

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL E FERTIRRIGAÇÃO:  
DESEMPENHO E CUSTOS NA CULTURA DO BRÓCOLIS**

**Karoline Maso dos Reis**

Engenheira Agrônoma

**2020**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL E FERTIRRIGAÇÃO: DESEMPENHO  
E CUSTOS NA CULTURA DO BRÓCOLIS**

**Discente: M.Sc. Karoline Maso dos Reis**

**Orientador: Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti**

**Coorientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Barreto**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo).

R375i

Reis, Karoline Maso dos

Irrigação subsuperficial e fertirrigação: desempenho e custos na cultura do brócolis / Karoline Maso dos Reis. -- Jaboticabal, 2020  
64 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Luiz Fabiano Palaretti

Coorientador: Antônio Carlos Barreto

1. Brassica oleracea var. itálica. 2. Irrigação localizada. 3. Adubação.  
4. Eficiência econômica. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL E FERTIRRIGAÇÃO: DESEMPENHO E CUSTOS NA CULTURA DO BRÓCOLIS

**AUTORA: KAROLINE MASO DOS REIS**

**ORIENTADOR: LUIZ FABIANO PALARETTI**

**COORIENTADOR: ANTÔNIO CARLOS BARRETO**

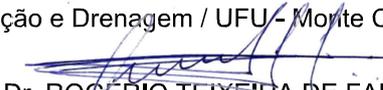
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



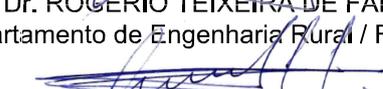
Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI  
Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. EUSÍMIO FELISBINO FRAGA JÚNIOR  
Irrigação e Drenagem / UFU - Monte Carmelo/MG



Prof. Dr. ROGERIO TEIXEIRA DE FARIA  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ  
Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP



Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECÍLIO FILHO  
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Fitossanidade) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 15 de setembro de 2020

## DADOS CURRICULARES DA AUTORA

**Karoline Maso dos Reis**, filha de Antonia Eliete Maso e Fernando Luis dos Reis, nasceu em Altinópolis/SP, em 20/01/1992. Ingressou no Ensino Fundamental em 1999, na Escola Municipal “Coronel Joaquim da Cunha”, em Altinópolis. De 2007 a 2009, cursou o Ensino Médio na ETEC “Antônio de Pádua Cardoso” em Batatais – SP. Cursou Engenharia Agrônoma no IFTM - *campus* Uberaba – MG, de 2010 a 2014. Foi bolsista PIBIC/IFTM em 2011, do projeto “Doses de nitrogênio e potássio na produção e qualidade de couve brócolos de cabeça única” e em 2012, do projeto “Doses de nitrogênio e potássio na produção e qualidade da cultura da couve-flor”. De 2015 a 2017, cursou o Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na FCAV/UNESP – Jaboticabal – SP, defendeu a dissertação “Vazão e uniformidade de distribuição de tubo gotejador em superfície e subsuperfície” e iniciou o Doutorado, em 2017, neste mesmo Programa. Desde 2013, é servidora no IFTM - *campus* Uberaba.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por toda Sua criação, e por durante este trabalho ter me dado forças e coragem para seguir em frente apesar das dificuldades.

Aos meus pais, Antonia Eliete Maso e Fernando Luis dos Reis e meus irmãos, Daniel e Lorena, pelo apoio nesta trajetória de estudos e também pela ajuda com o experimento.

Ao meu esposo Fellipe, pela ajuda muito bem-vinda, nos finais de semana cuidando do experimento, nas inúmeras leituras do meu trabalho e tantos outros momentos em que precisei.

Aos alunos do curso de Engenharia Agrônômica do IFTM – *campus* Uberaba: Ana Luisa Nascimento, Verônica Zampieron, Isabela Silva, João Paulo Souza, pela prontidão em ajudar nas avaliações.

À Matilde pelo incentivo, pela paciência e companheirismo neste período de doutoramento.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Antônio Carlos Barreto, sem sua ajuda este trabalho não seria possível, minha eterna gratidão pela disponibilidade e por todas as contribuições em minha formação.

Ao Prof. Dr. José Renato Zanini pela atenção, pela amizade e pelo apoio durante o mestrado e doutorado.

Ao Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti pela orientação e auxílio na elaboração deste trabalho.

Ao IFTM – *campus* Uberaba, representado pelo Prof. Dr. Daniel Rufino e Prof. Dr. Rodrigo Leitão, pela possibilidade implantar o experimento no campus.

À NaanDanJain pelo fornecimento dos tubos gotejadores e pela atenção que nos deu.

Você ganha força, coragem e confiança através de cada experiência em que você realmente para e encara o medo de frente.

Eleanor Roosevelt

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO .....</b>	<b>3</b>
2.1 Brócolis .....	3
2.2 Irrigação .....	5
2.2.1 Irrigação por gotejamento subsuperficial .....	5
2.2.2 Manejo da irrigação .....	6
2.2.3 Desempenho do sistema de irrigação .....	8
2.3 Fertirrigação .....	11
2.4 Custos .....	12
2.4.1 Custos na Fertirrigação .....	12
2.4.2 Custos na irrigação .....	12
2.4.3 Composição dos Custos de produção .....	13
2.5 Indicadores de Eficiência Econômica .....	16
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1 Caracterização da área experimental .....	17
3.2 Delineamento experimental .....	18
3.3 Projeto de irrigação .....	19
3.3.1 Projeto agrônômico .....	19
3.3.2 Projeto hidráulico .....	20
3.4 Adubação e Fertirrigação .....	22
3.5 Manejo da irrigação .....	23
3.5.1 Estimativa da Evapotranspiração .....	24
3.5.2 Ajuste do coeficiente da cultura (Kc) .....	24
3.5.3 Cálculo da lâmina de irrigação .....	25
3.6 Monitoramento da umidade do solo .....	26
3.7 Avaliação hidráulica .....	27
3.8 Avaliação da Cultura .....	29
3.9 Avaliação de Custos .....	29
3.9.1 Custo Fixo .....	30

3.9.2 Custo Variável .....	31
3.9.3 Custo Total .....	31
3.9.4 Indicadores de eficiência econômica .....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
4.1 Vazão e uniformidade do tubo gotejador .....	33
4.2 Dados meteorológicos .....	36
4.3 Produção dos Brócolis .....	42
4.4 Custos.....	44
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>60</b>
APÊNDICE A. Custo de produção do brócolis.....	61
APÊNDICE B. Projeto de irrigação .....	62
APÊNDICE C. Lista de Materiais para o sistema irrigação.....	63

## IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL E FERTIRRIGAÇÃO: DESEMPENHO E CUSTOS NA CULTURA DO BRÓCOLIS

**RESUMO** – A irrigação é uma estratégia reconhecida no incremento de produtividade, por proteger a lavoura da sazonalidade das chuvas, porém a decisão de seu uso deve ser embasada em critérios técnicos e operacionais, bem como, nos impactos econômicos e ambientais oriundos da utilização da mesma. O objetivo no trabalho foi avaliar o desempenho hidráulico, o desenvolvimento da cultura de brócolis ‘tipo cabeça única’ e os custos na irrigação por gotejamento em superfície e subsuperfície com e sem fertirrigação. O experimento foi no delineamento em blocos casualizados (DBC), com 4 repetições e conduzido em esquema fatorial 3 x 2, sendo o primeiro fator as profundidades 0; 0,10 e 0,20 m de enterrio do tubo gotejador; e o segundo fator a aplicação de fertilizantes via água de irrigação (fertirrigação) e manual (convencional), totalizando 6 tratamentos. Foram avaliadas as características hidráulicas do sistema, a produtividade do brócolis e os custos de implantação e operação dos sistemas de irrigação. A aferição hidráulica dos tubos gotejadores antes e após o uso, com ensaios para determinação: vazão, coeficiente de variação de vazão (CVq), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e grau de entupimento (GE). Os custos fixos, aqueles que independem da produção como os tubos gotejadores, injetor de fertilizantes e outros, e variáveis, que dependem da produção como mão de obra, fertilizantes, energia elétrica e outros. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F. A irrigação por gotejamento em superfície ou subsuperfície e a aplicação de adubos via fertirrigação ou adubação manual não interferiram no desempenho dos tubos gotejadores e não provocaram alterações significativas na produtividade do brócolis. A fertirrigação resulta em menor custo de produção (2,18%) comparativamente à adubação manual e o enterrio do tubo gotejador em maior custo (1,60%) de produção que a irrigação em superfície.

**Palavras-chave:** *Brassica oleracea var. italica*, irrigação localizada, adubação, eficiência econômica

## **SUBSUPERFICIAL IRRIGATION AND FERTIRRIGATION: PERFORMANCE AND COSTS IN BROCCOLI CULTURE**

**ABSTRACT** – Irrigation is a recognized strategy for increasing productivity, as it protects crops from the seasonality of rainfall, but the decision of using it them should be based on technical and operational criteria, as well as on the economic and environmental impacts arising from their use. The objective in the work was to evaluate the hydraulic performance, the development of the crop of 'single head broccoli' and the cost of surface and subsurface drip irrigation and without fertirrigation. The experiment was in a randomized block design (DBC), with 4 replications and conducted in a 3 x 2 factorial scheme, with the first factor being depths 0; 0.10 and 0.20 m for the drip tube to enter; and the second factor is the application of fertilizers via irrigation (fertirrigation) and manual (conventional) water, totaling 6 treatments.. The hydraulic characteristics of the system, the productivity of the broccoli and the costs of implantation and operation of the irrigation systems were evaluated. The hydraulic measurement of the drip tubes before and after use, with tests to determination: flow, flow variation coefficient (CVq), Christiansen's uniformity coefficient (CUC) and distribution uniformity coefficient (CUD) and degree of clogging (GE). Fixed costs, those that are independent of production, such as drip tubes, fertilizer injectors and others, and variables, which depend on production such as labor, fertilizers, electricity and others. The data were subjected to analysis of variance by the F test. Drip irrigation on surface or subsurface and the application of fertilizers via fertirrigation or manual fertilization did not interfere with the performance of drip tubes and did not cause significant changes in broccoli productivity. Fertirrigation results in a lower cost of production (2.18%) compared to manual fertilization and the burial of the drip tube at a higher cost (1.60%) of production than surface irrigation.

**Keywords:** *Brassica oleracea var. italica*, localized irrigation, fertilization, economic efficiency

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1.	Estádio de desenvolvimento, duração e coeficiente de cultivo do Brócolis.....	8
Tabela 2.	Classificação do CUC para emissores gotejadores.....	9
Tabela 3.	Classificação do CUD para emissores gotejadores.....	10
Tabela 4.	Índices do GE para quantificar o a severidade do grau de entupimento nos gotejadores.....	11
Tabela 5.	Vida útil de componentes do sistema de irrigação localizada.....	14
Tabela 6.	Custo de manutenção anual de componentes do sistema de irrigação localizada.....	15
Tabela 7.	Resultados da análise de Solo.....	17
Tabela 8.	Vida útil e valor residual para os componentes do sistema de irrigação e fertirrigação.....	30
Tabela 9.	Resultados da análise de variância da vazão, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de variação da vazão (CVq).....	33
Tabela 10.	Resultados da análise de variância do grau de entupimento (GE).....	35
Tabela 11.	Análise de variância do brócolis: diâmetro da cabeça, diâmetro do caule, massa fresca, altura da cabeça, dias do transplântio até a colheita (DAT).....	42
Tabela 12.	Porcentagem dos custos fixos e variáveis na produção de brócolis com uso de irrigação por gotejamento em superfície ou em subsuperfície e uso de fertirrigação ou adubação manual.....	45
Tabela 13.	Indicadores de eficiência econômica para brócolis de cabeça única....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Instalação dos tubos gotejadores.....	18
Figura 2.	Croqui do delineamento experimental.....	19
Figura 3.	Injeção de fertilizantes na irrigação.....	23
Figura 4.	Coeficiente de cultivo (Kc) para a cultura do brócolis, obtido de Doorenbos e Kassam (1979) e ajustado diariamente.....	24
Figura 5.	Funil de Haines e extrator de Richards utilizados na determinação da curva característica de retenção de água no solo.....	26
Figura 6.	Percentual de emissores em função do grau de entupimento.....	35
Figura 7.	Temperaturas diárias máxima, mínima e média aferidas, limite superior e inferior da média e limite superior da máxima temperatura.....	36
Figura 8.	Umidade relativa máxima, mínima e média.....	37
Figura 9.	Evapotranspiração da cultura diária e a acumulada.....	38
Figura 10.	Lâmina aplicada e precipitação considerada efetiva no período experimental.....	38
Figura 11.	Curva características de retenção de água no solo nas profundidades de 0,20 e 0,40 m.....	39
Figura 12.	Comportamento da tensão de retenção de água no solo em função da posição de instalação dos tubos gotejadores.....	40
Figura 13.	Variação da umidade do solo na camada de 0-20 cm em função da posição dos tubos gotejadores, capacidade de campo (CC) e limite inferior de umidade (Limite) recomendado para cultura do brócolis.....	40
Figura 14.	Variação da umidade do solo na camada de 0-40 cm em função da posição dos tubos gotejadores, capacidade de campo e limite inferior de umidade recomendado para cultura do brócolis.....	41

## 1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (2017) estima que, até 2050, o consumo de alimentos será 70% maior que o atual, logo para atender a tal demanda o uso de irrigação será uma estratégia indispensável, permitindo a intensificação da produção agrícola mundial.

Atualmente, o Brasil possui 7,3 milhões de hectares irrigados (ANA, 2019) com perspectiva de 11,5 milhões em 2024 (FAO, 2017). Neste sentido, o uso eficiente da água na agricultura é indispensável para a garantia do recurso hídrico para os demais setores, ao mesmo tempo em que aporta água para a produção de alimentos.

A segurança alimentar é definida no campo de produção e a irrigação somada a técnicas como a fertirrigação possibilitam o incremento de produtividade na agricultura, [...] (Marouelli e Sousa, 2011), no entanto, para o produtor rural é necessária a busca do equilíbrio entre o uso da água, os custos de produção, a produtividade e qualidade dos alimentos, bem como da saúde financeira do empreendimento. A preocupação em atender à demanda de alimentos dispense esforços no sentido de se ofertar, em quantidade e qualidade satisfatórias, alimentos com garantias mínimas nutricionais e de baixa caloria, como as hortaliças.

No Brasil, o consumo *per capita* de brócolis é baixo, cerca de 1,04 kg ano<sup>-1</sup>, em relação à países como os EUA e Itália, cujo consumo é de 3,8 e 7,24 kg ano<sup>-1</sup> (Sakata, 2017). Acredita-se no crescimento do consumo, já que em 2019 foram comercializados, nos Ceasas, 40 mil toneladas de brócolis representando R\$ 150 milhões (CONAB, 2019), soma-se ainda o volume industrializado de brócolis, principalmente, para congelados.

Níveis satisfatórios de produtividade e qualidade de brócolis de cabeça única, podem ser obtidos com o uso da irrigação localizada subsuperficial associada à fertirrigação, uma vez que estas são técnicas que permitem a aplicação de água e fertilizantes diretamente na zona de desenvolvimento radicular e, de acordo com Faria (2000), proporciona maior eficiência de uso dos insumos, economia no controle fitossanitário e na mão de obra.

Todavia, a rede hidráulica e os gotejadores utilizados na irrigação subsuperficial são passíveis de obstrução causada pela sucção de partículas do solo para o interior da tubulação; pela intrusão radicular; pela formação de precipitados

orgânicos e minerais ou sedimentos de argila e silte, acumulados em função da qualidade da água utilizada na irrigação.

A forma localizada de molhamento, no uso do gotejamento, restringe as raízes ao bulbo molhado, limitando o volume de solo explorado, podendo acarretar desequilíbrio nutricional.

Acrescido a isso, elevados custos de implantação da irrigação localizada subsuperficial podem inviabilizar o investimento e devem ser bem elucidados para auxiliar o produtor na tomada de decisão da melhor estratégia de implantação.

O déficit hídrico e nutricional ocasiona distúrbios fisiológicos que comprometem a qualidade e produtividade da planta de brócolis, portanto, água e fertilizantes de qualidade são insumos inerentes e expressivos na composição dos custos de produção da cultura. Deste modo, o cômputo dos riscos e os investimentos necessários devem definir a estratégia de manejo da cultura para que haja rentabilidade no processo produtivo.

## **OBJETIVO**

Avaliar o desempenho hidráulico de tubo gotejadores, o desenvolvimento da cultura e os custos na irrigação por gotejamento em superfície e subsuperfície, com e sem fertirrigação na cultura de brócolis de cabeça única.

## 2 REVISÃO

### 2.1 Brócolis

A *Brassica oleracea* var. *italica*, conhecido popularmente como brócolis, brócolos ou couve-brócolos, é variedade botânica da espécie *Brassica oleracea* que pertence à família *Brassicaceae* (crucíferas), da qual também fazem parte a couve-flor, o repolho, a couve e espécies distintas como a mostarda, o nabo, o rabanete, o agrião, entre outras (Schiavon et al., 2015).

O brócolis desenvolve-se melhor em regiões de clima ameno. Sob temperaturas médias de 15 a 18 °C e máxima de 24 °C, há melhor desenvolvimento produtivo e qualitativo das plantas (Trevisan et al., 2003). Períodos prolongados de temperatura acima de 25 °C podem retardar a formação das inflorescências em plantas que se encontram em fase de crescimento vegetativo, reduzindo o tamanho das mesmas e causando desenvolvimento de folhas ou brácteas nos pedúnculos florais (Bjorkman e Pearson, 1998).

No entanto, o brócolis também pode ser produtivo em condições de clima quente, mediante o uso de cultivares tolerantes a temperaturas altas permitindo a ampliação das regiões de cultivo (Trevisan et al., 2003).

No verão/outono ocorre redução na oferta de produtos no mercado e consequente alta dos preços em decorrência da conjuntura climatológica de temperaturas elevadas e chuva, situação essa que se culmina em dificuldades de produção por diversos fatores, oferta ainda limitada de cultivares com tolerância ao calor e pela suscetibilidade a doenças e pragas adaptadas a essas condições. (Melo et al., 2017).

Em 2019, a região Sudeste foi a maior produtora de brócolis, com 29 mil toneladas, seguida pela região Sul com 8,8 mil toneladas; Centro-Oeste com 1,8 mil toneladas e Nordeste com 226 toneladas (CONAB, 2019). A comercialização do produto foi feita em Ceasas das regiões Sudeste por R\$ 2,60 kg<sup>-1</sup>; Sul por R\$ 3,26 kg<sup>-1</sup>; Centro-Oeste por R\$ 3,30 kg<sup>-1</sup>; Nordeste por R\$ 7,59 kg<sup>-1</sup> e Norte por R\$ 3,48 kg<sup>-1</sup>. Em resumo, foram comercializadas 40 mil toneladas de brócolis com média de R\$ 3,76 kg<sup>-1</sup> de produto totalizando R\$ 150 milhões.

A variação na precificação observada acima se deve ao fato de que em regiões mais quentes ocorre elevação no preço do brócolis ocasionado pela oferta de produto importado de regiões de clima ameno (Seabra Jr et al., 2014).

De acordo com Schiavon et al. (2015), os brócolis apresentam grande potencial de posicionamento no mercado consumidor em razão da apreciação nos diferentes tipos de culinária, suas propriedades nutricionais e o teor de compostos relacionados à saúde. Os compostos ativos com efeitos fisiológicos no brócolis são: carotenoides que atuam como antioxidante e anticancerígeno (útero, próstata, seio, cólon, reto e pulmão); glucosinolatos que atuam na detoxificação do fígado, como anticancerígeno e antimutagênico; ácido fenólico atua como antioxidante e flavonoides como antioxidante, redução do risco de câncer e de doença cardiovascular, de acordo com Basho e Bin (2010).

A cadeia produtiva das brássicas tem se destacado nos últimos anos por sua importância econômica, com volumes de produção significativos nas principais regiões produtoras brasileiras e retorno financeiro em tempo relativamente curto para os produtores, inclusive em áreas consideradas de pequena extensão (Melo et al., 2017). Além da importância econômica, os brócolis têm grande impacto social na geração de empregos diretos e indiretos, desde o plantio até a industrialização (Schiavon et al., 2015).

As hortaliças, de um modo geral, têm desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo. Mesmo em regiões úmidas ou durante a estação chuvosa, a deficiência de água no solo, quando da ocorrência de veranicos, é frequentemente fator limitante para a obtenção de produtividades elevadas e de boa qualidade. Assim, a suplementação das necessidades hídricas das plantas por meio da irrigação é essencial para o sucesso da produção da maioria das hortaliças (Marouelli e Sousa, 2011).

A produtividade e a qualidade das hortaliças também podem ser prejudicadas dependendo da forma com que a água é aplicada às plantas. A adoção de um sistema de irrigação que não seja adequado para a cultura pode inviabilizar todo o empreendimento, haja vista os altos custos de produção, aquisição e manutenção dos sistemas de irrigação, e o alto valor agregado das hortaliças (Marouelli e Sousa, 2011).

Neste sentido, o uso de sistemas de irrigação localizada é benéfico e permite a expansão do mercado com possibilidades de adoção da tecnologia por uma parcela de produtores que podem ser influenciados pelas vantagens de economia de água e energia.

Sistemas de irrigação por gotejamento, antes não utilizados pelos agricultores com justificativas de terem maior custo, vêm aos poucos sendo adotados. Alguns

produtores de São Paulo e Minas Gerais têm percebido os benefícios desse sistema, com relatos de bons rendimentos e melhor sanidade das plantas (Melo et al., 2017).

## 2.2 Irrigação

### 2.2.1 Irrigação por gotejamento subsuperficial

Na irrigação localizada, a água é aplicada diretamente na região radicular com baixa intensidade e alta frequência (turno de rega pequeno), mantendo-se a umidade do solo sempre próxima à capacidade de campo (Mantovani; Salassier; Palaretti, 2013).

Dentre os vários sistemas de irrigação localizada tem-se o gotejamento subsuperficial, que se caracteriza pelo enterrio do tubo gotejador próximo à zona radicular da cultura, em profundidade adequada que possibilite a irrigação.

Embora ainda seja incipiente a adoção do gotejamento subsuperficial, acredita-se que seu potencial de uso é grande, definido pela alta eficiência no uso de água, obtida neste método. Somam-se a isso a diminuição dos riscos à saúde humana quando do uso de águas residuárias (Resende et al., 2014) e produtos fitossanitários.

De acordo com Andrade e Brito (2009), dentre as vantagens da irrigação em subsuperfície tem-se a remoção das linhas laterais da superfície do solo, o que facilita o tráfego e os tratos culturais, além de maior vida útil. Outra é que a área molhada na superfície não existe ou é muito pequena, reduzindo ainda mais a evaporação direta da água do solo.

Não só minimizando o desperdício de água e reduzindo impactos ambientais, a adoção e o uso de tecnologias poupadoras de água proporcionam ganhos significativos de produtividade e, dessa forma, proporciona maior sustentabilidade econômica ao produtor (Marouelli e Sousa, 2011).

Dentre as limitações do uso da irrigação em subsuperfície, de acordo com Testezlaf (2017), pontuam-se: alto custo inicial de investimento; impossibilidade de visualizar a operação do sistema; ocorrência de entupimentos por sucção de solo, por pinçamento das linhas ou por intrusão radicular; exigência em água de qualidade; mais necessidade de manutenção; necessidade de injeção de produtos para lavagem e desinfecção da rede de tubulações (ácidos, peróxido, herbicida e cloro), maior frequência de lavagem das tubulações; variedade de componentes hidráulicos (válvula antivácuo, válvula antidrenantes, etc.); potencial de restrição do volume

radicular ao bulbo molhado; perdas por percolação em solos arenosos e potencial de limitação na germinação de sementes.

Todavia, os sistemas em subsuperficiais são caracterizados pelo uso reduzido de energia e de mão de obra e por eficiente uso de água e fertilizantes. Algumas outras vantagens são: pequena interferência nas práticas culturais; possibilidade do uso de água com certo grau de salinidade; alta adaptabilidade a solos e relevos; possibilidade de automação parcial e total (Marouelli e Sousa, 2011).

### 2.2.2 Manejo da irrigação

Visando à máxima produtividade das culturas, todo o sistema de irrigação deve satisfazer ao mesmo objetivo: suprir de água o sistema solo-planta para satisfazer totalmente o déficit de evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), principalmente no seu período mais crítico (Frizzone et al., 2012).

A ET<sub>c</sub> retrata a demanda hídrica da cultura. É calculada pelo produto entre a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultivo (k<sub>c</sub>). Estes componentes interagem a evaporação da água do solo, a transpiração da planta e características do dossel vegetativo.

### Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é um importante parâmetro agrometeorológico, principalmente para planejamento e manejo de irrigação. A ET<sub>o</sub> é um elemento meteorológico de demanda hídrica, daí sua aplicação em estudos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos (Carvalho et al., 2011).

De acordo com Allen e Pereira (2006), o método de melhor comportamento e consistência na estimativa da ET<sub>o</sub> é o FAO Penman-Monteith. É considerado o método de cálculo padrão no escopo global, principalmente porque apresenta alta probabilidade em prever corretamente os valores da ET<sub>o</sub> em ampla faixa geográfica e clima.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pode ser estimada diariamente pela equação FAO - Penman-Monteith (Allen et al., 1998), Equação 1.

$$ET_o = \frac{0,408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \left( \frac{900}{T + 273} \right) \times u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times u_2)} \quad \text{Equação (1)}$$

em que:

$E_{To}$  - evapotranspiração de referência,  $\text{mm d}^{-1}$ ;

$\Delta$  - declividade da curva de pressão de vapor na saturação versus temperatura do ar,  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$R_n$  - saldo de radiação na superfície do cultivo,  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;

$G$  - fluxo total de calor no solo,  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ;

$\gamma$  - coeficiente psicrométrico,  $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$u_2$  - velocidade do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;

$e_s$  - pressão de vapor na saturação,  $\text{kPa}$ ;

$e_a$  - pressão de vapor atual,  $\text{kPa}$ ;

$T$  - temperatura média diária do ar a 2 m de altura,  $^\circ\text{C}$ .

### **Evapotranspiração de oásis**

De acordo com Allen e Pereira (2006), quando a evapotranspiração é estimada para pequenas áreas isoladas de vegetação, terra seca (efeito de oásis), ou cercadas por vegetação de menor altura (efeito varal), o valor de  $K_c$  pode exceder a 100%. Nessa situação, grandes quantidades de calor sensível são geradas nas áreas circundantes devido à falta de evapotranspiração, sendo que uma parte desse calor sensível é transportada por advecção para a vegetação que está na direção do vento.

Para pequenas áreas de irrigação em regiões secas, a advecção atmosférica pode precisar ser levada em consideração (McMahon, et al., 2013), sendo que de acordo com os autores para uma área de largura de 300 m, o  $K_c$  seria aumentado em 20%.

### **Coeficiente de cultura ( $K_c$ )**

De acordo com Allen e Pereira (2006), a evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ) distingue da evapotranspiração de referência na medida em que suas características de cobertura do solo, propriedades da vegetação e resistência aerodinâmica diferem das características correspondentes na grama, que é o padrão para determinação da evapotranspiração de referência. O efeito das características da cultura de interesse que diferem do cultivo de grama é incorporado no coeficiente de cultura ( $K_c$ ),

permitindo assim da determinação da  $ET_c$ , que resulta da multiplicação do  $K_c$  pela  $ET_o$ .

Os valores de  $K_c$ , na Tabela 1, para o cultivo de brócolis foram determinados por Doorenbos e Kassam (1979).

Tabela 1. Estádio de desenvolvimento, duração e coeficiente de cultivo do Brócolis

Estádio	Duração (dias)	$K_c$
Inicial (I)	12	0,45
Vegetativo (II)	33	0,80
Florescimento (IV)	36	1,05
Maturação (IV)	-	0,90

Fonte: Doorenbos e Kassam (1979).

### Evapotranspiração localizada (KI)

Devido à forma de molhamento da irrigação localizada, em que não se molha toda a área, faz-se necessária uma correção que reduza a evapotranspiração, por influência da redução da evaporação direta do solo da área não molhada (Mantovani, Bernardo e Palaretti, 2013).

A definição do valor de correção é dada em função da área molhada ou da área sombreada, prevalecendo sempre a maior valor percentual. Keller (1978), desenvolveu uma equação que, de acordo com Mantovani, Bernardo e Palaretti (2013), nas observações de campo tem se ajustado as culturas de maior densidade de plantio (hortícolas).

#### 2.2.3 Desempenho do sistema de irrigação

A utilização do sistema de irrigação localizada é muito importante para a melhoria da utilização dos recursos hídricos, por reduzir o consumo de água e energia, devido este ser um sistema de alta eficiência (Lima Junior e Silva, 2010). Para que um sistema de irrigação seja eficiente, faz-se necessário que apresente alta uniformidade de aplicação de água, o que leva à necessidade da verificação da eficiência do sistema de irrigação através de avaliações periódicas da vazão e da uniformidade (Campêlo et al., 2014).

De acordo com Frizzone et al. (2012) a pressão de operação, qualidade do emissor, obstrução dos emissores e vento afetam o desempenho dos sistemas de microirrigação.

Os emissores submetidos à fertirrigação apresentam desempenho distintos quanto à variação de vazão, em parte devido à arquitetura de cada gotejador, que faz com que os níveis de entupimento se mostrem de forma heterogênea (Carvalho et al., 2015).

### **Coefficiente de variação de vazão - CVq**

De acordo com Ribeiro et al. (2012), gotejadores autocompensantes apresentaram desempenho variável quanto à suscetibilidade ao entupimento, desde modelos com excelente desempenho a modelos de baixo desempenho.

O aumento do CVq ao longo do tempo pode estar relacionado a possíveis obstruções nas mangueiras emissoras, provocadas por insetos ou outras sujeiras que possam ficar acumuladas; às características de fabricação do emissor (mangueiras emissoras) de possuírem alta variabilidade na qualidade de fabricação, principalmente pela despadronização dos diâmetros internos; e ainda por conta da ocorrência de oscilação de pressão no momento da avaliação, uma vez que o sistema é de baixa pressão, qualquer oscilação provoca alta variação de vazão (Carmo et al., 2016).

### **Coefficiente de uniformidade de Christiansen (CUC)**

De acordo com Frizzone et al. (2012), o CUC é uma medida de dispersão determinada pelo desvio médio absoluto, sendo o coeficiente de uniformidade de irrigação mais conhecido e utilizado.

Na Tabela 2 está listada uma classificação do CUC em função da uniformidade obtida ao avaliar o sistema de irrigação localizada.

Tabela 2. Classificação do CUC para emissores gotejadores

Classificação	CUC (%)
Excelente	90 – 100
Boa	80 – 90
Razoável	70 – 80
Ruim	70 – 60
Inaceitável	< 60

Fonte: adaptado de Mantovani (2002).

### **Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)**

O Coeficiente de Uniformidade de distribuição (CUD) relaciona a quarta parte da área total, que recebe menos água (menor quartil) com a lâmina média aplicada (Carvalho et al., 2006).

Valor baixo de CUD indica a ocorrência de perda excessiva de água por percolação profunda se toda área recebesse uma lâmina maior ou igual à real necessária (Mantovani; Bernardo; Palaretti, 2013).

A classificação do CUD em função dos seus valores percentuais está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação do CUD para emissores gotejadores

Classificação	CUD (%)
Excelente	>90
Bom	80 – 90
Regular	70 – 80
Ruim	<70

Fonte: adaptado de Merriam e Keller (1978).

### **Grau de entupimento (GE)**

A manutenção de elevada uniformidade de aplicação e distribuição de água nos sistemas de irrigação por gotejamento torna-se fundamental para uma eficiente irrigação e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento dos recursos hídricos e redução dos custos (Ribeiro et al., 2012).

A uniformidade de aplicação de água é afetada por fatores hidráulicos, qualidade dos gotejadores e da água, o uso da fertirrigação com sais que podem ocasionar o entupimento dos emissores (Cunha et al., 2013).

Entupimentos parciais ou totais reduzem a uniformidade de emissão e, em consequência, diminuem a eficiência da irrigação e variam com as características do emissor e com a qualidade dos efluentes relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos (Capra e Scicolone, 2004).

O grau de entupimento pode ser positivo ocasionando diminuição na vazão, como também, pode ser negativo indicando que a obstrução ocasionou aumento da vazão. A classificação deste grau está indicada na Tabela 4.

Tabela 4. Índices do GE para quantificar o a severidade do grau de entupimento nos gotejadores

Classificação	GE (%)
Sem entupimento	<0
Baixo	0 -10
Médio	10 - 40
Alto	40 - 90
Muito Alto	90 - 100

Fonte: adaptado de Dantas et al. (2014).

### 2.3 Fertirrigação

A irrigação, principalmente quando associada à fertirrigação, é provavelmente a prática agrícola que permite aumentar a produtividade na agricultura,[...] (Marouelli e Sousa, 2011).

A fertirrigação permite que os nutrientes sejam fornecidos as plantas de forma única ou parcelada (Marouelli e Sousa, 2011). Dessa maneira, a compatibilidade entre o requerimento de nutriente e a quantidade fornecidas podem ser ajustados de forma mais dinâmica, o que permite maior eficiência de aproveitamento, redução das perdas, além de prevenir danos ambientais como a salinização dos solos e a contaminação de recursos hídricos (Souza et al., 2012).

Vidal-Matínez et al. (2006) observaram que os rendimentos médios de brócolis sob fertirrigação foram 33,5% maiores que o manejo convencional. As extrações de K pela cultura sob fertirrigação foram 83,8% superiores às do manejo convencional.

Por outro lado, o uso da fertirrigação sem os devidos cuidados e aparato técnico pode provocar uma série de inconvenientes, dentre estes: entupimentos - provocados pela precipitação de compostos químicos, geralmente associado a filtragem deficiente da calda injetada; contaminação química das fontes hídricas - provocada pelo uso inadequado de injetores e, ou formas de injeção na rede pressurizada; corrosão nos equipamentos de irrigação - provocada pelas características abrasivas e corrosivas das fontes de nutrientes; elevação da salinidade do solo – provocada pela irrigação com água salinas/salobras, bem como, pelo acréscimo de sais oriundos das fontes de fertilizantes utilizados na operação, ultrapassando o valor de tolerância das culturas, gerando estresse salino e hídrico nas plantas (Santos e Crisóstomo, 2000).

## 2.4 Custos

### 2.4.1 Custos na Fertirrigação

A disponibilidade de fertilizantes solúveis no mercado, o custo de mão de obra rural na adubação convencional, o constante incremento de área irrigada no Brasil, sob irrigação pressurizada, tudo isso tem incentivado os produtores a adotarem a fertirrigação, uma vez que os custos de implantação, comparados aos custos totais, viabilizam o seu uso (Coelho et al, 2010).

De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil - CNA (2017), a mão de obra tem representação significativa no custo de produção das principais hortaliças, variando entre 17% e 52%. Destaca ainda que a mão de obra é sempre um grande desafio, principalmente na horticultura, já que a cadeia tem uma grande demanda, seja para plantio, cultivo, colheita ou pós-colheita, uma vez que a mesma tem migrado do campo para a cidade.

Custo da mão de obra apresentou um aumento de 100% em 10 anos, CNA (2017). No cultivo de brócolis de cabeça única, o levantamento da Emater/DF (2019) aponta que 10% dos gastos com mão de obra são para adubação manual do solo.

### 2.4.2 Custos na irrigação

A irrigação é uma tecnologia que requer investimentos representativos e está associada à utilização intensiva de insumos, tornando importante a análise econômica dos componentes envolvidos no sistema (Silva et al., 2007).

Para a seleção adequada, é importante simular os custos fixos e variáveis oriundos da aquisição e gerenciamento do sistema de irrigação pretendido (Viera et al., 2011). Os custos fixos no sistema de irrigação englobam a depreciação e o custo de oportunidade sobre o investimento na aquisição da malha hidráulica, sistema de pressurização, reservatório de água, instalação do sistema, dentre outros.

Já os custos variáveis abrangem o custeio de energia, manutenção do sistema, pagamento pelo uso da água, mão de obra operacional, e outros relacionados ao uso da irrigação.

O cálculo para obtenção do lucro consiste em subtrair das receitas os custos. Desta forma, busca-se sempre o aumento de receitas e diminuição de custos. Percebe-se que quanto maior a produtividade, mais se diluem os custos e, como o tempo de irrigação é o mesmo, independentemente da produtividade, o custo com energia elétrica tende a diminuir com o aumento da produção (Alves et al., 2017).

### 2.4.3 Composição dos Custos de produção

A eficiência gerencial de custos financeiros de produção constitui fator-chave para que qualquer empreendimento agropecuário possa garantir sua inserção no mercado e, por consequência, sua competitividade ao longo do tempo. Isso porque o clima, a perecibilidade de diversos produtos agropecuários e os altos custos de saída ou entrada podem afetar significativamente o desempenho de empreendimentos agrícolas (Lazzarotto, 2014)

Para o planejamento adequado da implantação e manutenção de uma área cultivada com brócolis, como em qualquer cultura, deve-se analisar previamente a composição de seus custos de produção (Schiavon et al., 2015). Entende-se por custo de produção a soma de todos os recursos (insumos) e operações (serviços) utilizados de forma econômica no processo produtivo, a fim de obter determinada quantidade de produto com o mínimo dispêndio (Guiducci et al., 2012).

A implementação do custo de produção na propriedade possibilitará quantificar seu dispêndio, avaliar se existem operações desnecessárias na lavoura e o desembolso realizado ao comprar insumos (adubo, defensivos, inseticidas, nematicidas, controle biológico, etc.). Este detalhamento permitirá uma visão global da situação e possibilitará uma intervenção nos custos por meio da avaliação do impacto do item no custo de produção pela sua participação percentual (Nachiluk e Oliveira, 2012).

Ao discriminar seu custo, o produtor rural visualiza possibilidades de redução e intercâmbio de recursos financeiros, compatibilizar investimento e resultados, corrigir falhas, prevenir problemas, planejar e decidir estratégias de comercialização e definir a melhor forma de investir o recurso em empreendimentos futuros. Além de ser um instrumento de tomada de decisão sobre a produção (Nachiluk e Oliveira, 2012).

Enquanto a receita total é o produto do preço unitário pela quantidade comercializada num determinado período, os custos correspondem à soma dos valores de recursos de capital, trabalho e terra utilizados no processo produtivo (Reis, 2007).

É comum agrupar-se os custos em variáveis, fixos e totais. No primeiro agrupamento, estão os custos que se alteram em função do nível de produção da empresa. Numa propriedade rural estes são representados pela mão de obra temporária, aquisição de insumos agrícolas, energia elétrica, impostos sobre produção, dentre outros. Já nos custos fixos, que são aqueles que independem do

nível de produção, estão incluídas as despesas relativas à mão de obra permanente, seguros, depreciações de bens de capital e pagamento de aluguéis. Por fim, a soma dos custos fixos e variáveis resulta nos custos totais (CTs) (Lazzarotto e Fioravanço, 2011).

### **Custos Fixos**

O custo fixo neste trabalho foi composto pela depreciação, custo de oportunidade do uso do capital e pela remuneração da terra.

### **Depreciação**

A depreciação que se refere à perda de valor ou eficiência produtiva, causada pelo desgaste pelo uso, ação da natureza ou obsolescência tecnológica. Para a unidade produtiva, a perda de valor ou eficiência, independente da sua natureza, representa um custo real (Conab, 2010).

A depreciação é calculada em função da vida útil e do valor de sucata de um bem. A Tabela 5 apresenta a vida útil de alguns componentes do sistema de irrigação localizada.

Tabela 5. Vida útil de componentes do sistema de irrigação localizada

Componente	Vida útil (anos)
Tubo de PVC (enterrado)	20 a 40
Tubo Gotejador	2 a 8
Sistema de filtragem	10 a 15
Tanque de Fertilizantes	5 a 10
Bomba Injetora (fertilizantes)	3 a 5
Motor elétrico	10 a 30
Bomba centrífuga	15 a 25

Adaptado de Marouelli e Silva (2011)

O valor de sucata ou venda para os sistemas de irrigação, de acordo com Marouelli e Silva (2011), é de 5 a 10% do valor inicial, exceto para os tubos gotejadores que ao final da vida útil não tem valor de venda.

### **Custo de Oportunidade**

De acordo com a Conab (2010), o investimento do produtor deve ser remunerado, para tanto utiliza o percentual de 6% ao ano como a taxa de retorno, como se fosse aplicado o capital em outro investimento alternativo.

### **Remuneração da terra**

De acordo com a metodologia da CONAB (2010), para custos de produção, deve ser ainda inserido no custo total a remuneração esperada sobre o capital fixo e sobre a terra. Sendo importante registrar que a remuneração da terra é de 3 a 5% do valor da terra ou do valor do arrendamento, com preferência para o último.

### **Custos Variáveis**

#### **Manutenção**

A manutenção, de acordo com a Conab (2010), pode ser entendida como o conjunto de procedimentos que visa manter as máquinas e implementos nas melhores condições possíveis de funcionamento e prolongar sua vida útil. A Tabela 6 apresenta o custo de manutenção em função do custo inicial.

Tabela 6. Custo de manutenção anual de componentes do sistema de irrigação localizada

<b>Componente</b>	<b>Manutenção (% do custo inicial)</b>
Tubo de PVC	2 a 3
Tubo Gotejador	5 a 10
Sistema de filtragem	6 a 8
Tanque de Fertilizantes	0.5 a 1
Bomba Injetora (fertilizantes)	5 a 10
Motor elétrico	1,5 a 2,5
Bomba centrífuga	3 a 5

Adaptado de Marouelli e Silva (2011)

#### **Mão de obra**

A mão de obra para operacionalizar um sistema de irrigação por gotejamento é de 0,5 h ha<sup>-1</sup> irrigação<sup>-1</sup>, podendo ter variações pelo nível de automação, tamanho dos setores, eficiência gerencial e outros, de acordo com Marouelli e Silva (2011).

De acordo com a Conab (2010), pode-se considerar para pagamento dos encargos trabalhistas 45,59% da remuneração paga ao trabalhador por tempo indeterminado, incluso empregador.

## **2.5 Indicadores de Eficiência Econômica**

Com base nos valores mensurados de receitas e custos, pode-se obter o lucro total relacionado a determinado produto. Partindo do lucro total, que é dado pela diferença entre a receita total e o custo total, é possível gerar e analisar importantes indicadores de eficiência econômica (Lazzarotto e Hirakuri, 2009).

A taxa de retorno simples é um dos indicadores mais utilizados para avaliação da rentabilidade de um investimento. Quanto maior a taxa de retorno obtida, melhor será a rentabilidade do investimento e mais eficiente, em termos econômicos será o sistema (Marouelli e Silva, 2011).

O tempo de retorno consiste em determinar quantos anos ou safras da cultura serão necessários para que o produtor possa recuperar o capital investido (Marouelli e Silva, 2011).

O ponto de equilíbrio representa a medida que a receita total é exatamente igual ao custo total. Ou seja, ele mede o nível de produção que a empresa compromete para cobrir todos os custos de produção, não apresentando, assim, nenhum lucro ou prejuízo (Gitman, 2004).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) - *campus* Uberaba, Minas Gerais, com localização nas coordenadas 19°45' latitude sul; 47°55' longitude oeste e a 743 m de altitude.

O clima segundo classificação de Köppen é do tipo tropical quente e úmido, com inverno frio e seco (Cwa), com precipitação de 1500 mm e temperatura média anual de 21 °C.

O preparo de solo foi feito com subsolador e grade niveladora. Amostras de solo foram enviadas ao laboratório para determinação das características químicas (Tabela 7) e físicas resultando para camada de 0-20 cm de profundidade: 17,5% de argila, 16,3% de silte e 66,2% de areia; e na camada de 20-40 cm 14,5% de argila, 17,3% de silte e 68,2 % de areia.

Tabela 7. Resultados da análise de solo

Prof	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	SB	MO
cm	-	mg dm <sup>-3</sup>								g dm <sup>-3</sup>
0-20	5,7	73,1	2,60	25,9	11,9	0	19	59,4	40,4	17,8

Prof	C	V	Fe	Cu	Zn	Mn	S	B
cm	g dm <sup>-3</sup>	%						
0-20	10,32	68,02	15,5	1,9	4,2	6,6	5,1	0,23

A interpretação da análise de solo e o cálculo das adubações foram de acordo com a recomendação do Boletim 100 (Raij et al., 1997).

A cultivar de brócolis de cabeça única foi a Avenger®, adquirida de viveiro idôneo em bandejas de 128 células. O transplântio foi realizado em covas espaçadas de 0,7 m entre linhas e 0,5 m entre plantas em 30/08/2019.

A cultura foi irrigada por gotejamento com emissores TOP DRIP PC/AS (autocompensado e antisifão), espaçados de 0,30 m, com 2,0 L h<sup>-1</sup>, regulação de vazão na faixa de 4 a 25 mca e espessura de parede de 0,63 mm. O *layout* de instalação do sistema de irrigação obedeceu ao delineamento estatístico dos

tratamentos propostos neste trabalho, com tubo gotejador instalado em superfície, enterrado a 10 e a 20 cm (Figura 1).



Figura 1. Instalação dos tubos gotejadores.

O controle de plantas daninhas foi feito com uma aplicação do herbicida glifosato para dessecação antes do transplante. O manejo após transplante foi realizado por capina manual.

Não foi necessária a aplicação de fungicidas. Foram feitas quatro aplicações de inseticidas, de acordo com a ocorrência de pragas.

### 3.2 Delineamento experimental

Em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), conduzido em esquema fatorial (3 x 2) com 4 blocos, sendo o primeiro fator as profundidades de enterrio do gotejador de 0; 0,10; 0,20 m e o segundo fator a fertirrigação e a adubação manual em superfície, totalizando 6 tratamentos (Figura 2).

Cada parcela experimental foi constituída de 4 linhas de plantio com 8 plantas cada linha, totalizando 32 plantas por parcela. Para avaliação do experimento foram colhidas as 12 plantas centrais da parcela. A área total utilizada pelo experimento foi de 268,8 m<sup>2</sup>.

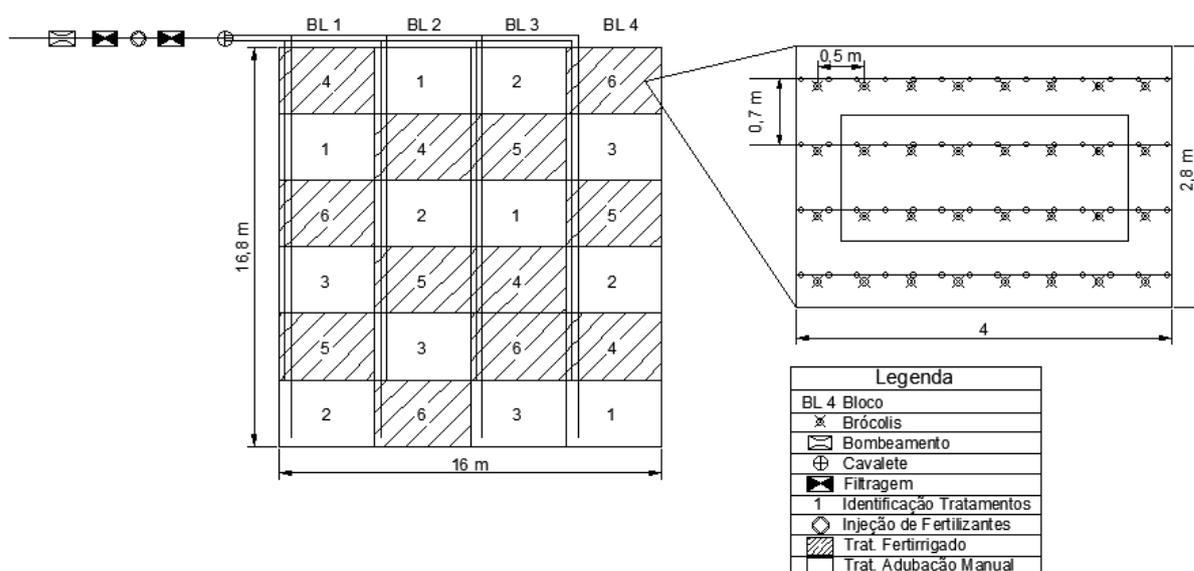


Figura 2. Croqui do delineamento experimental.

### 3.3 Projeto de irrigação

O dimensionamento da irrigação foi feito com base na lâmina de água necessária para suprir a demanda hídrica da cultura (ET<sub>c</sub>), considerando-se a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e o coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) no período de maior requerimento hídrico pela cultura.

#### 3.3.1 Projeto agrônomo

Para adequado dimensionamento da irrigação foi considerado:

- Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi calculada pelo método Penman-Montheit, com base em dados históricos da região;
- O coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) de maior valor no ciclo do brócolis (Doorenbos e Kassam (1979));
- O coeficiente de localização (K<sub>l</sub>) foi calculado de acordo com Keller (1978), para a máxima cobertura do solo;
- K<sub>cl</sub>: coeficiente de correção devido a variações climáticas, 1,2 (Faria, 2000);
- K<sub>ad</sub>: coeficiente de correção devido à advecção, 1 de acordo com gráfico do fator de correção (Doorenbos e Pruitt, 1977);
- Lâmina bruta, em função da eficiência do sistema de irrigação (equação 2).

$$LB = \frac{LL}{(1-K) \times CU}$$

Equação 2

em que:

LB - lâmina bruta de irrigação, mm;

LL - lâmina líquida de irrigação, mm;

CU - coeficiente de uniformidade, conforme projeto de Norma 12:02.08-022 da ABNT, considerado 0,90;

K - constante calculada pela equação 3.

$$K = 1 - Ea$$

Equação 3

em que:

Ea = eficiência de aplicação, valor definido de acordo com Keller (1978) de 0,85.

Foi ainda considerado no projeto agrônômico turno de rega diário.

### 3.3.2 Projeto hidráulico

Foram realizados dois projetos hidráulicos: um para a área de 268,8 m<sup>2</sup>, onde foi instalado o experimento, e outro para estimativa de custos com uma área de irrigação de 1 hectare.

Buscando a melhor performance do sistema para irrigação de 1 ha, o projeto hidráulico foi dividido em 4 setores.

#### **Principais equações utilizadas no dimensionamento hidráulico da irrigação localizada por gotejamento.**

A vazão da linha lateral foi determinada pela Equação 4:

$$Q_{LL} = \left( \frac{L_{lat}}{Se} \right) \times q_e$$

Equação 4

em que,

$Q_{LL}$  - vazão da linha lateral, L h<sup>-1</sup>;

$L_{lat}$  - comprimento da linha lateral, m;

$Se$  - espaçamento entre emissores, m;

$q_e$  - vazão do emissor, L h<sup>-1</sup>.

Perda de carga na linha lateral é determinada pela Equação 5:

$$hf_{lat} = hf_{cat} + (hg_1 - hg_2)$$

Equação 5

em que,

$hf_{lat}$  - perda de carga na linha lateral, mca;

$hf_{cat}$  - perda de carga de acordo com fabricante, mca;

$hg_1$  - cota no final da linha, m;

$hg_2$  - cota no início da linha lateral, m;

Vazão da linha de derivação, equação 6.

$$Q_{\text{der}} = \left( \frac{L_{\text{der}}}{S_{LL}} \right) \times Q_{LL} \quad \text{Equação 6}$$

em que,

$Q_{\text{der}}$  - vazão da linha de derivação, L h<sup>-1</sup>;

$L_{\text{der}}$  - comprimento da linha de derivação, m;

$S_{LL}$  - espaçamento entre linhas laterais, m;

$Q_{LL}$  - vazão da linha lateral, L h<sup>-1</sup>.

Perda de carga foi estimada pela equação de Universal da perda de carga, equação 7:

$$hf = f \times \left( \frac{L}{D} \right) \times \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad \text{Equação 7}$$

em que,

$hf$  - perda de carga contínua, mca;

$f$  - coeficiente de atrito, adimensional;

$L$  - comprimento da tubulação, m;

$D$  - diâmetro interno da tubulação, m;

$V$  - velocidade média do escoamento, m s<sup>-1</sup>;

$g$  - aceleração da gravidade, m s<sup>-2</sup>;

O coeficiente de atrito ( $f$ ) foi calculado em função do regime de escoamento (equação 8):

$$Re = \frac{V D}{\nu} \quad \text{Equação 8}$$

em que,

$Re$  - número de Reynolds, adimensional;

$V$  - velocidade média do escoamento, m s<sup>-1</sup>;

$\nu$  - viscosidade cinemática do fluido variável com a temperatura, m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>.

De acordo com o valor de  $Re$  é possível determinar o fator de atrito, sendo que:

a) Para regime laminar ( $Re \leq 2000$ ),  $f$  pode ser calculado pela equação de Hagen-Poiseuille, equação 9.

$$f = \left( \frac{64}{Re} \right) \quad \text{Equação 9}$$

b) Para regime turbulento ( $Re \leq 4000$ ),  $f$  pode ser calculado:

b1) Para tubos hidraulicamente lisos e  $4000 \leq R \leq 10^5$ , pela equação de Blasius, equação 10.

$$f = \left( \frac{0,3164}{Re^{-0,25}} \right) \quad \text{Equação 10}$$

b2) Para tubos hidraulicamente rugosos,  $4000 < R < 10^8$  e  $0 \leq \varepsilon/D \leq 0,05$  pela equação de Colebrook-White, equação 11.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{2,52}{Re\sqrt{f}} + \frac{\varepsilon}{3,71D} \right) \quad \text{Equação 11}$$

$\varepsilon$  - rugosidade da tubulação.

A rugosidade utilizada para tubo de PVC foi 0,00010 e para polietileno 0,0000020, conforme recomendação de Faria et al. (2012).

O diâmetro do tubo é calculado pela equação da continuidade, equação 12.

$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*V}} \quad \text{Equação 12}$$

em que,

D - diâmetro da tubulação, m;

Q - vazão do tubo,  $m^3 s^{-1}$ ;

V - velocidade de escoamento,  $m s^{-1}$ .

A velocidade média de escoamento ficou dentro dos limites de 1 e 2  $m s^{-1}$ .

### 3.4 Adubação e Fertirrigação

As adubações foram efetuadas mantendo a quantidade total de cada nutriente de acordo com a recomendação dada pelo Boletim 100, porém o parcelamento foi reorganizado.

As adubações foram realizadas da seguinte forma: a recomendada para plantio foi aplicada em cobertura dividida em 2 parcelas (com diferença de uma semana entre si), iniciando-se logo após o pegamento das mudas; já para a dose

recomendada para cobertura, foi realizada também em 2 parcelas, sendo a primeira uma semana após a última adubação de plantio e a outra após 15 dias.

A quantidade total aplicada de cada nutriente foi: 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, 200 kg ha<sup>-1</sup> de P, 280 kg ha<sup>-1</sup> de K e 4 kg ha<sup>-1</sup> de B, fornecido na forma de Ureia (N), cloreto de potássio (K<sub>2</sub>O), fosfato monoamônico - MAP (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e N), molibdato de sódio (molibdênio) e ácido bórico (boro).

Os fertilizantes foram aplicados manualmente para a adubação convencional e na fertirrigação com o uso de bomba injetora hidráulica de diafragma (Figura 3).



Figura 3. Injeção de fertilizantes na irrigação.

Para a fertirrigação os fertilizantes foram previamente diluídos em um reservatório de acordo com a solubilidade de cada fertilizante e injetados quando obteve-se uma calda homogênea (total diluição). A taxa de injeção foi de 30 L h<sup>-1</sup>.

### 3.5 Manejo da irrigação

Na área experimental foi instalada uma estação climatológica, modelo HOBO Ware equipada com sensores de precipitação, pressão atmosférica, temperatura e velocidade do vento. As leituras eram realizadas a cada 5 segundos com compilação de valores médios a 30 minutos.

Os dados da estação coletados foram utilizados no cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), pelo método de Penman-Monteith, de acordo com a Allen et.al. (1998), os dados necessários para equação que não estavam disponíveis pela estação meteorológica foram estimados de acordo à referida citação.

### 3.5.1 Estimativa da Evapotranspiração

Diariamente a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi calculada pelo método Penman-Monteith, com dados oriundos da estação agroclimatológica, que por sua vez, subsidiaram o cálculo da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), equação 13.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad \text{Equação 13}$$

em que,

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

K<sub>c</sub> - coeficiente da cultura ajustado diariamente, adimensional

### 3.5.2 Ajuste do coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>)

Os valores de K<sub>c</sub> utilizados no cálculo da ET<sub>c</sub> foram previamente escolhidos segundo recomendação de Doorenbos e Kassam (1979), para estádios de desenvolvimento inicial (fase I), vegetativo (fase II), florescimento (fase III) e maturação (fase IV).

O valor de ajuste diário, representado na (Figura 4), foi calculado interpolando os valores do K<sub>c</sub> entre os estádios e a duração em dias dos mesmos. Os valores obtidos para ajuste do K<sub>c</sub> foram:

- Do plantio até 28 dias, K<sub>c</sub> 0,37, acrescido diariamente em 0,015909;
- Do dia 29 até 62, K<sub>c</sub> do dia anterior, acrescido em 0,009615;
- Do dia 62 até a colheita, K<sub>c</sub> do dia anterior, decrescido em 0,006250.

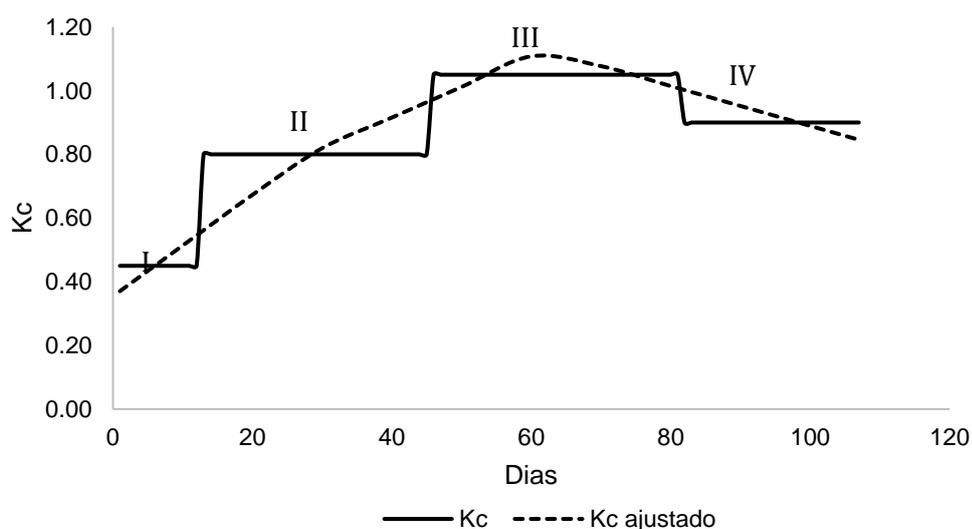


Figura 4. Coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) para a cultura do brócolis, obtido de Doorenbos e Kassam (1979) e ajustado diariamente.

### 3.5.3 Cálculo da lâmina de irrigação

A lâmina líquida de irrigação (LL) foi calculada em função da evapotranspiração da cultura para a condição de irrigação localizada e da precipitação (equação 14).

$$LL = ET_{rl} - P \quad \text{Equação 14}$$

em que,

LL - lâmina líquida de irrigação, mm;

P - precipitação, mm;

ET<sub>rl</sub> - evapotranspiração da cultura para a condição de irrigação localizada, mm

A evapotranspiração da cultura para a condição de irrigação localizada foi calculada pela equação 15.

$$ET_{rl} = ET_c \times K_L \times K_{cl} \times K_{ad} \quad \text{Equação 15}$$

em que,

ET<sub>c</sub> - evapotranspiração da cultura, mm;

K<sub>cl</sub> - coeficiente de correção devido a variações climáticas, 1,2 (Faria, 2000), coeficiente utilizado apenas no cálculo do projeto de irrigação, para manejo desconsiderado pois são dados diários;

K<sub>ad</sub> - coeficiente de correção devido à advecção, ou efeito oásis, 1,2 (McMahon, et al., 2013);

K<sub>L</sub> - fator de correção devido à localização, adimensional

K<sub>L</sub> foi calculado pela equação 16, proposta por Keller (1978) para cultivos adensados (hortícolas).

$$K_L = \frac{P}{100} + 0,15 \times \left(1 - \frac{P}{100}\right) \quad \text{Equação 16}$$

em que,

P - porcentagem de área molhada ou sombreada, sempre o valor maior, %.

Os valores adotados para P foram do transplante até o 43° dia após transplante 50% e do 44° a colheita de 75%.

A lâmina bruta de irrigação (LB) foi calculada considerando a eficiência do sistema de irrigação (equação 17).

$$LB = \frac{LL}{E_a} \quad \text{Equação 17}$$

em que,

LB - lâmina bruta de irrigação, mm;

LL - lâmina líquida, mm;

Ea - eficiência de aplicação, valor adotado de 0,9.

### 3.6 Monitoramento da umidade do solo

O monitoramento da umidade do solo foi realizado para avaliar se o manejo de água executado, conforme descrição no item anterior, possibilitaria a manutenção adequada de umidade do solo, nas profundidades de enterrio do tubo gotejador, sejam elas em superfície, enterrado a 10 cm e a 20 cm.

Para obtenção da curva de retenção de água no solo, foram retiradas amostras de solo indeformadas, nas profundidades 0-20 e 20-40 cm. Em laboratório a tensão de retenção de água no solo para os pontos de baixa tensão (<10 kPa) foi determinada em funil de Haines e os pontos de alta tensão (até 1500 kPa) em extrator de Richards (Figura 5).



Figura 5. Funil de Haines e extrator de Richards utilizados na determinação da curva característica de retenção de água no solo.

Seguindo modelo proposto por van Genuchten (1980) foram gerados os parâmetros da equação da curva de retenção de água no solo (equação 18), que descreve o comportamento da umidade volumétrica em relação à tensão de água do solo (kPa).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (|\Psi_m| \times \alpha)^n]^m} \quad \text{Equação 18}$$

em que,

$\theta$  - umidade com base em volume,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\theta_r$  - umidade residual,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\theta_s$  - umidade de saturação,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\Psi$  - potencial de água no solo, -kPa;

$\alpha$  - ( $\text{kPa}^{-1}$ ), m e n - parâmetros empíricos do modelo.

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi feito com hastes tensiométricas, com leituras realizadas com tensímetro digital, instalados a 0,20 e 0,40 m de profundidade.

O potencial matricial de água no solo foi corrigido em função da carga hidráulica de água nos tensiômetros (equação 19).

$$\Psi_m = - L + H \quad \text{Equação 19}$$

em que,

$\Psi_m$  - potencial matricial de água no solo, kPa;

L - leitura do tensímetro, kPa;

H - altura da água no tubo tensiométrico, kPa;

O limite inferior de umidade é definido em função do fator de reposição, que é a fração de água da água total disponível que pode ser utilizada sem que ocorra prejuízos ao desenvolvimento para a cultura. Para o brócolis, de acordo com Marouelli, Melo e Braga (2017), este fator pode ser entre 0,25 a 0,40. Para este experimento, adotou-se o fator de reposição de 0,30.

### 3.7 Avaliação hidráulica

A avaliação inicial do sistema de gotejamento foi feita segundo metodologia proposta por Keller e Kameli (1974), na qual são selecionadas as linhas de gotejamento situadas nas seguintes posições: primeira, 1/3, 2/3 e a última e em cada uma delas os gotejadores posicionados no início, 1/3, 2/3 e o último da linha de irrigação.

Após o experimento, a avaliação foi refeita em uma linha de cada parcela seguindo o mesmo critério da avaliação inicial para seleção dos emissores.

As avaliações hidráulicas foram realizadas antes e pós o experimento de acordo com a ABNT NBR ISO 9261 (2006). Foram ensaiados os gotejadores para determinar a vazão; o coeficiente de variação da vazão (CVq) (Equação 20); o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (Equação 21); o coeficiente de

uniformidade de distribuição (CUD) (Equação 22) e grau de entupimento (GE) (Equação 23).

$$CV_q = \left( \frac{S_q}{\bar{q}} \right) \times 100 \quad \text{Equação 20}$$

em que,

$S_q$  - desvio padrão da amostra, L h<sup>-1</sup>.

$\bar{q}$  - vazão média da amostra, L h<sup>-1</sup>

$$CUC = 100 \times \left( 1 - \frac{\sum |q_i - \bar{q}|}{n \cdot \bar{q}} \right) \quad \text{Equação 21}$$

em que,

$q_i$  - vazão de cada gotejador, L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$  - vazão média dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>;

$n$  - número de gotejadores amostrados;

$$CUD = 100 \times \left( \frac{\bar{q}_{25}}{\bar{q}} \right) \quad \text{Equação 22}$$

em que,

$\bar{q}_{25}$  - vazão média das 25% menores vazões, L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$  - vazão média dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>;

$$GE = \left( 1 - \frac{q_{usado}}{\bar{q}_{novo}} \right) \times 100 \quad \text{Equação 23}$$

em que,

GE - grau de entupimento

$q_{usado}$  - vazão do gotejador usado, L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}_{novo}$  - média da vazão dos gotejadores novos, L h<sup>-1</sup>;

Para determinação do GE a vazão utilizada foi a vazão de cada gotejador antes do uso determinada em campo e vazão do mesmo emissor após o uso.

Para avaliação do tubo gotejador, o delineamento experimental foi 2 x 3 + 1, com 4 repetições, sendo com e sem fertirrigação em esquema fatorial com a posição

do tubo gotejador: superfície, enterrado a 10 e a 20 cm, e o adicional que é a avaliação inicial, sendo considerada testemunha.

As avaliações visam à melhoria do entendimento do que ocorreu em cada tratamento, possibilitando inclusive compreender se a fertirrigação ou a utilização dos tubos em subsuperfície interferem no desempenho do tubo gotejador.

Os valores observados de vazão, CVq, CUC e CUD foram comparados pelo teste F, tanto para os tratamentos entre si como com a testemunha. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade.

### 3.8 Avaliação da Cultura

Para avaliação da cultura, cada parcela foi constituída de 32 plantas, distribuídas em 4 linhas. Sendo que para a avaliação da produção, foram utilizadas 12 plantas das 2 linhas centrais, excluindo-se a primeira e a última planta de cada linha.

A colheita foi finalizada em 15/11/2019, quando as inflorescências atingiram máximo desenvolvimento sem que as flores começassem a abrir. No brócolis, o ponto de colheita ocorre quando a cabeça central ou nas ramificações laterais observa-se botões florais bem desenvolvidos, com coloração verde-escura, porém antes da antese (Filgueira, 2008).

As características avaliadas foram: diâmetro do pedúnculo floral, da inflorescência, inflorescência (perpendicular); altura e massa fresca da inflorescência e dias do transplante até a colheita.

A produtividade da água foi determinada pela relação entre a produção comercial e o volume de água aplicado via irrigação.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade.

### 3.9 Avaliação de Custos

O referencial financeiro para os cálculos de custo fixo, variável e indicadores de eficiência econômica foram obtidos na circular técnica 98 da Embrapa (Marouelli e Silva, 2011).

### 3.9.1 Custo Fixo

Os custos fixos considerados foram a depreciação, o custo de oportunidade do uso do capital e custo alternativo (equação 24).

$$CF = \frac{D + CO + RT}{P} \quad \text{Equação 24}$$

em que,

CF - custo fixo, R\$.

D - depreciação, calculada pela Equação 25, R\$ safra.

Co - custo oportunidade, calculado pela Equação 26, R\$.

$$D = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor residual}}{\text{Vida Útil (anos)}} \quad \text{Equação 25}$$

$$Co = \frac{\text{Taxa de Juros}}{100} \times \frac{\text{Custo inicial} + \text{Valor residual}}{2} \quad \text{Equação 26}$$

em que,

Valor inicial - valor pago pelo equipamento, R\$.

Valor residual - valor do bem no final da vida útil, 20%.

P - período para cultivo do brócolis, anos.

Taxa de Juros - considerada de 6 % a.a.

RT - remuneração do uso da terra, R\$ ano<sup>-1</sup>.

Para o cálculo da depreciação foi adotado, de acordo com o proposto por Marouelli e Silva (2011), vida útil e valor residual ou de sucata para o sistema de irrigação e fertirrigação, conforme Tabela 8.

Tabela 8. Vida útil e valor residual para os componentes do sistema de irrigação e fertirrigação

Componente	Vida Útil (anos)	Residual (%)	Manutenção (%)
Tubo de PVC	30	10	0,30
Tubo Gotejador	5	0	7,50
Sistema de filtragem	10	10	7,00
Tanque de Fertilizantes	5	10	0,75
Bomba Injetora (fertilizantes)	5	10	5,00
Motor elétrico	20	10	2,50
Bomba centrífuga	20	10	2,50

Adaptado de Marouelli e Silva (2011)

O período para cultivo do brócolis foi de 120 dias considerando o tempo necessário para preparo e cultivo.

A remuneração da terra foi estimada considerando o arrendamento da terra para cultivo da cana de açúcar, tendo como referência o pagamento por hectare de 65 t ha<sup>-1</sup>, 121 ATR kg<sup>-1</sup> e R\$ 0,63 ATR<sup>-1</sup>.

### 3.9.2 Custo Variável

Os insumos abrangeram fertilizantes, energia, fitossanitários, manutenções e mudas. As quantidades de insumos foram calculadas de acordo com o uso e manejo na área experimental deste trabalho. O preço dos fertilizantes e fitossanitários foram orçados em lojas de produtos agropecuários, valor do KWh referente ao cobrado no mês de novembro/2019 pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais S.A) e as mudas, em viveiros de mudas na região.

O consumo de energia foi dado pela equação 27:

$$C = \frac{P \times 0,736}{\eta} \times 100 \quad \text{Equação 27}$$

em que,

C - consumo, KWh.

P - potência do motor, cv.

$\eta$  - rendimento do motor, %.

A potência do motor adotada foi de 5cv e o rendimento do motor de 90%. Para o dispêndio com energia elétrica total, o consumo de energia em KWh foi multiplicado pelo total de horas de funcionamento da irrigação e preço do KWh.

O custo com mão de obra englobou as atividades de: transplante de mudas, aplicação de fertilizantes manual (considerando o uso ou não da fertirrigação), pulverizações (adubos foliares e inseticidas), capina, colheita, irrigação e preparo de solo terceirizado.

O tempo para realização das atividades teve como referência o levantamento de custos de produção do brócolis de cabeça única da Emater - DF (2019). Para cálculo do custo de mão de obra, os provisionamentos e encargos representaram 45,59% do valor da remuneração, de acordo com estimativa da CONAB (2010).

As despesas administrativas foram consideradas 3% sobre o valor de custeio (CONAB, 2010).

### 3.9.3 Custo Total

O custo total é a soma do custo fixo e custo variável.

### 3.9.4 Indicadores de eficiência econômica

Os indicadores de eficiência econômica utilizados foram receita líquida, taxa de retorno simples e tempo de retorno do capital.

A receita líquida (RL) é a diferença entre o custo total e a receita bruta obtida pela venda da produção, conforme equação 28.

$$RL = \text{Receita bruta} - \text{Custo total} \quad \text{Equação 28}$$

A receita bruta foi estimada pela produtividade por hectare e preço médio de comercialização no Ceasa Uberlândia (2019) para o mês de novembro de 2019.

A taxa de retorno, equação 29, é a relação entre a renda líquida e o custo total, quanto maior a taxa melhor é a rentabilidade e consequente retorno sobre o capital investido.

$$\text{Taxa de retorno (\%)} = 100 \times \frac{\text{Receita Líquida}}{\text{Custo Total}} \quad \text{Equação 29}$$

O tempo de retorno do capital, equação 30, é dado pelo quociente entre o custo do investimento e a receita líquida:

$$\text{Tempo de retorno} = \frac{\text{Custo inicial}}{\text{Receita Líquida}} \quad \text{Equação 30}$$

Tempo de retorno será dado em safras de brócolis.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Vazão e uniformidade do tubo gotejador

A vazão, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de variação da vazão, em função dos tratamentos sejam estes a fertirrigação e posição de instalação do tubo gotejador, estão representados na Tabela 9.

Tabela 9. Resultados da análise de variância da vazão, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de variação da vazão (CVq)

Fonte de Variação	Vazão (Lh <sup>-1</sup> )	CUC (%)	CUD (%)	CVq (%)
Adubação (A)				
Fertirrigação	2,02	94,14	91,29	7,30
Adubação manual	1,96	92,67	88,20	9,59
Teste F	1,55 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>
Profundidade de enterrio (P)				
0,00 m	1,99	93,79	90,51	7,89
0,10 m	1,96	92,56	87,24	9,75
0,20 m	2,02	93,86	91,48	7,70
Teste F	0,72 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>
Interação A*P				
Teste F	0,99 <sup>ns</sup>	1,88 <sup>ns</sup>	1,88 <sup>ns</sup>	1,53 <sup>ns</sup>
Fatorial x Testemunha				
Teste F	4,25 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	3,39 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

Entre os tratamentos propostos, o uso da fertirrigação e irrigação em gotejamento enterrado não ocasionou diferenças significativas nas avaliações de vazão, CUC, CUD e CVq. Ressalta-se, portanto, que a fertirrigação e a irrigação em subsuperfície podem ser utilizadas sem que o desempenho dos tubos seja afetado.

A vazão média dos emissores antes do uso (2,1 h<sup>-1</sup>) foi 5% maior que a indicada pelo fabricante (2 L h<sup>-1</sup>) e, após o uso (1,99 L h<sup>-1</sup>), 0,5% menor. Fischer Filho et al. (2016), avaliando gotejador do mesmo modelo após 100 horas de uso, obtiveram

vazão relativa de 99,02%, ou seja, vazão menor em 0,08%, corroborando os resultados aqui encontrados.

A média do CUC após o uso foi de 93,40% e antes do uso, de 92,60%. Dessa forma, classificados como excelentes de acordo com Mantovani (2002). Santos et al. (2016), em experimento com gotejadores e uso de fertirrigação, também obtiveram resultados classificados como excelentes para o CUC. Berça, Mendonça e Souza (2019), em irrigação com tubo gotejador no cultivo de repolho, obtiveram o CUC de 94,1%, valor condizente com o encontrado neste trabalho.

O CUD após o uso foi de 89,74% e, antes do uso, de 92,56%. Assim, este resultado pode ser considerado bom para o tubo usado e para o novo, excelente de acordo com Merriam e Keller (1978). Cunha et al. (2014), avaliando gotejadores em subsuperfície com/sem fertirrigação, observaram que, um mês após a aplicação de fertilizante, CUD foi de 93,1 e 95% e, posterior a 12 meses após 75 e 81% para uso da fertirrigação e sem fertirrigação respectivamente.

O CVq médio após uso foi de 8,45% e antes do uso, de 2,79%. E, ainda, conforme a norma brasileira NBR ISO 9261:2006 (ABNT, 2006), este resultado não deve divergir em  $\pm 7\%$ . As médias do CVq nos tratamentos, demonstram que a fertirrigação ou a irrigação em subsuperfície não foram a causa da variação na vazão.

Recomenda-se que o monitoramento da uniformidade e vazão dos emissores ocorra periodicamente, pois comprometem a distribuição de água e, por conseguinte, pode afetar a produtividade da lavoura, em razão da desuniformidade de distribuição da água na área.

### **Grau de entupimento**

O grau de entupimento médio nas parcelas foi de -4,83% a 20,53%. O valor negativo decorre de algumas obstruções ocasionarem aumento de vazão, enquanto que o positivo, refere-se à redução na vazão (Tabela 10). Na maioria das parcelas aqui relatadas, o grau de entupimento foi positivo, portanto a vazão foi reduzida.

De acordo com a classificação proposta por Dantas et al. (2014), a média do GE do tubo gotejador em função dos tratamentos é baixo (<10%).

Para Nascimento et al. (2016), o aumento da vazão pode ocorrer em um primeiro estágio de acumulação de material dentro do emissor, inclusive afetando o

regime de escoamento.

Tabela 10. Resultados da análise de variância do grau de entupimento (GE)

Fonte de Variação	GE (%)
Adubação (A)	
Fertirrigação	4,08
Adubação Manual	6,50
Teste F	1,39 <sup>ns</sup>
Profundidade de enterrio (P)	
0,00 m	5,23
0,10 m	6,74
0,20 m	3,90
Teste F	0,65 <sup>ns</sup>
Interação A*P	
Teste F	0,89 <sup>ns</sup>

\* significativo pelo Teste F a 5% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

Resultados semelhantes também foram relatados por Fischer Filho et al. (2016), em que gotejadores autocompensados apresentaram GE tanto positivo como negativo, demonstrando obstruções que diminuem ou aumentam a vazão; os mesmos autores sugerem que sólidos, microrganismos e substâncias químicas como ferro e sódio interferem na membrana de compensação dos gotejadores.

De acordo com Frizzone et al. (2012), a obstrução dos emissores é um dos mais importantes problemas na microirrigação, sendo o fator que mais afeta o CVq dos emissores em campo. A redução na obstrução dos emissores pode ser minimizada com melhoria na sensibilidade dos emissores e na qualidade da água.

O percentual de emissores em função do grau de entupimento está representado na Figura 6.

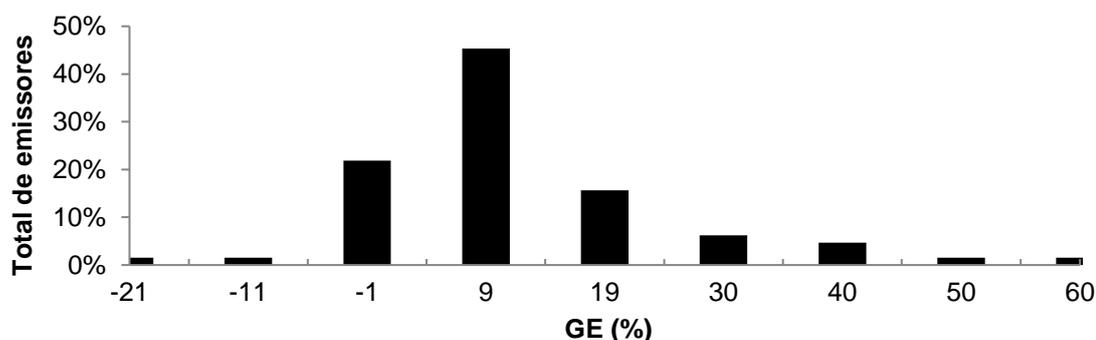


Figura 6. Percentual de emissores em função do grau de entupimento.

A maioria dos emissores tiveram GE de -11 e 9, podendo ser classificados como de baixo grau de entupimento. Enquanto que, 9% com GE maior que 40% sendo, portanto, considerado alto, de acordo com Dantas et al. (2014).

Semelhante a estes resultados, pequena quantidade de emissores com GE superior a 10%, foram descritos por Dalri et al. (2014), com irrigação em subsuperfície para cana-de-açúcar. Cunha et al. (2016) relataram grau de entupimento aos 3 meses de uso com 8,48% para reposição de 50% da lâmina necessária de irrigação e 31,17% para lâmina de 100%, ressaltaram ainda que o entupimento parcial tem o agravante de não ser facilmente visualizado.

#### 4.2 Dados meteorológicos

A temperatura média diária máxima, mínima e média foi de 32,0 °C, 18,3 °C e 24,5 °C (Figura 7).

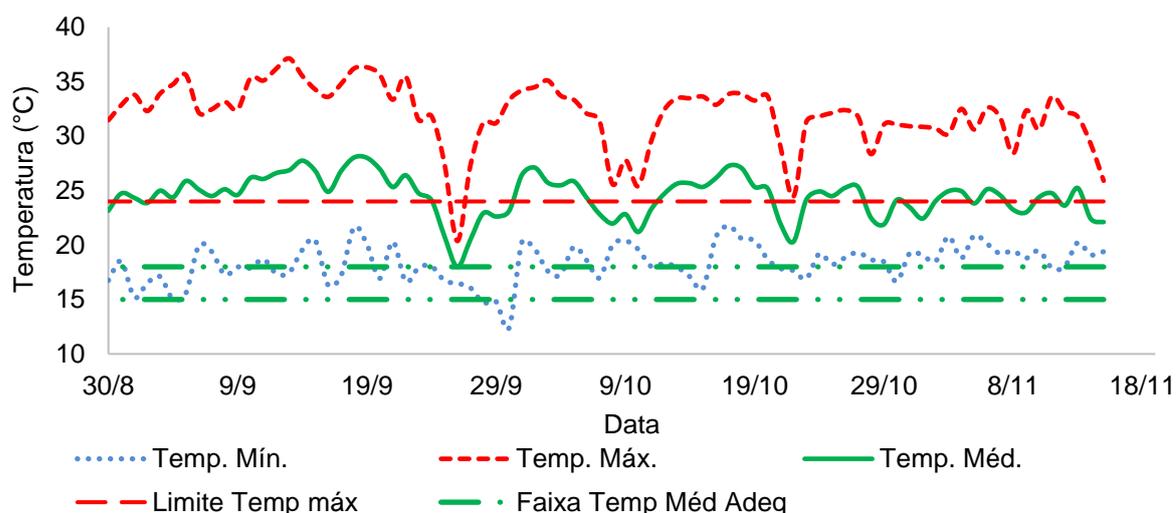


Figura 7. Temperaturas diárias máxima, mínima e média aferidas, limite superior e inferior da média e limite superior da máxima temperatura, Uberaba, 2019.

Durante a condução do experimento, apenas um dia apresentou temperatura média de 18°C, nos demais dias a temperatura esteve acima de 20 °C, com 53 dias com temperatura média superior a 24 °C. Sob temperatura média de 15 a 18 °C e máxima de 24 °C, há melhor desenvolvimento produtivo e qualitativo das plantas (Trevisan et al., 2003).

Seabra Júnior et al. (2014) observaram que para a Cultivar Avenger em temperaturas de 33,4; 26,3 e 19,2 °C, para média máxima, média compensada e

média mínima respectivamente, houve massa fresca da inflorescência média de 886 g, porém houve distúrbios como brácteas na inflorescência e brotações laterais.

Os valores médios diários de umidade relativa máxima, mínima e média foi de 82,87%, 42,15% e 64,01% (Figura 8).

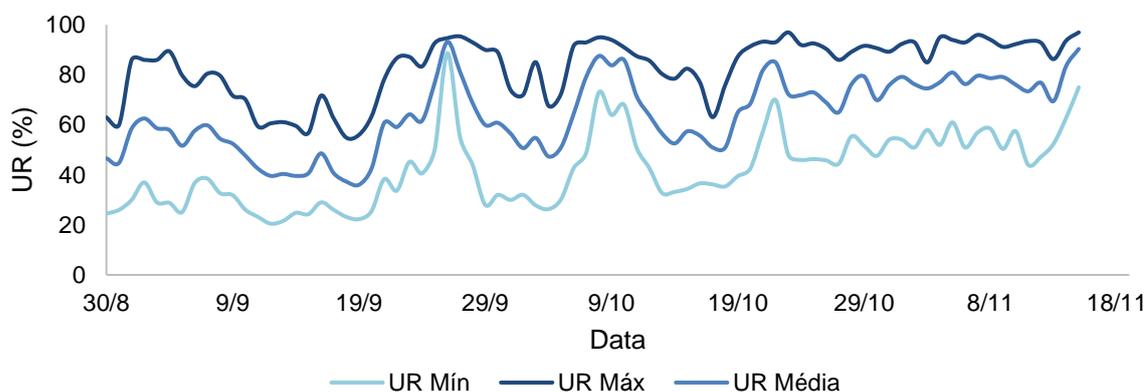


Figura 8. Umidade relativa máxima, mínima e média. Uberaba-MG, 2019.

A umidade relativa influi na transpiração, portanto quanto menor a UR maior a transpiração, ainda segundo Riguetto (2013), a alta UR facilita o desenvolvimento de doenças e pragas, por tanto este fator deve ser analisado o com muito cuidado. Na condução do experimento e nas cabeças de brócolis colhidas para avaliação não foi diagnosticado desenvolvimento de doenças, não sendo necessário durante a condução do experimento aplicação de fungicidas, o fato da irrigação localizada não molhar as folhas.

A velocidade de vento média diária no período foi de  $1,23 \text{ m s}^{-1}$ , com extremos observados nos meses setembro ( $2,89 \text{ ms}^{-1}$ ) e outubro ( $2,05 \text{ ms}^{-1}$ ).

A evapotranspiração da cultura para a condição de irrigação localizada (ET<sub>l</sub>) média observada foi de  $4,48 \text{ mm dia}^{-1}$  com acúmulo de 349,32 mm ao final do ciclo de cultivo (Figura 9).

Para a cultura do brócolis, Silva et al. (2019) relataram 393,4 mm de evapotranspiração acumulada, irrigação de 284,95 mm e 246,8 mm de precipitação, considerando as mesmas metodologias, do presente trabalho, para a estimativa de ET<sub>o</sub>, K<sub>c</sub> e K<sub>L</sub>. Portanto a comparação entre a evapotranspiração permite inferir que são principalmente relativas as diferenças aos fatores climáticos entre os trabalhos.

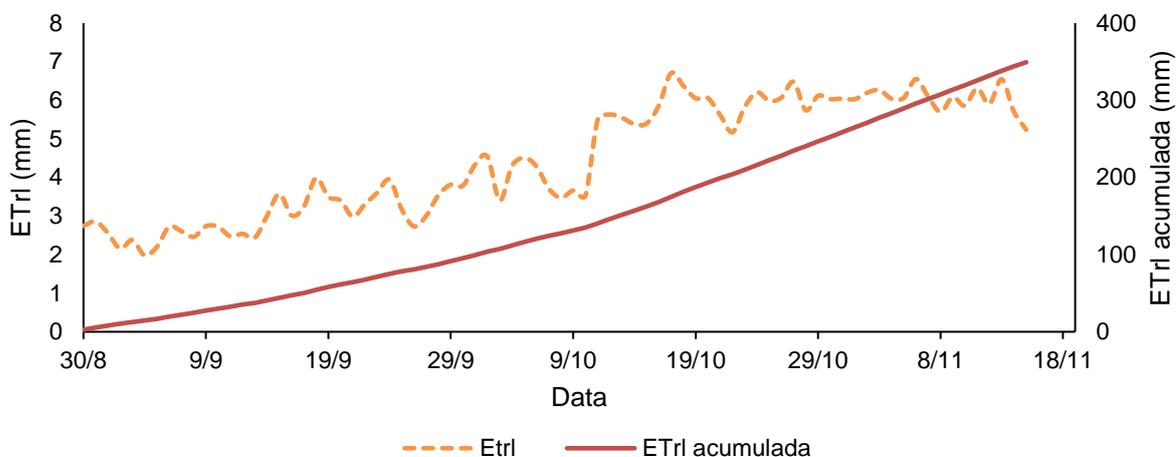


Figura 9. Evapotranspiração da cultura diária e a acumulada. Uberaba-MG, 2019.

A lâmina de irrigação total aplicada foi de 300 mm e a precipitação de 242 mm (Figura 10).

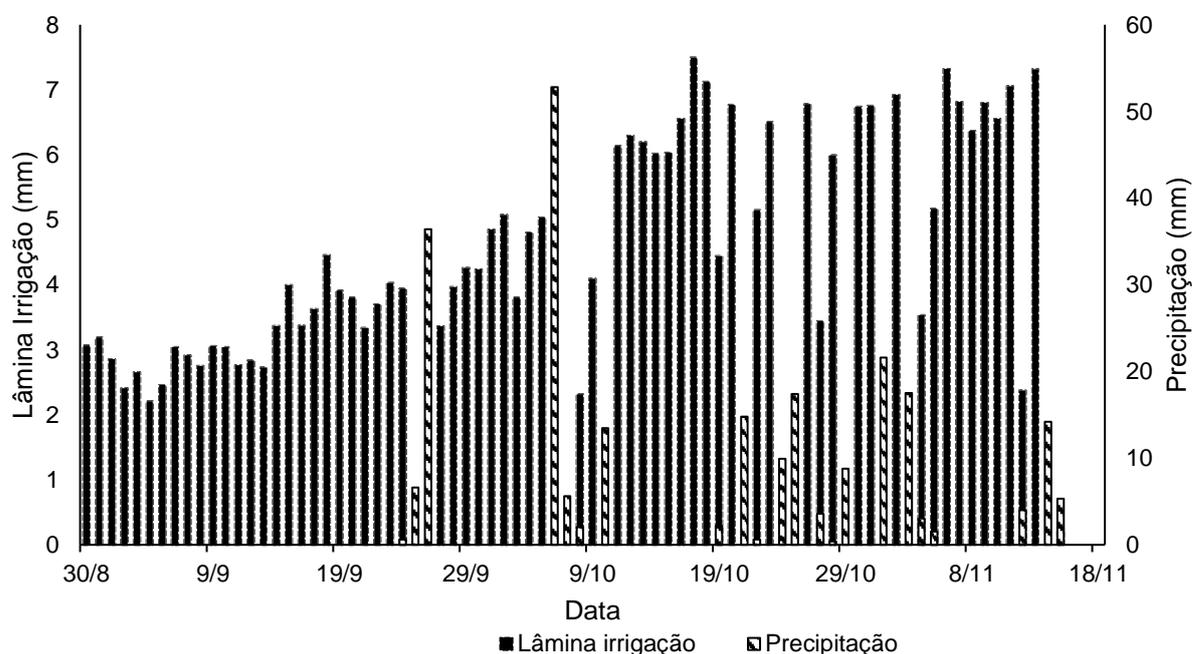


Figura 10. Lâmina aplicada e precipitação considerada efetiva no período experimental. Uberaba-MG, 2019.

Observa-se ainda que Silva et al. (2019) mesmo tendo obtido evapotranspiração acumulada maior em 44,08 mm necessitaram de uma lâmina de

irrigação de menor em 15,05 mm em função da maior precipitação, destacando, portanto, a importância do manejo da irrigação com dados locais diários.

Com os dados de tensão e umidade do solo foi obtida a equação 31, com coeficiente de determinação de 97,07%, para a camada 0 a 20 cm e a equação 32, com coeficiente de determinação de 97,29 %, para a camada de 20 a 40 cm de profundidade.

$$\theta = 0 + \frac{(0,40-0)}{[1+(0,5090*|\psi m|^{1,3947})^{0,2830}]} \quad \text{Eq. 31}$$

$$\theta = 0 + \frac{(0,42-0)}{[1+(0,2945*|\psi m|^{1,4131})^{0,2924}]} \quad \text{Eq. 32}$$

Para que pudesse ser feito o monitoramento da umidade do solo, foi feita curva de tensão e umidade do solo (Figura 11), que também permitiu durante o experimento o monitoramento do manejo da irrigação.

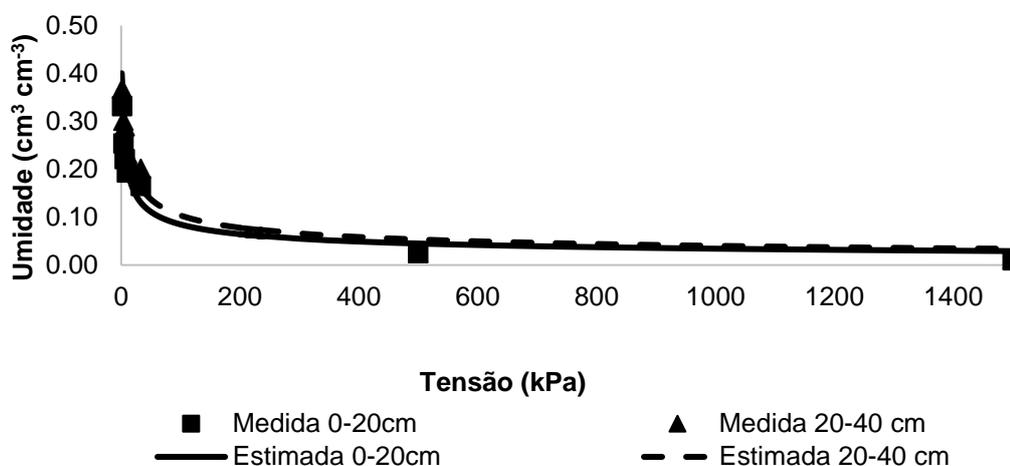


Figura 11. Curva características de retenção de água no solo nas profundidades de 0,20 e 0,40 m.

A tensão de retenção de água no solo a 20 cm de profundidade manteve-se sempre abaixo da tensão crítica (11,2 kPa) para a cultura do brócolis (Figura 12), indicando a disponibilidade adequada de água no solo para a cultura do brócolis.

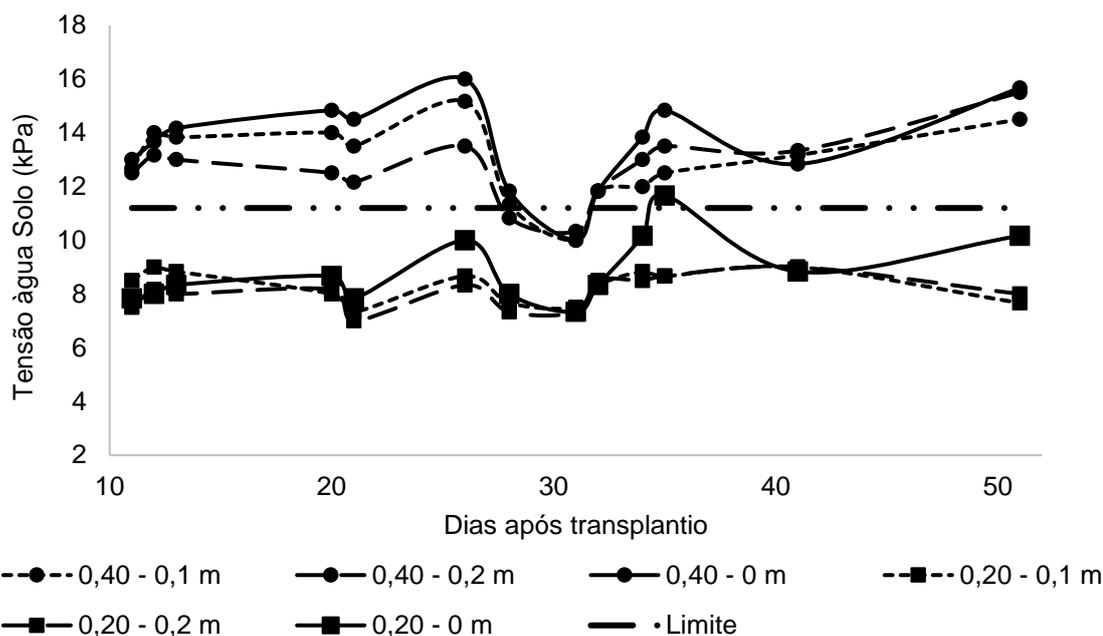


Figura 12. Comportamento da tensão de retenção de água no solo em função da posição de instalação dos tubos gotejadores.

A partir das equações das curvas características de retenção de água no solo e das tensões lidas nos tensiômetros instalados em campo, foi calculada a umidade do solo para a camada 0-20 cm (Figura 13) e 20 – 40 cm (Figura 14), respectivamente.

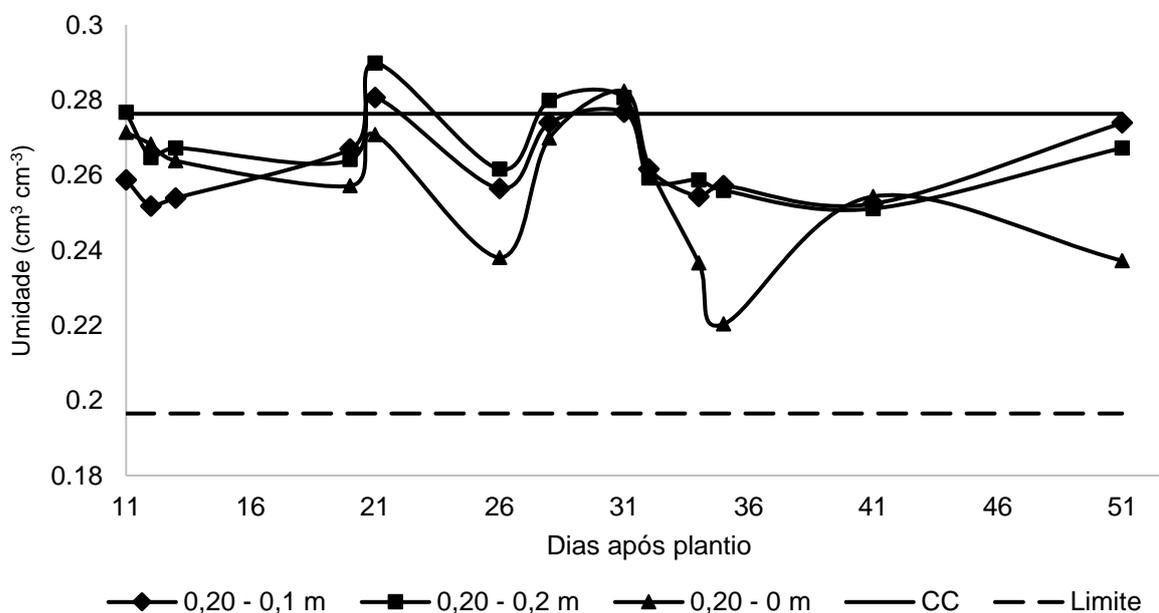


Figura 13. Variação da umidade do solo na camada de 0-20 cm em função da posição dos tubos gotejadores, capacidade de campo (CC) e limite inferior de umidade (Limite) recomendado para cultura do brócolis.

O limite inferior para umidade do solo, estimada pelo fator de reposição de 0,30 (MAROUELLI, MELO E BRAGA, 2017), é de  $0,1965 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

Em dias onde houve precipitação a umidade do solo foi maior que a capacidade de campo, inclusive por se tratar de uma área com baixa declividade onde a água da chuva tendia a não escoar.

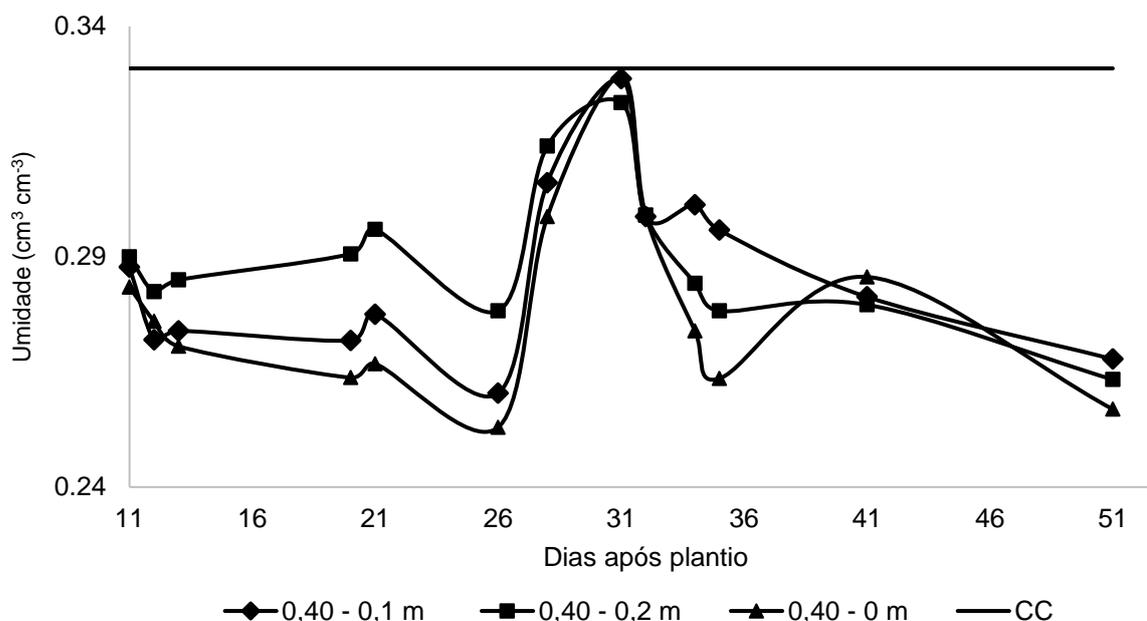


Figura 14. Variação da umidade do solo na camada de 0-40 cm em função da posição dos tubos gotejadores, capacidade de campo e limite inferior de umidade recomendado para cultura do brócolis.

Ressalta-se, porém, que nos primeiros 10 dias principalmente para os tratamentos onde o tubo gotejador esteve enterrado a 20 cm, foi necessário fazer irrigação suplementar em superfície, pois as plantas apresentavam-se murchas.

Portanto, ao se enterrar a 20 cm, será necessário considerar a necessidade de suplementar a irrigação nos primeiros dias após este período a profundidade de 20 cm não irá prejudicar o desenvolvimento da cultura, conforme constatou-se neste experimento.

Observa-se, a partir do décimo primeiro dia, que o manejo de água permitiu a adequada quantidade de água ao desenvolvimento dos brócolis. A posição do tubo gotejador não afetou o manejo, sendo que tanto a irrigação em superfície como subsuperfície a 10 e 20 cm possibilitaram adequada umidade no solo.

Evitar longos períodos de molhamento foliar e acúmulo de umidade no solo é

fundamental para o manejo de praticamente todas as doenças fúngicas em brássicas.

Tendo em vista que o monitoramento da tensão de água no solo e, por consequência, a umidade decorrente dela mantiveram-se dentro dos níveis adequados à cultura, tal qual as Figuras 13 e 14 permitem inferir, pode-se afirmar que o manejo da irrigação - com a determinação de ETo pelo método Penman –Monteith, com correções de evapotranspiração de oásis, Kc ajustado e coeficiente de localização - atendeu a demanda hídrica dos brócolis. E, a partir do 11º dia após transplante, a posição do tubo gotejador não interferiu na adequada disponibilidade de água no solo.

#### 4.3 Produção dos Brócolis

A análise de variância da produção dos brócolis em função dos tratamentos está representada na Tabela 11.

Tabela 11. Análise de variância do brócolis: diâmetro da cabeça, diâmetro do caule, massa fresca, altura da cabeça, dias do transplante até a colheita (DAT)

FV	Diâm. Cabeça (mm)	Diâm. Caule (mm)	Massa fresca (g)	Alt. Cabeça (mm)	DAT
Adubação (A)					
Fertirrigado	155,50	43,47	434,47	140,69	71
Manual	159,66	44,18	467,65	141,12	70
Teste F	1,25 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	2,61 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	1,52 <sup>ns</sup>
Profundidade (P)					
0,00 m	159,85	43,64	460,37	140,17	69
0,10 m	156,29	43,99	454,36	146,18	70
0,20 m	156,59	43,84	438,45	136,36	71
Teste F	0,420 <sup>ns</sup>	0,054 <sup>ns</sup>	0,129 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>
Interação A*P					
Teste F	1,96 <sup>ns</sup>	3,27 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	1,01 <sup>ns</sup>	2,26 <sup>ns</sup>
CV (%)	5,67	5,32	14,03	12,67	3,3

\* significativo pelo Teste F a 1% de probabilidade; <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F

A aplicação de fertilizantes de forma manual ou pela fertirrigação e a posição do tubo gotejador não determinaram alterações nas características avaliadas para o brócolis.

A produtividade total foi de 12,88 t ha<sup>-1</sup>, 28.570 cabeças e massa média de 0,451 g de brócolis. O diâmetro médio da cabeça foi de 158 mm, altura de 141 mm e diâmetro do caule de 440 mm. O período médio do transplante à colheita foi de 71

dias e teve duração, período entre a primeira e última colheita, de 16 dias. Não houve cabeças com menos de 100 g ou defeitos que pudessem considerá-las não comerciais.

O mercado para consumo *in natura* tem dado preferência às inflorescências do tipo única, de coloração verde-escura, compactas, de boa granulometria, com tamanho médio, de 300 g a 400 g de peso e diâmetros entre 12 cm e 15 cm (Schiavon et al., 2015).

Para a mesma cultivar, Castro et al. (2018) obtiveram menor massa fresca (327,50 g), diâmetro (11,43 cm), altura (9,57 cm) e produtividade (10,07 t ha<sup>-1</sup>). Enquanto Melo et al. (2010) relataram produtividade 13,2 t ha<sup>-1</sup>, massa fresca de 458 g, diâmetro da cabeça 15,3 cm, semelhante aos resultados deste trabalho.

Silva et al. (2019), avaliando doses de nitrogênio via fertirrigação na cultivar Avenger, obtiveram massa fresca média de 344,95 g planta<sup>-1</sup>, sem aplicação de N, que aumentou significativamente até 511,13 g, para a dose de nitrogênio de 240 kg ha<sup>-1</sup>, e produtividade variou de 6,90 a 9,73 t ha<sup>-1</sup>. Mesma quantidade de ureia foi aplicada neste experimento resultando em cabeças menores e maior produtividade total.

Silva et al. (2019) apresentaram período de colheita entre 85 e 99 DAT. A homogeneidade das colheitas é influenciada pelo clima e, principalmente, pela cultivar utilizada (Schiavon et al., 2015). A duração menor da colheita favorece a menor incidência de doenças, menor quantidade de lesões e menor custo de mão de obra, em função da menor entrada de pessoas na área.

Observou-se que tubo gotejador pode ser enterrado até 20 centímetros de profundidade sem que ocorra prejuízos ao desenvolvimento do brócolis, nas condições deste experimento, porém nos primeiros 10 dias houve a necessidade de aplicação de água em toda a superfície para a reestruturação do solo. A fertirrigação também pode ser utilizada para as adubações do brócolis sem prejuízos à produção pela forma de aplicação do fertilizantes.

A produtividade da água foi de 0,43 kg m<sup>-3</sup>, sendo necessários 232 L de água de irrigação para produzir 1 kg de brócolis. Geisenhoff et al. (2015), para produção de 1 kg de brócolis no sistema de gotejamento subsuperficial, utilizaram 200 L de água. A produtividade da água expressa o benefício derivado da utilização de água pelas

culturas, pois relaciona o produto econômico da cultura com o volume de água aplicado via irrigação (Lima et al., 2012).

#### 4.4 Custos

Tendo em vista que o custo para enterrar os gotejadores foi o mesmo a 10 e a 20 cm, bem como que a produtividade do brócolis não foi alterada em função do enterro do tubo gotejador, procedeu-se à análise considerando gotejador enterrado para as duas profundidades supracitadas.

O custo de produção do brócolis desenvolvido neste trabalho consta no Apêndice A. O projeto de irrigação dimensionado para 1 ha consta no Apêndice B e a lista de materiais no Apêndice C.

A Tabela 12 representa a composição percentual dos custos fixos e variáveis para a produção de brócolis com uso de irrigação por gotejamento em superfície ou em subsuperfície e uso de fertirrigação ou adubação manual. Os valores em reais que compõe o custo total constam no Apêndice A.

O custo fixo representa em média 10,4% do custo de produção, sendo que na sua composição a depreciação tem a maior representação. Quanto maior o capital investido maior é o custo de oportunidade e da depreciação, esta também é afetada pela vida útil do bem, portanto, maiores, na irrigação em subsuperfície e fertirrigação comparadas à superfície e na adubação manual.

A remuneração da terra, calculada pelo valor de arrendamento na região para a cultura da cana de açúcar, apresentou valor de R\$ 2043,28 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e aproximadamente 3,5% dos custos.

A maior parte dos custos de produção do brócolis em todos os tratamentos estudados esteve concentrada no custo variável. Os insumos para produção representam mais da metade dos custos, e englobam os fertilizantes, defensivos e mudas, estas que inclusive representam 52% do gasto com insumos. O segundo maior dispêndio é a de mão de obra, seguido por custos de colheita e transporte. Esses três itens da composição de custo variável somam-se em todos os tratamentos mais de 78% do custo total de produção.

Tabela 12. Porcentagem dos custos fixos e variáveis na produção de brócolis com uso de irrigação por gotejamento em superfície ou em subsuperfície e uso de fertirrigação ou adubação manual

Custo Fixo e Variável	Custos (%)			
	Enterrado		Superficial	
	Fertirrigação	Manual	Fertirrigação	Manual
Remuneração da terra	3,56	3,49	3,62	3,54
Depreciação	6,33	5,99	5,37	5,04
Custo de Oportunidade	1,32	1,25	1,18	1,11
<b>Custo Fixo Total</b>	<b>11,21</b>	<b>10,72</b>	<b>10,17</b>	<b>9,70</b>
Insumos	56,42	55,20	57,34	56,08
Mão de obra	12,67	14,81	12,88	15,05
Operações mecanizadas	2,00	1,96	2,03	1,99
Despesas com administração	2,45	2,40	2,49	2,44
Colheita e transporte	9,50	9,29	9,65	9,44
Energia Elétrica	1,57	1,54	1,60	1,56
Juros	1,68	1,65	1,71	1,67
Manutenção	2,49	2,43	2,13	2,07
<b>Custo Variável Total</b>	<b>88,79</b>	<b>89,28</b>	<b>89,83</b>	<b>90,30</b>
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

A aplicação de fertilizantes via fertirrigação representou nos custos de produção 128,57 R\$ ha<sup>-1</sup>, que representa um quarto da adubação manual que foi de 550,10. A diferença entre custo de produção com fertirrigação em relação adubação manual é de 0,03 R\$ kg<sup>-1</sup>. Considerando que o investimento necessário para instalar a fertirrigação foi de 680,00 R\$ ha<sup>-1</sup>, são necessários, nas condições deste experimento, 20,8 t de brócolis para que a diferença na receita líquida cubra os custos do investimento da fertirrigação. Ressaltando que a produtividade da safra foi de 12,88 t ha<sup>-1</sup> e a vida útil do sistema de injeção de fertilizantes de 5 anos (Marouelli e Silva, 2011), o investimento na fertirrigação apresenta-se economicamente viável.

Embora para execução da fertirrigação faz-se necessário maior conhecimento técnico, a adubação manual exige mais esforço físico e sua uniformidade de distribuição de fertilizantes é influenciada pelos equipamentos utilizado e seu operador, que dificilmente terão o mesmo desempenho da uniformidade obtida na fertirrigação.

É possível inferir ainda que a redução de danos físicos às plantas e menor potencial de disseminação de doenças são situações desejáveis, obtidas com a prática da fertirrigação.

No custo de produção, a irrigação com tubo enterrado, representa 9,69%, R\$ 1863,44 por safra, enquanto que em superfície, 7,98%, com gasto de R\$ 1558,44, esses valores correspondem à depreciação, custo de oportunidade e manutenção do sistema.

O maior custo atribuído à tubulação enterrada é diretamente revertido em maior operacionalidade na realização de práticas culturais. Durante as capinas manuais e mecanizadas é comum a ocorrência accidental de danos físicos ao tubo gotejadores quando em superfície, assim como, ao enterrar tem-se proteção do ataque de animais que buscam a dessedentação.

Do ponto de vista agrônômico o enterrio dos emissores reduz a oportunidade de evaporação da água em superfície, reduzindo o componente evaporativo do processo de evapotranspiração, porém a redução não foi possível ser observada neste trabalho.

É importante citar que o umedecimento superficial constante, comum em sistemas de irrigação de alta frequência, pode propiciar maior incidência de doenças fúngicas, de baixa ocorrência neste trabalho.

A receita total estimada para o brócolis foi de 38.640,00 R\$ ha<sup>-1</sup>, ao preço médio de 3,00 R\$ kg<sup>-1</sup>, de acordo com dados da CEASA (2019), para comercialização em Uberlândia-MG no mês de novembro/2019.

Na Tabela 13, encontram-se os indicadores de eficiência econômica em função do uso do gotejador em superfície ou enterrado e da aplicação de fertilizantes via fertirrigação ou manual.

O investimento inicial para a irrigação da localizada foi em superfície de 20.125,35 R\$ ha<sup>-1</sup>, e em subsuperfície, enterrado a 10 ou 20 cm, de 23.125,00 R\$ ha<sup>-1</sup>. Para montagem do sistema de injeção de fertilizantes, o orçamento foi de 680,00 R\$ ha<sup>-1</sup>. Portanto, entre os tratamentos estudados, o maior investimento foi com tubo gotejador enterrado e usando fertirrigação, enquanto que o menor, com tubo em superfície e sem fertirrigação.

Tabela 13. Indicadores de eficiência econômica para brócolis de cabeça única

Posição Tubo gotejador	Adubação	Inv (R\$)	CT (R\$)	RL (R\$)	TxR (%)	TpR (safras)
Subsuperfície	Fertirrigação	23.805,35	19.109,19	19.530,81	82,04	1,22
Subsuperfície	Manual	23.125,35	19.530,72	19.109,28	82,63	1,21
Superfície	Fertirrigação	20.805,35	18.804,19	19.835,81	95,34	1,05
Superfície	Manual	20.125,35	19.225,72	19.414,28	96,47	1,04

Inv – Investimento inicial, CT – Custo Total, RL - Receita Líquida, TxR - Taxa de retorno, TpR - Tempo de retorno.

Como não houve diferenças significativas na produtividade em função dos tratamentos, a maior receita líquida alcançada foi a do tratamento que apresentou o menor custo. A irrigação com o tubo gotejador em subsuperfície apresentou RL de R\$ 305,00 menor que a irrigação em superfície, já a fertirrigação trouxe retorno de R\$ 421,53 maior que a adubação manual.

A taxa de retorno, na primeira safra, para todos os tratamentos foi maior que 80%, indicando alta rentabilidade do investimento. No caso da fertirrigação, embora observa-se que comparada com a adubação manual apresentou taxa de retorno menor, a partir da segunda safra e mantendo a mesma estimativa de receita líquida, demonstra melhor rentabilidade.

Os tempos de retorno do investimento para todos os tratamentos estudados foram menores que 2, ou seja, em duas safras já será possível recuperar o valor investido. De forma que, todos os tratamentos apresentaram viabilidade financeira, portanto qualquer alternativa para irrigar ou aplicar os adubos mostrou-se viável do ponto de vista econômico.

Semelhantes resultados foram relatados por Oliveira et al. (2016), quanto ao retorno do investimento na irrigação em superfície e subsuperfície ocorrer em menos de um ano do investimento. Porém, divergindo do resultado deste trabalho o enterrio do tubo gotejador não provocou alterações no custo da aquisição. Enquanto a maior a produtividade do brócolis em gotejamento subsuperficial resultou em receita líquida maior.

A irrigação localizada, conforme demonstrado neste trabalho, no plantio brócolis exige investimento muitas vezes considerado alto em relação a outros sistemas, porém traz a vantagem de não molhar as inflorescências, diminuindo a incidência e disseminação de patógenos. Para o manejo da cultura, não foi utilizada a aplicação de fungicidas, isso depende do monitoramento da lavoura, portanto além da

viabilidade econômica diversos fatores devem ser considerados levando em conta tanto a alternativa que melhor atende a necessidade do produtor quanto do mercado consumidor.

A fertirrigação mostrou-se alternativa viável economicamente, com manejo adequado não afetou o desempenho dos tubos gotejadores e permitiu o desenvolvimento adequado do brócolis com uso de irrigação localizada com tubos gotejadores em superfície ou subsuperfície.

## 5 CONCLUSÕES

O desempenho hidráulico do tubo gotejador avaliado neste experimento pelo CUC, CUD, CVq, GE e vazão não foi afetado pela fertirrigação ou pelo enterrio do tubo gotejador.

Em média, após o uso, os valores foram CUC (93,40%), CUD (89,74%), CVq (8,45%), GE (5,29%) e Vazão (1,99 L h<sup>-1</sup>).

Não houve efeito da forma de aplicação dos fertilizantes (manual ou por fertirrigação) e pelo enterrio do tubo gotejador, na produtividade da cultura, que foi de 12,88 t ha<sup>-1</sup>, bem como na produtividade da água (0,43 kg m<sup>-3</sup>).

A utilização da fertirrigação proporcionou menor custo de produção (2,18%) que a adubação manual, enquanto que a irrigação em subsuperfície resultou em maior custo de produção (1,60%) que em superfície.

A taxa de recuperação do capital investido (82,04 a 96,47%) na irrigação, com tubo enterrado ou superfície, e na fertirrigação indica que o investimento é viável e atrativo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR ISO 9261**: equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores. Especificação e métodos de ensaio. São Paulo. 2006. p. 17.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. **Roma: FAO**. v. 298. 2006.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO. 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper. 56). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>. Acesso em: 17 maio 2018.

ALMEIDA, A. C. S.; BONIFÁCIO, J.; PUSCH, M.; OLIVEIRA, F. C.; GESEINHOFF, L. O.; BISCARO, G. A. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 11. n. 3. p. 1448. 2017. Disponível em: [http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/577/pdf\\_356](http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/577/pdf_356). Acesso em: 04 jul. 2018.

ALVES, N. P.; SOUZA, T. F.; RODRIGUES, J. F.; OLIVEIRA, V. A. V.; VELOSO, A. L. C. Viabilidade econômica da silagem de milho irrigado no Norte de Minas Gerais. **Caderno de Ciências Agrárias**. [S.l.]. v. 9. n. 2. p. 56-62. ago. 2017. ISSN 2447-6218. Disponível em: <<https://seer.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/view/6931>>. Acesso em: 18 maio 2018.

ANA (Agência Nacional de Águas (Brasil)). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA. 2019. 100p. : il.

ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. **Irrigação**: método de irrigação. In: CRUZ, J. C. (Ed.). Cultivo do milho. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 1).

ANDRADE, D. M.; REIS, A. J. Construção e Análise dos Custos-Um Estudo de Caso Realizado na Cozinha Escola e Oficina de Velas da APAE/LAVRAS Minas Gerais. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2000.**

BASHO, S. M.; BIN, M. C. Propriedades dos alimentos funcionais e seu papel na prevenção e controle da hipertensão e diabetes. **Interbio**. v. 4, n. 1, p. 48-58. 2010.

BERÇA, A. S.; MENDONÇA, T. G.; SOUZA, C. F. Influence of organic mulching on drip irrigation management of cabbage cultivation. **Revista Ambiente & Água**. v. 14. n. 4. 2019.

BJORKMAN, T.; PEARSON, K. J. 1998. High temperature arrest of inflorescence development in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). **Journal of Experimental Botany** **49**: 101-106.

CAMPÊLO, A. R.; FERNANDES, C. N. V.; SILVA, A. R. A.; OLIVEIRA, S. R. M.; BEZERRA, F. M. L.; CÂNDIDO, M. J. D. Avaliação de sistemas de irrigação por aspersão em malha em áreas cultivadas com capim-braquiária. **Revista Agropecuária Técnica**. v. 35. n. 1. p. 1-12. 2014.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**. v. 68. n. 2. p. 135- 149. 2004.

CARMO, F. F.; DUTRA, I.; BATISTA, A. A.; BATISTA, R. O.; SILVA, M. G. Dimensionamento hidráulico e avaliação de um sistema de irrigação localizada de baixo custo. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA-REVENG**. v. 24. n. 4. p. 302-313. 2016.

CARVALHO, C.; ELOI, W.; LIMA, S.; PEREIRA, J. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da goiaba. **Irriga**. 2006. v.11. p 36-46.

CARVALHO, L. C. C.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. Tubos gotejadores convencionais submetidos a aplicação

de óxido de ferro via água com carga orgânica e sólidos suspensos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.9. n.2. p. 32 - 41. 2015. <http://doi.org/10.7127/rbai.v9n200273>.

CARVALHO, L. G. D.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 2011. 41.3: 456-465.

CASTRO, L. S.; LEMES, J.; SANTOS, M. S.; SEABRA JÚNIOR, S.; BORGES, L. S. Desempenho de cultivares de brócolis de inflorescência única. produzidas em condições de altas temperaturas. **Revista cultivando o saber**. ISSN 2175-2214. V. 11 – n. 2. p. 207 a 219. Abril a Junho de 2018.

CEASA (Centrais de Abastecimento). **Consulta Procedência do Produto/Varietade**: BROCOLO em Kg. Departamento Técnico – CEASAMINAS. 2019. Departamento Técnico – CEASA MINAS. Disponível em: <http://www.ceasaminas.com.br/informacoesmercadogeral.asp>. Acesso em: 25 jun. 2019.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Mapeamento e qualificação da cadeia produtiva das hortaliças do Brasil**. /Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Brasília: CNA, 2017. 79p. ISBN: 978-85-87331-59-5.

COELHO, E. F.; COSTA, E. L.; BORGES, A. L.; ANDRADE NETO, T. M.; PINTO, J. M. **Fertirrigação**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.31, n.259, p.58-70, nov./dez. 2010

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Centrais de Abastecimento**: Comercialização Total de Frutas e Hortaliças / Companhia Nacional de Abastecimento. – v.1 – Brasília : Conab. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/hortigranjeiros-prohort>. Acesso em 02/03/2020.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos de produção agrícola**: a metodologia da Conab. Brasília: Conab. 2010. 60 p. : il. ISBN : 978-85-62223-02-0.

CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; MOURA, L. M. F.; TEIXEIRA, M. B.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza. v. 7. n. 4. p. 248-257. 2013.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; MOURA, L. M. F.; MELO, S. R. P. Uniformidade de aplicação de fertilizantes sob um sistema de gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 8. n. 5. p. 391-402. 2014.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; MOURA, L. M. F.; CABRAL-FILHO, F. R.; GOMES, F. H. F. Grau de entupimento de um sistema de gotejamento subsuperficial na cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 10. n. 3. p. 695. 2016.

DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; CRUZ, R. L.; ZANINI, J. R.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. Entupimento de emissores enterrados sob a cultura da cana-de-açúcar após três anos de cultivo em condições fertirrigadas. **Irriga**. v. 1. n. 1. p. 62-71. 2014.

DANTAS, G. F.; MORATA, G. T.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; FARIA, R. T.; SANTOS, G. O. Entupimento de gotejadores com uso de efluente de esgoto sob dois sistemas de filtragem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 8. n. 2. p. 86-97. 2014.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **Irrigation and Drainage** Paper 33. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1979. 193p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and drainage paper, 24).

EMATER – DF. **Custo de Produção: Brócolis de Cabeça Única**. 2019. Disponível em: <http://www.emater.df.gov.br/custos-de-producao/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

EMATER/DF - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Custos de Produção:** Brócolis de cabeça única. Disponível em: <http://www.emater.df.gov.br/custos-de-producao/>. Acesso em 25 jun 2020.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil:** Identificação de Áreas Prioritárias. Brasília. 2017. 243 p.:il. ISBN: 978-92-5-709754-4 I.

FARIA, M. A. **Irrigação por gotejamento e microaspersão.** Lavras: UFLA/FAEPE. 145p.il. 2000.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura:** agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: UFV. 2008. 421 p.

FISCHER FILHO, J. A.; OLIVEIRA, V. M.; DALRI, A. B.; ZANINI, J. R.. Performance of pressure-compensating emitters using treated sewage effluent for irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v. 20. n. 10. p. 869-873. 2016.

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

GEISENHOFF, L. O.; OLIVEIRA, F. C. D.; BISCARO, G. A.; ALMEIDA, A. C. D. S.; SCHWERZ, F. Produtividade do brócolis-de-cabeça sob diferentes sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola.** v. 35. n. 5. p. 863-874. 2015.

GITMAN, L.J. **Princípios de administração financeira.** 10 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley. 2004. 745p.

GUIDUCCI, R. C. N.; ALVES, E. R. A.; LIMA FILHO, J. R.; MOTA, M. M. Aspectos metodológicos da análise de viabilidade econômica de sistemas de produção. In: GUIDUCCI, R. do C. N.; LIMA FILHO, J. R. de; MOTA, M. M. (Ed.). **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários:** metodologia e estudos de caso. Brasília. DF: Embrapa. 2012.

KELLER, J. Trickle irrigation. **En Soil Conservation Service National Engineering Handbook.** Colorado, 1978, 129p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**. v.17. p.678-684. 1974.

LAZZAROTTO, J. J. Gestão econômica e financeira na produção de frutas de clima temperado. **Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE)**. 2014.

LAZZAROTTO, J. J.; FIORAVANÇO, J. C. Estudo de caso da eficiência econômica e viabilidade financeira da produção de morango em sistema semi-hidropônico. **Embrapa Uva e Vinho-Circular Técnica (INFOTECA-E)**. 2011.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja. 2009. 57 p. (Embrapa Soja. Documentos. 319).

LIMA JR, J. A.; SILVA, A. L. P. Diâmetro efetivo e coeficiente de uniformidade de areia utilizada em filtros empregados no sistema de irrigação. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer - Goiânia. v. 6. n. 11. p.1-8. 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.

MANTOVANI, E. C. **Avalia**: manual do usuário. Viçosa: DEA/UFV–PNP&D/café Embrapa. 2002.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3 ed. Viçosa: Ed. UFV. 2013.

MARQUELLI, W. A.; MELO, R. A. C.; BRAGA, M. B. Irrigação no cultivo de brássicas. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica** (Circular Técnica. 158). Brasília. DF: Embrapa Hortaliças. 2017.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. **Circular Técnica 98**. Embrapa. Brasília 2011. DISPONÍVEL EM:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75698/1/ct-98.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2018.

MARQUELLI, W.A.; SOUSA, V.F. Irrigação e fertirrigação. In: SOUSA, W.F.; MARQUELLI, W.A.; COELHO, E.F.; PINTO, J.M.; COELHO FILHO, M.A. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2011. 711p.il.

MCCMAHON, T. A., PEEL, M. C., LOWE, L., SRIKANTHAN, R. E MCVICAR, T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrology and Earth System Sciences**. v. 17, p. 1331–1363, <https://doi.org/10.5194/hess-17-1331-2013>, 2013.

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

MELO, R. D. C.; VENDRAME, L. D. C.; MADEIRA, N.; BLIND, A.; VILELA, N. Caracterização e diagnóstico de cadeia produtiva de brássicas nas principais regiões produtoras brasileiras. **Embrapa Hortaliças-Documentos (INFOTECA-E)**. 2017.

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

NACHILUK, K.; OLIVEIRA, M. D. M. Custo de Produção: uma importante ferramenta gerencial na agropecuária. **Análises e Indicadores do Agronegócio**. São Paulo: IEA. v. 7. n. 5. maio/2012.

NASCIMENTO, R. C.; MEDEIROS, P. R. F.; SANTOS, G. S.; ALENCAR, E. C. P. V.; GONÇALVES, D. R.; MARTINS, A. P. F. Dinâmica da obstrução de emissores usados na cultura da uva utilizando água salina de poço subterrâneo. **Irriga**. v. 21. n. 3. p. 491-491. 2016.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 29. n. 3. p. 538-544. 2005.

OLIVEIRA, F. C. D.; GEISENHOF, L. O.; ALMEIDA, A. C. D. S.; LIMA JUNIOR, J. A. D.; LAVANHOLI, R. Economic feasibility of irrigation systems in broccoli crop. **Engenharia Agrícola**. v. 36. n. 3. p. 460-468. 2016.

PEREIRA FILHO, I. A (ed). **O cultivo do milho verde**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2002. 217 p.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas/Fundação IAC. 1997. 285p. Boletim Técnico 100.

REIS, R. P. **Fundamentos de economia aplicada**. Lavras: UFLA/FAEPE. 2007. 95 p.

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; LEAL, M. D. S.; MATA, S. S. Suscetibilidade à intrusão radicular de gotejadores convencionais na irrigação subsuperficial de cana-de-açúcar. **Irriga**. v. 9. n. 2. p. 150-165. 2014.

RIBEIRO, P. A. A; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; FRANCO, E. M.; SILVA, N. F.; CASTRO, L. C.; ALVES, M. E. B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. **Irriga**. v. 1. n. 1. ed. esp. p. 368-379. 2012.

RIBEIRO, P. A. A; TEIXEIRA, M. B.; COELHO, R. D.; FRANCO, E. M.; SILVA, N. F.; CARVALHO, L. C. C.; ALVES, M. E.B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. **Irriga**. Botucatu. Edição Especial. p. 368 - 379. 2012.

RIGUETO, J. **Clima e sua influência na olericultura**. In: HAMERSCHMIDT, I. Manual Técnico de Olericultura. Curitiba: Instituto Emater, 2013. 266 p.: il. color.; (Série Produtor, n. 143). ISBN 978-85-63667-30-4.

SAKATA SEED SUDAMERICA. Dados de mercado e consumo. **Paixão por brócolis by Sakata**. 2017. Disponível em: <https://paixaoporbrocolis.com.br/dados-de-mercado-e-consumo/>. Acesso em: 17 abr. 2020.

SANTOS, D. L.; COELHO, E. F.; BATISTA, L. S.; BARROS, D. L.; GOMES FILHO, R. R.; CARVALHO, C. M. Efeito da aplicação de ureia e de cloreto de potássio

por fertirrigação na vazão dos emissores e em parâmetros químicos do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v. 10. n. 5. p. 990. 2016.

SANTOS, J. S.; CRISÓSTOMO, L.A. Fertirrigação em fruteiras tropicais. **Instruções Técnicas Nº 05**. FORTALEZA-CE: EMBRAPA. 2000. p.2. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/662974/1/It005.pdf>. Acesso em: 28 jun.2018.

SCHIAVON, A.; BLIND, A. D.; ECKSTEIN, B.; PINHEIRO, J. B.; VENDRAME, L. P. C.; HANASHIRO, M. M.; JORGE, M. H. A; VIDAL, M. C.; MICHEREFF FILHO, M.; BOTREL, N.; MADEIRA, N. R.; MELO, R. A. C. **A cultura dos brócolis**. Brasília. DF: Embrapa. 2015. (Coleção Plantar. 74). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142779/1/PLANTAR-Brocolis-ed-01-2015.pdf>.

SEABRA JR, S.; NEVES, J. F.; DIAS, L. D. E.; SILVA, L. B.; NODARI, I. D. E. Desempenho de cultivares de brócolis de inflorescência única em condições de altas temperaturas. **Horticultura Brasileira**. v. 32. n. 04. 2014.

SILVA, A. O.; SILVA, Ê. F. F. E; KLAR, A. E. Manejo da fertirrigação e salinidade do solo no crescimento da cultura da beterraba. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal. v. 35. n. 2. p. 230-241. Apr. 2015.

SILVA, M. L. O.; FARIA, M. A.; REIS, R. P.; SANTANA, M. J.; MATTIOLI, W. Viabilidade técnica e econômica do cultivo de safrinha do girassol irrigado na região de Lavras. MG. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras. v. 31. n. 1. p. 200-205. Fev.. 2007.

SILVA, P. A.; BISCARO, G. A.; OLIVEIRA, G. Q.; SCHWERZ, F.; DREHMER, K. K. B. Fertirrigação com nitrogênio na cultura do brócolis. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**. v. 27. n. 5. p. 472-480. 28 ago. 2019.

SOUZA, T. R.; BÔAS, R. L. V.; QUAGGIO, J. A.; SALOMÃO, L. C.; FORATTO, L. C. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v. 47. n. 6. p. 846-854. June 2012.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas. SP.: Unicamp/FEAGRI. 2017.

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

VAN GENUCHTEN, M. Th. Uma equação de forma fechada para prever a condutividade hidráulica de solos insaturados. **Jornal da Sociedade de Ciências do Solo da América**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VIDAL-MARTÍNEZ, J. L.; NÚÑEZ-ESCOBAR, R.; LAZCANO-FERRAT, I.; ETCHEVERS-BARRA, JD; CARRILLO-GONZÁLEZ, R.. Nutrição com potássio de brócolis ( *Brassica olearacea* ) com manejo e fertirrigação convencionais em um vertisol em casa de vegetação. **Agrociencia** [online]. 2006, vol.40, n.1, pp.1-11. ISSN 2521-9766.

VIEIRA, G. H. S; MANTOVANI, E. C; SOARES, A. A.; MONTES, D. R. P.; CUNHA, F. F. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área engenharia na agricultura. **Engenharia na agricultura**. Viçosa - MG. v.19 n.1. jan./ fev. 2011. Disponível em: <http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/169/151>. Acesso em: 23 maio 2018.

ZURE, G.E.O.; OLIVEIRA, V.M.; GOTARDO, M.; SANTOS, F.M. Produtividade de milho verde híbrido bm3061 sob diferentes tipos de adubação no plantio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 6. n. 2. p. 184-188. 2011.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A. Custo de produção do brócolis

Tabela 1A. Custo de produção do brócolis em reais por hectare.

Custo Fixo e Variável	Custos (R\$ ha <sup>-1</sup> )			
	Subsuperfície		Superficial	
	Fertirrigação	Manual	Fertirrigação	Manual
Remuneração da terra	681,09	681,09	681,09	681,09
Depreciação	1 209,79	1 168,99	1 009,79	968,99
Custo de Oportunidade	251,79	244,31	221,79	214,31
<b>Custo Fixo Total</b>	<b>2 142,67</b>	<b>2 094,39</b>	<b>1 912,67</b>	<b>1 864,39</b>
Insumos	10 781,47	10 781,47	10 781,47	10 781,47
Mão de obra	2 421,44	2 892,95	2 421,44	2 892,95
Operações mecanizadas	382,20	382,20	382,20	382,20
Despesas com administração	468,88	468,88	468,88	468,88
Colheita e transporte	1 814,55	1 814,55	1 814,55	1 814,55
Energia Elétrica	300,55	300,55	300,55	300,55
Juros	321,96	321,96	321,96	321,96
Manutenção	475,46	473,76	400,46	398,76
<b>Custo Variável Total</b>	<b>16 966,52</b>	<b>17 436,34</b>	<b>16 891,52</b>	<b>17 361,34</b>
<b>Total</b>	<b>19 109,19</b>	<b>19 530,72</b>	<b>18 804,19</b>	<b>19 225,72</b>

## APÊNDICE B. Projeto de irrigação

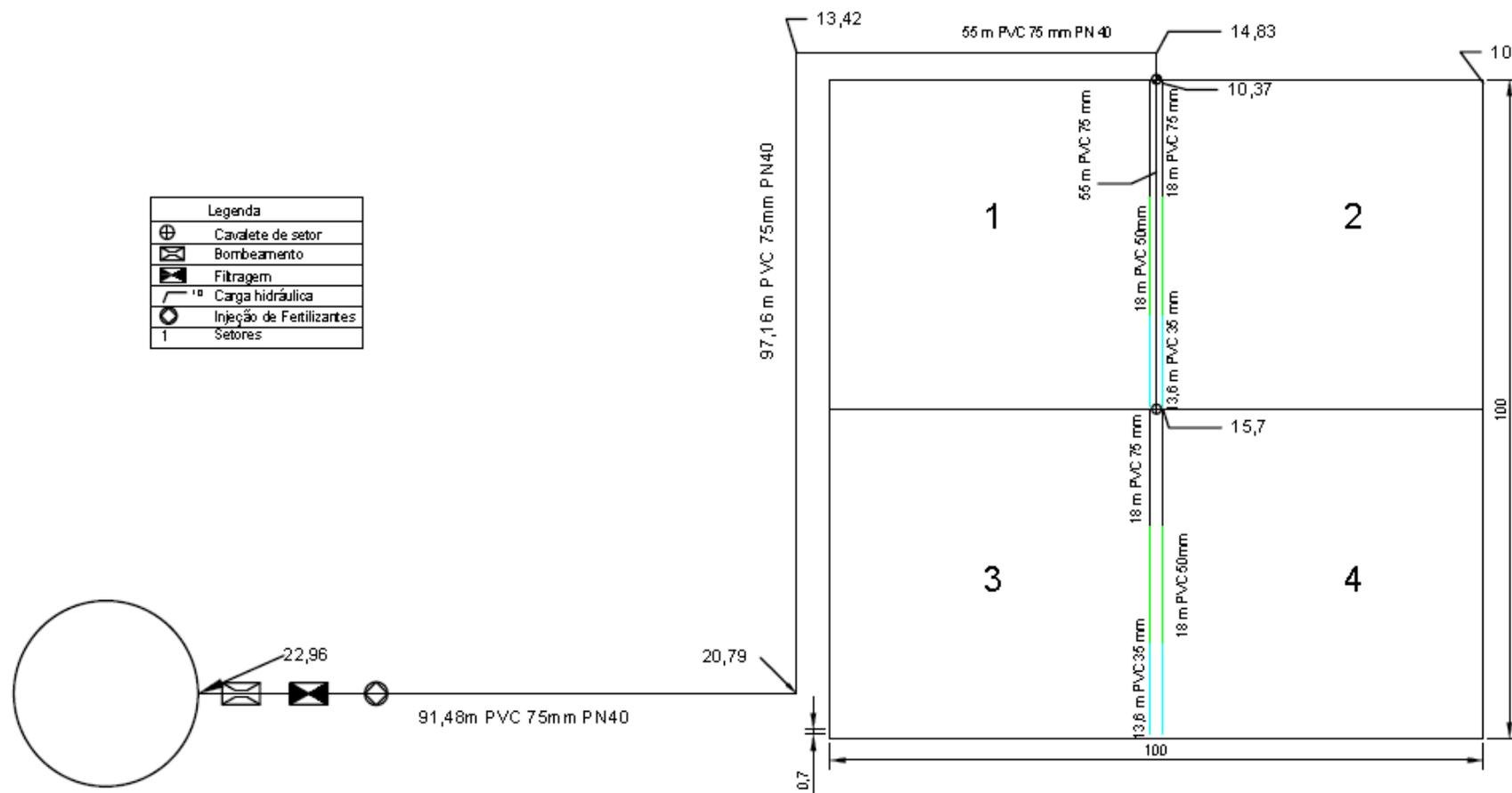


Figura 1B. Projeto de irrigação de 1 ha para área experimental

## APÊNDICE C. Lista de Materiais para o sistema irrigação

Tabela 1C. Lista de Materiais para irrigação.

Material	Qtd	Unidade
<b>Bombeamento</b>		
Válvula pé com crivo 3" tipo cebola	1	un
Adap mangote 3" ranhurado	1	un
Abraçadeira super reforçada 3"	1	un
Mangote kp 3"	5	m
Abraçadeira super reforçada 3"	1	un
Redução excentrica 3" ranhurada x2" re	1	un
Conj moto bomba ksb megabloc mod 05032125 5 cv monofasico	1	un
Chave partida compatível motor partida suavizada	1	un
Ampliação concentrica 1-1/4" re x 2"re	1	un
Curva 90° 2" ag macho	1	un
Registro de gaveta 2" pn20	1	un
Niple duplo ag 2"	1	un
"T" com red roscavel 2" x 1/2" ag	1	un
Bucha red 1/2" x 1/4" ag	1	un
Registro p/ manometro 1/4"	1	un
Manometro com glicerina esc 0.5kgf cm2	1	un
Curva 45° 2" m/f	2	un
<b>Cabeçal de Controle</b>		
Tubo 2" ag	3	m
Curva 90° 2" ag	2	un
Tubo ag 2" 1 metro ag	3	un
Tubo ag 2" 1 metro ag	3	un
"T" 2" ag	6	un
Niple 2" ag	12	un
Registro 2"	6	un
"T" com redução 2"x3/4" ag	2	un
Registro 3/4"	2	un
Niple 3/4" ag	4	un
Tubo ag 2" 1 metro ag	2	un
Registro de gaveta 2" ag	1	un
Curva 90° 3/4" ag	2	un
Tubo 0,5 m 3/4" ag	4	un
Curva 90° 2" ag	4	un
Injetor de fertilizante hidraulico vazão 300l/h	1	un

Continua...

## Continuação Apêndice C

Material	Qtd	Unidade
<b>Cabeçal de Controle</b>		
Curva 90° 2" ag	4	un
Tubo 1 m 2" ag	4	un
Filtro de disco 2" T -Super 120 mesch	1	un
Filtro de areia 600 mm 2"	2	un
<b>Linha Adutora</b>		
Barra tubo pvc 75mm pn40	53	un
<b>Cavaletes</b>		
"T" 75mm	4	un
Registro 3"	4	un
Curva 75 mm	8	un
Adap 75mm x3"	8	un
<b>Linha de distribuição</b>		
Barra tubo pvc 75mm pn40	13	Un
Barra tubo pvc 50mm pn40	13	Un
Barra tubo pvc 35mm pn40	10	Un
Red 75mm x 50mm	4	Un
Red 50mm x 35mm	4	Un
Curva 35mm 90°	4	Un
Registro esfera 35mm	4	Un
<b>Linhas Laterais</b>		
Chulas	284	un
Conector inicial 16mm	284	un
Tubo cego 16mm	284	m
União 16mm	284	un
TOPDRIP 16MM PC& AS 2 Lh-1 ,esp 30 cm, 25mil.	13916	m