

LUCAS BARBOSA DE CASTRO ROSMANINHO

**DESEMPENHO DE GENÓTIPOS DE CRAMBE QUANTO À TOLERÂNCIA  
AO DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

R821d  
2019 Rosmaninho, Lucas Barbosa de Castro, 1994-  
Desempenho de genótipos de crambe quanto à tolerância ao  
déficit hídrico / Lucas Barbosa de Castro Rosmaninho. - Viçosa, MG,  
2019.

x, 31 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 26-31.

1. Plantas - Melhoramento genético. 2. Agricultura e energia. 3.  
*Crambe abyssinica*. 4. Estresse hídrico. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em  
Genética e Melhoramento. II. Título.

CDD 22. ed. 631.52


LUCAS BARBOSA DE CASTRO ROSMANINHO

**DESEMPENHO DE GENÓTIPOS DE CRAMBE QUANTO À TOLERÂNCIA  
AO DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 08 de março de 2019.

  
Francisco Charles dos Santos Silva

  
Carlos Eduardo Magalhães dos Santos

  
Luiz Antônio dos Santos Dias  
(Orientador)

**“O bom Deus não me inspiraria desejos irrealizáveis”.**

(Santa Teresinha do Menino Jesus)

Ao meu amado e eterno pai, Francisco Rosmaninho (*in memoriam*),  
meu maior incentivador e exemplo de luta, fé e força de viver.

A minha amada mãe, Luiza Rosmaninho,  
por todo amor, incentivo, escuta e entendimento.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Gratidão a Deus, principio e fim da vida. Aquele que foi, que é, e que sempre será. Por todas as graças derramadas durante toda minha vida e por me conduzir sempre sob a Sua proteção.

Gratidão à intercessão fiel da Santíssima Virgem Maria, sempre disposta a levar ao coração do Pai, meus medos, anseios, necessidades e desejos.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, pelas portas abertas durante toda a graduação e mestrado, permitindo meu crescimento em cursos de excelência reconhecidos nacional e internacionalmente.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro durante a condução das pesquisas.

Ao professor Luiz Antônio dos Santos Dias, pela orientação, ensinamentos, incentivo e amizade. Por acreditar mais que eu mesmo no meu potencial e por extrair sempre o melhor de mim.

Aos funcionários da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Marco Túlio e Odilon, pela sempre pronta atenção e disponibilidade na resolução de problemas.

Aos amigos do grupo de estudo em Agroenergia, sempre dispostos a ajudar e compartilhar suas experiências.

Ao assistente do Laboratório de Melhoramento de Oleaginosas – Agroenergia, Guilherme, pelo auxílio na preparação e instalação do experimento, e por toda energia dispensada ao bom funcionamento do laboratório.

As estagiárias Marianna e Beatriz, que muito contribuíram para que este trabalho fosse realizado, dispensando tempo, força de vontade e zelo à condução do experimento.

À Carolina, presente que o mestrado me deu, por me acompanhar antes, durante e depois do experimento, no planejamento, nas análises do IRGA e no processamento dos dados. Grande parte deste trabalho é fruto da sua ajuda.

À Martha, Fernanda, Carol, Guilherme, Marianna e Beatriz, por sustentarem o experimento na minha ausência, e passando tranquilidade no momento mais difícil da minha vida. Nunca esquecerei tudo o que fizeram por mim.

À Heloisa, doutoranda em Fitotecnia, pelo auxílio constante no planejamento e organização da metodologia a ser aplicada no experimento.

Ao Francisco, pela confecção da curva de retenção de água do solo usado no experimento.

Ao Grupo de Estudos em Genética e Melhoramento (GenMelhor – UFV), uma das melhores coisas que me aconteceu no mestrado. Gratidão por todo aprendizado e estímulo gerado em mim.

Aos meus pais, Luiza e Francisco (*in memoriam*) e aos meus irmãos Lais e Túlio, por acreditarem sempre no meu potencial e por nunca terem poupado esforços para me ver feliz e realizado. São meus maiores incentivadores e meu ponto de partida, para onde sempre quero poder voltar.

À minha namorada Ingridy, por todo amor a mim dedicado, pela paciência e por me ouvir tanto. Por me compreender até mais que eu mesmo, sendo suporte, abrigo e trazendo paz ao meu coração.

À toda minha família, em especial aos meus avós Lino e Ziel e minha tia Ivanise, por todo apoio, carinho e amor. Por se fazerem presentes em pensamento, gestos e preocupação, mesmo distantes fisicamente.

Ao meu amigo-irmão Josinei, por me emprestar seus ouvidos e seus ombros, tornando meu fardo mais leve. Obrigado por ser presença real de Deus em minha vida.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. Introdução .....	1
2. Objetivo Geral .....	3
2.1 Objetivos Específicos .....	3
3. Material e Métodos .....	3
3.1 Delineamento Experimental .....	3
3.2 Instalação do Experimento.....	3
3.3 Avaliações.....	6
3.3.1 Caracteres fisiológicos.....	6
<i>a) Determinação de trocas gasosas e fluorescência de clorofila</i> .....	6
<i>b) Potencial hídrico na antemanhã (<math>\Psi_{am}</math>)</i> .....	7
<i>c) Teores de clorofila a e b</i> .....	7
3.3.2 Caracteres morfoagronômicos .....	7
3.4 Análises estatísticas .....	8
4. Resultados.....	10
4.1 Potencial hídrico na antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) .....	10
4.2 Fluorescência de clorofila e trocas gasosas .....	10
4.3 Teores de clorofila <i>a</i> e <i>b</i> .....	13
4.4 Caracteres morfoagronômicos .....	14
4.4.1 <i>Análise de Variância</i> .....	14
4.4.2 <i>Estimativas de parâmetros genéticos</i> .....	17
4.4.3 <i>Correlações</i> .....	18
5. Discussão .....	19
5.1 Potencial hídrico foliar, parâmetros de fluorescência e trocas gasosas .....	20
5.2 Caracteres morfoagronômicos e estimativas de parâmetros genéticos .....	23
6. Considerações Finais .....	25
7. Referências Bibliográficas.....	26

## RESUMO

ROSMANINHO, Lucas Barbosa de Castro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2019. **Desempenho de genótipos de crambe quanto à tolerância ao déficit hídrico.** Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias.

O déficit hídrico é caracterizado pela disponibilidade insuficiente de água no solo, comprometendo funções vitais das plantas. O desenvolvimento de cultivares tolerantes é a alternativa mais efetiva na mitigação deste problema. A identificação e caracterização de genótipos tolerantes deve ser o primeiro passo do programa de melhoramento. Objetivou-se assim, avaliar e discriminar genótipos de crambe quanto à tolerância ao déficit hídrico por meio de características fisiológicas e morfoagronômicas. Instalou-se o experimento em casa de vegetação, sob delineamento de blocos casualizados, com quatro blocos, em esquema fatorial 2 x 8, sendo dois ambientes (com e sem estresse) e oito genótipos (Linhagens FMS CR 1101, FMS CR 1106, FMS CR 1203, FMS CR 1305, FMS CR 1307, FMS CR 1312 e FMS CR 1326 e a cultivar FMS Brilhante). Os genótipos foram avaliados pelos seguintes caracteres fisiológicos: rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa transpiratória ( $E$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> na folha ( $C_i$ ), razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> ( $C_i/C_a$ ), eficiência do uso da água ( $A/E$ ), potencial hídrico foliar ( $\Psi_{am}$ ) e conteúdo de clorofilas  $a$  e  $b$ . Caracteres morfoagronômicos também foram avaliados, tais como: altura de planta (ALT), altura do primeiro ramo produtivo (APR), diâmetro do caule (DC), número de ramos (NR), massa seca total (MS), produção de grãos (PROD) e peso de cem sementes (M100). As significâncias dos quadrados médios foram testadas pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e estimados os parâmetros genéticos como razão  $b$  entre os coeficientes de variação genética ( $CV_g$ ) e experimental ( $CV_e$ ), variância da interação genótipo x ambiente ( $\hat{\sigma}_{ga}^2$ ), herdabilidade no sentido amplo em nível de media ( $\hat{h}_m^2$ ), correlação intraclasses ( $r$ ) e acurácia seletiva ( $Ac$ ). Coeficientes de correlações genotípicas ( $r_g$ ), fenotípicas ( $r_f$ ) e ambientais ( $r_e$ ) entre as características avaliadas também foram estimados. Os genótipos apresentaram potencial para o melhoramento, devido a existência de variabilidade genética entre os mesmos. Os caracteres ALT, MS e PROD se destacaram por apresentar as maiores estimativas de  $CV_g/CV_e$ ,  $\hat{h}_m^2$ ,  $CV_g$  e  $r$ , revelando a possibilidade de ganhos genéticos com a seleção. De forma geral, o déficit hídrico não provocou limitações fisiológicas severas às plantas.

Ainda assim, após avaliar em conjunto o desempenho dos genótipos quanto aos caracteres fisiológicos e morfoagronômicos, concluiu-se que a cultivar FMS Brilhante e as linhagens FMS CR 1326 e FMS CR 1106 reúnem a maior parte das características favoráveis à seleção, apresentando, portanto, potencial de tolerância ao déficit hídrico.

## ABSTRACT

ROSMANINHO, Lucas Barbosa de Castro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2019. **Performance of crambe genotypes for drought tolerance.** Advisor: Luiz Antônio dos Santos Dias.

The water deficit is characterized by the insufficient availability of water in the soil, compromising vital functions of the plants. The development of tolerant cultivars is the most effective alternative in mitigating of this problem. The identification and characterization of tolerant genotypes should be the first action of the breeding program. The objective of this study was to characterize and validate physiological and morphoagronomic characteristics that may be related to drought tolerance in crambe. The experiment was carried out in greenhouse under a randomized complete block design with four blocks, in a 2 x 8 factorial scheme, two environments (with and without stress) and eight genotypes (FMS CR 1101, FMS CR 1106, FMS CR 1203, FMS CR 1305, FMS CR 1307, FMS CR 1312 and FMS CR 1326 and the cultivar FMS Brilhante). The genotypes were evaluated by the following physiological characters: quantum efficiency of photosystem II ( $F_v/F_m$ ), net assimilation rate of CO<sub>2</sub> ( $A$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ), transpiratory rate ( $E$ ), internal CO<sub>2</sub> concentration in leaf ( $C_i$ ), the ratio between internal and external CO<sub>2</sub> concentration ( $C_i/C_a$ ), water use efficiency ( $A/E$ ), leaf water potential ( $\Psi_{am}$ ) and chlorophyll content  $a$  and  $b$ . Morphoagronomic characters were also evaluated, such as: plant height (ALT), height of the first productive branch (APR), stem diameter (DC), number of branches (NR), total dry mass (DM), grain yield (PROD) and weight of one hundred seeds (M100). The significance of the mean squares were tested by the F test ( $P < 0.05$ ) and estimated the genetic parameters as ratio  $b$  between the genetic ( $CV_g$ ) and experimental ( $CV_e$ ) coefficients of genetic variation ( $CV_e$ ), heritability in the broad sense at the media level ( $\hat{h}_m^2$ ), intraclass correlation ( $r$ ) and selective accuracy ( $Ac$ ). Coefficients of genotypic ( $r_g$ ), phenotypic ( $r_f$ ) and environmental ( $r_e$ ) correlations among the evaluated characteristics were also estimated. The genotypes showed potential for breeding, due to existence of genetic variability between them. The ALT, MS and PROD characters stood out for presenting the highest estimates of  $CV_g / CV_e$ ,  $h_m^2$ ,  $CV_g$  and  $r$ , revealing the possibility of genetic gains with the selection. In general, the water deficit did not cause severe physiological limitations to the plants. Nevertheless, after evaluating the performance of genotypes in terms of physiological and morphoagronomic

characteristics, it was concluded that the cultivar FMS Brilhante and lines FMS CR 1326 and FMS CR 1106 had the most favorable characteristics for the selection, therefore, presenting potential for water deficit tolerance.

## 1. Introdução

Os impactos das mudanças climáticas globais resultantes da elevação constante dos gases de efeito estufa, em especial o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico, sujeitará às culturas a uma maior variedade de estresses ambientais que podem ocorrer simultaneamente e com consequências severas. A seca, condição climática de ocorrência comum aos diferentes climas do planeta, tende a crescer em frequência e intensidade nas próximas décadas em várias partes do mundo, impactando fortemente a economia, a sociedade e o ambiente como um todo (Naumann et al., 2018). No Brasil, o déficit hídrico que antes se restringia às regiões áridas e semiáridas, se estende hoje por grande parte do território nacional, afetando diretamente a cadeia produtiva e a sustentabilidade da agricultura.

O déficit hídrico é caracterizado pela disponibilidade insuficiente de água no solo para atender as demandas das plantas em um momento específico (Tardieu et al., 2018), comprometendo várias funções vitais das mesmas, incluindo mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares (Zandalinas et al., 2018). Alterações na taxa fotossintética, na transpiração, no crescimento de raízes e de parte aérea, bem como no desenvolvimento reprodutivo são alguns dos efeitos observados em plantas submetidas a este agente estressor (Chaves et al., 2003). Processos como a divisão celular, o metabolismo primário e secundário, os mecanismos da parede celular, a atividade de enzimas do sistema antioxidativo e das espécies reativas de oxigênio, e até mesmo mudanças na expressão de determinados genes, são também afetados por esta condição (Seki et al., 2007; Tardieu et al., 2016; Todaka et al., 2017; Tardieu et al., 2018).

Dentre as poucas opções existentes para mitigar os efeitos da seca na produção das culturas, o desenvolvimento de cultivares tolerantes se mostra como alternativa mais efetiva e promissora. No contexto agrícola, uma planta tolerante ao déficit hídrico é aquela que mantém sua produção durante déficits graduais e moderados de água no solo, mesmo sem exibir mecanismos de proteção aparentes (Tardieu, 2012). O crambe (*Crambe abyssinica* Hostch), brássica oleaginosa, é exemplo de espécie de interesse agrícola que apresenta esta tolerância (Glaser, 1996; Martins et al., 2017; Moura et al., 2017).

Originário do Mediterrâneo, o crambe se destaca pelo elevado teor de óleo de suas sementes (30-35%) com alto conteúdo de ácido erúico (63-64%) e outros compostos químicos valiosos (Lalas et al., 2012), os quais tornam a cultura uma importante matéria-prima para as indústrias de biodiesel, de borrachas sintéticas, de plásticos biodegradáveis,

de cosméticos, de lubrificantes, de rações, dentre outras (Falasca et al., 2010; Li et al., 2012; Lovatto et al., 2017; Gällstedt et al., 2017). Características agronômicas favoráveis, como a baixa necessidade nutricional, alta plasticidade morfológica, rusticidade, ciclo curto e ampla adaptabilidade são outros fatores que contribuem para o sucesso da espécie (Bassegio et al., 2016; Zanetti et al., 2016). Por ser uma cultura de outono-inverno, o crambe é excelente alternativa para rotação de culturas com a soja, milho, trigo e outros grãos cultivados nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil (Falasca et al., 2010).

A introdução do crambe no Brasil se deu nos anos 1990 por intermédio da Fundação Mato Grosso do Sul (Fundação MS), que em 2007 lançou a única variedade brasileira registrada até o momento, a cultivar FMS Brilhante (Pitol, 2008). Pesquisas recentes evidenciaram tolerância dessa cultivar ao déficit hídrico (Martins et al., 2017, Moura et al., 2018). Com rendimento de grãos entre 1000 a 1500 kg ha<sup>-1</sup>, a cultivar FMS Brilhante apresenta ampla variabilidade para características agronômicas de interesse, o que tem resultado em ganhos genéticos com a seleção de plantas superiores dentro da própria cultivar (Pitol et al. 2010, Lara-Fioreze et al. 2016). Possui flores hermafroditas tendo como sistema reprodutivo preferencial a autogamia (Lara-Fioreze et al., 2016) com taxa de cruzamento variando de 9 a 14%, conforme as condições ambientais.

No Brasil, o melhoramento de crambe iniciado na Fundação MS culminou no desenvolvimento de linhagens derivadas da própria cultivar FMS Brilhante, objetivando o aumento do rendimento de grãos e da qualidade do óleo (Pitol et al., 2012). A obtenção de plantas tolerantes aos estresses abióticos, como o estresse hídrico, tem se tornado também foco de atenção dos programas atuais de melhoramento. O desenvolvimento de cultivares tolerantes à baixa disponibilidade de água é alternativa eficiente para o aumento da produtividade, permitindo a expansão da cultura para outras regiões promissoras em todo o mundo (Martins et al., 2017).

A identificação e caracterização de genótipos tolerantes, bem como o estudo do comportamento destes em condições de déficit hídrico, deve ser o primeiro passo do programa de melhoramento, facilitando a seleção de novos genótipos e contribuindo para o desenvolvimento de técnicas de seleção que possam reduzir o tempo e o trabalho de avaliação de acessos tolerantes. A seleção fenotípica constitui importante ferramenta na discriminação de genótipos baseados em características morfofisiológicas adaptativas e constitutivas da seca, incluindo a produção e seus componentes (Passioura et al., 2012). Assim, se faz necessário selecionar genótipos com boa combinação de características

agronômicas superiores, contribuindo, cumulativamente, para melhores rendimentos sob condições de déficit hídrico (Tardieu, 2012).

## **2. Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo a avaliação e discriminação de genótipos de crambe quanto à tolerância ao déficit hídrico por meio de características fisiológicas e morfoagronômicas.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Caracterização dos processos fotossintéticos e de fluorescência de clorofila  $\alpha$  das plantas submetidas ao déficit hídrico por meio de trocas gasosas;
- Verificação das principais alterações no comportamento fisiológico de plantas submetidas ao déficit hídrico, incluindo análise dos teores de clorofilas;
- Estimação de parâmetros genéticos para as características avaliadas.

## **3. Material e Métodos**

### **3.1 Delineamento Experimental**

O experimento foi conduzido, de agosto a novembro de 2018, em casa de vegetação do Campo Experimental Diogo Alves de Melo e no Laboratório de Melhoramento de Oleaginosas, ambos pertencentes ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro blocos, em esquema fatorial 2 x 8, sendo dois ambientes (com e sem estresse) e oito genótipos (Linhagens FMS CR 1101, FMS CR 1106, FMS CR 1203, FMS CR 1305, FMS CR 1307, FMS CR 1312 e FMS CR 1326 e a cultivar FMS Brilhante) cedidos pela Fundação Mato Grosso do Sul.

### **3.2 Instalação do Experimento**

Do solo disponível para o experimento, amostras compostas foram retiradas para a realização das análises químicas e físicas em laboratório de rotina (Tabelas 1 e 2). Amostras de solo foram também coletadas para realização da umidade, pelo método direto, através da secagem em estufa de circulação de ar forçada a 105 °C por 48 horas.

**Tabela 1.** Características químicas do solo utilizado para enchimento dos vasos

pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	P-rem
H <sub>2</sub> O	-- mg/dm <sup>3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----							%	mg/L
5,40	12,20	37,00	1,00	0,31	0,00	2,00	1,46	1,46	3,60	42,20	33,80

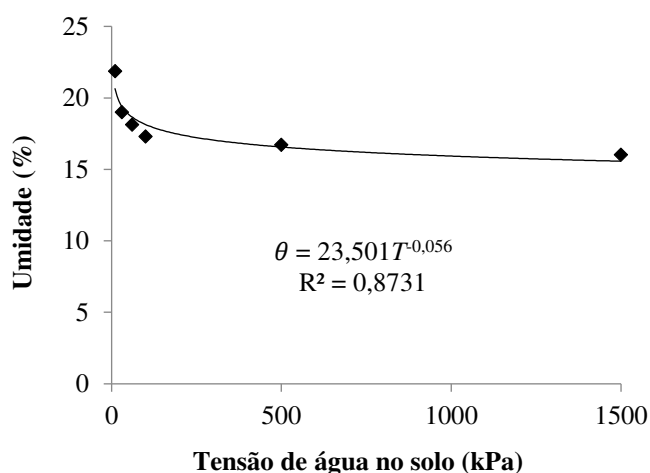
Fonte: Laboratório de Análise de Solo Viçosa LTDA, Viçosa, MG.

**Tabela 2.** Características físicas do solo utilizado para enchimento dos vasos

Argila	Silte	Areia	Classificação textural	Tipo de solo
----- % -----				
17	4	59	Franco-Arenosa	1 - Arenoso

Fonte: Laboratório de Análise de Solo Viçosa LTDA, Viçosa, MG.

A partir dos resultados das análises de fertilidade foi realizada a adubação do solo, de acordo com as recomendações da cultura. Com o solo adubado, uma nova amostra foi retirada e encaminhada ao Laboratório de Hidráulica da UFV para confecção da curva de retenção de água (Figura 1).

**Figura 1.** Curva de retenção de água no solo, onde  $\theta$  representa a umidade em porcentagem, e  $T$  representa a tensão de água no solo.

Com base na equação da curva ( $\theta = 23,501T^{-0,056}$ , Figura 1) foi possível estimar a umidade do solo em capacidade de campo e na situação de estresse desejada, bem como a umidade crítica na qual a planta reduz significativamente sua produtividade. Conceitualmente tem-se que solos arenosos se encontram em capacidade de campo na tensão de 10 kPa. Para simulação do estresse hídrico, aplicou-se tensão de 900 kPa, sendo este um valor superior à umidade crítica, capaz de causar o estresse, e inferior ao ponto de murcha permanente do solo (1500 kPa).

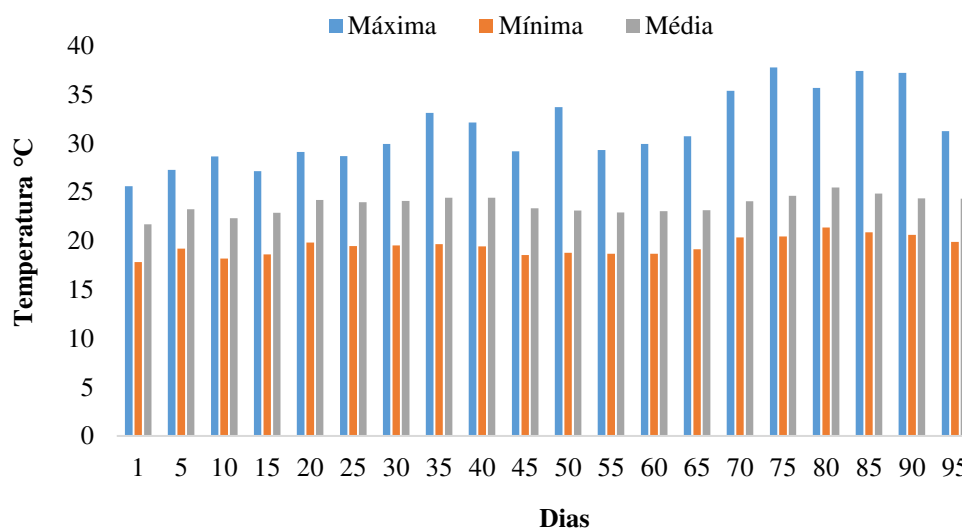
Todos os vasos foram preenchidos com a mesma quantidade de solo e pesados para garantir a padronização da massa de solo úmido ( $M_{SU}$ ). O peso inicial dos vasos ( $P_{INI}$ ) foi constituído pela massa do recipiente vazio ( $M_{VASO}$ ) mais a massa do solo úmido ( $P_{INI} = M_{VASO} + M_{SU}$ ). Ao se conhecer a massa do recipiente vazio ( $M_{VASO}$ ) e o peso inicial ( $P_{INI}$ ), por dedução foi obtida a massa de solo úmida, subtraindo a  $M_{VASO}$  do  $P_{INI}$  ( $M_{SU} = P_{INI} - M_{VASO}$ ). Logo, a massa de solo seco ( $M_{SS}$ ) será a  $M_{SU}$  menos a umidade presente naquele solo, sendo obtida pela fórmula  $M_{SS} = M_{SU}/(\text{Umidade} \times 100 + 1)$ .

Sementes de crambe foram tratadas com fungicida Derosal<sup>®</sup> (Carbedazin + Thiram) e então semeadas em vasos plásticos com capacidade de 12 litros de solo. Foram colocadas cinco sementes por vaso e, após a emergência, as plântulas foram desbastadas, deixando-se somente uma por vaso.

Após a instalação do experimento foi elaborado um sistema composto pela massa de água ( $M_{\text{água}}$ ), do solo seco ( $M_{SS}$ ), do vaso ( $M_{\text{vaso}}$ ) e da planta ( $M_{\text{planta}}$ ), sendo definida, a equação da massa do sistema:  $M_{\text{sist}} = M_{\text{vaso}} + M_{SS} + M_{\text{água}} + M_{\text{planta}}$ . A massa da planta foi determinada a partir da mensuração da matéria fresca de plantas em estágios fenológicos diferentes. Para isso, foram acrescentadas plantas adicionais às parcelas, cultivadas paralelamente às plantas avaliadas. Foi organizada uma planilha eletrônica, onde o peso do sistema, em seus respectivos tratamentos, foi monitorado e mantido como o peso a ser atingido todos os dias por meio de manejo de irrigação. Durante o período de imposição do estresse, uma amostra representativa de vasos por bloco foi pesada às 10 e 16 horas, e, a partir da diferença de massa correspondente a cada tratamento, a lâmina de água foi aplicada para equilibrar às massas do sistema.

A condução das plantas foi realizada normalmente até o período de florescimento (40-60 dias após a germinação). A partir desse estágio, as plantas foram induzidas ao estresse hídrico por 15 dias. Ao final da floração, e após os 15 dias, as plantas voltaram a ser conduzidas na capacidade de campo.

As temperaturas máximas e mínimas foram aferidas diariamente com auxílio de um termômetro digital, localizado dentro da casa de vegetação. Os dados de temperatura são apresentados abaixo (Figura 2).



**Figura 2.** Valores de temperaturas máximas, mínimas e médias, aferidas diariamente e apresentadas por intervalos de cinco dias, durante o período experimental.

### 3.3 Avaliações

#### 3.3.1 Caracteres fisiológicos

##### a) Determinação de trocas gasosas e fluorescência de clorofila

Após o período de florescimento das plantas, 15 dias após a aplicação do estresse, foi realizada, simultaneamente, a leitura dos parâmetros de trocas gasosas e de fluorescência de clorofila  $\alpha$ , com o auxílio de um IRGA portátil (LI-6400XT, Li-Cor Inc., Lincoln, NE) equipado com câmara de fluorescência (LI-6400). A taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), taxa transpiratória ( $E$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  na folha ( $C_i$ ), razão entre a concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ) e eficiência do uso da água ( $A/E$ ) foram medidas na quinta folha completamente expandida das plantas com luz saturante de  $1200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,  $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  e  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  de temperatura ambiente. As leituras foram realizadas entre 8h:00 e 11h:00.

As folhas previamente adaptadas ao escuro (4h:00 e 6h:00 da manhã) foram iluminadas com luz vermelha modulada de baixa intensidade ( $0,03 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) para obtenção da fluorescência mínima ( $F_0$ ). Em seguida, pulsos saturantes de luz branca de  $8000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , foram aplicados durante 0,8 segundo para assegurar a emissão de fluorescência máxima ( $F_m$ ). De posse desses valores foi calculado o rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $(F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m)$ ) (Maxwell e Johnson, 2000).

*b) Potencial hídrico na antemanhã ( $\Psi_{am}$ )*

O potencial de água nas folhas ( $\Psi_{am}$ ) foi medido antes do amanhecer (04h:00 e 06h:00) com uma Câmara de pressão Scholander (Scholander et al., 1965). A medição foi realizada no mesmo dia de leitura de trocas gasosas e fluorescência de clorofila  $\alpha$ .

*c) Teores de clorofila a e b*

As leituras de clorofila foram determinadas, indiretamente, utilizando-se um clorofiLOG CFL1030® (Falker automação agrícola, 2008), medidor portátil de clorofila, ao final do período de imposição do estresse. Três folhas de cada planta foram avaliadas para posterior obtenção de uma média geral para análise.

### *3.3.2 Caracteres morfoagronômicos*

As seguintes avaliações foram realizadas no final do ciclo da cultura (cem dias após o plantio):

*a) Altura de planta (ALT, em cm):*

Distância da superfície do solo ao ápice da planta.

*b) Altura do primeiro ramo produtivo (APR, em cm):*

Distância da superfície do solo ao primeiro ramo reprodutivo da planta.

*c) Diâmetro do caule (DC, em mm):*

Medição do diâmetro do caule rente ao solo usando paquímetro digital.

*d) Número de ramos por planta (NR):*

Contagem do número de ramos por planta.

*e) Matéria seca total da planta (MS, em g):*

As plantas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C até peso constante, e posteriormente pesadas.

*f) Produção de grãos (PROD, em g):*

Avaliou-se a produção final de grãos por planta, pesando-os em balança digital de precisão.

g) *Massa de 100 sementes (M100, em g):*

Determinada através da pesagem de uma amostra de 100 grãos por planta, com auxílio de balança digital de precisão.

### 3.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância univariada (ANOVA) para avaliar a existência de variabilidade genética entre os genótipos, segundo o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = m + b_k + g_i + a_j + ga_{ij} + e_{ijk}, \text{ em que:}$$

$Y_{ijk}$  é o valor observado para dada característica, relativo à i-ésimo genótipo, no j-ésimo ambiente e no k-ésimo bloco;

$m$  é a média geral do experimento;

$b_k$  é o efeito associado ao k-ésimo bloco;

$g_i$  é o efeito associado ao i-ésimo genótipo;

$ga_{ij}$  é o efeito associado a interação genótipo-ambiente;

$e_{ijk}$  é o efeito associado a do erro experimental associado ao i-ésimo genótipo, j-ésimo ambiente e k-ésimo bloco.

Neste modelo, o fator ambiente (com e sem estresse) foi considerado fixo e os efeitos de genótipos, blocos e erro experimental como aleatórios. As significâncias dos quadrados médios foram testadas pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Para os caracteres morfoagronômicos estimaram-se os parâmetros genéticos e os coeficientes de correlações genotípicas ( $r_g$ ), fenotípicas ( $r_f$ ) e ambientais ( $r_e$ ) (Cruz et al., 2012). Todas as análises dos dados experimentais foram realizadas no software Genes (Cruz, 2013).

Os parâmetros genéticos foram estimados a partir dos componentes de variância obtidos dos quadrados médios do esquema de análise de variância abaixo (Dias e Barros, 2009):

**Tabela 3.** Esquema de análise de variância para decomposição dos componentes de variação.

Fontes de variação	Gl	E(QM)	Q
Genótipos (A)	7	$\sigma_e^2 + \left[ \frac{ra}{(a-1)} \right] \sigma_{ab}^2 + rb\sigma_a^2$	Q <sub>4</sub>
Ambientes (B)	1	$\sigma_e^2 + \left[ \frac{ra}{(b-1)} \right] \sum_j b_j^2$	Q <sub>3</sub>
A x B	7	$\sigma_e^2 + \left[ \frac{ra}{(a-1)} \right] \sigma_{ab}^2$	Q <sub>2</sub>
Erro	45	$\sigma_e^2$	Q <sub>1</sub>

- a) Variância genética:  $\hat{\sigma}_g^2$
- b) Variância da interação genótipo x ambiente:  $\hat{\sigma}_{ga}^2$
- c) Variância ambiental:  $\hat{\sigma}_e^2$
- d) Herdabilidade no sentido amplo:  $\hat{h}_m^2$
- e) Correlação intraclasse:  $r$
- f) Coeficiente de variação genética:  $CV_g$
- g) Razão  $CV_g/CV_e$  (b):  $b$
- h) Acurácia da seleção:  $A_c$

Os coeficientes de correlações genóticas ( $r_g$ ), fenotípicas ( $r_f$ ) e ambientais ( $r_e$ ) entre as características avaliadas foram estimados pelas seguintes expressões (Cruz et al., 2012):

$$r_{f(xy)}: \frac{\hat{\sigma}_{fxy}^2}{\sqrt{\hat{\sigma}_{fx}^2 \hat{\sigma}_{fy}^2}}$$

$$r_{g(xy)}: \frac{\hat{\sigma}_{gxy}^2}{\sqrt{\hat{\sigma}_{gx}^2 \hat{\sigma}_{gy}^2}}$$

$$r_{e(xy)}: \frac{\hat{\sigma}_{exy}^2}{\sqrt{\hat{\sigma}_{ex}^2 \hat{\sigma}_{ey}^2}}$$

em que,

$r_{xy}$  é a correlação entre os caracteres X e Y.

As estimativas de correlações foram avaliadas pela sua magnitude, sendo para isto, adotada a seguinte escala: correlação baixa ( $r < 0,3$ ); média ( $0,31 < r < 0,5$ ); moderada ( $0,51 < r < 0,7$ ); alta ( $r > 0,7$ ) (Dias e Barros, 2009).

#### 4. Resultados

##### 4.1 Potencial hídrico na antemanhã ( $\Psi_{am}$ )

O déficit hídrico aplicado no solo induziu significativa redução no potencial hídrico das folhas de crambe, ao se comparar os ambientes (Tabela 4), não sendo observada, no entanto, nenhuma variação significativa para genótipos e para a interação genótipo x ambiente. A média geral do  $\Psi_{am}$  amostrado na antemanhã do dia de avaliação, foi de -0,53 Mpa, aliado a um coeficiente de variação de 13,6%, o que revela a baixa dispersão dos dados em torno da média.

**Tabela 4.** Médias para o potencial hídrico na antemanhã das folhas de crambe em cada ambiente

Ambientes	$\Psi_{am}$ (MPa)
Controle	- 0,4338
Estresse	- 0,6330
P-valor (Teste F)	0,0000*

\* Significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

##### 4.2 Fluorescência de clorofila e trocas gasosas

De acordo com resultados da análise de variância (Tabela 5) foram verificados efeitos significativos pelo teste F, a 5% de significância, para genótipos, nas variáveis  $A$ ,  $E$ ,  $C_i/C_a$  e  $A/E$  e para ambientes, nas variáveis  $F_v/F_m$ ,  $C_i$ ,  $C_i/C_a$  e  $A/E$ .  $G_s$  foi a única característica que não apresentou efeito significativo para nenhuma das fontes de variação em estudo, o que pode estar relacionado ao elevado coeficiente de variação experimental (80,42%) associado à variável. A interação genótipo x ambiente foi não significativa para todas as variáveis analisadas (Tabela 5), evidenciando a independência dos fatores.

Assim, pode-se dizer, que as diferenças entre genótipos foi essencialmente a mesma nos dois ambientes estudados (com e sem estresse).

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> na folha ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> ( $C_i/C_a$ ) e eficiência do uso da água ( $A/E$ ,  $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$ ) relativa a oito genótipos de crambe cultivados sob diferentes regimes hídricos (com e sem estresse)

FV	Quadrados Médios							
	gl	$F_v/F_m$	$A$	$g_s$	$C_i$	$E$	$C_i/C_a$	$A/E$
Bloco	3	0,0021	111,4050	0,0343	17018,1913	11,2219	0,0637	0,8260
Genótipo (G)	7	0,0020	75,7990*	0,0182	3494,2827	5,0140*	0,0244*	5,6884*
Ambiente (A)	1	0,0372*	13,0215	0,0001	13588,8854*	0,6452	0,0506*	10,7529*
G x A	7	0,0015	21,8580	0,0088	3265,2277	1,2658	0,0076	0,5168
Erro	45	0,0020	21,597	0,0097	092,1298	2,1727	0,0119	2,2962
Média		0,81	9,01	0,12	221,87	2,66	0,62	3,50
CV (%)		5,65	51,56	80,42	25,06	55,44	17,63	43,26

\* Significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

Testes de comparações múltiplas foram realizados para as variáveis que apresentaram significância entre ambientes (Tabela 6). Para a variável  $F_v/F_m$ , a única diferença observada ocorreu entre ambientes (Tabela 6), sendo um indicativo da eficiência do estresse aplicado, revelando a existência de danos no aparato fotossintético das plantas ( $F_v/F_m < 0,8$ ), mesmo na ausência de variação significativa entre os genótipos. Em  $A$ , ao contrário de  $F_v/F_m$ , observou-se variação significativa apenas entre genótipos, indicando assim, que os danos causados à maquinaria fotossintética do crambe não foram suficientes para diminuir a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> das plantas. Os maiores valores de fotossíntese líquida foram registrados na cultivar FMS Brilhante e nas linhagens FMS CR 1326 e FMS CR 1106 (Tabela 5).

**Tabela 6.** Médias para rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  na folha ( $C_i$ ,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), taxa de transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), razão entre a concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ) e eficiência do uso da água ( $A/E$ ,  $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$ ) relativa a oito genótipos de crambe cultivados sob diferentes regimes hídricos (ambientes com e sem estresse)

Genótipos									
Ambientes	1	2	3	4	5	6	7	8	Média
$F_v/F_m$									
Controle	0,82	0,82	0,84	0,85	0,81	0,84	0,86	0,82	0,83a
Estresse	0,81	0,78	0,79	0,79	0,75	0,81	0,75	0,78	0,78b
$A$									
Controle	11,80	4,05	4,94	7,91	8,03	11,94	9,09	16,00	9,16
Estresse	10,49	11,92	3,08	5,14	7,64	12,84	8,30	14,00	9,16
$g_s$									
Controle	0,16	0,13	0,06	0,07	0,08	0,20	0,10	0,20	0,12
Estresse	0,13	0,05	0,04	0,23	0,09	0,17	0,12	0,21	0,13
$C_i$									
Controle	173,6	224	206	222,7	208,5	227	169	236	208,32b
Estresse	274,3	187	248	246,6	229,8	288	199	251	240,40a
$E$									
Controle	3,46	2,72	1,52	1,49	2,07	3,52	2,33	3,60	2,59
Estresse	3,73	1,37	1,55	3,14	2,50	4,08	2,55	3,50	2,80
$C_i/C_a$									
Controle	0,59	0,57	0,57	0,66	0,53	0,63	0,52	0,70	0,59b
Estresse	0,71	0,54	0,62	0,69	0,61	0,74	0,59	0,70	0,65a
$A/E$									
Controle	3,40	4,38	3,30	3,73	3,92	3,32	3,47	6,30	3,97a
Estresse	2,69	3,12	1,88	2,37	3,11	2,90	3,12	5,30	3,05b

\* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade (n = 4). Genótipos: 1 (FMS Brillhante), 2 (FMS CR 1307), 3 (FMS CR 1312), 4 (FMS CR 1203), 5 (FMS CR 1305), 6 (FMS CR 1326), 7 (FMS CR 1101) e 8 (FMS CR 1106).

As leituras realizadas permitiram a constatação de uma concentração média geral de  $221 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  interno às folhas ( $C_i$ ), apresentando variação significativa apenas entre ambientes (Tabela 6). O oposto foi verificado na variável  $E$ , que apresentou diferenças significativas apenas entre genótipos (Tabela 6), sendo os maiores valores também observados na cultivar FMS Brilhante e nas linhagens FMS CR 1326 e FMS CR 1106.

As variáveis  $C_i/C_a$  e  $A/E$  foram as únicas que apresentaram significância tanto para genótipos quanto para ambientes. Em relação à razão  $C_i/C_a$ , a linhagem FMS CR 1203, se juntou aos genótipos que já estavam apresentando maiores valores para as demais variáveis (FMS CR 1326, FMS CR 1106 e FMS Brilhante). A linhagem FMS CR 1106 se mostrou mais eficiente em relação ao uso da água (Tabela 6), superando a cultivar comercial FMS Brilhante.

#### **4.3 Teores de clorofila *a* e *b***

Os teores de clorofila *a* e *b* apresentaram diferenças significativas entre genótipos e ambientes (Tabela 7). Nenhuma diferença, no entanto, foi observada entre as variáveis ao se estudar a interação genótipo x ambiente. As análises do clorofilômetro foram realizadas com considerável precisão experimental, uma vez que o coeficiente de variação foi de 5,72% para os teores de clorofila *a* (média geral de 32) e de 15,26% para clorofila *b* (média geral de 12).

Testes de médias para ambientes foram realizados em ambas as variáveis (Tabela 7). Redução significativa foi observada em ambas variáveis, em relação ao controle, quando submetidas ao déficit hídrico (Tabela 8). Para o teor de clorofila *a* verificou-se redução de 10,13% em relação ao controle, enquanto que, para clorofila *b*, redução de 27,65% foi observada.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para os teores de clorofilas *a* e *b* relativa a oito genótipos de crambe cultivados sob diferentes regimes hídricos (com e sem estresse)

<b>Quadrados Médios</b>			
<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b>Clorofila <i>a</i></b>	<b>Clorofila <i>b</i></b>
Bloco	3	13,0039	8,6313
Genótipo (G)	7	9,2802*	12,2383*
Ambiente (A)	1	170,8744*	218,7493*
G x A	7	5,8952	3,4847
Erro	45	3,3544	3,4609
Média		32,0198	12,1131
CV (%)		5,72	15,36

\* Significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 8.** Médias para teores de clorofila *a* e *b* relativa a oito genótipos de crambe cultivados sob diferentes regimes hídricos (ambientes com e sem estresse)

<b>Genótipos</b>									
<b>Ambientes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>Média</b>
<b>Clorofila <i>a</i></b>									
Controle	33,22	32,56	33,67	33,57	34,10	33,27	35,46	33,08	33,61a
Estresse	31,67	26,56	31,58	31,06	30,86	31,99	29,36	29,53	30,33b
<b>Clorofila <i>b</i></b>									
Controle	14,25	12,11	15,45	15,52	15,19	11,77	14,63	12,29	13,90a
Estresse	11,50	8,34	11,57	10,22	10,76	11,05	8,81	8,75	10,12b

\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade (n = 4). Genótipos: 1 (FMS Brilhante), 2 (FMS CR 1307), 3 (FMS CR 1312), 4 (FMS CR 1203), 5 (FMS CR 1305), 6 (FMS CR 1326), 7 (FMS CR 1101) e 8 (FMS CR 1106).

#### **4.4 Caracteres morfoagronômicos**

##### **4.4.1 Análise de Variância**

Através dos resultados da análise de variância, verificou-se efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) entre genótipos para seis (ALT, DC, NR, MS, PROD, M100) das sete variáveis estudadas

(Tabela 9), indicando a existência de variabilidade genética. A variável ALT foi a única a apresentar diferenças significativas para ambientes (Tabela 9).

**Tabela 9.** Resumo da análise de variância para altura da planta (ALT, cm), altura do primeiro ramo produtivo (APR, cm), diâmetro do caule (DC, mm), número de ramos (NR), massa seca total da planta (MS, g), produção em grãos (PROD, g) e massa de cem sementes (M100, g), relativa a oito genótipos de crambe cultivados sob diferentes regimes hídricos (ambientes com e sem estresse).

FV	gl	Quadrados Médios						
		ALT	APR	DC	NR	MS	PROD	M100
Bloco	3	80,60	1,59	1,33	1,12	8,18	0,07	0,0029
Genótipo (G)	7	535,60*	1,06	2,31*	17,87*	128,90*	4,45*	0,0072*
Ambiente (A)	1	921,90*	0,71	0,30	0,03	1,17	0,41	0,0004
G x A	7	144,90*	1,49*	2,59*	6,15	42,76*	0,63	0,0075*
Erro	45	63,50	0,66	0,94	4,58	14,64	0,36	0,0017
Média	-	75,08	5,65	8,76	16,94	13,38	2,35	0,50
CV (%)	-	10,61	14,42	11,08	12,63	28,60	25,71	8,16

\*Significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade

O menor coeficiente de variação experimental (Tabela 9) foi observado na variável M100 (8,16%). Na maior parte das variáveis, verificou-se variação de CV (%) entre 10,61% (ALT) e 14,42 (APR), o que, de acordo com Pimentel Gomes (2009), revela média precisão experimental. As variáveis MS e PROD, foram as únicas a apresentar coeficientes de variação superiores a 20%, o que demonstra maior dispersão dos dados.

A cultivar FMS Brilhante se manteve no grupo dos genótipos com médias superiores em quase todas as variáveis (Tabela 10), sendo a única exceção verificada na variável MS. Melhor comportamento ainda, foi observado para a linhagem FMS CR 1307, que se manteve no grupo das médias superiores em todas as variáveis analisadas. As linhagens FMS CR 1326 e FMS CR 1106, apresentaram desempenho semelhante ao verificado nas variáveis fisiológicas, se aproximando da cultivar FMS Brilhante em algumas características, como por exemplo, DC, NR e PROD (Tabela 10). Com relação à variável ALT, uma redução significativa média de 6,84 cm foi observada com a imposição do estresse (Tabela 10).

**Tabela 10.** Médias para altura da planta (ALT), altura do primeiro ramo produtivo (APR) diâmetro do caule (DC), número de ramos (NR), massa seca total da planta (MS), produção em grãos (PROD) e massa de cem sementes (M100), relativa a oito genótipos de crambe cultivados sob diferentes regimes hídricos (ambientes com e sem estresse)

<b>Genótipos</b>									
<b>Ambientes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>Média</b>
ALT (cm)									
Controle	81,73	91,87	81,86	71,32	84,53	78,37	75,01	66,66	78,9a
Estresse	78,87	80,37	65,00	63,50	87,75	56,82	71,78	66,25	71,2b
APR (cm)									
Controle	6,00	5,80	5,81	5,62	5,75	5,00	5,37	5,00	5,54
Estresse	5,44	6,00	4,33	5,75	6,75	6,00	6,18	5,59	5,76
DC (mm)									
Controle	9,34	9,44	8,99	6,66	9,06	9,52	8,72	8,89	8,83
Estresse	9,21	9,24	7,38	8,97	8,41	8,81	8,63	8,88	8,69
NR									
Controle	20,25	18,00	17,50	13,50	17,25	18,00	16,50	14,33	16,92
Estresse	16,87	17,33	17,00	15,50	18,25	18,83	15,75	16,13	16,96
MS (g)									
Controle	13,70	19,40	16,76	9,34	11,01	10,43	18,66	6,66	13,24
Estresse	15,02	17,98	7,08	9,85	17,20	13,83	18,98	8,19	13,52
PROD (g)									
Controle	3,09	3,19	2,22	2,19	2,06	3,17	2,49	0,95	2,42
Estresse	2,61	3,10	1,93	2,09	2,03	2,16	3,48	0,71	2,26
M100 (g)									
Controle	0,51	0,54	0,50	0,51	0,49	0,42	0,54	0,47	0,50
Estresse	0,50	0,50	0,52	0,53	0,49	0,55	0,53	0,41	0,50

\* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade (n = 4). Genótipos: 1 (FMS Brilhante), 2 (FMS CR 1307), 3 (FMS CR 1312), 4 (FMS CR 1203), 5 (FMS CR 1305), 6 (FMS CR 1326), 7 (FMS CR 1101) e 8 (FMS CR 1106).

As variáveis ALT, APR, DC, MS e M100 apresentaram significância ( $p < 0,05$ ) para a interação entre genótipos e ambientes (Tabela 9), o que significa dizer, que o ambiente influenciou diferencialmente a expressão dos genótipos. Para estas variáveis, desdobrou-se um fator dentro do outro (Tabela 11), afim de decompor seus efeitos

simples. Os dois regimes hídricos, ambientes aos quais as plantas foram submetidas, influenciaram significativamente o comportamento das linhagens: FMS CR 1307 para a variável ALT; FMS CR 1312 para ALT, APR, DC, MS; FMS CR 1203 para DC; FMS CR 1305 para APR e MS; FMS CR 1326 para ALT, APR e M100 e FMS CR 1106 para M100. Para as características NR e PROD, que não apresentaram significância para a interação, estudou-se os fatores de forma isolada (Tabela 9).

**Tabela 11.** Desdobramento dos fatores genótipos e ambientes para altura da planta (ALT), altura do primeiro ramo produtivo (APR), diâmetro do caule (DC), massa seca total da planta (MS), e massa de cem sementes (M100), em oito genótipos de crambe cultivados sob diferentes regimes hídricos (com e sem estresse)

FV		Quadrados Médios					
		gl	ALT	APR	DC	MS	M100
<b>Genótipo/Ambiente</b>		14	340,27*	1,27*	2,41*	85,82*	0,0074*
Genótipos	Controle	7	253,79*	0,57	3,39*	86,47	0,0067*
	Estresse	7	426,75*	1,96*	1,43	85,17*	0,0081*
<b>Ambiente/Genótipo</b>		8	242,05*	1,39*	2,23*	37,55*	0,0067*
Ambientes	FMS Brilhante	1	16,34	0,63	0,33	3,48	0,0004
	FMS CR 1307	1	264,50*	0,080	0,0790	4,0054	0,0035
	FMS CR 1312	1	569,53*	4,37*	5,15*	187,73*	0,0010
	FMS CR 1203	1	112,50	0,031	10,71*	0,5200	0,0005
	FMS CR 1305	1	21,13	2,00*	0,86	76,73*	0,0000
	FMS CR 1326	1	930,96*	2,00*	1,04	23,12	0,038*
	FMS CR 1101	1	21,13	1,32	0,02	0,19	0,0008
	FMS CR 1106	1	0,35	0,71	0,00	4,66	0,0096*

\*Significativo ao teste F ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4.4.2 Estimativas de parâmetros genéticos

Uma vez que se confirmou a existência de variabilidade genética entre os genótipos em estudo, estimaram-se os parâmetros genéticos (Tabela 12). A  $\sigma_g^2$  estimada reafirmou a variabilidade entre genótipos, já que em todas as variáveis, esta estimativa foi diferente de zero.

**Tabela 12.** Estimativas de parâmetros genéticos para altura de planta (ALT), altura do primeiro ramo produtivo (APR), diâmetro do caule (DC), número de ramos (NR), massa seca total da planta (MS), produção de grãos (PROD) e massa de cem sementes (M100), em oito genótipos de crambe cultivados sob diferentes regimes hídricos (ambientes com e sem estresse)

<b>Estimativas</b>	<b>ALT</b>	<b>APR</b>	<b>DC</b>	<b>NR</b>	<b>MS</b>	<b>PROD</b>	<b>M100</b>
$\sigma_g^2$	59,02	0,05	0,17	1,66	14,28	0,51	0,0007
$\sigma_{g \times a}^2$	10,18	0,10	0,20	0,20	3,51	0,03	0,0007
$\sigma_e^2$	63,46	0,66	0,94	4,58	14,14	0,36	0,0017
$h_m^2$	0,88	0,37	0,59	0,74	0,89	0,92	0,77
$r$	0,48	0,07	0,15	0,27	0,49	0,58	0,29
$CV_g$	10,23	3,93	4,72	7,61	28,24	30,45	5,20
$CV_g/CV_e$	0,96	0,27	0,43	0,60	0,99	1,18	0,64
$A_c$	0,94	0,61	0,77	0,86	0,94	0,96	0,87

$\sigma_g^2$ : variância genotípica média;  $\sigma_{g \times a}^2$ : variância genotípica média da interação genótipo x ambiente;  $\sigma_e^2$ : variância ambiental média;  $h_m^2$ : coeficiente de herdabilidade em nível de média dos genótipos;  $r$ : correlação intraclasses;  $CV_g$ : Coeficiente de variação genotípica;  $CV_g/CV_e$ : razão entre o coeficiente de variação genotípica e o coeficiente de variação ambiental;  $A_c$ : acurácia de seleção de genótipos.

As variáveis ALT, APR, DC, NR e M100 apresentaram estimativa de  $\sigma_e^2$  maiores que as estimativas de  $\sigma_g^2$ . O maior valor de  $\sigma_g^2$  foi verificado para a variável ALT (59,02), o que mostra que entre as variáveis avaliadas, ALT possui a maior variabilidade, sendo altamente promissora para a realização da seleção.

Maiores estimativas para  $CV_g$  (10,23; 28,24 e 30,45),  $CV_g/CV_e$  (0,96; 0,99 e 1,18),  $h_m^2$  (0,88; 0,89 e 0,92) e  $r$  (0,48; 0,49 e 0,58), foram verificadas simultaneamente nas variáveis ALT, MS e PROD, respectivamente. A acurácia ( $A_c$ ), que demonstra o grau de confiabilidade dos resultados na avaliação genética do caráter, variou de 0,77 (DC) a 0,96 (PROD).

#### 4.4.3 Correlações

O nível de associação entre os caracteres morfoagronômicos avaliados foi mensurado através das estimativas de correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais (Tabela 13).

Correlações fenotípicas ( $r_f$ ) altas ( $r > 0,7$ ) e positivas foram observadas entre os caracteres MS x PROD e PROD x M100 (Tabela 13). As correlações genotípicas ( $r_g$ ) entre os caracteres, com exceção de NR x MS, foram maiores e de mesmo sinal de suas respectivas correlações fenotípicas, o que revela pouca influência do ambiente na expressão do fenótipo.

**Tabela 13.** Correlações fenotípicas ( $r_f$ ), genotípicas ( $r_g$ ) e ambientais ( $r_e$ ) entre os caracteres morfoagronômicos: altura de planta (ALT), altura do primeiro ramo produtivo (APR), diâmetro do caule (DC), número de ramos (NR), massa seca total da planta (MS), produção de grãos (PROD) e massa de cem sementes (M100), avaliados em oito genótipos de crambe, cultivados sob diferentes regimes hídricos (com e sem estresse)

Caracteres		APR	DC	NR	MS	PROD	M100
ALT	$r_f$	0,6886	0,4304	0,5738	0,6752	0,5422	0,3310
	$r_g$	1,2665	0,4726	0,5795	0,6754	0,5464	0,3936
	$r_e$	-0,1366	0,4046	0,6000	0,6739	0,5138	0,0467
APR	$r_f$		0,2519	0,2061	0,5417	0,2743	0,3221
	$r_g$		0,8011	0,5204	1,0378	0,5130	0,7662
	$r_e$		-0,2458	-0,1692	-0,2051	-0,1139	-0,2265
DC	$r_f$			0,6800	0,4140	0,1379	-0,2699
	$r_g$			0,9561	0,5060	0,1498	-0,3965
	$r_e$			0,1411	0,2205	0,1503	-0,0099
NR	$r_f$				0,4459	0,4389	0,0605
	$r_g$				0,4028	0,4402	0,1194
	$r_e$				0,6966	0,5192	-0,1202
MS	$r_f$					0,8426	0,6985
	$r_g$					0,8803	0,8594
	$r_e$					0,5030	-0,0560
PROD	$r_f$						0,8822
	$r_g$						1,0538
	$r_e$						-0,0068

## 5. Discussão

## 5.1 Potencial hídrico foliar, parâmetros de fluorescência e trocas gasosas

A redução significativa do potencial hídrico foliar, observado nas plantas submetidas ao déficit hídrico (Tabela 4), revelou a eficiência do estresse aplicado, garantindo a diferenciação dos ambientes, sendo, o ponto de partida para que as demais análises fossem realizadas. De acordo com Sperry et al. (2002), a ocorrência de  $\Psi_{am}$  muito baixos, como os observados nas plantas sob restrição hídrica do presente estudo, levam o sistema de transporte hidráulico das mesmas à uma situação de estresse, já que há uma tendência contínua de aumento na resistência hidráulica solo-planta-atmosfera, em virtude de problemas no xilema e nos tecidos extra-axilares. Se uma limitação hídrica mais severa fosse aplicada, o transporte de água pelas plantas poderia ser completamente interrompido (Choat et al., 2012).

O potencial médio verificado nas plantas estressadas (-0,63 MPa) condiz com os dados da literatura, sendo capaz de promover o estresse, sem ocasionar a morte da planta. Batista et al. (2018), trabalhando com irrigação controlada ao nível de 50% da capacidade de retenção de água no solo com cultura do crambe, verificaram potenciais médios variando de -0,4 a -0,6 Mpa, o que também não promoveu a morte de plantas. Além do importante papel na determinação das respostas das culturas à seca e outros fatores de estresse, o conhecimento do  $\Psi_{am}$  é de grande valor para o estudo de processos metabólicos, como por exemplo, do crescimento das plantas através da expansão celular impulsionada pelo turgor (Slatyer e Taylor, 1961).

O estudo do padrão de dissipação da energia solar pela fluorescência de clorofila *a*, revelou que o déficit hídrico provocou dano real ao aparato fotossintético do crambe, evidenciado pela redução significativa nos valores de  $F_v/F_m$  entre tratamentos (Tabela 6), sendo portanto, mais um indicador da eficiência do estresse aplicado.  $F_v/F_m$  é considerado um parâmetro indicador de estresse em plantas e é entendido como estimador da eficiência máxima da atividade fotoquímica do fotossistema II (FSII), quando todos os seus centros de reação estão abertos (Baker 2008). Em plantas não estressadas o valor  $F_v/F_m$  encontra-se em torno de 0,8; sendo valores abaixo deste interpretados como indicativo de planta sob estresse (Maxwell e Johnson 2000). A resposta evidenciada em  $F_v/F_m$  deve-se às alterações na capacidade de oxidação dos centros de reações no FSII (> valor de  $F_0$ ), limitando a capacidade de transferência da energia de excitação da antena para o centro de reação (Baker e Rosenqvist, 2004). Semelhantemente, outro problema associado é a redução na intensidade máxima da fluorescência (< valor de  $F_m$ ), quando o

pool de quinonas encontra-se reduzido, fazendo com que centros de reação não atinjam sua capacidade máxima de reações fotoquímicas.

Os dados de  $F_v/F_m$  podem ainda revelar o nível energético dos pigmentos que conduzem à fotossíntese (Tester e Bacic, 2005), assim, os valores elevados e não significativos desta variável entre genótipos, podem estar relacionados a uma suposta eficiência no uso da radiação pela fase fotoquímica do processo, e conseqüentemente da assimilação de carbono, uma vez que não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos em *A*. Diante do exposto, entende-se que o déficit hídrico aplicado foi identificado pelas plantas, mas não ao ponto de provocar reduções na taxa de fotossíntese líquida, evidenciando uma tolerância potencial das mesmas.

Reduções em *A*,  $g_s$ , e *E*, são normalmente esperadas em plantas sensíveis à seca, o que não foi verificado no presente estudo, uma vez que nenhuma dessas variáveis apresentaram variação significativa entre ambientes (Tabela 5). Como não houve limitação e fechamento de estômatos (Tabela 5), o fluxo de CO<sub>2</sub> em direção aos sítios de carboxilação dos cloroplastos não foi reduzido (Tabela 6), não afetando, portanto, a taxa de fotossíntese líquida, e nem dificultando a transpiração, já que os estômatos se mantiveram abertos, se comportando como canal onde ocorre a maior parte da evapotranspiração das plantas.

A concentração interna de CO<sub>2</sub> nas folhas ( $C_i$ ) se diferenciou significativamente entre ambientes (Tabela 5), mesmo não havendo diferenças significativas no padrão de assimilação (*A*) e não sendo verificado a ocorrência de fechamento estomático (Tabela 5). Isso pode ser justificado pelo fato de que a assimilação de CO<sub>2</sub> não depende exclusivamente do grau de abertura dos estômatos, mas também, do aumento da resistência à difusão, a demanda de CO<sub>2</sub> no mesófilo e atividade enzimática (Mott, 1988; Inman-Bamber e Smith, 2005). O aumento da concentração interna de CO<sub>2</sub> nas plantas submetidas ao déficit hídrico (Tabela 6) é indicativo de que não houve restrição na aquisição de CO<sub>2</sub> por parte da cultura, mas que o mesmo, ao alcançar as células do mesófilo, teve sua fixação comprometida (Habermann et al., 2003).

A razão entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> ( $C_i/C_a$ ) foi influenciada pelo déficit hídrico, uma vez que se observou diferenças significativas entre genótipos e tratamentos (Tabelas 5 e 6), sendo os maiores valores, observados nas plantas sob estresse. Através desta razão pode-se constatar a eficiência ou ineficiência nas reações de fixação de carbono. De acordo com Guerra et al. (2017), valores mais próximos de 1,0; como os detectados nas plantas submetidas ao déficit hídrico neste estudo, indicam menor

eficiência do processo, podendo ser um indicativo de que a atividade de algumas enzimas envolvidas na fixação do CO<sub>2</sub> tenha sido afetada. Segundo Condon et al. (2004), a seleção de genótipos que apresentam baixa razão  $C_i/C_a$  constitui estratégia valiosa no melhoramento de plantas visando maior eficiência no uso da água. Um pequeno valor de  $C_i/C_a$  provavelmente refletirá em um valor relativamente baixo de  $g_s$  e uma capacidade fotossintética relativamente alta (Farquhar et al., 1989).

A razão entre a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e a taxa de transpiração de água permite a estimativa da eficiência instantânea no uso da água ( $A/E$ ) pelas plantas. Constatou-se que as plantas no ambiente controle foram mais eficientes no uso da água, uma vez que registraram o maior valor médio de  $A/E$  (Tabela 6), indicando que uma maior quantidade de CO<sub>2</sub> foi absorvida em detrimento de uma menor perda de água.

Redução significativa entre ambientes também foi verificada nos teores de clorofila (Tabela 7). As clorofilas são pigmentos que refletem a luz verde, atuando, portanto, na captação de energia luminosa para a realização do processo fotossintético pelas plantas. De acordo com Streit et al. (2005), a clorofila *a* é o principal pigmento utilizado na primeira etapa da fotossíntese, a chamada fase fotoquímica, enquanto a clorofila *b* e os demais pigmentos, denominados de pigmentos acessórios, auxiliam na absorção de luz e na transferência de energia para os centros de reação. Os padrões observados no conteúdo de clorofilas corroboram com os estudos de Streit et al. (2005), que relataram que as clorofilas *a* e *b* ocorrem na natureza em uma proporção de 3:1, respectivamente, proporção esta, também verificada no presente estudo (Tabela 8).

Silva et al. (2014) relataram a associação do déficit hídrico à diminuição nos teores de clorofila das plantas, justificando assim, a importância da análise destes pigmentos como ferramenta avaliadora da integridade dos aparatos internos da célula durante a fotossíntese (Rong-Hua et al., 2006), bem como da performance da planta em condições de estresse, constituindo um bom indicador fisiológico para seleção de genótipos tolerantes. A capacidade de reduzir os teores de clorofila nos tecidos das plantas, sob restrição hídrica, ocorre principalmente a partir da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) nos tilacóides (Reddy et al., 2004; Kiani et al., 2008), que destroem estes pigmentos, o que pode justificar a redução significativa observada nos teores de ambas as clorofilas nos dois tratamentos em estudo. Peltzer et al. (2002) apontam que a formação das EROs ocorre como consequência da dissipação do excesso de energia luminosa no núcleo e na antena do fotossistema II (PSII), uma vez que em condições de

estresse hídrico, um desequilíbrio entre a captura e a utilização de luz acontece na planta (Foyer e Noctor, 2000).

A partir do conteúdo de clorofila pode-se inferir sobre a capacidade dos genótipos em tolerar o déficit hídrico, sendo esperado, que aqueles que mantêm maiores conteúdos desses pigmentos em condições de estresse, sejam mais tolerantes, devido a relação direta entre clorofilas, fotossíntese e produtividade (O'Neill et al., 2006). Pelos resultados apresentados, verificou-se menor conteúdo de clorofila *a* na linhagem FMS CR 1307 sob estresse (Tabela 8), o que possivelmente está relacionado há uma maior sensibilidade à seca. Em relação ao conteúdo de clorofila *b*, observou-se comportamento semelhante nas linhagens FMS CR 1307, 1326, 1101 e 1106.

De forma geral, o déficit hídrico aplicado não provocou severas limitações fisiológicas às plantas. As linhagens FMS CR 1326 e FMS CR 1106 foram as que obtiveram desempenho próximo ao da cultivar FMS Brilhante, apresentando os maiores valores de fotossíntese líquida e transpiração, indicando que mesmo sob estresse, esses padrões não foram afetados, o que sugere o maior potencial de tolerância ao déficit hídrico pelas mesmas. A linhagem FMS CR 1106 ainda apresentou a maior eficiência no uso da água, quando comparadas aos demais genótipos, o que confirma sua potencial tolerância. Conteúdo elevado de clorofila *a* e relação  $C_i/C_a$  menor que 1,0; também foram verificados nas linhagens e cultivar citadas acima, o que justifica os valores de fotossíntese líquida encontrados. A linhagem FMS CR 1307 foi a única a apresentar baixo conteúdo de clorofila *a*, associado também há um baixo conteúdo de clorofila *b*, o que levanta dúvidas sobre sua tolerância.

## **5.2 Caracteres morfoagronômicos e estimativas de parâmetros genéticos**

As médias dos caracteres morfoagronômicos estimadas no presente trabalho, se mostraram, de forma geral, inferiores aos dados da literatura. Isso pode ser explicado pela época de condução do experimento, onde fases fenológicas de grande importância no desenvolvimento das plantas, coincidiram com a exposição a elevadas temperaturas. No entanto, como as condições foram iguais para todas as unidades experimentais, visto o delineamento experimental utilizado, nenhum prejuízo foi verificado quanto eficiência e precisão do trabalho.

Os valores médios das variáveis ALT e APR, características importantes ao se considerar colheita mecanizada, foram de 75,08 e 5,65 cm, respectivamente. ALT se encontra na faixa de variação de crescimento das plantas de crambe, que variam de 60 a

100 cm (Pitol et al., 2010). Rosmaninho et al. (2019), trabalhando com a cultivar FMS Brilhante cultivadas em solução nutritiva, verificaram altura média de 95,6 cm. O valor médio de APR, no entanto, foi muito inferior ao descrito na literatura, o que provavelmente aumentaria consideravelmente a perda de colheita, uma vez que a plataforma de corte deverá trabalhar rente ao solo (Cortez, 2007). Como se usa o maquinário da soja na colheita do crambe, o ideal seria uma APR variando de 10-12 cm, altura desejada para a primeira vagem da soja, o que minimiza perdas na colheita da cultura.

A média observada para DC (8,76 mm) foi inferior à verificada por Oliveira et al. (2018) trabalhando com os mesmos genótipos (11,05 mm). No entanto, valores semelhantes foram observados para a variável NR, sendo 16,94 no presente estudo e 16,89 no trabalho acima citado. Com relação a MS e PROD, apurou-se valores médios de 13,38 e 2,35 g. Maiores valores de MS revelam maior eficiência na conversão da energia gerada pela planta. A média de MS do presente trabalho foi superior à apresentada por Rosmaninho et al. (2019) (9,50 g). O contrário foi verificado em relação a PROD, onde valor muito superior ao do atual estudo foi verificado pelos mesmos autores (6,48 g), o que possivelmente se justifica pelas altas temperaturas as quais as plantas foram expostas no período de enchimento de grãos.

A existência da variabilidade genética é fator indispensável à obtenção de ganhos genéticos, sendo, portanto, requisito fundamental para o sucesso de um programa de melhoramento. Assim, os resultados encontrados sugerem que os genótipos avaliados apresentam potencial para o melhoramento do crambe, uma vez que se verificou a presença de variabilidade genética entre genótipos em seis das sete variáveis em estudo.

De acordo com Cruz et al. (2012), a variância genética ( $\sigma^2_g$ ) e a herdabilidade ( $h^2_m$ ) são as estimativas de parâmetros mais importantes na confirmação da variabilidade. A  $\sigma^2_g$  está relacionada ao número de alelos favoráveis existentes para cada variável, possibilitando assim, a obtenção de informações sobre as variáveis em seleção. A  $h^2_m$ , por sua vez, quantifica o quanto da variação genética pode ser transmitida a geração após a seleção (Allard, 1999), expressando a razão da variância genotípica pela variância fenotípica. As magnitudes de  $h^2_m$  em todas as variáveis do presente estudo são consideradas altas ( $h^2_m > 0,50$ ) de acordo com o proposto por Resende et al. (2002), refletindo em menor influência ambiental e maior poder discriminatório dos caracteres.

Os valores estimados para a razão b (CVg/CVe) para ALT, MS e PROD indicam condição favorável à seleção, uma vez que, de acordo com Vencovsky e Barriga (1992),

valores próximos ou maiores que 1,00 favorecem a seleção, evidenciando que a variação genética supera a variação ambiental, fato observado para MS e PROD. Seguindo esta tendência, as variáveis ALT, MS e PROD também foram as mesmas que apresentaram maiores valores de  $h^2_m$  (0,88; 0,89 e 0,92; respectivamente) e  $CV_g$  (10,23; 28,24 e 30,45; respectivamente) o que indica a possibilidade de seleção direta sobre estas variáveis. O mesmo comportamento foi verificado quanto às estimativas de  $r$  (0,48; 0,49; 0,58; respectivamente), observadas nas três variáveis. Segundo Laviola et al. (2014), quanto menor o  $r$ , maior a influência da interação genótipo x ambiente na população. Assim, constatou-se que estas variáveis sofrem uma menor influência da interação. A variável PROD, fortemente influenciada pelo ambiente, revelou as maiores estimativas de  $h^2_m$  e  $CV_g$ , o que mostra que a variância genética foi grande para esta variável e que ganhos podem ser obtidos com a seleção de plantas superiores mais produtivas.

Acurácia ( $A_c$ ) está associada à precisão da seleção, refletindo a qualidade das informações e procedimentos usados na predição dos valores genéticos. Quanto maior a estimativa de  $A_c$ , maior é a confiança na avaliação e no valor genético predito (Pimentel et al., 2014). No presente estudo, observou-se valores elevados ( $A_c > 0,70$ ) para todas as variáveis, revelando boa qualidade do experimento (Resende et al. 2002).

## 6. Considerações Finais

Os oito genótipos estudados apresentaram potencial para o melhoramento do crambe, confirmado pela existência de variabilidade genética entre eles. Pela estimação dos parâmetros genéticos, apurou-se que as variáveis ALT, MS e PROD, se destacaram por apresentarem os maiores valores da razão  $CV_g/CV_e$ ,  $h^2_m$ ,  $CV_g$  e  $r$ , o que revela a possibilidade de obtenção de ganhos genéticos selecionando plantas superiores para cada uma delas, reafirmado pelos elevados valores da acurácia seletiva. Destas variáveis, apenas para ALT se verificou diferenças quanto aos ambientes impostos, indicando que para PROD e MS, os genótipos selecionados tendem a apresentar também suposta tolerância ao déficit hídrico, por não terem se diferenciado estatisticamente com a imposição do estresse.

Os genótipos FMS Brilhante, FMS CR 1307, FMS CR 1326, FMS CR 1101 e FMS CR 1106 apresentaram as maiores médias de produtividade de grãos. Ao se fazer a seleção pela variável ALT, verifica-se que as maiores médias estão associadas a cultivar FMS Brilhante e as linhagens FMS CR 1307 e FMS CR 1326. No entanto, como todos os genótipos se enquadram na variação de altura esperada para a cultura, pode se incluir

nesta lista as linhagens FMS CR 1101 e FMS CR 1106, já que apresentam valores próximos das citadas acima quanto a produção de grãos. As linhagens FMS CR 1307 e FMS CR 1326 também se destacaram pelas maiores médias de massa seca, o que revela boa eficiência na conversão de energia pelas plantas.

De forma geral, o déficit hídrico aplicado não provocou severas limitações fisiológicas às plantas. Diferenças entre ambientes, por exemplo, não foi verificada nas variáveis *A* e *E*, indicando que os genótipos selecionados a partir delas, também não irão se sensibilizar com o estresse aplicado. Constatou-se que os genótipos FMS Brilhante, FMS CR 1326 e FMS CR 1106, apresentaram as maiores médias para ambas as variáveis. Vantagem adicional foi verificado para a linhagem FMS CR 1106, que apresentou a maior eficiência no uso da água. A linhagem FMS CR 1307 foi a única a apresentar redução simultânea dos conteúdos de clorofila *a* e *b*, o que constitui um forte indicador de sensibilidade.

Assim, após avaliar em conjunto o desempenho dos genótipos quanto aos caracteres fisiológicos e morfoagronômicos, conclui-se que a cultivar FMS Brilhante e as linhagens FMS CR 1326 e FMS CR 1106, reúnem a maior parte das características favoráveis à seleção, apresentando, portanto, potencial de tolerância ao déficit hídrico.

Para que se confirme esta tolerância e se avalie novamente o desempenho dos demais genótipos, sugere-se a repetição do experimento em outras épocas do ano e em níveis diferenciados de estresse.

## 7. Referências Bibliográficas

- Allard, R. W. (1999). *Principles of plant breeding*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 254p.
- Allard, R.W. (1971). *Princípios de melhoramento genético das plantas*. São Paulo: Edgar Blucer, 381p.
- Baker, N. R. (2008). Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 89-113.
- Baker, N. R., & Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1607-1621.
- Bassegio, D., Zanotto, M. D., Santos, R. F., Werncke, I., Dias, P. P., Olivo, M. (2016). Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 311–321.

- Batista, P. F., Costa, A. C., Müller, C., Silva-filho, R. D. O., Barbosa, F., Merchant, A., Nascimento, T. (2018). Nitric oxide mitigates the effect of water deficit in *Crambe abyssinica*. *Plant Physiology and Biochemistry* 129(June), 310–322.
- Chaves, M., Maroco, J. M. P., Pereira, J. (2003). Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 239–264.
- Choat, B., Jansen, S. Delzon, S., Bhaskar, R., Bucci, S. J. (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 4–8.
- Condon, A. G., Richards, R. A., Rebetzke, G. J., Farquhar, G. D. (2004). Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2447–2460.
- Cortez, J. W. (2007). *Densidade de semeadura da soja e profundidade de deposição do adubo no sistema plantio direto*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, SP, 100 p.
- Cruz, C. D. (2013). GENES - Software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 35(3), 271–276.
- Cruz, C. D., Regazzi, A. J., Carneiro, P. C. (2012). *Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético*, 4º ed. Viçosa, UFV. 414p.
- Dias, L. A. S.; Barros, W. S. *Biometria experimental*. Viçosa, MG: Suprema, 2009. 408p.
- Falasca, S. L., Flores, N., Lamas, M. C., Carballo, S. M., Anschau, A. (2010). *Crambe abyssinica*: An almost unknown crop with a promissory future to produce biodiesel in Argentina. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(11), 5808–5812.
- Falker automação agrícola (2008). *Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)*. Porto Alegre, 33 p.
- Farquhar, G. D., Ehleringer, J. R., Hubick, K. T. (1989) Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 40:503-37.
- Foyer, C. H., Noctor, G. (2000). Oxygen processing in photosynthesis : regulation and signalling, *New Phytologist* (112), 359–388.
- Gällstedt, M., Pettersson, H., Johansson, T., Newson, W. R., Johansson, E., & Hedenqvist, M. S. (2017). Film Extrusion of *Crambe abyssinica*/Wheat Gluten Blends. *Journal of Visualized Experiments*, (119), 10–15.
- Glaser, L.K. (1996). *Crambe: An Economic Assessment of the Feasibility of Providing Multiple-peril Crop Insurance*. Economic Research Service for the Risk Management Agency, Federal Crop Insurance Corporation, Available at: <http://www.rma.usda.gov/pilots/feasible/pdf/crambe.pdf> (verified 25.02.19).

- Guerra, A. M. M. N., Costa, A. C. M., Tavares, P. R. F. (2017). Atividade fotossintética e produtividade de alface cultivada sob sobreamento. *Revista Agropecuária Técnica*, 7467, 125–132.
- Habermann, G., Machado, E. C., Rodrigues, J. D., Medina, C. L. (2003). CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic light response curves, and water relations of 'Pêra' sweet orange plants infected with *Xylella fastidiosa*. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 15(2), 79–87.
- Inman-Bamber, N.G., Smith, D. M. (2005). Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research* 92, 185–202.
- Kiani, S. P., Maury, P., Sarrafi, A., Grieu, P. (2008). QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. *Plant Science*, 175, 565–573.
- Lalas, S., Gortzi, O., Athanasiadis, V., Dourtoglou, E., Dourtoglou, V. (2012). Full characterisation of *Crambe abyssinica* Hochst. seed oil. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(12), 2253–2258.
- Lara-Fioreze, A. C. da C., Pivetta, L. G., Zanotto, M. D., Okita, C. H. (2016). Genetic variation and gain in progenies of crambe. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 16(2), 132–140.
- Laviola, B. G., Delmar, S., Cristina, A., Juhász, P. (2014). Desempenho agrônômico e ganho genético pela seleção de pinhão manso em três regiões do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (1), 356–363.
- Li, X., van Loo, E. N., Gruber, J., Fan, J., Guan, R., Frentzen, M., Zhu, L. H. (2012). Development of ultra-high erucic acid oil in the industrial oil crop *Crambe abyssinica*. *Plant Biotechnology Journal*, 10(7), 862–870.
- Lovatto, N. de M., Goulart, F. R., Loureiro, B. B., Speroni, C. S., Bender, A. B. B., Giacomini, S. J., Da Silva, L. P. (2017). Crambe (*Crambe abyssinica*) and sunflower (*Helianthus annuus*) protein concentrates: Production methods and nutritional properties for use in fish feed. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 89(3), 2495–2504.
- Martins, R. F. A., Souza, A. F. C., Pitol, C., Falqueto, A. R. (2017). Physiological responses to intense water deficit in two genotypes of crambe (*Crambe abyssinica* Hochst.). *Australian Journal of Crop Science*, 11(7), 821–827.
- Maxwell, K., Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51(345), 659–668.

- Mott, K. A. (1988). Do Stomata Respond to CO<sub>2</sub> Concentrations Other than Intracellular? *Plant Physiology*, 200–203.
- Moura, L. M. de F., Costa, A. C., Müller, C., Filho, R. de O. S., Almeida, G. M., Vital, R. G., Teixeira, M. B. (2018). Drought tolerance in potential oilseed plants for biofuel production. *Australian Journal of Crop Science*, 12(2), 289–298.
- Naumann, G., Alfieri, L., Wyser, K., Mentaschi, L., Betts, R. A., Carrao, H., Feyen, L. (2018). Global Changes in Drought Conditions Under Different Levels of Warming. *Geophysical Research Letters*, 45(7), 3285–3296.
- Oliveira, R. L., Dias, L. A. S., Corrêa, T. R., Ferreira, P. H., Silva, M. F. (2018). Divergence and estimates of genetic parameters in *Crambe abyssinica*: an oilseed plant for industrial uses. *Revista Ceres*, 1, 500–506.
- Passioura, J. B. (2012). Phenotyping for drought tolerance in grain crops. *Functional and Integrative Genomics*, 39(2006), 851–859.
- Peltzer, D., Dreyer, E., Polle, A. (2002). Differential temperature dependencies of antioxidative enzymes in two contrasting species: *Fagus sylvatica* and *Coleus blumei*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40, 141–150.
- Pimentel Gomes, F. (2009). *Curso de Estatística Experimental*. 15 ed. Piracicaba: Fealq, 451p.
- Pimentel, A. J., Guimarães, J. F. R., Souza, M. A. De., Resende, M. D. V. de, Moura, L. M., Rocha, J. R. A. S. C., Ribeiro, G. (2014). Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (1), 882–890.
- Pitol, C. (2008). Cultura do crambe. In *Tecnologia e produção: Milho safrinha e culturas de inverno*. Fundação MS, Maracaju, p. 85-88.
- Pitol, C., Broch, D.L., Roscoe, E.R. (2010). *Tecnologia e produção: Crambe 2010*. Maracaju: Fundação Mato Grosso do Sul, 60p.
- Pitol, C., Roscoe, R., Erbes, E. J., Romeiro, T.D.S., Santos, J. D. (2012). Cultura do Crambe: Resultados e Experimentação. In *Tecnologia e produção: Milho safrinha e culturas de inverno*. Fundação MS, Maracaju, p. 97-104.
- Reddy, R. A., Chaitanya, V. K., Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* 161, 1189–1202.
- Resende, M. D. V. (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnologia, 975p.

- Rong-hual, L. I., Pei-pol, G. U. O., Baumz, M., Grand, S., Ceccarelli, S. (2006). Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agricultural Sciences in China*, 751–757.
- Rosmaninho, L. B. de C., Dias, L. A. S., Silva, M. F., Vasconcelos, A. A., Santos, W. O., Perez, C. E. A., Vergutz, L., Cardoso, L. G. (2019). Performance of Crambe Submitted to Aluminum Stress : An Important Oilseed Plant. *Journal of Agricultural Science*, 11(2), 454-464.
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D., Hemmingsen, E. A. (1965). Sap Pressure in Vascular Plants: Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* (1), 339–346.
- Seki, M., Umezawa, T., Urano, K., Shinozaki, K. (2007). Regulatory metabolic networks in drought stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(3), 296–302.
- Silva, M. A. de, Santos, C. M., Vitorino, H. S., Rhein, A. F. L. (2014). Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana- de-açúcar. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 1, p. 173-181.
- Slatyer, R.O., Taylor, S. A. (1961). Electrolyte solutions. *Nature*, v. 189.
- Sperry, J. S., Hacke, U. G. (2002). Desert shrub water relations with respect to soil and plant functional type characteristics. *Functional Ecology*, 16(3), 367–378.
- Streit, N. M., Canterle, L. P., Canto, M. W., Hecktheuer, L. H. H. (2005). As Clorofilas, *Ciência Rural*, v. 35, 748–755.
- Tardieu, F. (2012). Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: Just design the right drought scenario. *Journal of Experimental Botany*, 63(1), 25–31.
- Tardieu, F. (2016). Too many partners in root–shoot signals. Does hydraulics qualify as the only signal that feeds back over time for reliable stomatal control? *New Phytologist*, 212(4), 802–804.
- Tardieu, F., Simonneau, T., Muller, B. (2018). The physiological basis of drought tolerance in crop plants : A scenario-sependent probabilistic approach. *Annual Review of Plant Biology*, 1–27.
- Tester, M., Bacic, A. (2005). Abiotic Stress Tolerance in Grasses . From Model Plants to Crop Plants. *Plant Physiology*, 137, 791–793.
- Todaka, D., Zhao, Y., Yoshida, T., Kudo, M., Kidokoro, S., Mizoi, J., Yamaguchi-Shinozaki, K. (2017). Temporal and spatial changes in gene expression, metabolite accumulation and phytohormone content in rice seedlings grown under drought stress conditions. *Plant Journal*, 90(1), 61–78.

- Vencovsky, R., Barriga, P. (1992). *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 496p.
- Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., Gómez- Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia plantarum*, 162(1), 2-12.
- Zanetti, F., Scordia, D., Vamerali, T., Copani, V., Dal Cortivo, C., Mosca, G. (2016). Crambe abyssinica a non-food crop with potential for the Mediterranean climate: Insights on productive performances and root growth. *Industrial Crops and Products*, 90, 152–160.