

DAVID RAFAEL QUINTÃO ROSA

**RESPOSTA DA CULTURA DA CENOURA À IRRIGAÇÃO CONDUZIDA
COM DIFERENTES MÉTODOS DE MANEJO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R788r
2012

Rosa, David Rafael Quintão, 1985-

Resposta da cultura da cenoura à irrigação conduzida com
diferentes métodos de manejo / David Rafael Quintão Rosa.
– Viçosa, MG, 2012.
xi, 62f. : il. (algumas col.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Mauro Aparecido Martinez.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 55-60.

1. Irrigação. 2. Água. 3. Água na agricultura. 4. Cenoura -
Cultivo. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.587

DAVID RAFAEL QUINTÃO ROSA

**RESPOSTA DA CULTURA DA CENOURA À IRRIGAÇÃO CONDUZIDA
COM DIFERENTES MÉTODOS DE MANEJO**

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

APROVADA: 12 de julho de 2012.

Mario Puatti
(Coorientador)

Silvio Bueno Pereira

Daniel Fonseca de Carvalho

Mauro Aparecido Martinez
(Orientador)

AOS MEUS PAIS, JUCA E NEUZA,
que sempre me apoiaram, com seus conselhos
e orações;

À VALÉRIA,
que sempre confiou nas minhas
decisões e me fortaleceu nos momentos
difíceis,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e paz necessária durante os momentos vividos, neste curso.

Aos meus pais, Juca e Neuza, pelo exemplo, cuidado, carinho, dedicação e por sempre acreditarem na minha capacidade.

À Valéria, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos desta caminhada.

A toda a minha família, pela torcida, pelo apoio e pelos momentos vividos.

Ao professor Mauro Aparecido Martinez, pela orientação, apoio, paciência, ensinamentos e confiança.

Aos professores Rubens Alves de Oliveira e Mário Puiatti, pelos conselhos, pela atenção e por sempre estarem dispostos a me ajudar.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste curso.

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

Ao Júlio, grande companheiro durante a realização do experimento de campo.

Ao João Batista pela ajuda e pelos esclarecimentos durante a realização deste trabalho.

Ao José Antônio, grande amigo e funcionário da área de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos momentos de alegria e pela valiosa contribuição durante esta pesquisa.

Aos estagiários, Átila, Íkaro, Marina, Lúgia, Máira e Álvaro, pela ajuda, companheirismo, responsabilidade e cuidado durante a realização do experimento.

Aos amigos de pós-graduação, Donizete, Danilo, Eduardo, Luan, Valdeir, Robson, Jonathas, Marta, Enoque, Zonta, Fernanda e Gheila.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial ao Chicão e Eduardo, por sempre estarem dispostos a ajudar.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meus agradecimentos.

BIOGRAFIA

David Rafael Quintão Rosa, filho de José Basílio Rosa e Maria Neuza Quintão Reis Rosa, nasceu na cidade de Ponte Nova, estado de Minas Gerais, em 8 de julho de 1985.

Em março de 2004, ingressou no curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em julho de 2009.

Em agosto de 2010, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na área de Recursos Hídricos e Ambientais, no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, defendendo a dissertação em julho de 2012.

ÍNDICE

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. A cultura da cenoura irrigada.....	4
2.2. Manejo da água na agricultura irrigada	6
2.3. Estimativa da evapotranspiração.....	8
2.3.1. Método de Penman-Monteith FAO 56	9
2.3.2. Método do Tanque Classe A.....	10
2.3.3. Irrigâmetro.....	12
2.4. Determinação do teor de água no solo.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1. Caracterização da área experimental	16
3.2. Instalação e manejo da cultura.....	18
3.3. Delineamento Experimental e análise da produção	20
3.4. Sistemas e métodos de irrigação	23
3.4.1. Avaliação do sistema de irrigação	25
3.5. Manejo da irrigação	27
3.5.1. Determinação da precipitação efetiva.....	27
3.6. Métodos utilizados para o manejo da irrigação	28
3.6.1. Método de Penman-Monteith FAO 56	28
3.6.2. Método do Tanque Classe A.....	30
3.6.3. Irrigâmetro.....	30
3.6.4. Método da TDR.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. Condições experimentais	39
4.2. Evapotranspiração de referência.....	41
4.3. Evapotranspiração da cultura e lâminas de irrigação	43

4.4. Produtividade da cenoura.....	49
4.4.1. Teor de matéria seca da parte aérea e das raízes.....	52
4.4.2. Comprimento da parte aérea.....	53
5. CONCLUSÕES.....	54
6. LITERATURA CITADA	55
APÊNDICE.....	61

RESUMO

ROSA, David Rafael Quintão, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Resposta da cultura da cenoura à irrigação conduzida com diferentes métodos de manejo.** Orientador: Mauro Aparecido Martinez. Coorientadores: Rubens Alves de Oliveira e Mário Puiatti.

A cenoura (*Daucus carota* L.) é uma das principais olerícolas cultivadas no Brasil. Devido a sua sensibilidade ao déficit hídrico, a aplicação de lâminas de irrigação suficientes para suprir a demanda hídrica da cultura, torna-se um dos fatores mais importantes para a obtenção de altas produtividades. Para o uso racional da água na agricultura irrigada é necessária a adoção de um método de manejo da irrigação que seja capaz de maximizar a produtividade por lâmina aplicada. Desta forma, objetivou-se comparar as lâminas de irrigação e as produtividades de cenoura com a aplicação de lâminas de irrigação, calculadas com a utilização de quatro métodos de manejo da irrigação. Para alcançar os objetivos propostos, instalou-se na Área Experimental de Irrigação e Drenagem, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, localizada em Viçosa, MG, um experimento em um delineamento em blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos constituíram das lâminas de irrigação obtidas utilizando quatro métodos de manejo da irrigação: Penman-Monteith FAO 56, Tanque Classe A, Irrigâmetro e o método da TDR. A adubação foi realizada conforme recomendações para a cultura no estado de Minas Gerais. A semeadura da cenoura foi realizada em 04 de março de 2012. As irrigações para os métodos de Penman-Monteith FAO 56 e do Tanque Classe A foram realizadas com turno de rega diário até 50 dias após o plantio; logo depois aumentou-se o turno de rega para dois dias até o final do ciclo da cultura. Os coeficientes de culturas (kc) utilizados foram iguais a 0,75; 0,85; 0,95 e 0,90 para os estádios de desenvolvimento I, II, III e IV respectivamente. Para os métodos do

Irrigâmetro e o método da TDR, os turnos de rega variaram de acordo com as características de cada um destes métodos. Após o ciclo de 90 dias, as cenouras foram colhidas, as raízes lavadas, secas e classificadas, determinando-se as massas correspondentes a cinco classes. As classes de classificação foram denominadas de G, Extras AA, Extra A, Extra e Descartes, de acordo com o comprimento. A análise estatística consistiu de análise de variância e testes de Dunnett e de Tukey, para comparação das médias. Foram aplicados 111,39 mm calculados por meio do método de Penman-Monteith FAO 56, 103,3 mm com o método do Tanque Classe A, 93,5 mm com o método do Irrigâmetro e 83,65 mm com o método da TDR. As produtividades médias totais obtidas foram de 62,62; 66,29; 62,92 e 62,56 t ha⁻¹ com as lâminas calculadas com os métodos de Penman-Monteith FAO 56, Tanque Classe A, Irrigâmetro e o método da TDR, respectivamente. Os resultados permitiram concluir que não houve diferença significativa entre as lâminas médias aplicadas considerando os métodos de manejo da irrigação. Também não houve diferença significativa entre as produtividades, teores de matéria seca da parte aérea e das raízes e comprimento da parte aérea, entre os métodos utilizados.

ABSTRACT

ROSA, David Rafael Quintão, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012. **Response of carrot crop irrigation to conducted with different methods of management.** Adviser: Mauro Aparecido Martinez. Co-advisers: Rubens Alves de Oliveira and Mário Puiatti.

Among all the vegetables cultivated in Brazil, carrot (*Daucus carota* L.) is one of the most commonly cultivated. Due to its sensitivity to water stress conditions, continuous irrigation is necessary to supply the water needs of the crop in order to guarantee a good yield. To assure an efficient use of water in agriculture, an irrigation method to maximize the productivity of the crop with the water applied is needed. This way, the objectives of this work were to compare depths of water applied with irrigation and the yield of the carrots obtained with the use of different methods of irrigation management. In order to achieve the proposed objectives, an experiment with four different irrigation treatments and 5 repetitions, based on a completely randomized block design was used. It was installed in the Experimentation Area of Irrigation and Drainage of the Department of Agriculture Engineering of the Federal University of Vicosa (UFV). The depths of water applied in each treatment were obtained with the use of different irrigation management methods. These were: Penman-Monteith FAO 56, Class A pan, "Irrigâmetro", and the TDR method. Fertilization was performed as recommended for the crop in the state of Minas Gerais. The planting of the carrots happened on the 4th of March, 2012, and the irrigation for the methods Penman-Monteith FAO 56 and the Class A pan was made based on the schedule of irrigation of once per day until 50 days after the beginning of the experiment. After that, the schedule irrigation increased to once every two days until the end of the study. For the "Irrigâmetro" and TDR methods, the schedule irrigation varied according to the characteristics' of each of them. After 90 days, the carrots were harvested; the roots were washed, dried, and classified in 5 different classes. The classes were G, Extra AA, Extra A, Extra and Discard,

according to their length. The statistical analysis consisted of analysis of variance, and tests of Dunnett and Tukey in order to compare the averages. The irrigation depth was of 111.39 mm calculated with the Penman-Monteith FAO 56 method; 103.3 mm with the Class A pan; 93.5 mm with the “Irrigâmetro” method; and 83.65 with the TDR method. The total average yields were: 62.62, 66.92, 62.92, 62.56 t ha⁻¹ with the calculated amount of water by the methods Penman-Monteith FAO 56, Class A pan, “Irrigâmetro”, and TDR, respectively. The results lead to the conclusion that there was not a considerable difference between the irrigation depths with the different irrigation management treatments. Also, there were no significant differences between the yields, dry organic matter of the leaves and of the roots, and the length of the top between the used methods.

1. INTRODUÇÃO

Irrigar significa fornecer água em quantidade e qualidade necessárias ao desenvolvimento das plantas. Portanto, o estudo das necessidades hídricas das culturas, principalmente das consideradas muito sensíveis ao déficit hídrico, torna-se necessário ao correto planejamento, dimensionamento e manejo do sistema de irrigação.

Um dos fatores mais importantes para o manejo da irrigação é a determinação das lâminas necessárias para a reposição da água no solo, com o intuito de potencializar a eficiência produtiva (Fernandes, 2008).

A maioria das culturas possui períodos críticos quanto à deficiência hídrica, durante os quais a falta de água no solo causa sérios decréscimos na produção final, sendo estes dependentes da sua duração, da intensidade da falta de água e do estágio de desenvolvimento da planta. Entre as culturas consideradas sensíveis ao déficit hídrico, destacam-se as hortaliças.

Dentre as hortaliças cultivadas, a cenoura (*Daucus carota* L.) é a quinta olerícola cultivada no Brasil em ordem de importância econômica, sendo cultivada em larga escala nas regiões Sudeste e Sul (Marouelli et al., 2007).

As hortaliças são culturas de ciclo curto. O ciclo fenológico da cenoura, da semeadura até a colheita, varia de 85 a 125 dias, dependendo do cultivar, clima e época de plantio. O desenvolvimento, a produtividade e a qualidade das raízes estão intimamente relacionados com o teor de água no solo.

Quando o suprimento de água no solo atende plenamente às necessidades da cultura, a produtividade máxima depende, principalmente, das características genéticas e do grau de adaptação ao meio ambiente predominante. Caso contrário, a produtividade é determinada pela possibilidade de atendimento das necessidades hídricas totais durante o ciclo de desenvolvimento (Doorenbos e Kassam, 1979).

Existem diversos métodos para estimar a quantidade de água extraída do solo por uma cultura durante seu ciclo de desenvolvimento, como os métodos de Penman-Monteith FAO 56 (Allen et al.,1998), Tanque Classe A (Doorenbos e Pruitt, 1977; Allen et al.,1998), Irrigâmetro (Tagliaferre et al., 2010) e o método da TDR (TDR- Time Domain Reflectometer) (Pereira et al., 2006; Medeiros et al., 2007).

As estimativas das necessidades hídricas das culturas são baseadas em dados da evapotranspiração de referência (ET_0), multiplicada pelo coeficiente de cultura (K_c) para cada estágio de seu desenvolvimento (Doorenbos e Pruitt, 1977).

O método de Penman-Monteith FAO 56 é o mais utilizado para a estimativa da ET_0 , sendo recomendado pela FAO (Food and Agriculture Organization) (Allen et al.,1998), como método padrão. Porém, necessita da obtenção de dados climáticos por meio de estações meteorológicas que nem sempre são utilizadas ou estão disponíveis.

O método do Tanque Classe A é um dos mais utilizados em projetos de irrigação (Pereira et al.,1997). De acordo com Smith (1991), quando o método é bem utilizado, os resultados obtidos representam adequadamente a evapotranspiração de referência. Ele, responde diretamente ao efeito integrado da radiação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa sobre a evaporação de uma superfície de água-livre.

Uma tecnologia que nos últimos anos está disponível aos produtores rurais é o Irrigâmetro. Esta tecnologia estima a evapotranspiração e a disponibilidade de água no solo para uma cultura, sendo um aparelho dotado de um evaporímetro e um pluviômetro. Ele fornece o momento de irrigar e o tempo de funcionamento ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação, de maneira simplificada, precisa e com custo reduzido, permitindo contabilizar a chuva no manejo da irrigação. Estando o Irrigâmetro ajustado para as condições do solo, cultura e características do sistema de irrigação, o manejo da água é conduzido sem a necessidade de cálculos, devendo

ser utilizado um equipamento para cada cultura em exploração (Oliveira e Ramos, 2008).

São vários os métodos utilizados para se estimar o teor de água no solo, dentre eles existe o método da TDR. Um método ideal para a determinação do teor de água no solo seria aquele que usasse uma propriedade física do solo ou uma característica altamente correlacionada ao seu teor de água. Tal propriedade deve ser confiável e capaz de ser avaliada diretamente no campo, sem alteração das características físicas do solo. Este método pode utilizar a medição da constante dielétrica da água do solo, cuja propriedade representa a relação entre a capacitância de um meio isolador e o espaço livre (Silva e Gervásio, 1999). O método da TDR faz uso dessa propriedade da água para determinar o seu teor no solo, através da medição da constante dielétrica do meio.

Diante do exposto, torna-se de fundamental importância estudar a produtividade das culturas por unidade de lâmina de irrigação. Num mesmo cultivo pode haver variações nas lâminas de irrigação calculadas utilizando diferentes métodos de manejo. Estas diferentes lâminas quando aplicadas podem alterar a produtividade e a qualidade final do produto.

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho:

- Comparar as lâminas de irrigação obtidas utilizando-se os métodos do Tanque Classe A, Irrigâmetro e o método da TDR, com o método padrão de Penman-Monteith FAO 56, no manejo de irrigação, para o cultivo da cenoura.
- Comparar entre si as lâminas de irrigação obtidas utilizando-se os métodos do Tanque Classe A, Irrigâmetro e o método da TDR.
- Comparar a produtividade da cenoura cultivada com lâminas de irrigação obtidas com a aplicação dos quatro métodos de manejo da irrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da cenoura irrigada

A cenoura (*Daucus carota* L.), pertencente à família das Apiácias, tem como centro de origem a região hoje denominada de Afeganistão (Filgueira, 2000). Produz uma raiz aromática e comestível, caracterizando-se como uma das mais importantes olerícolas, pelo seu grande consumo em todo o mundo, pela extensão da área plantada e pelo grande envolvimento socioeconômico dos produtores rurais (Alves et al., 2010). Ainda, segundo, Deleo et al. (2010), a cenoura destaca-se entre as hortaliças que mais expandiu o cultivo no ano de 2010.

No Brasil, os principais estados produtores são Minas Gerais, Bahia, Paraná e São Paulo. Destaca-se como maior produtor nacional o estado de Minas Gerais, com três importantes pólos de produção de cenoura. O principal destes pólos é a região de Rio Paranaíba (São Gotardo, Rio Paranaíba, Campos Altos, Tiros, Ibiá, Matutina) que, em uma área de oito mil hectares e com produtividade média de 35 t ha⁻¹, responde por mais de 37% da produção nacional (Vilela e Borges, 2008). Ainda, segundo dados do Centro de Economia Aplicada (CEPEA), a produtividade média da safra 2008/09 dos estados de Minas Gerais e Distrito Federal, foi de 50 t ha⁻¹.

Segundo Viana et al. (2011), a área de plantio da safra de inverno de 2011 ficou praticamente estável em relação à de 2010, havendo pequeno aumento de investimento em Goiás. Para a safra de verão 2011/12, a estimativa é de aumento de 2,3% no comparativo com a safra 2010/11, impulsionada pela expansão da área cultivada no Rio Grande do Sul, Goiás e no Distrito Federal.

O desenvolvimento da cenoura depende de vários fatores como cultivares adaptados ao sistema de cultivo comercial, dinâmica de crescimento, nutrição mineral, densidade de plantio, teor de água no solo, entre outros. Dentre esses fatores, o teor de água no solo influencia

intensamente na produtividade e na qualidade das raízes. E sendo assim, a irrigação torna-se um importante aspecto para o sucesso desse sistema produtivo.

Segundo Filgueira (2000), as irrigações na cultura da cenoura devem ser leves e frequentes, com turno de rega de um a dois dias, da semeadura até a ocasião do desbaste, especialmente em regiões com temperaturas elevadas. Após a fase inicial da cultura até a colheita, deve-se aumentar a quantidade de água a ser aplicada. Teodoro et al. (2002) afirmam que a produtividade e qualidade da cenoura podem ser prejudicadas, dependendo de como a água é aplicada.

Carvalho et al. (1995), ao avaliarem os efeitos de lâminas de irrigação sobre o crescimento da cenoura, cv. Brasília, concluíram que, para não ocorrer reduções no ganho de peso da raiz, no diâmetro e comprimento, a irrigação na cultura da cenoura deve ser realizada de forma a aplicar lâminas de água correspondentes à evapotranspiração da cultura.

De acordo com Lima Junior et al.(2012), em trabalho onde foram testados os desempenhos de cultivares de cenoura em função da água no solo, a irrigação na cultura deve ser realizada no momento em que a tensão da água no solo estiver em torno de 15 kPa na profundidade de 0,15 m, visando a obtenção de maiores produtividades de raiz (total e comercial) e maior massa média comercial. Isto corrobora com o trabalho de Marouelli et al. (2007), que, visando maximizar a produtividade de raízes comercializáveis de cenoura, recomendam que as irrigações devem ser realizadas quando a tensão-limite (avaliada na região correspondente a 50% da profundidade efetiva das raízes) atingir de 10 a 15 kPa, para solos de textura arenosa, e de 20 a 40 kPa, para solos de textura média e fina.

Silva et al. (2011), avaliando a resposta da cenoura à aplicação de diferentes lâminas de irrigação, concluíram que o desenvolvimento vegetativo da cenoura cultivada em Itumbiara-GO, entre os meses de abril a agosto de 2003, foi altamente influenciado pela quantidade de água

disponibilizada para o seu crescimento. A lâmina de irrigação que proporcionou melhor resultado, em relação à produtividade classificada, foi a de 180% da evaporação no Tanque Classe A.

Moura et al. (1994) encontraram para a cultura da cenoura um consumo de água, considerando um ciclo vegetativo de 101 dias, de 365,03 mm, gerando um consumo médio de 3,61 mm d⁻¹, nas condições de Piracicaba, estado de São Paulo. Já Santos et al. (2009) determinaram o consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano, encontrando um valor de 811,84 mm, para um ciclo de cultivo de 98 dias.

Existem vários sistemas e métodos utilizados na irrigação da cenoura. De acordo com Marouelli et al. (2007), no Brasil a cenoura é irrigada predominantemente por aspersão. Os sistemas de irrigação por superfície, utilizando método de irrigação por sulco, têm sido pouco utilizados devido à alta taxa de infiltração da maioria dos solos nas áreas de produção, da necessidade de sistematização do terreno e do maior uso de mão-de-obra. Irrigações localizadas por gotejamento, ainda têm sido pouco adotadas para esta cultura, devido ao alto custo do sistema, decorrente principalmente da necessidade de utilização de grande quantidade de tubulações e emissores para atender à alta densidade de plantio da cenoura. De acordo com Lima Junior et al. (2011), nos últimos anos e em grandes áreas, o método de pivô central tem sido utilizado com sucesso nas lavouras de cenoura irrigada.

2.2. Manejo da água na agricultura irrigada

No Brasil, a agricultura irrigada é responsável pelo uso de aproximadamente 63% do volume total dos recursos hídricos derivados de mananciais. O uso doméstico urbano e rural totaliza 18%, o uso industrial é de 14% e a dessedentação de animais corresponde a 5% (Domingues, 2002).

Além da grande quantidade de água requerida para a prática da irrigação, o decréscimo de sua disponibilidade e o alto custo de energia necessária à sua aplicação tem aumentado o interesse pela racionalização desse recurso, de forma a minimizar suas perdas (Azevedo et al., 1999). Segundo Cotrim (2009), a adoção de técnicas de irrigação para determinada cultura deve ser respaldada por recomendações adequadas de manejo da água, que permita o uso racional e resulte em alta produtividade física e econômica. Diante destes fatos, é necessário minimizar a quantidade de água utilizada na agricultura irrigada sem que ocorra comprometimento da produtividade das culturas exploradas.

O manejo da irrigação, que por definição é o processo utilizado para decidir quando irrigar as culturas e quanto aplicar de água em cada irrigação, se mostra um dos principais meios para a maximização da produtividade em áreas agrícolas e para a conservação da água no meio rural.

Conhecer a quantidade de água requerida pelas culturas é de grande importância para a realização de um adequado programa de manejo da irrigação (Lopes et al., 2008).

De acordo com Cavalcanti et al.(2003), para o manejo da irrigação ser realizado dentro dos padrões técnicos adequados, é necessário um controle diário do teor de água do solo e/ou da evapotranspiração, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Atualmente, os irrigantes dispõem de uma série de métodos para o manejo da irrigação. Entretanto, em alguns casos a falta de conhecimento técnico adequado, e o custo financeiro para a implantação de um programa de manejo dentro dos padrões técnicos exigidos, tem resultado na obtenção de produtividades abaixo do previsto. Segundo, Espíndula Neto (2002), apesar da disponibilidade de vários métodos de manejo da irrigação, a maioria dos produtores irrigantes não tem adotado qualquer método no manejo da irrigação em suas propriedades.

2.3. Estimativa da evapotranspiração

Nery e Castañeda (1992), citados por Syperreck et al. (2008), afirmam que a disponibilidade de água do solo para as plantas não depende somente das precipitações pluviais, mas também da outra componente do balanço hídrico que corresponde às perdas de água do solo para a atmosfera, que ocorrem devido a evaporação e a transpiração vegetal, processo denominado de evapotranspiração.

A evapotranspiração pode ser definida como a quantidade de água evaporada e transpirada por uma superfície de solo vegetada durante determinado período, incluindo a evaporação da água do solo, da água depositada por uma irrigação, chuva ou pelo orvalho na superfície das folhas e a transpiração vegetal (Doorenbos e Kassan, 1979). Pereira et al. (1997), definem a evapotranspiração como um elemento climático fundamental, que corresponde ao processo oposto a precipitação, também expressa em milímetros.

O consumo de água envolvido no processo de evapotranspiração é influenciado por vários fatores, entre eles, a ação combinada dos elementos meteorológicos como a radiação solar, a temperatura e a umidade relativa do ar, a velocidade do vento, o grau de sombreamento do dossel vegetal e a quantidade de água prontamente disponível no solo (Doorenbos e Pruitt, 1977). Segundo Contin (2008), de maneira geral, as taxas de evaporação e transpiração aumentam com a maior disponibilidade de energia solar, maior temperatura do ar, maior velocidade do vento e menor umidade relativa.

Outro conceito de fundamental importância é a evapotranspiração de referência (ET_0), a qual acontece em uma cultura hipotética que cobre todo o solo, em crescimento ativo, sem restrição hídrica ou nutricional, com altura média de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da superfície ao transporte de vapor de 70 s m^{-1} . Esta evapotranspiração, quando corrigida pelo coeficiente de cultura (K_c), pode ser empregada

para a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_C) (Faria et al., 2000).

A ET_0 corresponde à demanda da atmosfera, enquanto o coeficiente de cultura representa as características de cada cultura específica, variando predominantemente com seu estágio fenológico e de forma limitada com o tempo (Allen et al., 1998). Assim, a ET_C representa o consumo de água por determinada cultura durante um período de tempo.

Bernardo et al. (2006) dividem os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) em dois grandes grupos: diretos e indiretos. Para Gonçalves et al. (2009), os métodos diretos, apesar de apresentarem ótimos resultados, necessitam da aquisição de equipamentos de custo relativamente elevado, tornando a sua utilização no dia a dia inviável para o manejo da água na agricultura irrigada em pequenas propriedades rurais. Segundo Mendonça et al. (2003), existem diversos métodos indiretos para estimativa da ET_0 , com as mais variadas concepções e número de variáveis envolvidas.

2.3.1. Método de Penman-Monteith FAO 56

O método de Penman-Monteith FAO 56 é um método indireto para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) que se baseia em elementos climáticos, tais como temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. Segundo Bernardo et al. (2006), a equação de Penman-Monteith foi uma evolução da estimativa da ET_0 pelo método de Penman, pois além de incorporar os aspectos aerodinâmico e termodinâmico, também agrega a resistência ao fluxo de calor sensível, vapor da água e a resistência a superfície de transferência de vapor de água, em sua equação, a qual é apresentada a seguir:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \lambda \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \lambda(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência (mm d^{-1});

Rn = saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

T = temperatura média do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$);

u_2 = velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1});

e_s = pressão do vapor de saturação (kPa);

e_a = pressão de vapor real (kPa);

$e_s - e_a$ = déficit de pressão de vapor (kPa);

Δ = declividade da curva de pressão de vapor ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$);

λ = coeficiente psicrométrico ($\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$).

A evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith FAO 56 é tomada como padrão, também é considerada como método mais preciso por integrar o maior número de parâmetros envolvidos (Syperreck et al., 2008).

2.3.2. Método do Tanque Classe A

O método do Tanque Classe A (TCA) é um método empírico para a determinação da ET_0 . Segundo Volpe e Churata-Masca (1988), citados por Andrade Junior e Klar (1997), ele é amplamente utilizado no manejo de irrigação, principalmente devido a sua facilidade de operação, custo relativamente baixo e, principalmente, a possibilidade de instalação perto da cultura a ser explorada.

O TCA é um tanque evaporímetro, de formato circular, com 1,21m de diâmetro por 0,254 m de altura, construído em chapa galvanizada número 22, é assentado sobre um estrado de madeira a 0,15 m de altura em relação ao solo. O tanque é cheio com água limpa até 0,05 m da

borda superior e a cada 25 mm de evaporação deve-se restaurar o nível inicial de água no tanque. As leituras são realizadas diariamente, por meio de uma ponta em forma de gancho, inserida em um poço tranquilizador, sendo que a precisão das medições é de 0,02 mm.

De acordo com Bernardo et al. (2006), pelo fato de que os processos de evaporação da água livre no tanque (EV) e a ET_0 serem semelhantes apenas em seus processos físicos, para converter a EV em ET_0 , as condições meteorológicas da região e o local em que o tanque está instalado em relação ao meio circundante devem ser considerados.

Assim a ET_0 é obtida por meio da seguinte equação:

$$ET_0 = k_t EV \quad (2)$$

em que:

K_t = coeficiente do tanque Classe A, adimensional;

EV = evaporação no tanque Classe A, mm.

O valor de K_t pode ser obtido com a aplicação do modelo proposto por Allen e Pruitt (1991), expresso pela seguinte equação:

$$k_t = 0,108 - 0,000331U_2 + 0,0422\ln(B) + 0,1434\ln(UR_{med}) - 0,000631 [\ln(B)]^2 \ln(UR_{med}) \quad (3)$$

em que:

K_t = coeficiente do tanque Classe A, adimensional;

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, $km\ d^{-1}$;

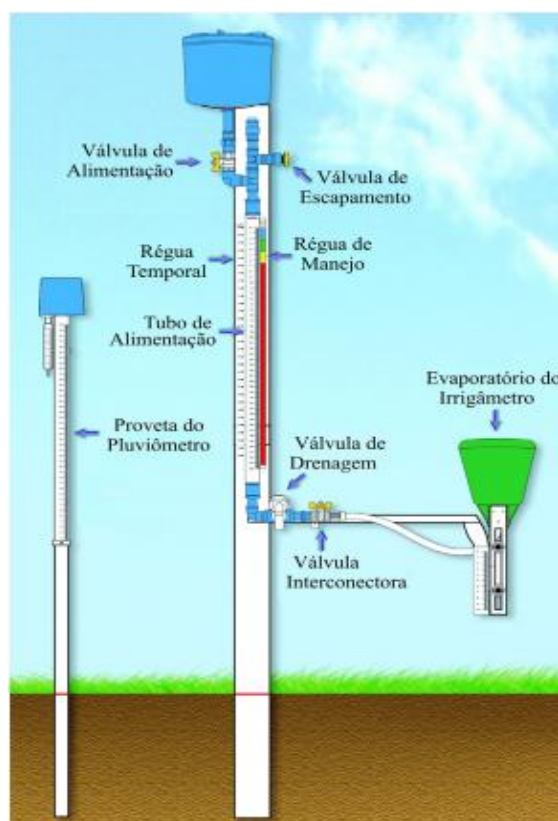
B = bordadura, igual à menor distância do centro do tanque ao limite da área gramada na direção predominante dos ventos, m;

UR_{med} = umidade relativa média do dia, em %

2.3.3. Irrigâmetro

Diante de tantos métodos e técnicas existentes para se estimar o consumo de água das culturas, é necessário disponibilizar para o produtor métodos que sejam simples, mas que possuam precisão satisfatória. Neste sentido, o Irrigâmetro é a tecnologia que foi desenvolvida na Universidade Federal de Viçosa (UFV) com o intuito de levar praticidade aos produtores irrigantes (Tagliaferre et al., 2010).

De acordo com Oliveira et al. (2011), o Irrigâmetro apresenta grande potencial de uso na agricultura irrigada, pois, além de ser de operação simples e de mais baixo custo de aquisição, se comparado a outros equipamentos para manejo da irrigação, ele fornece resposta prática a duas perguntas básicas do manejo: quando e quanto irrigar.



Fonte: Oliveira e Ramos (2008)

Figura 1. Representação do Irrigâmetro e seus componentes.

O Irrigâmetro possui três escalas: (a) escala laminar - graduada no próprio tubo de alimentação do aparelho, que possui a função de medir a lâmina de água evaporada ou evapotranspirada; (b) escala da régua de manejo - sem graduação, possui quatro faces e em cada uma delas, quatro faixas verticais de cores: azul, verde, amarela e vermelha. A sua função é indicar a necessidade de irrigação; e (c) escala da régua temporal ou percentual - graduada em horas/minutos ou em percentagem da velocidade de deslocamento, indica o tempo de funcionamento, no caso de aspersão convencional ou localizada, ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação, no caso de pivô central ou sistema linear (Contim, 2008).

No caso da ocorrência da chuva, a lâmina precipitada é contabilizada facilmente pelo operador do aparelho, sabendo-se, em seguida, se ela foi suficiente ou não para suprir a demanda hídrica da cultura, sem a necessidade da realização de cálculos (Baptestini, 2010).

Oliveira et al.(2008), em trabalho onde o Irrigâmetro foi avaliado para estimar diretamente a evapotranspiração de referência (ET_0), comparando o seu desempenho com os métodos de Penman Modificado, Radiação, Hargreaves-Samani e Tanque Classe A, tendo como padrão o método de Penman-Monteith-FAO 56, verificaram que o Irrigâmetro apresentou bom desempenho na estimativa da ET_0 para períodos de 1, 3, 5 e 7 dias, o que levou os autores a recomendar o seu uso no manejo da irrigação.

Tagliaferre et al.(2010) avaliaram o desempenho do Irrigâmetro no manejo da água de irrigação, conduzido na cultura do feijoeiro, comparativamente ao uso dos métodos padrão de estufa, Tensiômetro, Bouyoucos, estação meteorológica automática (método de Penman-Monteith-FAO 56) e o Tanque Classe A. Os autores concluíram que o Irrigâmetro apresenta desempenho satisfatório na estimativa da evapotranspiração da cultura do feijoeiro em todos os seus estádios de desenvolvimento, podendo, ser recomendado no manejo da água de irrigação.

2.4. Determinação do teor de água no solo

A determinação do teor de água no solo é de fundamental importância para o manejo adequado da irrigação (Gomes et al., 2010).

Os métodos utilizados para a determinação do teor de água no solo podem ser divididos em métodos diretos e métodos indiretos. Os métodos diretos utilizam alguma forma de separação da água do solo da sua matriz. O método direto mais utilizado é o método gravimétrico com secagem em estufa, considerado padrão para calibração dos outros métodos (Cotrim, 2009). Já os métodos indiretos são utilizados para determinações de alguma propriedade física ou química relacionada ao teor de água no solo (Calderón, 2010).

Segundo Gervásio et al.(1999), existem vários métodos usados para se estimar o teor de água nos solos, tais como os blocos de resistência descritos por Armstrong et al.(1985), os psicrômetros de solo (Richards e Caldwell, 1987), tensiômetros (Rice, 1969) , a moderação de nêutrons e a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR) (Topp et al., 1980) .

Entre os métodos utilizados no campo para a medição do teor de água no solo, a reflectometria no domínio do tempo (TDR) vem despertando grande interesse nos últimos anos. Este método baseia-se no princípio de que a velocidade de deslocamento de um pulso eletromagnético em um meio é função da constante dielétrica do mesmo. Como, no solo, a constante dielétrica da água (80) é muito superior à dos outros constituintes (ar (1) e partículas minerais (3 a 5)), a velocidade de deslocamento do pulso é governada pelo conteúdo de água livre no solo (Medeiros et al., 2007).

Topp et al.(1980) propuseram um polinômio do terceiro grau para conversão dos valores da constante dielétrica do solo em teor de água com base em volume. A precisão, segundo os autores, é suficiente para concluir que é possível o uso da TDR sem necessidade de calibração para diferentes solos. Entretanto, diversas pesquisas (Coelho et al., 2006; Medeiros et al., 2007; Silva e Gervásio, 1999) têm demonstrado a necessidade da obtenção de equações de calibração específicas para os solos brasileiros.

Segundo, Coelho et al. (2001), um dos grandes problemas na utilização desta técnica consiste na dificuldade da obtenção de equações de calibração para os diversos tipos de solo. Algumas metodologias de calibração têm sido utilizadas, entretanto parte delas demanda um tempo muito grande para obtenção das equações.

Cecílio e Santos (2009) avaliaram uma metodologia de calibração para um equipamento de TDR com a finalidade de determinar o teor de água no solo em um Latossolo Vermelho-Amarelo. Esta metodologia permitiu rápida obtenção de equações, utilizando pequena quantidade de solo.

De acordo com Souza (2002), a técnica da TDR apresenta várias vantagens quando comparada com outros métodos de determinação do teor de água no solo: não utiliza material radiativo como a sonda de nêutrons, sendo, portanto um equipamento seguro; permite medir o teor de água no solo, com precisão em qualquer profundidade, sem limitação com relação a medidas superficiais; existe no mercado uma grande variedade de sensores, o que possibilita controle no volume de influência do sensor; permite realizar várias medidas no mesmo local sem destruição da amostra de solo; além de permitir o uso automático na coleta de dados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

Este trabalho foi conduzido com a cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) no período de 04 de março a 01 de junho de 2012, na área experimental de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, localizado no município de Viçosa, MG, com coordenadas geográficas de 20°45' S, 42°51' O e com altitude de 651 m.

O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo “Cwa”, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com verão chuvoso e inverno seco.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Contin, 2008). Algumas das características químicas de amostras de solo analisadas estão apresentadas na Tabela 1. A distribuição granulométrica e os resultados das análises físico-hídricas do solo encontram-se na Tabela 2. O solo da área experimental apresentou textura Argilo-Arenosa.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental

Camada (cm)	pH	P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
	(H ₂ O)	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			
0-30	5,45	16,5	105	1,4	2,24	0,58	0,00	2,4

Tabela 2. Distribuição granulométrica e resultado das análises físico-hídrica do solo da área experimental

Camada (cm)	Distribuição Granulométrica				θ^1		ρ_s^2	ρ_p^3
	(%)				(kg kg ⁻¹)		(g cm ⁻³)	
	Argila	Silte	Areia Grossa	Areia Fina	Cc	Pm		
0-30	38	16	32	14	0,285	0,181	0,97	2,68

¹ O teor de água no solo na capacidade de campo (Cc) e no ponto de murcha permanente (Pm) foram determinados no laboratório às tensões de -30 e -1500 kPa, respectivamente.

² A massa específica do solo foi determinada em amostras coletadas em cilindros formados de segmentos de tubo de PVC conforme metodologia proposta por Oliveira e Ramos (2008).

³ Massa específica de partículas.

A curva característica de retenção de água nos solo está apresentada na Figura 2.

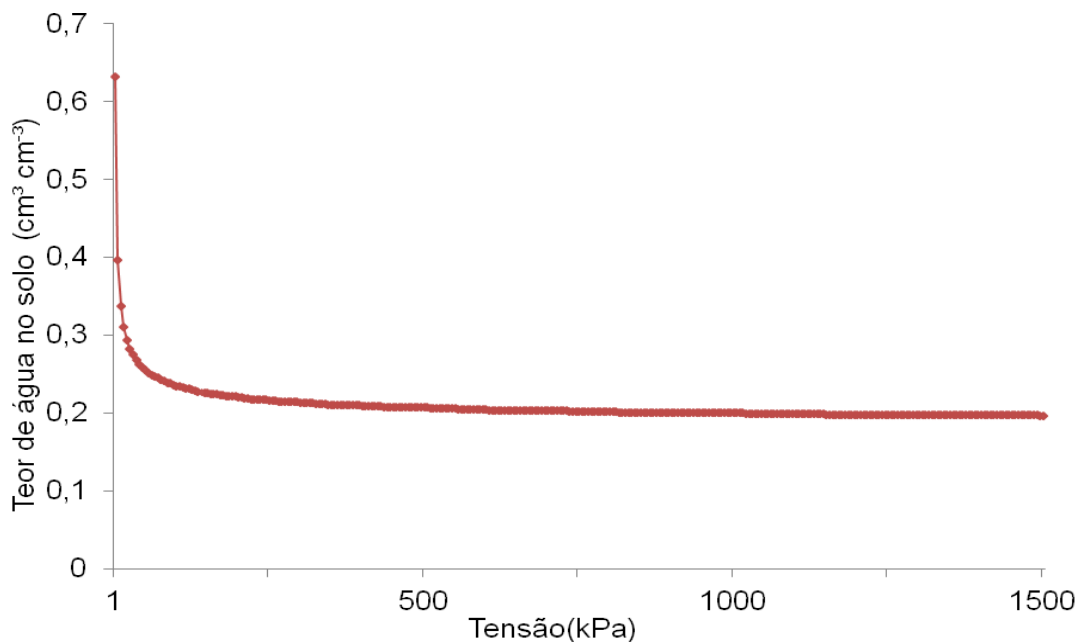


Figura 2. Curva característica de retenção de água no solo.

Na Figura 3 estão apresentados os valores médios dos teores de água no solo para cada bloco durante a realização do experimento.

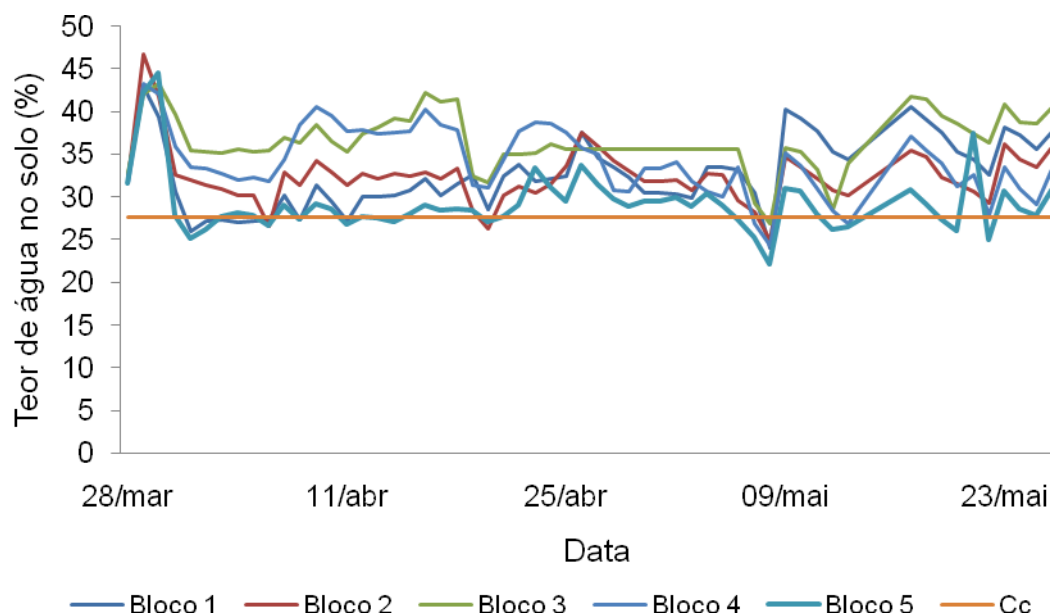


Figura 3. Teor de água no solo após as irrigações.

3.2. Instalação e manejo da cultura

Foram utilizadas sementes de cenoura da cultivar Nativa (Sakata Seed Sudamerica), com os seguintes padrões de qualidade: pureza mínima de 99% e poder germinativo de 98%.

O preparo do solo constou de uma aração e de duas gradagens, para efetuar o adequado destorroamento, seguido de rotocanteiradora para fazer os canteiros com 1 m de largura (Figura 4).

Fez-se necessária a aplicação de 555 kg ha^{-1} de calcário dolomítico, três meses antes do plantio, com a finalidade de correção da acidez do solo e, principalmente, para elevar a saturação por bases para 70%, conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas (CFSEMG, 1999).



Figura 4. Preparo dos canteiros na área experimental com rotocanteiradora.

A adubação foi realizada de acordo com os resultados das análises de solo (Tabela 1) e recomendações para a cultura (CFSEMG, 1999). O adubo foi distribuído manualmente, seguido de incorporação no leito dos canteiros utilizando rotocanteiradora. Foram aplicados equivalentes a: 2.220 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato simples; 120 kg ha^{-1} de N, na forma de sulfato de amônio; 240 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de cloreto de potássio; 200 kg ha^{-1} de MgO , na forma de sulfato de magnésio, 5 kg ha^{-1} de Zn e de Cu, na forma de sulfato de zinco e de cobre, e de 8 kg ha^{-1} de B na forma de Boráx. A adubação de plantio foi realizada sete dias antes da semeadura, incorporando 100% do superfosfato simples e dos micronutrientes, 30% do sulfato de amônio e 40% do cloreto de potássio. O restante do N e do K_2O foi aplicado em cobertura realizada em duas etapas: a primeira 20 dias após a emergência, aplicando-se 30% do sulfato de amônio e de cloreto de potássio; a segunda etapa foi realizada aos 40 dias após a emergência, aplicando-se 40% do sulfato de amônio e 30% do cloreto de potássio.

A semeadura foi realizada no dia 04/03/2012, manualmente, em 4 fileiras longitudinalmente espaçadas de 0,25 m. A emergência das plântulas ocorreu 10 dias após a semeadura. Aos 27 dias após a emergência, foi realizado o desbaste das plantas excedentes, obtendo assim o espaçamento de 4 cm entre plantas na fileira, com uma densidade de 100 plantas m⁻². No dia 01 de junho, foi realizada a colheita das plantas. Durante todo ciclo da cultura foram realizadas capinas manuais para controle de plantas daninhas. O controle fitossanitário foi realizado por meio de pulverizações conforme Tabela 3.

Tabela 3. Pulverizações realizadas durante o ciclo da cultura e fungicidas utilizados para controle de doenças.

Ingrediente ativo	Datas das pulverizações							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Chlorothalonil	02/04	13/04				10/05	18/05	23/05
Óxido cloreto de cobre			19/04	27/04	04/05			

3.3.Delineamento experimental e análise da produção

O experimento foi conduzido em cinco canteiros de 1,0 x 14,0 m (Figura 5). O delineamento foi o de blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas lâminas de irrigação determinadas utilizando quatro métodos no manejo da irrigação: T1: Penman-Monteith FAO 56; T2: Tanque Classe A; T3: Irrigâmetro; e T4: método da TDR.

A parcela experimental apresentava dimensões iguais a 1,0 x 3,5 m. Como área útil das parcelas, foram consideradas as duas fileiras centrais exceto 0,75 m das extremidades totalizando área útil de 1,0 m² por unidade experimental.

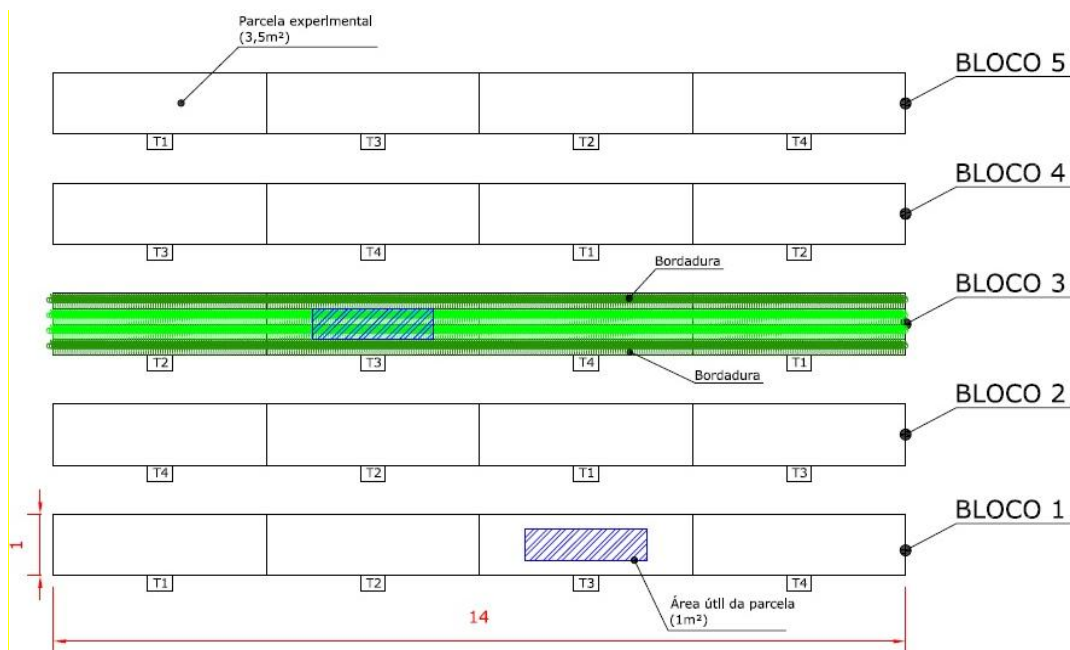


Figura 5. Detalhamento do arranjo experimental.

As plantas foram colhidas, e as raízes lavadas, pesadas e classificadas (Figura 6), conforme metodologia utilizada pela Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), com base no comprimento (Tabela 4). Com o intuito de se obter a produtividade comercial foi considerado o somatório das classes Extra AA, Extra A e Extra.

Buscando gerar resultados mais aproximados da situação real, a produtividade em $t\ ha^{-1}$ de cada tratamento foi estimada considerando a área útil de 8000 m^2 para um hectare de plantio uma vez que, em situações comerciais, uma parte da área útil é utilizada como carreador.



Figura 6. Sequencia de fotografias ilustrando o processo de colheita e classificação das raízes; a – colheita das plantas na área útil; b – lavagem das raízes; c – classificação das raízes conforme o comprimento; d – determinação das massas e matéria fresca das raízes.

Tabela 4. Classificação das raízes com base no comprimento, conforme CEAGESP.

Classe	Comprimento (cm)
G	>26,0
Extra AA	22,0-26,0
Extra A	18,0-22,0
Extra	14,0-18,0
Descartes	<14,0

Fonte: CEAGESP, 2000.

Com a finalidade de obtenção do comprimento da parte aérea (Figura 7) e dos teores de matéria seca da parte aérea e das raízes, foram separadas, quatro plantas por tratamento em cada bloco. Estas plantas tiveram as partes aéreas e as raízes separadas e seus comprimentos e massas de matéria fresca determinada. Em seguida estes materiais foram secos em estufa de circulação forçada de ar, a 70-75°C, até a massa constante, para se obter as massas e os teores de matéria seca.



Figura 7. Determinação do comprimento da parte aérea.

3.4.Sistemas e métodos de Irrigação

Durante a realização do experimento foram utilizados dois tipos de sistemas de irrigação, um sistema de aspersão e outro sistema de irrigação localizada.

Após a semeadura, com a finalidade de que todos os tratamentos recebessem irrigação uniforme, foi utilizado o método de irrigação por aspersão convencional fixo (Figura 8), com emissores de média pressão e intensidade de aplicação de $3,62 \text{ mm h}^{-1}$, com vazão de $0,26 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, bocal de 2,8 mm e pressão de serviço de 28 m.c.a.

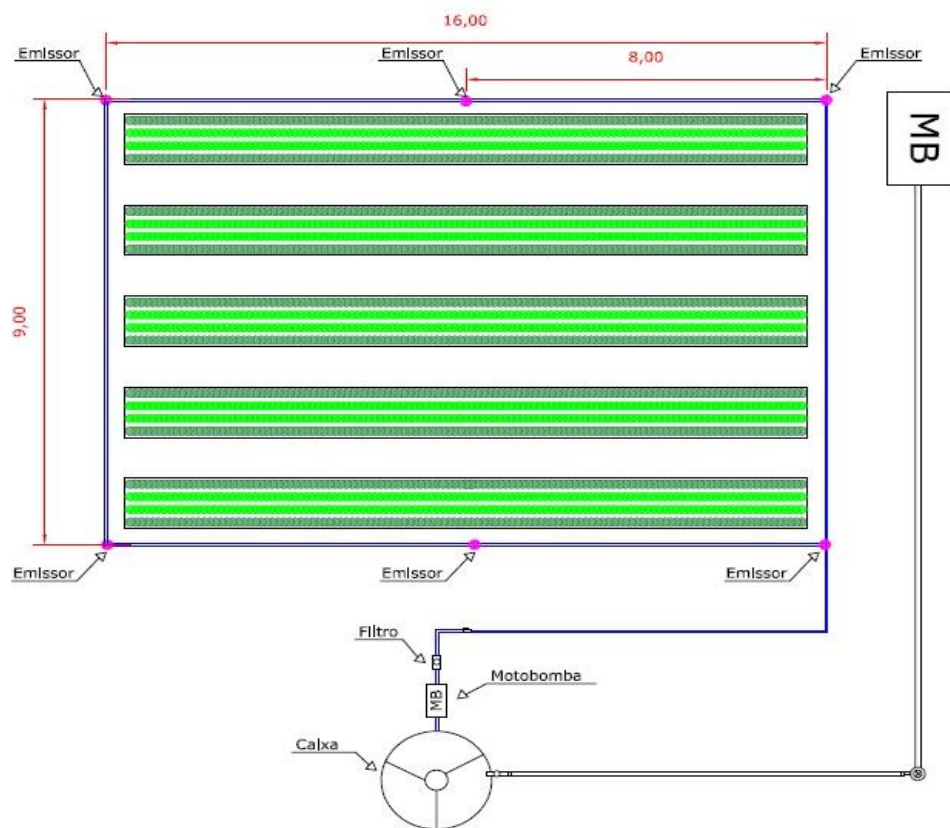


Figura 8. Croqui do sistema de aspersão convencional fixo.

Devido à necessidade de aplicação das lâminas de irrigação, por meio do uso dos métodos de manejo, fez-se necessária a utilização de um sistema de irrigação localizada, tendo sido empregado o método de gotejamento, o qual era dotado de emissores espaçados a cada 0,20 m ao longo das linhas de irrigação, sendo estas distanciadas entre si de 0,25 m (Figura 9). Este sistema de irrigação foi previamente avaliado para se obter a uniformidade de distribuição de água e a intensidade de aplicação de água pelos emissores. Essa avaliação foi utilizada no ajuste da régua temporal que equipa o irrigâmetro e para o cálculo da lâmina bruta de irrigação a ser aplicada com o uso dos demais métodos de manejo.

a 1/3, 2/3 do comprimento da linha e o último gotejador, totalizando 16 gotejadores por setor.

Com os valores de vazão, foram calculados os valores de CUD e CUC, utilizando as Equações 4 e 5, respectivamente.

$$CUD=100 \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (4)$$

$$CUC=100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n q_m} \right] \quad (5)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição,%;

CUC= coeficiente de uniformidade de christiansen,%;

$q_{25\%}$ = média do menor quartil das vazões observadas, L h⁻¹;

q_m = vazão média dos gotejadores, L h⁻¹;

q_i = vazão de cada gotejador, L h⁻¹;

n = número de observações.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores obtidos de CUD e CUC.

Tabela 5. Resultados dos parâmetros da avaliação do sistema de irrigação, para cada tratamento

Tratamento	Ia (mm/h)	CUD (%)	CUC (%)
1	6,82	97,73	98,36
2	6,97	97,20	98,18
3	6,90	96,88	98,04
4	6,98	98,60	99,14

3.5. Manejo da irrigação

O manejo da irrigação da cultura da cenoura foi conduzido em duas fases. A primeira fase caracterizou-se pela irrigação necessária à germinação e ao estabelecimento da cultura, correspondente aos 25 primeiros dias após a semeadura, quando foi aplicada a mesma lâmina em todas as parcelas experimentais, baseada no método padrão de Penman-Monteith FAO 56, por meio de um sistema de aspersão, conforme recomendações de Marouelli et al. (2007).

Na segunda fase iniciou-se a aplicação das lâminas de irrigação por meio de um sistema de irrigação localizada, de acordo com os quatro métodos de manejo avaliados neste estudo. O turno de rega diário foi utilizado até aproximadamente 50 dias após o plantio, sendo que este período compreendeu os estádios de desenvolvimento I e II da cultura. Posteriormente, aumentou-se o turno de rega para dois dias durante o período restante do experimento.

3.5.1. Determinação da precipitação efetiva

Devido à ocorrência de precipitação durante a condução do experimento, foi necessário determinar a precipitação efetiva para fins de manejo da irrigação. Ela foi determinada diariamente com base nos valores da precipitação total e da lâmina de água necessária para levar o teor de água no solo à capacidade de campo, na camada explorada pelo sistema radicular da cultura. Para tal, foram estabelecidas as seguintes condições:

- Devido as irrigações terem sido realizadas com alta frequência (turno de rega de 1 e 2 dias), a deficiência de água no solo durante a condução do experimento foi pequena. Assim, mesmo que a precipitação provocasse escoamento superficial, ela foi capaz de elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Logo, não se fez necessária a quantificação das perdas de água

decorrentes do escoamento superficial e da drenagem abaixo do sistema radicular da cultura.

- Quando a precipitação total foi inferior à deficiência de água no solo estimada através do cálculo da evapotranspiração da cultura com os métodos de Penman-Monteith FAO 56, Tanque Classe A e do Irrigâmetro, as precipitações foram descontadas das lâminas calculadas, levando-se em conta o método de irrigação utilizado.

3.6. Métodos utilizados no manejo da irrigação

3.6.1. Método de Penman-Monteith FAO 56

Foram coletados dados climáticos diários, por meio da utilização de uma estação meteorológica automática, modelo Vantage Pro da Davis® (Figura 10), que já se encontrava instalada na área experimental. Esta estação possui sensores de precipitação pluvial, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, temperatura e radiação solar.



Figura 10. Estação meteorológica utilizada no experimento.

Os valores de ET_0 foram determinados utilizando os dados da estação meteorológica automática com o uso do programa computacional REF-ET (Allen, 2000). Os valores de evapotranspiração da cultura foram calculados por meio da seguinte equação:

$$ET_c = ET_0 K_c \quad (6)$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência, $mm\ d^{-1}$;

K_c = coeficiente de cultura, adimensional e

ET_c = evapotranspiração da cultura, $mm\ d^{-1}$.

Os resultados obtidos com a utilização da equação foram convertidos em lâminas de irrigação, utilizando-se uma planilha eletrônica. Os valores dos coeficientes de cultura de cada fase de desenvolvimento utilizados neste estudo foram os propostos por Marouelli et al.(2007), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Estádios de desenvolvimento da cultura da cenoura, duração em dias e coeficientes de cultura, propostos por Marouelli et al. (2007).

Estádio	Duração (dia)	Kc
Inicial (I)	25	0,75
Vegetativo (II)	20	0,85
Engrossamento de raiz (III)	25	0,95
Maturação (IV)	15	0,90

3.6.2. Método do Tanque Classe A

As leituras no Tanque Classe A (Figura 11) foram realizadas diariamente às nove da manhã. Para conversão dos valores de evaporação em ET_0 foi determinado o k_t com a aplicação do modelo proposto por Allen e Pruitt (1991), expresso na Equação 3.

A ET_0 foi obtida por meio da Equação 2 e convertida em ET_c utilizando os valores de k_c recomendados por Marouelli et al.(2007), apresentados na Tabela 6. O k_t utilizado foi igual a 0,82.



Figura 11. Tanque Classe A utilizado no experimento.

3.6.3. Irrigâmetro

Na condução do experimento foi utilizado um dos irrigômetros existentes nas proximidades da área de cultivo (Figura 12).

Para a adequação do equipamento às condições experimentais, foi necessário selecionar dois tipos de réguas utilizadas no ajuste ao tipo de solo, cultura e sistema de irrigação.



Figura 12. Irrigâmetro utilizado no experimento, em primeiro plano, e o respectivo pluviômetro.

A primeira régua é denominada de Régua de Manejo (Figura 13), a qual teve a função de indicar o momento da irrigação. Esta régua foi selecionada de acordo com a classificação da cultura em relação à sua sensibilidade ao déficit hídrico e à disponibilidade total de água no solo, conforme metodologia proposta por Oliveira e Ramos (2008).

Como pequenas variações nos teores de água no solo podem afetar o pleno desenvolvimento da cenoura, ela foi classificada como uma cultura muito sensível ao déficit hídrico; portanto, a régua de manejo selecionada foi do tipo CMS (Cultura muito sensível).

A disponibilidade total de água no solo foi obtida por meio do emprego da seguinte equação:

$$DTA = \frac{(Cc - P_m)}{10} \rho_s \quad (7)$$

em que:

DTA = disponibilidade total de água no solo, mm cm⁻¹;

Cc = teor de água no solo na capacidade de campo, % em peso;

P_m = teor de água no solo no ponto de murcha permanente, % em peso;

ρ_s = massa específica do solo, g cm^{-3} .

Os valores dos teores de água no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente foram determinados a partir da curva característica de retenção de água no solo (Figura 2). O teor de água no solo na capacidade de campo foi obtido pelo valor referente a tensão de 30 KPa, sendo igual a 28,5%. O teor de água no solo no ponto de murcha permanente foi obtido na tensão correspondente a 1.500 kPa, sendo igual a 18,1% . A massa específica do solo foi de $0,97 \text{ g cm}^{-3}$ (Tabela 2). Com estes valores, a DTA foi igual a 1 mm cm^{-1} e o modelo de régua de manejo selecionada foi CMS 1.0.

A segunda régua é denominada de Temporal (Figura 13), a qual tem a função de indicar quanto tempo o sistema de irrigação deve funcionar. Esta régua é selecionada de acordo com a intensidade líquida de aplicação de água do sistema de irrigação, que foi igual a $6,75 \text{ mm h}^{-1}$. Assim, o modelo de régua temporal selecionado foi 6.75.

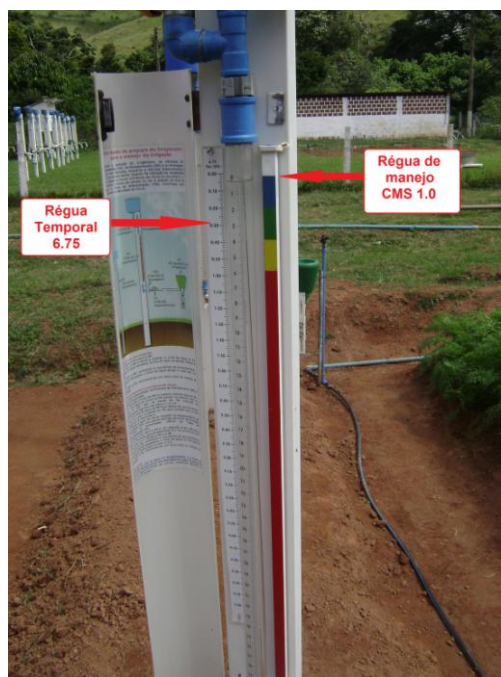


Figura 13. Modelos de régua de manejo e temporal selecionado.

Para que o equipamento simulasse corretamente o processo de evapotranspiração, o nível de água no evaporatório foi ajustado de acordo com os estádios de desenvolvimento da cultura (Tabela 7). Devido ao fato da cultura ser irrigada por meio de um sistema de irrigação localizada, estes níveis de água no evaporatório foram corrigidos até que a cultura sombreasse aproximadamente 60% de sua área de influência, conforme recomendações de Oliveira e Ramos (2008). Para tal finalidade, foi utilizada a seguinte equação:

$$N_E = N_R F_C P \quad (8)$$

em que:

N_E = nível de água no Evaporatório em manejo de irrigação localizada, cm;

N_R = nível de água recomendado no Evaporatório, cm, de acordo com a Tabela 7;

F_C = fator de correção do nível de água no Evaporatório, de acordo com a Tabela 7;

P = maior valor entre as percentagens de área molhada pelos emissores e de área sombreada pela cultura.

Tabela 7. Valores do nível de água no Evaporatório de acordo com os estádios de desenvolvimento da cultura e fatores de correção para irrigação localizada.

Estádios de desenvolvimento da cultura	Nível recomendado (cm)	Fc – Fator de correção
Germinação	2,0	
I	2,5	0,026
II	3,5	0,020
III	4,5	0,017
IV	3,0	0,015

O momento de irrigar foi observado na régua de manejo, quando o nível de água no tubo de alimentação se encontrava na direção da faixa amarela, indicando diretamente, no tubo de alimentação, a lâmina de água deficitária no solo. O nível da água no tubo de alimentação também indicava diretamente o tempo de irrigação na régua temporal do equipamento.

3.6.4. Método da TDR

Para a determinação do teor de água no solo, com a TDR, é necessária a utilização de guias de onda instaladas no solo e conectadas ao equipamento de TDR. Também se faz necessária a calibração destas guias para cada tipo de solo. Para tal finalidade, foram coletadas amostras de solo da área experimental, que foram destorroadas, secas ao ar e passadas por peneiras de 0,002 m, sendo posteriormente colocadas em três recipientes de PVC. Os mesmos foram construídos com altura de 0,20 m e diâmetro de 0,097 m (Figura 14). Essas colunas de solo foram preparadas de modo a se obter a massa específica próxima à observada em campo.

As guias de onda utilizadas no experimento foram confeccionadas em laboratório, sendo compostas de três hastes de 0,13 m de comprimento, dos quais 0,10 m de comprimento efetivo e 0,03 m de comprimento coberto por resina. As hastes foram espaçadas entre si de 0,017 m e não dispunham de resistor na haste central (Silva et al., 2005).

Anteriormente ao processo de calibração, as guias de onda foram inseridas verticalmente nas colunas de solo. O conjunto foi saturado durante um período de 48 horas, e para que fosse possível a saturação lenta do solo e não houvesse perdas do mesmo durante o processo de calibração, fez-se necessário o uso de um papel filtro sustentado por uma tela de malha fina na parte inferior das colunas de solo.

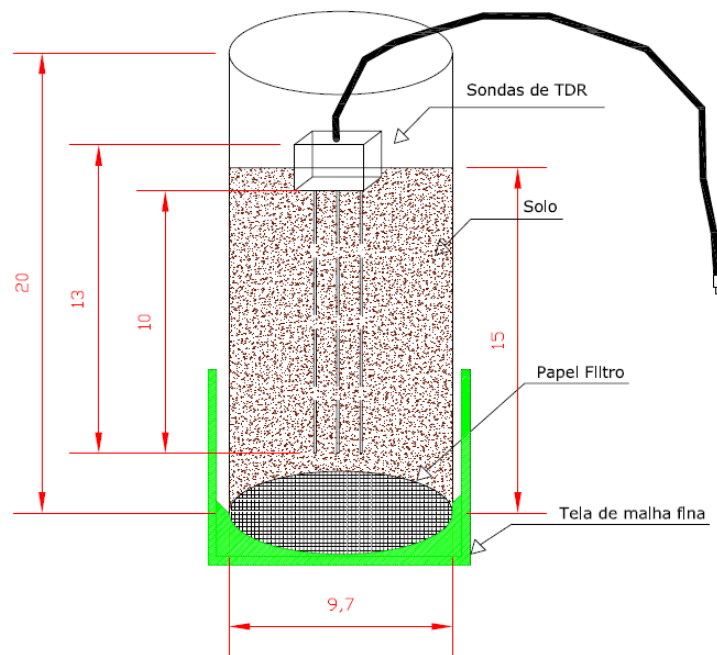


Figura 14. Esquema da coluna de solo, utilizada no processo de calibração.

A calibração (Figura 15) das guias de onda da TDR foi realizada conforme a metodologia descrita por Santos et al.(2010), sendo que as constantes dielétricas (K_a) foram determinadas com a TDR 100 da Campbell Cientific. Os teores de água no solo (θ_i) foram obtidos por gravimetria, com a utilização de balança eletrônica com 0,01 g de precisão, sendo calculados por meio da seguinte equação.

$$\theta_i = \frac{PU_i - PS}{PS - PR} \frac{\rho_s}{\rho_a} \quad (9)$$

em que:

PU_i = massa atual do solo úmido + PR (g);

PR= massa do recipiente + massa das sondas + envoltórios (papel filtro, tela de malha fina) (g);

PS = massa de solo seco+ PR (g);

ρ_s = massa específica do solo (g);

ρ_a = massa específica da água (g cm⁻³).



Figura 15. Fotografias ilustrando o processo de calibração de guias de onda da TDR; a – guias de ondas inseridas verticalmente nas colunas de solo; b – colunas de solo em saturação; c – leituras da constante dielétrica; d – determinação do teor de água das colunas por gravimetria.

Por meio de regressão foi obtida uma função que relaciona o teor de água com a constante dielétrica (Figura 16).

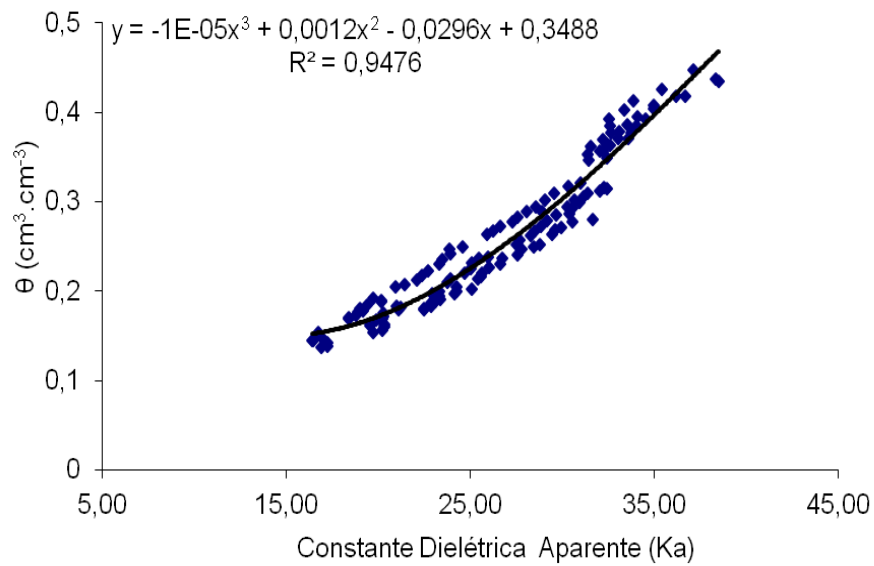


Figura 16. Equação de calibração de guias de onda de TDR para o solo da área experimental.

Após a calibração, duas guias de onda foram instaladas no centro das parcelas experimentais, a uma profundidade de 0,15 m e fixadas horizontalmente, para o monitoramento do teor de água no solo (Figuras 17 e 18).



Figura 17. Guias de onda de TDR instaladas para medição do teor de água no solo.



Figura 18. Leituras do teor de água no solo utilizando a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR).

Antes de cada irrigação foram determinados os teores de água do solo e calculada a lâmina de irrigação por meio da equação:

$$Li = \frac{(Cc - Ua)}{10} \rho_s Z \quad (10)$$

em que:

Li = lâmina de irrigação, mm;

Cc = teor de água do solo na capacidade de campo, % em peso;

Ua = teor de água atual do solo, % em peso;

ρ_s = massa específica do solo, g cm⁻³;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, cm, igual a 30 cm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Condições experimentais

As variações diárias da temperatura máxima e mínima e da umidade relativa média do ar, durante o período de cultivo da cenoura, encontram-se na Figura 19. Na Figura 20 é apresentada a precipitação no mesmo período, sendo que a precipitação total durante o cultivo foi de 281,2 mm.

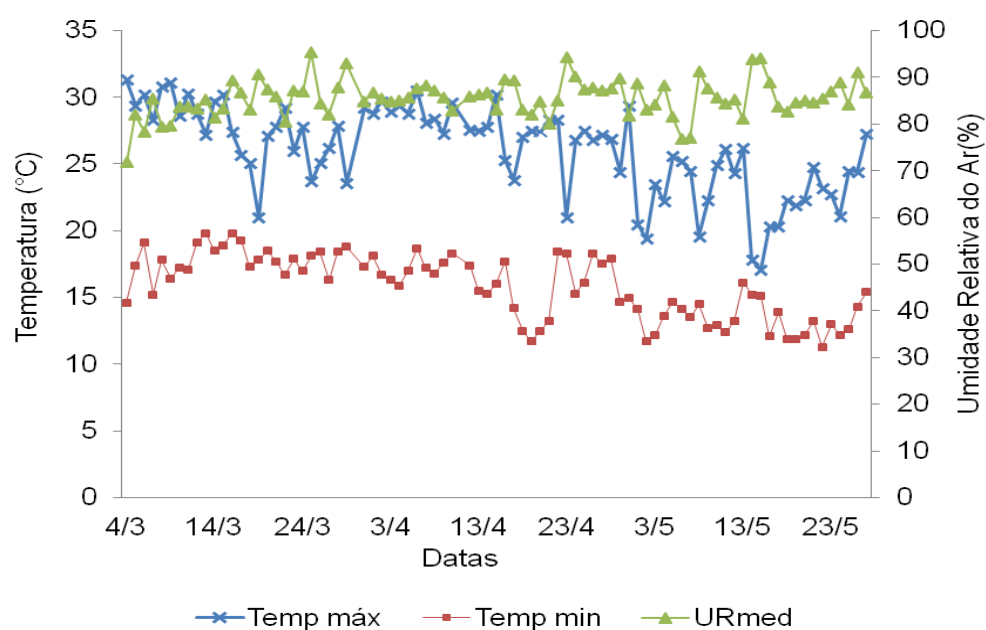


Figura 19. Variação diária das temperaturas máxima e mínima (°C) e da umidade relativa média do ar (%) para o período de cultivo.

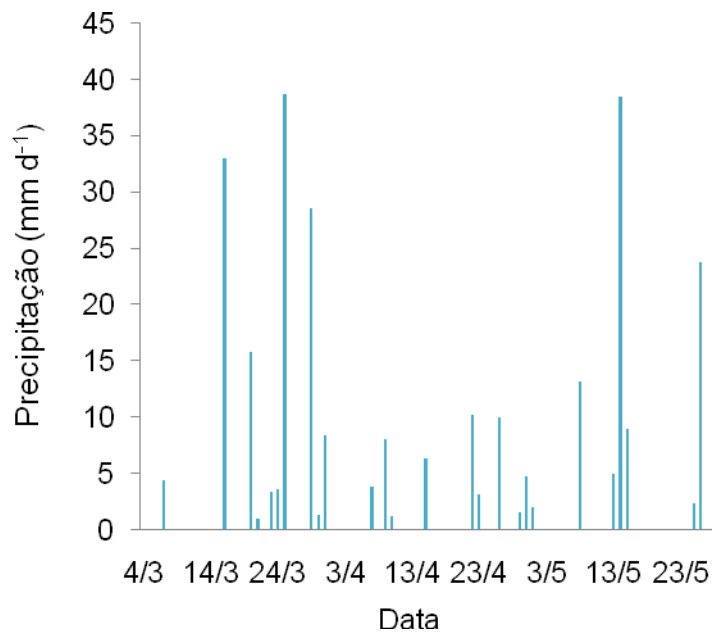


Figura 20. Precipitação diária (mm) registrada durante o período de cultivo.

A temperatura máxima diária durante o experimento (Figura 19) foi de 30,50 °C obtido em 06 de abril e a mínima (11,20°C), em 22 de maio. Os valores de temperatura e umidade relativa durante o período do experimento são considerados adequados para a cultura da cenoura. Segundo Vieira e Pessoa (1997), temperaturas entre 10 e 15 °C contribuem para o alongamento das raízes e para o desenvolvimento de coloração característica, enquanto aquelas superiores a 21°C estimulam a formação de raízes curtas e com coloração deficiente.

A radiação média diária foi de 14,31 MJ m⁻² d⁻¹(Figura 21), sendo a maior radiação (25,73 MJ m⁻² d⁻¹) registrada em 04 de março e a menor (2,20 MJ m⁻² d⁻¹) em 14 de maio.

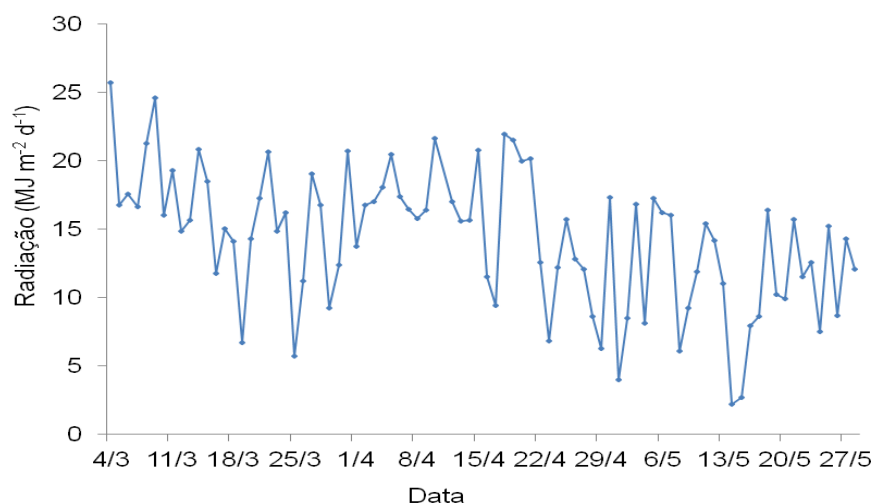


Figura 21. Radiação média diária durante o período de cultivo.

4.2. Evapotranspiração de referência

A primeira fase do manejo da irrigação (04 a 28 de março) caracterizada pela irrigação por aspersão necessária a germinação e estabelecimento da cultura. A evapotranspiração de referência (ET_0) acumulada neste período (Figura 22) foi de 41,17 mm, com média de 1,72 mm d⁻¹, sendo que o maior valor de ET_0 (4,2 mm d⁻¹) ocorreu no dia 22 de março e o menor (0,52 mm d⁻¹) em 19 de março.

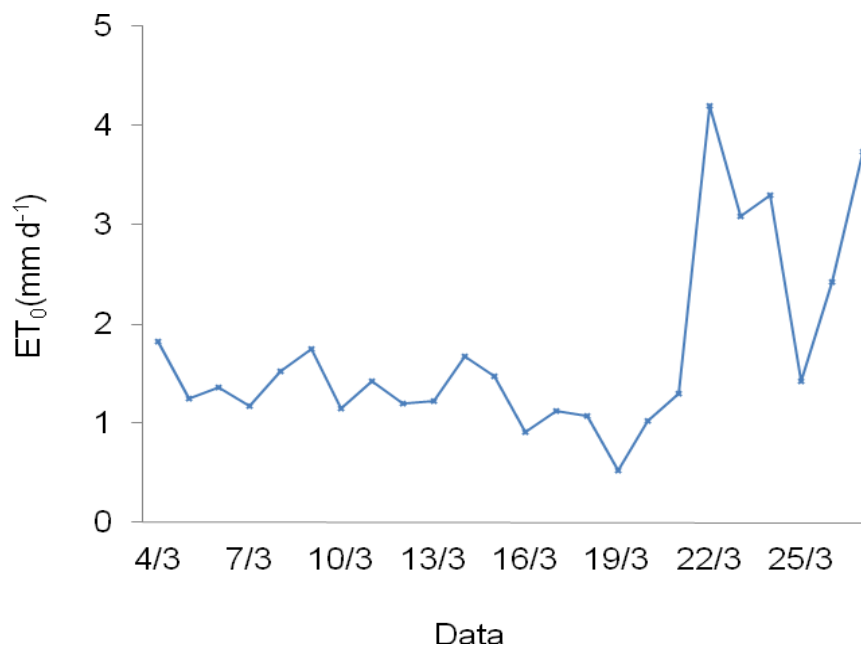


Figura 22. Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith FAO 56, para a primeira fase do manejo da irrigação.

Na segunda fase do manejo da irrigação, realizada por gotejamento e caracterizada pela diferenciação entre os métodos, a evapotranspiração de referência foi estimada com a aplicação dos métodos de Penman-Monteith FAO 56 e do Tanque Classe A. Comparando-se esses dois métodos (Figura 23), percebe-se que o método do Tanque Classe A subestimou, na maioria dos dias, o valor da evapotranspiração de referência. Estes resultados diferem dos encontrados por Vescove e Turco (2005), que compararam alguns métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP, concluindo que o método do Tanque Classe A superestimou em 26%, no período verão-outono e 24%, no período inverno-primavera, os valores encontrados de ET_0 em relação aos estimados pelo método padrão da FAO. O resultado encontrado neste trabalho pode ser explicado pela diferença entre as condições climáticas dos locais de instalação dos experimentos e pela incidência de precipitações pluviais acima da capacidade de armazenamento do

tanque, ocorrendo transbordamento da superfície de água exposta e pelo fato de que, neste trabalho nem sempre foi possível a reconstituição do nível de água logo após o término da precipitação.

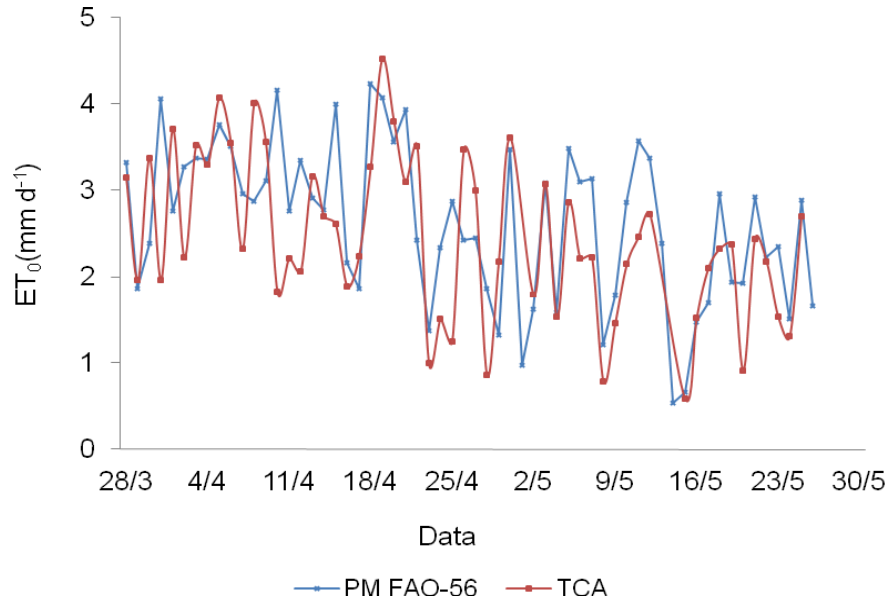


Figura 23. Evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith FAO 56 e do Tanque Classe A para a segunda fase do manejo da irrigação.

4.3. Evapotranspiração da cultura e lâminas de irrigação

Na primeira fase do manejo da irrigação, a evapotranspiração da cultura (ET_C) foi igual a 30,89 mm. A lâmina total aplicada foi de 35,52 mm, com uma precipitação efetiva de 10,44 mm (Figura 24).

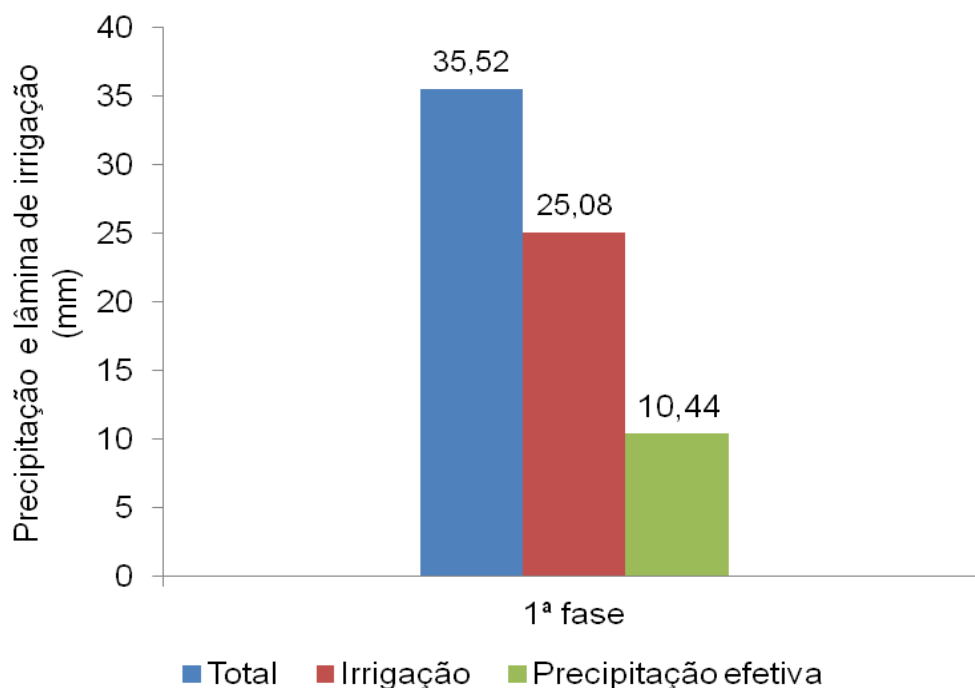


Figura 24. Lâminas aplicadas durante a primeira fase do manejo da irrigação.

Posteriormente, na segunda fase do manejo da irrigação, a evapotranspiração total da cultura (Figura 25) foi de 168,09 mm, estimada com o método de Penman-Monteith FAO 56; 143,93 mm, com o método do Tanque Classe A, e 149,19 mm, com o método do Irrigâmetro. O total consumido é cerca de 2,6 vezes inferior ao encontrado por Moura et al.(1994), que registraram 365,03 mm nas condições edafoclimáticas de Piracicaba-SP. Por outro lado, Santos et al. (2009) encontraram 811,84 mm, para um ciclo de 98 dias, no agreste pernambucano, os quais foram muito superiores aos encontrados neste trabalho e aqueles encontrados por Moura et al.(1994). Isto evidencia a grande dependência existente entre a evapotranspiração e as condições climáticas regionais.

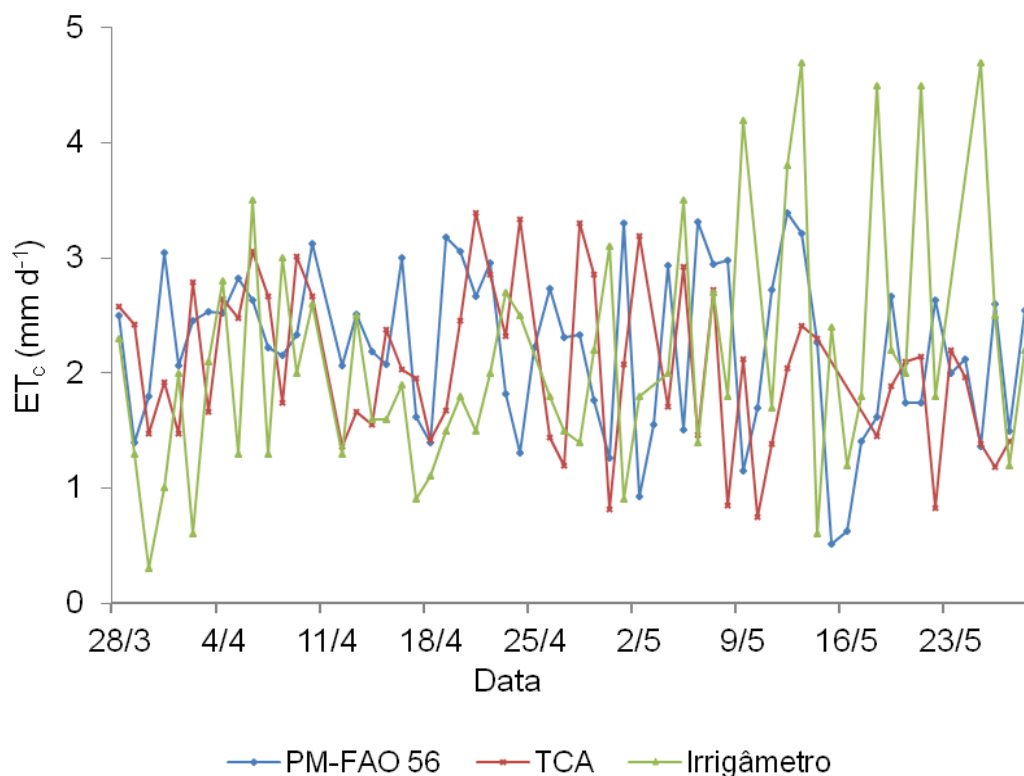


Figura 25. Valores da evapotranspiração da cultura estimada pelos métodos de Penman-Monteith FAO 56, Tanque Classe A e Irrigâmetro, para a segunda fase de manejo da irrigação.

Nesta fase, as lâminas aplicadas (Figura 26) foram de 74,34 mm calculados com o método de Penman-Monteith FAO 56, 71,90 mm com o método do Tanque Classe A; 70,80 mm, o com método do Irrigâmetro e 57,90 mm com o método da TDR. As lâminas totais, considerando a precipitação efetiva, foram 111,39 mm, 103,3 mm, 93,5 mm e 83,65 mm com os métodos de Penman-Monteith FAO 56, Tanque Classe A, Irrigâmetro e TDR, respectivamente.

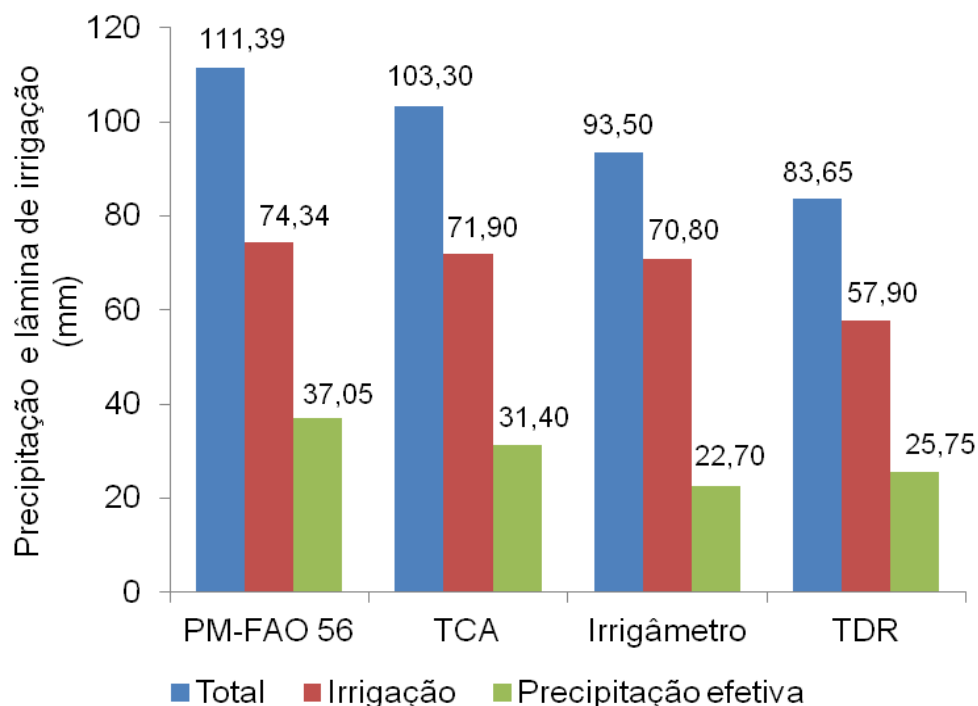


Figura 26. Lâminas aplicadas durante a segunda fase do manejo da irrigação.

Observa-se por uma análise geral dos resultados obtidos que todos os métodos subestimaram a lâmina de irrigação calculada, quando comparada ao método padrão de Penman-Monteith FAO 56. O método do Tanque Classe A apresentou uma lâmina total calculada 7,26 % inferior ao método Penman-Monteith FAO 56, o Irrigâmetro apresentou uma lâmina total 16 % inferior ao método padrão. Entretanto a maior diferença observada refere-se ao método da TDR que apresentou uma lâmina calculada 24,9 % inferior ao método utilizado como padrão.

Na Figura 27, são apresentados os valores das lâminas de irrigação calculadas com a utilização dos diferentes métodos de manejo. Os números de 1 a 42 indicam as irrigações realizadas. Os valores das lâminas de irrigação iguais a zero evidenciam que a precipitação efetiva foi suficiente para suprir as necessidades hídricas da cultura até o momento predefinido para a irrigação. Para o método do Irrigâmetro, a presença de lâmina zero em alguns casos, mostra que existiram diferenças entre o tempo de resposta para a irrigação, pela observação

do momento de irrigar na régua de manejo do equipamento e o turno de rega fixo adotado para os métodos de Penman-Monteith FAO 56 e do Tanque Classe A.

Para o método da TDR, os valores de lâminas iguais a zero foram mais frequentes dos que os demais métodos utilizados. Esta diferença encontrada é devida as características da retenção de água apresentada pelo solo da área experimental, ou seja, pela diferença básica entre os métodos de manejo utilizados neste trabalho. Enquanto os métodos de Penman-Monteith FAO 56 e do Tanque Classe A são baseados no cálculo da evapotranspiração para estimativa do déficit hídrico apresentado pelo solo, a TDR estima o teor de água no solo. Sendo assim, este método indicou um número menor de irrigações para a manutenção do teor de água no solo no valor corresponde à capacidade de campo.

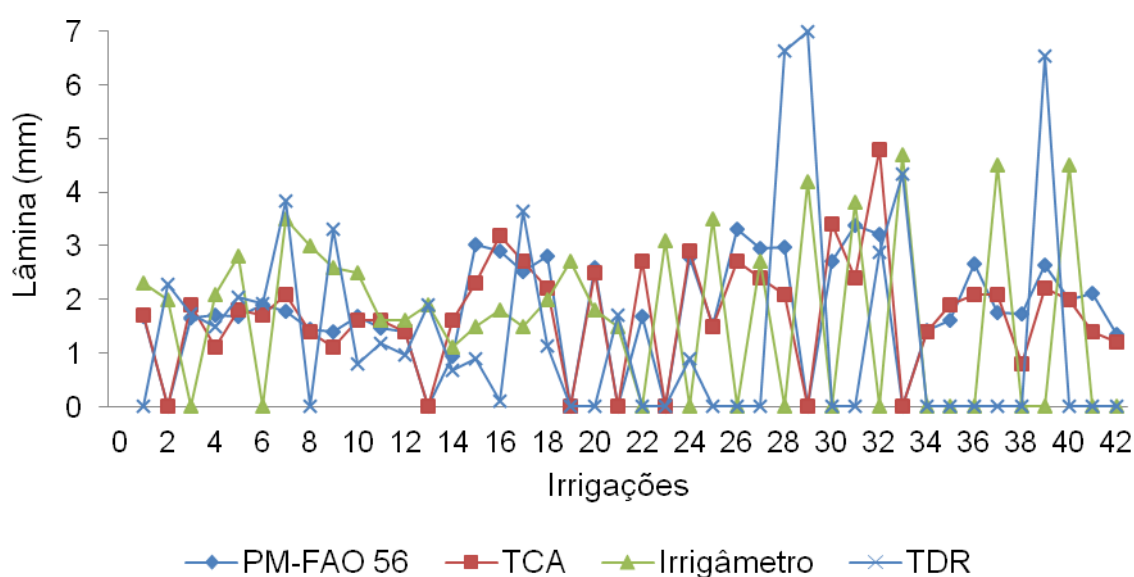


Figura 27. Lâminas de irrigação aplicadas ao longo do ciclo da cultura, para os quatro métodos de manejo da irrigação.

Na Tabela 8 são apresentados os valores das lâminas médias calculadas com cada tratamento estudado.

Tabela 8. Lâmina média calculada em cada irrigação pelos diferentes métodos de manejo.

Tratamento	Lâmina média aplicada (mm d ⁻¹)
PM-FAO 56	2,12 A
TCA	2,05 A
Irrigâmetro	2,62 A
TDR	2,52 A

Médias seguidas por * diferem do método de Penman-Monteith FAO 56 pelo teste de Dunnett a 5 % de probabilidade. Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pela análise das lâminas médias aplicadas (Tabela 8), observa-se que os métodos do Irrigâmetro e da TDR superestimaram a lâmina média aplicada em relação ao padrão. Esta diferença encontrada é devida ao menor número de irrigações realizadas com a aplicação destes métodos, quando comparadas ao método padrão, ou seja, com a utilização de métodos de manejo de irrigação onde foram levados em consideração parâmetros da retenção de água no solo, ocorreu uma menor variação no teor de água no solo entre duas irrigações sucessivas, dentro da faixa de segurança. Portanto, quando foi realizada uma irrigação a lâmina calculada por estes métodos foi geralmente superior ao valor da lâmina calculada pelos métodos baseados na evapotranspiração como parâmetro para a estimativa do déficit hídrico apresentado pelo solo. Porém a aplicação do teste de Dunnett a 5% de probabilidade mostrou que não houve diferenças significativas entre os resultados dos métodos de manejo da irrigação em relação ao método padrão de Penman-Monteith FAO 56. A aplicação do teste de Tukey, a 5% de probabilidade também mostrou que os demais métodos não diferiram entre si, em relação às lâminas médias aplicadas.

4.4. Produtividade da cenoura

As médias de produtividade total encontradas para cada tratamento foram 62,62 t ha⁻¹ para o método de Penman-Monteith FAO 56; 66,29 t ha⁻¹ para o método do Tanque Classe A; 62,92 t ha⁻¹ para o método do Irrigâmetro e 62,56 t ha⁻¹ para o método da TDR.

A média da produtividade total obtida neste trabalho está abaixo da encontrada por Resende e Cordeiro (2007), em Petrolina, PE, que trabalhando com a cultivar Brasília em função da qualidade de água e condicionamento do solo encontraram, para esta cultivar, uma produtividade média de 82,3 t ha⁻¹. Entretanto, Lopes et al. (2008) encontraram média de produtividade total de 39, 32 e 31 t ha⁻¹ para as cultivares Brasília, Alvorada e Esplanada, respectivamente; valores estes muito inferiores aos encontrados neste trabalho. Porém, as produtividades médias obtidas foram superiores à média obtida nas principais regiões produtoras do país que, segundo CEPEA (2012), foi de 46 t ha⁻¹ no mês de março. As variações de produtividade encontradas por diferentes autores, comparadas com as obtidas neste trabalho, podem ser explicadas, pelo potencial genético de cada cultivar, pelas variações nos teores de água no solo durante a realização dos experimentos e pelas condições climáticas das regiões nas quais foram cultivadas.

Os valores das médias de produtividade total para cada tratamento, quando submetidos à análise de variância, não apresentaram diferenças significativas. Portanto, a aplicação de diferentes métodos de manejo da irrigação, não foi suficiente para evidenciar diferenças entre as médias das produtividades totais associadas às lâminas aplicadas.

Na Tabela 9, estão apresentados os resultados das produtividades de cenoura encontradas, por tratamento, para as classes avaliadas.

Tabela 9. Valores médios de produtividade de raízes de cenoura (t ha⁻¹) das diferentes classes, comercial e total.

Classes	Tratamento			
	PM-FAO 56	TCA	Irrigâmetro	TDR
G	0,00	0,00	0,00	0,00
Extra AA	0,38A	2,39A	0,00A	0,68A
Extra A	11,42A	15,56A	7,56A	11,57A
Extra	32,42A	31,47A	36,16A	36,63A
Descartes	18,40A	16,87A	19,20A	13,68A
Comercial	44,22A	49,42A	43,72A	48,88A
Total	62,62A	66,29A	66,92A	62,56A

Médias seguidas por * diferem do método de Penman-Monteith FAO 56 pelo teste de Dunnett a 5 % de probabilidade. Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados apresentados mostram que não foram encontradas raízes classificadas como G, ou seja, raízes com comprimento igual ou superior a 26 cm, e que foram encontradas quantidades expressivas de raízes classificadas como Descartes, comprimento inferior a 14 cm. As maiores produtividades médias em todos os tratamentos foram correspondentes à classe Extra; sendo assim, as cenouras em sua maioria apresentaram comprimento médio variando entre 14 e 18 cm. Os elevados índices pluviométricos podem ter interferido no comprimento das raízes de cenoura, isto porque, durante o ciclo da cultura ocorreram precipitações acima da média considerada normal. Durante os primeiros 60 dias, período em que ocorre crescimento em comprimento, ou seja, crescimento primário, o total precipitado foi de 189,40 mm, correspondente a 67,35% da precipitação ocorrida durante o experimento. Esta precipitação, acrescida das lâminas de irrigação, manteve o teor de água no solo em valores acima ou muito próximos a capacidade de campo (Figura 3), fazendo com que as raízes não se desenvolvessem em

comprimento devido à alta disponibilidade de água nas camadas mais superficiais do solo.

Para a determinação da produtividade média comercial foram contabilizadas as produtividades das classes denominadas de Extra AA, Extra A e Extra, resultando em produtividades de 44,22 t ha⁻¹ para o método de Penman-Monteith FAO 56, 49,42 t ha⁻¹ para o método do Tanque Classe A, 43,72 t ha⁻¹ para o método do Irrigâmetro e 48,88 t ha⁻¹ para o método da TDR. Também não houve diferença significativa entre os tratamentos, ou seja, os métodos de manejo empregados também não produziram diferenças significativas na produtividade comercial de raízes.

A análise qualitativa da produção, com a subdivisão em classes de acordo com o comprimento das raízes, demonstra que houve uma homogeneidade das raízes colhidas em relação a todos os métodos de manejo de irrigação. Isto evidencia que as condições experimentais foram muito próximas uma das outras, para todos os métodos de manejo empregados, visto que a quantidade de água disponível para a cultura durante o seu ciclo foi aproximadamente igual em todos os métodos estudados.

Pode-se observar que houve maior homogeneidade entre as produtividades alcançadas para a Classe Extra, para todos os métodos de manejo da irrigação empregados e que a Classe Extra AA apresentou maior variabilidade nas produtividades encontradas.

4.4.1. Teor de matéria seca da parte aérea e das raízes

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados dos teores de matéria seca da parte aérea e da raiz.

Tabela 10. Teor de matéria seca das raízes e da parte aérea da cenoura (em relação à matéria fresca).

Tratamento	% MSR ¹	% MSPA ²
PM-FAO 56	7,69A	10,47A
TCA	7,40A	9,92A
Irrigâmetro	7,83A	10,30A
TDR	7,58A	10,08A

¹ Matéria seca das raízes; ² Matéria seca da parte aérea

Médias seguidas por * diferem do método de Penman-Monteith FAO 56 pelo teste de Dunnett a 5 % de probabilidade. Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de matéria seca das raízes variaram entre 7,40 e 7,83%, sendo as médias dos tratamentos do Tanque Classe A e do Irrigâmetro, as que produziram as maiores diferenças entre si (Tabela 11).

Observa-se pelos resultados apresentados (Tabela 10) que houve um maior teor de matéria seca na parte aérea em relação às raízes. Os valores médios dos teores de matéria seca das raízes foram de 7,62% e da parte aérea foram de 10,19%. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que inicialmente a planta destina os fotoassimilados produzidos à formação de estruturas da parte aérea visando aumentar a área foliar. A partir de determinado momento a planta passa a destinar a maioria dos fotoassimilados às estruturas de reservas, que no caso da cenoura é a raiz enquanto a parte aérea vai entrando em senescência, perdendo água.

A análise de variância realizada para os teores de matéria seca das raízes evidencia que os tratamentos não produziram efeitos significativos sobre esta variável, sendo que o coeficiente de variação apresentado demonstra que não houve grande dispersão relativa das observações.

O teor de matéria seca da parte aérea das plantas não foi influenciado significativamente pelos métodos de manejo da irrigação utilizados (Tabela 13). Constata-se nesta tabela que os valores obtidos não diferiram significativamente entre si. A média de acúmulo de matéria seca, para todos os tratamentos, foi de 10,19 % em relação à matéria fresca da parte aérea.

4.4.2. Comprimento da parte aérea

Os resultados obtidos para o comprimento da parte aérea estão apresentados na Tabela 11. Pela análise de variância, evidencia-se que não houve efeito significativo ($p < 0,005$) para os comprimentos da parte aérea em função dos tratamentos aplicados e que, pelo coeficiente de variação apresentado, houve bastante uniformidade entre os comprimentos da parte aérea para todos os tratamentos estudados.

Tabela 11. Comprimento médio da parte aérea da cenoura nos diferentes tratamentos.

Tratamento	CPA ¹
	(m)
PM-FAO 56	0,74A
TCA	0,73A
Irrigâmetro	0,74A
TDR	0,74A

¹- Comprimento da parte aérea.

Médias seguidas por * diferem do método de Penman-Monteith FAO 56 pelo teste de Dunnett a 5 % de probabilidade. Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. As lâminas médias de irrigação obtidas por meio dos métodos do Tanque Classe A, Irrigâmetro e TDR não diferiram significativamente da lâmina média obtida com o método Penman-Monteith FAO 56, considerado padrão pela FAO.
2. As lâminas médias de irrigação obtidas por meio dos métodos do Tanque Classe A, Irrigâmetro e TDR não diferiram significativamente entre si.
3. As produtividades das classes de raízes e os teores de matéria seca das raízes e da parte aérea da cenoura não foram influenciados significativamente pelos métodos de manejo da irrigação estudados.

6. LITERATURA CITADA

ALVES, S. V. A; NEGREIROS, M. Z; AROUCHA, E. M. M; LOPES, W. A. R. L; TEÓFILO, T. M. S; FREITAS, F. C. L; NUNES, G.H.S. Qualidade de cenouras em diferentes densidades populacionais. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.2, p.218-223, 2010.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. Reference evapotranspiration factors. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, v.117, n.5. p.758-772, 1991.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration- **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310p.(Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R. G. **REF-ET**: Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1. Idaho: Idaho University, 82p. 2000.

ANDRADE JUNIOR, A.S de.; KLAR, A. E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do Tanque Classe A. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.54, n.1, p.31-38, 1997.

ARMSTRONG, C. F.; LIGON, J. T.; McLEOD, M. F. Automated system for detailed measurement of soil water potential profiles using watermark brand sensors. In: Technical publication.n.2707, S.C. **Agriculture Experimental Station**, p.201-206, 1985.

AZEVEDO, H.J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de elementos do clima e da pressão de serviço do aspersor no desperdício de água, em um sistema de irrigação por alta pressão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n.4, p.53-62, 1999.

BAPTESTINI, J. C. M. **Efeitos de elementos meteorológicos na Evapotranspiração Estimada pelo Irrigâmetro na Região Sul do Estado do Tocantins**. 2010. 49 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª edição. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária. 2006.625p.

CALDERÓN, V. J. V. **Interpretação de resultados de ensaios TDR para a determinação do teor de umidade dos solos**. 2010. 118 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)– Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CARVALHO, J. A.; BERNARDO, S.; CASALI, V. W. D.; CECON, P. R. Efeitos da lâmina de irrigação sobre o crescimento da cenoura (*Daucus carota* L.) cv. Brasília. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.243, p.528-542, 1995.

CAVALCANTI, M. L. F.; SOARES, F. A. L.; SOUSA JÚNIOR, S. P. de; SIQUEIRA, E. da C. ; SILVA, C. F. da ; BARROS JÚNIOR, G. Coaplicação de lâminas de irrigação na cultura da cenoura combinadas com diferentes doses de fósforo I: Germinação e vigor inicial. In: **XIII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem (CONIRD)**, 2003, Juazeiro - BA. Anais do XIII CONIRD, 2003. CD ROM.

CEAGESP – Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais do Estado de São Paulo. **Classificação de cenoura**. São Paulo, SP, 2p. 2000.

CECÍLIO, R. A.; SANTOS, D. B dos. Metodologia de calibração de equipamento de TDR para a determinação da umidade do solo. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.6, n.3, p. 524-533, 2009.

CEPEA- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” /Universidade de São Paulo. In: **Hortifruti Brasil**. Piracicaba: ESALQ/USP. p.28. 2012.

COELHO, E. F.; ANDRADE, C. L. T.; OR, D. ; LOPES, L. C.; SOUZA, C. F. Desempenho de diferentes guias de onda para o uso com analisador de umidade TRASE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.6, n.1, p.81-87, 2001.

COELHO, E. F.; VELLAME, L de M.; FILHO, M. A. C.; LEDO, C. A da S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campina Grande, n.30, p.23-30, 2006.

CFSEMG- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GÉRIAS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas Gérias- 5º Aproximação**. Viçosa, MG, 359 p. 1999.

CONTIN, F. S. **Tecnologia do Irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro**. 2008. 52 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

COTRIM, C. E. **Otimização da irrigação localizada em pomares de manga no semi-árido baiano**. 2009. 164 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

DELEO, J. R. B.; PAGLIUCA, L. G.; VIANA, M. M.; BOTEON, M. Retrospectiva 2010 e perspectiva 2011. **Anuário Hortifruti Brasil**, n. 97, 2010.

DOMINGUES, A. F. Irrigante poderá receber bônus ao torna-se um produtor de águas. **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.54, n.6, p.56- 59, 2002.

DOORENBOS, J. e PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977.179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979.193p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 33).

ESPÍNDULA NETO, D. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento**. 2002. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

FARIA, R. A.; CARVALHO, D. F. de ; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA M. A. A de. Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referência na demanda de irrigação suplementar para o milho (*Zea mays* L.), na bacia do rio Verde Grande (MG). **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v.24, Ed.especial, p. 187-196, 2000.

FERNANDES, E. J. Comparação entre três métodos para estimar lâminas de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, p.36-46, 2008.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 1ª edição, Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, 402 p., 2000.

GERVÁSIO, E. S.; SILVA, E. L da. Uso do instrumento TDR para a determinação do teor de água em diferentes camadas de um Latossolo Roxo Distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.3, n.3, p.417-420, 1999.

GOMES, R. J.; SANTOS, T. E. M dos.; MONTENEGRO, A. A. A. Reflectometria no domínio do tempo (TDR) como instrumento para a mensuração da umidade do solo na bacia do Alto Ipanema-PE. **X jornada de ensino, Pesquisa e extensão- Jepex 2010**, UFRPE: Recife, 2010.

GONÇALVES, F. M.; FEITOSA, H de. O.; CARVALHO, R. R. G. F.; JUNIOR, M. V. Comparação de Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência para o Município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza, v.3, n.2, p.71-77,2009.

LIMA JUNIOR, J. A; SILVA, A. L. P.; GUEDES, M. G. M. Avaliação da qualidade de raízes de cenouras em função do manejo da irrigação. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.7, n.12, p.1-7, 2011.

LIMA JUNIOR, J. A; PERREIRA, G. M.; GEISENHOF, L. O. ; SILVA, W. G. da; BOAS, R. C. V.; SOUZA, R. J. De.; Desempenho de cultivares de cenoura em função da água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, n.5, p.514-520, 2012.

LOPES, W de A. R; NEGREIROS, M. Z de; TEÓFILO, T. M da. S.; AVES, S. S. V.; MARTINS, C. M.; NUNES, G. H de. S.; GRANGEIRO, L. C.; Produtividade de cultivares de cenoura sob diferentes densidades de plantio. **Revista Ceres**, Viçosa, v.55, n.5, p.482-487, 2008.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design. **Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation**, 133 p. 1975.

MARQUELLI, W. A.; OLIVEIRA, R. A.; W. A.; SILVA. **Irrigação da cultura da cenoura**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007.13p.(Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 48).

MEDEIROS, J. D. F; CASTRO, N.; GOLDENFUM, J. A; CLARKE, R. T. Calibração de sondas do TDR em um Latossolo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, p.19-25, 2007.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F de.; BERNARDO, S. ; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.7, n.2, p.275-279, 2003.

MOURA, M. V. T; JUNIOR, S. M.; BOTREL, T. A.; FRIZONE, J. A. Estimativa do consumo de água na cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) v. Nantes Superior, para a região de Piracicaba, através do método do Balanço hídrico. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.51, n.2, p.284-291, 1994.

OLIVEIRA, E. M de; OLIVEIRA, R. A.; PAULA, A. L.T de; BAPTISTINI, J. C. M.; CAIXETA, S. P.; GIOVANELLI, L. B. Desempenho do irrigômetro no manejo da irrigação no Perímetro Irrigado do Jaíba, MG, Brasil. **Ambi-Água**. Taubaté, v.6, n.1, p.157-164, 2011.

OLIVEIRA, R. A.; RAMOS, M. M. **Manual do irrigômetro**. 1ª edição, Viçosa, Minas Gerais, 2008. 144p.

OLIVEIRA, R. A; TAGLIAFERRE, C. ; SEDIYAMA, G. C.; MATERAM, F. J. V.; CECON, P. R. Desempenho do Irrigômetro na estimativa da

evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.12, n.2, p.166-173, 2008.

PEREIRA, A. B.; NOVA, N. A. V.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. 1ª edição, Piracicaba: FEALQ, 1997.183p.

PEREIRA, S.; OLIVEIRA FILHO, D.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M.; MARTINS, J. H. Reflectometria no domínio do tempo na determinação do conteúdo de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p.306-314, 2006.

RESENDE, G.M.; CORDEIRO, G.G. Produtividade da cenoura em função da qualidade da água e condicionador de solo no Vale do São Francisco. **Revista Caatinga**, v.20, n.1, p. 100-104, 2007.

RICE, R.A. Fast-response, Field tensiometer system. **Transaction of ASABE**, St. Joseph, v.12, p.48-50, 1969.

RICHARDS, J. H.; CADWELL, M. M. Hydraulic lift: Substantial nocturnal water transporte between soil layers by *Artemisia tridentate* roots. **Oecologia**, v.73, p. 486-489, 1987.

SANTOS, F. X. ; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, J. R.; SOUZA, E. R. Determinação do consumo hídrico de cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.3, p.304-310, 2009.

SANTOS, M. R.; ZONTA, J. H.; MARTINEZ, M. A. Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de sondas de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.299-307, 2010.

SILVA, A. J.; COELHO, E. F.; SANTOS, M. R. Avaliação de sondas de TDR para medidas da condutividade elétrica aparente e umidade. In: **XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2005, Canoas. Resumos, Canoas: SBEA, 2005. CD-ROM.

SILVA, E. L da; GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento de TDR para a determinação do teor de água em diferentes camadas de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.417-420, 1999.

SILVA, V. J da; TEODORO R. E. F.; CARVALHO, H. P.; MARTINS, A.D.; LUIZ, J. M. Q. Resposta da cenoura à aplicação de diferentes lâminas de irrigação. **Biociencia Journal**, Uberlândia, v.27, n.6, p. 954-963, 2011.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of crop water requeriments**. Rome: FAO, 1991. 45p.

SOUZA, C. F. **Utilização da reflectometria no domínio do tempo (TDR) na modelagem do bulbo molhado do solo irrigado por gotejamento.** 2002. 115 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientia Agronomica**. Maringá, v.30, p.603-609. 2008. Suplemento.

TAGLIAFERRE, C.; OLIVEIRA, R. A; OLIVEIRA, E. M de; BAPTESTINI, J. C. M.; SANTOS, L da. C. Desempenho do Irrigâmetro no manejo da água de irrigação na cultura do feijoeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 3, p. 110-117, 2010.

TEODORO, R. E. F.; AOYAGI, A. K.; CARVALHO, H. P.; LIMA, L. M. L.; MENDONÇA, F. C.; LUIZ, J. M. Q.; CARVALHO, J. O. M. Produção da cenoura sob diferentes lâminas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.2, 2002. Suplemento.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, v.16, p. 574-582, 1980.

VESCOVE, H.V.; TURCO, J.E.P.; Comparação de três métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p. 713-721, 2005.

VIEIRA, J.V.; PESSOA, H.B.S.V. **Cultivo da cenoura: Clima. Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, 1997.1p.

VIANA, M. M.; DELEO, J. P. B.; PAGILIUCA, L. G.; BOTEON, M. Retrospectiva 2011. **Anuário Hortifruti Brasil**, 2011. Acessado em: http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/108/mat_capa.pdf, Jan, 2012.

VILELA, N. J.; BORGES, I. O. **Retrospectiva e situação atual da cenoura no Brasil**. Embrapa Hortaliças, Brasília, Circular técnica 59, 10p, 2008.

APÊNDICE

Resumos das análises de variância

Tabela A1. Análise de variância de produtividade total e das classes de raízes de cenoura em relação aos tratamentos.

Produtividade total			
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio
BL	4	48,16554	12,04138
TR	3	48,71152	16,23717 ^{NS}
Resíduo	12	288,9756	24,0813
CV (%)		7,716	
Produtividade comercial			
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio
BL	4	560,3933	140,0983
TR	3	105,2727	35,09089 ^{NS}
Resíduo	12	1140,040	95,00332
CV (%)		21,077	
Classe: Extra			
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio
BL	4	157,1790	39,29475
TR	3	102,1941	34,06471 ^{NS}
Resíduo	12	492,5198	41,04332
CV (%)		18,746	
Classe: Extra A			
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio
BL	4	541,1589	135,2897
TR	3	160,2362	53,41206 ^{NS}
Resíduo	12	509,7961	42,48301
CV (%)		56,552	
Classe: Extra AA			
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio
BL	4	47,44001	11,86
TR	3	16,79801	5,599335 ^{NS}
Resíduo	12	73,53025	6,127521
CV (%)		287,028	
Classe: Descartes			
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio
BL	4	313,4135	78,35338
TR	3	81,733281	27,24427 ^{NS}
Resíduo	12	450,7455	37,56212
CV (%)		36,177	

^{NS} - F não significativo a 5%.

Tabela A2. Análise de variância para o teor de matéria seca apresentada pelas raízes de cenoura.

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio
BL	4	1,074301	0,2685751
TR	3	0,4746266	0,1582089 ^{NS}
Resíduo	12	4,410629	0,3675524
CV (%)		7,954	

^{NS} - F não significativo a 5%.

Tabela A3. Análise de variância para o teor de matéria seca na parte aérea das plantas de cenoura.

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio
BL	4	3,186379	0,7965948
TR	3	0,8689252	0,2896417 ^{NS}
Resíduo	12	7,112815	0,5927345
CV (%)		7,554	

^{NS} - F não significativo a 5%.

Tabela A4. Análise de variância para o comprimento médio da parte aérea das plantas de cenoura.

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio
BL	4	$0,1251263 \times 10^{-2}$	$0,3128156 \times 10^{-3}$
TR	3	$0,4424384 \times 10^{-2}$	$0,1474795 \times 10^{-2NS}$
Resíduo	12	$0,1177004 \times 10^{-2}$	$0,9808365 \times 10^{-2}$
CV (%)		4,257	

^{NS} - F não significativo a 5%.