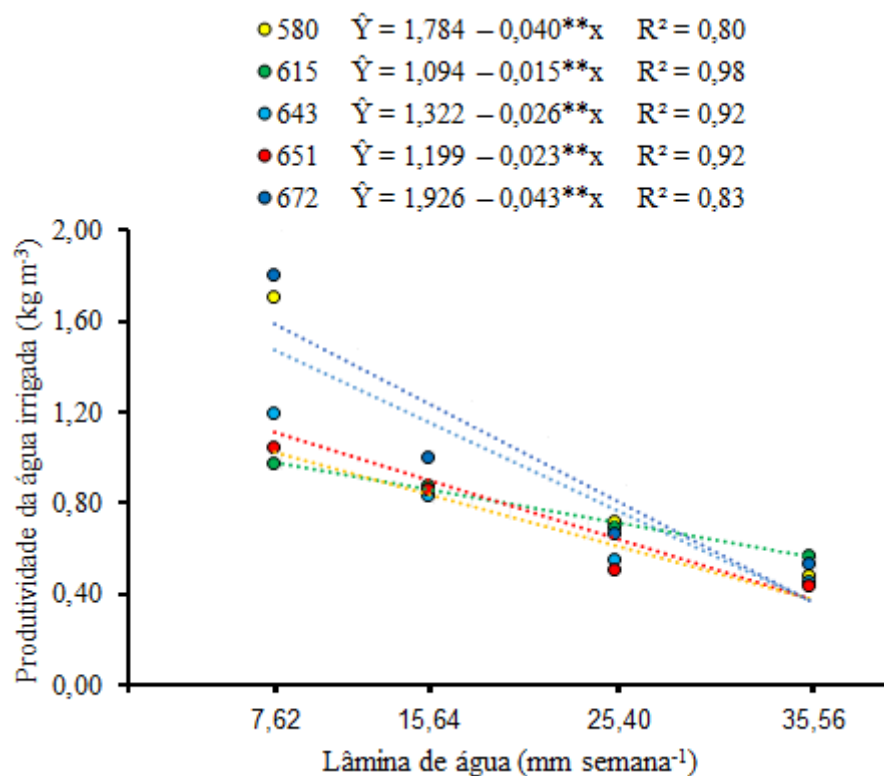


Figura 14. Produtividade da água irrigada de cinco genótipos de cártamo em função da lâmina de água.

Os genótipos 580 e 672 apresentaram maior decréscimo da produtividade da água irrigada com o aumento da lâmina de água aplicada. Por outro lado, o genótipo 615 apresentou o menor decréscimo da produtividade da água irrigada.

Ao analisar a produtividade de grãos e a produtividade da água irrigada, pode-se verificar que o genótipo 615 foi o mais responsivo a aplicação de água, pois este genótipo apresentou o maior incremento na produtividade de grãos (Figura 10) e o menor decréscimo da produtividade de água irrigada (Figura 14) com o aumento da lâmina de água aplicada.

Em um trabalho conduzido durante dois anos no estado do Texas, nos Estados Unidos, Tolk e Howell (2012) avaliaram a produtividade da água irrigada do girassol cultivado em lisímetros utilizando quatro regimes hídricos, sendo que com a irrigação aplicava-se 25%, 50%, 75% e 100% da água consumida por evapotranspiração. Os autores verificaram que nos dois anos, a produtividade da água irrigada foi maior no tratamento em que foi aplicado apenas 25% da água consumida por evapotranspiração, ou seja, no tratamento com menor quantidade de água aplicada.

Em um trabalho realizado por Rodrigues et al. (2010) avaliou-se entre vários parâmetros a produtividade da água em dois sistemas de irrigação e dois regimes hídricos, sendo irrigação satisfatória e irrigação deficitária em girassol, milho e trigo. Os autores verificaram que quando utilizou-se a irrigação deficitária a produtividade da água irrigada foi superior a irrigação satisfatória e os autores, ainda, concluíram que quando existem limitações de água disponível para irrigação, a utilização da irrigação deficitária é alternativa interessante, uma vez são obtidas maiores produtividades de grãos em relação a quantidade de água aplicada por meio de irrigação.

Dados semelhantes também foram verificados em outras culturas. Martin et al. (2012) ao avaliarem três lâminas de água para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho verificaram que com a menor lâmina de água foram obtidas as maiores produtividades da água de massa verde e massa seca de milho. Avaliando a produtividade da água em plantas de cajueiro, Leite et al. (2011) também concluíram que as médias de produtividade da água decresceram com o aumento do uso da água.

De forma geral, a produtividade de grãos aumentou, porém, a produtividade da água total e irrigada decresceu com a aplicação de maiores lâminas de água. Esses resultados levam a duas estratégias de manejo da irrigação. Primeira, se o objetivo for obter a máxima produtividade por área, sem haver problemas de limitação do uso da água, devem-se efetuar a irrigação satisfatória visando suprir totalmente a necessidade hídrica da cultura. Por outro lado, a segunda estratégia tem por objetivo obter a máxima eficiência do uso da água, e para tanto, pode-se adotar a irrigação deficitária controlada, ou seja, irrigar abaixo do nível de máxima produção, porém, que corresponda à máxima eficiência econômica (PEREIRA et al., 2002b). A técnica de irrigação deficitária consiste na aplicação de quantidades de água inferiores às necessárias para suprir às necessidades hídricas da cultura, afetando dessa forma, a evapotranspiração e a produtividade, porém, a redução da produtividade deve ser mínima ao ponto de manter o retorno econômico da cultura irrigada (KANG et al., 2000).

Com isso, pode-se concluir que quando a limitação não for a área de cultivo, mas, a quantidade de água disponível, é interessante a utilização de menores lâminas de água. Mesmo que a produtividade de grãos por área seja menor, porém, se produz maiores quantidades de grãos em relação a quantidade água aplicada.

Deve-se ressaltar também que, levando-se em consideração os dados de produtividade da água total e, dependendo do genótipo utilizado, da lâmina de água aplicada e da precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura, o cártamo necessita ao longo do seu ciclo, entre 1800 e 3400 litros de água para produzir um quilograma de grãos.

7 CONCLUSÕES

1. A seleção de plantas com maior teor de óleo e maior número de capítulos por planta nos genótipos estudados possibilita o melhoramento indireto da produtividade de grãos e de óleo do cártamo.

2. Existe divergência genética entre os genótipos de cártamo avaliados, sendo possível classifica-los em cinco grupos geneticamente distintos: 1º Grupo: genótipos 1, 2, 6, 7, 8 e 12; 2º Grupo: genótipos 3 e 5; 3º Grupo: genótipos 9 e 11; 4º Grupo: genótipo 10; 5º Grupo: genótipo 4.

3. Por meio da avaliação da produtividade da água, tanto total quanto irrigada foi possível distinguir os genótipos de cártamo alto oleicos mais produtivos dos menos produtivos em relação a quantidade de água utilizada.

4. Para cultivo em sistemas com irrigação, sem restrição do uso de água, recomenda-se utilizar os genótipos 580, 615 e 672. No entanto, para cultivo em sistemas com restrição do uso de água, deve-se optar pelos genótipos 580 e 672, por apresentarem as maiores produtividades de água, tanto irrigada quanto total.

5. A medida que aumenta o fornecimento de água para o cártamo, a produtividade da água total e da água irrigada decresce.

6. Levando-se em consideração os dados de produtividade da água total e, dependendo do genótipo utilizado, da lâmina de água aplicada e da precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura, o cártamo necessita ao longo do seu ciclo, entre 1800 e 3400 litros de água para produzir um quilograma de grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, G. H. Growth and yield of safflower in three temperature regimes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 67, n. 5, p. 639–642. Set./Out. 1975.

ALMEIDA, C. C. M. **Análise da produtividade física e económica da água. Aplicação do modelo SEDAM no perímetro de rega de Huinong, bacia do Rio Amarelo.** 2008. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente – Gestão Ambiental), Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2008.

ALVARENGA, M. I. N., DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-942, Out./Dez. 1999.

AMORIM, E. P. et al. **Correlações e análise de trilha em girassol.** Bragantia, Campinas, v. 67, n. 2, p. 307-316, Abr./Jun. 2008.

ARSLAN, B. The path analysis of yield and its components in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Faisalabad, v.7, n.4, p.668-672, 2007.

BÁRBARO, I. M. **Análises genéticas em populações de soja com precocidade e resistência ao cancro da haste.** 2006. 75 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

BARKER, R., DAWE, D., INOCENCIO, A. Economics of Water Productivity in Managing Water for Agriculture. In: KIJNE, J. W.; BARKER, R.; MOLDEN, D. (Eds), **Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement**, Colombo: CAB International, 2003. cap. 2. p. 19-36.

BAVEC, F., BAVEC, M. **Organic Production and Use of Alternative Crops.** Boca Raton: CRC/Taylor & Francis. 2007. 245 p.

BENIN, G. et al. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1145-1151, Set. 2009.

BERGLUND, D. R.; RIVELAND, N.; BERGMAN, J. **Safflower production** (Revised). 2007. Disponível em: <<http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/crops/a870w.htm>>. Acesso em: 15 Out. 2014.

BRITO, L. T. L. et al. Produtividade da água de chuva em culturas de subsistência no semiárido pernambucano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 102-109, Jan./Fev. 2012.

CAMAS, N., CIRAK, C., ESENDAL, E. Seed yield, oil content and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown in Northern Turkey conditions. **Journal of Faculty of Agriculture O.M.U.** v. 22, p. 98-104. 2007.

CARVALHO, C. G. P. et al. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 603-613, Abr. 1999.

CARVALHO, C. G. P. et al. Correlações e análise de trilha em linhagens de soja semeadas em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 311-320, Mar. 2002.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2004. 142 p.

CAZZATO, E., VENTRICELLI, P., CORLETO, A., 1997. Effects of date of seeding and supplemental irrigation on hybrid and open-pollinated safflower production in southern Italy. In: International Safflower Conference, 4., Bari, 1997. **Proceedings**. Bari Adriatica Editrice, 1997. p. 119-124.

CHAPMAN, M. A. et al. Population genetic analysis of safflower (*Carthamus tinctorius*; Asteraceae) reveals a near eastern origin and five centers of diversity. **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 97, n. 5, p. 831–840, Mai. 2010.

CHIORATO, A. F. **Divergência genética em acessos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) do banco de germoplasma do Instituto Agrônomo-IAC**. 2004, 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Genética, Melhoramento e Biotecnologia Vegetal), Instituto Agrônomo-IAC, Campinas, 2004.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e segurança alimentar. **Revista Item**, Brasília, n.77, p.16-21, 2008.

CLARK, S. et al. Crop-yield and economic comparisons of organic, low-input, and conventional farming systems in California's Sacramento Valley. **American Journal of Alternative Agriculture**. v. 14, n. 3, p. 109–121, Jul./Set. 1999.

CORLETO, A. et al. Evolution of biomass and quality of safflower during the reproductive stage for hay and ensiling purposes. In: INTERNATIONAL SAFFLOWER CONFERENCE, 6., Istambul, 2005. **Proceedings**. Istambul, Esendal, 2005.

COSTA, M. N. **Análise dialélica das capacidades geral e específica de combinação utilizando técnicas uni e multivariadas de divergência genética em mamoneira (*Ricinus communis* L.)**. 2006, 132f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2006.

CRUZ, C. D., REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV. 1997. 390 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, v.2, 2003. 585 p.

CRUZ, C. D.; MIRANDA, J. E. C.; COSTA, C. P. Correlações, efeitos diretos e indiretos de caracteres agrônômicos sobre a produção do pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 4, p. 921-928, 1988.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV - Imprensa Universitária. 1994, 390 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: UFV. v.1, 2004, 480 p.

DAJUE, L.; MUNDEL, H-H. **Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected crop. 7: Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). 1996. 83 p.

DEWEY, D. R.; LU, K. H. **A correlation and path coefficient analysis of component of crested wheat grass seed production**. Agronomy Journal, Madison, v. 51, n. 9, p. 515-518, Set. 1959.

DORDAS, C. A.; SIOULAS, C. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. **Industrial Crops and Products**. v. 27, n. 1, p. 75–85. Jan. 2008.

ELBASSAM, N. **Energy Plant Species: Their Use and Impact on Environment and Development**. Londres: James & James Science Publishers. 1998. 321 p.

ELFADL, E. et al. Optimization of nitrogen rate and seed density for safflower (*Carthamus tinctorius* L.) production under low-input farming conditions in temperate climate. **Field Crops Research**, v. 114, n. 1, p. 2–13. Out. 2009.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306p.

ESPÍNDOLA, C. R.; TOSIN, W. A. C.; PACCOLA, A. A. Levantamento pedológico da Fazenda Experimental São Manuel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14, 1974, Santa Maria. **Anais**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1974. p 650-654.

ERIE, L. J., FRENCH, O. F. Growth, yield and yield components of safflower as affected by irrigation regimes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 111–113. Jan./Fev. 1969.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV. 1987. 279 p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. Harlow: Longman. 1996. 463 p.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION. **Safflower Seed**. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em: 20 Out. 2014.

FEIZI, M.; HAJABBASI, M. A.; MOSTAFAZADEH-FARD, B. Saline irrigation water management strategies for better yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in an arid region. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 4, n. 6, p. 408-414. 2010.

FURTADO, M. R. et al. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 217-220, Abr. 2002.

GALVANI, R. **Variabilidade para florescimento prematuro em cenoura ‘Brasília’ no cultivo de outono-inverno**. 2008. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2008.

GILBERT, N. W., TUCKER, T. C. Growth, yield and yield components of safflower as affected by source, rate, and time of application of nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v. 59, n. 1, p. 54–56, Jan./Fev. 1967.

GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. 15.ed. Piracicaba: Fealq. 2009. 451 p.

GRISTINA, L. et al. Energetic analysis of four farming systems during the conversion from conventional to organic farming system in the Sacramento Valley-California. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE ITALIAN AGRONOMY SOCIETY, 18., Viterbo, 1994. **Proceedings**. Viterbo, 1994.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1981. 468 p.

HAN, X. et al. Extraction of safflower seed oil by supercritical CO₂. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 4, p. 370-376, Jun. 2009.

HANG, A. N.; EVANS, D. W. Deficit sprinkler irrigation of sunflower and safflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, n. 4, p. 588-592, Jul./Ago. 1985.

HARTWIG, I. et al. Estimativa de coeficientes de correlação e trilha em gerações segregantes de trigo hexaplóide. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 203-218, Abr./Jun. 2007.

HOERL, A. E.; KENNARD, R. W. Ridge regression: applications to nonorthogonal problems. **Technometrics**, Washington, 12, n. 1, p. 69-82, Fev. 1970.

HOTELING, H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. **Journal of Educational Psychology**, Washington, v. 24, n. 6, p. 417-441, Sep. 1933.

HOTELING, H. Simplified calculation of principal components **Psychometrika**, Baltimore. v. 1, n. 1, p. 27-35, 1936.

IVOGLO, M. G. et al. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 823-831, Out./Dez. 2008.

JALOTA, S. K. et al. Crop water productivity of cotton–wheat system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. **Agricultural Water Management**, v. 84, n. 1-2, p. 137–146, Jul. 2006

JONES, J.P., TUCKER, T.C. Effect of nitrogen fertilizer on yield, nitrogen content, and yield components of safflower. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, n. 4, p. 363–364, Jul/Ago. 1968.

KAFFKA, S. R.; KEARNEY, T. E. **Safflower Production in California**. Oakland: Univeristy of California Agriculture and Natural Resources. 1998. 31p. (Publication nº. 21565).

KANG, S.; SHI, W.; ZHANG, J. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research**, v. 67, n. 3, p. 207–214, Ago. 2000.

KAR, G., KUMAR, A., MARTHA, M. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. **Agricultural Water Management**. v. 87, n. 1, p. 73–82, Jan. 2007.

KNOWLES, P. F. Safflower. **Advances in Agronomy**, v.10, p.289–323. 1958.

KNOWLES, P. F. Safflower. In: ROBBELEN, G.; DOWNEY, R. K.; ASHRI, A. (Eds.). **Oil Crops of the World, their Breeding and Utilization**. New York: McGraw Hill. 1989. p.363–374.

KNOWLES, P. F.; ASHRI, A. Safflower: *Carthamus tinctorius* (Compositae), In: SMARTT, J.; SIMMONDS, N. **Evolution of Crop Plants**. 2.ed. Harlow: Longman. 1995. p.47–50.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Pánuco: Fondo de Cultura Econômica. 1948. 479 p.

KOUTROUBAS, S. D., PAPAKOSTA, D. K. Seed filling patterns of safflower: Genotypic and seasonal variations and association with other agronomic traits. **Industrial Crops and Products**. v. 31, n. 1, p. 71–76. Jan./Fev. 2010.

KOUTROUBAS, S. D., PAPAKOSTA, D. K., DOITSINIS, A. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilates to safflower yield. **Field Crops Research**. v. 90, n. 2-3, p. 263–274. Dez. 2004.

KOUTROUBAS, S.D., PAPAKOSTA, D.K., DOITSINIS, A. Nitrogen utilization efficiency of safflower hybrids and open-pollinated varieties under Mediterranean conditions. **Field Crops Research**. v. 107, n. 1, p. 56–61. Abr. 2008.

KOUTROUBAS, S.D., PAPAKOSTA, D.K., DOITSINIS, A. Phenotypic variation in physiological determinants of yield in spring sown safflower under Mediterranean conditions. **Field Crops Research**. v. 112, n. 2-3, p. 199–204. Jun. 2009.

KUMARI, L. **Evaluation of early generations of interspecific crosses of carthamus species for productive recombinants**. 2009. 64f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), College of Agriculture, University of Agricultural Sciences, Dharwad. 2009.

LEDO, C. A. S.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P. Análise de variância multivariada para os cruzamentos dialélicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1214-1221, Nov./Dez. 2003.

LEITE, K. N.; COSTA, R. N. T.; ARAÚJO, H. F.; MONTEIRO, R. N. F.; LUNA, N. R. S. Produtividade da água utilizada na irrigação do cajueiro possibilidades In: Reunião Sulamericana para Manejo e Sustentabilidade da Irrigação em Região Áridas e Semiáridas, 2., Cruz das Almas, 2011. **Anais**. Cruz das Almas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2011

LI, D., MÜNDEL, H.H. **Safflower. Carthamus tinctorius L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 7**, Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research /Roma: International Plant Genetic Resources Institute, 1997. 83 p.

LÓPEZ-MATA, E. et al. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**. v. 98, n. 1, p. 190-198, Dez. 2010.

LOVELLI, S. et al. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. **Agricultural Water Management**. v. 92, n. 1-2, p. 73–80, Ago. 2007.

LU, S. et al. *Carthamus tinctorius* L. oil and its using in food. **Food Research and Development**, v. 25, n. 4, p. 74–76. 2004.

LYRA, W. S. et al. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1594-1597. 2010.

MANTOVANI, E. C. et al. Eficiência no uso da água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Vitoria da Conquista, v. 31, n. 4, p. 602-606, Out./Dez. 2013.

MARTIN, J. D. et al. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 192 - 205, 2012.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley, 1981. 504 p.

MOREIRA, J. A. N. et al. **Melhoramento da mamoneira (*Ricinus communis* L.)**. Campina Grande: Embrapa Algodão. 1996. 29 p. (Documentos, 44).

MOVAHHEDY-DEHNAVY, M., MODARRES-SANAVY, S. A. M., MOKHTASSI-BIDGOLI, A. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. **Industrial Crops and Products**. v.30, n.1, p.82–92, Jul./Ago. 2009.

MÜNDEL, H.H., MORRISON, R.J., BLACKSHAW, R.E., ENTZ, T., ROTH, B.T., GAUDIEL, R., KIEHN, F. Seeding-date effects on yield, quality and maturity of safflower. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 74, n. 2, p. 261–266, Abr. 1994a.

MÜNDEL, H.H., MORRISON, R.J., ENTZ, T., BLACKSHAW, R.E., ROTH, B.T., KIEHN, F., VANDENBERG, A. Row spacing and seeding rates to optimize safflower yield on the Canadian prairies. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 74, n. 2, p. 319–321, Abr. 1994b.

MUNDEL, H.H. et al. **Safflower Production on the Canadian Prairies**. Lethbridge: Agriculture Canada Research Station. 2004. 37 p.

NETER, J; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs**. Homewood: Richard D. Irwin, 1974. 842 p.

OLIBONI, R. **Capacidade combinatória e divergência genética entre híbridos comerciais de milho recomendados para a região Centro-Sul do Paraná**. 2009. 95f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava. 2009.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **Philosophical Magazine**, Londres, v. 2, n. 6, p. 559-572, 1901.

PEREIRA L. S. Relating Water Productivity and Crop Evapotranspiration. WATER SAVING IN MEDITERRANEAN AGRICULTURE WORKSHOP, 4., Amã, 2005. **Proceedings**. Amã, International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, 2005. p. 31-50.

PEREIRA, A. V. **Utilização de análise multivariada na caracterização de germoplasma de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 1989. 180f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1989.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. **Coping with Water Scarcity. Addressing the Challenges**. Dordrecht: Springer. 2009. 382 p.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. **Coping with water scarcity**. Paris: UNESCO. 2002a. 269 p. (Technical Documents in Hydrology, N° 58)

PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, v. 57, n. 3 p. 175-206, Dez. 2002b.

PEREIRA, L.S. **Necessidades de Água e Métodos de Rega**. Lisboa: Europa-América. 2004. 313 p.

RAHAMATALLA, A. B. et al. Changes in fatty acids composition during seed growth and physicochemical characteristics of oil extracted from four safflower cultivars. **Plant Foods for Human Nutrition**. v. 56, n. 4, p.385–395. Dez. 2001.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na Agropecuária**. 4.ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 2008. 464 p.

RAVIKUMAR, R. L. et al. DNA profiling and fingerprinting of selected mutants for marker analysis in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In: INTERNATIONAL SAFFLOWER CONFERENCE, 6., Istambul, 2005. **Proceedings**. Istambul, Esendal, 2005.

REHM, S.; ESPIG, G. **Oil Plants: The Cultivated Plants of the Tropics and Subtropics**. Göttingen: Institute of Agronomy in the Tropics, University of Göttingen. 1991. 558 p.

REINBRECHT, C. et al. Screening of a worldwide safflower collection for adaptation to humid temperate climates and cultivation in organic farming. In: INTERNATIONAL SAFFLOWER CONFERENCE, 6., Istambul, 2005. **Proceedings**. Istambul, Esendal, 2005.

ROBINSON, H. F.; COMSTOCK, R. E.; HARVEY, P. H. Genotypic correlations in corn and their implications in selection. **Agronomy Journal**, Madison, v. 43, n. 6, p. 282-284, Jun. 1951.

RODRIGUES, G. C. et al. Relating energy performance and water productivity of sprinkler irrigated maize, wheat and sunflower under limited water availability. **Biosystems Engineering**. v. 106, n. 2, p. 195-204, Jun. 2010.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, Set. 1974.

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

SIDDIQUI, M.H.; OAD, F.C. Nitrogen requirement of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) for growth and yield traits. **Asian Journal of Plant Sciences**. v. 5, n. 3, p. 563-565. 2006.

SILVA, C. J. **Caracterização agronômica e divergência genética de acessos de cártamo**. 2013. 59f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura), Faculdades de Ciências Agrônomicas de Botucatu – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2013.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics e Plant Breeding**, New Delhi, v. 41, n. 2, p. 237-245, Jul. 1981.

SMITH, J. R. **Safflower. Emphasis is on Origin of Safflower Production, Marketing and Research in the USA**. Champaign: AOCS Press. 1996. 624 p.

SNPC - SISTEMA NACIONAL DE PROTEÇÃO DE CULTIVARES – **CULTIVARWEB**. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php>. Acesso em: 01 Nov. 2014.

STEDUTO, P. Water use efficiency. In: PEREIRA, L. S. et al. (Eds). **Sustainability of Irrigated Agriculture**, Vimeiro: Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop. 1996, cap. 2, p.193–209.

STEEL, R. G. D.; TORRIER, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 418 p.

TANAKA, D. L., MERRILL, S. D. **Deep-rooted safflower cuts fertilizers losses**. Agricultural Research. Abril, 1998. p.17.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A. Sunflower water productivity in four Great Plains soils. **Field Crops Research**. v. 127, p. 120–128. Fev. 2012.

TOQUICA, S. P. et al. Molecular characterization by AFLPs of Capsicum germplasm from the Amazon department in Colombia. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 50, n. 6, p. 639-647, Set. 2003.

TUNÇTÜRK, M.; ARSLAN, B.; ÇİFTÇİ, V. Relationships among traits using correlation and path coefficient analysis in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In: INTERNATIONAL SAFFLOWER CONFERENCE, 6., Istambul, 2005. **Proceedings**. Istambul, Esendal, 2005.

USDA-NRCS - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. **Custom Soil Resource Report for Lubbock County, Texas**. Lincoln: National Soil Survey Center. 2014. 57p.

VELASCO, L., B. PÉREZ-VICH, J.M. FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ. Identification and genetic characterization of a safflower mutant with a modified tocopherol profile. **Plant Breeding**, v. 124, n. 5, p. 459-463, Out. 2005.

VELASCO, L., FERNANDEZ-MARTINEZ, J.M. Progress in breeding modified tocopherol content and composition in safflower. **Sesame Safflower Newslett.** v.17, p.98–101. 2002.

VELLINI, A. L.T. T. **Desempenho e divergência genética entre clones de *Eucalyptus spp.* em diferentes regimes de irrigação em casa de vegetação.** 2007. 104f. Tese (Doutorado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Jaboticabal. 2007.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 469 p.

WANG, C. C. et al. 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, Jan. 2011.

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

WEISS, E. A. Safflower In: WEISS, E. A. **Castor, Sesame and Safflower.** New York: Barnes & Noble, 1971, p.529–744.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research.** Washington, v. 20, n. 7, p. 557-585, Jan. 1921.

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

ZOZ, T. **Correlação e análise de trilha de produtividade de grãos e seus componentes e caracteres de planta em cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.).** 2012. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura), Faculdades de Ciências Agrônomicas de Botucatu – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2012.