

CRISTIANA ARAUJO SOARES

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA EM CRAMBE SOB
ESTRESSE HÍDRICO**

BOTUCATU-SP

2017

CRISTIANA ARAUJO SOARES

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA EM CRAMBE SOB
ESTRESSE HÍDRICO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. João Luis Zocoler

Coorientador: Prof. Dr. José Renato Zanini

BOTUCATU-SP

2017

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

S676e Soares, Cristiana Araujo, 1984-
Evapotranspiração e eficiência fotossintética em Crambe sob estresse hídrico / Cristiana Araujo Soares. -
Botucatu : [s.n.],
2017

96 p. : il., color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017

Orientador: João Luis Zocoler

Coorientador: José Renato Zanini

Inclui bibliografia

1. Crambe. 2. Manejo da irrigação. 3. Estresse hídrico 4. Evapotranspiração. I. Zocoler, João Luis. II. Zanini, José Renato. III. Universidade Estadual Paulistista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

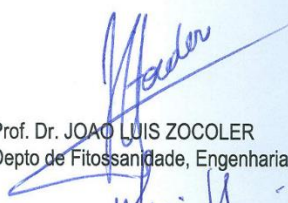
TÍTULO DA TESE: EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA EM CRAMBE SOB ESTRESSE HÍDRICO

AUTORA: CRISTIANA ARAUJO SOARES

ORIENTADOR: JOAO LUIS ZOCOLER

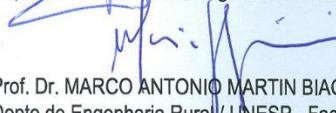
COORDENADOR: JOSÉ RENATO ZANINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



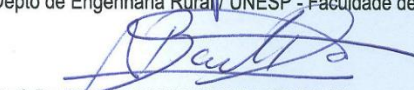
Prof. Dr. JOAO LUIS ZOCOLER

Depto de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



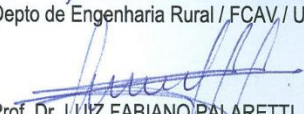
Prof. Dr. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



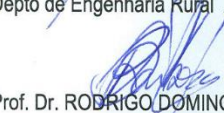
Prof. Dr. ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

Depto de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI

Depto de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. RODRIGO DOMINGUES BARBOSA

Depto de Agronomia / EDUVALE - ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DO VALE DA JURUMIRIM

Botucatu, 31 de março de 2017

À minha querida e exemplar mãe, Regina Lúcia Araújo Soares, que nunca mediu esforços para que este sonho se tornasse realidade;

À minha tia, Rosa Almeida de Araújo (*in memoriam*), pelo amor incondicional;

À minha irmã, Ana Cristina, minha madrinha, Isabel (Biluca), minha tia, Edileuza, e minha sobrinha e afilhada, Maria Regina, pelo carinho;

A todos os meus amigos queridos, que sempre estiveram presentes.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre me agraciou com tudo de mais maravilhoso que um ser humano poderia querer, permitindo a vida, saúde, bom caráter e personalidade, força de vontade, determinação e por cultivar a esperança de dias melhores;

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), pelo título de doutora e auxílio para execução da Pesquisa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da Bolsa de Doutorado;

Aos professores que contribuíram para minha formação, em especial aos professores Dr. João Luis Zocoler e Dr. José Renato Zanini pela orientação e aos professores Dr. Antônio de Pádua Sousa, Dr. Eduardo Luiz de Oliveira, Dra. Gisela Ferreira, Dr. João Carlos Cury Saad e Dr. Rodrigo Máximo S. Román, pelos ensinamentos importantes transmitidos durante o curso de doutorado;

Aos membros da banca de qualificação e defesa desta tese, Prof. Dr. João Carlos Cury Saad, Profa. Dra. Maria Márcia Pereira Sartori, Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros, Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri, Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti, Prof. Dr. João Luis Zocoler, Prof. Dr. Marco Antônio Martin Biaggioni e Prof. Dr. Rodrigo Domingues Barbosa pelas valiosas contribuições;

Ao professor Dr. Luiz Carlos Pavani pela excelente contribuição neste trabalho, pela atenção, pelos ensinamentos e por sua amizade;

À professora Dra. Maria Márcia Pereira Sartori, pela colaboração nas análises estatísticas;

Ao professor Dr. Marcelo Almeida Silva e suas doutorandas Marcela Cristina Brunelli, Fernanda Pacheco de Almeida Prado Bortolheir e Laís Fernanda Melo Pereira pela disponibilização do Irga, efetuações das leituras e orientações sobre a metodologia da densidade estomática;

A Thiago Marcelo Ribeiro Gianeti, funcionário da FCA e o doutorando Doglas Bassegio pela valiosa colaboração na determinação do teor de óleo das sementes;

Ao funcionário da FCA, Gilberto Winckler pela colaboração na montagem e condução do experimento;

Aos funcionários da Biblioteca “Professor Paulo de Carvalho Mattos” pela disponibilidade em me auxiliar sempre que surgiam dúvidas e por fazerem da biblioteca um ambiente agradável e acolhedor;

Ao Engenheiro Agrônomo Stocler Manoel de Andrade e sua empresa Stocler Irrigação Ltda, pela troca de experiência, pela confiança, pela amizade e pelo auxílio financeiro durante as etapas iniciais deste curso;

A Marcos Antônio Liodorio dos Santos pela ajuda nos trabalhos, carinho, companheirismo, amizade e por estar ao meu lado me apoiando;

Aos amigos da (FCA/UNESP), Gabriel Gomes, Rodolpho Artur, Bruna Favetti, Laís Melo, João Paulo, Eugênio Paceli, Vanessa Manduca, Victor Araújo, Franciana Pereira, Élvis Alves, Jannaylton Santos, Thalyson Medeiros, Maryjane Gomes, Francielly Guieiro, Mara Rúbia, Édina Aguiar, Andressa Brida, Edilson Ramos, Ramilos Brito, Maurício Prado, Cicero Manoel, Esteban Conde, Renata Coscolin , Elialdo Souza, Taiza Rossi, Jéssica Lima, Dávilla Alessandra, Renan Lima, Virley Sena, Olívia Lopes, Fabrício Kumabe, João César, João Victor, Hernando Rivera, Paulo Ferreira, Isabela Seixo, Roberto Filgueiras, Wlisses Matos, e Adjalma França pela ajuda e troca de experiências, em trabalhos do curso e na vida profissional e pessoal;

Aos meus amados professores da Universidade Federal do Piauí (UFPI), que foram fundamentais na minha vida acadêmica e pessoal, onde sem eles não estaria conquistando mais esta vitória, meu muito obrigado: Regina Ferreira Gomes, Ângela Celis de Almeida Lopes, Francisco Carlos Gândara e Francisco Edinaldo Pinto Mousinho;

À minha mãe, Regina Lúcia Araújo Soares, e minha tia, Rosa Almeida de Araújo (*in memorian*), pelo amor incondicional, companheirismo e orientação;

À minha irmã, Ana Cristina, e minha madrinha, Isabel Araújo, que sempre confiaram em mim e me apoiaram em todas as horas;

A todos os meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado nos momentos difíceis e alegres, em especial a Natália Soares, Josiane Alves, Franciely Costa, Monique Carvalhal e Marcos Oliveira;

A todas as pessoas que tiveram participação na minha vida, fazendo valer tanto.

“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir e chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir”

Cora Coralina

RESUMO

Devido ausência de trabalhos conclusivos sobre a demanda hídrica do crambe, existe a necessidade de investigar o comportamento da cultura frente à variação do armazenamento de água no solo, já que a cultura é cultivada tipicamente em épocas de pouca ocorrência de chuva. Diante disto, este trabalho teve por objetivo mensurar a evapotranspiração do crambe em diferentes níveis de irrigação, sob condições de ambiente protegido, a fim de avaliar sua capacidade de tolerância ao estresse hídrico. O experimento foi conduzido em dois ciclos, sendo o primeiro no período de 31/08/2015 a 12/12/2015 (média de 99 dias) e o segundo de 02/05/2016 a 21/08/2016 (média de 108 dias), desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP) em Botucatu, SP. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e seis níveis de irrigação (excesso 50%, excesso 25%, “CC” vaso, déficit 25%, déficit 50% e déficit 65%), cada unidade experimental foi composta por um vaso com duas plantas. Inseriu-se também um tratamento em “CC” vaso, porém, com a cobertura do solo vedada para isolar o efeito da evaporação, avaliando assim a fração da transpiração na evapotranspiração da cultura. O manejo da irrigação foi realizado através de pesagens diárias mantendo-se a umidade do solo de acordo com cada tratamento aplicado. Foram avaliadas variáveis fenométricas, produtivas, teor de óleo e eficiência fotossintética, sendo os dados submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade e ao teste de Tukey para comparação de médias. Nos tratamentos sem estresse hídrico a evapotranspiração no primeiro e segundo ciclo de cultivo foram 511,0 e 354,0 mm, respectivamente. O crambe pode ser classificado como tolerante ao estresse hídrico, por deficiência, pois a aplicação de déficits hídricos de 25 e 50% apresentaram pequenas reduções em suas taxas de evapotranspiração, quando comparado àquele que manteve a umidade do solo sempre na capacidade de campo. Considerando-se conjuntamente as variáveis fenométricas, produtivas e teor de óleo, em ambos os ciclos de cultivo, o tratamento que manteve déficit hídrico de 25% apresentou comportamento similar ao irrigado para atingir a capacidade máxima de retenção de água no solo. As variáveis de eficiência fotossintética demonstram que os déficits hídricos aplicados na cultura do crambe não causaram danos ao processo fotossintético das plantas.

Palavras-chave: *Crambe hispanica*. Manejo da irrigação. Deficiência hídrica.

ABSTRACT

Due to the absence of conclusive studies about the water demand of crambe, there is a need to investigate the behavior of the crop in relation to the variation of soilless water flow, which is typically cultivated in times of low rainfall. crop is cultivated typically in times of low rainfall. The objective of this work was to measure evapotranspiration of crambe at different irrigation levels under greenhouse conditions to evaluate the capacity to tolerate water stress. The experiment was conducted in two cycles, the first in the period from August 31 to December 12, 2015 (99 days cyclo) and the second from May 02 to August 21, 2016 (108 days cyclo), developed in Department of Rural Engineering, belonging to the College of Agronomic Sciences (FCA / UNESP) at Botucatu, SP. A completely randomized design with four replications and six irrigation levels (50% excess, 25% excess, "CC" vase, 25% deficit, 50% deficit and 65% deficit), each experimental unit composed by one vase with two plants. A treatment in "CC" vase was also inserted, however, with soil cover sealed to isolate the effect of evaporation, thus assessing the fraction of transpiration in evapotranspiration of the crop. Irrigation management was carried out by daily weighing, maintaining the soil moisture according to each treatment applied. The phenotypic, productive, oil content and photosynthetic efficiency variables were evaluated. Data were submitted to analysis of variance at 5% of probability and to the Tukey test for comparison of average. In treatments without water stress the evapotranspiration in the first and second crop cycle were 511.0 and 354.0 mm, respectively. Crambe can be classified as tolerant to water stress due to deficiency, since the application of water deficits of 25 and 50% showed small reductions in their evapotranspiration rates when compared to those that maintained soil moisture always in the field capacity. Considering jointly the phenometric, productive and oil contents, in both cultivation cycles, the treatment that maintained a water deficit of 25% presented a behavior similar to that irrigated to reach the maximum water retention capacity in the soil. The photosynthetic efficiency variables, demonstrate that the water deficits applied in the crambe crop did not cause damage to the photosynthetic process of the plants.

Keywords: *Crambe hispanica*. Management of irrigation. Water deficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plantas de crambe: planta em desenvolvimento (A), detalhe das folhas (B), semente em germinação (C) e florescimento (D).....	25
Figura 2 - Ciclo do crambe (<i>Crambe hispanica</i>), cultivar FMS Brilhante, na região de Maracaju, MS.....	26
Figura 3 - Vista frontal da casa de vegetação, Departamento de Engenharia Rural, Botucatu-SP.....	38
Figura 4 - Termo-higrômetro digital utilizado para coleta dos dados de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%).	39
Figura 5 - Valores de temperaturas máxima, mínima e média no período de condução do experimento. A) dados internos (casa de vegetação) e B) dados externos (Estação Meteorológica), no primeiro ciclo.....	40
Figura 6 - Valores de temperaturas máxima, mínima e média no período de condução do experimento. A) dados internos (casa de vegetação) e B) dados externos (Estação Meteorológica), no segundo ciclo.....	41
Figura 7 - Valores de umidade relativa do ar máxima, mínima e média no período de condução do experimento. A) dados internos (casa de vegetação) e B) dados externos (Estação Meteorológica), no primeiro ciclo.....	42
Figura 8 - Valores de umidade relativa do ar máxima, mínima e média no período de condução do experimento. A) dados internos (casa de vegetação) e B) dados externos (Estação Meteorológica), no segundo ciclo.....	43
Figura 9 – Croqui da área experimental.....	45
Figura 10 - Plântulas de crambe, seis dias após a semeadura.....	46
Figura 11 - Larva de <i>P. xylostella</i> se alimentando de folhas de crambe (A), desfolha causada por lagarta (B).....	48
Figura 12 - Haste de crambe brocada pela lagarta (A), lagarta se alimentando do grão de crambe B).....	48
Figura 13 - Determinação da umidade do solo na “Capacidade de Campo” do vaso (“CC” vaso). Saturação e drenagem para acomodação do solo (A), saturação por capilaridade (B) e drenagem (C).....	50
Figura 14 - Pesagem dos vasos, balança e mesinha utilizados no processo.....	53
Figura 15 - Tratamento com drenagem. Recipiente usado para coletar a água drenada (A) e planta de crambe irrigada com excesso de água (B).....	54

Figura 16 - Tanque Classe A instalado na área experimental.....	55
Figura 17 - Valores de evaporação do tanque Classe A no período de condução do experimento, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B).....	56
Figura 18 - Aparelho utilizado para determinação do teor de óleo, TD-NMR, em espectrômetro (SLK-SG-200-SpinLock Magnetic Resonance Solutions).....	59
Figura 19 - Equipamento utilizado para as avaliações de eficiência fotossintética. “ <i>Infra Red Gas Analyser - IRGA</i> ”, modelo LI-6400, LI-COR.....	60
Figura 20 - Microscópio Biológico BEL® Photonics Biovídeo, utilizado para contagem dos estômatos (densidade estomática).....	61
Figura 21 - Evapotranspirações diárias durante o ciclo da cultura do crambe, para os diferentes níveis de irrigação, no primeiro ciclo.....	64
Figura 22 - Evapotranspirações diárias durante o ciclo da cultura do crambe, para os diferentes níveis de irrigação, no segundo ciclo.....	64
Figura 23 - Evapotranspirações diárias durante o ciclo da cultura do crambe, para os tratamentos que mantiveram o solo em capacidade de campo do vaso (“CC” vaso), no primeiro ciclo.....	66
Figura 24 - Evapotranspirações diárias durante o ciclo da cultura do crambe, para os tratamentos que mantiveram o solo em capacidade de campo do vaso (“CC” vaso), no segundo ciclo.....	66
Figura 25 - Regressões segmentadas obtidas para a variação de altura de plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B).....	69
Figura 26 - Regressão segmentada obtida para a variação de diâmetro do caule em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no segundo ciclo de cultivo.....	70
Figura 27 - Plantas de crambe irrigadas com excesso hídrico de 50% da “CC” vaso. Detalhes mostrando as folhas pequenas (A) e abortamento da floração (B), no primeiro ciclo.....	71
Figura 28 - Regressão segmentada obtida para a variação do número de folhas em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação,	

baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro ciclo de cultivo.....	72
Figura 29 - Regressões segmentadas obtidas para a variação de matéria seca da parte aérea em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B).....	73
Figura 30 - Regressões segmentadas obtidas para a variação de comprimento da raiz principal em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B).....	75
Figura 31 - Regressão segmentada obtida para a variação do ciclo da cultura de plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro ciclo de cultivo.....	76
Figura 32 - Regressões segmentadas obtidas para a variação de produtividade de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B).....	78
Figura 33 - Regressão segmentada obtida para a variação da massa de 100 grãos de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no segundo ciclo de cultivo.....	79
Figura 34 - Estômatos, na face abaxial, de folhas de <i>Crambe hispanica</i> submetido à diferentes níveis de irrigação, aos 76 DAS, segundo ciclo.....	87
Figura 35 - Estômatos, na face adaxial, de folhas de <i>Crambe hispanica</i> submetido à diferentes níveis de irrigação, aos 76 DAS, segundo ciclo.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exportação de nutrientes pela cultura do crambe.....	28
Tabela 2 – Teor de ácidos graxos (%) encontrados no óleo vegetal extraído de crambe.....	30
Tabela 3 - Características físicas do solo utilizado para enchimento dos vasos, Botucatu-SP.....	38
Tabela 4 - Características químicas do solo utilizado para enchimento dos vasos, no primeiro ciclo, Botucatu-SP.....	38
Tabela 5 - Características químicas do solo utilizado para enchimento dos vasos, no segundo ciclo, Botucatu-SP.....	39
Tabela 6 - Massa total do solo em cada tratamento na cultura do crambe, para os dois ciclos de cultivo.....	52
Tabela 7 - Características químicas da água utilizada para irrigação, Botucatu- SP.....	53
Tabela 8 - Evapotranspirações totais, evapotranspirações médias, drenagem total e drenagem média durante o ciclo da cultura do crambe, para os diferentes níveis de irrigação.....	65
Tabela 9 - Valores de coeficiente de cultivo (Kc) obtidos durante os ciclos da cultura do crambe, cultivar Brilhante, Botucatu, SP.....	67
Tabela 10 - Altura de planta de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo, aos 80 DAS.....	68
Tabela 11 - Diâmetro do caule em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo, aos 80 DAS.....	70
Tabela 12 - Número de folhas em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo.....	71
Tabela 13 - Matéria seca da parte aérea em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo.....	73
Tabela 14 - Comprimento da raiz principal em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo.....	74
Tabela 15 - Ciclo da cultura em crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo.....	76
Tabela 16 - Produtividade de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo.....	78

Tabela 17 - Massa de 100 grãos de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo.....	79
Tabela 18 - Teor de óleo de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo.....	80
Tabela 19 - Produção de óleo de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo.....	81
Tabela 20 - Taxa de assimilação de CO ₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO ₂ na folha (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (A/C_i) em plantas de crambe sob diferentes níveis de irrigação, aos 37 DAS, primeiro ciclo...	82
Tabela 21 - Taxa de assimilação de CO ₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO ₂ na folha (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (A/C_i) em plantas de crambe sob diferentes níveis de irrigação, aos 45, 61 e 75 DAS, segundo ciclo.....	83
Tabela 22 - Densidade estomática (estômatos por mm^2) nas faces abaxial e adaxial de folhas de crambe (<i>Crambe hispanica</i>) em sob diferentes níveis de irrigação, aos 76 DAS, segundo ciclo.....	86

SUMÁRIO

Página

1	INTRODUÇÃO.....	23
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1	A cultura do crambe.....	24
2.2	Importância do cultivo do crambe.....	28
2.3	Irrigação na cultura do crambe.....	31
2.4	Relações água-solo-planta-atmosfera.....	32
2.5	Efeito da água sobre o rendimento das culturas.....	35
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1	Caracterização da área experimental.....	37
3.2	Caracterização do delineamento experimental.....	43
3.3	Crambe (<i>Crambe hispanica</i>).....	45
3.4	Calagem e adubação.....	46
3.5	Manejo fitossanitário.....	47
3.6	Preparo dos vasos.....	49
3.7	Balanço hídrico e manejo da irrigação.....	50
3.8	Variáveis fenométricas e produtivas.....	56
3.8.1	Altura de planta (cm).....	57
3.8.2	Diâmetro do caule (mm).....	57
3.8.3	Número de folhas.....	57
3.8.4	Matéria seca da parte aérea (g).....	57
3.8.5	Comprimento da raiz principal (cm).....	57
3.8.6	Ciclo da cultura (dias).....	58
3.8.7	Massa de 100 grãos (g).....	58
3.8.8	Produtividade (kg ha ⁻¹).....	58
3.9	Teor de óleo.....	58
3.10	Avaliações de eficiência fotossintética.....	59
3.11	Densidade estomática.....	60
3.12	Análise estatística.....	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1	Evapotranspirações da cultura do crambe.....	62
4.2	Coeficiente de cultivo da cultura do crambe (Kc).....	67

4.3	Variáveis fenométricas e produtivas.....	67
4.3.1	Altura de planta e diâmetro do caule.....	67
4.3.2	Número de folhas e matéria seca da parte aérea.....	70
4.3.3	Comprimento da raiz principal e ciclo da cultura.....	73
4.3.4	Produtividade e massa de 100 grãos.....	76
4.4	Teor de óleo.....	80
4.5	Eficiência fotossintética.....	81
4.6	Densidade estomática.....	85
5	CONCLUSÕES.....	88
	REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

Com a instabilidade do petróleo na década de 70, o mundo despertou para o estudo de fontes alternativas de energia. A substituição do óleo diesel por biocombustíveis ou misturas desses com diesel constitui uma dessas alternativas. Atualmente para produção nacional de biodiesel utilizam-se culturas anuais, principalmente as cultivadas em ciclo de primavera-verão, faltando opções para o outono-inverno a fim de dar continuidade à produção de biodiesel. No Brasil, a soja é a principal oleaginosa utilizada como matéria prima para produção de biodiesel, responsável por 71,84% (BRASIL, 2016), concorrendo com sua utilização para o consumo humano e animal, havendo, com isso, uma procura por novas oleaginosas que possam produzir óleos não comestíveis para a geração de biodiesel. Neste contexto, o crambe (*Crambe hispanica* subsp. *abyssinica* (Hochst. ex R.E.Fr.) Prina), cultura pouco conhecida no Brasil, desponta como alternativa interessante para produção de biodiesel.

O cultivo de crambe no Brasil teve início nos anos 90 pela Fundação Mato Grosso do Sul (Fundação MS), sendo notável sua adaptabilidade ao clima da região, apresentando rusticidade, precocidade, tolerância ao estresse hídrico e ciclo de produção reduzido, por volta de 90 dias. Deste modo, mostra-se como boa opção para a rotação de culturas com capacidade de se expandir como opção de safrinha, não concorrendo com as culturas principais e as alimentares, possuindo cultivo completamente mecanizado com maquinários usados em outros cultivos, como a soja (ROSCOE; DELMONTES, 2008).

Embora a rusticidade seja uma característica favorável da cultura, em regiões com baixas precipitações pluviométricas há necessidade da utilização da irrigação. Sendo assim, existe a necessidade de avaliar seu comportamento frente à variação do armazenamento de água no solo na formação das plantas, já que o crambe é cultivado tipicamente em época de pouca ocorrência de precipitações pluviométricas. Não se tem trabalhos conclusivos sobre a demanda hídrica do crambe, sendo relatado que a cultura necessita de 150 a 200 mm de água até seu florescimento e após este estágio a escassez de chuva proporciona melhor desenvolvimento, reduzindo também a ocorrência de doenças (PITOL, 2008; ROSCOE; PITOL; BROCH, 2010). Porém, o conhecimento dos fatores climáticos da região em estudo é de fundamental relevância para o sistema de manejo da

irrigação, auxiliando na aferição da evapotranspiração (ET), que é o dispêndio de água de um determinado local, por meio da evaporação de água no solo e da transpiração das plantas, ocasionada durante o processo fotossintético (HERNANDEZ; ALVES JÚNIOR; LOPES, 2001).

A cultura expressa sua evapotranspiração máxima (ET_m) quando é submetida a condições de água suficiente para crescimento e desenvolvimento sem restrição, ou seja, quando o solo é mantido em capacidade de campo, representando o índice de evapotranspiração máxima de uma cultura saudável, que cresce em amplas áreas sob condições ideais de manejo agrônomo e de irrigação (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Já na evapotranspiração real (ET_r) considera-se o nível atual de água disponível no solo, sendo que a ET_r será igual a ET_m quando a água disponível no solo for suficiente para a cultura (ET_r = ET_m), entretanto, ET_r < ET_m quando a água disponível no solo for limitada, cultura mantida sob estresse hídrico (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Diante disto, este trabalho teve por objetivo mensurar a evapotranspiração do crambe em diferentes níveis de irrigação, sob condições de ambiente protegido, a fim de avaliar sua capacidade de tolerância ao estresse hídrico, sendo avaliada a produtividade de grãos e óleo da cultura, bem como variáveis fenométricas e eficiência fotossintética.

2 REVISÃO DE LITERATURA

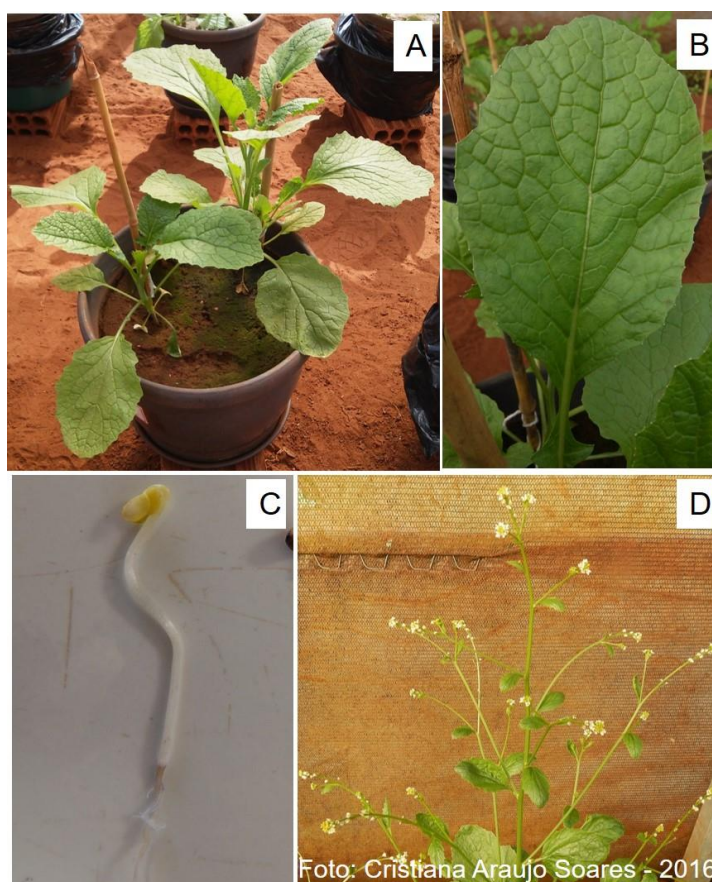
2.1 A cultura do crambe

O crambe (*Crambe hispanica* subsp. *abyssinica* (Hochst. ex R.E.Fr.) Prina) é uma espécie que pertence à família das brássicas, procedente da região quente e seca da Etiópia e adaptado na zona fria e seca do Mediterrâneo, apresentando em decorrência dessa origem, boa tolerância ao frio e a seca (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010).

Oleaginosa de ciclo anual, possui sistema radicular axial profundo, crescimento determinado e altura variando de 0,60 a 0,90 m (Figura 1A), podendo exceder esses valores em decorrência da densidade de semeadura e época de plantio (COLODETTI et al., 2012). Possui folhas grandes e largas (Figura 1B) e, de acordo com Toebe et al. (2010), considerando-se as medidas lineares, a largura da

folha é a característica que proporciona melhor estimativa da área foliar da planta. Suas sementes (Figura 1C) são redondas e encontram-se envolvidas por uma estrutura tegumentar denominada de pericarpo, que as protege contra desgastes e impactos, funcionando como empecilho para entrada de microrganismos, permitindo seu armazenamento por grandes períodos, sem perda significativa na porcentagem de germinação (PEREZ, 1998).

Figura 1 - Plantas de crambe: planta em desenvolvimento (A), detalhe das folhas (B), semente em germinação (C) e florescimento (D)



O pericarpo conserva-se preso às sementes depois da colheita, apresentando de 25 a 30% da massa total dos frutos, possui alto teor de lignina (40%) e alto teor de celulose (41%) (LAZZERI et al., 1997; GASTALDI et al., 1998). Oliva (2010) testando a qualidade de sementes de crambe submetidas a diversos métodos de secagem, com período de armazenamento de oito meses, obteve potencial de germinação de 97, 91, 90, 89 e 89%, para os métodos de secagem na planta, em terreiro, com ar não aquecido, com ar aquecido e à sombra, respectivamente. O

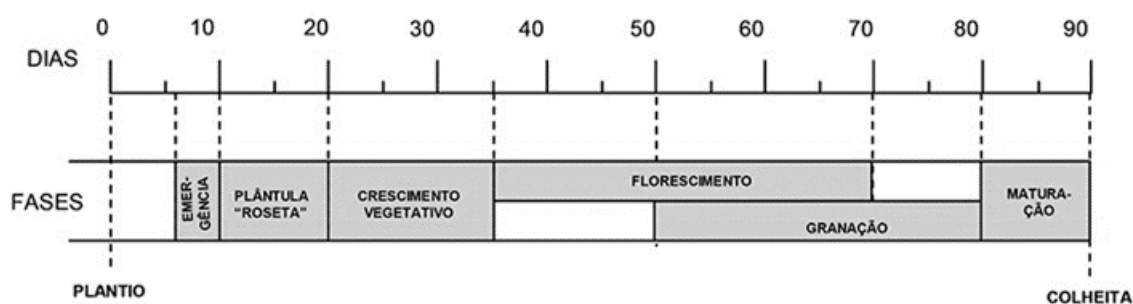
mesmo autor relatou que logo após a colheita as sementes de todos os tratamentos apresentaram baixa porcentagem de germinação, entre 3,62 a 5,75%, e alto percentual de sementes dormentes, variando entre 83,12 a 88,75%, mostrando que as sementes apresentavam elevado grau de dormência imediatamente após a colheita.

O crambe possui fecundação cruzada, inflorescência (Figura 1D) do tipo racemo, com flores de coloração branca e frutos em formato de cápsula. Grãos redondos, com diâmetro de 2 mm e coloração marrom claro. O teor de óleo dos grãos com casca varia de 36 a 38%, com 22% de casca. A produtividade da cultura é de 1.507,05 kg ha⁻¹ obtida na cidade de Botucatu-SP, cultivado em sistema de plantio direto (JASPER; BIAGGIONI; SILVA, 2010).

As pesquisas com a cultura do crambe e sua produção para comercialização intensificaram-se nos anos 80, depois da introdução nos Estados Unidos, Reino Unido, Itália, França e Portugal (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010). No entanto, as áreas cultivadas nesses países não cresceram significativamente, porque o crambe concorre por área com as principais culturas de safra, como o milho, a soja e o trigo, sendo impossível cultivar o crambe em safrinha nesses países. Com isso, o crambe encontra-se expandindo para outros países, como Austrália, África do Sul e Brasil (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010).

A primeira e única cultivar brasileira de crambe possui altura média de 0,80 m, aspecto herbáceo, caule ramificado, ciclo de 90 dias e florescimento com 35 dias (Figura 2).

Figura 2 - Ciclo do crambe (*Crambe hispanica*), cultivar FMS Brilhante, na região de Maracaju, MS.



Fonte: Pitol; Broch e Roscoe (2010, p. 7).

A semeadura pode ser realizada com plantadoras de soja ou semeadoras para sementes pequenas, devendo-se ter atenção com invasoras de folhas largas, pois não existem herbicidas seletivos para o controle. A data da semeadura depende da permanência do período chuvoso de cada região: a) Região sul do Mato Grosso do Sul, norte do Paraná e sul de São Paulo: 15 de março a 15 de maio; b) Região central do Mato Grosso do Sul: 15 março a 15 de abril; c) Região norte do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás: 01 fevereiro a 01 de abril. Espaçamentos recomendados para semeadura de 17 a 50 cm, sendo que o menor espaçamento diminui a competição com as ervas invasoras, enquanto o maior proporciona melhor arejamento, evitando também o acamamento da cultura em condições muito favoráveis ao desenvolvimento da planta. O estande de plantas oscila entre 80 e 120 plantas m^{-2} (20 a 30 plantas m^{-1}), o que representa de 12 a 15 kg ha^{-1} de sementes (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010).

Nas condições climáticas do Brasil, a cultura do crambe se comporta como de outono-inverno, tendo seu cultivo em época de safrinha (NEVES et al., 2007; RUAS et al., 2010). Apresenta pequena necessidade de água, resistente ao frio e ciclo muito curto, conseguindo produzir de maneira satisfatória em condições que a maior parte das culturas não produziria.

Apesar da cultura do crambe possuir sistema radicular profundo, é bastante sensível ao alumínio tóxico, sendo necessário um perfil de solo bem corrigido. O solo deve ser corrigido para aumentar o pH até 5,8 a 6,2, sendo considerada faixa ótima para o desenvolvimento da cultura. Igualmente, procura-se aumentar a saturação por base a 60% e minimizar a presença e interferência do alumínio trocável (BROCH; ROSCOE, 2010). Com relação à adubação de semeadura, com NPK, são observados resultados moderados somente quando a adubação é realizada em solos com baixos teores desses nutrientes. Na Tabela 1, estão apresentadas as quantidades de macronutrientes e micronutrientes exportadas pela cultura do crambe.

Tabela 1 - Exportação de nutrientes pela cultura do crambe

Nutrientes	Exportação
	Crambe (25 sc ha ⁻¹) kg ha ⁻¹
N	60
P ₂ O ₅	21
K ₂ O	16
Ca	10
Mg	8
S	4
	g ha ⁻¹
Fe	158
Zn	66
Mn	48
Cu	14
B	41

Fonte: Pitol; Broch e Roscoe (2010, p. 25).

As plantas de crambe apresentam os glucosinolatos em sua composição química. O resultado do metabolismo destes compostos é a síntese de substâncias tóxicas aos insetos, que funcionam como obstáculo natural ao acometimento de pragas. Por esse motivo, poucas pragas são relatadas atacando o crambe no Brasil, acontecendo ataques isolados de lagartas dos gêneros *Agrotis* spp. e *Spodoptera* spp. seccionando as plântulas, bem como, do pulgão *Brevicoryne brassicae* sugando-as (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010).

As ocorrências de doenças são favorecidas quando ocorrem elevadas precipitações, causando elevação na umidade do ar e do solo. Dentre outras, podem ocorrer “ataque de alternaria (*Alternaria* sp.), esclerotínia (*Sclerotinia sclerotiarum*), fusário (*Fusarium* sp.), plasmodiophora (*Plasmodiophora* sp.) e canela preta (*Leptosphaeria maculans*)” (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010, p. 38). Essas doenças são um dos fatores limitantes ao cultivo do crambe, interferindo desde a produção de grãos até o teor de óleo. Uma das formas mais eficientes para se minimizar o risco com o ataque de doenças fúngicas é o tratamento de sementes (ZAMBOLIM, 2005).

2. 2 Importância do cultivo do crambe

Os problemas ambientais e energéticos desencadeados ao longo dos anos em função do uso de combustíveis fósseis têm motivado muitos pesquisadores a estudarem o uso de combustíveis alternativos como substitutos do petróleo e de

seus derivados. Dentre estes combustíveis destaca-se o biodiesel, ésteres de ácidos graxos, que é gerado a partir de fontes renováveis, como os óleos vegetais ou gorduras de origem animal, através do processo de transesterificação com um álcool podendo a reação ser catalisada por álcalis, ácidos ou enzimas (BENEVIDES, 2011).

A combustão de combustíveis fósseis promove emissões de gases (CO_2 e CO, óxidos de nitrogênio e compostos sulfurados) que estão relacionados a problemas como efeito estufa e chuva ácida, além de ser o petróleo originário de fontes não renováveis (BENEVIDES, 2011). O biodiesel é um combustível ambientalmente limpo quando comparado ao diesel de petróleo, pois o mesmo reduz as emissões dos gases poluentes, além de ser biodegradável e atóxico, uma vez que está livre de compostos sulfurados e aromáticos. “Do ponto de vista econômico, sua viabilidade está relacionada à substituição das importações de diesel mineral, cada 5% de biodiesel misturado ao diesel garantirá uma economia de mais de US\$ 160 milhões ano⁻¹” (BENEVIDES, 2011, p. 13). Para a sociedade, o aproveitamento energético dos óleos de origem vegetal também é benéfico, pois cria postos de trabalhos tanto na agricultura quanto na indústria (BRASIL, 2016).

A produção nacional de biodiesel possui alicerces em culturas de ciclo anual, especialmente de ciclo primavera-verão, necessitando-se de opções para outono-inverno a fim de dar continuidade à produção de biodiesel, além de servir como rotação de culturas. No Brasil, a soja é a principal oleaginosa utilizada como matéria prima para fabricação de biodiesel, responsável por 71,84% (BRASIL, 2016) concorrendo com sua utilização para o consumo humano e animal, havendo com isso uma procura por novas oleaginosas que possam produzir óleos não comestíveis para a geração de biodiesel. Cultura pouco conhecida no Brasil, o crambe apresenta-se como opção interessante para geração de biodiesel.

O crambe possui ciclo de produção reduzido, por volta de 90 dias, apresentando-se como boa opção para a rotação de culturas com capacidade de se expandir como opção safrinha, não concorrendo com as culturas principais e as alimentares, possuindo cultivo completamente mecanizado com maquinários usados em outros cultivos, como a soja (ROSCOE; DELMONTES, 2008).

O teor de óleo nos grãos de crambe com casca, varia de 36 a 38% em base seca, não sendo comestível e por isso não concorre diretamente com o mercado de alimento (KNIGHTS, 2002). Alto teor de ácido erúico (Tabela 2), possui importantes

características para a indústria química, sendo também usados em adjuvantes para aplicação de pesticidas, lubrificantes e como agente deslizante em ligas plásticas (BRISCOE; LUCKHAM; REN, 1992; BRITO, 2009).

A produção de biodiesel a partir de óleo de crambe pode acarretar muitos benefícios, devido o mesmo possuir baixo ponto de fusão (-12°C) e elevada estabilidade oxidativa (ROSCOE; PITOL; BROCH, 2010), importante para combinações com matérias primas de inferior qualidade. O biodiesel oriundo do crambe está dentro das normas descritas na Resolução nº 7 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (JASPER, 2009).

Tabela 2 - Teor de ácidos graxos (%) encontrados no óleo vegetal extraído de crambe

Ácido graxo	Crambe (<i>Crambe abyssinica</i>)
Palmítico	1,8
Estearico	0,7
Oléico	17,2
Linoleico	8,7
Linolênico	5,2
Eicosanóico	3,4
Erúcico	58,0 a 62,0
Brassidico	0,7
Tetracosanóico	0,7
Nervônico	1,6
Outros	2,5

Fonte: COLODETTI et al. (2012, p. 260).

O ácido erúcico possui alto valor industrial, tendo óleo de colza como principal fonte desse ácido, no entanto, a produção é insuficiente para suprir a demanda, sendo esta, outra característica favorável para incentivar à produção do crambe. Segundo Glaser (1996) estas duas culturas são as únicas fontes comerciais desse ácido.

No processo de extração do óleo das oleaginosas, para geração de biodiesel, são produzidos também resíduos como tortas e farelos que podem ser usados na dieta de ruminantes (ABDALLA et al., 2008). O aproveitamento desses resíduos diminui os custos de produção, proporcionando reaproveitar a matéria orgânica oriunda dos vegetais (BRÁS, 2011). Os subprodutos do crambe podem ser usados na nutrição animal como complemento de proteína (CARLSON; TOOKEY, 1983). Segundo Mendonça et al. (2015), a torta de crambe pode ser utilizada na nutrição de

bovinos de corte em confinamento em até 20% da dieta total, sendo uma excelente fonte proteica.

2. 3 Irrigação na cultura do crambe

A água está presente em diversas atividades econômicas, sendo a agricultura irrigada a que utiliza o maior volume do referido recurso natural, ou seja, cerca de 70% de toda água doce captada mundialmente, segundo a Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2012). Por outro lado, Itaborahy et al. (2004) enfatizam a grande importância da agricultura irrigada na produção de alimentos, visto que, no mundo, apesar de apenas cerca de 17% da área plantada ser proveniente desse tipo de agricultura, a mesma responde por mais de 40% da produção global, equivalendo a duas vezes e meia a produção de alimento das áreas em sequeiro. De acordo com a Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2004), no Brasil a produtividade em cada hectare irrigado corresponde a oriunda de três hectares cultivados em sequeiro, quando se considera a produtividade física, quando leva-se em conta a produtividade econômica a proporção aumenta de 7:1.

O adequado suprimento hídrico através da irrigação faz com que a planta mantenha fluxo contínuo de água e nutrientes do solo para as folhas, beneficiando os processos de desenvolvimento, florescimento e frutificação, possibilitando elevação da produtividade e melhora na qualidade do fruto (COELHO et al., 2003; SANCHES; DANTAS, 1999).

As plantas de crambe desenvolvem-se melhor em regiões semiáridas, com altas temperaturas durante o dia (21 a 32°C), noites frias (10 a 15°C) e baixa umidade (GLASER, 1996). A precipitação anual em áreas com cultivo do crambe na maioria das vezes é satisfatória para a cultura, sendo que irrigação não é uma técnica muito empregada (CARLSSON et al., 2007). A cultura tolera pluviosidade anual de 350 a 1.200 mm.

Apesar de sensível ao déficit hídrico, o crambe é tolerante a períodos de estiagem, devido seu sistema radicular, que alcança profundidades superiores a 15 cm (CARLSSON et al., 2007; KNIGHTS, 2002). Oplinger et al. (1991) relatam que sob situações de estresse hídrico, por deficiência, as plantas desenvolvem longas raízes, que depois tornam-se cônicas. Em todos os estádios de desenvolvimento o

crambe é mais tolerante à seca do que a soja, canola, mostarda e milho (GLASER, 1996).

Santos et al. (2012) avaliando o desenvolvimento fenométrico do crambe na região de Cascavel (PR) sob diferentes níveis de irrigação: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 vezes a reposição da água evaporada através do mini-tanque evaporímetro, correspondendo a lâminas totais de 22,8; 45,6; 68,5; 91,2 e 114 mm, respectivamente, observaram acréscimos significativos em todas as variáveis analisada com acréscimo na lâmina utilizada. Resultados semelhantes foram obtidos por Butrinowski et al. (2011) que, utilizando os mesmos níveis de irrigação, na mesma região de Cascavel-PR obtiveram valores mais elevados das variáveis fenométricas estudadas, especialmente com aplicação do maior nível de irrigação (2,5 vezes a reposição de água evaporada).

Sendo a tolerância do crambe ao estresse hídrico uma informação bastante difundida, há a necessidade de trabalhos que a comprovem, pois não se tem estudos conclusivos sobre a demanda hídrica do crambe, sendo relatado que a cultura necessita de 150 a 200 mm de água até seu florescimento e depois deste estágio a não ocorrência de precipitação pluviométrica proporciona melhor desenvolvimento, reduzindo também o aparecimento de doenças (PITOL, 2008; ROSCOE; PITOL; BROCH, 2010).

2. 4 Relações água-solo-planta-atmosfera

O conhecimento das características climáticas é de extrema relevância para se efetuar um manejo racional da irrigação, auxiliando na estimativa da evapotranspiração, que é a transferência de água de um local úmido (evaporação) mais a transpiração das plantas, provocada durante o processo fotossintético (HERNANDEZ; ALVES JÚNIOR; LOPES, 2001).

O suprimento da quantidade de água adequada é indispensável para o bom desenvolvimento das plantas, pois a água mantém a turgidez e o resfriamento das folhas. Se o fornecimento hídrico é insuficiente, os estômatos fecham-se. A deficiência hídrica diminui o alongamento celular dos vegetais, enquanto o fechamento estomático diminui a disponibilidade de CO₂ e, conseqüentemente, o crescimento e produção de assimilados (JARVIS; DAVIES, 1998).

A movimentação da água dentro do sistema solo-planta-atmosfera é feita por fluxo de massa, especialmente no estado líquido (em condições de elevado déficit hídrico, por fluxo de vapor no solo, desempenhando papel fundamental). Este fluxo acontece a partir dos espaços intercelulares das folhas, por difusão de vapor (TARDIEU; DAVIES, 1992; TARDIEU; SIMONNEAU, 1998). A água flui por meio de via composta de um sistema de resistências hidráulicas partindo do solo, atravessando a planta e, por fim, chegando a atmosfera (ZIMMERMANN; MEINZER; BENTRUP, 1995).

Para a raiz conseguir absorver a água, primeiramente é necessário vencer a resistência hidráulica do solo, resistência esta que depende das propriedades hidráulicas do solo, da umidade e do espaço a ser percorrido. Após a absorção pelas raízes a água atinge os vasos xilemáticos, encontrando baixa resistência hidráulica (DURIGON, 2011). A água se eleva por dentro dos vasos xilemáticos, ficando depositada nas paredes das células mesofílicas, na fase líquida, depois evapora-se, sendo difusa em vapor, nos espaços intercelulares das folhas chegando à atmosfera por meio da cutícula e da epiderme e/ou pelos estômatos. A via cuticular possui elevada resistência hidráulica, sendo os estômatos a via fundamental de dispersão do vapor d'água das folhas até a atmosfera (DURIGON, 2011).

O obstáculo que o ar impõe ao processo de difusão do vapor d'água nas proximidades das folhas é representada pela resistência da camada limite (aerodinâmica). Não há concordância de opinião sobre qual segmento do sistema é causador do estresse hídrico. Repetidamente, a diminuição do teor de água no solo e o acréscimo decorrente da resistência hidráulica são mencionados como mecanismos fundamentais que induzem as plantas ao estresse hídrico (SCHRÖDER et al., 2008). O processo de absorver água através das raízes depende do deslocamento de água no solo no sentido da superfície radicular, mas pode também ter influência do processo de transpiração. Entretanto, o percentual de transpiração é influenciado pela condutância dos estômatos e pelas condições do ambiente (CAMPBELL; NORMAN, 1998).

Pelos estômatos fluem vapor d'água, oxigênio e gás carbônico. Na maior parte dos vegetais os estômatos se mantêm abertos no decorrer do dia e fechados no período da noite e em circunstâncias de elevado estresse hídrico. O estresse hídrico acontece em duas circunstâncias distintas, quando não se tem água

disponível no solo para as plantas e quando tem água disponível no solo, mas a planta não consegue absorver na quantidade e velocidade satisfatória para suprir a demanda da atmosfera (poder evaporante do ar) (PEREIRA; VILLA NOVA E SEDIYAMA, 1997).

O processo de evaporação da água (fenômeno físico) proporciona modificação no estado da água, do líquido para o gasoso diretamente de uma superfície líquida ou úmida (solo e planta). Segundo Philip (1957), o processo de evaporação da água nas camadas superficiais e de perfil do solo é separada em três fases. Na primeira fase, o solo seca à porcentagem continua dependendo somente da energia que se encontra disponível na superfície, sendo influenciado pela exigência da atmosfera, pelas propriedades hidráulicas e profundidade do solo. Na segunda fase (depleção), a superfície do solo seca e a evaporação se dá na parte interna do solo, o vapor d'água chega à superfície através da difusão molecular, sendo o fluxo de massa ocasionado pela oscilação na pressão do ar. Na terceira e última fase a velocidade da evaporação em situação de umidade baixa perde a linearidade acontecendo a movimentação da água no perfil do solo em decorrência das forças de fixação entre a água e as partículas do solo. Em síntese, a evaporação está sujeita as características físicas do solo, que conduzem lentamente a água até atingir a superfície atendendo a exigência solicitadas pelas condições da atmosfera.

Quando a modificação do estado físico da água ocorre por meio das plantas é denominada transpiração. O processo de transpiração baseia-se na evaporação da água em estado líquido presa nos tecidos vegetais e sua posterior transferência para atmosfera. Maior parte desse fluxo ocorre através dos estômatos, que são pequenas aberturas nas folhas das plantas e que torna possível a comunicação entre a parte interna da planta e a atmosfera. Praticamente, toda água absorvida pela planta por meio das raízes é perdida por transpiração e somente uma fração pequena é utilizada para seu desenvolvimento (CARVALHO; OLIVEIRA, 2012).

Em uma superfície com vegetação, ao mesmo tempo acontecem a evaporação e a transpiração. A evapotranspiração (ET) foi a definição usada por Thornthwaite, para denominar essa ocorrência simultânea (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). A ET pode ser dividida em evapotranspiração máxima (ET_m), evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração real (ET_r).

A ET_m se refere às situações em que a quantidade de água fornecida a cultura é satisfatória para proporcionar crescimento e desenvolvimento sem restrição, representando a percentagem de evapotranspiração máxima de uma cultura sadia, que cresce em amplas áreas sob situações ideais de manejo, tanto agrônomo como de irrigação (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

A ET_o é representada pela taxa de evapotranspiração de uma área extensa coberta por uma grama verde pequena de evaporação a 0,15 m de altura, em crescimento ativo, sombreando completamente o terreno e sem escassez de água (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Segundo Allen et al. (1998) seu conceito se refere a uma cultura hipotética, gerada para estudar a capacidade evaporativa da atmosfera em local específico e época do ano, sem levar em conta os elementos do solo, a cultura, o estágio de desenvolvimento e as práticas de manejo. Segundo os mesmos, os únicos elementos que afetam a ET_o são os parâmetros climáticos, logo, ET_o pode ser calculada por dados climáticos.

Na ET_r considera-se o nível de água disponível no solo. A ET_r será igual a ET_m quando a água no solo for suficiente para a cultura, ou seja, $ET_r = ET_m$; entretanto, $ET_r < ET_m$ quando a água disponível no solo for limitada (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

A evapotranspiração pode ser estimada ou determinada por diversos métodos. Conforme Miranda; Gonçalves e Carvalho (2001), pode ser determinada usando métodos diretos ou estimada através de dados climáticos (indiretos). Nos métodos diretos, dentre outros, estão compreendidos os diferentes tipos de lisímetros e o balanço hídrico no solo; enquanto nos métodos indiretos, enquadram-se os métodos teóricos e empíricos (Penman-Monteith, Hargreaves e Tanque Classe A).

2. 5 Efeito da água sobre o rendimento das culturas

A maior parte das culturas possuem fases críticas em relação à deficiência de água, no decorrer das quais a ausência de água ocasiona diminuição drástica na produção final; as perdas ocasionadas dependem da severidade, do tempo de duração e da fase de desenvolvimento em que a cultura se encontra (FOLEGATTI et al., 1997). Para alcançar produção ótima é necessário avaliar a resposta do fornecimento hídrico sobre a produtividade da cultura.

O alcance de alta produção requer também a utilização de técnicas de manejo que objetivem aprimorar a irrigação e está utilização só se faz possível com informações sobre as exigências hídricas das plantas (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Diante da recente apreensão mundial com a falta de água e o elevado preço em algumas situações, a procura por aumentar a eficiência no uso da água pelas plantas tem despertado muitas preocupações pelas pesquisas, devido este insumo ocupar cada vez mais considerável percentual nas despesas de produção (OLIVEIRA, 2012). Reichardt e Timm (2004) citam que 98% da água que as raízes absorvem passam por ela transferindo-se para atmosfera, por meio do processo de transpiração. Contudo, este fluxo é indispensável para o adequado desenvolvimento da planta, necessitando perante isto serem conservados os limites de umidade na faixa ótima para as culturas. O processo de absorção continuada de água é essencial ao bom crescimento e desenvolvimento das plantas, visto que a maior parte dos vegetais em clima tropical chegam a transferir para atmosfera mais de 100% de seu peso em água, durante o dia, em certas situações (PIMENTEL, 1998).

A conservação do teor de água no solo, na faixa ótima, dentro do limite inferior onde inicia a resistência mecânica ao desenvolvimento da raiz e do limite superior onde a aeração é pequena, facilitaria o melhor desenvolvimento das raízes (LETEY, 1985). Portanto, a lâmina de irrigação que é adicionada, associada às características físicas do solo influencia no potencial da água, no arejamento e na resistência mecânica, que possuem associação direta com a produção. Em determinados locais onde a água constitui-se fator limitante principal, o propósito precisa ser alcançar a produção máxima por unidade de água utilizada, adaptando-se a irrigação as fases críticas de deficiência hídrica como: a germinação, florescimento, granação ou desenvolvimento dos frutos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

Segundo os autores supracitados, a relação entre a água evapotranspirada através da cultura e a colocada através da irrigação deve se aproximar de 1,0, para que seja obtida eficiência máxima no uso e aplicação de água. A deficiência de água é caracterizada sempre que a evapotranspiração real (ET_r) for menor que a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m). Portanto, toda vez que a $ET_r/ET_m < 1,0$ há deficiência hídrica, e quanto menor for essa relação, maior será a deficiência

e seu efeito sobre a produtividade (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; NANGOI, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos no período de agosto a dezembro de 2015 (1º ciclo) e no período de maio a agosto de 2016 (2º ciclo) na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/UNESP), localizada no município de Botucatu, São Paulo, a 22°51'06" S, longitude 48°25'45" W e 763 m de altitude, com clima temperado, apresentando verões quentes e úmidos e invernos frios e secos, tipo Cfa, de acordo com os critérios de Köppen (1936), com médias anuais de 20,3 °C de temperatura, 73,9% de umidade relativa do ar e precipitação pluvial média anual de 1.501,4 mm.

Os cultivos foram realizados em ambiente protegido, em vasos de volume 10,5 L, em casa de vegetação com estrutura metálica, área de 147 m², pé direito com 2,20 m, coberta com plástico de polietileno, tendo suas laterais protegidas com tela com 30% de sombreamento, para diminuir a entrada de insetos (Figura 3).

Figura 3 - Vista frontal da casa de vegetação, Departamento de Engenharia Rural, Botucatu-SP



O solo utilizado nos vasos foi classificado como Latossolo Vermelho de textura média (EMBRAPA, 2006). Para sua caracterização física e química (Tabela 3, 4 e 5) foram coletadas amostras e enviadas ao laboratório.

Tabela 3 - Características físicas do solo utilizado para enchimento dos vasos, Botucatu-SP

Areia	Argila	Silte	Textura do Solo	Condutividade Elétrica	H ₂ O retida	Densidade do Solo	Porosidade Total (α)
-----(g kg^{-1})-----				($\mu\text{S cm}^{-1}$)	C.C. (kg kg^{-1})	(kg dm^{-3})	(%)
621	200	179	Média	549	0,33 ($s=1,41$)	1,2	0,40

Fonte: Laboratório de física de solo, FCA, UNESP; n = 3.

Tabela 4 - Características químicas do solo utilizado para enchimento dos vasos, no primeiro ciclo, Botucatu-SP

pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
H ₂ O	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----- $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----								mg dm^{-3}
6,5	10	12	0	13	0,6	30	4	35	48	73	4

Fonte: Laboratório de fertilidade do solo, FCA, UNESP; n = 3.

Tabela 5 - Características químicas do solo utilizado para enchimento dos vasos, no segundo ciclo, Botucatu-SP

pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
H ₂ O	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----								mg dm ³
5,9	13	5	0	16	3,5	24	14	41	57	72	9

Fonte: Laboratório de fertilidade do solo, FCA, UNESP; n=3.

No período de condução dos experimentos, os valores de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos através de termo-higrômetro digital, Minipa MT-241 com sensor externo (Figura 4), instalado no centro da área experimental a 1,5 m de altura, sendo em seguida os referidos valores comparados com os disponibilizados diariamente através da Estação Meteorológica do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da FCA/UNESP (Figuras 5, 6, 7 e 8). Durante a condução do primeiro ciclo as temperaturas médias registradas foram de 28,5 e 22,5 °C para o ambiente interno e externo, respectivamente (Figuras 5), sendo a umidade relativa do ar média dentro da estufa de 60,9% e no ambiente externo 72,8% (Figura 7). No segundo ciclo, por ter sido realizado no período de outono-inverno as temperaturas e umidades relativas do ar foram inferiores as obtidas no primeiro ciclo, sendo os valores de temperatura 22,9 e 17,9 °C para o ambiente interno e externo, respectivamente e o valor de umidade dentro da estufa de 55,7% e no ambiente externo 70,4% (Figuras 6 e 8).

Figura 4 - Termo-higrômetro digital utilizado para coleta dos dados de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%)



Figura 5 - Valores de temperaturas máxima, mínima e média no período de condução do experimento. A) dados internos (casa de vegetação) e B) dados externos (Estação Meteorológica), no primeiro ciclo

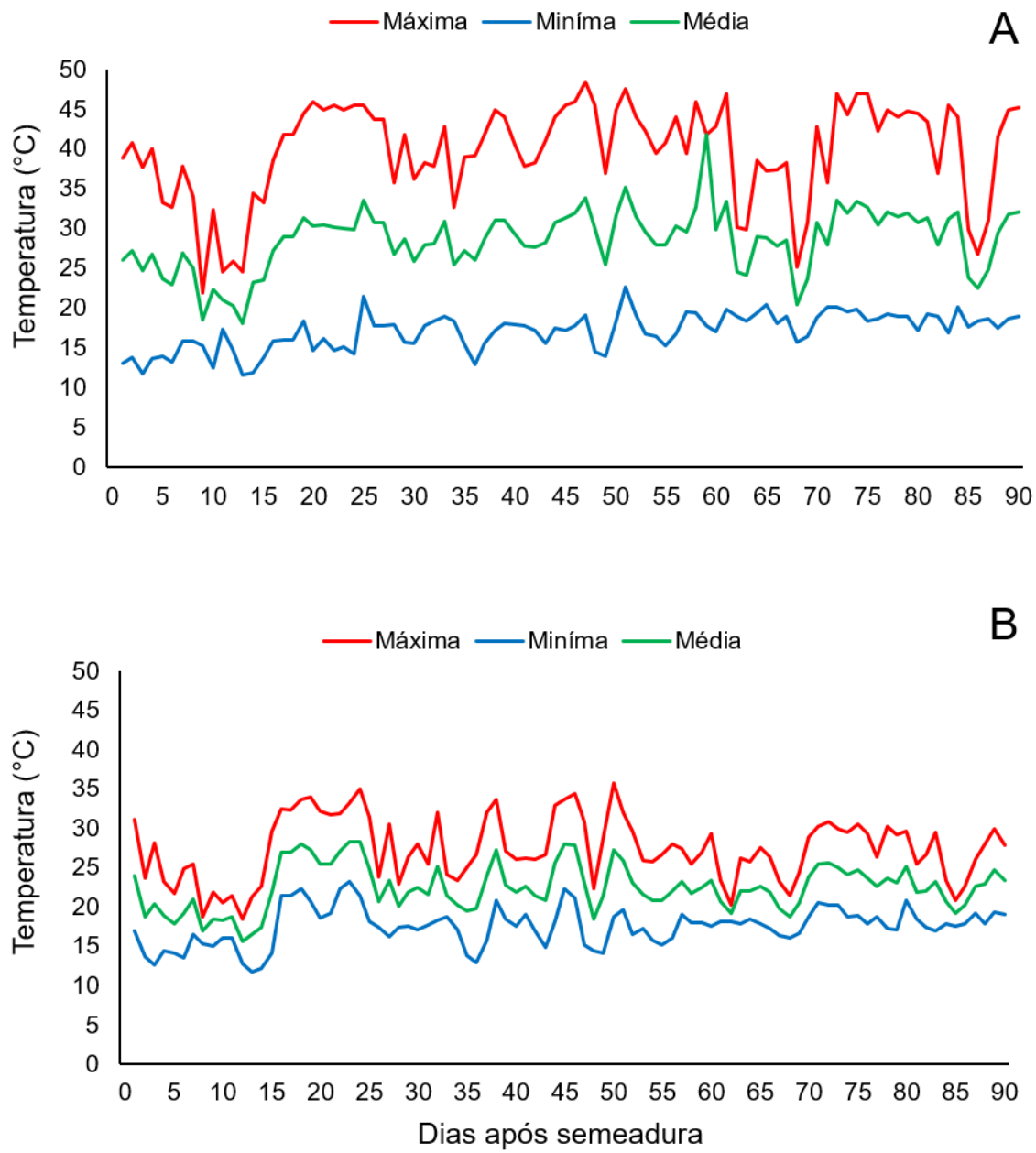


Figura 6 - Valores de temperaturas máxima, mínima e média no período de condução do experimento. A) dados internos (casa de vegetação) e B) dados externos (Estação Meteorológica), no segundo ciclo

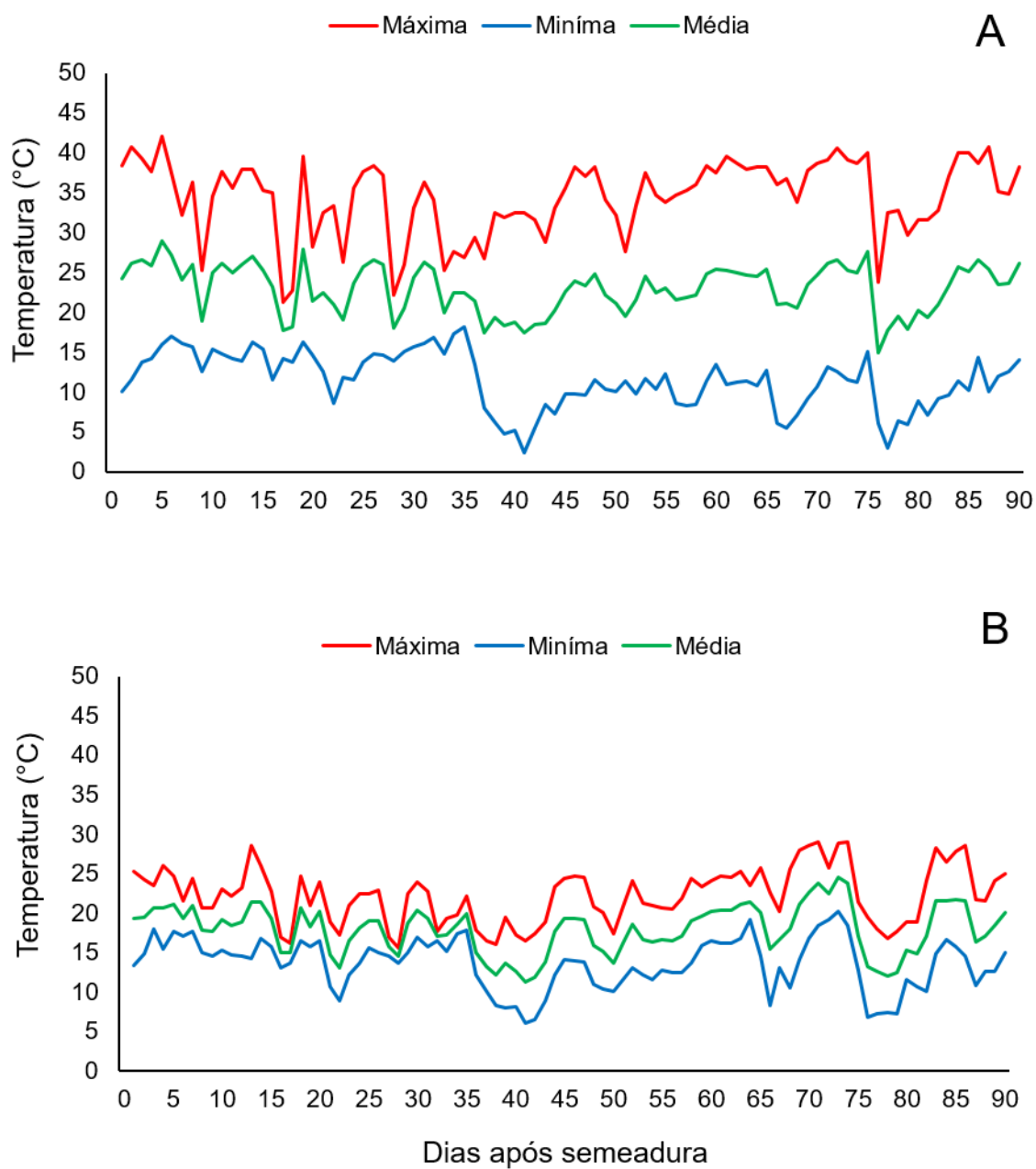


Figura 7 - Valores de umidade relativa do ar máxima, mínima e média no período de condução do experimento. A) dados internos (casa de vegetação) e B) dados externos (Estação Meteorológica), no primeiro ciclo

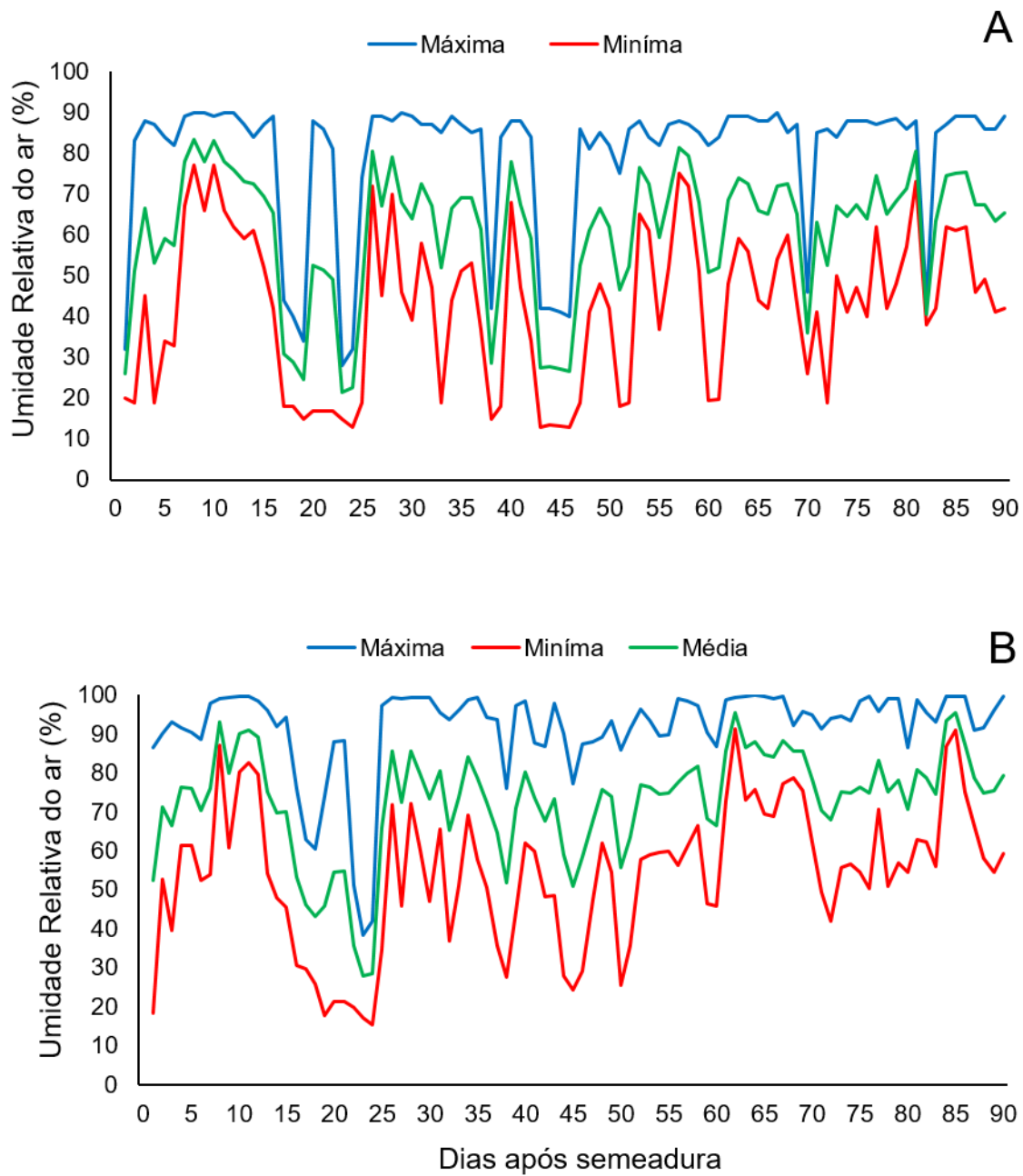
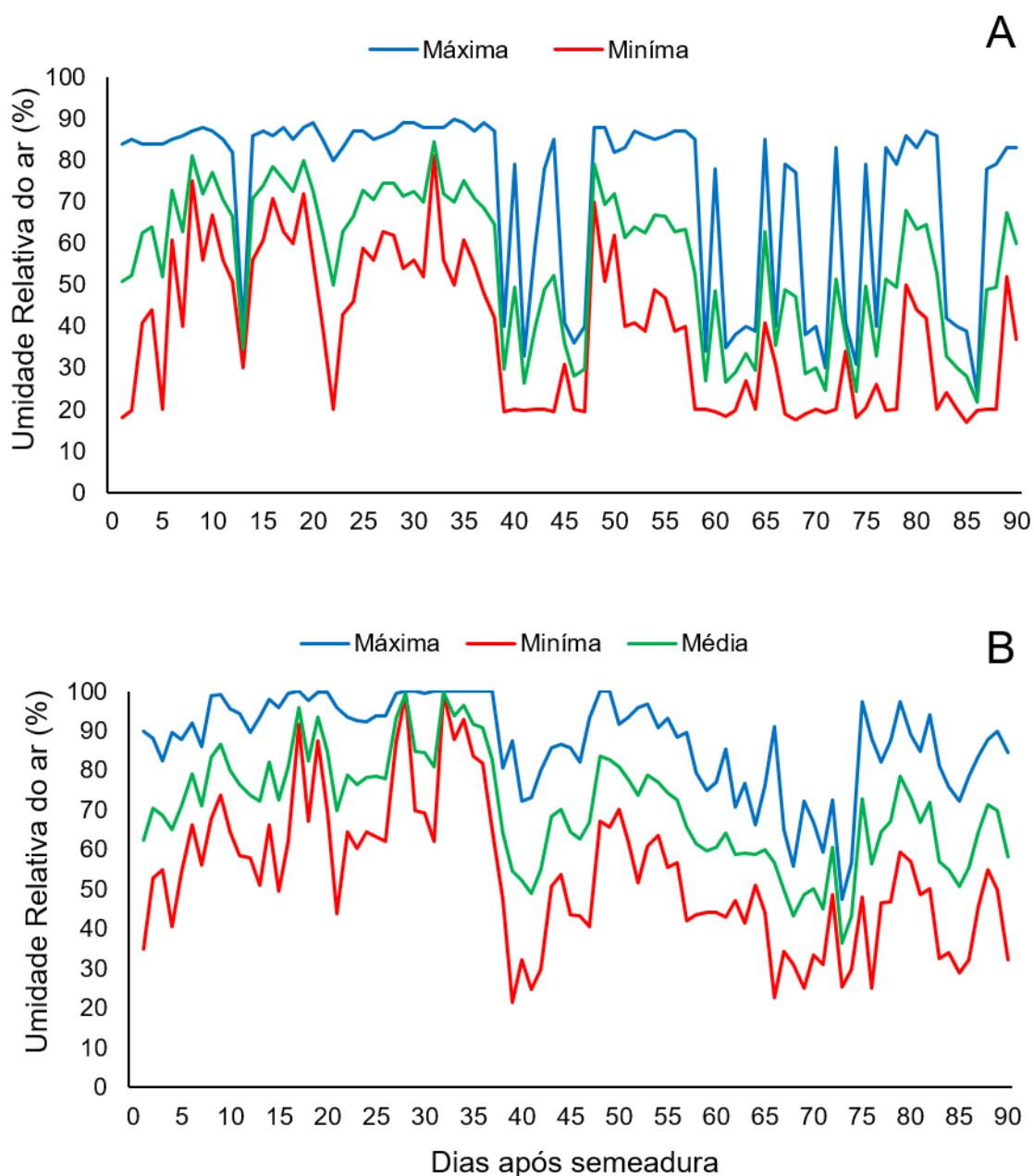


Figura 8 - Valores de umidade relativa do ar máxima, mínima e média no período de condução do experimento. A) dados internos (casa de vegetação) e B) dados externos (Estação Meteorológica), no segundo ciclo



3. 2 Caracterização do delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo constituído de seis tratamentos e quatro repetições, resultando em 24 unidades experimentais, cada unidade representada por um vaso com duas plantas. Foi inserido um sétimo

tratamento com a finalidade de isolar o efeito da evaporação do solo para avaliar a fração da transpiração na evapotranspiração da cultura e em seguida comparar os dados de produtividade com o Tratamento 1 (Figura 9).

Os tratamentos utilizados foram definidos a partir de pré-ensaio (conduzido no período de novembro de 2014 a fevereiro de 2015), visando à determinação dos déficits hídricos suportados pela cultura e o conhecimento da mesma, devido ser uma planta pouco conhecida. Os tratamentos foram:

T1 – Manter o solo diariamente na capacidade de campo medida no vaso (“CC” vaso);

T2 – Manter o solo diariamente com excedente hídrico, provocando drenagem aplicando 1,5 vez o volume de água necessário para a “CC” vaso (excesso 50%);

T3 – Manter o solo diariamente com excedente hídrico, provocando drenagem aplicando 1,25 vez o volume de água necessário para a “CC” vaso (excesso 25%);

T4 – Manter o solo diariamente com déficit hídrico constante de 25% da “CC” vaso (déficit 25%);

T5 – Manter o solo diariamente com déficit hídrico constante de 50% da “CC” vaso (déficit 50%);

T6 – Manter o solo diariamente com déficit hídrico constante de 65% da “CC” vaso (déficit 65%);

T7 – Manter o solo diariamente na “CC” vaso, como no T1, repondo somente a água transpirada uma vez que a evaporação através da superfície do solo foi impedida com a cobertura impermeável de plástico.

Na determinação dos tratamentos não se manteve a constância na aplicação do déficit hídrico no tratamento T6, pois durante a condução do pré-ensaio observou-se que a cultura não suportaria déficits hídricos diários superiores a 65%, justificando-se a não utilização do déficit de 75%.

Figura 10 - Plântulas de crambe, seis dias após a semeadura



Foto: Cristiana Araujo Soares - 2016

3.4 Calagem e adubação

Com base nas análises químicas do solo não houve a necessidade de efetuar calagem, em nenhum dos ciclos de cultivo, pois os valores de saturação por base (V%) apresentavam-se acima de 70%, além dos elevados valores de cálcio e o pH próximo da faixa ótima para o cultivo do crambe. Roscoe e Delmontes (2008) relatam pH ótimo para o cultivo do crambe entre 5,8 e 6,2 e saturação por base acima de 60%, estando livre de alumínio trocável.

A adubação nitrogenada em ambos os ciclos (150 kg ha^{-1}) foi dívida em três doses iguais aplicadas em fundação, no crescimento vegetativo (25 DAS) e no florescimento (45 DAS), utilizando-se como fonte de nitrogênio a ureia. A quantidade de fósforo recomendada (90 kg ha^{-1}) foi aplicada em fundação na forma de superfostato triplo, sendo a mesma recomendação utilizada nos dois ciclos da cultura do crambe. Já o potássio foi dividido em duas doses iguais em fundação e no florescimento da cultura, utilizando-se como fonte o cloreto de potássio, sendo

utilizada as doses de 150 e 90 kg ha⁻¹ para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente (ROGÉRIO et al., 2012; ROSOLEM; STEINER, 2014).

3.5 Manejo fitossanitário

Publicações relatam que poucas pragas atacam a cultura do crambe, devido aos compostos químicos presentes na planta que são tóxicos aos insetos, como o glucosinolato, que atua como barreira natural ao ataque de pragas (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010). Mas durante a condução do pré-ensaio, foram encontradas várias lagartas se alimentando do crambe, dentre elas duas com maior importância econômica, pois ocasionaram danos potenciais à cultura.

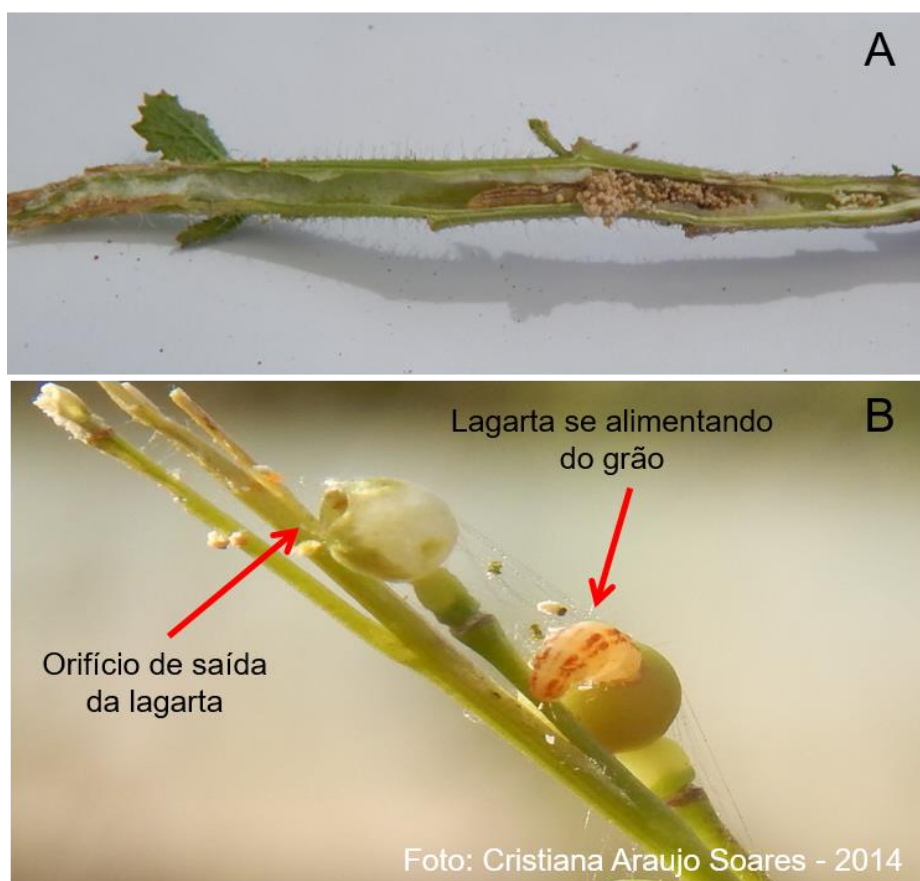
A traça-das-crucíferas (*Plutella xylostella* Linnaeus, 1758) ocorreu no início do desenvolvimento do crambe, sendo detectada aos 20 dias após a semeadura, ocasionando desfolha acentuada (Figura 11). A broca-da-haste (*Hellula phidilealis* Walker, 1859) iniciou a infestação na fase de florescimento das plantas, aos 50 dias após a semeadura e, se alimentou da superfície foliar, causando galerias nas hastes, prejudicando o desenvolvimento da cultura. Na fase de granação, as lagartas desta espécie passaram a se alimentar dos grãos, com elevada capacidade destrutiva, comendo toda a estrutura, restando apenas o pericarpo (Figura 12).

Diante disso e como forma de prevenção de um possível estresse à planta e interferência nos resultados do presente estudo, foi aplicado, em ambos os ciclos, um inseticida do grupo dos piretróides (deltrametrina 25 g i.a L⁻¹), que atua via contato e ingestão. Como não há registro de inseticida para a cultura do crambe, utilizou-se a mesma dose recomendada para culturas da família das brássicas (brócolis, couve, couve-flor e repolho), sendo efetuadas duas aplicações durante o ciclo da cultura aos 15 e aos 45 dias após a semeadura.

Figura 11 - Larva de *P. xylostella* se alimentando de folhas de crambe (A), desfolha causada por lagarta (B)



Figura 12 - Haste de crambe brocada pela lagarta (A), lagarta se alimentando do grão de crambe (B)



3.6 Preparo dos vasos

No preenchimento dos vasos utilizou-se 10 kg de solo seco ao ar em cada vaso (volume de solo $\cong$ 8 L). O volume de solo disponível para cada planta é equivalente àquele disponível no campo, se o plantio apresentasse espaçamento 0,25 m entre fileira de plantas com 25 plantas por metro de fileira, considerando uma profundidade de raízes de 0,40 m. Em seguida determinou-se a umidade residual pelo método padrão da estufa (EMBRAPA, 1997), cujos valores foram 1,9 e 1,5% para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Essas umidades foram utilizadas para calcular a massa de solo seco por meio da Equação 1, resultando em massas de solo seco iguais a 9,8135 e 9,8522 kg para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (1)$$

Onde U é a umidade do solo em porcentagem (%), MU é a massa do solo úmido (kg) e MS é massa do solo seco (kg).

O processo de determinação da umidade do solo na “Capacidade de Campo” do vaso (“CC” vaso) foi realizado com o preenchimento de três vasos, com quantidade de solo conhecida (massa de solo seca ao ar), em seguida efetuou-se a saturação e drenagem para “acomodação do solo” (Figura 13A). Após esse período realizou-se uma nova saturação por 24 horas, utilizando um recipiente com água com volume de água equivalente a 2/3 da altura do vaso (Figura 13B), para que a saturação ocorresse por capilaridade (de baixo para cima), deixando o mesmo permanecer até a completa saturação. Em seguida retirou-se o vaso do recipiente com água, cobriu-se a parte superior do mesmo com polietileno expandido para evitar a perda por evaporação durante o processo de drenagem (Figura 13C). O monitoramento foi realizado através de pesagens no intervalo de 24 em 24 h até massa constante, obtendo-se assim a massa do solo em capacidade de campo (CASAROLI e VAN LIER, 2008). Em seguida determinou-se a umidade média do solo na “CC” vaso por meio da Equação 1, que foi de 33% em massa.

Figura 13 - Determinação da umidade do solo na “Capacidade de Campo” do vaso (“CC” vaso). Saturação e drenagem para acomodação do solo (A), saturação por capilaridade (B) e drenagem (C)



3.7 Balanço hídrico e manejo da irrigação

Utilizou-se um balanço hídrico, que consiste na contabilização de entradas e saídas de água em uma determinada área, para realizar o manejo da irrigação. O balanço hídrico permite uma visualização da água envolvida no sistema, sendo útil para analisar e tomar medidas adequadas. Para sua utilização se faz necessário o conhecimento do solo e da cultura empregada. Sua escala de tempo deve ser de acordo com o objetivo, sendo neste caso utilizado o balanço hídrico diário.

Do 1º ao 30º dia, todos os vasos foram mantidos em “CC” vaso, sendo a água repostada diariamente igual a evapotranspiração da cultura para todos os tratamentos, período esse necessário para o estabelecimento da cultura (Equações 2, 3, 4 e 5)

$$MTCC = MVV + MS + MACC \quad (2)$$

$$MTCC - MTDS = ET \text{ (isso até o 30º dia)} \quad (3)$$

$$MTDS = MVV + MS + MAR \quad (4)$$

$$MAR = MACC - ET \quad (5)$$

Onde MTCC é a massa total na “CC” no vaso (kg), MVV é a massa do vaso vazio (kg), MS é a massa do solo seco (kg), MACC é a massa de água na capacidade de campo (kg), MTDS é a massa total do dia seguinte (kg), ET é a evapotranspiração (kg) e MAR é a massa de água restante (kg).

Diferenciação dos tratamentos (tratamentos com excesso hídrico: T2 e T3), do trigésimo para o trigésimo primeiro dia.

Trigésimo primeiro dia, início dos tratamentos (Equações 6 e 7).

$$MTI_{(31)} = MVV + MS + MAR \quad (6)$$

$$MTA_{(31)} = MVV + MS + MAR + MAA \quad (7)$$

Onde $MTI_{(31)}$ é a massa total do início do 31º dia (kg), $MTA_{(31)}$ é a massa total do 31º dia após colocar água (kg) e MAA é a massa de água adicionada (T2 ≠ T3) (kg).

Trigésimo segundo dia (Equações 8 e 9)

$$MTI_{(32)} = MTA_{(31)} - [MAD_{(31-32)} + ET_{(31-32)}] \quad (8)$$

$$MAA_{(32)} = MAD_{(31-32)} + ET_{(31-32)} \text{ (continuando até o 90º dia)} \quad (9)$$

Onde $MTI_{(32)}$ é a massa total do início do 32º dia (kg), $MAD_{(31-32)}$ é a massa drenada do 31º para o 32º dia (kg), $ET_{(31-32)}$ é a evapotranspiração do 31º para o 32º dia (kg) e $MAA_{(32)}$ é a massa de água adicionada no 32º dia (kg).

Diferenciação dos tratamentos (tratamentos com déficit hídrico: T4, T5 e T6) trigésimo primeiro dia (início dos tratamentos), esperar até a massa total (MT) atingir a estabelecida para cada tratamento.

Primeiro dia após atingir os valores limites para manter os déficits (Equações 10 e 11).

$$MTI = MT - ET \quad (10)$$

$$MAA = MT - MTI \text{ (i ao } 90^\circ \text{ dia)} \quad (11)$$

Onde MTI é a massa total do início do dia (kg) e MT é a massa total referente a cada tratamento com déficit (kg).

A diferenciação dos tratamentos no segundo ciclo foi aos 32 dias após a semeadura, sendo um dia após a diferenciação no primeiro ciclo, devido a um problema no fornecimento da energia elétrica, atrasando as pesagens, por isso, optou-se por diferenciar no dia seguinte.

Para facilitar o entendimento do manejo da irrigação, os dados referentes às massas totais as quais foram mantidos o solo de cada tratamento em ambos os ciclos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Massa total do solo em cada tratamento na cultura do crambe, para os dois ciclos de cultivo

Tratamentos	MTA (kg)	MTA (kg)
	1º ciclo	2º ciclo
Excesso 50%	14,671	14,729
Excesso 25%	13,862	13,916
“CC” vaso	13,052	13,103
Déficit 25%	12,243	12,291
Déficit 50%	11,433	11,478
Déficit 65%	10,947	10,990

MTA: massa total após colocar água

O manejo da irrigação foi realizado através de pesagens diárias (medição direta) entre 8:00 e 10:00 horas e sempre que houve a necessidade de reposição de água dos tratamentos (irrigação), o volume aplicado foi com referência à diferenciação de pesagens, sendo também obtidas as evapotranspirações da cultura.

As pesagens foram realizadas em balança com capacidade máxima de 15 kg com precisão de 0,5 g e para auxiliar o processo utilizou-se uma mesinha com rodas, facilitando o deslocamento com a balança (Figura 14).

No final do ciclo, por diferença entre a lâmina utilizada na irrigação e a lâmina drenada obteve-se o excesso de água aplicado e, conseqüentemente, a evapotranspiração da cultura.

Figura 15 - Tratamento com drenagem. Recipiente usado para coletar a água drenada (A) e planta de crambe irrigada com excesso de água (B)



Foto: Cristiana Araujo Soares - 2016

Com a finalidade de comparação, instalou-se um tanque Classe A na área experimental, efetuando-se leituras diárias no mesmo horário em que foi realizado o manejo de irrigação por pesagem. Isso permitiu comparar se o manejo com esse outro método poderia subestimar ou superestimar a lâmina utilizada durante o ciclo da cultura.

O tanque Classe A (Figura 16) foi instalado no centro da estufa sobre estrado de madeira com 15 cm de altura, pintado de branco. Sua instalação, leitura e manejo foram realizados conforme recomendam Bernardo; Soares; Mantovani (2008), sendo que em função das condições locais o coeficiente do tanque, K_p , foi 0,80. Com os dados do tanque, calculou-se a evapotranspiração de referência (ET_o) e em seguida determinou-se o coeficiente da cultura (K_c) do crambe, através da Equação 12. A evapotranspiração da cultura (ET_c) utilizada, foi obtida através do método de pesagem, referente ao tratamento que manteve o solo sempre em “CC” vaso.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (12)$$

Onde K_c é o coeficiente da cultura, ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm) ET_o é a evapotranspiração de referência (mm).

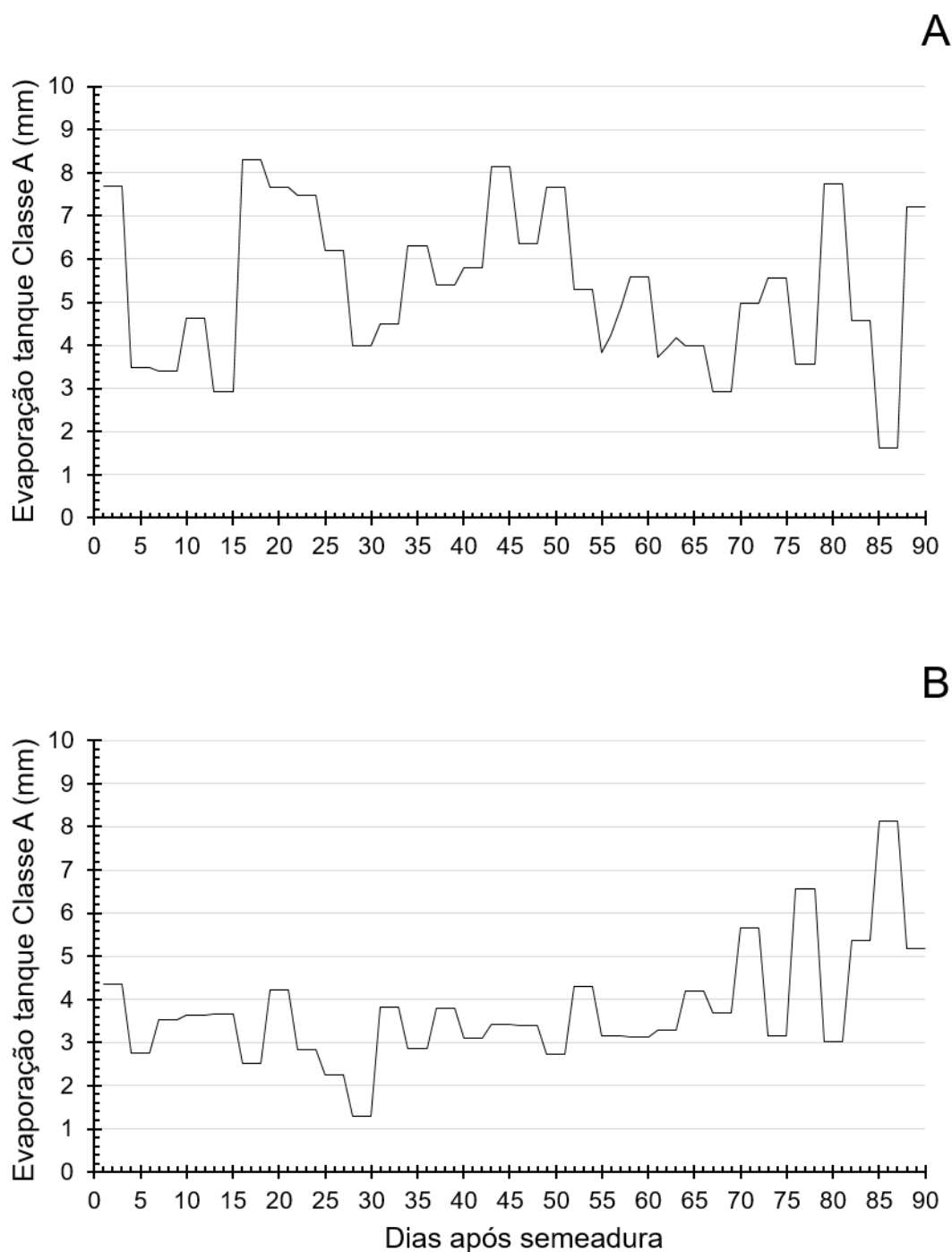
Figura 16 - Tanque Classe A instalado na área experimental



Os valores de evaporação do tanque Classe A para o período de condução nos dois ciclos de cultivo do crambe estão apresentados na Figuras 17.

A irrigação foi encerrada aos 90 dias após a semeadura, devido à senescência completa das folhas e para facilitar o processo de secagem dos grãos.

Figura 17 - Valores de evaporação do tanque Classe A no período de condução do experimento, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B)



3. 8 Variáveis fenométricas e produtivas

Para as características: altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas, matéria seca da parte aérea, comprimento da raiz principal e ciclo da cultura as avaliações foram efetuadas nas duas plantas do vaso e em seguida calculou-se o

valor médio, sendo este utilizado para compor os dados que foram usados na análise estatística.

3.8.1 Altura de planta (cm)

A altura das plantas foi realizada no período de pré-maturação da cultura (80 dias após a semeadura), medindo-se a partir do nível do solo até o ápice da planta, utilizando-se trena graduada em mm.

3.8.2 Diâmetro do caule (mm)

O diâmetro do caule foi medido no período de pré-maturação da cultura (80 dias após a semeadura), tomando-se medida logo acima do solo, com auxílio de paquímetro digital.

3.8.3 Número de folhas

O número de folhas foi anotado à medida que as folhas iam se desprendendo das plantas, contadas e no final contabilizada a quantidade de folhas total.

3.8.4 Matéria seca da parte aérea (g)

A matéria seca foi determinada à medida que as folhas foram sendo coletadas e contadas, levando-as em seguida para a estufa à 65 °C até obtenção do peso constante, anotado e no final contabilizada a matéria seca total, equivalente às duas plantas do vaso.

3.8.5 Comprimento da raiz principal (cm)

O comprimento da raiz foi determinado à medida que foram sendo coletados todos os grãos das plantas, lavando-se as mesmas cuidadosamente em água corrente para não danificar a raiz em seguida foi efetuada a medição da raiz principal com auxílio de régua graduada em mm.

3.8.6 Ciclo da cultura (dias)

A colheita foi realizada à medida que os grãos apresentavam baixo teor de umidade, sendo realizada parceladamente, até a colheita total de todos os grãos, tendo-se assim o ciclo da cultura.

3.8.7 Massa de 100 grãos (g)

Para determinação da massa de 100 grãos, separaram-se aleatoriamente 100 grãos para efetuar a pesagem, sendo realizada quatro repetições.

3.8.8 Produtividade (kg ha⁻¹)

A produtividade de grãos foi determinada mediante a pesagem dos grãos correspondente as duas plantas que continham no vaso (0,06 m²) e posteriormente extrapoladas para área de um hectare (10.000 m²), nesta determinação considerou-se a umidade das sementes em 13%.

3.9 Teor de óleo

As análises para determinação do teor de óleo de crambe foram realizadas no laboratório de Matologia pertencente ao Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômica (FCA/UNESP).

As medidas do teor de óleo foram realizadas a partir de um TD-NMR, em espectrômetro (SLK-SG-200-SpinLock Magnetic Resonance Solutions, Malagueño, Córdoba, ARG) (Figura 18) a 25 °C, equipado com um ímã permanente de 0,23 T (9 MHz para ¹H) e uma sonda de 13 mm x 30 mm de área útil, utilizando-se o software Condor IDE com a sequência de pulso CPMG com Qdamp em base seca (BS%) (COLNAGO et al., 2011).

A técnica de Ressonância Magnética Nuclear (RMN) é um método rápido e não destrutivo, sendo avaliadas amostras de 7,0 g de sementes de crambe, retiradas ao acaso do total de sementes produzidas por tratamento.

Em seguida calculou-se a produtividade total de óleo obtida em cada tratamento, utilizando-se os dados referentes às produtividades de grãos de crambe (kg ha^{-1}) e teores de óleo.

Figura 18 - Aparelho utilizado para determinação do teor de óleo, TD-NMR, em espectrômetro (SLK-SG-200-SpinLock Magnetic Resonance Solutions)



Foto: Cristiana Araujo Soares - 2016

3.10 Avaliações de eficiência fotossintética

As avaliações de eficiência fotossintética (trocas gasosas) foram realizadas utilizando-se equipamento com sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO_2 e vapor d'água por radiação infravermelha ("*Infra Red Gas Analyser – IRGA*", modelo LI-6400, LI-COR) (Figura 19).

No total foram realizadas três leituras a partir da diferenciação dos tratamentos, com intervalo de 15 dias entre elas, sendo a primeira realizada aos 45 dias após a semeadura e 14 dias após a diferenciação dos tratamentos, na qual foi escolhida e padronizada a segunda folha com limbo totalmente expandido, contando do ápice para base da planta. As medidas foram realizadas no período das 9:00 às 10:00 horas. Porém, no primeiro ciclo, só foi possível realizar uma única leitura (37 DAS) devido à indisponibilidade da utilização do Iriga.

As características de trocas gasosas analisadas foram: taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 nos

espaços intercelulares (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}\text{ar}$). Essas características foram calculadas pelo programa de análise de dados do equipamento medidor de trocas gasosas, que utiliza a equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer e Farquhar (1981).

A partir dos dados de trocas gasosas foram determinadas a eficiência do uso da água (EUA, $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) calculada pela razão entre A e E e a eficiência de carboxilação (EC) determinada através da razão entre A e C_i .

Figura 19 - Equipamento utilizado para as avaliações de eficiência fotossintética. “Infra Red Gas Analyser - IRGA”, modelo LI-6400, LI-COR



3.11 Densidade estomática

A avaliação de densidade estomática foi realizada aos 76 dias após a semeadura, somente no segundo ciclo de cultivo do crambe. A coleta das folhas foi realizada às 8:00 horas, retirando-se uma folha do terço médio de cada planta, em seguida foram acondicionadas e transportadas para o laboratório em caixa térmica com gelo, diminuindo-se assim a perda de umidade.

As folhas foram cortadas ao meio para retirar a impressão da face abaxial e adaxial, utilizando esmalte incolor e auxílio de fita adesiva transparente. Passou-se uma fina camada de esmalte na folha, de tamanho aproximado de 3,0 cm de comprimento, esperou-se secar; colocou-se um pedaço de fita adesiva (limpa e sem marcas de dedo) no local onde foi passado o esmalte, retirou-se a fita e em seguida colocou-se em lâmina para microscopia (tamanho 25,4 x 76,2 mm e largura 1,0 a 1,2

mm). As formas dos estômatos ficaram impressas na fita adesiva (MAJUMDAR; CHAKLADAR; MUKHERJEE, 1972).

A contagem dos estômatos foi realizada em Microscópio Biológico BEL® Photonics Biovídeo (Figura 20), considerando uma área de 0,0744 mm² na objetiva de 40x. Em seguida, o número de estômatos foi estimado para área de 1 mm², tendo-se como densidade estomática o número de estômatos por mm².

Figura 20 - Microscópio Biológico BEL® Photonics Biovídeo, utilizado para contagem dos estômatos (densidade estomática)



Foto: Cristiana Araujo Soares - 2017

3.12 Análise estatística

Na análise estatística, os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software Minitab, versão 16.

Para as avaliações fenométrica e produtivas determinou-se o ponto ótimo através de análises de regressão linear segmentada quando o comportamento foi não linear. Esse método permite determinar qual o menor nível de irrigação que proporcionaria valores máximos nas variáveis fenométricas e produtivas. Para esta análise utilizou-se o software SAS 9.3.

Para as regressões lineares que apresentaram coeficiente de determinação (R^2) abaixo de 0,70, não foram descritas e discutidas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Evapotranspirações da cultura do crambe

A evapotranspiração diária obtida durante todo o ciclo da cultura do crambe para os diferentes níveis de irrigação aplicados estão apresentadas nas Figuras 21 e 22. E na Tabela 8 é apresentado um resumo das evapotranspirações totais, evapotranspirações médias e lâminas drenadas para os tratamentos com excesso de água.

No tratamento com aplicação do maior excesso hídrico (50%), houve perdas de 979,0 e 1.038,0 mm, para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente, correspondendo a 79,9 e 83,2% da lâmina total aplicada durante o ciclo da cultura. E no tratamento com excesso hídrico moderado (25%) essas perdas foram inferiores, porém também ocasionaram desperdício de água, corresponderam a 55,6 e 61,0% da lâmina aplicada, no primeiro e segundo ciclo, respectivamente (Tabela 8). Isso demonstra a importância da determinação da capacidade de armazenamento de água do solo, evitando desperdícios, principalmente com o atual cenário de escassez de água, além do excesso de água diminuir a aeração do solo, provocar a lixiviação dos nutrientes e causar acidificação. O excesso de água leva à lixiviação de nutrientes, como o cálcio e o magnésio, sendo substituídos, no complexo de troca, por elementos acidificantes, como hidrogênio, manganês e alumínio, provocando elevada acidez (RAIJ, 2011). A irrigação excessiva proporciona microclima oportuno ao aparecimento de doenças e pragas, que podem causar prejuízos à cultura (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008).

Na Figura 21 observa-se que o tratamento com excesso de 50% não chegou ao final do ciclo da cultura, sendo encerrado aos 76 dias após a semeadura em

decorrência da morte total das plantas, podendo o mesmo ter sido encerrado anteriormente, uma vez que após o início do florescimento ocorreu abortamento de todas as flores, não chegando a desenvolver o pendão floral.

Quando se considera a evapotranspiração máxima da cultura, sendo aquela em que o solo é mantido em níveis ideais de umidade, como por exemplo, em capacidade de campo ($ET_r = ET_m$), as evapotranspirações totais da cultura do crambe foram 511,0 e 354,0 mm, para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente (Tabela 8). A diferença de 157,0 mm do primeiro para o segundo ciclo é explicada devido as diferentes épocas de condução, sendo que no primeiro ciclo de cultivo as temperaturas foram mais elevadas, proporcionando maior taxa de evapotranspiração.

Não se tem trabalhos conclusivos sobre a demanda hídrica do crambe, sendo citado que a cultura necessita de 150 a 200 mm de água até seu completo florescimento (PITOL; BROCH; ROSCOE, 2010). Porém, trabalhos mais recentes testaram o comportamento da cultura do crambe em condições de déficit hídrico, seja através da reposição da água evaporada pelo mini tanque evaporímetro ou através da porcentagem de armazenamento de água no solo, observando-se valores crescentes nos parâmetros avaliados quando a cultura utilizou maiores quantidades de água, no entanto, em nenhum deles foi apresentada a lâmina final requerida durante o ciclo da cultura (BUTRINOWSKI et al., 2011; BIANCHINI et al., 2013).

Figura 21 - Evapotranspirações diárias durante o ciclo da cultura do crambe, para os diferentes níveis de irrigação, no primeiro ciclo

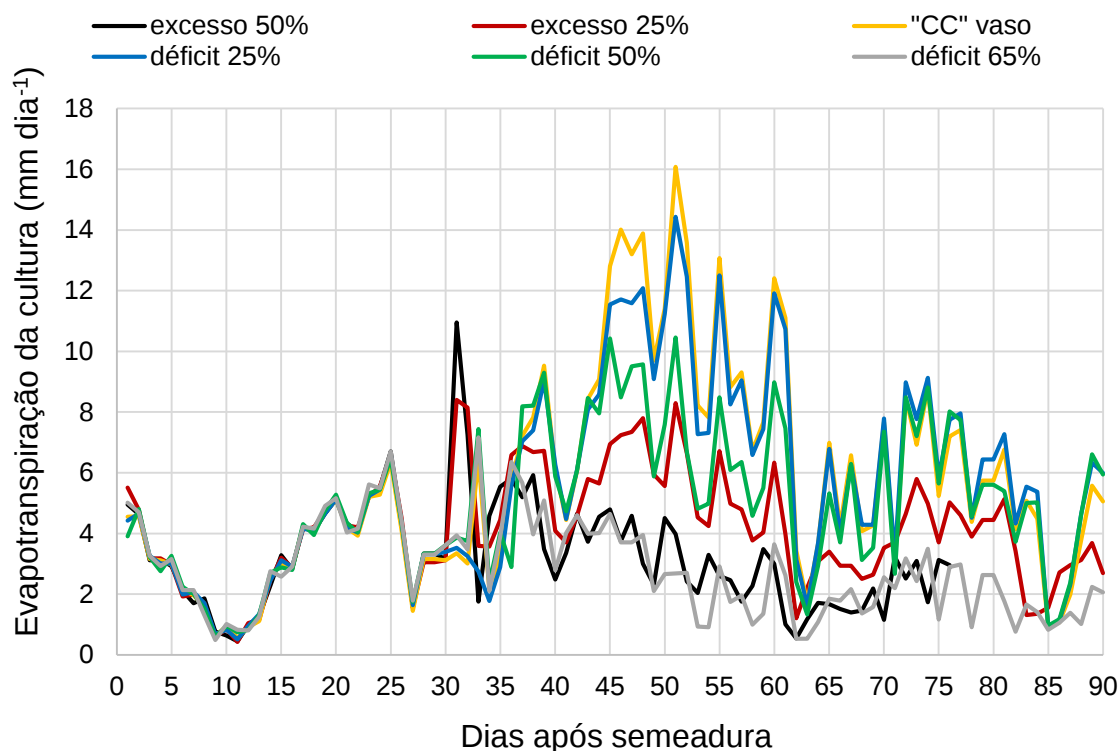


Figura 22 - Evapotranspirações diárias durante o ciclo da cultura do crambe, para os diferentes níveis de irrigação, no segundo ciclo

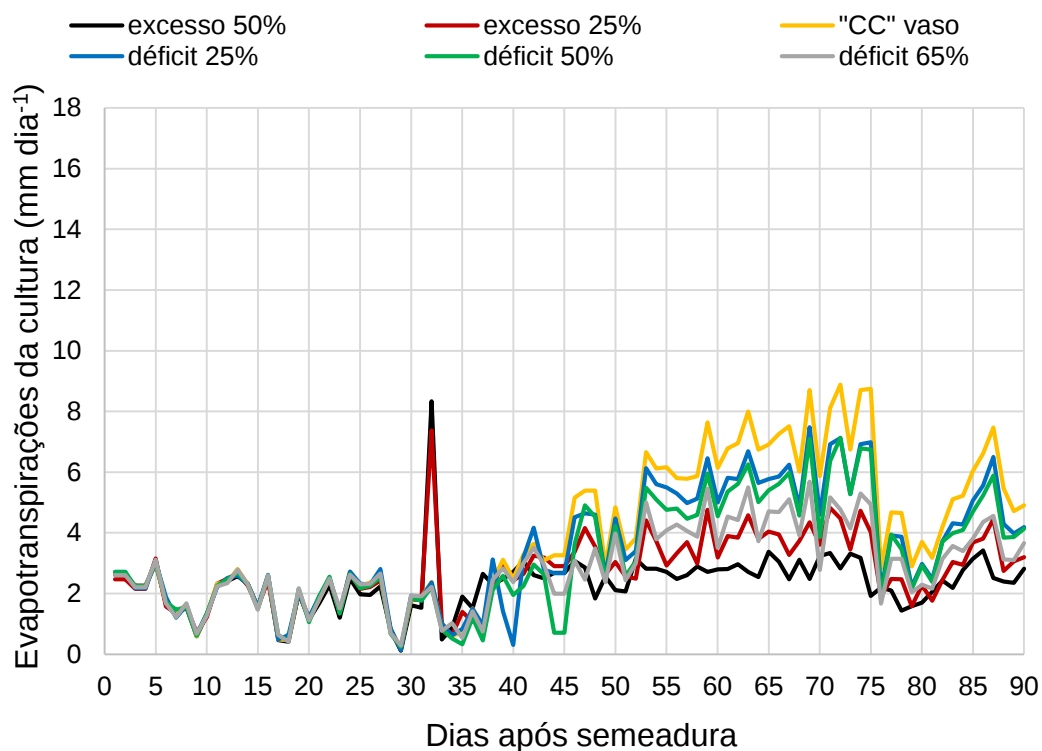


Tabela 8 - Evapotranspirações totais, evapotranspirações médias, drenagem total e drenagem média durante o ciclo da cultura do crambe, para os diferentes níveis de irrigação

Tratamentos	ETr total (mm)		ETr média (mm)		D total (mm)		D média (mm)	
	1º ciclo	2º ciclo	1º ciclo	2º ciclo	1º ciclo	2º ciclo	1º ciclo	2º ciclo
Excesso 50%	247,0	210,0	3,3	2,3	979,0	1.038,0	12,9	11,5
Excesso 25%	372,0	245,0	4,1	2,7	465,0	383,0	5,2	4,3
“CC” vaso	511,0	354,0	5,7	3,9	-	-	-	-
Déficit 25%	494,0	299,0	5,5	3,3	-	-	-	-
Déficit 50%	425,0	267,0	4,7	3,0	-	-	-	-
Déficit 65%	212,0	233,0	2,4	2,6	-	-	-	-

ETr – evapotranspiração real da cultura, D – drenagem. O tratamento (excesso 50%) no 1º ciclo encerrou-se aos 76 dias após a semeadura, em decorrência da morte total das plantas.

Nos tratamentos em que o solo foi mantido em “CC” vaso observou-se que a anulação da evaporação através do fechamento da superfície do solo, a partir da diferenciação dos tratamentos, proporcionou economia de 137,0 e 70,0 mm de água, para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Sendo que as lâminas utilizadas nas irrigações desses tratamentos corresponderam a 73,2% (374,0 mm) e 80,2% (284,0 mm) da utilizada quando se consideram os processos naturais da evaporação + transpiração (evapotranspiração) (Figura 23 e 24).

Figura 23 - Evapotranspirações diárias durante o ciclo da cultura do crambe, para os tratamentos que mantiveram o solo em capacidade de campo do vaso ("CC" vaso), no primeiro ciclo

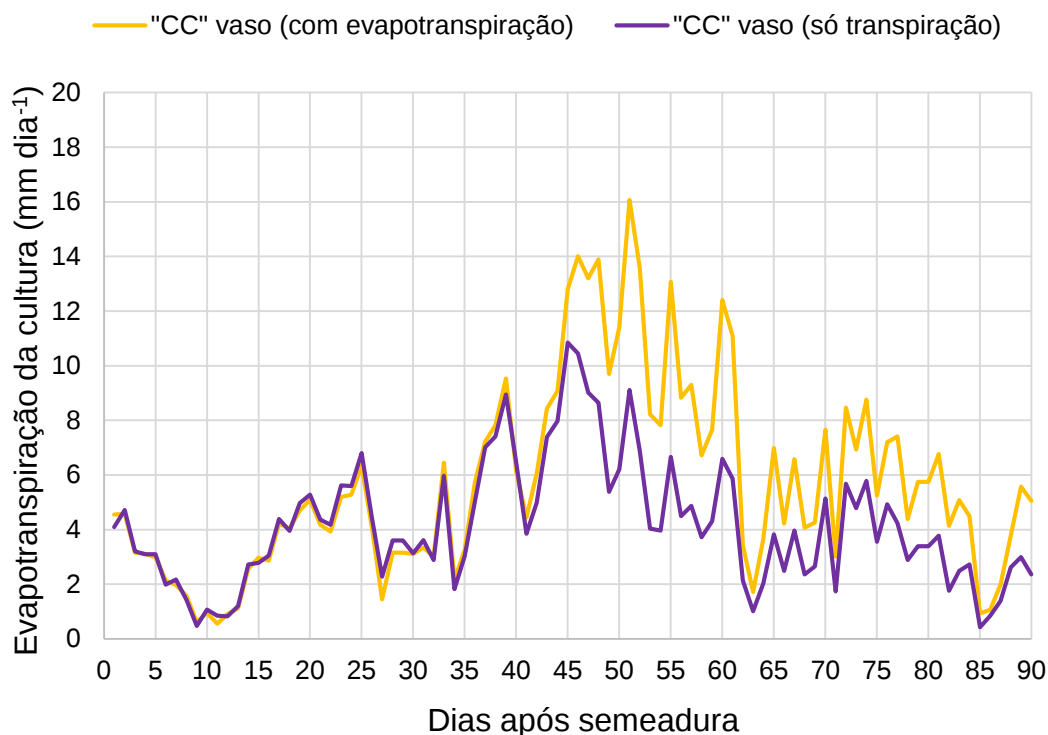
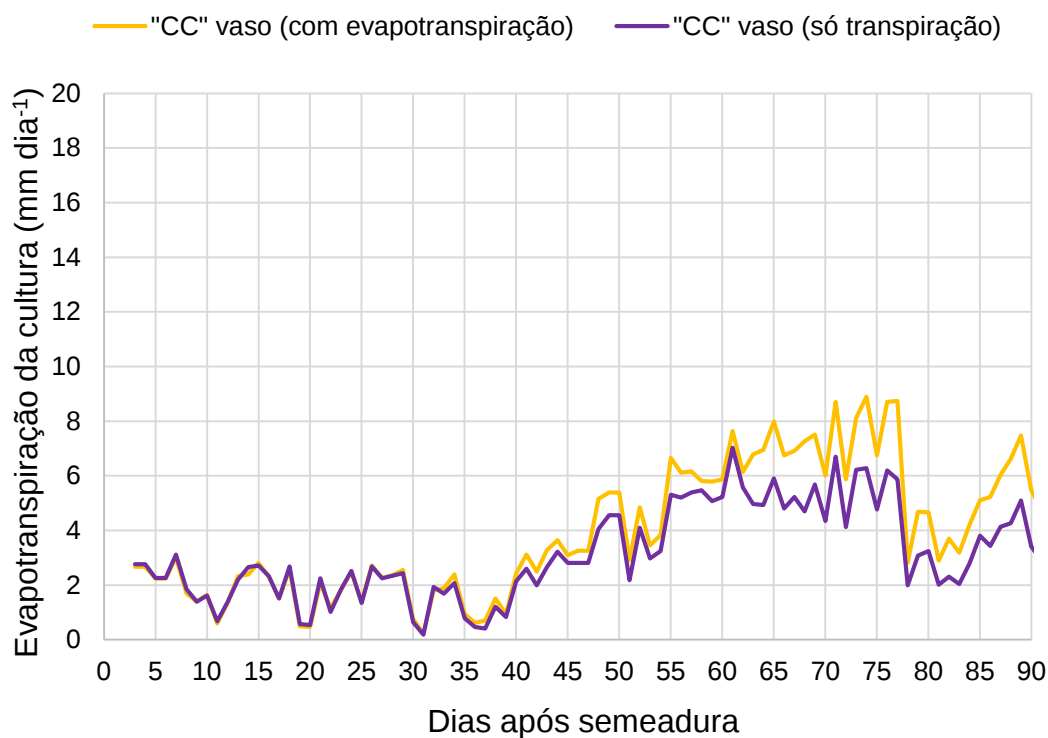


Figura 24 - Evapotranspirações diárias durante o ciclo da cultura do crambe, para os tratamentos que mantiveram o solo em capacidade de campo do vaso ("CC" vaso), no segundo ciclo



Se o manejo da irrigação tivesse sido realizado através do Tanque Classe A, utilizando somente o valor da ETo para irrigação, pois não é disponibilizado o Kc da cultura do crambe, as lâminas utilizadas durante os ciclos da cultura seriam de 385 e 272 mm, para o primeiro e segundo ciclo de cultivo, respectivamente. Lâminas essas inferiores as determinadas através da irrigação pelo método de pesagem, porém neste caso o tanque Classe A subestimou as lâminas utilizadas pelo outro método, apresentando-se diferença de 126,0 mm para o primeiro ciclo e 82,0 mm para o segundo. Isso considerando apenas o tratamento em que manteve o solo em “CC” de vaso.

4.2 Coeficiente de cultivo da cultura do crambe (Kc)

Na Tabela 9 tem-se os valores de Kc obtidos durante a condução dos dois ciclos de cultivo do crambe, podendo-se observar valores próximos entre os ciclos. Não foi possível efetuar comparação com outros valores de Kc, pois até o momento em nenhum outro trabalho foi mencionado esse coeficiente para a cultura do crambe, talvez por se tratar de uma planta ainda pouco conhecida.

Tabela 9 - Valores de coeficiente de cultivo (Kc) obtidos durante os ciclos da cultura do crambe, cultivar Brilhante, Botucatu, SP

Estágios	Duração (DAS*)	Kc (1º ciclo)	Kc (2º ciclo)
Inicial	1 a 20	0,64	0,67
Crescimento	21 a 35	0,84	0,76
Intermediário	36 a 80	1,85	1,78
Final	81 a 90	1,05	1,11
Único	90	1,33	1,30

* Dias após semeadura

4. 3 Variáveis fenométricas e produtivas

4.3.1 Altura de planta e diâmetro do caule

A altura das plantas foi influenciada pelos diferentes níveis de irrigação aplicados na cultura do crambe nos dois ciclos de cultivo, apresentando maiores alturas as plantas irrigadas com déficit hídrico de 25% e as mantidas em “CC” vaso, sendo 135,7 e 132,4 cm, respectivamente, para o primeiro ciclo. No segundo ciclo

além dos dois tratamentos mencionados anteriormente, os tratamentos com déficit hídrico moderado (50%) e severo (65%) também proporcionaram alturas similares (Tabela 10). Alturas essas superiores aos dados relatados por Colodetti et al. (2012), onde descrevem que a altura média das plantas de crambe varia de 60 a 90 cm. Já Butrinowski et al. (2011) obtiveram altura máxima de 108,6 cm com reposição de água equivalente a 2,5 vezes a evaporação do mini tanque evaporímetro.

Plantas com pouca disponibilidade de água geralmente apresentam menor altura, pois a restrição no volume de água pode influenciar negativamente nos processos metabólicos do crescimento dos vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2013), porém neste trabalho pode-se observar nos dois ciclos de cultivo, que o maior nível de reposição (excesso de 50%) proporcionou as menores alturas, sendo estas quase metade da altura alcançada no tratamento com elevado déficit hídrico (déficit de 65%), podendo-se supor que a reposição excessiva foi mais prejudicial ao desenvolvimento da cultura do que o maior déficit hídrico aplicado.

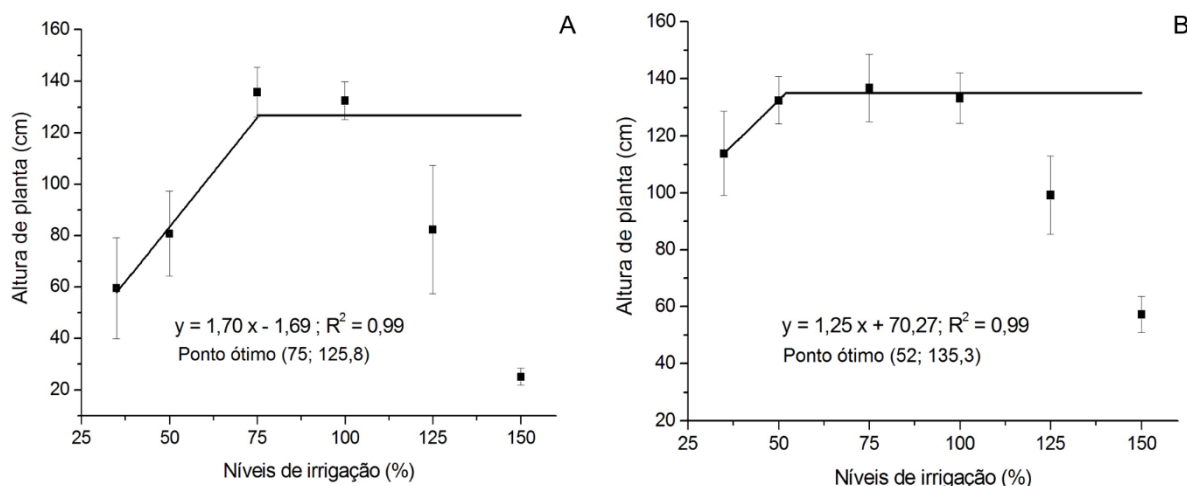
Tabela 10 - Altura de planta de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo, aos 80 DAS.

Tratamentos	Altura de planta (cm) 1º ciclo	Altura de planta (cm) 2º ciclo
Excesso 50%	25,2 C	57,3 C
Excesso 25%	82,4 B	99,2 B
“CC” vaso	132,4 A	133,2 A
Déficit 25%	135,7 A	136,8 A
Déficit 50%	80,8 B	132,5 A
Déficit 65%	59,5 BC	113,9 AB
P	0,0001	0,0001
CV (%)	18,03	9,86

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (n = 4).

A partir das regressões segmentadas (Figura 25), determinou-se como ponto ótimo para altura de planta os níveis de irrigação de 75 e 52% da “CC” vaso os quais proporcionariam alturas correspondentes a 125,8 e 135,3 cm para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

Figura 25 - Regressões segmentadas obtidas para a variação de altura de plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B)



Os níveis de irrigação de 150, 125, 100, 75, 50 e 35% da “CC” de vaso, correspondem aos tratamentos de excesso de 50%, excesso de 25%, “CC” vaso, déficit de 25%, déficit de 50% e déficit de 65%, respectivamente.

O diâmetro do caule, no primeiro ciclo não foi influenciado pela diferenciação dos tratamentos, porém no segundo ciclo de cultivo a mesma variável mostrou-se efeito significativo para os diferentes níveis de irrigação aplicados na cultura do crambe.

Os tratamentos que apresentaram menores diâmetros foram os irrigados com excedente hídrico, sendo 7,0 e 4,7 mm para os níveis de irrigação que proporcionaram excesso hídrico de 25 e 50%, respectivamente (Tabela 11). Zahedi; Rad e Moghadam (2011) trabalhando com a cultura da canola observaram diminuição no diâmetro do caule quando as plantas foram submetidas a situação de estresse hídrico por deficiência, não sendo observado essa correlação neste trabalho.

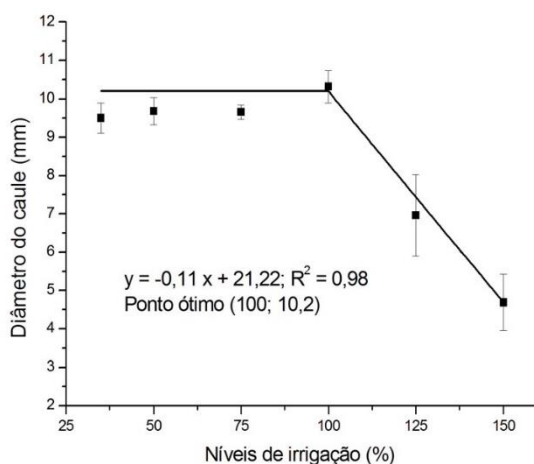
Tabela 11 - Diâmetro do caule em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo, aos 80 DAS.

Tratamentos	Diâmetro do caule (mm)	
	1º ciclo	2º ciclo
Excesso 50%	9,5	4,7 C
Excesso 25%	8,2	7,0 B
“CC” vaso	10,2	10,3 A
Déficit 25%	9,5	9,7 A
Déficit 50%	10,1	9,7 A
Déficit 65%	7,8	9,5 A
P	0,2290	0,0001
CV (%)	17,18	7,09

Médias com letras iguais na, coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($n = 4$).

Para o diâmetro do caule, no segundo ciclo de cultivo (Figura 26) obteve-se como nível ótimo de irrigação 100% da “CC” vaso, correspondendo a 10,2 mm de diâmetro.

Figura 26 - Regressão segmentada obtida para a variação de diâmetro do caule em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no segundo ciclo de cultivo



Os níveis de irrigação de 150, 125, 100, 75, 50 e 35% da “CC” de vaso, correspondem aos tratamentos de excesso de 50%, excesso de 25%, “CC” vaso, déficit de 25%, déficit de 50% e déficit de 65%, respectivamente.

4.3.2 Número de folhas e matéria seca da parte aérea

Os resultados obtidos (Tabela 12) evidenciaram efeitos significativos do manejo da irrigação sobre o número de folhas de crambe nos dois ciclos de cultivo,

observando-se que os tratamentos submetidos a estresse hídrico por excesso de água (25 e 50%) foram os que apresentaram piores resultados, fato atribuído à redução da aeração do solo, uma vez que as mesmas eram mantidas diariamente em condição de solo parcialmente saturado, além dos danos referentes à lixiviação de nutrientes e acidificação.

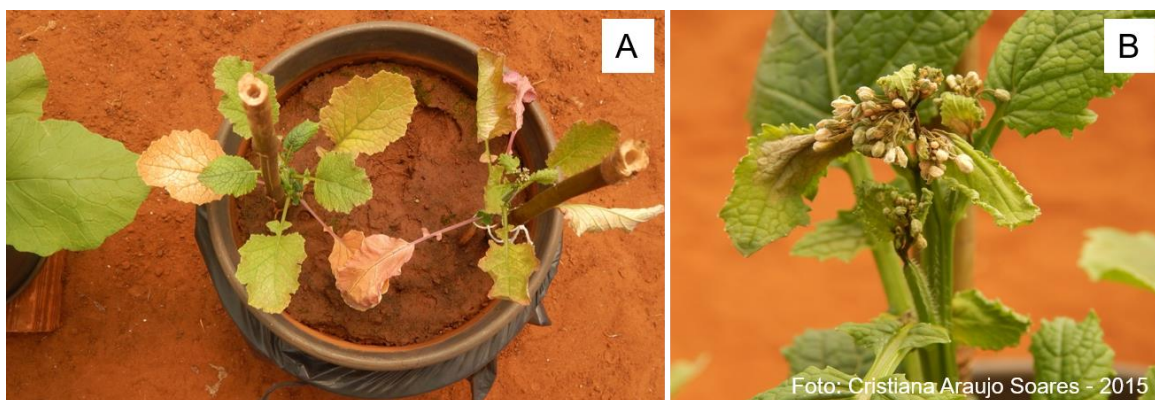
Durante a condução do experimento observou-se no tratamento com excesso hídrico de 50% que além do número de folhas se apresentar inferior aos demais tratamentos, as mesmas eram menores e frágeis ao toque, havendo senescência com facilidade (Figura 27). Plantas submetidas a excesso de umidade no solo podem apresentar diminuição no número de folhas e galhos devido à redução de oxigênio aumentar a concentração de gases tóxicos (etileno), (CARPISKI et al., 2013).

Tabela 12 - Número de folhas em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo

Tratamentos	Número de folhas 1º ciclo	Número de folhas 2º ciclo
Excesso 50%	21 C	71 BC
Excesso 25%	38 BC	64 C
“CC” vaso	61 A	155 A
Déficit 25%	59 A	104 ABC
Déficit 50%	69 A	121 AB
Déficit 65%	56 AB	123 A
P	0,0001	0,0001
CV (%)	15,57	21,58

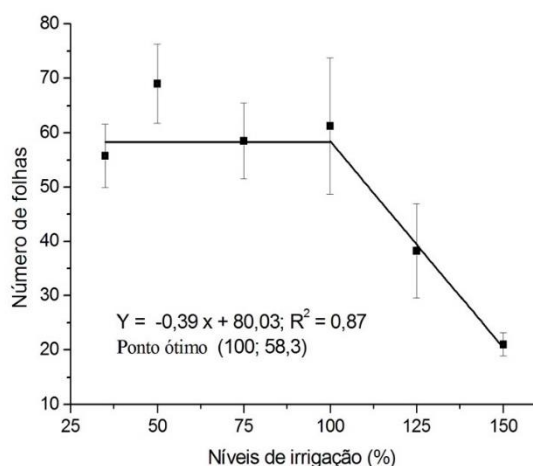
Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (n = 4).

Figura 27 - Plantas de crambe irrigadas com excesso hídrico de 50% da “CC” vaso. Detalhes mostrando as folhas pequenas (A) e abortamento da floração (B), no primeiro ciclo



Para o número de folhas só foi obtida regressão segmentada para o primeiro ciclo de cultivo do crambe (Figura 28), pois no segundo ciclo o comportamento dessa variável foi linear com o coeficiente de determinação muito baixo ($R^2=0,38$).

Figura 28 - Regressão segmentada obtida para a variação do número de folhas total em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro ciclo de cultivo



Os níveis de irrigação de 150, 125, 100, 75, 50 e 35% da “CC” de vaso, correspondem aos tratamentos de excesso de 50%, excesso de 25%, “CC” vaso, déficit de 25%, déficit de 50% e déficit de 65%, respectivamente.

A matéria seca da parte aérea foi influenciada pelos diferentes níveis de irrigação nos dois ciclos de cultivo do crambe, demonstrando que o incremento de água é um fator importante para a variável em estudo, mas que a aplicação de água excedendo o valor armazenado pelo solo pode ser mais prejudicial à cultura que os tratamentos com déficit hídrico (Tabela 13). Butrinowski et al. (2011) aplicando lâminas de irrigação correspondentes a evaporação do mini tanque evaporímetro com turno de rega de dois a três dias na cultura do crambe obtiveram matéria fresca e seca de 29,0 e 12,0 g, respectivamente, sendo avaliada na fase de pleno florescimento, com corte rente ao solo. Bianchini et al. (2013) também trabalhando com a cultura do crambe irrigada semanalmente, obtiveram 51,0 e 9,4 g de matéria fresca e seca, respectivamente.

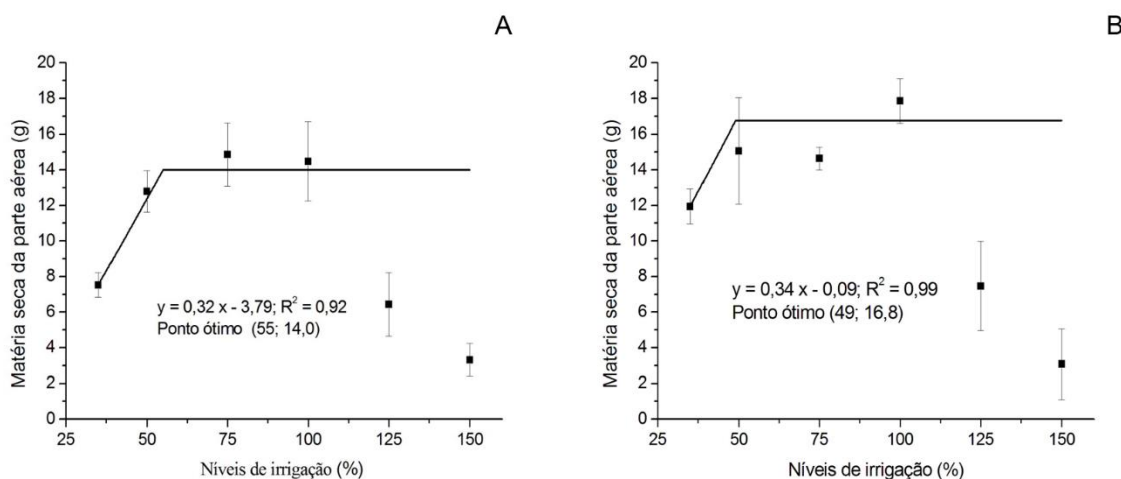
Tabela 13 - Matéria seca da parte aérea em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo

Tratamentos	Matéria seca (g)	
	1º ciclo	2º ciclo
Excesso 50%	3,3 C	3,1 D
Excesso 25%	6,4 BC	7,5 C
“CC” vaso	14,5 A	17,9 A
Déficit 25%	14,9 A	14,6 AB
Déficit 50%	12,8 A	15,1 AB
Déficit 65%	7,5 B	11,9 B
P	0,0001	0,0001
CV (%)	15,37	16,44

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($n = 4$).

Os pontos ótimos para a matéria seca da parte aérea (Figura 29) foram 55 e 49% da “CC” vaso, obtendo-se assim 14,0 e 16,8 g para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

Figura 29 - Regressões segmentadas obtidas para a variação de matéria seca da parte aérea em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B)



Os níveis de irrigação de 150, 125, 100, 75, 50 e 35% da “CC” de vaso, correspondem aos tratamentos de excesso de 50%, excesso de 25%, “CC” vaso, déficit de 25%, déficit de 50% e déficit de 65%, respectivamente.

4.3.3 Comprimento da raiz principal e ciclo da cultura

Em ambos os ciclos de cultivo do crambe o comprimento da raiz principal foi influenciado pelos diferentes níveis de irrigação, sendo que no primeiro ciclo os

maiores comprimentos de raízes ocorreram nos tratamentos com déficits hídricos de 25 e 50%, cujos comprimentos foram 15,7 e 13,7 cm, respectivamente. No segundo ciclo, maiores comprimentos ocorreram nos tratamentos com déficits hídricos de 25 e 50% e sem déficit ("CC" vaso), sendo que a maior média observada foi o valor 20,1 cm no tratamento com déficit hídrico de 25% (Tabela 14). Já nos tratamentos com aplicação de lâminas excessivas, foram obtidos os menores comprimentos de raízes, podendo-se deduzir que em ambiente com muita oferta de água a planta não necessita desenvolver longas raízes, pois a água está disponível facilmente, causando também um problema, porque plantas irrigadas excessivamente são facilmente tombadas pelo vento, já que não possuem raízes profundas para mantê-las firmes. Apesar de sensível ao déficit hídrico, o crambe é tolerante a períodos de estiagem, devido seu sistema radicular atingir profundidades maiores que 15 cm (CARLSSON et al., 2007).

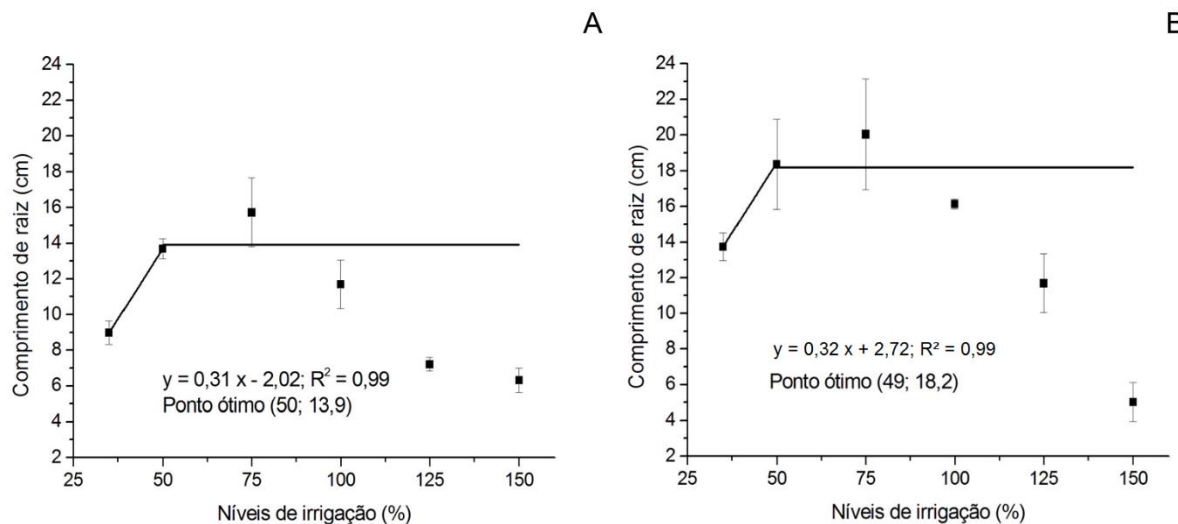
Tabela 14 - Comprimento da raiz principal em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo

Tratamentos	Comprimento de raiz (cm)	
	1º ciclo	2º ciclo
Excesso 50%	6,3 D	5,0 D
Excesso 25%	7,2 CD	11,7 C
"CC" vaso	11,7 B	16,1 AB
Déficit 25%	15,7 A	20,1 A
Déficit 50%	13,7 AB	18,4 A
Déficit 65%	9,0 C	13,8 BC
P	0,0001	0,0001
CV (%)	10,17	13,07

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (n = 4).

Com as regressões segmentadas (Figura 30), determinaram-se como ponto ótimo para comprimento da raiz principal os níveis de irrigação de 50 e 49% da "CC" vaso os quais proporcionariam comprimentos correspondentes a 13,9 e 18,2 cm para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

Figura 30 - Regressões segmentadas obtidas para a variação de comprimento da raiz principal em plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B)



Os níveis de irrigação de 150, 125, 100, 75, 50 e 35% da “CC” de vaso, correspondem aos tratamentos de excesso de 50%, excesso de 25%, “CC” vaso, déficit de 25%, déficit de 50% e déficit de 65%, respectivamente.

No primeiro ciclo de cultivo do crambe a duração do ciclo da cultura não apresentou efeito significativo em função dos diferentes níveis de irrigação, apresentando-se significativo apenas no segundo ciclo. Como o ciclo da cultura é uma variável em que se deseja um menor tempo para disponibilizar a área para plantios seguintes, o tratamento que proporcionou déficit hídrico elevado (déficit de 65%) foi o que apresentou menor ciclo, sendo 105 dias (Tabela 15). Quando uma cultura é submetida a um fator de estresse, água ou luz, por exemplo, para as fotossensíveis, a tendência é que o ciclo seja reduzido como mecanismo de defesa para produção de sementes e sobrevivência da espécie. Além disso, neste tratamento, o teor de água já era menor que os demais, fato que contribuiu para a rápida secagem dos grãos após a finalização da irrigação, ocorrida aos 90 dias.

Observa-se na mesma tabela (Tabela 15) que o tratamento correspondente ao excesso hídrico de 50% não foi incluído na análise estatística por não ter havido produção em nenhum dos ciclos de cultivo.

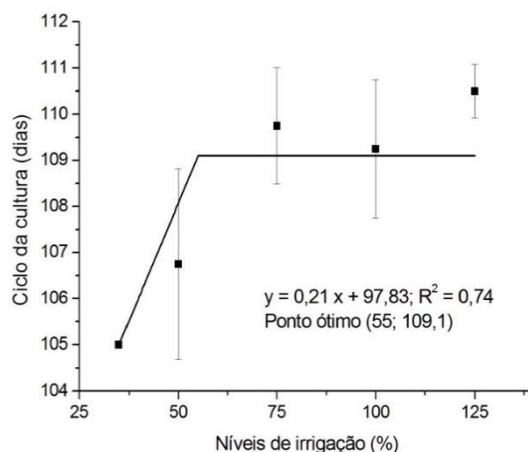
Tabela 15 – Ciclo da cultura do crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo

Tratamentos	Ciclo da cultura (dias) 1º ciclo	Ciclo da cultura (dias) 2º ciclo
Excesso 50%	-	-
Excesso 25%	96	111 A
“CC” vaso	101	109 AB
Déficit 25%	101	110 A
Déficit 50%	100	107 BC
Déficit 65%	98	105 C
P	0,1083	0,0001
CV (%)	2,78	1,20

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($n = 4$).

O ponto ótimo para o ciclo da cultura (Figura 31) foi 55% da “CC” vaso, obtendo-se assim 109 dias, no segundo ciclo de cultivo.

Figura 31 - Regressão segmentada obtida para a variação do ciclo da cultura de plantas de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro ciclo de cultivo



Os níveis de irrigação de 125, 100, 75, 50 e 35% da “CC” de vaso, correspondem aos tratamentos de excesso de 25%, “CC” vaso, déficit de 25%, déficit de 50% e déficit de 65%, respectivamente.

4.3.4 Produtividade e massa de 100 grãos

Houve efeito significativo da produtividade de crambe em relação aos níveis de irrigação aplicados durante os dois ciclos da cultura, conforme pode ser visto na Tabela 16. Em ambos os ciclos, as maiores produtividades foram obtidas nos

tratamentos em que se manteve o solo na capacidade de campo, apenas diferindo que no primeiro ciclo o tratamento com déficit de 25% também apresentou similar produtividade, 1.593,3 e 1.575,2 kg ha⁻¹, respectivamente, enquanto que no segundo ciclo isso se estendeu até o déficit de 50%. Contudo, no segundo ciclo os valores absolutos das maiores produtividades foram bastante diferentes (1.987,9; 1.368,3 e 1.094,7 kg ha⁻¹) o que é explicado pelo elevado valor do coeficiente de variação do experimento, 44,69%. Outra consideração em relação ao segundo ciclo é que o déficit de 65% se mostrou menos danoso que o excedente de 50%. Esses resultados apresentaram-se dentro da faixa de produtividade citada por Pitol; Broch e Roscoe (2010), que relatam produtividade variando entre 1.000 a 1.500 kg ha⁻¹. Jasper; Biaggioni e Silva (2010), cultivando crambe na região de Botucatu-SP, na época de safrinha em sistema de plantio direto obtiveram produtividade de 1.507,05 kg ha⁻¹.

Produtividades inferiores às relatadas neste trabalho foram obtidas por Ferreira e Silva (2011) trabalhando com diferentes sistemas de manejos de solo na cultura do crambe em Rondonópolis-MT, resultando em 163, 207 e 294 kg ha⁻¹ no preparo convencional, reduzido e semeadura direta, respectivamente, desempenhos esses atribuídos aos baixos índices pluviométricos registrados durante o ciclo da cultura.

Nos tratamentos em que se manteve o solo em “CC” vaso isolando o efeito da evaporação através do fechamento da superfície do solo as produtividades foram de 2.109,3 e 2.031,3 kg ha⁻¹, produzindo 516,0 e 43,4 kg a mais que os outros tratamentos em “CC” vaso, para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Quando incluído na análise estatística mesmo apresentando produtividade superior não apresentou diferença estatística com os tratamentos de níveis de irrigação correspondentes a “CC” vaso e com déficit hídrico de 25%.

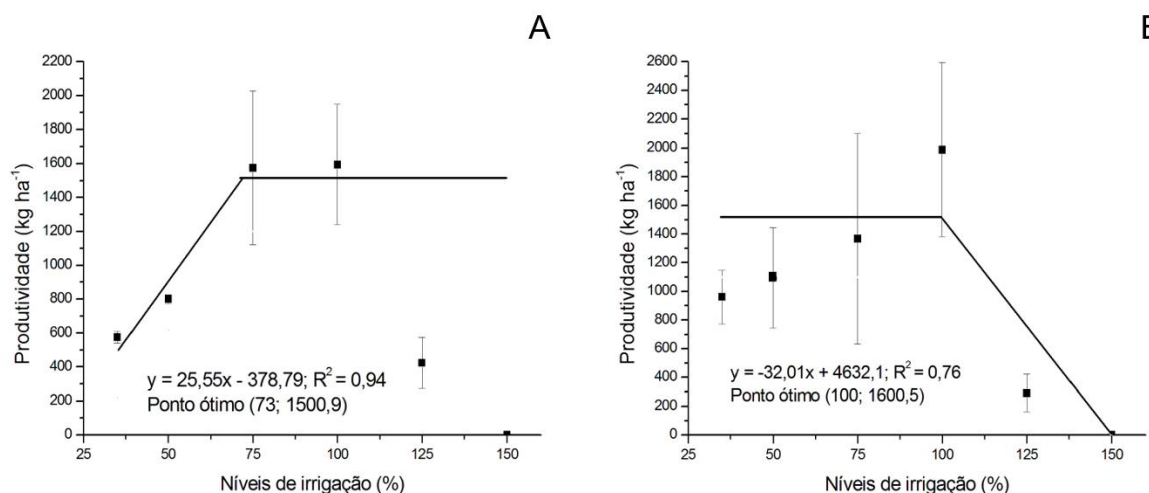
Tabela 16 - Produtividade de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo

Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	1º ciclo	2º ciclo
Excesso 50%	0,0 C	0,0 D
Excesso 25%	423,0 BC	292,0 CD
“CC” vaso	1.593,3 A	1.987,9 A
Déficit 25%	1.575,2 A	1.368,3 AB
Déficit 50%	800,5 B	1.094,7 ABC
Déficit 65%	574,0 B	960,4 BC
P	0,0001	0,0001
CV (%)	29,38	44,69

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (n = 4).

Os níveis ótimos para produtividade de crambe (Figura 32) foram 73 e 100% da “CC” vaso, obtendo-se 1.500,9 e 1.600,5 kg ha⁻¹, para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

Figura 32 - Regressões segmentadas obtidas para a variação de produtividade de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no primeiro (A) e segundo ciclo de cultivo (B)



Os níveis de irrigação de 150, 125, 100, 75, 50 e 35% da “CC” de vaso, correspondem aos tratamentos de excesso de 50%, excesso de 25%, “CC” vaso, déficit de 25%, déficit de 50% e déficit de 65%, respectivamente.

A massa de 100 grãos não apresentou efeito significativo no primeiro ciclo, apresentando significância apenas no segundo ciclo de cultivo, sendo que o excesso de 25% e déficit hídrico de 65% apresentaram piores resultados, massa de 0,8 g (Tabela 17). Os valores encontrados neste trabalho são superiores ao relatado por

Ferreira e Silva (2011), que cultivando crambe em sistema de plantio convencional obtiveram massa de 100 grãos correspondente a 0,158 g, com baixo desempenho atribuído pelo déficit hídrico durante a condução do experimento.

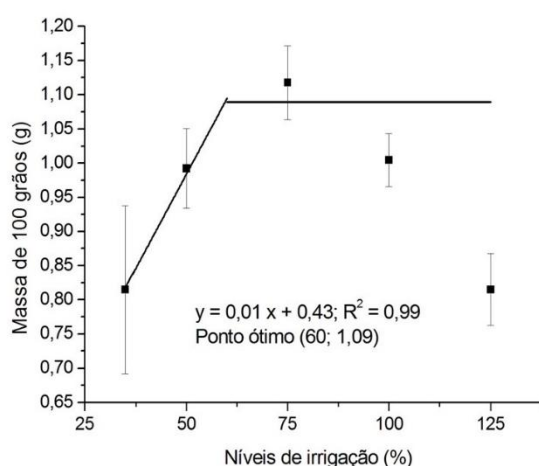
Tabela 17 - Massa de 100 grãos de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo

Tratamentos	Massa de 100 grãos (g) 1º ciclo	Massa de 100 grãos (g) 2º ciclo
Excesso 50%	-	-
Excesso 25%	1,0	0,8 B
“CC” vaso	1,2	1,0 A
Déficit 25%	1,1	1,1 A
Déficit 50%	0,9	1,0 A
Déficit 65%	0,9	0,8 B
P	0,1140	0,0001
CV (%)	13,38	7,54

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (n = 4).

Para a massa de 100 grãos de crambe, no segundo ciclo de cultivo obteve-se como ponto ótimo o nível de irrigação de 60% da “CC” vaso (Figura 33).

Figura 33 - Regressão segmentada obtida para a variação da massa de 100 grãos de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, baseados na porcentagem da “CC” do vaso, no segundo ciclo de cultivo



Os níveis de irrigação 125, 100, 75, 50 e 35% da “CC” de vaso, correspondem aos tratamentos de excesso de 25%, “CC” vaso, déficit de 25%, déficit de 50% e déficit de 65%, respectivamente.

4.4 Teor de óleo

Para esta variável, no primeiro ciclo, não foi viável efetuar análise de variância porque a quantidade de sementes produzida por vaso em alguns tratamentos foi inferior à quantidade mínima requerida por amostra (7,0 g) para se efetuar a determinação no laboratório. Contudo, para as parcelas dos tratamentos em que este foi possível obter a massa mínima os valores médios obtidos nos tratamentos são apresentados na Tabela 18.

No segundo ciclo o teor de óleo foi influenciado pelos diferentes níveis de irrigação aplicados na cultura do crambe, sendo o tratamento que manteve a planta com déficit hídrico de 25% o que apresentou maior teor de óleo (31,8%), porém não diferiu dos tratamentos que manteve o solo em “CC” vaso (30,8%) e nem do que manteve irrigação com excesso de 25% (28,1%).

Os valores obtidos neste trabalho são inferiores aos mencionados por Pitol; Broch e Roscoe (2010), que relatam teor de óleo de sementes de crambe com casca variando de 36 a 38%. Ferreira e Silva (2011) avaliando o teor de óleo de crambe cultivados em diferentes tipos de manejo do solo, obtiveram teor médio de óleo de 26,6% através do processo de maceração com casca e extração por solventes.

Tabela 18 - Teor de óleo de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo

Tratamentos	Teor de óleo (%) 1º ciclo	Teor de óleo (%) 2º ciclo
Excesso 50%	-	-
Excesso 25%	27,6	28,1 AB
“CC” vaso	28,6	30,8 AB
Déficit 25%	29,8	31,8 A
Déficit 50%	25,5	26,7 B
Déficit 65%	25,6	26,2 B
	-	0,0120
CV (%)	-	7,92

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (n = 4).

Em relação à produtividade de óleo, que é o produto de maior interesse comercial na cultura, os níveis de irrigação tiveram efeito significativo em ambos os ciclos (Tabela 19), sendo que, de maneira similar à produtividade da cultura por ter relação direta com a mesma, as maiores produtividades de óleo foram obtidas nos

tratamentos em que se manteve o solo na capacidade de campo, apenas diferindo que no primeiro ciclo o tratamento com déficit de 25% também apresentou similar produtividade de óleo, 455,7 e 469,4 kg ha⁻¹, respectivamente, enquanto que no segundo ciclo isso se estendeu até o déficit de 65%. Contudo, no segundo ciclo os valores absolutos das maiores produtividades foram bastante diferentes (623,0; 446,9; 299,8 e 252,6 kg ha⁻¹) o que é explicado pelo elevado valor do coeficiente de variação do experimento, 51,47%.

Considerando-se a densidade do óleo de crambe (911,3 kg m⁻³) relatada no trabalho de Jasper; Biaggioni e Silva (2010), as produtividades dos tratamentos em que se manteve o solo sempre em “CC” vaso seriam 500,0 e 683,6 L ha⁻¹, para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Pitol (2008) relata produtividade de óleo de crambe de 540,0 L ha⁻¹.

Tabela 19 – Produtividade de óleo de crambe em função dos diferentes níveis de irrigação, no primeiro e segundo ciclo de cultivo

Tratamentos	Produtividade de óleo (kg ha ⁻¹) 1º ciclo	Produtividade de óleo (kg ha ⁻¹) 2º ciclo
Excesso 50%	-	-
Excesso 25%	116,7 B	81,9 B
“CC” vaso	455,7 A	623,0 A
Déficit 25%	469,4 A	446,9 AB
Déficit 50%	204,1 B	299,8 AB
Déficit 65%	146,9 B	252,6 AB
P	0,0001	0,0065
CV (%)	27,94	51,47

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (n = 4).

4.5 Eficiência fotossintética

No primeiro ciclo de cultivo do crambe, na única leitura realizada, aos 37 dias após a semeadura (DAS) não houve diferença estatística em nenhuma das variáveis avaliadas (Tabela 20), provavelmente, porque as plantas ainda não haviam expressado os efeitos dos tratamentos aplicados, devido na época da leitura só estarem com seis dias de diferenciação dos níveis de irrigação.

Tabela 20 - Taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ na folha (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (A/C_i) em plantas de crame sob diferentes níveis de irrigação, aos 37 DAS, primeiro ciclo

Tratamentos	A	E	g_s	C_i	A/E	A/C_i
Excesso 50%	4,95	2,92	0,15	330,41	1,75	0,02
Excesso 25%	5,06	3,26	0,17	331,88	1,60	0,02
“CC” vaso	6,34	3,39	0,17	320,76	1,93	0,02
Déficit 25%	6,53	3,62	0,18	321,18	1,81	0,02
Déficit 50%	5,87	3,13	0,16	322,27	1,87	0,02
Déficit 65%	6,20	3,05	0,15	365,49	2,01	0,02
P	0,125	0,430	0,437	0,589	0,745	0,271
CV (%)	16,30	15,39	12,13	11,79	21,41	18,03

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($n = 4$).

No segundo ciclo foram realizadas três leituras aos 45, 61 e 75 DAS. Aos 45 DAS houve efeito significativo na taxa de assimilação de CO₂ (fotossíntese), taxa de transpiração e condutância estomática, aos 61 DAS além das variáveis supracitadas também apresentou significância a eficiência de carboxilação, porém aos 75 DAS não houve efeito significativo em nenhuma das variáveis, em relação aos níveis de irrigação aplicados na cultura do crame, o que pode ser atribuído ao fato de que na época da avaliação as plantas já estarem finalizando o estágio de granação e iniciado a senescência das folhas, tendo em função disso redução nas variáveis, principalmente na taxa de assimilação de CO₂ quando comparada com as leituras anteriores, com média geral de $6,90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabela 21).

Em todas as variáveis que apresentaram efeito significativo, considerando as três épocas de realização das leituras, os tratamentos mantidos em déficit hídrico não apresentaram diferença estatística quando comparados ao tratamento que manteve o solo sempre em “CC” vaso, com exceção da condutância estomática que diminuiu pela metade no tratamento com déficit de 65% na segunda leitura, apresentado valor igual a $0,37 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Em contrapartida, quando se efetua a mesma comparação, só que levando em conta os tratamentos com excesso hídrico, observa-se na maioria dos casos valores diferentes estatisticamente, com exceção da taxa de transpiração e eficiência de carboxilação, na primeira e segunda leitura, respectivamente (Tabela 21).

Tabela 21 - Taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ na folha (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (A/C_i) em plantas de crambe sob diferentes níveis de irrigação, aos 45, 61 e 75 DAS, segundo ciclo

DAS	Tratamentos	A	E	g_s	C_i	A/E	A/C_i
45	Excesso 50%	14,40 BC	3,42 B	0,28 B	315,03	4,43	0,05
	Excesso 25%	13,45 C	4,41 AB	0,41 AB	341,57	3,25	0,04
	“CC” vaso	17,70 A	5,24 AB	0,50 A	343,54	3,41	0,05
	Déficit 25%	17,63 AB	5,50 A	0,50 A	340,43	3,22	0,05
	Déficit 50%	17,35 AB	5,52 A	0,56 A	347,52	3,14	0,05
	Déficit 65%	17,05 AB	5,48 A	0,50 A	344,91	3,12	0,05
	P	0,045	0,020	0,009	0,717	0,151	0,465
	CV (%)	13,45	18,31	20,02	9,27	21,50	18,98
61	Tratamentos	A	E	g_s	C_i	A/E	A/C_i
	Excesso 50%	12,40 B	4,57 B	0,28 C	314,42	2,80	0,04 B
	Excesso 25%	13,28 AB	4,93 B	0,32 C	317,90	2,71	0,04 B
	“CC” vaso	20,38 A	8,44 A	0,76 A	338,71	2,42	0,06 AB
	Déficit 25%	19,46 AB	7,83 AB	0,65 AB	334,28	2,47	0,06 AB
	Déficit 50%	19,65 AB	7,72 AB	0,65 AB	331,11	2,58	0,06 AB
	Déficit 65%	17,67 AB	5,20 AB	0,37 BC	272,48	4,15	0,07 A
	P	0,008	0,003	0,001	0,102	0,081	0,003
	CV (%)	19,06	26,38	22,70	10,34	29,59	16,56
75	Tratamentos	A	E	G_s	C_i	A/E	A/C_i
	Excesso 50%	6,50	5,57	0,28	267,47	1,22	0,08
	Excesso 25%	7,69	4,59	0,27	307,42	2,38	0,03
	“CC” vaso	5,87	3,82	0,20	290,73	2,91	0,02
	Déficit 25%	6,80	4,76	0,26	338,09	1,60	0,02
	Déficit 50%	7,42	5,17	0,30	334,44	1,77	0,02
	Déficit 65%	7,21	4,46	0,26	324,04	2,04	0,02
	P	0,890	0,943	0,976	0,840	0,672	0,521
	CV (%)	27,95	14,13	25,41	5,69	27,75	28,34

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($n = 4$).

Resultados semelhantes a estes foram relatados por Silva et al. (2013) estudando o efeito do déficit hídrico sobre as características de trocas gasosas na cultura do girassol, em que observaram que a fotossíntese, a transpiração, a condutância estomática, a concentração interna de CO₂ e a eficiência do uso da água não diferiram do tratamento controle. De acordo com Silva et al. (2010) plantas de feijão-caupi irrigadas com 50% da evapotranspiração da cultura não apresentam lesões no processo fotossintético, ou seja, não diferiram do tratamento que manteve a reposição de água em 100%. Santos e Carlesso (1998) descrevem que o déficit hídrico pode induzir várias modificações morfofisiológicas de adaptação nas plantas, minimizando assim os efeitos prejudiciais da falta de água. Os mesmos autores

também relatam que quando a deficiência hídrica é estabelecida de forma controlada pode ocasionar maiores eficiências fotossintéticas.

Notam-se maiores valores de taxa de assimilação de CO₂ nas duas primeiras leituras (45 e 61 DAS), sendo esses valores influenciados pelo aumento na condutância estomática, ou seja, os estômatos estavam mais abertos, quando comparados com a última leitura, podendo com isso receber mais moléculas de CO₂ que serão utilizadas na assimilação líquida.

Ao mesmo tempo, as duas primeiras leituras apresentaram maiores taxas de transpiração, mas como tiveram elevadas taxas de assimilação de CO₂ conseguiram obter elevada eficiência de uso de água, uma vez que essa associação vem da razão entre a taxa de assimilação de CO₂ e a taxa de transpiração, o que possibilitou economia de água, podendo a mesma ser usada em outras funções fundamentais para o metabolismo das plantas (MACEDO, 2015).

Excetuando-se o valor de 0,08 obtido no tratamento com excesso hídrico de 50% aos 75 DAS, a eficiência de carboxilação também se apresentou maior nas leituras iniciais. Os altos valores de eficiência de carboxilação mostram como está o funcionamento da enzima ribulose 1,5-difosfato carboxilase, enzima essa extremamente importante na fixação do CO₂ para o processo fotossintético, que juntamente com alta abertura estomática propiciou os elevados valores na taxa de assimilação de CO₂ (MACEDO, 2015).

Os resultados deste trabalho induzem a acreditar que a cultura do crambe pode ter utilizado outros mecanismos objetivando elevar sua tolerância nas situações de redução de água, mecanismos estes que não foram analisados no presente trabalho como, por exemplo, regulação osmótica, mecanismo que se constitui na habilidade elaborada pelos vegetais submetidos ao estresse ocasionado por deficiência de água de concentrar ativamente açúcares, ácidos orgânicos e íons no citosol, garantindo a conservação do potencial de água, com diminuição do seu potencial osmótico e, por consequência, mantêm a turgescência de suas células próxima ao nível ótimo (NEPOMUCENO et al., 2001).

O efeito inibidor da deficiência hídrica sobre a taxa fotossintética das plantas é difícil de ser estabelecido, pois no processo de fotossíntese é utilizado menos de 1% da água absorvida pelos vegetais, no entanto é comprovado em muitas pesquisas que as reduções nas quantidades de água fornecidas às culturas, fora dos limites

ideais, provocam redução no crescimento e na produtividade das mesmas, o que também foi observado neste trabalho (LOPES; LIMA, 2015).

Gomes (2014) cultivando crambe em solução hidropônica de fosfato (0,4 mmol) e sulfato (0,8 mmol L⁻¹) sem e com aplicação de arsênio (0,6 mmol L⁻¹) aos 38 dias após a semeadura e com duas semanas de diferenciação dos tratamentos, observou que o estresse causado pela aplicação do arsênio provocou diminuição na taxa fotossintética (24,90 para 2,80 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), na taxa de transpiração (9,91 para 0,48 mmol m⁻² s⁻¹), na condutância estomática (0,38 para 0,02 mol m⁻² s⁻¹) e na concentração interna de CO₂ na folha (258,04 para 213,50 $\mu\text{mol mol}^{-1}$).

Sousa (2015) avaliando o desenvolvimento de crambe sob condição de solo contaminado por chumbo (33, 90, 180, 540 e 1800 mg kg⁻¹ de solo seco), observou que o estresse causado pela aplicação crescente de doses de chumbo provocou diminuição na fotossíntese e aumento na taxa transpiração, para os estágios vegetativo e reprodutivo. Ainda de acordo com o mesmo autor as variáveis condutância estomática e eficiência do uso da água não apresentaram efeito significativo em nenhum dos estágios.

4.6 Densidade estomática

A densidade estomática na face abaxial da folha de crambe foi influenciada pelos diferentes níveis de irrigação, porém na face adaxial não houve efeito significativo. As plantas mantidas em estresse, por deficiência hídrica, apresentaram menor número de estômato, na face abaxial (Tabela 22). Resultado esse já esperado, pois plantas submetidas a déficit hídrico tendem a diminuir a densidade estomática para evitar a perda de água, uma vez que a perda de água da planta ocorre principalmente através dos estômatos (transpiração estomática), pelos quais passam mais de 90% do CO₂ e da água transpirada (MARENCO E LOPES, 2009). A quantidade de estômatos nas folhas é definida durante o processo de crescimento das plantas, sendo essa quantidade afetada pela intensidade de luz e disponibilidade hídrica (KOUWENBERG; KÜRSCHNER; VISSCHER, 2004).

As folhas de crambe são classificadas como anfistomáticas, pois apresentam estômatos em ambas as faces, com isso tendem a perder mais água por meio da transpiração, isso acontece porque as folhas não são boas condutoras de calor, então durante o dia a face adaxial aquece mais, pois fica exposta diretamente a

radiação solar, aumentando assim a transpiração (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; MARENCO e LOPES, 2009; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Tabela 22 - Densidade estomática (estômatos por mm²) nas faces abaxial e adaxial de folhas de crambe (*Crambe hispanica*) em sob diferentes níveis de irrigação, aos 76 DAS, segundo ciclo

Tratamentos	Densidade estomática	
	Abaxial	Adaxial
Excesso 50%	415,2 A	268,8
Excesso 25%	374,5 AB	255,4
“CC” vaso	376,3 AB	225,1
Déficit 25%	336,0 B	245,3
Déficit 50%	325,9 B	201,6
Déficit 65%	322,6 B	238,6
P	0,0003	0,1030
CV (%)	7,08	13,40

Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (n = 4).

Nas Figuras 34 e 35 estão apresentas fotografias da impressão dos estômatos de folhas de crambe retiradas no momento da contagem, na superfície abaxial e adaxial, respectivamente. Observa-se que os estômatos estão dispersos de forma aleatória, o que é uma característica de plantas de folha larga; em plantas com folhas estreita são organizados em fileiras paralelas ao eixo longitudinal da lâmina da folha (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2011). Observa-se que apesar do grande número de estômatos na face adaxial, correspondendo mais da metade do número de estômatos da outra face, a maioria se encontra fechado.

Marenco e Lopes (2009) afirmam que o estresse hídrico causa o fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese, pois dificulta a entrada de CO₂ na folha.

A perda de água, na forma de vapor, é prevenida em algumas espécies vegetais, através do fechamento dos estômatos, caracterizando como espécies com maior sensibilidade estomática ou preventiva. Entretanto, algumas espécies permanecem realizando o processo fotossintético, mesmo com redução na umidade do solo, consideradas como tolerantes ao estresse hídrico, fato que parece ser o caso do crambe, pois mesmo com déficits hídricos elevados, continuou realizando fotossíntese (CERQUEIRA, 1992).

Figura 34 - Estômatos, na face abaxial, de folhas de *Crambe hispanica* submetido à diferentes níveis de irrigação, aos 76 DAS, segundo ciclo

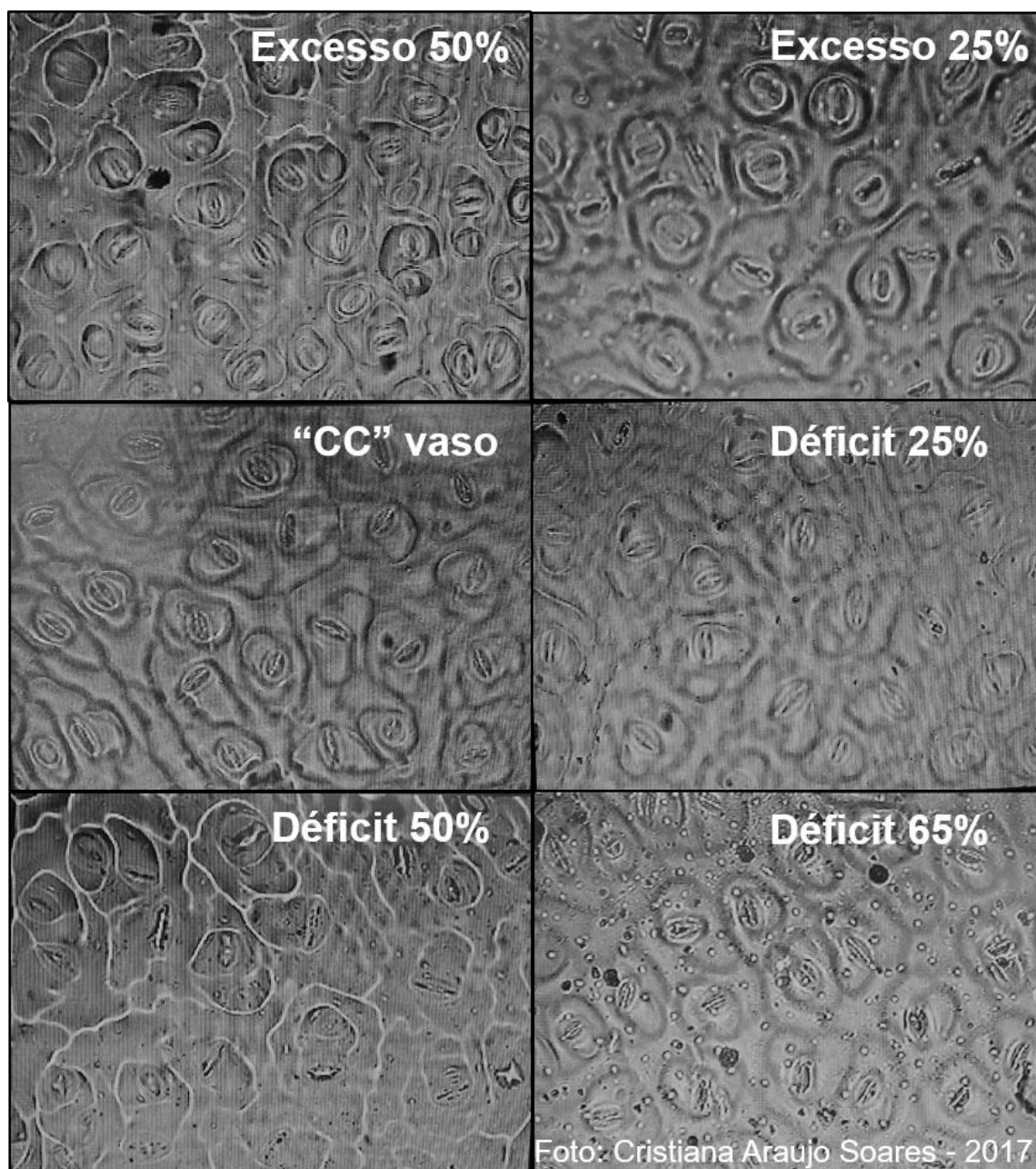
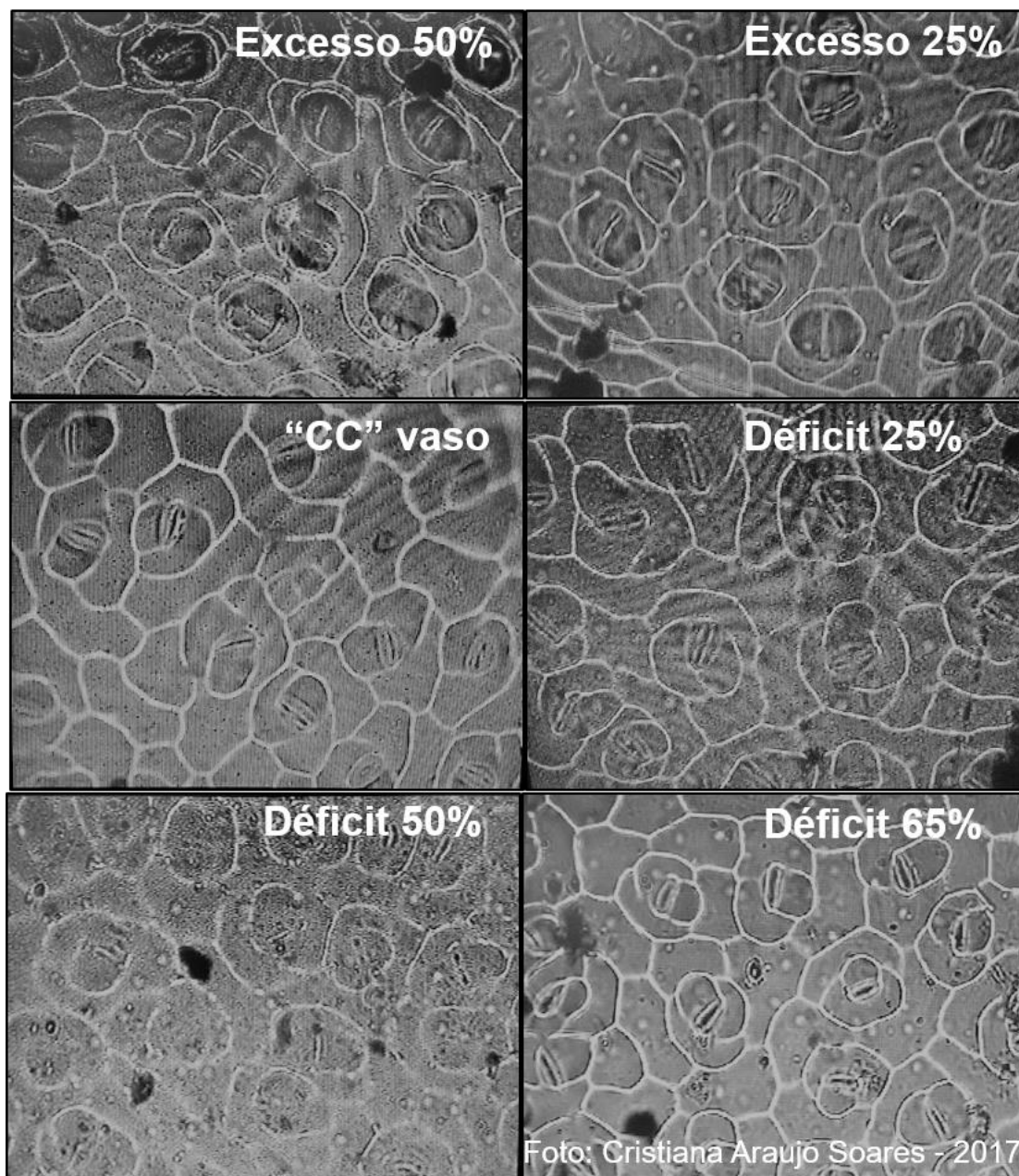


Figura 35 - Estômatos, na face adaxial, de folhas de *Crambe hispanica* submetido à diferentes níveis de irrigação, aos 76 DAS, segundo ciclo



5 CONCLUSÕES

Conforme os objetivos do trabalho pode-se concluir que:

- A evapotranspiração no primeiro e segundo ciclos da cultura do crambe foram 511,0 e 354,0 mm, respectivamente, considerando apenas os tratamentos sem estresse hídrico;

- A transpiração foi 73,2% da evapotranspiração no primeiro ciclo e no segundo ciclo, foi 80,2%;
- O crambe pode ser classificado como tolerante ao estresse hídrico, por deficiência, pois a aplicação de déficits hídricos de 25 e 50% apresentaram pequenas reduções em suas taxas de evapotranspiração, quando comparado àquele que manteve a umidade do solo na capacidade de campo;
- Considerando-se conjuntamente as variáveis fenométricas avaliadas, as produtivas e o teor de óleo, em ambos os ciclos de cultivo da cultura do crambe, o tratamento que manteve déficit hídrico de 25% apresentou comportamento similar ao irrigado para máxima retenção de água no solo;
- As variáveis de eficiência fotossintética demonstram que os déficits hídricos aplicados na cultura do crambe não causaram danos ao processo fotossintético das plantas, o que não foi observado em relação ao maior nível de excesso hídrico (50%), tendo seus valores diminuídos.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, A. L. et al. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 260-268, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbz/v37nspe/a30v37nsp.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília, DF: Embrapa, 2008. 528 p.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

BENEVIDES, M. S. L. **Estudo sobre a produção de biodiesel a partir das oleaginosas e análise de modelos cinéticos do processo de transesterificação via catálise homogênea**. 2011. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia)-Universidade Federal Rural do Semi-árido, Angicos, 2011.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625 p.

BIANCHINI, E. et al. Cultivo de crambe submetido a déficit hídrico. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, n. 3, p. 163-169, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Agricultura irrigada**: estudo técnico preliminar. Brasília, DF, 2004. 107 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: Informe 2012. Brasília, DF, 2012. 215 p.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim mensal do biodiesel**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/images//publicacoes/boletins-anp/Boletim_Mensal_do_Biodiesel/Boletim_Biodiesel_DEZEMBRO_2016.pdf> Acesso em 15 jan. 2017.

BRÁS, P. **Caracterização nutricional de coprodutos da extração de óleo em grãos vegetais em dietas de ovinos**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável)—Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, 2011.

BRISCOE, B. J.; LUCKHAM, P. F.; REN, S. R. An assessment of a rolling-ball viscometer for studying non-Newtonian fluids. **Colloids and Surfaces**, London, v. 62, p. 153-162, 1992.

BRITO, D. M. C. **Aspectos do metabolismo de plantas de crambe (*Crambe abyssinica*) submetidas a diferentes doses de nitrogênio visando a produção de óleo para biodiesel**. 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Química)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Fertilidade do solo, adubação e nutrição do crambe. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção**: crambe 2010. Maracajú: Fundação MS, 2010. v. 1, p. 22-36.

BUTRINOWSKI, I. T. et al. Manejo da irrigação com mini-tanque evaporímetro em *Crambe abyssinica*. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 4, n. 3, p. 54-65, 2011.

CARPISKI, M. et al. Sensibilidade do crambe (*Crambe abyssinica*) a variação de nível de lençol freático. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, n. 4, p. 36-45, 2013.

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An introduction to environmental biophysics**. New York: Spring-Verlag, 1998. 286 p.

CARLSON, K. D.; TOOKEY, H. Crambe meal as a protein source for feeds. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Chicago, v. 60, n. 12, p. 1979-1985, 1983.

CARLSSON, A. S. et al. **Oil crop platforms for industrial uses**: outputs from the 251 EPOBIO project. Newbury: Cplpress, 2007.

CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, L. F. C. **Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada**. Viçosa: Editora UFV, 2012, 240 p.

CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Legenda atualizada do Levantamento de solos da Fazenda Lageado-Estação Experimental "Presidente Médici". **Boletim Científico FCA/UNESP**, Botucatu, v. 1, p. 1-95, 1983.

CASAROLI, D.; VAN LIER, Q. J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 59-66, 2008.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CERQUEIRA, Y. M. Efeito da deficiência de água na anatomia de cultivares de mandioca *Manihot esculenta* Crantz. I - densidade estomática. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 10, p. 103-115, 1992.

COELHO, E. F. et al. **Irrigação do mamoeiro**. Cruz das Almas: Embrapa mandioca e fruticultura, 2003. 8 p. (Série Circular Técnica, 54).

COLODETTI, T. V. C. et al. Crambe: aspectos gerais da produção agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 14, p. 258-269, 2012.

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

CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. **Anatomia vegetal**: uma abordagem aplicada. Porto Alegre: Artmed, 2011. 304 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p.

DURIGON, A. **Soil-plant-atmosphere water transfer mechanisms and their relation to crop water stress**. 2011. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências /Física do Ambiente)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa 2006. 306 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p. (Documentos, 1).

FERREIRA, F. M.; SILVA, A. R. B. Produtividade de grãos e teor de óleo da cultura do crambe sob diferentes sistemas de manejo de solo em Rondonópolis-MT. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-11, 2011.

FOLEGATTI, M. V. et al. Efeito de diferentes níveis de irrigação e de déficit hídrico na produção do feijoeiro (*Plaseolus vulgaris* L). In: CONGRESSO CHILENO DE ENGENIERIA AGRÍCOLA, 2., 1997, Chillán. **Disquete...** Chillán: [s.n.], 1997.

GASTALDI, G. et al. Characterization and properties of cellulose isolated from the *Crambe abyssinica* hull. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 205-218, 1998.

GLASER, L. K. **Crambe**: an economic assessment of the feasibility of providing multiple-peril crop insurance. Washington: Economic Research Service for the Risk Management Agency; Federal Crop Insurance Corporation, 1996. Disponível em: <<http://www.rma.usda.gov/pilots/feasible/pdf/crambe.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2013.

GOMES, J. R. **Influência de fosfato e sulfato na fitotoxicidade de Arsênio em Crambe abyssinica Hochst**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

HERNANDEZ, F. B. T.; ALVES JÚNIOR, J. A.; LOPES, A. S. **Irrigação na cultura da pupunha**: curso sobre cultivo processamento e comercialização de palmito pupunha. Londrina: IAPAR, 2001. 14 p.

ITABORAHY, C. R. et al. **Agricultura irrigada e o uso racional da água**. Brasília, DF: Agência Nacional das Águas, 2004. 30 p.

JARVIS, A. J.; DAVIES, W. J. The coupled response of stomatal conductance to photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 49, p. 399-406, 1998.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; SILVA, P. R. A. Comparação do Custo de Produção do Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) com Outras Culturas Oleaginosas em Sistema de Plantio Direto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 141- 153. 2010.

JASPER, S. P. **Cultura do crambe (*Crambe abyssinica* hochst): avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto**. 2009. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

KNIGHTS, E. G. **Crambe**: a North Dakota case study: a Report for the Rural Industries Research and Development Corporation. Kingston: RIRDC, 2002. 25 p. Publication n. W02/005 Disponível em: <<http://www.regional.org.au/au/asa/2003/c/11/knights.htm>>. Acesso em: 02 jan. 2014.

LAZZERI, L. et al. Crambe oil: a potential new hydraulic oil and quenchant. **Industrial Lubrication and Tribology**, Amsterdam, v. 49, n. 2, p. 71-77, 1997. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=874534&show=abstract>>. Acesso em: 28 nov. 2014.

KOUWENBERG, L. L. R.; KÜRSCHNER, W. M.; VISSCHER, H. Changes in stomatal frequency and size during elongation of *Tsuga heterophylla* Needles. **Annals of Botany**, Oxford, v. 94, p. 561-569, 2004.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. In: **Advances in soil science**. California: Springer-Verlag, New York, v. 1, p. 277-293, 1985.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Fisiologia da produção. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2015. 492 p.

MACEDO, A. C. **Fungicidas de efeitos fisiológicos no metabolismo e desenvolvimento de plantas de melão rendilhado sob cultivo protegido**. 2015. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

MAJUMDAR, R. K.; CHAKLADAR, B. P.; MUKHERJEE, S. K. Selection and classification of mango root stocks in the nursery stage. *Acta Horticulturae*, v. 24, p. 101-106, 1972.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009. 486 p.

MENDONÇA, B. P. C. Torta de crambe na terminação de bovinos de corte em confinamento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 2, p. 583-590, 2015.

MIRANDA, J. H.; GONÇALVES, A. C. A.; CARVALHO, D. F. Água e solo. In: MIRANDA, J. H., PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, p. 1-62.

NANGOI, I. I. **Probabilidade de redução relativa da produtividade de milho por ocorrência de déficit hídrico em função de datas de plantio na região de Piracicaba, SP**. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Física do ambiente

agrícola)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

NEVES, M. B. et al. Qualidade fisiológica de sementes de crambe produzidos em Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA, 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa, 2007. p. 97-98.

NEPOMUCENO, A. L. et al. Tolerância à seca em plantas. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 23, n. 01, p. 12-18, 2001.

OLIVA, A. C. E. **Qualidade de sementes de crambe submetidas a métodos de secagem e períodos de armazenamento**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

OLIVEIRA, A. E. S. **Efeito do déficit hídrico sobre o desenvolvimento do feijão-fava em ambiente protegido**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Produção Vegetal)-Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

OPLINGER, E. S. et al. Crambe. In: ALTERNATIVE field crops manual. St. Paul: University of Minnesota, 1991. p. 507-508. Disponível em: <<http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe.html>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, R. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 70 p.

PEREZ, S. C. J. G. A. Limites de temperatura e estresse térmico na germinação de sementes de *Peltophorium dubium*. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 20, n.1, p. 134-142, 1998.

PHILIP, J. R. Evaporation and moisture and heat fields in the soil. **Journal of Meteorology**, Washington, v. 14, p. 354-366, 1957.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: UDUR, 1998. 150 p.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção: crambe 2010**. Maracajú: Fundação MS, 2010. 60 p.

PITOL, C. Cultura do crambe. In: PITOL, C. **Tecnologia de produção: milho safrinha e culturas de inverno**. Maracajú: Fundação MS, 2008. p. 85-88.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

REICHARDT, K.; TIMM L. C.; **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. p. 323-340.

ROGERIO, F. et al. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento da cultura do crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 251-255, 2012.

ROSCOE, R.; DELMONTES, A. M. A. Crambe é nova opção para biodiesel. **Agrianual 2009**, São Paulo, p. 40-41, 2008.

ROSCOE, R.; PITOL, C.; BROCH, D. L. Necessidades climáticas e ciclo cultural. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção: crambe 2010**. Maracajú: Fundação MS, p. 07-09, 2010.

ROSOLEM, C. A.; STEINER, F. Adubação potássica para o crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30 p. 140-146, 2014.

RUAS, R. A. A. et al. Embebição e germinação de sementes de crambe (*Crambe abyssinica*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 61-65, 2010.

SANCHES, N. F.; DANTAS, J. L. L. **O cultivo do mamão**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1999. 105 p. (Circular Técnica, 34).

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SANTOS, R. F. et al. Manejo de irrigação com evaporímetro em *Crambe abyssinica*. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 1, n. 1, p. 23-32, 2012.

SCHRÖDER, T. et al. Effect of local soil hydraulic conductivity drop using a three-dimensional root water uptake model. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 7, n. 3, p. 1089-1098, 2008.

SILVA, A. R. A. et al. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.

SILVA, C. D. S. et al. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010.

SOUSA, R. F. B. **Parâmetros nutricionais, morfofisiológicos e fitodisponibilidade de metais nas culturas de crambe e trigo cultivadas em solos contaminados**. 2015. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.
TARDIEU, F.; DAVIES, W. J. Stomatal response to abscisic acid is a function of current plant water status. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 48, p. 540-545, 1992.

TARDIEU, F.; SIMMONNEAU, T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modeling isohydric and

anisohydric behaviours. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 49, p. 419-432, 1998.

TOEBE, M. et al. Estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 475-478, 2010.

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, Berlin, v. 153, n. 4, p. 376-387, 1981.

ZAHEDI, H.; RAD, A. H. S.; MOGHADAM, H. R.T. Effects of zeolite and selenium applications on some agronomic traits of three canola cultivars under drought stress. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 179-185, 2011.

ZAMBOLIM, L. **Sementes: qualidade fitossanitária**. Viçosa: UFV; 2005. 502 p.

ZIMMERMANN, U.; MEINZER, F.; BENTRUP, F. W. How does water ascend in tall trees and other vascular plants? **Annals of Botany**, Oxford, v. 76, p. 545-551, 1995.