

PRODUTIVIDADE DO BRÓCOLIS-DE-CABEÇA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p863-874/2015>

LUCIANO O. GEISENHOF¹, FABRICIO C. DE OLIVEIRA²,
GUILHERME A. BISCARO³, ALEXSANDRO C. DOS S. ALMEIDA⁴,
FRANCIELLI SCHWERZ⁵

RESUMO: Na agricultura sustentável, busca-se o sistema de irrigação que proporcione alta produtividade comercial com o mínimo de água aplicada. Assim, objetivou-se pelo presente estudo avaliar a produtividade do brócolis-de-cabeça irrigado por diferentes sistemas de irrigação. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, utilizando quatro repetições e cinco tratamentos que correspondem aos sistemas de irrigação: gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial, microaspersão, Santeno[®] e aspersão convencional. A cultivar utilizada foi o brócolis-de-cabeça (*Brassica oleracea* var. *italica*, híbrido Lord Summer). Foram avaliados o diâmetro de inflorescência (DI), a produtividade comercial de inflorescência (PCI) e a produtividade da água (PA). O desempenho dos sistemas foi determinado por meios do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). O desempenho dos sistemas de irrigação avaliados foi diretamente proporcional ao aumento de DI, PCI e PA. O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial apresentou maior produtividade em relação aos demais sistemas avaliados, e os maiores valores de DI ($19,5 \pm 0,42$ cm), PCI ($12,3 \pm 0,56$ t ha⁻¹) e PA ($5,2 \pm 0,20$ kg m⁻³) foram obtidos com a menor lâmina aplicada durante o ciclo de cultivo (236,8 mm).

PALAVRAS-CHAVE: *Brassica oleracea*, produtividade da água e uniformidade de distribuição.

YIELD OF SINGLE-HEAD BROCCOLI UNDER DIFFERENT IRRIGATION SYSTEMS

ABSTRACT: Irrigation in sustainable agriculture should provide high marketable crop yields with minimum water consumption. The aim of this study was to evaluate the yield of single-head broccoli cultivation under different irrigation systems. A completely randomized design experiment with five blocks was performed to test the irrigation systems: surface drip irrigation, subsurface drip irrigation, micro-sprinkler, Santeno[®] and sprinkler irrigation. We evaluated the Lord Summer hybrid of single-head broccoli (*Brassica oleracea* var. *italic*) and the variables assessed were diameter of inflorescence (DI), yield of marketable inflorescence (PCI) and water productivity (PA). The uniformity coefficients of Christiansen (CUC) and water distribution (CUD) were used to evaluate the performance of the irrigation systems. The results showed a direct and proportional relationship between system performance and the improvement of the variables DI, PCI and PA. Subsurface drip irrigation promoted the highest yields when compared to the others. Surprisingly, the lowest irrigation depth applied within crop cycle (236.8 mm) reached the highest values of DI (19.5 ± 0.42 cm), PCI (12.3 ± 0.56 t ha⁻¹) and PA (5.2 ± 0.20 kg m⁻³).

KEYWORDS: *Brassica oleracea*, water yield and distribution uniformity.

¹ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias - FCA/Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/Dourados – MS, Fone: (67) 3410-2443, lucianogeisenhoff@ufgd.edu.br

² Eng^o Agrônomo, Doutorando, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/Universidade de São Paulo - USP/Piracicaba – SP, fabricio_agro@yahoo.com.br

³ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias - FCA/Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/Dourados – MS, guilhermebiscaro@ufgd.edu.br

⁴ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias - FCA/Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/Dourados – MS, alexsandroalmeida@ufgd.edu.br

⁵ Eng^a Agrônoma, Doutoranda, Faculdade de Ciências Agrárias - FCA/Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/Dourados – MS, fran_schwerz_88@hotmail.com

Recebido pelo Conselho Editorial em: 13-3-2014

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 25-5-2015

INTRODUÇÃO

A couve-brócolos, conhecida como brócolos ou também brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) é uma planta cultivada em diversas regiões do mundo, principalmente naquelas com temperaturas amenas (LALLA et al., 2010). No Brasil, o cultivo de brócolis-de-cabeça está mais concentrado nas regiões Sul e Sudeste, com destaques para os Estados de São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Distrito Federal (CECÍLIO FILHO et al., 2012).

O Estado do Mato Grosso do Sul tem na agricultura seu principal setor econômico. Porém, não existem recomendações para o cultivo de brócolis-de-cabeça neste Estado. O cultivo de brócolis tipo Ramoso é predominante, sendo mínima a produção de brócolis-de-cabeça (LALLA et al., 2010). Na região de Dourados, o período climático mais adequado para o cultivo de brócolis, para a grande maioria das cultivares, compreende os meses de maio, junho, julho e agosto. Esses meses caracterizam-se pelas mais baixas temperaturas do ano, com a média por volta de 20 °C (FIETZ & FISCH, 2008). No entanto, este período caracteriza-se pela ocorrência de estiagem prolongada, implicando a necessidade de adoção da prática de irrigação para cultivo de brócolis.

Na maioria das áreas onde se cultivam brócolis, na região é utilizado o método de irrigação por aspersão. Esse método geralmente apresenta menor uniformidade de distribuição de água, eficiência de aplicação e produtividade da água, quando comparado com o método de irrigação localizada (BENÍCIO et al., 2009; SOUZA et al., 2006; PAULINHO et al., 2009; DOUH et al., 2013). No Estado do Mato Grosso do Sul, a produtividade média obtida para diferentes cultivares de brócolis, utilizando o sistema de irrigação por aspersão, foi de 12,33 t ha⁻¹ (LALLA et al., 2010), enquanto o cultivo irrigado com sistemas localizados (gotejamento superficial e microaspersão) pode proporcionar maiores produtividades, com médias de 21,65 e 21,12 t ha⁻¹, respectivamente (KUMAR & SENSEBA, 2008).

A irrigação apresenta um papel importante no aumento da produtividade das culturas; contudo, a uniformidade de distribuição de água tem sido um fator limitante para se alcançar um manejo eficiente do uso da água aplicada (ZOCOLER; CESAR; VANZELA, 2004). Então, tornam-se fundamentais estudos relacionando o desempenho dos sistemas de irrigação com a produtividade das culturas.

Para melhor expressar a importância de um manejo de irrigação adequado, índices de eficiência têm sido propostos. A eficiência do uso da água (EUA) foi inicialmente definida como a relação entre a taxa da matéria seca de determinada cultura e a taxa de transpiração da mesma (FREDERIKSEN & ALLEN, 2011; GLEICK et al., 2011). Posteriormente, objetivando relacionar as características do sistema de irrigação e seu manejo com os parâmetros da cultura, agregou-se um caráter econômico ao termo, passando a ser denominada produtividade da água (PA). PA expressa o benefício derivado da utilização de água pelas culturas, pois relaciona o produto econômico da cultura com o volume de água aplicado via irrigação (LIMA et al., 2012).

Os sistemas de irrigação não apresentam os mesmos desempenhos operacionais, por isso, durante o ciclo de uma cultura, as lâminas de água aplicadas por diferentes sistemas, geralmente, são diferentes. Então, identificar o sistema de irrigação que proporcione maior produtividade do brócolis-de-cabeça para a região de Dourados – MS, fornecerá informações que poderão contribuir para o aumento da produção desta cultura com obtenção de alta produtividade da água, contribuindo para o uso racional da água de irrigação. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade do brócolis-de-cabeça irrigado por diferentes sistemas de irrigação (gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial, microaspersão, Santeno[®] e aspersão convencional) para a região de Dourados-MS.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental de Irrigação, Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizada em Dourados, Mato Grosso do Sul, situada a 22° 13' 16" de latitude sul e a 54° 48' 20" de longitude

oeste. No dia 5 de março de 2012, iniciou-se o experimento com a realização das covas e a adubação de plantio. No dia 12 de março, foram instalados os sistemas de irrigação. O transplante das mudas de brócolis-de-cabeça (*Brassica oleracea* var. *italica*, híbrido Lord Summer) ocorreu no dia 03 de abril. A adubação de plantio foi realizada com base na análise de solo, e seguindo a recomendação de FONTES (1999). No dia 29 de março de 2012, quatro dias antes do transplante, foi realizada adubação de plantio com 140 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 80 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio. Além da adubação química, realizou-se a orgânica, com 350 g de substrato comercial Bioplant[®] por planta.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa (mesotérmico úmido), com verão chuvoso e inverno seco, e com temperatura média anual de 22 °C. O solo da área foi descrito como um Latossolo Vermelho Distroférico, com classe textural muito argilosa (EMBRAPA, 2009b).

Para realizar as caracterizações físicas e químicas do solo, foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 0,2 m. A curva de retenção de água foi determinada a partir de amostras deformadas. Os pontos de baixa tensão (2; 4; 6 e 10 kPa) foram determinados no funil de Haines, usando-se uma amostra saturada em contato hidráulico com a placa porosa, mantendo-se o nível do tubo flexível a uma altura um pouco superior à da amostra, enquanto os pontos de alta tensão (33; 100; 500 e 1500 kPa) foram determinados no extrator de Richards. Utilizando-se do programa SWRC (DOURADO NETO et al., 2000), foram gerados os parâmetros da equação, seguindo modelo proposto por van GENUCHTEN (1980). Esse modelo descreve o comportamento da umidade do solo (cm³ cm⁻³) em relação à tensão de água do solo (kPa) [eq. (1)].

$$\theta_a = 0,2133 + \frac{0,3667}{[1 + (0,2906|\Psi_m|^{1,7254})]^{0,4204}} \quad (1)$$

em que,

θ_a - umidade atual do solo com base volumétrica, cm³ cm⁻³,

Ψ_m - tensão de água no solo, em kPa.

A caracterização química do solo foi realizada de acordo com metodologia utilizando amostras compostas (EMBRAPA, 2009a), e os resultados apresentaram a seguinte composição química: pH CaCl₂ = 4,8; P = 17,4 mg dm⁻³; K = 0,4 cmol_c dm⁻³; Ca = 5,41 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,63 cmol_c dm⁻³; Al = 0,28 cmol_c dm⁻³; H+Al = 6,31 cmol_c dm⁻³; CTC = 13,65 cmol_c dm⁻³; V = 54,51 % e MO = 22,94 g dm⁻³.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, utilizando quatro repetições de cinco tratamentos, que corresponderam a cinco sistemas de irrigação (gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial, microaspersão, Santeno[®] e aspersão convencional). Cada parcela foi constituída por quatro linhas, com cinco plantas espaçadas de 0,5 m. O espaçamento entre as linhas foi de 1 m, totalizando 20 plantas por parcela, equivalente à população de 20.000 plantas ha⁻¹. A área útil foi formada pelas duas linhas centrais, desprezando-se as plantas de cada extremidade, resultando em 6 plantas como unidade experimental (Figura 1).

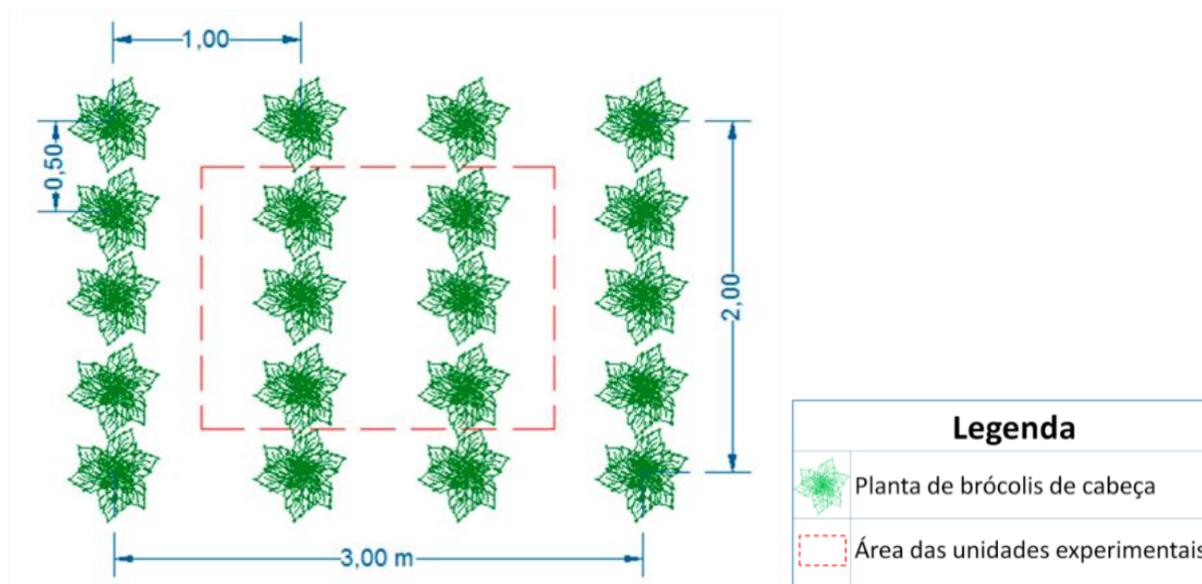


FIGURA 1. Esquema de uma parcela com destaque para as unidades experimentais. **Plot diagram with highlights of the experimental unit.**

No sistema de gotejamento, foram utilizados emissores autocompensantes, tipo *in-line*. A vazão dos gotejadores foi de $1,48 \text{ L h}^{-1}$, e a pressão de serviço (PS), de $99,05 \text{ kPa}$, controlada por uma válvula reguladora de pressão instalada na tubulação de derivação. Foi utilizado um gotejador por planta. Foi utilizado o mesmo tipo de fita gotejadora nos tratamentos com sistemas de gotejamento superficial e subsuperficial, sendo que, no gotejamento subsuperficial, as fitas gotejadoras foram instaladas cerca de $0,05 \text{ m}$ abaixo da superfície do solo, enquanto no outro sistema, sobre a superfície do solo.

O sistema de microaspersão foi composto por emissores tipo bailarina dupla. A PS utilizada foi de $99,05 \text{ kPa}$, controlada por uma válvula reguladora de pressão inserida na tubulação de derivação. A vazão nominal para PS utilizada é de $44,9 \text{ L h}^{-1}$. Os emissores foram espaçados entre si por $1,5 \text{ m}$ e inseridos em tubulações laterais de polietileno, espaçadas de $1,5 \text{ m}$ com DN de 16 mm . Estas, por sua vez, foram conectadas em uma tubulação de derivação também de polietileno (DN de 16 mm e PN de $392,17 \text{ kPa}$).

A tubulação de derivação foi conectada à linha principal de PVC (DN de 50 mm e PN de $784,53 \text{ kPa}$). Cada microaspersor permaneceu disposto de forma a promover a sobreposição de área molhada pelos mesmos, tanto na própria linha, quanto entre as linhas laterais.

No sistema Santeno[®], foi utilizado tape Santeno[®] de polietileno linear de baixa densidade, tipo I. Este tape apresenta as seguintes características: diâmetro interno de 28 mm , espessura da parede igual a $0,24 \text{ mm}$, emissores perfurados a laser com diâmetro de $0,3 \text{ mm}$ e espaçamento entre emissores de $0,15 \text{ m}$. Os tapes foram instalados em uma tubulação de derivação de polietileno (DN de 16 mm e PN de $392,17 \text{ kPa}$), espaçados por 3 m , sendo conectados três tapes de 10 m de comprimento. A vazão nominal para a PS de $99,05 \text{ kPa}$, em 10 m de comprimento é de $240,4 \text{ L h}^{-1}$. A PS foi controlada por uma válvula reguladora de pressão inserida na tubulação de derivação. A tubulação de derivação foi conectada à linha principal de PVC (DN de 50 mm e PN de $784,53 \text{ kPa}$).

O sistema utilizando aspersão convencional foi composto por barras de PVC roscável, com 50 mm de diâmetro. Os aspersores eram de dois bocais, com ângulo de inclinação do jato de 30° e rotação de 360° . A PS utilizada foi de $197,11 \text{ kPa}$, controlada por uma válvula reguladora de pressão inserida na tubulação principal. A vazão correspondente à PS utilizada é de $425,8 \text{ L h}^{-1}$. Os aspersores foram espaçados a 6 m na mesma linha e entre as linhas laterais, formando assim um

quadrado. A disposição dos aspersores proporcionava a sobreposição de área molhada, tanto na própria linha, quanto entre as linhas laterais. Os aspersores estavam conectados em tubos de subida de 1,1 m de comprimento com DN de 25 mm. Estes, por sua vez, estavam inseridos nas tubulações laterais. As linhas laterais foram conectadas diretamente na linha principal (DN de 50 mm e PN de 784,53 kPa).

Após a instalação dos sistemas de irrigação, foram realizadas avaliações sobre o desempenho de cada sistema. Foram realizados ensaios em campo para a determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), por meio das [eqs. (2) e (3)], respectivamente. A coleta das lâminas de água para todos os sistemas avaliados foi por uma hora, sendo utilizada a pressão de serviço de cada sistema.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_n|}{nX_n} \right) \quad (2)$$

em que,

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

n - número de coletores na área molhada de distribuição;

X_i - lâmina de água coletada no i-ésimo coletor, mm,

X_n - lâmina média, mm.

$$CUD = 100 \frac{l_n}{\bar{l}} \quad (3)$$

em que,

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

l_n - média de 25% das menores lâminas, mm,

\bar{l} - média de todas as lâminas, mm.

A classificação em relação ao desempenho dos sistemas foi realizada de acordo com BRALTS (1986) e CHRISTIANSEN (1942). Nos sistemas de gotejamento superficial e subsuperficial, a análise de uniformidade foi realizada em uma parcela, contendo 20 emissores. Foi colocado um coletor abaixo de cada emissor. No sistema por microaspersão, foram colocados 25 coletores distribuídos entre um quadrado formado por quatro microaspersores, espaçados de 1,5 m, cujos coletores estavam espaçados por 0,3 m entre as linhas e 0,3 m entre as colunas. No sistema Santeno[®] foram utilizados 36 coletores espaçados por 0,5 m entre as linhas e 0,5 m entre as colunas. Os coletores foram dispostos entre dois tapes de Santeno[®]. No sistema por aspersão convencional, foram utilizados 56 coletores, distribuídos entre um quadrado formado por quatro aspersores espaçados de 6,0 m. Os coletores ficaram espaçados por 1,0 m entre as linhas e 1,0 m entre as colunas.

Visando a determinar o tempo de irrigação nos sistemas Santeno[®], microaspersão e aspersão convencional, foi calculada a intensidade de aplicação (I_a). A I_a foi estimada relacionando-se a vazão média coletada durante o ensaio com a área de coleta dos coletores [eq. (4)].

$$I_a = \frac{q_a}{A_c} \quad (4)$$

em que,

I_a - intensidade de aplicação, mm h⁻¹;

q_a - vazão média coletada, em L h⁻¹,

A_c - área de coleta do coletor, em m².

A eficiência de aplicação operacional (E_a) nos sistemas que compreendem o método localizado de irrigação (gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial, Sateno[®] e microaspersão) foi determinada de acordo com MERRIAN & KELLER (1978), por meio da [eq. (5)].

$$E_a = 0,90 \text{ CUD} \quad (5)$$

em que,

E_a - eficiência de aplicação operacional, %,

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %.

No sistema por aspersão convencional, a E_a foi determinada por meio de avaliação em campo, sendo determinado a eficiência de aplicação potencial [eq. (6)], seguindo o mesmo procedimento de determinação do CUC; porém, além de obter o volume coletado (VC), determinou-se também o volume aplicado (VA). Para isso, foram inseridas duas mangueiras nos bocais de saída de cada aspersor e realizada a coleta da água em um recipiente, por três minutos. Então aferiu-se o volume coletado em cada aspersor em uma proveta graduada. Como o VA representa a contribuição de cada aspersor dentro da área de coleta (6 x 6 m), então o VA utilizado para se obter a eficiência de aplicação foi resultado da contribuição de 25% do VA de cada aspersor.

$$E_{a_p} = \frac{VA}{VC} 100 \quad (6)$$

em que,

E_{a_p} - eficiência de aplicação operacional potencial, %,

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %.

O manejo da irrigação em todos os sistemas foi baseado no balanço de água no solo, sendo considerado como fluxos de entrada, a precipitação e a irrigação real necessária, e como fluxo de saída, a evapotranspiração da cultura.

Os dados meteorológicos e a evapotranspiração de referência (E_{To}) foram coletados na estação meteorológica automática da EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA-CPAO), localizada em Dourados-MS. Para realizar o balanço de água no solo, inicialmente, determinou-se a umidade na capacidade de campo (93,1 mm), que foi obtida na tensão de 10 kPa para profundidade efetiva do sistema radicular de 250 mm. Posteriormente, estimou-se a umidade do solo (83,8 mm) para tensão crítica de irrigação (15 kPa), considerando a profundidade efetiva do sistema radicular. A evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) utilizada no balanço foi determinada de acordo com a [eq. (7)], em que o coeficiente de cultura (K_c) para as fases inicial, média e final foi de 0,65; 1,05 e 0,95 (SOUZA et al., 2011).

$$E_{Tc} = K_c E_{To} \quad (7)$$

em que,

E_{Tc} - evapotranspiração da cultura ou de cultivo, mm d^{-1} ;

K_c - coeficiente de cultura ou de cultivo, adimensional,

E_{To} - evapotranspiração de referência, mm d^{-1} .

Foi utilizado turno de rega variável. A irrigação total necessária (ITN) foi determinada por meio da relação entre a lâmina requerida pela cultura e a eficiência de aplicação previamente determinada para cada sistema de irrigação avaliado.

A colheita manual das unidades experimentais iniciou-se no dia 16 de junho de 2012 (75 dias após o transplante-DAT) e teve seu término em 18 de junho de 2012 (77 DAT). Após a colheita das inflorescências, procederam-se às seguintes avaliações: diâmetro de inflorescência-DI (cm), produtividade comercial de inflorescência-PCI ($t\ ha^{-1}$) e produtividade da água-PA ($kg\ m^{-3}$). Para se obter o DI, inicialmente, foi mensurada a circunferência das inflorescências colhidas com o auxílio de uma fita métrica; posteriormente, por meio da relação entre a circunferência e o valor de π , obteve-se a diâmetro da inflorescência. PCI foi obtida com base nas dimensões das parcelas, considerando o espaçamento utilizado (1 x 0,5 m), de acordo com a população de plantas por hectare (20.000 plantas ha^{-1}), a partir da média da massa fresca de inflorescência. PA foi obtida relacionando-se PCI e a irrigação total necessária por hectare, durante o ciclo da cultura, em cada sistema de irrigação.

Os resultados foram submetidos à análise de variância com a realização do teste F e posterior comparação de média, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade, por meio do programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média diária durante o período do experimento variou de 10,5 a 26,1 °C (Figura 2). As temperaturas observadas proporcionaram as condições ideais de germinação e desenvolvimento da cultura (TREVISAM et al., 2003). A precipitação acumulada durante os 77 dias do cultivo foi de 347 mm (Figura 3).

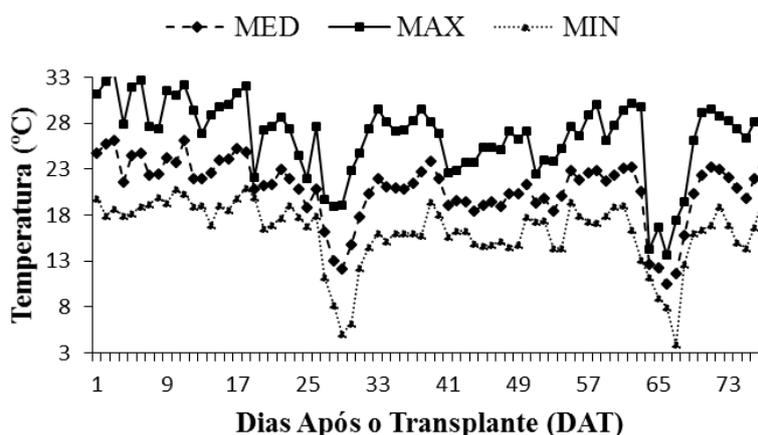


FIGURA 2. Temperaturas médias (MÉD), máximas (MÁX) e mínimas diárias do ar durante o período de cultivo. **Maximum (MAX), average (MED) and minimum (MIN) daily air temperatures throughout the crop cycle.**

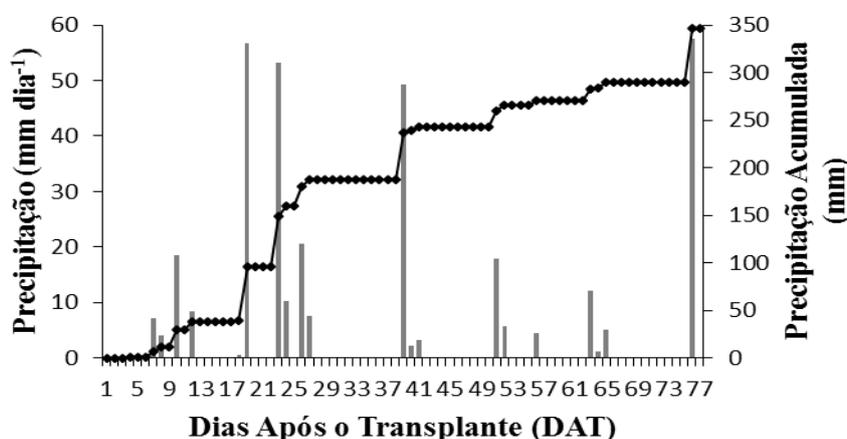


FIGURA 3. Precipitações acumuladas e diárias ocorridas durante o período de cultivo. **Cumulative and daily rainfall throughout the crop cycle.**

Em relação ao balanço hídrico no solo, o armazenamento de água, na maior parte do tempo, manteve-se dentro da faixa de água disponível para as plantas (9,2 mm), em relação à umidade na capacidade de campo. Foram realizadas 22 irrigações; nos primeiros três dias, a irrigação foi realizada com alta frequência, visando a obter melhor estabelecimento das plantas. A partir da oitava irrigação, foram aplicadas as lâminas de água necessárias para elevar o armazenamento de água do solo para a capacidade de campo, em turno de rega variável (Figura 4).

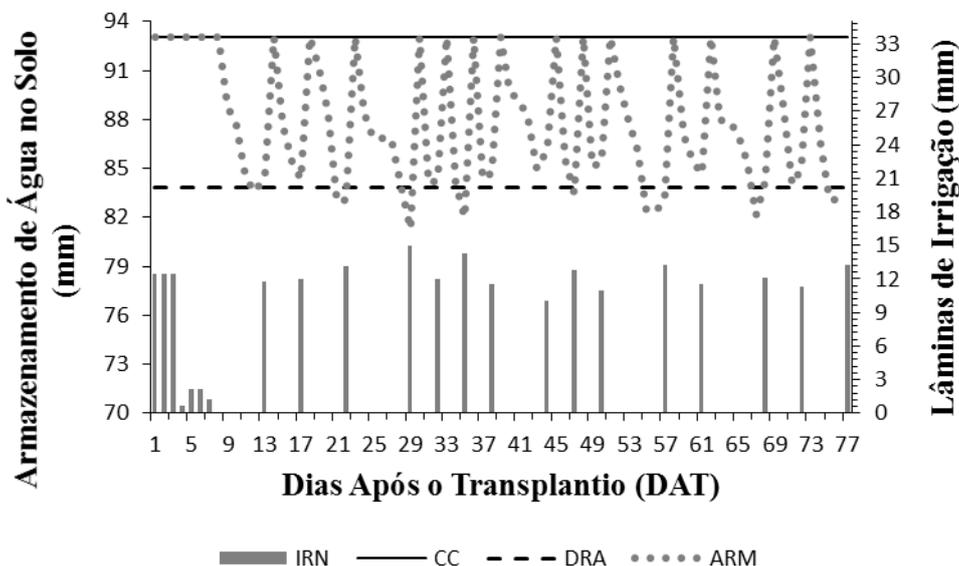


FIGURA 4. Irrigação real necessária (IRN), umidade na capacidade de campo (CC), disponibilidade real de água no solo (DRA) e armazenamento de água (ARM) durante o período de cultivo. **Actual irrigation demand (IRN), soil moisture at field capacity (CC), actual water availability (DRA) and water storage (ARM) throughout the crop cycle.**

As avaliações sobre o desempenho dos sistemas de irrigação (coeficiente de uniformidade de Christiansen, CUC e coeficiente de uniformidade de distribuição, CUD) foram diferentes entre os sistemas de irrigação (Tabela 1). Os melhores desempenhos foram obtidos pelos tratamentos irrigados com os sistemas de gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e microaspersão. Esses sistemas apresentaram CUC maior que 90 % e CUD maior que 87 %, sendo classificados como excelente desempenho, enquanto os sistemas Santeno[®] e aspersão convencional apresentaram valores de CUC e CUD menores que 90 e 85%, respectivamente, sendo classificados como bom desempenho.

TABELA 1. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e desempenho de cada sistema. **Uniformity coefficients of Christiansen (CUC) and distribution (CUD) and their respective classification for irrigation system performance.**

Tratamentos	CUC	CUD	Desempenho
	(%)		
Gotejamento superficial	96,9	96,0	Excelente
Gotejamento subsuperficial	96,9	96,0	Excelente
Microaspersão	91,4	87,7	Excelente
Santeno [®]	76,4	71,3	Bom
Aspersão convencional	81,5	73,2	Bom

Com relação aos índices de produtividade, houve diferença significativa para a DI, PCI e PA, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott (Tabela 2). O sistema de gotejamento subsuperficial proporcionou melhores características qualitativas da cultura, pois a média do DI das plantas provenientes desse sistema apresentaram menor desvio-padrão (Tabela 2). O maior DI foi obtido com o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial ($19,5 \pm 0,42$ cm), enquanto o menor DI foi obtido utilizando o sistema por aspersão convencional ($16,9 \pm 0,82$ cm).

A maior PCI, com o menor desvio-padrão, foi obtida com gotejamento subsuperficial ($12,3 \pm 0,56$ t ha⁻¹), ou seja, a produtividade foi mais uniforme na área de cultivo neste tratamento. A menor uniformidade de PCI foi obtida com o sistema Santeno[®]. Houve uma tendência em relação à uniformidade da produtividade na área, onde os sistemas que apresentaram menor uniformidade de distribuição de água resultaram em maior desuniformidade na PCI. O sistema por gotejamento subsuperficial proporcionou o aumento de 28,3% em produtividade, quando comparado com o sistema por aspersão convencional, que obteve a menor produtividade ($9,6 \pm 0,80$ t ha⁻¹).

TABELA 2. Média±desvio-padrão do diâmetro de inflorescência (DI), média±desvio-padrão da produtividade comercial de inflorescência (PCI) e média±desvio-padrão da produtividade da água (PA). **Inflorescence diameter (DI), inflorescence marketable yield (PCI) and water yield (PA) averages ± standard deviations.**

Tratamentos	DI (cm)	PCI (t ha ⁻¹)	PA (kg m ⁻³)
Gotejamento subsuperficial	19,5±0,42a	12,3±0,56a	5,2±0,20a
Gotejamento superficial	17,8±0,58ab	10,4±0,64ab	4,4±0,21b
Microaspersão	18,7±1,66ab	11,2±0,74ab	4,5±0,31b
Santeno [®]	18,6±0,66ab	11,3±1,96ab	3,8±0,78c
Aspersão convencional	16,9±0,82b	9,6±0,80b	3,4±0,34c

*Valores seguidos pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Com relação à produtividade obtida por diferentes sistemas de irrigação, vários estudos indicam maiores produtividades em culturas irrigadas por sistemas localizados, quando comparados aos métodos de aspersão. Em relação ao brócolis-de-cabeça, comparando-se diferentes sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão e por superfície), foram obtidas maiores produtividades quando se utilizou o método localizado de irrigação, com produtividades médias de 21,65; 21,12 e 16,99 t ha⁻¹, respectivamente (KUMAR & SENSEBA, 2008). Avaliando a produtividade de algodão utilizando irrigação localizada, irrigação por aspersão e irrigação por sulcos, foi observado que a irrigação localizada proporcionou o aumento de 30% em produtividade, em relação ao método por aspersão (CETIN & BILGEL, 2002).

Esses resultados ocorrem devido ao melhor aproveitamento da água quando se utiliza o método localizado de irrigação, pois em geral esse método apresenta melhor uniformidade de aplicação de água, mantendo a umidade adequada no solo na maior parte da área de cultivo, o que proporciona melhores condições de desenvolvimento para plantas (BENÍCIO et al., 2009; CETIN & BILGEL, 2002; SOUZA et al., 2006; PAULINHO et al., 2009; DOUH et al., 2013).

A maior produtividade da água (PA) foi obtida utilizando o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial ($5,2 \pm 0,20$ kg m⁻³). Os sistemas de gotejamento superficial e microaspersão foram estatisticamente iguais, com médias variando entre $4,4 \pm 0,21$ e $4,5 \pm 0,31$ kg m⁻³, respectivamente. A menor PA foi observada no sistema Santeno[®] ($3,8 \pm 0,78$ kg m⁻³) e aspersão convencional ($3,4 \pm 0,34$ kg m⁻³) (Tabela 2). Maiores produtividades da água, comparando o método localizado de irrigação com o método por aspersão convencional, também foram observadas no cultivo de algodão (CETIN & BILGEL, 2002).

A mesma tendência foi observada neste trabalho, em que os sistemas que apresentaram maiores desempenhos operacionais resultaram maiores produtividades da água. Comparando o sistema de gotejamento superficial, microaspersão e por superfície, no cultivo de brócolis-de-cabeça, foram obtidas PA de 10,94; 10,58 e 8,63 kg m⁻³, respectivamente (KUMAR & SENSEBA,

2008). Estes autores obtiveram elevada PA devido à alta produtividade comercial encontrada, que possivelmente está relacionada com variedades mais adequadas para as condições locais de cultivo (LALLA et al., 2010).

Durante todo o período de cultivo, a evapotranspiração acumulada da cultura foi de 162,9 mm. A irrigação total necessária, para o sistema de gotejamento subsuperficial, gotejamento superficial, microaspersão, Santeno® e aspersão convencional, foi de 236,8; 236,9; 299,3; 250,0 e 280,8 mm, respectivamente. Os sistemas de irrigação que apresentaram melhores performances dos parâmetros CUC e CUD (gotejamento subsuperficial, gotejamento superficial, microaspersão) corresponderam aos sistemas que aplicaram menos água e resultaram maiores diâmetro de inflorescência, produtividade comercial de inflorescência e produtividade da água.

O sistema de gotejamento subsuperficial alcançou a maior produtividade comercial de inflorescência dentre os tratamentos avaliados ($12,3 \pm 0,56 \text{ t ha}^{-1}$), com a menor lâmina aplicada durante o período de cultivo (236,8 mm), o que resultou maior produtividade da água ($5,2 \pm 0,20 \text{ kg m}^{-3}$). A menor produtividade comercial foi obtida no tratamento irrigado por aspersão convencional ($9,6 \text{ t ha}^{-1}$) em que foi aplicada a maior lâmina durante o período de cultivo (280,8 mm) e resultou menor produtividade da água ($3,43 \text{ kg m}^{-3}$). Isso evidencia a importância de se escolher o sistema de irrigação mais adequado para o cultivo de brócolis-de-cabeça, de modo a produzir mais produto comercial, utilizando menos água.

Para a produção de 1 kg de brócolis no sistema de gotejamento subsuperficial, foram necessários 200 L de água; entretanto, no sistema por aspersão convencional, foram necessários 300 L. Isso representa uma redução de 33,3% na utilização de água para produzir a mesma quantidade do produto. Ressalta-se que, para esta análise, foi considerada apenas a água proveniente da irrigação, pois a PA foi estimada visando a entender melhor como os diferentes sistemas ou métodos de irrigação podem influenciar na relação entre a produção agrícola e o consumo de água (PERRY et al., 2009; LIMA et al., 2012).

CONCLUSÕES

O tratamento irrigado pelo sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial apresentou maior produtividade em relação aos demais sistemas avaliados no cultivo de brócolis-de-cabeça para a região de Dourados-MS. O maior valor de diâmetro de inflorescência, produtividade comercial de inflorescência e produtividade da água foi de 19,5 cm, $12,3 \text{ t ha}^{-1}$ e $5,2 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, utilizando a menor lâmina de água aplicada durante o ciclo de cultivo (236,8 mm).

O desempenho dos sistemas de irrigação avaliados foi diretamente proporcional à melhoria nas variáveis produtivas da cultura; em que, quanto melhor o desempenho do sistema de irrigação, maiores foram o diâmetro de inflorescência, a produtividade comercial de inflorescência e a produtividade da água.

REFERÊNCIAS

- BENÍCIO, F.R.; CARVALHO, C.M.; ELOI, W.M.; GONÇALVES, F.M.; BORGES, F.R.M. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura da goiaba em Barbalha-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.2, p.55-61, 2009.
- BRALTS, V.F. Operational principles: field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BULKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation, and management**. Amsterdam: Elsevier, 1986. cap.3, p. 216-240.
- CECÍLIO FILHO, A.B.; SCHIAVON JÚNIOR, A.A.; CORTEZ, J.W.M. Produtividade e classificação de brócolis para indústria em função da adubação nitrogenada e potássica e dos espaçamentos entre plantas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n.1, p.12-17, 2012.
- CETIN, O.; BILGEL, L. Effect of different irrigation methods on shedding and yield of cotton. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 54, n.1, p.1-15, 2002.

- CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, Experiment Station, 1942. 124p. (Bulletin, 670).
- DOUH, B.; BOUJELBEN, A.; KHILA, S.; BEL HAJ MGUIDICHE, A. Effect of subsurface drip irrigation system depth on soil water content distribution at different depths and different times after irrigation. **Larhyss Journal**, Biskra, n. 13, p.7-16, 2013.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; LOPES, P.P. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.191-192, 2000.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009a. 628 p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009b. 412 p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- FIETZ, C.; FISCH, G.F. **O clima da região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008.
- FONTES, P.C.R. Sugestão de adubação de hortaliças. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARAZ, V.H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo, 1999. p.171-174.
- FREDERIKSEN, H.D.; ALLEN, R.G. A common basis for analysis, evaluation and comparison of offstream water uses. **Water International**, Montpellier, v. 35, n. 3, p.266-282, 2011.
- GLEICK, P.H.; CHRISTIAN-SMITH, J.; COOLEY, H. Water-use efficiency and productivity: rethinking the basin approach. **Water International**, Montpellier, v. 36, n. 7, p.784-798, 2011.
- KUMAR, J.L.G.; SENSEBA, T. Yield, irrigation production efficiency and economic return of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) under different irrigation, methods and schedules. **Journal of Environmental Research and Development**, Bhopal, v.2, n. 4, p.513-522, 2008.
- LALLA, J.G.; LAURA, V.A.; RODRIGUES, A.P.D.C.; SEABRA JÚNIOR, S.; SILVEIRA, D.S.; ZAGO, V.H.; DORNAS, M.F. Competição de cultivares de brócolos topo cabeça única em Campo Grande. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.28, n.3, p.260-363, 2010.
- LIMA, S.C.R.V.; FRIZZONE, J.A.; MATEOS, L.; FERNANDEZ, M.S. Estimativa da produtividade de água em uma área irrigada no sul da Espanha. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.6, n.1, p.51-60, 2012.
- MERRIAM, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.
- PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEN, R.G.; BURT, C.M. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 11, p. 1517-1524, 2009.
- PAULINHO, M.A.O.; FIGUEIREDO, F.P.; FERNANDES, R.C.; MAIA, J.T.L.S.; GUILHERME, D.O.; BARBOSA, F.S. Avaliação da uniformidade e eficiência de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.2, p.48-54, 2009.
- SOUZA, L.O.C.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; FREITAS, P.S.L. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.3, p.541-548, 2006.
- SOUZA, V.F.; MAROUELLI, W.A.; COELHO, J.M.P.; FILHO, M.A.C. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, 2011. 711 p.

TREVISAN, J.N.; MARTINS, G.A.K.; LÚCIO DAL'COL, A.; CASTAMAN, C.; MARION, R.R.; TREVISAN, B.G. Rendimento de cultivares de brócolis semeadas em outubro na região centro do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.233-239, 2003.

van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

ZOCOLER J, L.; CESAR, L.E. V.; VANZELA, L.S.E. Efeito da linha lateral de um equipamento de irrigação do tipo pivô central na uniformidade de distribuição de água e eficiência da irrigação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 4, p.290-297, 2004.