

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**PRODUTIVIDADE DA ÁGUA NO CULTIVO DE BRÓCOLIS DE CABEÇA SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

FABRÍCIO CORREIA DE OLIVEIRA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL – BRASIL
2014**

**PRODUTIVIDADE DA ÁGUA NO CULTIVO DE BRÓCOLIS DE CABEÇA SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

FABRÍCIO CORREIA DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: PROF. DR. LUCIANO OLIVEIRA GEISENHOF

Dissertação apresentada à
Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL - BRASIL

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da UFGD, Dourados, MS, Brasil

O482p Oliveira, Fabricio Correia.
Produtividade da água no cultivo de brócolis de
cabeça sob diferentes sistemas de irrigação / Fabricio
Correia de Oliveira – Dourados-MS : UFGD, 2014.
59 f.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Oliveira Geisenhoff.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)
Universidade Federal da Grande Dourados.

1. Brócolis de cabeça. 2. Hortaliças. I. Geisenhoff,
Luciano Oliveira. II. Título.

CDD: 635

**PRODUTIVIDADE DA ÁGUA NO CULTIVO DE BRÓCOLIS DE CABEÇA SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

FABRÍCIO CORREIA DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovado em 16 de janeiro de 2014

Prof. Dr. Alexsandro Claudio dos Santos Almeida
Membro da Banca – FCA/UFGD

Prof. Dr. Eder Pereira Gomes
Membro da Banca – FCA/UFGD

Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro
Membro da Banca – FCA/UFGD

Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho
Membro da Banca – UEMS

Prof. Dr. Luciano Oliveira Geisenhoff
Orientador – FCA/UFGD

A Deus,
Pela vida, pela força e presença sempre constante.

OFEREÇO

Aos meus pais Hugo João Borges de Oliveira e Maria Betânia Araujo Correia de Oliveira, pelo apoio incondicional na minha formação pessoal e profissional.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida;

Aos meus pais que sempre fiseram de tudo para que os meus objetivos sejam alcançados;

A minha namorada Mary Evelyn Santos Alencastro, pelo grande amor, dedicação, admiração, confiança, respeito, apoio, incentivo, entusiasmo, ne porã katu.... etc, são tantas palavras que não caberia em um único agradecimento. Saiba que tudo que você representa para mim é o que sempre me deu força para continuar, Rohoyhu!

A meu orientador Prof. Dr Luciano Oliveira Geisenhoff, pela dedicação, apoio, companheirismo e amizade, e pelos ensinamentos oferecidos de caráter pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr Guilherme Biscaro e Prof. Dr Eder Pereira Gomes pelas disciplinas cursadas e atenção oferecida ao longo do curso;

Ao Prof. Dr. Alessandro Santos Almeida, pela contribuição científica e pessoal oferecida na condução desta pesquisa. Ao Alex pela amizade, companheirismo, esclarecimento e incentivo na continuidade da minha carreira profissional;

Ao Prof Dr. Laércio Alves de Carvalho, pela participação na banca de defesa da dissertação;

A todos aqueles que me ajudaram em atividades de campo: Maira Pusch, Helen Lanza, Camila Missio, Maria Augusta da Silva, Stephane Lillian, Victor Hugo Cavassini, Paulo Sérgio, Murilo Santana, Fabricio Dantas, Daiane Miranda e principalmente a Jessica Bonifácio e o Fabricio Lima pelo comprometimento e companherismo;

A Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), pela oportunidade de realiar este curso e desenvolver o trabalho;

A CAPES – coordenação de aperfeiçoamento pessoal de nível superior, pelo apoio financeiro e concessão de bolsa para os meus estudos;

A todo corpo docente do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (UFGD/FCA);

A todos que direta ou indiretaente contribuíram para a realiação desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DE BRÓCOLIS	3
2.1.1. ORIGEM E BOTÂNICA	3
2.1.2. TIPOS DE BRÓCOLIS	3
2.1.3. EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS DA PLANTA	4
2.2. IRRIGAÇÃO NA CULTURA DE BRÓCOLIS	5
2.2.1. EXIGÊNCIAS HÍDRICAS DA PLANTA.....	5
2.2.2. MÉTODOS E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	6
2.3. INDICADORES DE DESEMPENHO	8
2.3.1. UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA	8
2.3.2. PRODUTIVIDADE DA ÁGUA	10
2.4. MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	12
2.4.1. BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. LOCALIZAÇÃO E ÉPOCA DO EXPERIMENTO.....	15
3.2. CLIMA.....	15
3.3. SOLO.....	15
3.3.1. ANÁLISES FÍSICAS	16
3.3.2. ANÁLISES QUÍMICAS	19
3.4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E CULTIVAR UTILIZADA	19
3.5. SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	20
3.5.1. GOTEJAMENTO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL	20
3.5.2. MICROASPERSÃO	21
3.5.3. SANTENO®	21
3.5.4. ASPERSÃO CONVENCIONAL	22
3.5. UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS	23
3.6. MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	26
3.7. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	29
3.8. PRÁTICAS CULTURAIS	29

3.8.1. ADUBAÇÃO	30
3.8.2. CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E AMONTOA	30
3.8.3. CONTROLE FITOSANITÁRIO	30
3.9. CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	31
3.9.1. MASSA FRESCA COMERCIAL DE INFLORESCÊNCIA	31
3.9.2. MASSA FRESCA COMERCIAL DE FLORETE.....	31
3.9.3. DIÂMETRO DA INFLORESCÊNCIA	31
3.9.4. PRODUTIVIDADE COMERCIAL DE INFLORESCÊNCIA	32
3.9.5. PRODUTIVIDADE COMERCIAL DE FLORETE.....	32
3.9.6. PRODUTIVIDADE DA ÁGUA	33
3.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA	33
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E LÂMINAS APLICADAS	34
4.2. AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	36
4.3. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO.....	37
4.3.1.MASSA FRESCA COMERCIAL DE INFLORESCÊNCIA	37
4.3.2.MASSA FRESCA COMERCIAL DE FLORETE.....	39
4.3.3.DIÂMETRO DA INFLORESCÊNCIA	40
4.3.4.PRODUTIVIDADE COMERCIAL DE FLORETE	42
4.3.5.PRODUTIVIDADE COMERCIAL DE INFLORESÊNCIA	43
4.3.6.PRODUTIVIDADE DA ÁGUA	45
5.CONCLUSÕES	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Curva de retenção de água no solo gerada utilizando o modelo de van Genuchten (1980).....17
- Figura 2. Esquema de uma parcela com destaque para as unidades experimentais.....20
- Figura 3. Temperatura diária máxima (*Temp. Máxima*), média (*Temp. Média*) e mínima (*Temp. Mínima*) do ar ocorridas no período do experimento.....34
- Figura 4. Umidades relativas diárias máxima (*UR. Máxima*) média (*UR. Média*) e mínima (*UR. Mínima*) do ar ocorridas no período do experimento.....35
- Figura 5. Frequência de distribuição das classes de vento no período de condução do experimento.....37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Resultado da análise química do solo utilizada no experimento.....	19
Tabela 2.	Critérios para classificação da uniformidade de distribuição.....	25
Tabela 3.	Lâminas diárias em cada sistema de irrigação nos primeiros sete dias após o transplante.....	29
Tabela 4.	Irrigação total necessária (<i>ITN</i>), eficiência de aplicação (<i>Ea</i>) e número de irrigações (<i>NI</i>).....	35
Tabela 5.	Coefficiente de uniformidade de Christiansen (<i>CUC</i>), coeficiente de uniformidade de distribuição (<i>CUD</i>) e desempenho de cada sistema.....	36
Tabela 6.	Análise de variância para a variável massa fresca comercial de inflorescência (gramas por inflorescência), em função dos sistemas de irrigação avaliados.....	37
Tabela 7.	Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável massa fresca comercial de inflorescência (<i>MFCI</i>) em (g).....	38
Tabela 8.	Análise de variância para a variável massa fresca comercial de florete (gramas por florete), em função dos sistemas de irrigação avaliados.....	39
Tabela 9.	Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável massa fresca comercial de florete (<i>MFCF</i>) em (g).....	40

Tabela 10.	Análise de variância para a variável diâmetro da inflorescência (centímetros), em função dos sistemas de irrigação avaliados.....	41
Tabela 11.	Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável diâmetro da inflorescência (<i>DI</i>) em (cm).....	41
Tabela 12.	Análise de variância para a variável produtividade comercial de florete (toneladas por hectare), em função dos sistemas de irrigação avaliados.....	42
Tabela 13.	Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável produtividade comercial de inflorescência (<i>PCF</i>) em ($t\ ha^{-1}$).....	43
Tabela 14.	Análise de variância para a variável produtividade comercial de inflorescência (toneladas por hectare), em função dos sistemas de irrigação avaliados.....	44
Tabela 15.	Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável produtividade comercial de inflorescência (<i>PCI</i>) em ($t\ ha^{-1}$).....	45
Tabela 16.	Análise de variância para a variável produtividade de água (quilogramas por metro cúbico de água), em função dos sistemas de irrigação avaliados.....	46
Tabela 17.	Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável produtividade de água (<i>PA</i>) em ($kg\ m^{-3}$).....	47

PRODUTIVIDADE DA ÁGUA NO CULTIVO DE BRÓCOLIS DE CABEÇA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Fabício Correia de Oliveira¹; Luciano Oliveira Geisenhoff²

¹Mestrando em Engenharia Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD.

²Orientador, Prof. Adjunto da Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD.

RESUMO

A produtividade da água (*PA*) expressa o benefício derivado do consumo de água pelas culturas, relaciona o produto econômico da cultura com o volume de água aplicado via irrigação. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a produtividade da água no cultivo do brócolis de cabeça irrigado por diferentes sistemas de irrigação. O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Os sistemas avaliados foram: gotejamento superficial (T1), gotejamento subsuperficial (T2), microaspersão (T3), Santeno[®] (T4) e aspersão convencional (T5). O manejo da irrigação foi realizado com base no balanço de água no solo, sendo considerado como fluxos de entrada, a precipitação e irrigação e como fluxo de saída a evapotranspiração da cultura. O desempenho dos sistemas foi determinado por meio do uso dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (*CUC*) e de uniformidade de distribuição de água (*CUD*) dos dados de distribuição de lâmina de água obtidos de teste realizado em campo. A cultivar utilizada foi brócolis de cabeça (*Brassica oleracea* var. *italica*, híbrido Lord Summer). Os sistemas que compreendem o método localizado (T1, T2, T3 e T4) apresentaram melhores características produtivas, o T1 obteve produtividade comercial de inflorescência de 12,26 t ha⁻¹, correspondente a um incremento de 78,47 % em produtividade, quando comparado com a aspersão convencional (T5). A produtividade da água para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foram; 4,41; 5,17; 4,48; 3,76 e 3,43 kg m⁻³, respectivamente. Para a produção de 1 kg de brócolis foram utilizados 200 L de água no T2, enquanto no T5, 300 L de água. Os tratamentos T1, T2 e T3 utilizaram menos água durante o período de cultivo e obtiveram maiores produtividades comerciais, conseqüentemente, apresentaram maiores produtividades da água. As maiores produtividades de água foram obtidas nos tratamentos irrigados com sistemas de irrigação classificados como excelente desempenho, sendo então os sistemas mais adequados para o cultivo de brócolis de cabeça na região de Dourados.

Palavras-chave: *Brassica oleracea*, uniformidade de distribuição e irrigação localizada.

WATER PRODUCTIVITY ON BROCCOLI HEAD GROWTH IRRIGATED BY DIFFERENT IRRIGATION SYSTEMS

ABSTRACT

Water productivity (PA) expresses the benefit derived from the consumption of water by crops, relates the economic crop yield with the volume of water applied by irrigation. The experiment was conducted in the experimental area at Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). The aim of this study was to evaluate the *WP* in broccoli head cropping irrigated by different irrigation systems. The irrigation systems used were: surface drip irrigation (T1), subsurface drip irrigation (T2), micro sprinkler (T3), polyethylene tape micro perforated laser (T4) and sprinkler irrigation (T5). Irrigation management was based on water balance of soil water, where was considered as inflows: rainfall and irrigation, and as outflow: crop evapotranspiration. The performace irrigation was determined through the use of Christiansen uniformity coefficient (*CUC*) and uniformity of water distribution (*CUD*) from dataof water distribution obtained from field testing. The cultivar of broccoli head was (*Brassica oleracea* var. *italica*, hybrid Lord Summer). The systems which comprise the method localized (T1, T2, T3 and T4) showed better yield characteristics, T1 obtained yield commercial inflorescence 12.26 t ha⁻¹, corresponding to yield increase of 78.47% when compared to sprinkler irrigation (T5).The *WP* for T1, T2, T3, T4 and T5 were: 4.41; 5.17, 4.48, 3.76 and 3.43 kg m⁻³, respectively. The T1, T2 and T3 used less water during the growing period and had greater commercial yields, as a result, achieved the higher *WP*. In T2 to produce 1 kg of broccoli it was took 200 L of water at T2, while the T5, it took 300 L of water. The highest water productivity was obtained in treatments irrigated with irrigation systems which showed higher performace irrigation, than they are the most recommended to broccoli head cultivation in Dourados area.

Keywords: *Brassica oleracea*, distribution uniformity and drip irrigation

1. INTRODUÇÃO

As hortaliças em geral são culturas que apresentam alta sensibilidade à deficiência hídrica e ao excesso de água. Para a obtenção de altas produtividades nessas culturas é necessário utilizar um sistema de irrigação eficiente e realizar um adequado manejo hídrico durante o período de cultivo. Um sistema de irrigação que apresente um desempenho satisfatório deve proporcionar uma boa eficiência de aplicação de água, com elevados níveis de uniformidade de distribuição e armazenamento de água no solo.

A irrigação apresenta um papel importante no aumento da produtividade das culturas e a uniformidade de distribuição tem sido um fator limitante para se alcançar um manejo eficiente do uso da água aplicada. Uma vez que, a uniformidade de distribuição indica como a água esta sendo distribuida na área e se as plantas estão recebendo as mesmas quantidades equivalentes de água. Então, tornan-se fundamentais estudos objetivando o aumento da eficiência do uso da água nesta atividade agrícola.

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 de matéria seca de determinada cultura e a taxa de transpiração da mesma. 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 do consumo de água pelas culturas, relaciona o produto econômico da cultura com o volume de água aplicado via irrigação.

A *PA* vem sendo utilizada como um parâmetro para se entender melhor a relação dos diferentes sistemas e manejos de irrigação sobre as diferentes culturas. Por meio da *PA* pode-se inferir como e quando a água poderia ser economizada. Informações quantitativas sobre a *PA* são necessárias para tomar decisões sobre quais

estratégias de cultivo possibilitarão alcançar maior produção por unidade de volume de água.

O estado do Mato Grosso do Sul tem na agricultura seu principal setor econômico. Entre as culturas com potencial para a região, o brócolis encontra condições edafoclimáticas ideais, principalmente nos meses de maio a agosto. As poucas áreas onde se cultiva brócolis na região utilizam o método de irrigação por aspersão. Este método geralmente apresenta menor uniformidade de distribuição de água, eficiência de aplicação e produtividade da água, quando comparado com o método de irrigação localizada.

O brócolis é uma hortaliça altamente exigente em água. Partindo do princípio que as reservas de água destinada à irrigação estão se tornando cada vez mais escassas, torna-se indispensável à criação de melhorias nas práticas de irrigação desta cultura. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a produtividade da água (*PA*) no cultivo do brócolis de cabeça irrigado por diferentes sistemas de irrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da cultura de brócolis

2.1.1. Origem e botânica

A espécie *Brassica oleracea* L. pertencente à família das Brássicas, apresentam diversas variedades botânicas de importância econômica. No Brasil, dentre as mais cultivadas, destacam-se o repolho (*Brassica oleracea* var. capitata L.), a couve-flor (*Brassica oleracea* var. botrytis L.), a couve comum (*Brassica oleracea* var. acephala DC.) e o brócolis (*Brassica oleracea* var. italica Plenck) (SOUZA, 1983). O cultivo dessas espécies é realizado desde 2500 a.C. por gregos e romanos (GIORDANO, 1983; SOUZA, 1983).

A origem do brócolis ocorreu por meio da seleção e acúmulo de mutações ocorridas durante o processo de domesticação da *Brassica sylvestris*, encontrada na região do Mediterrâneo (OPEÑA, KUO e YOON, 1988). Embora suas folhas sejam comercializadas, as partes popularmente comestíveis são, os pedúnculos e botões florais. É uma planta anual, herbácea, com folhas grandes, simples e alterna espiraladas (FILGUEIRA, 1972).

2.1.2. Tipos de brócolis

Dois grupos de variedades são cultivados, um é conhecido como “Ramoso”, que produz uma inflorescência de tamanho pequeno, com granulação grossa, grande número de brotações laterais, com colheitas múltiplas e comercializadas com os talos em maços. O outro grupo apresenta “Inflorescência Única”, também conhecida como tipo “Calabrês”, “Americano”, “Japonês” ou “Ninja” (LALLA et al., 2010; CECÍLIO FILHO et al., 2012). Este apresenta inflorescência central de tamanho grande. Sua inflorescência é mais compacta com botões menores que a do “Ramoso”. Ambos são formados por pequenos botões florais ainda fechados, de coloração verde escura e pedúnculos tenros. No grupo “Ramoso” as colheitas se iniciam cerca de 90 dias após a semeadura, produzindo colheitas sucessivas, durante três a quatro meses, com intervalos de sete a dez dias.

Para o tipo “Inflorescência Única” o ciclo de produção pode variar entre 90 a 130 dias, colhe-se a inflorescência principal (MELO, MADEIRA e PEIXOTO, 2010). A homogeneidade das colheitas é influenciada principalmente pelo material cultivado (LALLA et al., 2010).

O ponto de colheita ocorre quando a cabeça central ou ramificações laterais apresentam-se com botões florais bem desenvolvidos, com coloração verde escura, porém antes da abertura das flores (TREVISAN et al., 2003).

2.1.3. Exigências climáticas da planta

O brócolis apresenta bom desenvolvimento em diferentes partes do mundo, no entanto, temperaturas acima de 30 °C podem provocar a deformação da inflorescência, principalmente em cultivares sensíveis a altas temperaturas, tornando-se um cultivo de risco para estas condições (BJÖRKMAN e PERSON, 1998). De acordo com Strange et al. (2010) as exigências climáticas das Brássicas são muito semelhantes, porém Filgueira (1982) salienta que o brócolis é menos sensível a temperaturas elevadas.

A temperatura ideal para germinação e desenvolvimento do brócolis esta na faixa de 4 a 35 °C, mas o ótimo desenvolvimento é obtido com médias de temperatura variando entre 16 a 18 °C (STRANGE et al., 2010) e máximas de 24 °C (TREVISAN et al., 2003). Períodos prolongados de temperatura acima de 25 °C podem retardar a formação da cabeça em plantas que se encontram em fase de crescimento vegetativo, enquanto que plantas com cabeça em formação podem reverter para crescimento vegetativo, causando a redução do tamanho da cabeça e reduzindo o desenvolvimento de folhas ou brácteas nos pedúnculos florais (BJÖRKMAN e PERSON 1998). Para indução do florescimento, o principal fator é a ocorrência de temperaturas baixas após a fase vegetativa denominada período juvenil (KALUŻEWICZ et al., 2012), sendo que esta reação varia de acordo com a cultivar (LALLA et al., 2010).

Por outro lado, elevações abruptas de temperaturas podem provocar crescimento excessivamente rápido da inflorescência e alongamento do pedúnculo em determinadas cultivares. Durante o período da colheita, temperaturas altas aceleram o desenvolvimento das inflorescências, dificultando sua colheita no estágio ideal para comercialização (TREVISAN et al., 2003).

Na região de Dourados, o período climático mais adequado para o cultivo de brócolis, para grande maioria das cultivares, compreende os meses de maio, junho, julho e agosto. Pois estes meses não apresentam períodos prolongados com altas temperaturas e a temperatura média permanece abaixo dos 20 °C (FIETZ e FISCH, 2008).

2.2. Irrigação na cultura de brócolis

2.2.1. Exigências hídricas da planta

A cultura de brócolis requer umidade de solo adequada para a maximização do rendimento e da qualidade, principalmente durante a formação da inflorescência. A umidade excessiva do solo pode causar a queda da inflorescência, formação de talo oco e ocorrências de doenças de solo. Alguns produtores cultivam brócolis usando a irrigação por sulco ou por aspersão até a fase de emergência da semente ou até o transplante e posteriormente utilizam a irrigação por gotejamento (STRANGE et al., 2010).

Segundo Villalobos-Reyes et al. (2005), o consumo de água pelo brócolis é relativamente baixo no início do ciclo, aumentando progressivamente após o aparecimento dos floretes, estes mesmos autores ainda ressaltam que as necessidades hídricas da planta não reduzem no período de colheita, por isso é conveniente não reduzir ou cessar a irrigação neste período de desenvolvimento. Segundo Kumar e Senseba (2008) há um aumento da produtividade de brócolis de cabeça única à medida que ocorre o aumento do fornecimento de água até 310 mm, sendo este comportamento descrito por uma equação quadrática.

Ayas, Orta e Yazgan (2011) avaliando o efeito da irrigação com déficit sobre a produtividade do brócolis de cabeça em casa de vegetação, aplicaram 522 a 70 mm de água nos tratamentos com 100 e 0,00 % da evaporação do Tanque Classe A. As maiores produtividades apresentadas foram encontradas no tratamento com 100 % de reposição da evaporação do tanque classe A.

Erdem et al. (2010) cultivando brócolis em duas estações do ano, aplicaram 164,3 a 68,8 mm na primavera e 132,6 a 67,0 mm no outono, em diferentes regimes de irrigação. A maior produtividade observada foi de 11,02 t ha⁻¹ obtida na primavera, onde foi aplicado 164,3 mm.

2.2.2. Métodos e sistemas de irrigação

O brócolis é uma cultura relativamente nova no Brasil (CECÍLHO FILHO et al., 2012), sendo necessário pesquisas desde o melhoramento genético, nutrição, fitossanidade, manejo da irrigação e do solo, até a comercialização dos produtos (BRANCO et al., 2010).

A irrigação tem por objetivo distribuir água sobre a superfície do solo, de modo a permitir a sua infiltração sem escoamento superficial; além disso, a água deve ser distribuída de maneira mais uniforme possível, de forma a se obter uma adequada uniformidade de aplicação em condições de campo (AZEVEDO et al., 2000).

Há uma grande necessidade de se melhorar a eficiência do uso da água de irrigação, diminuindo assim as perdas por percolação, evaporação, escoamento superficial e contribuindo para a redução do impacto da salinidade em campos de cultivo irrigado (GLEICK, CHRISTIAN-SMITH e COOLEY, 2011).

É comum referir-se a irrigação de uma determinada área utilizando dois termos, método de irrigação e sistema de irrigação, às vezes como sinônimos. Por isso, segue uma distinção mais criteriosa dos termos: se entende por método de irrigação, a forma pela qual a água pode ser aplicada às culturas. Enquanto que, sistema de irrigação, compreende o conjunto de equipamentos e técnicas que proporcionam a aplicação de água (PEREIRA et al., 2010). Dentro dos sistemas de irrigação avaliados neste trabalho, podem-se notar dois métodos de irrigação. O método localizado, compreendendo o gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial, microaspersão e Santeno[®] e o método por aspersão, que corresponde à aspersão convencional.

Entre as tecnologias de produção, o método de irrigação localizado tem ganhado destaque devido sua característica de possibilitar o uso mais consciente da água, além de proporcionar a utilização de técnicas de fertilização das plantas, por meio do sistema de irrigação, denominado fertirrigação. Porém, o cultivo de brócolis pode ser irrigado por diferentes métodos de irrigação: irrigação por superfície, aspersão e localizada (STRANGE et al., 2010; ERDEM et al., 2010).

Branco et al. (2010) utilizando gotejamento superficial e a aspersão convencional no cultivo de brócolis, com as variedades Legacy e Marathon, não obtiveram diferença significativa para as características produtivas, entre os dois

tratamentos avaliados. Porém em um sistema de produção deve ser considerada a sustentabilidade da produção, ou seja, a obtenção de altas produtividades da cultura com satisfatório retorno econômico e mínima exploração dos recursos naturais.

Um sistema de produção deve proporcionar também, a redução do consumo de água, conseqüentemente a redução dos custos de produção, além da contribuição ambiental que deve ocorrer pela redução das perdas de água (SEZEN et al., 2011).

Entre as características operacionais do método localizado, destaca-se: fornecimento de água para as culturas em baixo volume e alta frequência, reduzindo as perdas hídricas no sistema de cultivo, consumo reduzido de água devido a menor taxa evaporativa, pois parte do solo é mantida relativamente seca, aumento do rendimento da cultura, redução das perdas por evaporação, maior uniformidade de aplicação e aumento da produtividade de água (DOUH et al., 2013).

No método localizado, o gotejamento subsuperficial, apresenta algumas características particulares em relação aos demais, como: segurança do sistema, com relação à redução de danos mecânicos causados pela realização dos tratos culturais (YAO et al., 2010) e não necessidade de remover o sistema de irrigação na operação de colheita (KUMAR e SENSEBA, 2008; YAO et al., 2010; SOUZA et al., 2012).

No método por aspersão, a água é aspergida sobre a superfície do solo, ocorre o fracionamento do jato de água, assemelhando-se ao efeito da chuva (BERNARDO, SOARES e MANTOVANI, 2008). Este método adapta-se a quase todos os tipos de cultura, embora em determinadas regiões para culturas específicas podem causar aumento da incidência de doenças e redução da uniformidade de aplicação (PAULINHO et al., 2009).

A inadequada uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação proporciona excesso da mesma em parte da área de cultivo e falta em outra, diminuindo a disponibilidade de água à cultura e aumentando o custo de produção (PAULINHO et al., 2009).

Ao contrário da irrigação localizada, na aspersão, muitos fatores podem interferir no nível de uniformidade de distribuição da água, como espaçamento entre aspersores, velocidade e direção do vento, pressão de operação dos aspersores, velocidade e uniformidade de rotação dos aspersores, entre outros (CHRISTIANSEN, 1941; AZEVEDO et al., 2000).

Como ocorre o contato direto da água com as folhas da cultura, quando associado a altas temperaturas, pode proporcionar o aumento da incidência de doenças foliares ao longo do cultivo (MAROUELLI, LOPES e SILVA, 2005).

Estudos realizados na Califórnia demonstraram que o sistema de gotejamento subsuperficial proporciona uma redução de 19 % de água, quando comparado com o sistema por aspersão (SEZEN et al., 2011).

A escolha do sistema de irrigação mais adequado deve ter por objetivo o equilíbrio entre o funcionamento técnico dos sistemas de irrigação e os resultados econômicos que estes produzem (PEREIRA et al., 2010).

Para o brócolis de cabeça, Strange et al. (2010) recomendam a utilização do sistema de gotejamento após o pegamento das plantas, por questões fitossanitárias, devido ao aumento crescente a área foliar, que se associado a altas temperaturas, pode acarretar em maior incidência de doenças fúngicas.

O volume de água aplicado pelos diferentes métodos de irrigação pode variar de acordo com o sistema utilizado e com as condições edafoclimáticas locais de cultivo. HANSON et al. (1997) obtiveram máximas produtividade do brócolis (30,67; 39,16; 40,92 t ha⁻¹) utilizando sistema de gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e por superfície com aplicação de 203, 229 e 335 mm de água. Kumar e Senseba (2008) avaliando diferentes sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão e por superfície) no cultivo do brócolis de cabeça obtiveram suas máximas produtividades (21,65; 21,12; 16,99 t ha⁻¹) com aplicação de 310 mm de água ao longo do cultivo para todos os sistemas.

Com relação às produtividades obtidas utilizando diferentes sistemas de irrigação, pesquisas tem demonstrado que o método localizado resulta em maiores produtividades em relação ao método por aspersão. Lalla et al., (2010) avaliando a produtividade de diferentes cultivares de brócolis no Estado do Mato Grosso do Sul, utilizando sistema de irrigação por aspersão obtiveram máxima produtividade de 17,10 t ha⁻¹, resultados inferiores aos reportados por Kumar e Senseba (2008) e HANSON et al. (1997) citados anteriormente.

2.3. Indicadores de desempenho

2.3.1. Uniformidade de distribuição de água

De forma geral a uniformidade de distribuição ou aplicação de água, expressa o grau de uniformização das lâminas de irrigação, ou seja, indica como a

água está sendo distribuída na área, também indica se as plantas estão recebendo as mesmas quantidades equivalentes de água. Para gotejadores, quando se utiliza a fertirrigação, uma boa uniformidade de distribuição é fundamental, pois é a garantia de que todas as plantas receberão aproximadamente a mesma quantidade da solução aplicada.

Para representar numericamente a uniformidade de distribuição existem alguns coeficientes que são comumente citados na literatura específica (MERRIAN e KELLER, 1978; DENÍCULI et al., 1980; BERNARDO et al., 2006).

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (*CUC*), desenvolvido por Christiansen (1942), na Universidade da Califórnia, foi o primeiro índice proposto para avaliar a uniformidade de distribuição em sistemas por aspersão. Frizzone e Dourado Neto (2003) afirmam que o *CUC* pode ser utilizado para determinar a uniformidade de aplicação também em sistemas localizados.

Outro coeficiente muito utilizado é o coeficiente de uniformidade de distribuição (*CUD*), também chamado coeficiente de uniformidade de emissão (*CUE*), que leva em consideração os 25% do total das observações com menores lâminas em relação à lâmina média aplicada. Rodrigo López et al. (1992), afirmam que este método possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que receberam menos água.

O desempenho dos sistemas de irrigação pode ser classificado de acordo com os parâmetros *CUC* e *CUD*. Sendo classificados como: excelente, bom, regular e ruim desempenho (BRALTS, 1986; CHRISTIANSEN, 1942).

Tais indicadores caracterizam qualquer sistema de irrigação e intervêm em seu dimensionamento, tanto o agrônômico, pois afeta o cálculo das necessidades totais de água, como o hidráulico, pois em função deles são definidos os limites permitidos de variação de vazão e lâminas aplicadas dos emissores (PIZARRO CABELLO, 1990). Além disso, a uniformidade de distribuição na irrigação afeta a capacidade de economia de água dos sistemas e a produtividade das culturas (PEREIRA, OWEIS e ZAIRI, 2002).

Entre os fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água dos sistemas de irrigação localizada, Wu (1997) aponta como principais fatores, o projeto hidráulico, entupimento e fabricante do emissor, e o espaçamento entre emissores. Enquanto que no sistema por aspersão convencional, as principais causas de baixas uniformidades, apontadas por Azevedo et al. (2000), são, disposição dos aspersores,

pressão de serviço, direção e velocidade do vento. Além das perdas por evaporação (BESKOW et al., 2011).

A uniformidade de distribuição varia de acordo com os diferentes métodos e sistemas de irrigação, pesquisas têm demonstrado que o Santeno[®] e aspersão convencional apresentam menor uniformidade de distribuição quando comparado com o gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e microaspersão. Avaliações realizadas em campo encontraram *CUD* para o Santeno[®] de 77,37 % e para aspersão convencional variando entre 68,97 a 27,78 %, a baixa uniformidade pode ser atribuída à vazamentos nas tubulações, dimensionamento inadequado dos sistemas, pressão e vazão fora dos padrões aceitáveis (SILVA et al., 2012; PAULINHO et al., 2009).

Os sistemas por gotejamento e microaspersão geralmente apresentam maior controle da pressão dos emissores, resultando em maior regularidade da vazão, além disso, as perdas por arraste pelo vento e evaporação de água são menores. Testes realizados em campo encontraram *CUD* para a microaspersão de 85,60 % e para o gotejamento 90 a 96 % (BENÍCIO et al., 2009; SOUZA et al., 2006).

2.3.2. Produtividade da água

O incremento da área irrigada e a escassez de recursos hídricos em algumas regiões tem fomentado a utilização de sistemas e manejos de irrigação que aumentem a eficiência do uso da água (MARTIN et al., 2012). Eficiência do uso da água (*EUA*) pode ser definida como proporção de água utilizada (absorvida), que é consumida pela cultura (GLEICK, CHRISTIAN-SMITH e COOLEY, 2011).

Inicialmente Viets, (1962) definiu *EUA* por meio da relação entre a taxa de produção de matéria seca (fotossíntese) e a taxa de transpiração da planta. Posteriormente, *EUA* se tornou sinônimo de rendimento econômico, passando então a ser denominada de produtividade da água (*PA*). *PA* é a relação entre a massa da planta e o volume de água utilizado para formação desta massa. (FRIZZONE et al., 2012; LIMA et al., 2012).

Em escala de produção agrícola, a *PA* é utilizada para estabelecer a relação entre produtividade comercial das culturas e a quantidade de água utilizada para obter esta produtividade (AYAS, ORTA e YAZGAN, 2011; LIMA et al., 2012).

Quando se deseja entender melhor como as culturas, os ambientes agroclimáticos e as diferentes práticas de manejo em diferentes sistemas ou métodos

de irrigação podem influenciar na relação entre a produção agrícola e o consumo de água, pode-se definir *PA* como a razão entre o produto comercial (kg ha^{-1}) e o volume de água aplicado via irrigação ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) (PERRY et al., 2009; FRIZZONE et al., 2012; LIMA et al., 2012),

A produtividade da água esta sendo utilizada para estabelecer estratégias de consumo de água pelas culturas, busca-se reduzir a quantidade de água aplicada às culturas com o mínimo déficit na produtividade da mesma (HANSON et al., 1997; MARTIN et al., 2012).

O conhecimento da *PA* para diferentes sistemas de irrigação no cultivo do brócolis de cabeça, fornecerá informações sobre qual sistema apresenta maior rentabilidade para o cultivo com a maior economia de água (ERDEM et al., 2010; LOPES et al., 2011).

O aumento da *PA* esta relacionado com o aumento do desempenho dos sistemas de irrigação de irrigação, Kumar e Senseba (2008) avaliando a *PA* no cultivo de brócolis irrigado por gotejamento, microaspersão e por superfície encontraram *PA* de 10,94; 10,58 e 8,63 kg m^{-3} , a maior *PA* foi obtida quando foi aplicado 50 % da necessidade hídrica da cultura. Estes autores relatam que sistemas de irrigação que apresentam melhor eficiência contribuem para o aumento da *PA* e proporcionam maior produtividade comercial da cultura.

Pode-se obter o aumento da *PA* através da redução da lâmina aplicada ou por meio do aumento da produtividade comercial da cultura, trabalhos tem demonstrado que a redução da lâmina aplicada tem sido a melhor estratégia para alcançar o aumento da *PA*, Erdem et al. (2010) aplicando 50, 75, 100 e 125 % da necessidade hídrica durante o cultivo de brócolis, não obtiveram diferença significativa sobre a produtividade comercial da cultura, porém a *PA* apresentou um incremento de 56,5 % quando foi aplicado 50 % da necessidade hídrica em relação ao tratamento correspondente a 125 % da necessidade hídrica. Martin et al. (2012) avaliando a produtividade da água na produção de silagem de milho, obtiveram redução da produtividade da cultura com o aumento da *PA*, no entanto, não foi observado redução na qualidade da silagem, e o retorno econômico foi semelhante entre as diferentes produtividades da água obtidas.

Como os sistemas de irrigação apresentam diferentes desempenhos operacionais, a redução da lâmina aplicada via irrigação durante o período de cultivo pode ser obtida de acordo com o sistema de irrigação utilizado (KUMAR e

SENSEBA, 1998; HANSON et al., 1997). Sendo assim, tornan-se necessárias pesquisas relacionadas a escolha do sistema de irrigação que proporcione o aumento da produtividade comercial da cultura por unidade de água aplicada via irrigação, ou seja, sistemas de irrigação que favorecem a obtenção de maiores produtividades da água (ERDEM et al., 2010; MARTIN et al., 2012; LIMA et al., 2012).

2.4. Manejo da irrigação

Manejar a irrigação conciste em fazer a reposição de água no solo, proporcionando o fornecimento adequando de água para o desenvolvimento satisfatório das plantas. Para se estimar a quantidade de água necessária para a maximiação da produção agrícola, é necessário o entendimento das relações entre as condições climáticas e a evapotranspiração (MAEDA, WIBERG e PELLIKKA, 2011). A evapotranspiração (*ET*) é definida como a combinação de dois processos, no qual água é perdida da superfície do solo através da evaporação, e pelas plantas através da transpiração (ALLEN et al., 1998).

Estimativas confiáveis de *ET* são essenciais para identificar as variações temporais dos requerimentos da irrigação (ORTEGA-FARIAS, IRMAK, e CUENCA, 2009). Então, a quantificação da *ET* é um componente básico para operação e manejo dos sistemas de irrigação (MAEDA, WIBERG e PELLIKKA, 2011).

Entre as formas de expressar a evapotranspiração, pode-se citar a evapotranspiração de referência (*ET_o*) e a evapotranspiração da cultura (*ET_c*).

A evapotranspiração de referência (*ET_o*) pode ser obtida, por métodos diretos, como por exemplo através de lisímetros, que realiza o balanço de água no solo, ou por métodos indiretos, baseado nas condições metereológicas local (ALLEN et al., 1998).

Os métodos indiretos podem não fornecer exatamente a evapotranspiração que esta ocorrendo, porém pela relativa facilidade de aplicação quando comparado com os métodos diretos, vem se tornando os métodos mais aplicados (HENRIQUE e DANTAS, 2007). Dentre os métodos indiretos mais difundidos podemos citar o método de Penman-Monteith, que foi escolhido pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) em seu boletim número 56 como um modelo padrão para se determinar a evapotranspiração por métodos indiretos (ALLEN et al., 1998).

O manejo da irrigação de uma cultura baseado na evapotranspiração, consiste na reposição da lâmina que foi evapotranspirada em um período considerado, denominado então de evapotranspiração da cultura (ET_c). A ET_c é obtida multiplicando-se ET_o por um fator de correção denominado coeficiente de cultura (K_c) (ALLEN et al., 1998; BURMAN e POCHOP 1994; DOORENBOS e KASSAM, 1979; JESSEN et al., 1990). O K_c define a interferência do cultivo sobre a evapotranspiração do mesmo (VILLALOBOS-REYES et al., 2005).

Como há uma variação das características do cultivo durante o seu ciclo, ocorre uma relação inversa entre a evaporação do solo e a transpiração de cultura, de modo que, no início do cultivo ocorre maior predominância da evaporação do solo, pois as linhas da cultura ainda não estão completamente fechadas, então o solo apresenta uma grande superfície descoberta, que devido a radiação direta está mais sujeito a evaporação. Na medida em que a cultura se desenvolve, tem-se um aumento da estrutura da planta, com crescimento de talos e principalmente aumento de área foliar, reduzindo assim a superfície exposta do solo, conseqüentemente, aumento da transpiração da planta, pois, esta receberá maior parte da radiação direta (VILLALOBOS-REYES et al., 2005; BERNARDO et al., 2006).

Para o brócolis, segundo o boletim número 56 da FAO apresentado por Allen et al. (1998), o K_c considerando ET_o calculado pelo método de Penman-Monteith para fase inicial, média e final, equivale a 0,70, 1,05 e 0,95, respectivamente. Resultados muito semelhantes foram reportados por Souza et al. (2011), com valores de 0,65, 1,05 e 0,95 para as fases inicial, média e final.

2.4.1. Balanço de água no solo

O balanço de água no solo consiste em determinar as perdas e ganho de água em um volume conhecido. De modo geral, os fluxos de entrada são precipitação, irrigação e ascensão capilar e os fluxos de saída correspondem à percolação profunda, escoamento superficial e evapotranspiração da cultura (FRIZZONE et al., 2012).

Em condições de controle da irrigação, as perdas por percolação profunda e por escoamento superficial são bem reduzidas podendo então ser desconsideradas para balanço. A ascensão capilar tem grande influência em áreas onde os lençóis freáticos são superficiais. Então as variáveis necessárias para se determinar o momento de irrigar e quanto corresponde a irrigação real necessária

(*IRN*), pode ser determinada pelo balanço entre a precipitação efetiva (*Pe*), *IRN* e evapotranspiração da cultura (*ETc*). A *Pe* corresponde a fração da precipitação total que permanece disponível para as plantas (MANTOVANI, BERNARDO e POLARETTI 2009).

A irrigação deve ser realizada quando a disponibilidade de água no solo estiver a um valor mínimo que não prejudique o desempenho da planta, podendo-se utilizar um turno de rega varial, onde as irrigações são realizadas quando o somatório da diferença entre a *ETc* e a *Pe* diária forem maior ou igual a disponibilidade real de água no solo (*DRA*).

A *DRA* é utilizada como um parâmetro para se determinar o momento da irrigação no balanço de água no solo. Depois de estabelecido as necessidades hídricas da cultura e o momento da irrigação, é determinada a irrigação total necessária (*ITN*), que corresponde a lâmina a ser aplicada pelo sistema de irrigação.

A lâmina aplicada pelo sistema de irrigação é maior que a lâmina requerida pela cultura, devido às diferentes eficiências de aplicação de cada sistema. Dentro do conceito de eficiência de aplicação (*Ea*) estão incluídas a eficiência de distribuição e a eficiência em potencial de aplicação, dando idéia das perdas de água por percolação, evaporação e arraste de água pelo vento (ZOCOLER, CESAR e VANZELA, 2004). A *Ea* da unidade operacional para os sistemas que compreendem o método localizado correspondem a 90 % do coeficiente de uniformidade de distribuição (*CUD*) (MERRIAN e KELLER, 1978).

Para o método por aspersão a *Ea* pode ser determinada por meio de avaliações realizadas em campo, em que a *Ea* é estimada por meio da relação entre o volume de água coletado pelos coletores e o volume médio aplicado pelos emissores. A *Ea* estimada por este método é denominada eficiência de aplicação em potencial, pois expressa somente as perdas por evaporação e arraste de partículas de água pelo vento, não considerando fatores que interferem no armazenamento de água do solo (ZOCOLER, CESAR e VANZELA, 2004; BERNARDO, SOARES e MANTOVANI, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e época do experimento

A pesquisa foi conduzida na área experimental e didática de irrigação, Faculdade de Ciências Agrárias (*FCA*), pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados (*UFGD*) unidade II, localizada em Dourados, Mato Grosso do Sul, situada a 22° 13' 16" de latitude sul e a 54° 48' 20" de longitude oeste.

O transplante das mudas ocorreu no dia 03 de abril de 2012. A colheita e avaliação do experimento ocorreram no dia 18 de junho de 2012, (77 dias após o transplante).

3.2. Clima

O clima da região de acordo com a classificação de Köppen (1948) é do tipo Cwa (mesotérmico úmido), com verão chuvoso e inverno seco e com temperatura média anual de 22°C.

Dourados está inserido na microbacia do rio Dourados. A microbacia apresenta para os meses de março, abril, maio e junho, meses de condução do experimento em campo, a precipitação média mensal de 143,7; 113,5; 118,6 e 72 mm, respectivamente. Assim como a evapotranspiração, que para os meses de condução do experimento corresponde a 106,4; 76,5; 79,0 e 33,2 mm, respectivamente (ARAI et al., 2012).

3.3. Solo

O solo da área foi descrito como um Latossolo Vermelho Distroférico, com classe textural muito argilosa (EMBRAPA, 2009), apresenta as seguintes características: alta profundidade, acentuadamente ou fortemente drenado, muito poroso e permeável devido à sua estrutura granular (HEID et al., 2009). Foram realizadas análises físicas e químicas

3.3.1. Análises físicas

A curva de retenção de água no solo foi determinada em laboratório de física do solo, a partir de 20 amostras deformadas coletadas em várias partes da área do ensaio na camada de 0 a 0,20 m de profundidade. 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 e os de alta tensão (33, 100, 500 e 1500 kPa) foram determinados no extrator de Richards.

Utilizando o programa SWRC (DOURADO NETO et al., 2000), foi gerada a equação, ajustada segundo modelo proposto por van Genuchten (1980), que descreve o comportamento da umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em relação a tensão de água do solo (kPa) (Equação 01). A equação ajustada a partir dos dados fornecidos pela análise do solo é apresentada na Equação 02. A curva de retenção de água no solo obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,96 (Figura 1).

$$\theta_a = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\Psi_m|^n)]^m} \quad (01)$$

$$\theta_a = 0,2133 + \frac{0,3667}{[1 + (0,2906|\Psi_m|^{1,7254})]^{0,4204}} \quad (02)$$

Em que:

θ_a - umidade atual do solo com base volumétrica, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

Ψ_m - tensão de água no solo, em kPa.

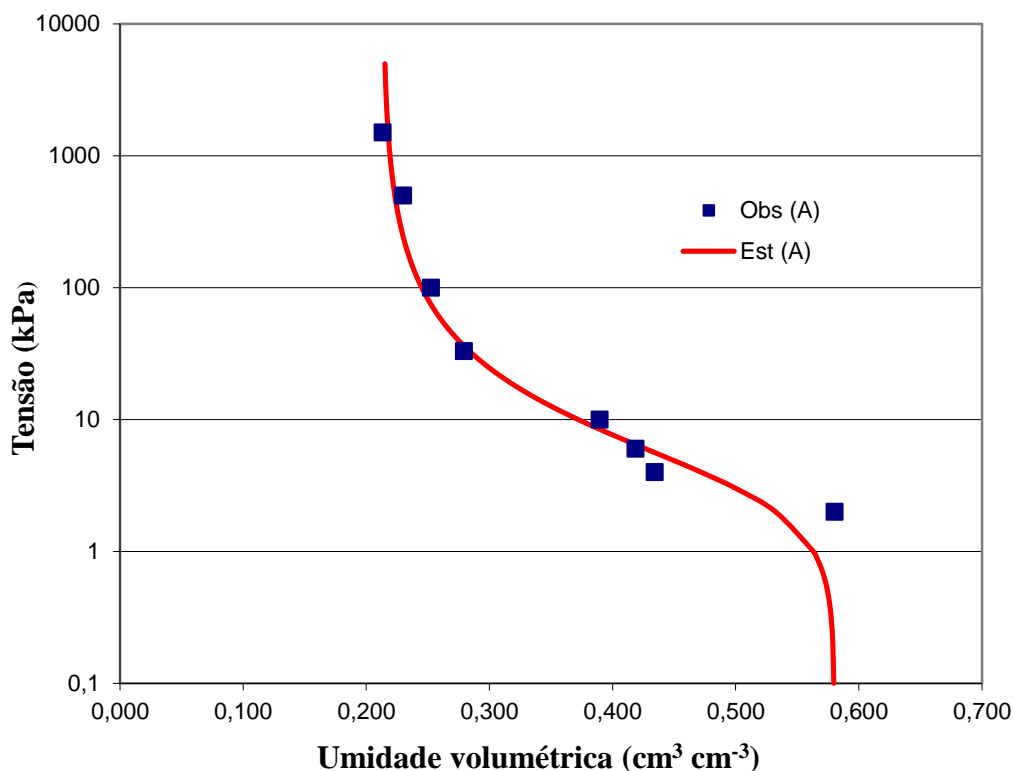


Figura 1. Curva de retenção da água no solo gerada utilizando o modelo de van Genuchten (1980).

Foi determinada a infiltração de água no solo através do método do infiltrômetro de anel com carga variável, empiricamente por meio do modelo proposto por Kostiakov (1932).

Foram utilizados dois anéis metálicos, sendo o primeiro com diâmetro de 40 cm e o segundo com 20 cm, ambos com 30 cm de altura, que foi instalado no centro do maior anel, e enterrado aproximadamente sete centímetros no solo. A água foi colocada nos dois anéis simultaneamente. Os anéis apresentam uma válvula reguladora de nível (boia), que é conectada por uma mangueira a um recipiente graduado que permanece a 1,10 m de altura em relação ao solo, permitindo o fluxo da água para os anéis. As leituras do nível da água foram feitas no recipiente que estava conectado ao anel de 20 cm de diâmetro, nos intervalos de 1, 1, 2, 2, 5, 5, 10, 10 e 30 minutos até a estabilização.

O ensaio ocorreu durante 1 hora e 40 minutos, a velocidade de infiltração (VI) estabilizou quando atingiu 126 mm h^{-1} , correspondendo à velocidade de infiltração básica (VIB).

A equação de infiltração acumulada foi encontrada seguindo o modelo da Equação 03.

$$I = kT^n \quad (03)$$

Os parâmetros da equação da infiltração foram definidos pelo método da regressão linear, onde se utilizou a transformação logarítmica da equação da infiltração. Sendo $I = k T^n$, então $\log I = \log k + n \log T$, a qual corresponde à equação da reta $Y = A + BX$, onde: $Y = \log I$; $A = \log k$; $B = n$; $X = \log T$. O coeficiente angular (B) e a interseção da reta (A) são dados pelas Equações 04 e 05, respectivamente.

$$B = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}} \quad (04)$$

$$A = \bar{Y} - B\bar{X} \quad (05)$$

A equação da velocidade de infiltração foi obtida derivando-se a equação da infiltração no tempo, como segue na Equação 06.

$$VI = n k T^{n-1} \quad (06)$$

Em que:

- I - infiltração acumulada, em mm;
- k - constante dependente do solo, adimensional;
- T - tempo de infiltração, em min;
- n - constante que depende do solo, variando de 0 a 1;
- VI - velocidade de infiltração de água no solo, em mm h^{-1}
- N - número de leituras realizadas, desconsiderando-se a leitura inicial no tempo zero.

A equação ajustada da infiltração acumulada da água no solo (I) e velocidade de infiltração (VI) obtidas por meio dos testes realizado em campo podem ser observadas nas Equações 07 e 08.

$$I = 2,384 T^{0,99} \quad (07)$$

$$VI = 141,60 T^{-0,01} \quad (08)$$

Em que:

I - infiltração acumulada, em mm;

VI - velocidade de infiltração de água no solo, em mm h⁻¹

T - tempo de infiltração, em min;

3.3.2. Análises químicas

Para determinação das características químicas do solo, foram coletadas 20 amostras compostas na camada de 0 a 0,20 m de profundidade em várias partes da área do experimental. Na Tabela 1 são apresentados os nutrientes presentes no solo antes da adubação de plantio.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo utilizado no experimento.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	M. O. g dm ⁻¹	P _{resina} mg dm ⁻¹	H + Al -----	K -----	Ca cmol _c dm ⁻¹	Mg -----	T	V %
0 - 20	4,80	22,94	17,40	6,31	0,40	5,41	1,63	13,65	54,51

3.4. Delineamento experimental e cultivar utilizada

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 5 tratamentos que corresponderam cinco sistemas de irrigação (gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial, microaspersão, Santeno[®] e aspersão convencional), e quatro repetições, totalizando 20 parcelas. A cultivar utilizada foi brócolis de cabeça (*Brassica oleracea* var. *italica*, híbrido Lord Summer).

Cada parcela foi constituída por quatro linhas com cinco plantas espaçadas de 0,50 m. O espaçamento entre linhas foi de 1,0 m, totalizando 20 plantas por parcela, equivalente a população de 20.000 plantas ha⁻¹. A área útil foi formada pelas duas linhas centrais, desprezando-se duas plantas de cada extremidade, resultando em seis plantas como unidade experimental. Na Figura 2 pode-se observar a disposição de uma parcela, com destaque para as unidades experimentais.

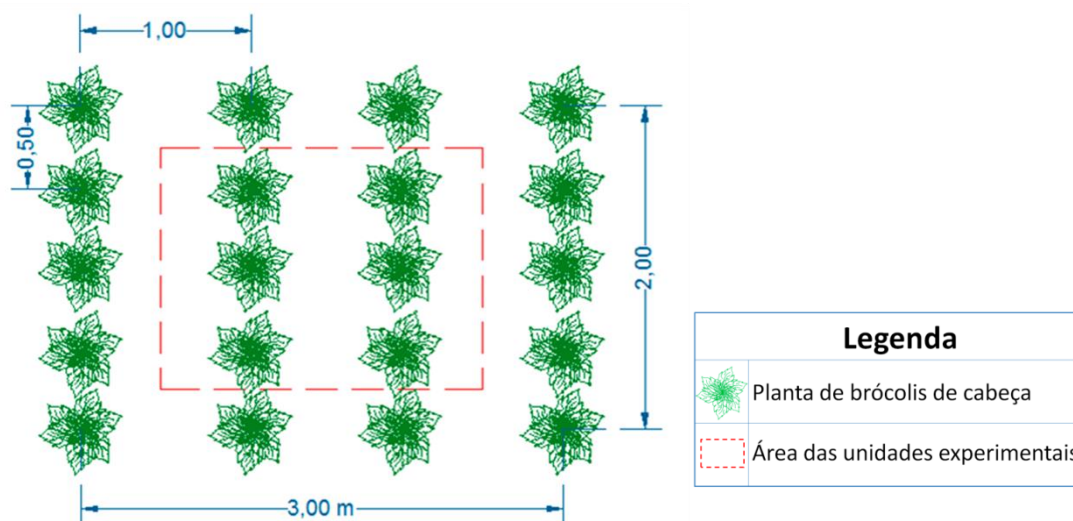


Figura 2. Esquema de uma parcela com destaque para as unidades experimentais

3.5. Sistemas de irrigação

3.5.1. Gotejamento superficial e subsuperficial

Os sistemas utilizando gotejamento corresponderam a emissores auto-compensantes, tipo *in-line*, ou seja, emissores inseridos no tubo por um processo de extrusão, a equação fornecida pelo fabricante que relaciona a vazão dos emissores (q) com a pressão de serviço (PS) é apresentada na Equação 09.

$$q = 0,463 PS^{0,503} \quad (09)$$

Em que:

q - vazão dos emissores, em $L h^{-1}$;

PS - pressão de serviço do sistema de irrigação, em mca.

A pressão de serviço utilizada foi de 10,1 mca, controlada por uma válvula reguladora de pressão inserida na tubulação de derivação, onde estavam conectadas as mangueiras gotejadoras. A vazão nominal para a PS utilizada equivale $1,48 L h^{-1}$. Os gotejadores (Petroisa-Manári 10 mil[®]) ficaram posicionados de forma a atender um gotejador por planta, resultando em quatro mangueiras gotejadoras com cinco emissores em cada parcela.

As mangueiras gotejadoras foram conectadas à linha de derivação de polietileno com diâmetro nominal (DN) de 16 mm e pressão nominal (PN) de 40

mca, as quais, por sua vez foram conectadas à linha principal ($DN = 50$ mm e PN de 80 mca).

Os sistemas de gotejamento superficial e o subsuperficial apresentaram as mesmas dimensões e tipo de mangueira gotejadora. No gotejamento subsuperficial, as mangueira gotejadoras foram instaladas cerca de 0,05 m abaixo da superfície do solo, enquanto que no outro método as mangueira permaneceram na superfície do solo.

3.5.2. Microaspersão

O sistema utilizando microaspersores foi composto por emissores tipo bailarina dupla (Hidracamp[®]), a equação obtida a partir de dados fornecidos pelo fabricante que relaciona a q com a PS é apresentada na Equação 10.

$$q = 13,22 PS^{0,529} \quad (10)$$

Em que:

q - vazão dos emissores, em $L h^{-1}$;

PS - pressão de serviço do sistema de irrigação, em mca.

A pressão de serviço utilizada foi de 10,1 mca, controlada por uma válvula reguladora de pressão inserida na tubulação de derivação. A vazão nominal para a PS de serviço do sistema equivale $44,9 L h^{-1}$.

Os emissores foram espaçados entre si por 1,5 m e inseridos em tubulações laterais de polietileno espaçadas de 1,5 m com DN de 16 mm. Estas por sua vez, foram conectadas em uma tubulação de derivação também de polietileno ($DN = 16$ mm e $PN = 40$ mca). A tubulação de derivação foi conectada à linha principal de PVC ($DN = 50$ mm e PN de 80 mca).

Cada microaspersor permaneceu disposto de forma a promover a sobreposição de área molhada pelos mesmos, tanto na própria linha, quanto entre linha laterais.

3.5.3. Santeno[®]

No sistema Santeno[®], foram utilizados 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 mm, emissores

perfurados a laser com diâmetro de 0,3 mm e espaçamento entre emissores de 0,15 m.

Os tapes Santeno[®] foram instalados em uma tubulação de derivação de polietileno ($DN = 16$ mm e $PN = 40$ mca), espaçados por 3 m, foram conectados três tapes de 10 m de comprimento. A Equação 11 obtida a partir de dados fornecidos pelo fabricante relaciona a q com a PS por metro de tape.

$$q = 4,537 PS^{0,721} \quad (11)$$

Em que:

q - vazão dos emissores, em $L h^{-1} m^{-1}$;

PS - pressão de serviço do sistema de irrigação, em mca.

A vazão nominal equivalente a PS de 10,1 mca para 10 m de comprimento equivale $240,4 L h^{-1}$. A pressão de serviço foi controlada por uma válvula reguladora de pressão inserida na tubulação de derivação. A tubulação de derivação foi conectada à linha principal de PVC ($DN = 50$ mm e PN de 80mca).

3.5.4. Aspersão convencional

O sistema utilizando aspersão convencional foi composto por barras de PVC roscável de 6 m de comprimento, com 50 mm de diâmetro. Os aspersores (Agropolo NY 25[®]) eram de dois bocais com ângulo de inclinação do jato de 30° e rotação de 360° . A Equação 12 obtida a partir de dados fornecidos pelo fabricante relaciona a q com PS dos emissores.

$$q = 95,84 PS^{0,497} \quad (12)$$

Em que:

q - vazão dos emissores, em $L h^{-1}$;

PS - pressão de serviço do sistema de irrigação, em mca.

A pressão de serviço utilizada foi de 20,1 mca, controlada por uma válvula reguladora de pressão inserida na tubulação principal. A vazão correspondente a PS utilizada equivale $425,8 L h^{-1}$.

Os aspersores foram espaçados a 6 m na mesma linha e entre linhas laterais, formando assim um quadrado. A disposição dos aspersores proporcionava a sobreposição de área molhada, tanto na própria linha, quanto entre linhas laterais.

Os aspersores estavam conectados em tubos de subida de 1,10 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 ($DN = 50$ mm e PN de 80 mca).

3.5. Uniformidade de distribuição dos sistemas

Após a instalação dos sistemas de irrigação foram realizadas avaliações visando caracterizar o desempenho dos sistemas de irrigação quanto a sua uniformidade de aplicação de água. Para avaliação foram utilizadas metodologias adaptadas, tendo como base a ABNT NBR ISO 7749-1 (2000), ABNT PROJETO 04:015.08-016 (2005) equivalente a ISO 9261 de 2004 e ASAE, (1996).

Objetivando obter maior acurácia na determinação da uniformidade de aplicação de cada sistema, foi utilizado maior número de coletores quando comparado com as normas citadas anteriormente. Para esclarecimento das avaliações realizadas, são apresentadas nos parágrafos subsequentes as metodologias utilizadas para determinação da uniformidade de aplicação de cada sistema de irrigação.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUC) e coeficiente de distribuição de água (CUD) foi estimado por meio da equação 13 e 14 respectivamente (CHRISTIANSEN, 1942; BRALTS, 1986).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_n|}{nX_n} \right) \quad (13)$$

Em que:

- CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;
- n - número de coletores na área molhada de distribuição;
- X_i - lâmina de água coletada no i -ésimo coletor, em mm;
- X_n - lâmina média, em mm.

$$CUD = 100 \frac{l_n}{\bar{l}} \quad (14)$$

Em que:

- CUD - uniformidade de distribuição, em %;

- l_n - média de 25 % das menores lâminas, em mm h⁻¹;
 \bar{l} - média de todas as lâminas, em mm h⁻¹;

Visando a posterior determinação do tempo de irrigação, foi determinada a intensidade de aplicação (Ia) nos sistemas Santeno[®], microaspersão e aspersão convencional. A Ia foi estimada relacionando-se a vazão média coletada durante o ensaio com a área de coleta dos coletores, como segue na Equação 15.

$$Ia = \frac{qa}{Ac} \quad (15)$$

Em que:

- Ia - intensidade de aplicação de água, em mm h⁻¹;
 qa - vazão média coletada, em L h⁻¹;
 Ac - área de coleta do coletor, em m².

A eficiência de aplicação (Ea) nos sistemas que compreendem o método localizado (gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial, Santeno[®] e microaspersão) foi determinada por meio da Equação 16.

$$Ea = 0,90 CUD \quad (16)$$

Em que:

- Ea - eficiência de aplicação operacional, em %;
 CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, em %.

Nos sistemas de gotejamento superficial e subsuperficial, a análise de uniformidade foi realizada em uma parcela, contendo 20 emissores. Foram colocados recipientes coletores em baixo de cada emissor, então realizou-se a coleta de água por um período de uma hora.

Os sistemas foram submetidos à pressão de serviço de 10,1 mca, aferidas por um manômetro analógico (Petroisa[®]) inserido na tubulação de derivação. De posse das lâminas coletadas foram calculados por meio das Equações 13 e 14 o CUC e o CUD respectivamente.

No sistema por microaspersão, foram colocados 25 coletores distribuídos entre um quadrado formado por quatro microaspersores espaçados de 1,5 m, realizando a coleta de água por um período de uma hora. Os coletores foram

espaçados por 0,30 m entre linhas e 0,30 m entre colunas. Os sistemas foram submetidos à pressão de serviço de 10,1 mca, aferida por um manômetro analógico (Petroisa[®]) inserido na tubulação de derivação. De posse das lâminas coletadas foram calculados por meio das Equações 13 e 14 o *CUC* e o *CUD* respectivamente.

Para determinação das uniformidades no sistema Santeno[®], foram utilizados 36 coletores, dispostos entre dois tapes Santeno[®] espaçados por 0,50 m entre linhas e 0,50 m entre colunas. Realizou-se a coleta de água por um período de uma hora, com a pressão de serviço de 10,1 mca, aferida por um manômetro analógico (Petroisa[®]) inserido na tubulação de derivação. De posse das lâminas coletadas foram calculados por meio das Equações 01 e 02 o *CUC* e o *CUD* respectivamente.

No sistema por aspersão convencional, foram utilizados 36 coletores distribuídos entre um quadrado formado por quatro aspersores espaçados de 6 m. Os coletores foram espaçados por 1,0 m entre linhas e 1,0 m entre colunas. A coleta de água foi realizada por um período de uma hora, com pressão de serviço de 20,1 mca, aferida por um manômetro metálico (Petroisa[®]) inserido na linha principal.

A classificação dos coeficientes de uniformidade de distribuição foi realizada de acordo com critérios apresentados por Christiansen (1942) e Bralts (1986) (Tabela 2)

Tabela 2 - Critérios para classificação da uniformidade de distribuição

<i>CUC</i>	<i>CUD</i>	Classificação
> 90	> 84%	Excelente
80% a 90%	68% a 84%	Bom
70% a 80%	52% a 68%	Regular
< 70%	< 52%	Ruim

De posse das lâminas coletadas foram calculados por meio das Equações 01 e 02 o *CUC* e o *CUD* respectivamente. A *Ea* foi encontrada por meio da Equação 17.

$$Ea = \frac{VC}{VA} 100 \quad (17)$$

Em que:

- Ea* - eficiência de aplicação operacional em potencial, em %;
VC - volume médio coletado, em m³;
VA - volume médio aplicado pelo emissor, em m³.

O volume coletado (*VC*) foi obtido por meio da média dos volumes coletados pelos coletores. Para se determinar o volume aplicado (*VA*) foram inseridas duas mangueiras nos bocais de saída de cada aspersor e realizada a coleta da água em um recipiente por um período de três minutos. Então aferiu-se o volume coletado em cada aspersor em uma proveta graduada.

Como o *VA* deve representar a contribuição de cada aspersor dentro da área de coleta (6 x 6 m), o *VA* utilizado para se obter a *Ea* foi resultado da contribuição de 1/4 do *VA* por cada aspersor. A *PS* permaneceu constante durante o teste.

3.6. Manejo da irrigação

O manejo da irrigação em todos os sistemas foi baseado no balanço hídrico de água no solo, sendo considerado como fluxos de entrada, a precipitação efetiva (*Pe*) e a irrigação real necessária (*IRN*), e como fluxo de saída, a evapotranspiração da cultura (*ETc*).

Os dados meteorológicos foram obtidos da estação meteorológica automática da Embrapa Agropecuária Oeste, localizada em Dourados-MS. As leituras dos dados meteorológicos são feitas em tempo real através de um sistema de aquisição de dados (datalogger), e a evapotranspiração de referência é calculada pelo método indicado pela FAO (Penman-Monteith).

A precipitação total (*Pt*) corresponde a precipitação acumulada que ocorreu na área do experimento durante o período de tempo considerado. No balanço de água no solo, quando a *Pt* era maior ou igual a *ETc*, a *Pe* correspondia somente à *ETc*, quando a *Pt* era menor que a *ETc*, a *Pe* correspondia à *Pt*.

A *ETc* utilizada no balanço foi determinada de acordo com a Equação 18, onde o coeficiente de cultura (*Kc*) para as fases inicial, média e final foi de 0,65; 1,05 e 0,95. Os valores de evapotranspiração de referência (*Eto*) foram obtidos diariamente por meio da estação meteorológica automática da Embrapa Agropecuária Oeste.

$$ETc = Kc ETo \quad (18)$$

Em que:

- ETc* - evapotranspiração da cultura ou de cultivo, em mm d⁻³;
Kc - coeficiente de cultura ou de cultivo, adimensional;
ETo - evapotranspiração de referência, em mm d⁻¹.

Para determinar a *IRN*, primeiro determinou-se a disponibilidade real de água no solo (*DRA*) (Equação 19). A umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) obtida por meio da curva de retenção do solo, correspondeu a 0,4832 cm³ cm⁻³, com a tensão de 10 kPa. A tensão crítica utilizada para irrigação (θ_{Ulc}) foi de 15 kPa, que segundo a curva de retenção do solo, equivale a 0,4350 cm³ cm⁻³. A profundidade efetiva do sistema radicular (*z*) foi 0,25 m (ALLEN et al., 1998).

$$DRA = (\theta_{cc} - \theta_{Ulc}) z \quad (19)$$

Em que:

- DRA* - disponibilidade real de água no solo, em mm;
 θ_{cc} - umidade na capacidade de campo, em cm⁻³cm⁻³;
 θ_{Ulc} - umidade crítica do solo para fins de irrigação, em cm⁻³cm⁻³;
z - profundidade efetiva do sistema radicular, em mm.

Quando a somatória da diferença entre a *ETc* e a *Pe* diária alcançava a *DRA* (12,03 mm), então determinava-se a *IRN* (Equação 20), onde *n* representa o turno de rega (*TR*), que pode variar de um ao n-ésimo dia, ou seja foi utilizado o *TR* variável.

$$IRN = \sum_{i=1}^n (ETc - Pe) \quad (20)$$

Em que:

- IRN* - irrigação real necessária, em mm;
ETc - evapotranspiração da cultura, em mm;
Pe - precipitação efetiva, em mm.

Para obtenção da irrigação total necessária (*ITN*), foi considerada a eficiência de aplicação operacional estimada em cada sistema de irrigação (Equação 21).

$$ITN = \frac{IRN}{Ea} \quad (21)$$

Em que:

ITN - irrigação total necessária, em mm;

IRN - irrigação real necessária, em mm;

Ea - eficiência de aplicação operacional, em decimal.

Em seguida para determinação do tempo de irrigação para os gotejamentos foi utilizada a Equação 22.

$$T = \frac{ITN * A}{e * qa} \quad (22)$$

Em que:

T - tempo de funcionamento do sistema de irrigação, em h;

ITN - irrigação total necessária, em mm;

A - área ocupada por planta, em m²;

e - número de emissores por planta, em decimal;

qa - vazão média dos emissores, em L h⁻¹.

O tempo de irrigação para os sistemas por microaspersão, Santeno[®] e aspersão convencional foi determinado tomando-se como base as avaliações da intensidade de aplicação de água (*Ia*) realizadas no início do experimento. Através da avaliação da *Ia* se determinou a quantidade de água que alcança a superfície do solo em uma hora de funcionamento do sistema, para as condições do experimento. Então o tempo de irrigação foi determinado por meio da Equação 23.

$$T = \frac{IRN}{Ia} \quad (23)$$

Em que:

T - tempo de funcionamento do sistema de irrigação, em h;

IRN - irrigação real necessária, em mm;

Ia - intensidade de aplicação de água de cada sistema, em mm h⁻¹;

3.7. Condução do experimento e sistemas de irrigação

Após o transplante das mudas, nos primeiros três dias, a irrigação foi equivalente à disponibilidade real de água no solo (*DRA*), visando principalmente o estabelecimento (pegamento) das mudas. Na Tabela 3 são apresentadas lâminas diárias aplicadas em cada sistema de irrigação, correspondente ao intervalo de 03/08/2012 a 09/08/2012.

Nos três primeiros dias aplicou-se maior quantidade de água em comparação aos subseqüentes, essa lâmina maior teve como objetivo, reduzir o efeito do estresse, proporcionado pelo transplante. Nos demais dias foi aplicado o equivalente a lâmina evapotranspirada pela cultura. Após os sete primeiros dias após o transplante (*DAT*) o manejo da irrigação foi realizado pelo método do balanço de água no solo, com turno de rega variável.

Tabela 3. Lâminas diárias aplicadas em cada sistema de irrigação nos primeiros sete dias após o transplante.

Sistemas de Irrigação	Lâminas (mm)							Total
	03/08	04/08	05/08	06/08	07/08	08/08	09/08	
Gotejamento Superficial	12,53	12,53	12,53	0,74	2,30	2,30	0,00	42,92
Gotejamento Subsuperficial	12,53	12,53	12,53	0,74	2,30	2,30	0,00	42,92
Microaspersão	13,22	13,22	13,22	0,78	2,43	2,43	0,00	45,30
Santeno®	15,83	15,83	15,83	0,93	2,91	2,91	0,00	54,24
Aspersão Convencional	14,86	14,86	14,86	0,88	2,73	2,73	0,00	50,89

3.8. Práticas culturais

A seguir apresentam-se as diversas práticas culturais realizadas durante o período do experimento.

3.8.1. Adubação

A adubação de plantio foi realizada com base na análise de solo apresentada na Tabela 1, e seguindo a recomendação de Fontes (1999). No dia 29 de março de 2013, quatro dias antes do transplante, foi realizada adubação de plantio com 140 kg ha^{-1} de N na forma deuréia, 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples, e 80 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio. Além da adubação química, fez-se a orgânica com 350 g de substrato comercial Bioplant[®] por planta.

Aos 15, 30 e 45 dias após o transplante, épocas recomendadas por Trani et al. (1997), ocorreram às adubações de cobertura, via solo. Do total em cobertura (90 e 180 kg ha^{-1} de N e K_2O respectivamente), foram aplicados 30 %, 40 % e 30 % na primeira, segunda e terceira épocas respectivamente.

Com o objetivo de prevenir sintomas de deficiências nutricionais, realizaram-se também, a cada sete dias, a partir da segunda semana após o transplante, adubação foliar em cobertura, com o fertilizante FHHF Frutas e Hortaliças da Heringer[®], cuja composição é: 11% N; 11% P; 11% K; 2% Mg; 10% S; 0,15% B; 0,30% Cu; 0,11% Fe; 0,26% Mn; 0,04% Mo e 0,50 Zn ($1,0 \text{ g L}^{-1}$).

3.8.2. Controle de plantas daninhas e amontoa

O controle de plantas daninhas objetivou a redução da competição entre as plantas daninhas e a cultura, realizou-se duas capinas ao longo do cultivo. A amontoa foi realizada visando o controle das plantas daninhas, assim como, melhorar o estabelecimento das plantas na área, pois, no período do experimento ocorreram alguns picos de ventos fortes, que poderiam vir a prejudicar o desenvolvimento da cultura. As duas práticas, procederam-se de forma manual e com o auxílio de enxada, quando necessário.

3.8.3. Controle fitossanitário

O monitoramento da área foi feito diariamente, visando detectar a presença de pragas e doenças. Durante o período do experimento não houve aparecimento de doenças. O controle de pragas ocorreu na medida em que as mesmas se encontravam no seu nível de dano econômico, justificando assim a

aplicação de inseticida. As aplicações foram feitas com o auxílio de um pulverizador costal.

Aos 10 *DAT* e 20 *DAT*, aplicou-se Deltamethrin (Decis 25 EC[®] - 30 ml 100 L⁻¹ de água), para o controle contra tripis (*Thrips tabaci*) e brasileirinha (*Diabrotica speciosa*). Aos 35 *DAT* e 45 *DAT*, houve o aparecimento de lagartas, como, *Spodoptera sp.*, *Tricoplusia ni*, *Pseudoplusia includens*, e etc. Estas foram controladas com utilização de metomil (Lanate BR[®] - 100 ml 100 L⁻¹ de água).

3.9. Características avaliadas

A colheita manual das unidades experimentais iniciou-se no dia 16 de junho de 2012 (75 *DAT*) e teve seu termino em 18 de junho de 2012 (77 *DAT*). Após a colheita das inflorescências, procederam-seas seguintes avaliações: massa fresca comercial de inflorescência (g), massa fresca de florete (g), diâmetro da inflorescência (cm), produtividade comercial de inflorescência (t ha⁻¹), produtividade comercial de florete (t ha⁻¹) e produtividade da água (kg m⁻³). As inflorescências e seus respectivos floretes foram considerados comerciais, pois não apresentaram danos causados por pragas, doenças e distúrbios fisiológicos.

3.9.1. Massa fresca comercial de inflorescência

Foram removidas todas as folhas e feito um corte no ponto em que a haste se torna única, então pesou-se seis inflorescências (florete e talo), através da média das plantas colhidas, obteve-se então a massa fresca comercial de inflorescência (*MFCI*) em gramas (g) de cada repetição.

3.9.2. Massa fresca comercial de florete

Após a determinação da *MFCI*, com o auxílio de uma faca, fez-se a separação dos floretes da inflorescência, que foram pesados separadamente, obtendo então a média da massa fresca comercial de florete (*MFCF*) em gramas (g) de cada repetição.

3.9.3. Diâmetro da inflorescência

Inicialmente foi mensurada a circunferência das inflorescências colhidas com o auxílio de uma fita métrica, posteriormente através da relação entre a circunferência e o π (3,14159265359) obteve-se a diâmetro da inflorescência (*DI*) em

centímetros (cm) de cada inflorescência (Equação 24). Para realização do diâmetro de cada repetição foi realizada a média entre as seis unidades colhidas.

$$DI = \frac{CI}{\pi} \quad (24)$$

Em que:

DI - diâmetro da inflorescência, em cm;

CI - circunferência da inflorescência, em cm;

π - letra grega equivalente a aproximadamente 3,14159265359.

3.9.4. Produtividade comercial de inflorescência

A Produtividade comercial de inflorescência (*PCI*) em tonelada por hectare ($t\ ha^{-1}$) foi obtida com base nas dimensões das parcelas e considerando o espaçamento entre plantas (1,0 x 0,50 m), de acordo com a população de plantas por hectare (20.000 plantas ha^{-1}), a partir da média da massa fresca de inflorescência (Equação 25).

$$PCI = \frac{MFCI}{S1\ S2} 0,01 \quad (25)$$

Em que:

PCI - produtividade comercial de inflorescência, em $t\ ha^{-1}$;

MFCI - massa fresca comercial de inflorescência, em g;

S1 - espaçamento entre plantas, em m;

S2 - espaçamento entre linhas, em m.

3.9.5. Produtividade comercial de florete

Assim como a *PCI*, a produtividade comercial de florete (*PCF*) foi expressa em toneladas por hectare ($t\ ha^{-1}$) e foi estimada com base nas dimensões das parcelas e considerando o espaçamento entre plantas, de acordo com a população de plantas por hectare, porém, a partir da média da massa fresca de florete (Equação 26).

$$PCF = \frac{MFCF}{S1\ S2} 0,01 \quad (26)$$

Em que:

PCI - produtividade comercial de florete, em $t\ ha^{-1}$;

MFCF- massa fresca comercial de florete, em g;

- $S1$ - espaçamento entre plantas, em m;
 $S2$ - espaçamento entre linhas, em m.

3.9.6. Produtividade da água

A produtividade da água (PA) em quilograma por metro cúbico de água (kg m^{-3}) foi obtida de acordo com a Equação 27, onde o produto comercial equivale a PCI e o volume de água aplicado por hectare, foi estimado a partir da irrigação total necessária aplicada em cada sistema de irrigação durante período de cultivo.

$$PA = \frac{Y_C}{VA} \quad (27)$$

Em que:

- PA - produtividade da água de irrigação, em kg m^{-3} ;
 Y_C - produto comercial, em kg ha^{-1} ;
 VA - volume aplicado via irrigação, em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$.

3.10. Análise estatística

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

4. RESULTADOS E DISCUSÃO

4.1. Caracterização das condições climáticas e lâminas de água aplicada

Na Figura 3 são apresentados os valores relativos à temperatura máxima, média e mínima do ar observada durante o período de condução do experimento. As temperaturas durante o experimento variaram entre 26,10 e 4 °C. A temperatura média estimada durante o experimento foi de 20,84 °C.

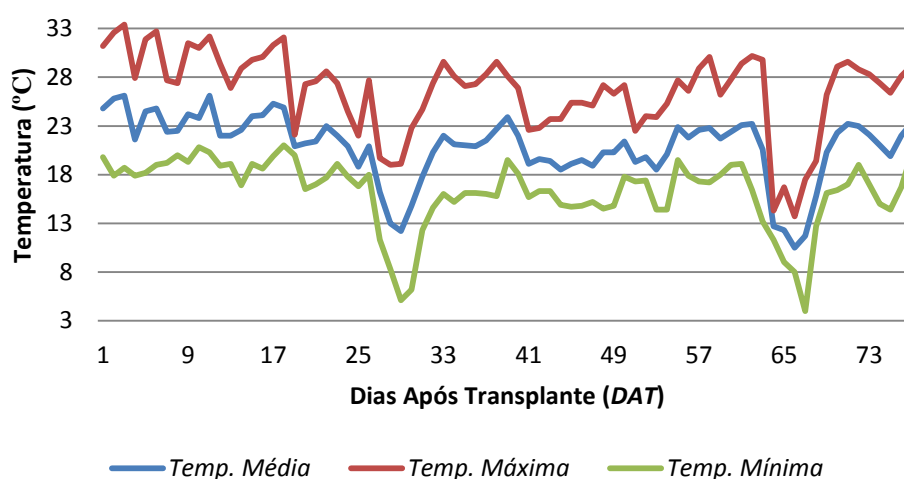


Figura 3. Temperaturas diárias máxima (*Temp. Máxima*), média (*Temp. Média*) e mínima (*Temp. Mínima*) do ar ocorridas no período do experimento.

A média da temperatura máxima foi de 26,62 °C e a média da temperatura mínima foi de 16,25 °C. As temperaturas observadas neste experimento proporcionaram condições ideais de germinação e desenvolvimento da cultura, pois na maior parte do período de cultivo a temperatura esteve entre 13 a 28 °C (BJÖRKMAN e PERSON, 1998; TREVISAM et al., 2003; STRANGE et al., 2010).

São apresentadas as umidades relativas do ar (*UR*) máxima, mínima e médias, correspondente ao período do experimento (Figura 4). A *UR* média estimada durante o experimento foi de 80,40 %, a média das umidades máximas foi de 91,31 % e a média das umidades mínimas foi de 55,09 %. A *UR* durante o período do experimento oscilou entre 92,0 e 33 %.

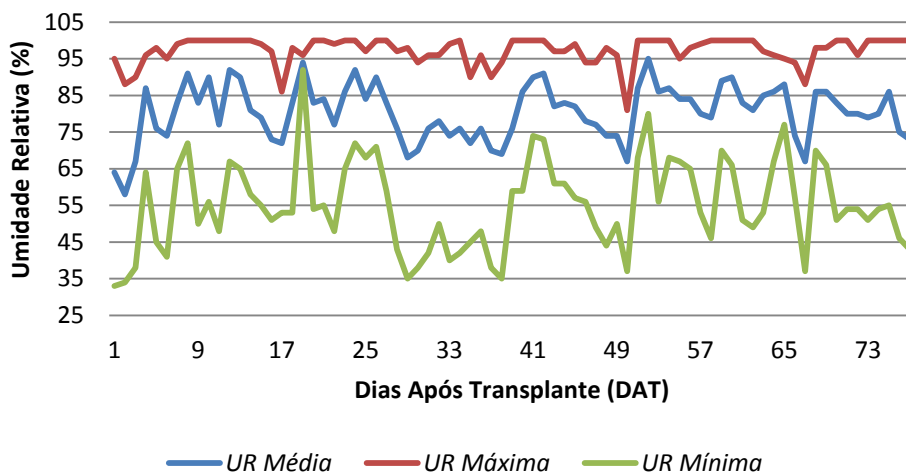


Figura 4. Umidades relativas diárias máxima (*UR. Máxima*), média (*UR. Média*) e mínima (*UR. Mínima*) do ar ocorridas no período do experimento.

Durante os 77 dias de cultivo a evapotranspiração da cultura e a precipitação acumulada foi de 162,85 e 347 mm. O número de irrigações (*NI*) foi o mesmo para todos os tratamentos avaliados, no entanto, devido às diferentes *Ea* de cada sistema, a irrigação total necessária (*ITN*) variou entre os tratamentos. Os sistemas que aplicaram maior volume de água em ordem decrescente foram: Santeno[®], aspersão convencional, microaspersão e gotejamento subsuperficial e gotejamento superficial (Tabela 4).

Tabela 4. Irrigação total necessária (*ITN*), eficiência de aplicação (*Ea*) e número de irrigações (*NI*).

Sistemas de Irrigação	<i>ITN</i> (mm)	<i>Ea</i> (%)	<i>NI</i> (n°)
Gotejamento Superficial	236,84	86,40	20
Gotejamento Subsuperficial	236,94	86,44	20
Microaspersão	249,96	78,93	20
Santeno [®]	299,29	64,17	20
Aspersão Convencional	280,81	66,53	20

4.2. Avaliação do desempenho dos sistemas de irrigação

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 5). Os melhores desempenhos foram obtidos pelos sistemas de gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e microaspersão, onde o *CUC* foi maior que 90 % e o *CUD* maior que 87 %, sendo classificado como excelente desempenho.

Contudo, os sistemas Santeno[®] e aspersão convencional apresentaram valores de *CUC* e *CUD* menores que 90 e 85 % respectivamente, sendo classificados como bom desempenho. A velocidade dos ventos predominante durante o período de experimento foi baixa (0,5 e 2 m s⁻¹) (Figura 5), contudo, influenciaram no desempenho dos sistemas de irrigação. Estes resultados sugerem que os sistemas Santeno[®] e aspersão convencional quando comparado com os outros sistemas avaliados, são mais suscetíveis à influência da velocidade e direção do vento. Resultados semelhantes foram encontrados por Beskow et al. (2011) avaliando as perdas de água por evaporação e arraste em um sistema por aspersão com média pressão.

Tabela 5. Coeficiente de uniformidade de Christiansen (*CUC*), coeficiente de uniformidade de distribuição (*CUD*) e desempenho de cada sistema.

Tratamentos	<i>CUC</i>	<i>CUD</i>	Desempenho
	(%)		
Gotejamento Superficial	96,92	96,04	Excelente
Gotejamento Subsuperficial	96,91	96,00	Excelente
Microaspersão	91,38	87,71	Excelente
Santeno [®]	76,35	71,30	Bom
Aspersão Convencional	81,51	73,21	Bom

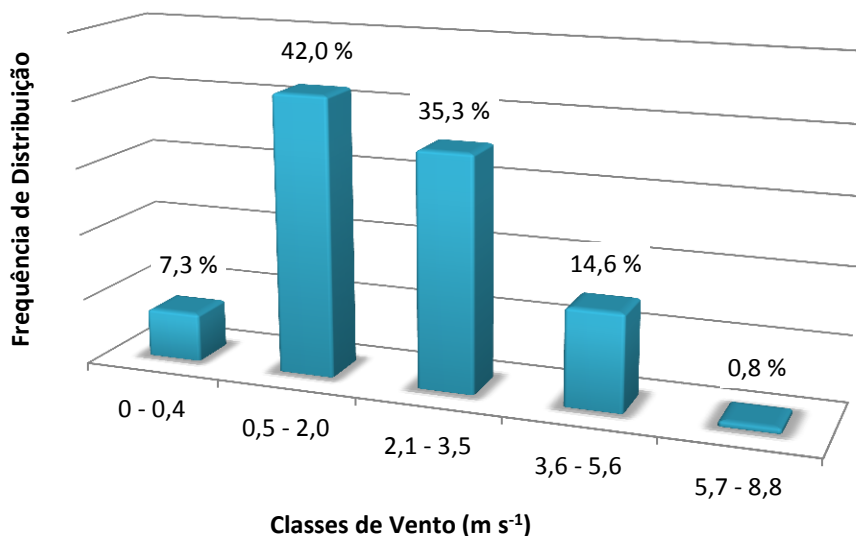


Figura 5. Frequência de distribuição das classes de vento no período de condução do experimento.

4.3. Avaliação da produção

4.3.1. Massa fresca comercial de inflorescência

De acordo com a análise de variância (Tabela 6), houve diferença significativa entre os tratamentos a 5 % de probabilidade de erro para a massa fresca comercial de inflorescência (*MFCI*).

Tabela 6. Análise de variância para a variável massa fresca comercial de inflorescência (gramas por inflorescência), em função dos sistemas de irrigação avaliados.

Fontes de Variações	G.L	SQ	QM	F
Sistemas de Irrigação	4	38943,2845	9735,8211	3,188 *
Blocos	3	6555,4236	2185,1412	0,715 ^{ns}
Resíduos	12	36651,9304	3054,3275	
Total Corrigido	19	82150.6386		
Média	547,7725			
C.V. (%)	10,09	Número de observações:	20	

* Significativo a 5 % de probabilidade de erro pelo teste F;

^{ns} Não significativo pelo teste F.

A *MFCI* no sistema de gotejamento subsuperficial foi superior à aspersão convencional em 131,97 g, representando uma diferença de 78,47 % (Tabela 7). A máxima *MFCI* foi encontrada no tratamento utilizando o sistema de gotejamento subsuperficial (613,01 g), enquanto que a mínima foi observada no sistema por aspersão convencional (481,04 g).

O desvio padrão da média observado foi menor quando se utilizou o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, ou seja, as plantas irrigadas por este sistema apresentaram maior uniformidade com relação à massa da inflorescência. Resultados semelhantes foram observados por Kumar e Senseba (2008) trabalhando com diferentes sistemas de irrigação e avaliando a produtividade e o retorno econômico do brócolis de cabeça, com *MFCI* para os sistemas de gotejamento superficial, microaspersão, e por superfície de 550, 553 e 443 g respectivamente.

Tabela 7. Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável massa fresca comercial de inflorescência (*MFCI*) em (g).

Sistemas de Irrigação	<i>MFCI</i> (g)	Desvio Padrão da Média
Gotejamento Subsuperficial	613,01 a	28,23
Gotejamento Superficial	522,16 ab	31,86
Microaspersão	560,14 ab	37,12
Santeno [®]	552,51 ab	97,96
Aspersão Convencional	481,04 b	40,21

*valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

4.3.2. Massa fresca comercial de florete

Houve diferença significativa entre os tratamentos a 5 % de probabilidade de erro para a massa fresca comercial de florete (*MFCF*) (Tabela 8). A *MFCF* é um parâmetro importante principalmente para aqueles produtores que destinam a produção para a indústria, de modo que, são comercializados somente os floretes das inflorescências (CECÍLHO FILHO et al., 2012), então quando o destino da produção for o processamento industrial, deve-se buscar sistemas de irrigação que resultem em maior massa de florete por inflorescência.

Tabela 8. Análise de variância para a variável massa fresca comercial de florete (gramas por florete), em função dos sistemas de irrigação avaliados.

Fontes de Variações	G.L	SQ	QM	F
Sistemas de Irrigação	4	26017,5732	6404,3933	3,626 *
Blocos	3	4536,9155	1512,3051	0,843 ^{ns}
Resíduos	12	21523,9367	1793,6613	
Total Corrigido	19	52078,4255		
Média	421,8637			
C.V. (%)	10,04	Número de observações:	20	

* Significativo a 5 % de probabilidade de erro pelo teste F;

^{ns} Não significativo pelo teste F.

A maior *MFCF* foi encontrada utilizando o sistema de gotejamento subsuperficial (441,63 g), a menor foi observada no tratamento com aspersão convencional (367,38 g) (Tabela 9). A irrigação no cultivo de brócolis pode ser realizada por diferentes sistemas de irrigação (KUMAR e SENSEBA, 2008; STRANGE et al., 2010), porém se o destino da produção for o processamento industrial, diante dos resultados observados, os sistemas que apresentaram melhores condições para se obter maior retorno econômico são: gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e microaspersão e Santeno[®], pois apresentaram as maiores massas de florete.

Tabela 9. Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável massa fresca comercial de florete (*MFCF*) em (g).

Sistemas de Irrigação	<i>MFCF</i> (g)	Desvio Padrão da Média
Gotejamento Subsuperficial	471,63 a	20,61
Gotejamento Superficial	396,95 ab	20,81
Microaspersão	436,85 ab	27,48
Santeno [®]	436,51 ab	76,34
Aspersão Convencional	367,38 b	35,39

*valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

4.3.3. Diâmetro da inflorescência

O diâmetro da inflorescência (*DI*) complementa a *MFCF* na escolha do destino a ser dado para a produção, de modo que, estes dois parâmetros interferem diretamente no produto comercial para indústria (florete). Quando o destino da produção é a comercialização *in natura*, em geral, não há necessidade de se produzir inflorescências com grandes diâmetros e elevadas massas de florete, pois, na comercialização *in natura*, as plantas são comercializadas por unidade. No entanto, no processamento industrial, são comercializados somente os floretes, sendo assim, se torna de fundamental importância a obtenção de plantas uniformes e que apresentem grandes diâmetros, para que estes resultem em elevadas massas de florete (CECÍLIO FILHO et al., 2012).

Os tratamentos apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade de erro pelo teste F para a variável diâmetro da inflorescência (*DI*) (Tabela 10).

O maior *DI* foi observado no gotejamento subsuperficial (19,46 cm), e o menor foi observado na aspersão convencional (16,87 cm) (Tabela 11). O menor desvio padrão entre as médias de *DI* foi observado no tratamento onde se utilizou o sistema de gotejamento subsuperficial, logo, as plantas cultivadas com este sistema

apresentaram maior uniformidade de diâmetro de inflorescência em relação aos demais sistemas de irrigação avaliados.

Tabela 10. Análise de variância para a variável diâmetro da inflorescência (centímetros), em função dos sistemas de irrigação avaliados.

Fontes de Variações	G.L	SQ	QM	F
Sistemas de Irrigação	4	15,7342	3,9335	3,623*
Blocos	3	0,1250	0,0416	0,038 ^{ns}
Resíduos	12	13,0300	1,0858	
Total Corrigido	19	28,8893		
Média	18,2834			
C.V. (%)	5,70	Número de observações:	20	

* Significativo a 5 % de probabilidade de erro pelo teste F;

^{ns} Não significativo pelo teste F.

Tabela 11. Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável diâmetro da inflorescência (*DI*) em (cm).

Sistemas de Irrigação	<i>DI</i> (cm)	Desvio Padrão da Média
Gotejamento Subsuperficial	19,46 a	0,42
Gotejamento Superficial	17,77 ab	0,58
Microaspersão	18,72 ab	1,66
Santeno [®]	18,60 ab	0,66
Aspersão Convencional	16,87 b	0,82

*valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Resultados semelhantes foram observados por Lalla et al. (2010) utilizando irrigação por aspersão no cultivo de brócolis, o maior diâmetro encontrado por estes autores foi 16 cm. Menores diâmetros de inflorescência (12,4 a 11,1 cm) foram reportados por Kałużewicz et al. (2012) avaliando o efeito da temperatura no

desenvolvimento do brócolis de cabeça em diferentes épocas de semeadura, porém o brócolis foi cultivado no espaçamento de 0,5 x 0,5 m. Provavelmente houve redução do *DI* em relação aos reportados neste trabalho, devido ao adensamento das plantas (CECÍLIO FILHO et al., 2012), pois o espaçamento utilizado neste trabalho foi de 1,0 x 0,5 m.

4.3.4. Produtividade comercial de florete

De acordo com a análise de variância (Tabela 12), houve diferença significativa entre os tratamentos a 5 % de probabilidade de erro para a produtividade comercial de florete (*PCF*).

Tabela 12. Análise de variância para a variável produtividade comercial de florete (toneladas por hectare), em função dos sistemas de irrigação avaliados.

Fontes de Variações	G.L	SQ	QM	F
Sistemas de Irrigação	4	10,4070	2,6017	3,626 *
Blocos	3	1,8147	0,6049	0,843 ^{ns}
Resíduos	12	8,6095	0,7174	
Total Corrigido	19	20,8331		
Média	8,4372			
C.V. (%)	10,04	Número de observações:	20	

* Significativo a 5 % de probabilidade de erro pelo teste F;

^{ns} Não significativo pelo teste F.

A máxima *PCF* foi encontrada no tratamento com gotejamento subsuperficial (9,43 t ha⁻¹), o tratamento onde se utilizou a aspersão convencional apresentou diferença significativa em relação à máxima *PCF*, com produtividade média de 7,35 t ha⁻¹ (Figura 13). Resultados superiores foram encontrados por Cecílio Filho et al. (2012) avaliando doses de nitrogênio em diferentes espaçamentos na cultura do brócolis, obtiveram máxima e mínima *PCF* de 17,09 e 9,58 t ha⁻¹.

A população de plantas utilizada por estes autores para a máxima e mínima *PCF* foi de 62.500 e 25.000 plantas ha⁻¹ respectivamente. Enquanto que neste trabalho a população de plantas foi de 20.000 plantas ha⁻¹, provavelmente a redução da *PCF* ocorreu devido ao maior adensamento das plantas utilizado neste trabalho (CECÍLIO FILHO et al., 2012).

Tabela 13. Quadro de análises de médias entre os tratamentos, para a variável produtividade comercial de florete (*PCF*) em ($t\ ha^{-1}$).

Sistemas de Irrigação	<i>PCF</i> (cm)	Desvio Padrão da Média
Gotejamento Subsuperficial	9,43 a	0,41
Gotejamento Superficial	7,94 ab	0,42
Microaspersão	8,74 ab	0,55
Santeno [®]	8,73 ab	1,53
Aspersão Convencional	7,35 b	0,71

*valores seguidos mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5 % de probabilidade de erro.

4.3.5. Produtividade comercial de inflorescência

A produtividade comercial de inflorescência (*PCI*) apresentou diferença significativa entre os tratamentos avaliados a 5 % de probabilidade de erro pelo teste F (Tabela 14).

Houve diferença significativa entre os sistemas de gotejamento subsuperficial e aspersão convencional (Tabela 15). A máxima *PCI* foi encontrada utilizando gotejamento subsuperficial ($12,26\ t\ ha^{-1}$), enquanto que a mínima foi observada na aspersão convencional ($9,62\ t\ ha^{-1}$). Ocorreu uma diferença de $2,64\ t\ ha^{-1}$, ou seja, o gotejamento subsuperficial promoveu um incremento de 78,47 % em produtividade em relação à aspersão convencional.

Tabela 14. Análise de variância para a variável produtividade comercial de inflorescência (toneladas por hectare), em função dos sistemas de irrigação avaliados.

Fontes de Variações	G.L	SQ	QM	F
Sistemas de Irrigação	4	15,5773	3,8943	3,188 *
Blocos	3	2,6221	0,8740	0,715 ^{ns}
Resíduos	12	14,6607	1,2217	
Total Corrigido	19	32,8602		
Média	10,9554			
C.V. (%)	10,09	Número de observações:	20	

* Significativo a 5 % de probabilidade de erro pelo teste F;

^{ns} Não significativo pelo teste F.

Resultados semelhantes foram apresentados por Erdem et al. (2010) cultivando brócolis na primavera utilizando sistema de gotejamento superficial, a máxima produtividade reportada foi 11,02 t ha⁻¹ e a mínima foi 6,22 t ha⁻¹.

Há uma tendência com relação à produtividade obtida por diferentes sistemas de irrigação, sistemas que compreendem o método localizado geralmente não apresentam diferença significativa entre si, entretanto plantas irrigadas por aspersão convencional apresentam em geral menores produtividades em relação ao método localizado (WESTARP, CHIENG e SCHREIER, 2004; HANSON et al., 1997; LALLA et al., 2010).

Isto ocorre provavelmente devido ao melhor aproveitamento da água que ocorre no método localizado, pois em geral este método apresenta melhor desempenho, principalmente com relação à uniformidade de aplicação de água, além de apresentar um manejo que confere alta frequência de irrigação e baixo volume de água, contribuindo para a manutenção da umidade adequada no solo e proporcionando melhores condições de desenvolvimento para plantas (BENÍCIO et al., 2009; SOUZA et al., 2006; PAULINHO et al., 2009; DOUH et al., 2013).

Tabela 15. Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável produtividade comercial de inflorescência (*PCI*) em ($t\ ha^{-1}$).

Sistemas de Irrigação	<i>PCI</i> (cm)	Desvio Padrão da Média
Gotejamento Subsuperficial	12,26 a	0,56
Gotejamento Superficial	10,44 ab	0,64
Microaspersão	11,20 ab	0,74
Santeno [®]	11,25 ab	1,96
Aspersão Convencional	9,62 b	0,80

*valores seguidos pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

4.3.6. Produtividade da água

De acordo com a análise de variância a produtividade da água (*PA*), apresentou diferença significativa entre os tratamentos a 1 % de probabilidade de erro (Tabela 16).

A máxima *PA* foi encontrada utilizando gotejamento subsuperficial ($5,17\ kg\ m^{-3}$) e a mínima foi observada no tratamento irrigado por aspersão convencional ($3,43\ kg\ m^{-3}$). Os tratamentos com gotejamento superficial, microaspersão e Santeno[®], foram semelhantes entre si. O gotejamento superficial e a microaspersão, foram estatisticamente iguais à máxima *PA*, contudo o Santeno[®] foi estatisticamente igual à aspersão convencional (Tabela 17).

Resultados semelhantes foram observados por Erdem et al. (2010) utilizando gotejamento no cultivo de brócolis sob diferentes regimes de irrigação, em diferentes estações do ano, obtiveram média de *PA* variando entre $5,87$ a $13,50\ kg\ m^{-3}$ durante a primavera e $2,64$ a $5,39\ kg\ m^{-3}$ durante o outono. Segundo estes autores a *PA* variou de acordo com o regime de irrigação, no tratamento onde se aplicou 100 % da necessidade da planta, assim como realizado neste trabalho, a *PA* foi de $6,83$ e $3,04\ kg\ m^{-3}$ para a primavera e outono respectivamente.

O aumento da *PA* foi diretamente proporcional ao aumento do desempenho dos sistemas de irrigação. O sistema de gotejamento subsuperficial proporcionou maior produtividade da cultura (12,26 t ha⁻¹) com menor lâmina aplicada durante o ciclo de cultivo (236,94 mm), resultando na maior *PA* observada (5,17 kg m⁻³). A menor produtividade da cultura (9,62 t ha⁻¹) foi obtida no tratamento por aspersão convencional, onde houve maior lâmina aplicada durante o ciclo de cultivo (280,81 mm), resultando na menor *PA* encontrada (3,43 kg m⁻³). Kumar e Senseba (2008) também observaram a mesma tendência, onde as maiores *PA* foram encontradas em sistemas que compreendem o método localizado e apresentam melhor desempenho operacional.

Informações sobre a *PA* estão sendo utilizadas para estabelecer estratégias de consumo de água pelas culturas, busca-se reduzir a quantidade de água aplicada às culturas com o mínimo déficit na produtividade da mesma (HANSON et al., 1997; MARTIN et al., 2012). Nas condições desta pesquisa, a melhor estratégia para a condução da cultura de brócolis seria a utilização de métodos localizados de irrigação, com destaque para o gotejamento subsuperficial, pois diferentemente do reportado por Erdem et al. (2010) e Ayas, Orta e Yazgan (2011) este sistema apresentou a máxima produtividade da cultura com a máxima produtividade da água, ou seja, houve um melhor aproveitamento da água. Estes resultados sugerem que os demais sistemas avaliados proporcionaram maiores perdas da água aplicada (BESKOW et al., 2011; MARTIN et al., 2012; Souza et al., 2009).

Tabela 16. Análise de variância para a variável produtividade de água (quilogramas por metro cúbico de água), em função dos sistemas de irrigação avaliados.

Fontes de Variações	G.L	SQ	QM	F
Sistemas de Irrigação	4	7,4134	1,8533	9,686 **
Blocos	3	0,4443	0,1481	0,774 ^{ns}
Resíduos	12	2,2960	0,1913	
Total Corrigido	19	10,1538		
Média	4,2497			
C.V. (%)	10,29	Número de observações:	20	

** Significativo a 1 % de probabilidade de erro pelo teste F;

^{ns} Não significativo pelo teste F.

Tabela 17. Quadro de análises de médias entre os tratamentos para a variável produtividade de água (*PA*) em (kg m^{-3}).

Sistemas de Irrigação	<i>PA</i> (kg m^{-3})	Desvio Padrão da Média
Gotejamento Subsuperficial	5,17 a	0,20
Gotejamento Superficial	4,41 ab	0,21
Microaspersão	4,48 ab	0,31
Santeno [®]	3,76 bc	0,78
Aspersão Convencional	3,43 c	0,34

*valores seguidos mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

De posse da média da *PA* obtida em cada sistema de irrigação pode-se inferir que, 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 de água. Isto representa uma diferença de 66,67 % no consumo de água. Ressaltando que, esta sendo considerada apenas a água proveniente da irrigação, pois a *PA* foi estimada visando 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; FRIZZONE et al., 2012; LIMA et al., 2012).

5. CONCLUSÕES

Diante das condições em que o experimento foi realizado e dos resultados obtidos para o brócolis de cabeça submetidos a cinco sistemas de irrigação, pode-se concluir que:

- o desempenho dos sistemas de irrigação interferem diretamente na produtividade da água (*PA*) do brócolis de cabeça, quanto melhor o desempenho, maior *PA*. A maior *PA* foi observada no gotejamento subsuperficial ($5,17 \text{ kg m}^{-3}$) e a menor *PA* ocorreu na aspersão convencional ($3,43 \text{ kg m}^{-3}$).
- O método localizado proporcionou maiores massa de florete, diâmetro de inflorescência e produtividade de florete, sendo então mais adequado em relação ao sistema por aspersão convencional para a produção de brócolis de cabeça destinada ao processamento industrial.
- Os sistemas que compreendem o método localizado de irrigação (gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial, Santeno[®] e microaspersão) foram mais adequados para o cultivo de brócolis de cabeça, quando comparado com o sistema por aspersão convencional, com destaque para o gotejamento subsuperficial, pois proporcionou maior produtividade da cultura ($12,26 \text{ t ha}^{-1}$) com menor lâmina aplicada via irrigação (236,94 mm).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMAS TÉCNICAS. **Equipamentos de irrigação agrícola - Aspersores rotativos Parte 2: Uniformidade de distribuição e métodos de ensaio.** NBR ISO 7749-2. Rio de Janeiro, 2000. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORAMAS TÉCNICAS. **Equipamentos de irrigação agrícola – Emissores e tubo emissores – Especificação e métodos de ensaio.** ABNT PROJETO 04:015.08-016. Rio de Janeiro, 2005. 13p.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage, 56).

ASAE. **American Society of Agricultural Engineers.** Field evaluation of microirrigation systems. St. Joseph: ASAE, 1996. p.792-797.

ARAI, F. K.; PEREIRA, S. B.; OLIVEIRA, F. C.; DAMÁLIA, L. C. Caracterização hidromorfométrica da bacia do Dourados localizada no centro-sul do Mato Grosso do Sul. **Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 17, p.270-280, 2012.

AYAS, S.; ORTA, H.; YAZGAN, S. Deficit irrigation effects on broccoli (*Brassica oleracea* var. monet) yield in unheated greenhouse condition. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, Sofia, v. 17, n. 4, p.551-559, 2011.

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 4, n. 2, p.152-158, 2000.

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**, v.3, n.2, p.55-61, 2009.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BESKNOW, S.; FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; MOURA, D. C. M. Modelagem das perdas de água por evaporação e arraste em aspersores de média pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 3, p.221-228, 2011.

BJÖRKMANT, T.; PEARON, K. J. High temperature arrest of inflorescence development in broccoli (*Brassica oleracea var. italic* L.). **Journal of Experimental Botany**, Lancarter, v. 49, n. 318, p.101-106, 1998.

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.

BRANCO, R. B. F.; SANTOS, L. G. C.; GOTO, R.; ISHILICKMANN, S.; CHIARATI, C. S. Cultivo orgânico de hortaliças com dois sistemas de irrigação e duas coberturas de solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p.75-80, 2010.

BURMAN, R.; POCHOP, L.O. **Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data**. Amsterdam: ELSEVIER, 1994. 278p.

CECÍLIO FILHO, A. B.; SCHIAVON JUNIOR, 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.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, Experiment Station, 1942. 124p. Bulletin 670.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, v. 27, n. 50, p. 155-162, 1980.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, 1979. 306p. (tradução de H.R. GHEYI, A. A. DE SOUSA, F. A. V. DAMASCENO, J.F. DE MEDEIROS. 1994. Campina Grande, UFPB. 306p. Irrigação e drenagem, FAO 33).

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**, 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, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos/Embrapa Solos, 2009. 412 p.

ERDEM, T.; ARLN, L.; ERDEM, Y.; POLAT, S.; DEVECI, M.; OKURSOY, H.; GÜLTAŞ, H. Yield and quality response of drip irrigate broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) under different irrigation regimes, nitrogen applications and cultivation periods. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, n.5, p.681-688, 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computerstatisticalanalysis 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.

FILGUEIRA, F.A.R. Brássicas folhosas. In: **Manual de olericultura**. 8 ed. São Paulo: Agronômica Ceres. p.187-202, 1972.

FILGUEIRA, F. A. R. Brassicáceas. In: **Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças**. 2 ed. São Paulo: Agronômica Ceres. v. 2, p.33-75, 1982.

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.

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de M. **Irrigação: Série Engenharia Agrícola**. Piracicaba: FUNEP, 2003. v. 2. p. 573-651.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S.; REZENDE, R.; FARIA, MANOEL A.; **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1. ed. Maringá: Eduem, 2012. 356p.

GIORDANO, L. B. Melhoramento de Brássicas. **Informe Agropecuário**. V. 9, p.16-20, 1983.

GLEICK, P. H.; CHRISTIAN-SMITH, J.; COOLEY, H. Water-use efficiency and productivity: rethinking the basin approach. **Water International**, v. 36, n. 7, p.784-798, 2011.

HANSON, B. R.; SCHWENK, L. J.; SCHULBACH, K. F.; PETTYGROVE, G. S. A comparison of furrow, surface drip, and subsurface drip irrigation on lettuce yield and applied water. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 33, p.139-157, 1997.

HEID, D. M.; VITORINO, A. C. T.; TIRLONI, C.; HOFFMANN, N. T. K. Frações orgânicas e estabilidade dos agregados de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 51, p.143-160, 2009.

HEID, D. M.; VITORINO, A. C. T.; TIRLONI, C.; HOFFMANN, N. T. K. Frações orgânicas e estabilidade dos agregados de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 51, p.143-160, 2009.

HENRIQUE, F. A. N.; DANTAS, R. T.; Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 11, n. 6, p.594-599, 2007.

JESSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332p.

KALUŻEWICZ, A.; KRZESIŃSKI, W.; KNAFLEWSKI, M.; LISIECKA, J.; SPIŻEWSKI, T.; FRĄSZCZAK, B. Broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) head initiation under field conditions. **Acta Agrobotânica**, Lublin, v. 65, n. 2, p.93-98, 2012.

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**, 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.

LOPES, O. D.; KOBAYASHI, M. K.; OLIVEIRA, F. G.; ALVARENGA, I. C. A.; MARTINS, E. R.; CORSATO, C. E. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 6, p.548-553, 2011.

KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. Trans. 6th comm. Intern. **Society Soil Science**, Moscou, Part A., 17-21, 1932.

MAEDA, E. E.; WIBERG, D. A.; PELLIKKA, P. K. E. Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 251-258, 2011.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; POLARETTI, L. F.; **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009.

MARQUELLI, W. A.; LOPES, C. A.; SILVA, W. L. C.; Incidência de murcha-bacteriana em tomate para processamento sob irrigação por gotejamento e aspersão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p.320-323, 2005.

MARTIN, J. D.; CARLESSO, R.; AIRES, N. P. GATTO, J. C.; DUBOU, V.; FRIES, H. M.; SCHEIBLER, R. B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, edição especial, p. 192-205, 2012.

MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. R.; PEIXOTO, J. R. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n.1, p.23-28, 2010.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

MOLDEN, D.; OWEIS, T.; STEDUTO, P.; BINDRABAN, P.; HANJRA, M. A.; KIJNE, J. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 4, p. 528-535, 2010.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. In Symposium of the society for experimental biology, 19., 1965, Swansea. **Proceedings...** Cambridge: University Press, 1965. p.205-234.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; NETO, D. E. S.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p.617-625, 2011.

OPENA, R.T.; KUO, C.G.; YOON, J.Y. **Breeding and seed production of chinese cabbage in the tropics and subtropics**. Tainan, Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center, 1988. 92p. (Technical Bulletin, 17).

ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. **Irrigation Science**, v. 28, n. 1, p. 1-3, 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**, v.3, n.2, p.48-54, 2009.

PASTEL, N.; RAJPUT, T. B. S. Effect of subsurface drip irrigation on onion yield. **Irrigation Science**, v. 27, p.97-108, 2009.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of The Royal Society**, London, v. 193, n. 1032, p.120-145, 1948.

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

PEREIRA, L. C.; VALERO, J. A. J.; BUENDÍA, M. R. P.; MARTÍN-BENITO, J. M. T. El riego y sus tecnologías. 1. ed. Albacete: CREA-UCLM, 2010. 296P.

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.

RODRIGO LÓPEZ, J.; HERNÁNDEZ ABREU, J. M.; PÉREZ REGALADO, A.; GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, J. F. **Riego localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405p.

SEZEN, S. M.; YAZAR, A.; TEKIN, S.; EKER, S.; KAPUR, B. Yield and quality response of drip-irrigated pepper under Mediterranean climatic conditions to various water regimes. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 8, p.1329-1339, 2011.

SILVA, A. J.P.; COELHO, E. F.; SÁ, T. S.; SILVA, V. P.; CARVALHO, A. J. A.; SANTOS, D. B.; SILVA, T. S. M. Uso de água captada de chuva para produção de alface irrigada por sistemas de irrigação de baixo custo. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de chuva, Campina Grande/PB. **Anais...8º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de chuva**, 2012.

SMITH, M.; ALLEN, R. G.; MONTEITH, J. L.; PERRIER, A.; PEREIRA, L. S.;SEGREREN, A. **Report on the expert consultation on produceres for revision of FAO guilines for predicatins of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991.

SOUZA, R.J. Origem botânica das brássicas. **Informe Agropecuário**. v.9, p.10-12, 1983.

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. 711p.

SOUZA, W. J.; BOTREI, T. A.; COELHO, R. D.; NOVA, N. A. V. Irrigação localizada subsuperficial: Gotejador convencional e novo protótipo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 16, n. 8, p.811-819, 2012.

SOUZA, J. A. B.; DIAS, N. S.; NETO, F. S.; NETO, M. F. Produtividade da bananeira sob diferentes uniformidade de distribuição de água no Distrito Irrigado do Baixo Assú, RN. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n. 3, p.311-317, 2009.

STRANGE, M. L.; CSHN, M. D.; KOIKE, S. T.; SMITH, R. F.; DAUGOVISH, O.; FENNIMOR, S. A.; NATWICK, E. T.; DARA, S. K.; TAKELE, E.; CANTWELL, M. **Broccoli production in California**. University of California, Davis, 2003. 6p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; AZEVEDO FILHO.; TAVARES, M. Brócolos, couve-flor e repolho, 1997. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, p. 175. (Boletim técnico).

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. 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**, v.44, p.892-898, 1980.

VAZIFEDOUST, M.; van DAM, J.C.; FEDDES, R.A.; FEIZI, M. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 2, p. 89-102, 2008.

VIETS, F. G. Fertilizers and the efficient use of water. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 14, n. 1, p. 223-264, 1962.

VILLALOBOS-REYES, S.; CASTELLANOS, J. Z.; TIJERINA-CHÁVEZ, L.; CRESPO-PICHARDO, G. Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre rendimiento y calidad del brócoli con riego por goteo. **Terra Latino Americana**, v. 23, n. 3, p.321-328, 2005.

WESTARP, S von.; CHIENG, S.; SCHREIER, H. A comparison between low-cost drip irrigation, conventional drip irrigation, and hand watering in Nepal. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 34, n. 2, p. 143-160, 2004.

WU, I. P. An assessment of hydraulic design of micro-irrigation systems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 32, n. 3, p. 275-284, 1997.

YAO, W. W.; MA, Y. Y.; LI, J.; PARKES, M. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science**, v. 29, p.331-339, 2010.

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 Agrícola**, Viçosa, v. 12, n. 3, p.290-297, 2004.