

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

Manejo da irrigação com déficit hídrico controlado no cultivo orgânico da cenoura (*Daucus carota*)

Bruno César Léllis Conceição

2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO
NO CULTIVO ORGÂNICO DA CENOURA (*DAUCUS CAROTA*)**

BRUNO CÉSAR LÉLLIS CONCEIÇÃO

Sob a orientação do Professor
Daniel Fonseca de Carvalho

Dissertação submetida como
requisito parcial para obtenção do
grau de **Mestre em Ciências**, no
Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnica.

Seropédica, RJ
Julho de 2015

UFRRJ / Biblioteca Central / Divisão de Processamentos Técnicos

631.587

C744m

T

Conceição, Bruno César Léllis, 1989-
Manejo da irrigação com déficit
hídrico controlado no cultivo orgânico
da cenoura (*Daucus carota*) / Bruno
César Léllis Conceição - 2015.
49 f.: il.

Orientador: Daniel Fonseca de
Carvalho.

Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro, Curso de Pós-Graduação em
Fitotecnia.

Bibliografia: f. 31-39.

1. Irrigação agrícola - Teses. 2.
Irrigação por gotejamento - Teses. 3.
Cenoura - Cultivo - Teses. 4. Água na
agricultura - Teses. 5. Água - Uso -
Teses. I. Carvalho, Daniel Fonseca de,
1968-. II. Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro. Curso de Pós-
Graduação em Fitotecnia. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

BRUNO CÉSAR LÉLLIS CONCEIÇÃO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de Concentração em Produção Vegetal.

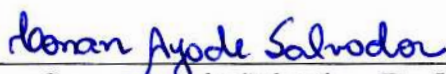
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/07/2015.



Daniel Fonseca de Carvalho, Dr. UFRRJ
(Orientador)



Ednaldo da Silva Araújo, Dr. Embrapa



Conan Ayde Salvador, Dr. UFRRJ

DEDICATÓRIA

A minha família, especialmente a meus pais, que trabalharam muito para que eu pudesse alcançar mais essa vitória. Dedico também a toda comunidade científica e as gerações futuras.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos e energias positivas que me ajudaram a me manter firme e confiante. Agradeço a Virgem Maria por toda intercessão e todo amor de mãe que me deu e a meu anjo da guarda por toda proteção.

Agradeço a meus pais, Atenor César Conceição e Adervane da Silva Léllis Conceição, por todos os ensinamentos e por todo amor que nunca faltou em minha vida, amor que é incondicional e profundo. Agradeço a eles pela educação que me deram e dão.

Agradeço a minha irmã Bianca Léllis e a meu irmão Breno Léllis por todo companheirismo e amor mesmo estando longe fisicamente.

Um agradecimento especial a meus grandes amigos que sempre me acompanharam e aos novos amigos que vou conhecendo ao longo da estrada da vida.

Agradeço a Escalada por me tornar um homem mais centrado, equilibrado e saudável, além de me aliviar de todo estresse diário.

Agradeço a meu orientador, amigo e muitas vezes pai Daniel Carvalho, que me ensinou e me ajudou a encontrar o caminho da pesquisa e da busca pelo conhecimento.

Ao GEPASSA por me acolher e fornecer estrutura familiar e emocional para trabalhar bem.

A UFRRJ por toda formação acadêmica.

A CNPQ e FAPERJ pela concessão das bolsas de financiamento a pesquisa.

RESUMO

LÉLLIS CONCEIÇÃO, Bruno César. **Manejo da irrigação com déficit hídrico controlado no cultivo orgânico da cenoura (*Daucus carota*)**. 2015. 49f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

Os modelos de simulação de cultivos são ferramentas utilizadas para auxiliar no gerenciamento dos recursos disponíveis. Para o cultivo de cenoura, poucos estudos examinaram o efeito da irrigação com déficit em seu desempenho e qualidade das colheitas. O déficit otimizado por etapas (DOTI), metodologia integrada ao Modelo de otimização econômica da água de irrigação (MOPECO), determina o nível de déficit a ser atingido em cada fase do desenvolvimento da cultura visando maximizar seu desempenho, para um determinado nível de déficit a ser obtido no ciclo. O estudo foi conduzido em 2013 e 2014, no Sistema Integrado de Produção Agroecológica - SIPA, localizada em Seropédica-RJ, Brasil. O sistema de irrigação usado foi de gotejamento, com uma fita gotejadora para cada duas linhas de cultivo, espaçamento entre emissores de 10 cm e vazão de $4 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Dois métodos de aplicação de irrigação com déficit foram avaliados, sendo denominados déficit hídrico constante (DHC) e DOTI. Para ambos os métodos foram aplicados 5 diferentes níveis de déficit global (90, 80, 70 e 60% do potencial de evapotranspiração da cultura (ETm), e sem irrigação), além do tratamento com 100% da ETm. Os resultados demonstram que nos dois anos de ensaios de campo não foram obtidas diferenças estatisticamente significativas dos rendimentos totais entre DOTI e DHC, para o mesmo nível de déficit hídrico utilizado. No entanto, uma alta porcentagem das raízes obtidas com a estratégia DHC apresentaram deficiências em termos de qualidade (defeitos, tamanhos inadequados, rachaduras, etc.) que proporcionaram diminuição na produção comercial. Por conseguinte, para o mesmo volume de água aplicado, o manejo da irrigação efetuado pelo DOTI foi mais eficiente, atingindo 50% a mais de produtividade comercial no tratamento 0,6 ETm e cerca de 24% para os demais tratamentos.

Palavras-chave: irrigação otimizada, déficit de irrigação, eficiência do uso da água

ABSTRACT

LÉLLIS CONCEIÇÃO, Bruno César. **Irrigation management with water deficit controlled in organic cultivation of carrot (*Daucus carota*)**. 2015. 49p. Thesis (Master in Plant Science). Institute of Agronomy, Department of Plant Science, University Federal Rural of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

The crop simulation models are tools used to assist in the management of the available resources. For the carrot crop, few studies have examined the effect of irrigation with deficits in their performance and quality of crops. The optimization of the regulated deficit irrigation strategy (ORDI), which integrates the economic optimization model for irrigation water management (MOPECO), determines the level of deficit to be achieved at each stage of crop development in order to maximize the performance for a given level of deficit. The study was conducted in 2013 and 2014 in the Integrated Agroecological Production - SIPA, located in Seropédica-RJ, Brazil. It was used drip irrigation system with a line for each two lines of cultivation, emitter spacing of 10 cm and flow rate of 4 L h⁻¹ m⁻¹. Two deficit irrigation application methods were evaluated (constant water deficit - CHD and ORDI). For both methods were applied 5 different levels of global deficit (90, 80, 70 and 60% of crop evapotranspiration (ET_m), and without irrigation), besides the treatment with 100% ET_m. In the two years evaluated no statistically significant differences were obtained in total yields between ORDI and CHD, for the same level of deficit used. However, a high percentage of the roots obtained from the CHD strategy had shortcomings in terms of quality (defects, improper size, cracks, etc.) provided decrease in commercial production. Therefore, for the same volume of water applied, irrigation management made by ORDI was more efficient, reaching 50% and 24% more commercial productivity in the treatment ET_m 0.6 and other treatments, respectively.

Keywords: Optimum irrigation, irrigation deficit, water use efficiency

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Descrição detalhada do módulo I de funcionamento do modelo MOPECO.	9
Figura 2.	Desenho esquemático da área experimental.	13
Figura 3.	Coletores na área para determinação do CUC.	14
Figura 4.	Cultivo de cenoura do ano de 2013 antes de realizar a colheita.	17
Figura 5.	Processo de avaliação das características produtivas da cenoura para o ano de 2013 e 2014, pós-colheita.	17
Figura 6.	Evapotranspiração de referência (ET _o) mensal durante o período de cultivo da cenoura em 2013 e 2014, na região de Seropédica – RJ	20
Figura 7.	Lâmina precipitada e lamina precipitada acumulada durante o experimento de 2013.	21
Figura 8.	Lâmina precipitada e lamina precipitada acumulada durante o experimento de 2014.	22
Figura 9.	Funções de resposta para a produtividade total e comercial de raízes de cenoura para o cultivo nos anos de 2013 e 2014	29
Figura 10.	Eficiência do uso da água (EUA) para o cultivo de 2013	31
Figura 11.	Eficiência do uso da água (EUA) para o cultivo de 2014	32

INDICE DE TABELAS

Tabela 1.	Análise química do solo da área experimental	8
Tabela 2.	Análise granulométrica do solo da área experimental	8
Tabela 3.	Coefficiente de localização (kl) para a cultura da cenoura	16
Tabela 4.	Dados climáticos 2013	19
Tabela 5.	Dados climáticos 2014	19
Tabela 6.	Caracterização das fases de desenvolvimento da cenoura para os cultivos de 2013	22
Tabela 7.	Caracterização das fases de desenvolvimento da cenoura para os cultivos de 2014	23
Tabela 8.	Precipitação, Evapotranspiração de Referencia (ET _o), Evapotranspiração do cultivo (ET _c) e Evapotranspiração do cultivo localizada 2013	23
Tabela 9.	Precipitação, Evapotranspiração de Referencia (ET _o), Evapotranspiração do cultivo (ET _c) e Evapotranspiração do cultivo localizada 2014	24
Tabela 10.	Lâminas de irrigação total aplicada nos tratamentos no cultivo de 2013	24
Tabela 11.	Lâminas de irrigação total aplicada nos tratamentos no cultivo de 2014	25
Tabela 12.	Produtividade total de raízes de cenoura (t ha ⁻¹) no ano de 2013	26
Tabela 13.	Produtividade comercial de raízes de cenoura (t ha ⁻¹) no ano de 2013	26
Tabela 14.	Produtividade total de raízes de cenoura (t ha ⁻¹) no ano de 2014	27
Tabela 15.	Produtividade comercial de raízes de cenoura (t ha ⁻¹) no ano de 2014	28
Tabela 16.	Funções de resposta da cultura da cenoura	28
Tabela 17.	Eficiência do uso da água (EUA) de raízes de cenoura (kg m ⁻³) em 2013	30
Tabela 18.	Eficiência do uso da água (EUA) de raízes de cenoura (kg m ⁻³) em 2014	31

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1.	Equação de Stewart	9
Equação 2.	Equação do cálculo de Evapotranspiração real	10
Equação 3.	Equação de Stewart reformulada	11
Equação 4.	Equação de cálculo do Coeficiente de Christiansen	14
Equação 5.	Equação de cálculo do Coeficiente de distribuição	14
Equação 6.	Equação do cálculo de evapotranspiração do cultivo	15
Equação 7.	Equação do cálculo de evapotranspiração do cultivo localizada	15
Equação 8.	Equação de cálculo da eficiência do uso da água	18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Uso eficiente da água na agricultura	2
2.2. Modelos de simulação na agricultura irrigada	3
2.3. O cultivo da cenoura	4
2.3.1. Necessidades hídricas	5
2.3.2. Adaptabilidades climáticas	6
3. MATERIAIS E MÉTODOS	8
3.1. Caracterização da área de estudo	8
3.2. Descrição do modelo MOPECO	8
3.2.1. Cálculo do rendimento do cultivo	9
3.2.2. Manejo de irrigação com déficit hídrico controlado por etapas (DOTI)	11
3.3. Caracterização do experimento	11
3.3.1. Cultivo da Cenoura	11
3.3.2. Delineamento Experimental	12
3.4. Coleta dos dados climáticos	13
3.5. Manejo da irrigação	13
3.5.1. Sistema de irrigação	13
3.5.2. Teste de uniformidade	13
3.5.3. Lâmina aplicada	15
3.6. Graus-Dias	16
3.7. Colheita e variáveis de produção	16
3.8. Eficiência do uso da água	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1. Caracterização climática	19
4.2. Manejo de irrigação	23
4.3. Produtividade total e Produtividade comercial das raízes de cenoura	25
4.4. Análise do manejo de irrigação adotado	29
4.5. Eficiência do uso da água	29
5. CONCLUSÃO	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1. INTRODUÇÃO

A sociedade vive um momento em que o uso racional dos recursos hídricos é uma demanda para as regiões onde existe a escassez de água e buscam a conservação dos recursos existentes para as gerações futuras. Diante das mudanças climáticas e da segurança alimentar, que são atualmente os dois maiores problemas da humanidade, falta a agricultura e ao setor rural assumir papéis fundamentais, pois ambos são o caminho mais eficaz que se tem para responder a tais problemas (FAO, 2009).

A disponibilidade, a estabilidade na produção e o acesso a alimentos vão ser afetados com as alterações na quantidade e na qualidade da água disponível, fator decorrido das alterações climáticas (BATES et al., 2008). O uso dos recursos hídricos de uma maneira mais eficiente, permite sua conservação a água para um uso mais prolongado não só para a produção de alimentos, mas para as necessidades humanas e ambientais.

A proposta de modelos de cultivo que otimizem os recursos disponíveis tem sido uma saída para garantir a produtividade sem necessariamente elevar os custos com insumos e tratamentos culturais. A água é um insumo essencial para planta e vários estudos tem analisado o comportamento das culturas em várias condições de disponibilidade hídrica (STEWART et al., 1977; SUDAR et al., 1981).

O uso racional dos recursos naturais tem se tornado cada vez mais presente na agricultura, principalmente quando se trata da agricultura irrigada, onde normalmente é utilizado um grande volume de água. Por isso, o emprego de metodologias que otimizem o uso da água torna-se uma prática importante e necessária e que, na maioria das vezes, está ao alcance do agricultor. Associado a isso, ainda são poucos os trabalhos já desenvolvidos e que utilizam dados obtidos por modelos computacionais, como o Modelo de Otimização Econômica da Água de Irrigação- MOPECO, para manejo com déficit hídrico otimizado.

A cenoura é uma cultura que exige alta demanda de água para seu cultivo e necessita de temperaturas mais amenas para uma produtividade ideal. Existem variedades resistentes a temperaturas mais elevadas, por exemplo, a cultivar Brasília, que além da tolerância térmica possui resistência a doenças como a queima das folhas. No Brasil, a variedade é produzida basicamente por meio de cultivo irrigado por aspersão, mas existem grandes produções que utilizam de pivô central e de gotejamento (EMBRAPA, 2013). A irrigação, além de suplementar a demanda hídrica funciona como alternativa de salvamento para possíveis veranicos durante os períodos chuvosos, pois apenas quatro dias sem chuva afetam diretamente a produção da cultura (MAROUELLI, 2007).

Diante do proposto, os objetivos desse trabalho avaliar a resposta da cultura da cenoura submetida a diferentes manejos da irrigação com déficit hídrico controlado por etapas e validar, sob o ponto de vista econômico, o efeito de duas épocas de semeadura e da irrigação deficitária no cultivo da cenoura na região da Baixada Fluminense.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uso eficiente da água na agricultura

A população mundial vem se tornando cada dia maior, podendo alcançar a incrível marca dos 9,5 bilhões de pessoas em 2050 (FAO, 2012). Em consequência desse crescimento a demanda por alimentos toma proporções ainda maiores e a agricultura se torna um fator de grande importância para que se alcance uma segurança alimentar (SINGH, 2012a). Segundo Kondili (2010), 25% da população mundial vive em regiões de grande escassez hídrica, sendo que a falta de água é um problema crônico que dificulta qualquer tipo de cultivo agrícola irrigado ou de sequeiro.

A água é um dos principais fatores limitantes para a produção agrícola e devido ao considerável aumento de consumo nos seus múltiplos usos (AYARS et al., 2003), e da diminuição de sua qualidade para uso na irrigação (CHIGOR et al., 2012), as áreas sob cultivo irrigado tem se tornado restritas, requerendo dos agricultores a obtenção de maiores produtividades por unidade de área e de água aplicada (JENSEN, 2007). Grundmann (2012) afirma que para minimizar os efeitos da escassez hídrica e das mudanças climáticas globais, deve ser encontrada uma alternativa sustentável e com uma abordagem integrada de todos os fatores ambientais e agronômicas envolvidos.

A agricultura irrigada se tornou um mecanismo vital para se alcançar uma produção de alimentos que supra as necessidades atuais e futuras (SINGH & PANDA, 2012b). Um planejamento inadequado do sistema de irrigação ou da quantidade de água a ser aplicada pode resultar num problema ambiental grave, atingindo não somente o agro-ecossistema, mas toda uma gama de biodiversidade que depende dos recursos hídricos utilizados (KREBS et al., 1999; TILMAN et al., 2002; FOLEY et al., 2005; VAN DAM et al., 2006; SINGH, 2010). Um efeito direto de uma má gestão dos recursos hídricos na agricultura irrigada é a salinização dos mananciais ou alagamentos secundários (HEUPERMAN et al., 2012). Como a agricultura é responsável pelo consumo de cerca de 70% da água doce captada no mundo (FAO, 2013), um uso eficiente e otimizado pode conservar esse recurso para gerações futuras, além de atender a demanda produtiva de alimentos.

Das estratégias utilizadas no planejamento da agricultura irrigada destacam-se a irrigação suplementar, que visa aplicar água numa quantidade suficiente para suprir totalmente o déficit hídrico, maximizando a produção por unidade de área, e a irrigação com déficit, que objetiva maximizar a produção por unidade de volume de água aplicada (ENGLISH, 1990). No primeiro caso, como a disponibilidade de água não é fator limitante, se a irrigação for em excesso pode provocar a redução da produção em função da lixiviação de nutrientes e da ocorrência de doenças e problemas de armazenamento associadas ao excesso de umidade no solo, dentre outros fatores, proporcionando redução da eficiência do uso da água (EUA) (SHOCK et al., 2000). No segundo caso, o cuidado com a época em que o estresse será aplicado é o principal elemento que determina o sucesso da prática, pois, a maioria das culturas tem sensibilidade elevada a valores pequenos de estresse hídrico, portanto é necessário o conhecimento das fases fenológicas do cultivo, para que seja realizada a aplicação correta desse déficit (numa determinada fase de desenvolvimento ou em todo ciclo).

Com o déficit hídrico controlado pode-se reduzir a percolação e proporcionar aumento da eficiência de aplicação e, como consequência, redução dos custos da irrigação e dos

impactos ambientais adversos associados à agricultura irrigada (DOMÍNGUEZ et al., 2012; ROMERO et al., 2006). Alguns estudos realizados com plantas cítricas têm demonstrado que a irrigação deficitária favorece não somente o desenvolvimento dos frutos, como também sua qualidade e características organolépticas, sendo que, de acordo com a estratégia adotada se tem um efeito diferente sobre os parâmetros de qualidade (NAVARRO et al., 2014; AGUADO et al., 2012; PÉREZ-PÉREZ et al., 2009; YAKUSHIJI et al., 1998).

Em geral, nem toda água aplicada pelo sistema de irrigação fica armazenada na zona radicular e é utilizada pela planta: uma parte é evaporada, outra escoada superficialmente e ainda pode ocorrer percolação profunda, sendo essas perdas distintas sob diferentes tipos de solo e sistemas de irrigação empregados. Em consequência, a falta de uniformidade pode afetar o rendimento da colheita e a eficiência do uso da água disponibilizada (LETEY et al., 1984; MANTOVANI et al., 1995; LI, 1998).

A contínua redução na disponibilidade de água para a agricultura cria uma necessidade de melhorar a EUA pela planta (HATFIELD et al., 2001). Sob o aspecto agrônomico, a EUA é definida como a relação entre o rendimento (Y) e a evapotranspiração da cultura (ET) (LÓPEZ BELLIDO, 1998) e, em virtude das dificuldades em medir a água realmente consumida pela cultura, a maioria das publicações se refere à relação entre o rendimento e a água recebida pela cultura, tanto pela irrigação como pela chuva efetiva ($EWRC$). Howell (2001) indica que a principal forma de melhorar $EWRC$ na agricultura irrigada é aumentar a produção por unidade de água, reduzir as perdas e degradação e redistribuir a água para usos mais prioritários. Diminuir a produção, quando a disponibilidade hídrica é o único fator limitante, depende da uniformidade da água disponível na região do sistema radicular. Essa uniformidade é condicionada aos efeitos da irrigação acumulada recebida, da interceptação da água pelo dossel da planta e sua redistribuição no perfil do solo, da dinâmica da água no solo e do desenvolvimento do sistema radicular das culturas (LI & KAWANO, 1996; CHEN et al., 2004). Para satisfazer as necessidades de água da cultura, deve-se considerar a uniformidade de água no solo ao invés de uniformidade de aplicação de água de irrigação, sendo uma boa aproximação de uniformidade de água no solo, o valor de uniformidade correspondente ao conjunto de eventos de irrigação, pelo menos, quando o intervalo de aplicação é menor do que três ou quatro dias (ORTEGA et al., 2004).

De acordo com Bernardo et al. (2006), na agricultura irrigada o fator água deve ser otimizado, permitindo também uma melhor utilização dos demais fatores de produção. Sendo assim uma otimização adequada dos recursos hídricos eleva a produtividade e se torna uma ferramenta de grande importância para a análise da gestão da água e tomada de decisão em relação a uma melhor aplicação dos demais insumos (CETINKAYA et al., 2008). Para tal, o conhecimento das funções de produção ou superfícies de resposta são os instrumentos ideais de análise, por permitirem determinar as interações entre fatores e escolher as soluções mais condizentes com a realidade local visando o manejo racional da irrigação em bases técnica e econômica (BERNARDO, 1998).

2.2. Modelos de simulação na agricultura irrigada

Uma boa gestão agrícola requer um conhecimento prévio de todo o sistema produtivo e também de todos os recursos disponíveis, sendo que a água é por excelência um dos fatores que tem maior peso sobre o sucesso da parcela produtiva (BISWADIP et al., 2014). Devido à dificuldade de se realizar ensaios experimentais para a obtenção de resultados e propostas de manejos otimizados, ao longo dos anos um grande número de modelos matemáticos vem

sendo aplicados a agricultura, com a proposta de obter valores cada vez mais aproximados da realidade de campo (MATANGA & MARINO, 1979; LOUCKS et al., 1981; HANTUSH & MARINO, 1989; SINGH, 2014b). Desde a metade do século XX, têm sido elaborados modelos para simular o comportamento de cultivos sob diversas condições de disponibilidade de água (STEWART et al., 1977; SUDAR et al., 1981), suprimento de elementos minerais (STÖCKLE & DEBAEKE 1997; ERRHEBI et al., 1998), uso de águas salinas (GARCÍA et al., 2006; PEREIRA et al., 2007), entre outros.

Segundo Singh e Panda (2013), os modelos têm sido ferramenta importante para a agricultura e vem se tornando, cada dia mais populares e eficazes. Trabalhos pioneiros tem sido utilizado para desenvolver outros modelos integrados simulando o comportamento da cultura sob ampla faixa de condições (ISAREG: TEIXEIRA & PEREIRA, 1992; CROPSYST: STÖCKLE et al., 1994; WOFOST: BOOGAARD et al., 1998; CROPWAT: SMITH, 1993, AquaCrop: STEDUTO et al., 2009, etc.). Os resultados obtidos nos modelos têm apresentando resultados que mostram uma melhora na produtividade e no manejo das culturas de uma maneira geral. Ressalta-se que o conhecimento de cada etapa de cultivo permite realizar um melhor gerenciamento de dos tratos culturais e um uso otimizado dos recursos disponíveis (INES et al., 2005). Moradi (2014) afirma que além da economia de água e insumos, o uso de modelos favorece uma grande economia de energia, reduzindo custos e aumentando a margem lucrativa do produtor.

No entanto, a complexidade desses modelos, que normalmente requerem elevada quantidade de informações, inviabiliza suas aplicações pelos técnicos e agricultores. Por isso, a equipe do “Centro regional de estudos del agua” (CREA) da Universidade de Castilla-La Mancha/Espanha (UCLM) desenvolveu o modelo MOPECO (ORTEGA et al., 2004) que exige menor quantidade de dados básicos para simular o desenvolvimento e o rendimento de determinado cultivo. Este modelo foi concebido para otimizar a margem bruta (MB) de um determinado cultivo especialmente em áreas com escassez de água e/ou custos elevados da colheita. O modelo também simula o efeito de uniformidade de irrigação (LÓPEZ-MATA et al., 2010), a utilização de água salina (DOMÍNGUEZ et al., 2011) e calcula o deficit de irrigação otimizado por etapa do cultivo (DOTI) para se obter o rendimento máximo para uma quantidade limitada de água (DOMÍNGUEZ et al., 2012).

O MOPECO requer calibração e validação de um suficiente número de dados, para que se possa ser utilizado adequadamente para a área que esta sendo realizado o cultivo. O programa está sendo calibrado para cultivos de Castilla La- Mancha/Espanha (DOMÍNGUEZ et al., 2012) e para cultivos horticolas na região Nordeste e Sudeste do Brasil. O objetivo da calibração de grande variedade de cultivos sob diferentes condições meteorológicas é desenvolver um Sistema de Apoio à Decisão, que será disponibilizado via Web(www.mopeco.uclm.es), visando auxiliar pesquisadores, técnicos e agricultores no uso otimizado da água na agricultura irrigada. Portanto, o modelo MOPECO se caracteriza como uma ferramenta para a planificação de cultivos submetidos a diferentes estratégias de manejo da água.

2.3. O cultivo da cenoura

A alimentação saudável tem se tornado hábito da dieta da maioria da população, elevando, assim, o consumo de um maior número de variedades de hortaliças e motivando o maior desenvolvimento e a obtenção de maiores produtividades (MONTEZANO & PEIL, 2006). A cenoura é uma das culturas de maior produção dentre as hortaliças, sendo a cultivar

Brasília uma das mais cultivadas no país, com ciclo médio de 85 a 95 dias e produtividade em torno de 51,6 t ha⁻¹ (CEPEA, 2014).

A cenoura pertence à família das *Apiaceae*, do grupo das raízes tuberosas. O Brasil tem como principais áreas produtivas, as regiões Sudeste, Nordeste e Sul, destacando-se as regiões do Alto Paranaíba e de Irecê, localizadas, respectivamente, nos Estados de Minas Gerais e Bahia, onde seu cultivo é de alta relevância socioeconômica. O Brasil é o maior produtor sul-americano de cenoura, com mais de 40% da produção e, em escala mundial, é responsável por 3,5% da produção (FAO, 2006). A cenoura é a quinta olerícola mais cultivada no Brasil (MAROUELLI et al., 2007) e atualmente ocupa uma área superior a 28 mil ha (SILVA et al., 2012), com uma produção de 760 mil toneladas, correspondendo a um valor bruto no atacado de 690 milhões de reais.

Embora produza melhor em áreas de clima ameno, nos últimos anos, face ao desenvolvimento de cultivares tolerantes ao calor e com resistência às principais doenças de folhagem, o plantio de cenoura vem-se expandindo também nos Estados da Bahia e de Goiás (EMBRAPA, 2013). Com exceção da região Sul do Brasil, o cultivo da cenoura é quase que totalmente irrigado, especialmente por aspersão. Nessa região, a área irrigada vem aumentando nos últimos anos pelo fato da irrigação eliminar os riscos da produção em condições climáticas sujeitas a veranico. Nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, a irrigação é frequentemente usada de forma suplementar, mesmo durante a estação chuvosa, haja vista a ocorrência de veranicos superiores a quatro dias, que podem comprometer a produção da cenoura (MAROUELLI, 2007).

2.3.1. Necessidades hídricas

A demanda hídrica de uma cultura representa sua resposta à uma interação entre fatores inerentes à cultura e às características edafoclimáticas do local onde a mesma está sendo cultivada. Assim, o conhecimento dessa resposta permite um melhor planejamento da irrigação, evitando possíveis perdas de produtividade por estresse hídrico (MOURA et al., 1994). Segundo Pereira & Allen (1997), essa demanda hídrica é medida pela evapotranspiração da cultura (ET_c), que é a quantidade de água transferida da planta para a atmosfera, e que pode ser estimada pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente da cultura (K_c) (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

Segundo Allen et al. (1998), o valor da evapotranspiração de referência é influenciado unicamente pelas características climáticas do local de cultivo, podendo assim realizar comparações entre regiões climaticamente distintas. As culturas utilizadas universalmente como superfícies de referência são a alfafa e a grama-batatais (*Paspalum notatum*) e o método para estimativa da ET_o mais utilizado pelos pesquisadores é o de Penman-Monteith (SMITH et al., 1991). Os fatores que diferenciam a ET_c da ET_o são a altura da cultura, a resistência e o albedo da superfície cultura-solo. A integração desses fatores representa o coeficiente da cultura (K_c), que varia de acordo com o desenvolvimento da cultura e com a fração de cobertura da superfície do solo, pela vegetação. Valores de K_c foram propostos por Doorenbos & Pruitt (1997) para diversas culturas de interesse econômico na agricultura e, posteriormente, foi recomendado o ajuste desses coeficientes para cada região de cultivo, a partir de estudos das condições edafoclimáticas locais e características da variedade a ser utilizada (ALLEN et al., 1998).

Em função da sua grande importância econômica, a cultura da cenoura tem sido estudada e adaptada em várias regiões do Brasil (EMBRAPA, 2008). Estudos para obtenção de valores de Kc ideais para cada região tem sido realizado por vários pesquisadores. Carvalho et al. (1994), conduziram um experimento em Viçosa, MG, com a cultura da cenoura, variedade Brasília, e obtiveram valores de Kc para cada um dos quatro estágios de desenvolvimento da cultura: 1,03; 0,80; 1,16 e 1,61. Realizando outro experimento na mesma localidade, Giacoia Neto (1996) fazendo uso de lisímetros com lençol freático constate mantido em 35 cm de profundidade, obteve valores de Kc para a mesma variedade iguais a 0,48; 0,77; 1,47 e 1,56. Aragão Junior (1983) realizando um experimento em Guarimiranga, CE, obteve valores de Kc, também para mesma variedade de cenoura, iguais a 0,77; 0,99 e 0,86, para os três últimos estágios de desenvolvimento. Em experimento realizado em Seropédica-RJ, Oliveira Neto (2013) encontrou valores de Kc iguais a 0,75; 1,05 e 0,94, respectivamente.

As diferenças entre os valores dos coeficientes de cultura devem-se, provavelmente, ao uso de métodos diferentes para se estimar a ETo. Carvalho et al. (1994) utilizaram a equação de Penman modificada FAO 24, enquanto Giacoia Neto (1996) utilizou o tanque Classe A, e Oliveira Neto (2013) utilizou a equação de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

2.3.2. Adaptabilidades climáticas

A temperatura é o fator climático mais importante para a produção de raízes de cenoura. Temperaturas de 10 a 15 °C favorecem o alongamento e o desenvolvimento de coloração característica, enquanto temperaturas superiores a 21 °C estimulam a formação de raízes curtas e de coloração deficiente. Algumas cultivares desenvolvidas utilizando-se técnicas de melhoramento genético foram adaptadas a regiões de temperaturas médias um pouco mais elevadas, formando boas raízes quando submetidas a temperaturas entre 18 a 25 °C. Em temperaturas acima de 30 °C, a plantas de cenoura tem o ciclo vegetativo reduzido, o que afeta o desenvolvimento das raízes e a produtividade. Temperaturas abaixo de 10° associadas a dias longos induzem o florescimento precoce, principalmente daquelas cultivares que foram desenvolvidas para plantio em épocas quentes do ano.

Estudos relacionados às variações climáticas vêm mostrando não só alteração do ciclo das culturas agrícolas, mas também nas suas taxas fotossintéticas, respiração e transpiração, fatores estes relacionados diretamente à produção e produtividade das mesmas (LUO et al. 2005; ZHANG e LIU, 2005; BATTISTI e NAYLOR, 2009; RENATO et al., 2013). Segundo Lozada & Angelocci (1999) existe um limite térmico no ambiente para que os processos biológicos dos seres vivos ocorram; quando a temperatura foge de uma situação ideal esses processos são afetados. Isso ocorre por que as reações enzimáticas responsáveis por desencadear cada um desses eventos são de natureza proteica, e por isso, sob temperaturas elevadas ocorre a desnaturação das suas cadeias de proteína, reduzindo a velocidade de reação química. Por outro lado, em baixas temperaturas, ocorre a mesma redução de potencial de catalisação, mas sem desnaturação (STRECK, 2004).

O desenvolvimento das plantas em seu nível mais elevado ocorre dentro de uma faixa de temperatura ideal, característica que varia de cultura para cultura (WUTKE et al., 2000). De acordo com Prett (1992), ocorre ainda uma variação interna desses intervalos de temperatura dentro do ciclo da cultura, ou seja, cada estágio de desenvolvimento possui um intervalo próprio, mas comumente é usado um valor fixo para todo o período de cultivo.

Segundo Arnold (1959), é importante se conhecer bem os ciclos de desenvolvimento da cultura, pois assim pode-se definir cada mudança fenológica da planta e, conseqüentemente, se conhecer o momento adequado de se realizar cada trato cultural. Uma maneira de contabilizar o tempo vegetal é relacionar a temperatura do ar e o desenvolvimento vegetal, sendo utilizado o conceito de soma térmica, que tem por unidade o grau dia (GILMORE JUNIOR & ROGERS, 1958). Para utilização desse parâmetro é necessário um conhecimento das exigências térmicas da cultura, o que gera uma possível previsão da duração do seu ciclo, acarretando em uma redução nos riscos climáticos (BARBANO et al., 2001).

O conceito de graus dia é abordado por diversos autores e tem como característica central a determinação de uma temperatura base para cada espécie, sendo que abaixo desta, a planta não se desenvolve ou tem crescimento praticamente nulo. Cada grau de temperatura acima é considerada um grau-dia (CAMARGO, 1984; ARNOLD, 1959; TRETIN, 2008; ISLER et al., 2011). Existem autores que ainda consideram uma temperatura base superior (OMETTO, 1981; SNYDER, 1985; DUFAULT, 1997; SEVACHERIAN, 1977). É necessário um conjunto de dados de dois ou mais anos de cultivo para que se possa realizar uma previsão do avanço dos graus-dia em anos subsequentes, favorecendo ainda mais o planejamento dos tratamentos culturais e colheita (OMETTO, 1981).

Várias metodologias de cálculo foram propostas e têm-se observadas diferenças significativas entre elas (ASPIAZU, 1971; NEILD et al., 1975). Segundo Rosa (2009), os métodos podem ser agrupados em duas categorias. Sendo o uso ou não das três temperaturas cardinais o que as diferencia (Tb: temperatura base inferior; Tot: temperatura ótima; e TB: temperatura base superior). O método de Arnold (1959) considera somente a Tb, enquanto os métodos propostos por Ometto (1981), Snyder (1985) e Dufalt (1997) também consideram que as plantas possuem uma temperatura basal superior. Os métodos mais utilizados são os propostos por Arnold (1959) e Ometto (1981) (ISLER, 2011; RENATO, 2013), entretanto métodos como o proposto por Sevacherian no ano de 1977, denominado método da dupla triangulação, que tem como base de cálculo a área do polígono formado pela triangulação das temperaturas máximas e mínimas diárias consecutivas, vem ganhando cada dia mais espaço no meio agrícola devido a precisão e facilidade de utilização (DOMÍNGUEZ et al., 2012; CARVALHO et al., 2014).

Alguns trabalhos estão sendo desenvolvidos para aprimorar o uso da soma térmica e conseqüentemente determinar de forma mais efetiva para cada região as mudanças de estágios de desenvolvimento para cada cultura (ROMANO, 2005; ASSIS et al., 2006; MIRANDA & CAMPELO JÚNIOR, 2010; STRECK et al., 2009). Segundo Volpe (2002) além de gerar os modelos é necessária uma fase de validação dos dados. Muitos trabalhos não são claros quanto ao método que utilizaram para o cálculo dos valores de graus dias.

Para diminuir os erros no cálculo dos graus dias, deve se conhecer bem o comportamento da temperatura ao longo dos dias de cultivo e realizar estudos para se caracterizar todo o ciclo de desenvolvimento das culturas (ISLER, 2011). A precisão dos métodos deve ser a característica principal a influenciar na escolha de qual será usado. Para uma compreensão da relação ambiente e cultura é necessário um estudo desde a germinação até a maturação, obtendo assim não só a necessidade de acúmulo térmico de cada fase, mas também as exigências e disponibilidades hídricas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado em uma área experimental do SIPA – Sistema Integrado de Produção Agroecológica, localizado na cidade de Seropédica-RJ (latitude 22°48'00'' S; longitude 43°41'00'' W; altitude de 33 m), nos anos de 2013 e 2014. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (LIMA et al., 2012) e, segundo Carvalho et al. (2006), o clima da região é do tipo Aw na classificação de Köppen. As temperaturas médias anuais são em torno de 28° C e pluviosidade anual em torno de 1.200 mm.

Com aproximadamente 175,0 m², a área estava ocupada com milho no início de 2013 e após a colheita, foi realizado o preparo convencional do solo e, em seguida, executou-se o levantamento dos canteiros com 1,0 m de largura por 0,20 de altura, sendo o mesmo procedimento realizado no ano de 2014. A partir de análises químicas do solo (Tabela 1), não foi constatada necessidade de correção para o cultivo da cenoura. Análises físicas também foram realizadas e os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental

Prof.	pH	Al	(H+Al)	Ca	Mg	P	K	V	m
cm		----- cmol/dm ³ -----				----- mg/dm ³ -----		-----%-----	
0-20	5,7	0,4	4,4	3,0	1,4	48,0	70	57,0	7,8
20-40	5,8	0,0	3,5	3,0	0,8	45,0	29	56,0	0,0

Tabela 2 - Análise granulométrica do solo da área experimental

Profundidade	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural
cm	Dag kg ⁻¹				
0-20	55	18	4	23	Franco-Argilo-Arenosa
20-40	53	17	5	25	

3.2. Descrição do modelo MOPECO

Uma característica dos modelos matemáticos aplicados a agricultura é a necessidade de ser realizado uma calibração e validação dos dados de produção, assim permitindo um ajuste mais próximo da realidade de campo (ORTEGA et al., 2004). Os dados utilizados para executar esse processo e gerar as estratégias utilizadas nesse experimento foram de produtividade de cenoura coletados em dois ensaios de campo (CARVALHO et al., 2014), cultivada nos meses de junho a setembro (2010), e de agosto a novembro (2011). Para essas duas épocas de cultivo, o modelo foi empregado visando estudar os efeitos da aplicação de diferentes déficits hídricos na receita líquida e na eficiência do uso da água na cultura da cenoura.

O modelo MOPECO está composto por dois módulos de cálculo os quais são:

Módulo I: para cada cultivo, calcula-se o rendimento (Y) e a margem bruta (MB) associada à irrigação (R) (Figura 1); e,

Módulo II: as funções de margem bruta e irrigação “MB –R” de cada cultura são utilizadas para determinar a distribuição de plantio e o manejo de irrigação que maximiza o lucro para um cenário específico.

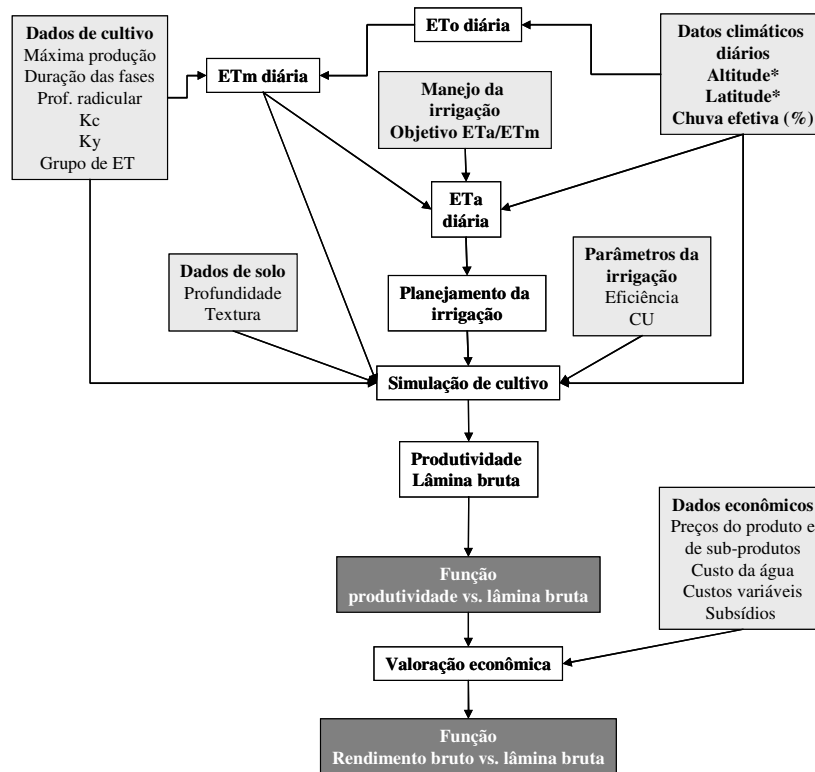


Figura 1 - Descrição detalhada do módulo I de funcionamento do modelo MOPECO.

3.2.1. Cálculo do rendimento de cultivo

Para estimar o rendimento do cultivo para um determinado nível de déficit hídrico utiliza-se a equação de Stewart (STEWART et al., 1977), considerando quatro etapas no processo de crescimento e desenvolvimento da cultura. Esta metodologia é válida para a maioria das espécies herbáceas, podendo ser obtido também um bom nível de aproximação para espécies lenhosas (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

$$\frac{Y_a}{Y_m} = \prod_{i=1}^4 \left(1 - k_{y_i} \left(1 - \frac{ET_{ai}}{ET_{mi}} \right) \right) \quad (1)$$

em que:

Y_a – rendimento obtido (kg ha^{-1});

Y_m – rendimento máximo na zona sob condições ótimas de cultivo e ausência de estresse hídrico (kg ha^{-1});

K_y – coeficiente de estresse do cultivo para a etapa i de desenvolvimento;

ET_{ai} – evapotranspiração real acumulada na etapa i (mm); e

ET_{mi} – evapotranspiração máxima acumulada na etapa i (mm) para produzir Y_a e Y_m , respectivamente.

O cálculo diário de ET_m realiza-se a partir dos valores de ET_o e K_c da cultura calculando a ET_o a partir da equação da FAO Penman- Monteith (ALLEN *et al.*, 1998) ou de Hargreaves (HARGREAVES & SAMANI, 1985).

Para o cálculo da ET_a sob condições de déficit hídrico utiliza-se a expressão proposta por Allen *et al.* (1998) (Equação 2).

$$\frac{ET_a}{ET_m} = K_{se} = \frac{TAW - Drs}{TAW - RAW} = \frac{TAW - Drs}{(1 - p)TAW} \quad (2)$$

em que:

$K_{se} = 1$ quando $Drs \leq RAW$;

Drs – déficit de umidade na zona radicular (mm);

RAW – água facilmente disponível na zona radicular (mm);

TAW é o total de água disponível na zona radicular; e

“ p ” – fração de TAW que um cultivo pode extrair da zona radicular sem sofrer estresse hídrico.

O MOPECO permite obter o calendário de irrigação para cada relação (ET_a/ET_m objetivo) e, para isso, é calculado diariamente o conteúdo de água na zona radicular mediante um balanço de entradas (irrigação, chuva e ascensão capilar) e saídas (ET e percolação). Sob condições de estresse hídrico, a Equação 2 permite determinar a quantidade de água a aplicar para tentar conseguir a relação ET_a/ET_m de objetivo.

Levando em consideração que é necessário trabalhar com quatro etapas de cultivo, o modelo busca a combinação de déficit por etapas que conseguiria a máxima produção para uma determinada relação ET_a/ET_m global. Para uma determinada relação ET_a/ET_m objetivo, que pode ser distinta para cada etapa, o modelo estabelece um calendário que trata de conseguir este objetivo. Uma vez determinado o calendário de irrigação, o modelo calcula as relações de ET_a/ET_m realmente obtidas em cada uma das etapas. Assim, obtêm-se as

produções para cada subparcela “m” procede-se a integração utilizando as regras de Simpson de 1/8 e 3/8 de forma combinada para uma maior precisão.

3.2.2. Manejo de irrigação com déficit hídrico controlado por etapa (DOTI)

A metodologia DOTI (DOMÍNGUEZ et al., 2012) pode ser usada para determinar a estratégia de irrigação para cada estágio de crescimento que produz o rendimento mais elevado para um determinado objetivo de déficit total (ETa acumulada diariamente dividido pela ETm acumulada por dia durante todo o ciclo) usando um software de otimização linear (LINDO, 2010). Esta metodologia requer um conjunto de restrições para evitar resultados inaceitáveis sob o ponto de vista fisiológico e/ou um rendimento superestimado: a taxa acumulada de ETa/ETm em cada etapa deve ser $\geq 0,5$ (Allen et al, 1998.), pois o nível de tensão aplicada a uma fase particular afeta o rendimento final (DOORENBOS & KASSAM, 1979; MARTÍN DE SANTA OLALLA *et al.*, 2004; KADAYIFCI *et al.*, 2005, BEKELE & TILAHUN, 2007). Uma possibilidade aceitável é que uma cultura não atingirá o desenvolvimento potencial durante a fase posterior, se sofrer um estresse muito grande em um estágio anterior. Portanto, a diferença máxima aceitável deve ser definida entre a taxa acumulada ETa/ETm de duas etapas de Ky consecutivos. Valores fixos para o primeiro estágio, a fim de obter determinado rendimento meta são fixados a princípio. Portanto, para divisão do estágio inicial mantendo Ky, o modelo utiliza a equação de Stewart *et al.* (1977), reformulada (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2012):

$$Y_a = Y_m \left(1 - ky_1 \left(1 - \left(\frac{ET_{a_{k_c(t)}} + ET_{a_{k_y(t)}}}{ET_{m_1}} \right) \right) \right) \prod_{k=2}^3 \left(1 - ky_k \left(1 - \frac{ET_{a_k}}{ET_{m_k}} \right) \right) \quad (3)$$

O objetivo desta metodologia é de maximizar o rendimento desejado (Ya), sendo necessário como dados de entrada, o rendimento máximo (Ym), a ETm acumulada para cada fase e subestágio e os Ky anteriormente calibrados. Para determinar a ETm acumulada por etapa deve-se utilizar uma série meteorológica para uma precisão adequada e assim diminuir os riscos de variação climática, ao planejar um experimento DOTI, ou aconselhar os agricultores sobre a combinação mais adequada de níveis de estresse para um alvo determinado de taxa global de ETa/ETm. A variabilidade dos resultados de um número suficiente de anos deve ser analisada estatisticamente. O otimizador calcula a taxa de ETa/ETm teórica para cada etapa de Ky que maximiza a produtividade do cultivo.

3.3. Caracterização do experimento

3.3.1. Cultivo da cenoura

A primeira etapa do experimento de campo ocorreu de 7 de agosto a 8 de novembro de 2013, e a segunda etapa, de 13 de junho a 11 de setembro de 2014. A cultivar de cenoura utilizada foi a Brasília Irecê, que se caracteriza por plantas de porte médio (25 a 35 cm), com raízes cilíndricas com comprimento entre 15 a 22 cm e diâmetro de 3 a 4 cm, coloração alaranjada clara e baixa incidência de ombro verde ou roxo. Essa cultivar é resistente ao calor, apresentando baixos níveis de florescimento prematuro sob condições de dias longos e tem alta resistência de campo à queima-das-folhas (Embrapa, 2008).

Nas duas etapas do cultivo, a semeadura foi realizada manualmente adotando espaçamento de 0,25 por 0,05 m, sendo 4 linhas de cultivo dentro de cada parcela experimental, medindo 1,0 por 2,0 m. Apenas as plantas das duas linhas do centrais foram consideradas úteis para as análises de produtividades e análises de crescimento, sendo 80 plantas de um total de 160 contidas dentro de toda parcela. Em função da análise química do solo, foi realizada apenas a adubação de plantio utilizando esterco curtido sobre a linha de plantio.

Durante os ensaios foram realizadas capinas manuais periódicas sempre que necessário. Para os dois anos de cultivo foram realizados desbaste aos 30 dias após plantio (DAP), conforme Silva et al. (2011), Marouelli et al. (2007), Lopes et al. (2008) e Luz et al. (2009).

3.3.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o conhecido como blocos ao acaso em faixas. A escolha desse delineamento foi feita basicamente devido as condições de campo às quais se estavam submetidos os ensaios. O principal fator foi a impossibilidade da variação da lâmina de irrigação dentro de cada parcela devido a utilização da fita gotejadora com gotejadores internos espaçados em 10 cm e com uma vazão média de 4 L h⁻¹ m⁻¹.

Cada tratamento foi composto por quatro parcelas (repetições), sendo todas dentro de um mesmo canteiro. Foram avaliadas duas metodologias de aplicação de irrigação deficitária, assim denominadas: DHC (déficit hídrico constante) e DOTI (déficit hídrico otimizado por etapas). Para ambas as metodologias, foram aplicadas 4 lâminas de irrigação, equivalendo-se à 0,9; 0,8; 0,7; 0,6 da evapotranspiração da cultura (ET_c), além das parcelas sem irrigação (testemunha) e com 100% da ET_c. O turno de rega foi preestabelecido em 2 dias, o que é convencionalmente utilizado pelos produtores da cultura e que utilizam o sistema de irrigação por gotejamento.

Com base no processo de calibração e validação do cultivo da cenoura, por meio do modelo MOPECO (CARVALHO et al., 2014), foram obtidas as diferentes relações ET_a/ET_m nas diferentes fases fenológicas da cultura e também as estratégias de cultivo para cada época de plantio. A partir desses valores encontrados foram realizados os cálculos das lâminas de irrigação a serem aplicados. Para o plantio em junho, as relações obtidas pela metodologia DOTI foram de 0,95; 0,63; 0,50 e 0,50 (déficit previsto de 0,6), 1,0; 0,96; 0,56 e 0,50 (déficit previsto de 0,7), 1,0; 1,0; 0,78 e 0,50 (déficit previsto de 0,8), 1,0; 1,0; 0,98 e 0,59 (déficit previsto de 0,9). Para o plantio em agosto, as relações obtidas foram de 0,95; 0,61; 0,50 e 0,50 (déficit previsto de 0,6), 1,0; 0,94; 0,54 e 0,50 (déficit previsto de 0,7), 1,0; 1,0; 0,77 e 0,50 (déficit previsto de 0,8) e 1,0; 1,0; 0,98 e 0,58 (déficit previsto de 0,9). Essas diferentes estratégias de manejo foram confrontadas com a metodologia de déficit hídrico constante (DHC).

Foi realizado o sorteio dos tratamentos dentro da área, de forma que os canteiros laterais fossem utilizados como bordaduras (Figura 2).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})}{n\bar{q}} \right) \quad (4)$$

em que:

\bar{q} = vazão média dos gotejadores da linha de irrigação;

q_i =vazão do gotejador; e

n = número de gotejadores na linha.



Figura 3 - Coletores na área para determinação do CUC.

A uniformidade obtida foi de, aproximadamente, 82 % que para o sistema utilizado é um valor adequado (MERRIAN & KELLER, 1978). A intensidade de aplicação média dos aspersores foi de 9,18 mm.h⁻¹. O sistema de aspersão foi utilizado até 21 DAP (dia após plantio), coincidindo com a duração do primeiro estágio de desenvolvimento da cenoura.

O teste feito para avaliar a eficiência do sistema de gotejamento foi o que obteve o valor do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (FRIZONNE et al., 2012).

$$CUD = 100 \times \frac{q_{25}}{\bar{q}} \quad (5)$$

em que:

q_{25} - Média do menor quartil; e

\bar{q} - Média de vazão de todos emissores do sistema.

O CUD encontrado foi de 91% irrigando quatro faixas por vez, sendo a intensidade de aplicação de, aproximadamente, 9,38 mm.h⁻¹. No início de cada canteiro foi instalado uma válvula, possibilitando que a irrigação fosse efetuada nos 4 canteiros durante o tempo de irrigação calculado para cada tratamento.

3.5.3. Lâmina aplicada

Diariamente após a coleta dos dados na estação meteorológica, estimava-se a evapotranspiração de referência (ET_o) pela equação de Penman-Monteith FAO56 (ALLEN et al., 1998). Com o valor da ET_o se realizava a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c) pela seguinte equação:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (6)$$

em que:

ET_c - evapotranspiração da cultura;

K_c - Coeficiente de cultivo da cenoura; e,

ET_o - Evapotranspiração de referência

Os valores de K_c utilizados foram encontrados por Oliveira Neto (2013) e os mesmo utilizados para gerar as estratégias propostas pela calibração e validação do modelo de manejo realizado no MOPECO (CARVALHO et al., 2014). Os valores de K_c variaram de acordo com a fase fenológica da cultura da cenoura, sendo 0,7 para o primeiro estágio, de 0,7 - 1,0 no segundo estágio, de 1,0 no terceiro estágio e de 1,0-0,94 na fase final de desenvolvimento. A duração de cada etapa foi determinada pelo acúmulo de Graus-Dias. Essa proposta teve como objetivo o maior rendimento do cultivo em relação a lâmina de irrigação aplicada.

Por ser um sistema de irrigação localizado, o coeficiente de localização (k_l) foi considerado, sendo baseado na cobertura vegetal do solo e sombreamento. Os valores seguiram basicamente o desenvolvimento da cultura, sendo alterados juntos com as mudanças de fase fenológica. Para o cálculo da evapotranspiração da cultura com irrigação localizada (ET_{cl}) foi utilizado a seguinte equação:

$$ET_{cl} = K_l \times ET_c \quad (7)$$

em que o K_l representa o coeficiente de localização da cenoura.

Na Tabela 3 são apresentados os valores do k_l utilizados para a cultura da cenoura durante todo o seu ciclo.

Tabela 3 - Coeficiente de localização (kl) para a cultura da cenoura

Fase	DAP*	Valor de kl
Inicial	Plantio a 20 DAP	1,0
Desenvolvimento	21-50 DAP	0,6
Intermediário	51-80 DAP	0,8
Final	81-96 DAP	1,0

*Dias após plantio

Com o valor da ET_{cl} foi calculada, para cada tratamento, a lâmina correspondente, seguindo os critérios da metodologia de aplicação e da relação ET_a/ET_m estabelecida. Cada valor de lâmina gerado foi confrontado com o valor da vazão do sistema, permitindo calcular um tempo de duração para cada evento de irrigação.

3.6. Graus-dias

Os dados de temperaturas mínima e máxima foram utilizados no cálculo da soma térmica diária, adotando para isso, temperatura base inferior de $T_b = 6\text{ °C}$ (limiar térmico inferior de desenvolvimento, em °C) e a temperatura base superior foi $T_B = 30\text{ °C}$ (temperatura limite superior em que a taxa de desenvolvimento começa a diminuir, em °C) (CARVALHO et al., 2014). O método utilizado para o cálculo foi o da triangulação dupla, proposto por Sevacherian (1977).

Para a definição das fases fenológicas do desenvolvimento da cenoura, foram utilizados os dados apresentados por Carvalho et al. (2014), que após avaliar o comportamento de 6 diferentes cultivos de cenoura em diferentes localidades obtiveram os seguintes valores de soma térmica ou graus-dias acumulados para as 4 etapas do ciclo da cultura: 322,67 °C; 472,63 °C; 504,48 °C e 280,24 °C.

3.7. Colheita e variáveis de produção

A colheita foi realizada no dia 8 de novembro em 2013 e no dia 11 de setembro no ano de 2014, o ponto de colheita foi baseado no acúmulo de graus dias e nas características observadas em campo, o amarelecimento e senescência das folhas mais velhas e o arqueamento para baixo das folhas mais novas, indicando o ponto de colheita (Figura 4).



Figura 4. Cultivo de cenoura do ano de 2013 antes de realizar a colheita.

Neste estudo foram avaliadas a produtividade total e a produtividade de comercial das raízes de cenoura. As massas frescas da parte aérea e raiz de 14 plantas apresentando características visuais medianas às demais da própria parcela das plantas foram determinadas utilizando uma balança com 0,01g de precisão. Em seguida, as raízes foram lavadas e classificadas em cinco classes comerciais: 10 (> 10 < 14 cm), 14 (> 14 < 18 cm), 18 (> 18 < 22 cm), 22 (> 22 < 26 cm) e 26 (> 26 cm); e uma não comercial (≤ 10 cm e/ou com defeito) (HortiBrasil, 2002) (Figura 5).



Figura 5. Processo de avaliação das características produtivas da cenoura para o ano de 2013 e 2014, pós-colheita. A) Medidas de comprimento; B) Diâmetro interno; C) Massa da raiz em balança de precisão; D) Diâmetro superior e avaliação de danos.

A classificação apresentada foi proposta pelo Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens da Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo – CEAGESP (1999). Os dados relativos aos experimentos foram submetidos à análise de variância (Anova). Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do aplicativo Excel (2007) e do programa estatístico SISVAR versão 4.6 (FERREIRA, 2003).

3.8. Eficiência do uso da água

A eficiência no uso da água para cultura da cenoura foi obtida utilizando a seguintes metodologia:

$$EUA = \frac{\left[\frac{P}{I + Pe} \right]}{10} \quad (8)$$

em que:

EUA - eficiência do uso da água (kg m^{-3});

P - Produtividade da cultura com base na massa fresca de raízes, em kg ha^{-1} ;

I - Lâmina aplicada pela irrigação, em mm; e

Pe - precipitação efetiva, em mm.

O cálculo de quanto de água disponibilizada pela precipitação ficou disponível para planta (Precipitação Efetiva) nos dois anos de cultivo, foi realizado por uma das planilhas do modelo MOPECO, que possui funções matemáticas que levam em conta características do solo e profundidade radicular.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização Climática

As Tabelas 4 e 5 apresentam os valores médios de alguns parâmetros obtidos nas estações meteorológicas instaladas próximas a área de cultivo no ano de 2013 e 2014. Os valores foram organizados a cada 10 dias e apresentam as temperaturas máximas, mínimas, médias, e a umidade relativa do ar. Os dados coletados foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) e para o manejo de irrigação nos dois anos de ensaio experimental.

Tabela 4 - Dados médios de temperatura máxima (T_{máx}), mínima (T_{mim}) e média (T_{méd}) e de umidade relativa (UR) para os períodos de cultivo em 2013, na região de Seropédica – RJ medidas pela estação automática do SIPA e do INMET

Mês	Período	T _{máx} (°C)	T _{mín} (°C)	T _{méd} (°C)	UR (%)
Agosto	07-16/08	32,7	14,4	19,8	66,9
	17-26/08	34,2	15,4	20,6	66,7
Ago. - Set	27/08-05/09	34,3	13,9	19,3	68,9
Setembro	06-15/09	36,0	15,4	21,8	61,9
	16-25/09	36,3	18,4	23,1	66,8
Set - Out	26/09-05/10	32,0	16,5	20,4	70,2
Outubro	06-15/10	33,0	14,8	20,0	65,6
	16-25/10	38,6	18,6	23,1	71,5
Out - Nov.	26/10-05/11	33,9	17,2	21,5	66,6
Média	07/08 a 05/11	34,55	16,06	21,06	67,22

Tabela 5 - Dados médios de temperatura máxima (T_{máx}), mínima (T_{mim}) e média (T_{méd}) e de umidade relativa (UR) para os períodos de cultivo em 2014, na região de Seropédica – RJ medidas pela estação automática do SIPA e do INMET

Mês	Período	T Max °C	T méd °C	T min °C	UR min
Junho	13 - 22/06	26,88	21,94	17,00	56,60
Jun. - Jul.	23/06 - 02/07	29,90	23,60	17,31	48,80
Julho	3 - 12/07	25,46	21,12	16,79	60,00
Julho	13 - 22/07	27,05	21,34	15,63	47,60
Jun. - Ago.	23/07 - 01/08	26,38	21,08	15,78	52,80
Agosto	02 - 11/08	26,29	20,61	14,93	49,80
Agosto	12 - 21/08	28,22	22,34	16,47	48,30
Agosto	22 - 31/08	27,93	22,51	17,09	50,90
Setembro	01/09 - 05/09	27,14	21,28	15,42	42,40
Média	13/06 - 05/09	27,30	21,80	16,20	49,70

O cultivo de 2013 foi realizado em um período considerado como tardio ou de verão, portanto, apresentou valores de temperaturas e umidade relativa mais elevados, proporcionando assim maiores valores de ET_o. Esse tipo de estratégia não é muito utilizado

pelos produtores de cenoura, porque a cenoura tem maior alongamento e melhor coloração em temperaturas entre 10 e 15 °C, existem variedades que tem bom desenvolvimento entre 18 e 25 °C, entretanto temperaturas acima de 30 graus reduzem o crescimento vegetativo da cultura (EMBRAPA, 2014). O ensaio realizado no ano de 2014 foi realizado no período considerado adequado para cultura, sendo os valores de temperatura e umidade menores que os encontrados no ano anterior.

No ano de 2013 as temperaturas foram um pouco acima da faixa ideal para o desenvolvimento da cultura, fator que está ligado diretamente à duração de fases e o crescimento vegetativo da cultura.

O desenvolvimento da cultura está associado diretamente aos valores das temperaturas, pois estes afetam a duração dos estágios de desenvolvimento da mesma. As médias de temperatura do ano de 2014 ficaram dentro da faixa ideal para o desenvolvimento da cenoura (18 a 25°C), propiciando uma influência positiva sobre o rendimento do cultivo do ano em questão.

Os valores de ETo dos dois anos foram claramente distintos, devido as diferentes temperaturas e umidades registradas nas diferentes épocas de cultivo. O ano de 2013 apresentou maiores valores e conseqüentemente maior consumo hídrico pela cultura, necessitando assim de um maior suporte do sistema de irrigação. O mês de setembro no ano de 2013 apresentou maior valor de ETo (112,61 mm), coincidindo com a fase de crescimento vegetativo da cultura, que diante das altas taxa de evapotranspiração e temperatura proporcionou maior estresse à cultura e gerou um efeito negativo no rendimento se comparado com a mesma fase fenológica do ano de 2014. A Figura 6 apresenta os valores ETo observados no ano de 2013 e 2014. Em 2013 (Figura 6a) o mês de novembro está representado somente até o dia 05, quando ocorreu a colheita.

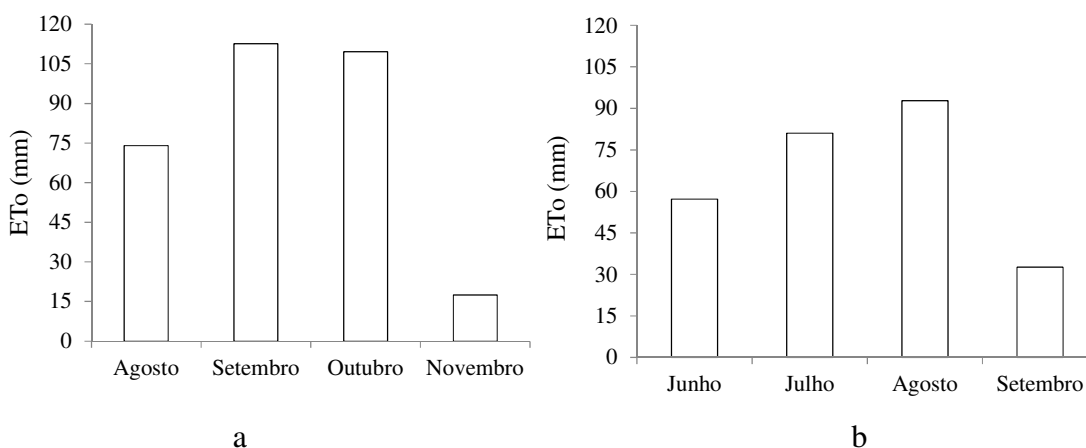


Figura 6 - Evapotranspiração de referência (ETo) mensal durante o período de cultivo da cenoura em 2013 (a) e 2014 (b), na região de Seropédica – RJ.

No ano de 2014 os valores de evapotranspiração foram menores e o mês que apresentou maior ETo foi agosto (93 mm). Nesse ano, as temperaturas médias e umidade do ar foram mais propícias para a cultura da cenoura, pois os valores de ETo acompanharam melhor o desenvolvimento da cultura, permitindo assim um maior efeito das estratégias de

irrigação deficitária. Para o ano de 2014 (Figura 6b) o mês de setembro foi registrado apenas até o dia 11, no qual se procedeu a colheita.

A precipitação foi um fator importante nas tomadas de decisões a respeito do manejo da irrigação, sendo que uma alta concentração desse fator durante determinados períodos afeta diretamente as estratégias a serem implementadas, pois como a otimização é baseada no estresse a ser aplicado em cada etapa fenológica, qualquer período de chuva mais prolongado que ocorra justamente sobre a etapa em que a cultura seria submetida a um maior estresse, gera uma alteração nos efeitos finais desejados. Durante o primeiro ensaio de campo, em 2013, a precipitação acumulada foi de 147,3 mm (Figura 7). As chuvas nesse ano se concentraram basicamente em dois períodos, uma pequena porção no início do cultivo, entre 02 a 05 de setembro e um longo período de chuva na parte final do experimento entre 23 de setembro e 20 de outubro, sendo que durante esse período apenas 6 dias não registraram valores consideráveis de precipitação. No mês de outubro registraram-se algumas precipitações mais elevadas, com valor máximo próximo a 35 mm.

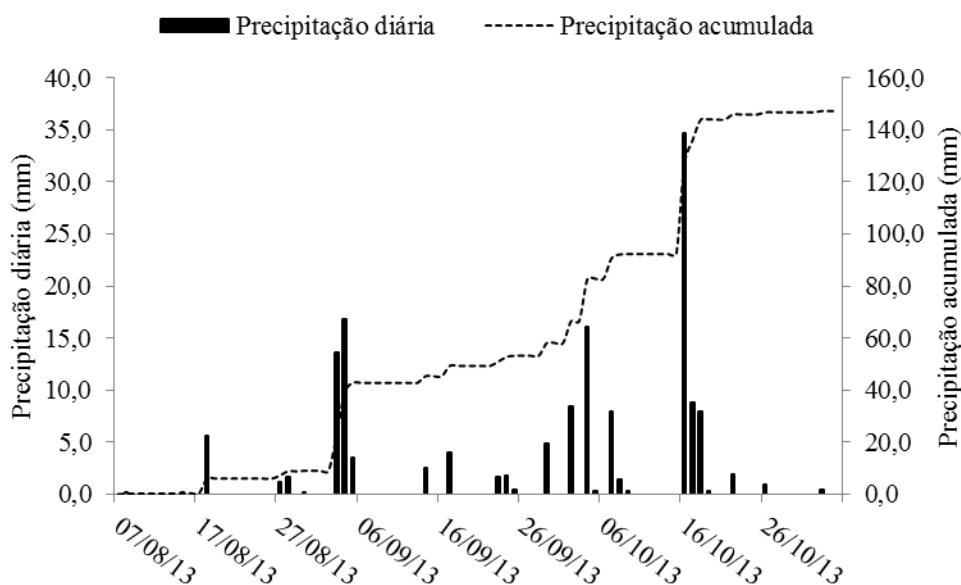


Figura 7 - Lâmina precipitada e lamina precipitada acumulada durante o experimento de 2013 na região de Seropédica -RJ medidas pela estação automática do INMET.

O ano de 2014 apresentou valores de precipitação de menor magnitude e mais distribuídas ao longo do ciclo da cultura se comparado ao ano anterior (Figura 8). O valor de precipitação total acumulado durante o período de cultivo foi de 109,8 mm.

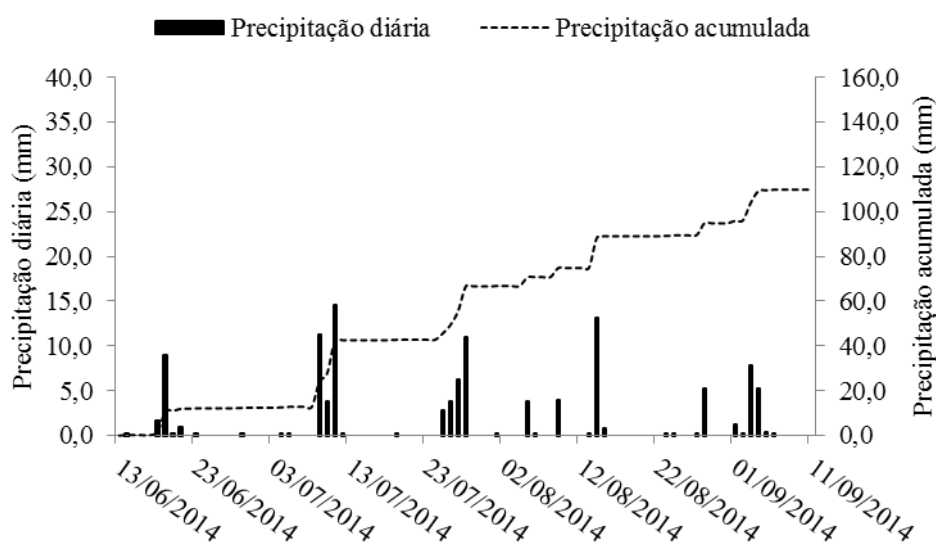


Figura 8 - Lâmina precipitada e lamina precipitada acumulada durante o experimento de 2014 na região de Seropédica -RJ medidas pela estação automática do INMET.

O maior valor diário observado nesse ano foi de 14,7 mm, sendo esse quase a metade do máximo encontrado no ano de 2013, não apresentando assim nenhum evento de maior amplitude que pudesse causar a saturação do solo a longo prazo, o que causaria efeitos negativos nos tratamentos.

Para os dois anos de cultivo a metodologia de acompanhamento das fases fenológicas por meio do uso de graus foi eficaz, pois além de identificar corretamente as mudanças de fase fenológica, e assim as mudanças de estratégias de estresse hídrico, permitiu um melhor planejamento das atividades e tratos culturais ao longo dos ensaios. A duração do ciclo dos cultivos dos anos 2013 e 2014 foram 93 e 91 dias respectivamente, sendo que o acúmulo térmico do ano de 2014 foi menor, porém ficou de acordo com o que foi calibrado e validado por CARVALHO et al. (2014). As Tabelas 6 e 7 apresentam a separação de cada fase fenológica de acordo com seu acúmulo térmico correspondente, além do somatório total acumulado nos dois anos de cultivo.

Tabela 6 - Caracterização das fases de desenvolvimento da cenoura para os cultivos de 2013

Fases	Datas		Duração (Dias)	Graus dias acumulados
	Início	Fim		
Inicial	07/08/2013	28/08/2013	21	344,85
Crescimento rápido	29/08/2013	24/09/2013	27	479,57
Intermediário	25/09/2013	25/10/2013	31	526,03
Final	26/10/2013	08/11/2013	14	230,18
TOTAL			93	1580,63

Tabela 7 - Caracterização das fases de desenvolvimento da cenoura para os cultivos de 2014

Fases	Datas		Duração (Dias)	Graus dias acumulados
	Início	Fim		
Inicial	13/06/2014	01/07/2014	19	315,43
Crescimento rápido	02/07/2014	02/08/2014	32	487,30
Intermediário	03/08/2014	01/09/2014	30	475,31
Final	02/09/2014	11/09/2014	10	171,40
TOTAL			91	1449,44

4.2. Manejo de Irrigação

O manejo da irrigação para os anos de 2013 e 2014 foi realizado com base nos valores de evapotranspiração diários e nos valores de coeficientes de cultivo de cada estágio de desenvolvimento da cultura. Na Tabela 8 e 9 são apresentados os valores de precipitação, ET_o , ET_c e ET_{cLoc} para cada fase de cultivo durante o experimento realizado nos anos de 2013 e 2014. A ET_o total obtida durante o ciclo de 2013 foi de 313,7 mm e para se obter os valores de ET_c e ET_{cLoc} utilizou os coeficientes K_c e K_l , que variaram de acordo com a fase fenológica e foram obtidos por Oliveira Neto (2013), em cultivos realizados na mesma área experimental e com a mesma variedade de cenoura, nos anos de 2010 e 2011. Os valores de ET_c e ET_{cLoc} são os mesmos na fase inicial devido ao uso do sistema de irrigação por aspersão, iniciando, a partir da segunda fase, a aplicação dos tratamentos (lâmina diferenciada) pelo sistema por gotejamento.

Tabela 8 - Precipitação, Evapotranspiração de Referencia (ET_o), Evapotranspiração do cultivo (ET_c) e Evapotranspiração do cultivo localizada em cada fase de desenvolvimento da cultura da cenoura no ciclo de 2013.

Fases	Chuvas	ET_o	ET_c	ET_{cL}
	Total (mm)			
Inicial	8,80	63,27	44,46	44,46
Crescimento rápido	44,0	102,27	90,81	56,43
Intermediária	93,19	112,67	112,67	98,49
Final	1,40	35,45	34,42	34,42
TOTAL	147,30	313,67	282,36	233,80

Tabela 9 - Precipitação, Evapotranspiração de Referência (ET_o), Evapotranspiração do cultivo (ET_c) e Evapotranspiração do cultivo localizada em cada fase de desenvolvimento da cultura da cenoura no ciclo de 2014.

Fases	Chuvas	ET _o	ET _c	ET _c Loc
	Total (mm)			
Inicial	12,4	59,68	41,77	41,77
Crescimento rápido	54,4	85,03	74,23	48,83
Intermediária	29,2	89,76	89,71	79,03
Final	13,8	29,14	28,29	28,29
TOTAL	109,8	263,61	234,0	197,92

Para o ano de 2014 o valor acumulado da evapotranspiração foi de 263,61 mm, menor que o valor observado no ano anterior, também se nota que durante o ciclo produtivo desse ano a fase intermediária de desenvolvimento, na qual se aplica os maiores déficits hídricos, foi a que teve menores valores de precipitação e um elevado valor de evapotranspiração, favorecendo o efeito dos tratamentos.

As lâminas de irrigação aplicadas no ano de 2013 em cada tratamento e para as duas distintas metodologias de déficit, estão apresentadas na Tabela 10. A lâmina aplicada por aspersão convencional totalizou 54,0 mm e foi aplicada a todos os tratamentos durante a fase inicial para aclimação da cultura da cenoura em campo. Para o tratamento sem irrigação é considerado apenas a irrigação por aspersão e a precipitação (147,3 mm), totalizando uma lâmina de 201,37 mm. Os outros valores correspondem às lâminas aplicadas pelo sistema de gotejamento nos tratamentos DHC e DOTI.

Tabela 10 - Lâminas de irrigação total aplicada nos tratamentos no cultivo de 2013

Metodologia	Tratamentos					S/Irrigação
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	
DHC	139,4	125,4	111,5	97,6	83,6	0,00
DOTI	139,4	121,0	108,4	94,2	75,3	0,00
Total DHC	340,7	326,8	312,9	298,9	285,0	201,4 ¹
Total DOTI	340,7	322,4	309,8	295,6	276,7	201,4 ¹

1 - Dados da soma da precipitação total e lâmina aplicada por aspersão na fase inicial.

Com o acompanhamento climático, foi possível tomar decisões sobre quando realizar ou não as irrigações. O período de 25 de setembro a 7 de outubro é um exemplo dessa tomada de decisão. Nesse período, não foi aplicada nenhuma lâmina de irrigação tendo em vista a ocorrência de chuvas. As lâminas médias aplicadas nesse ano de cultivo foram de 7,74; 6,97; 6,19; 5,42 e 4,65 mm e de 7,74; 6,72; 6,02; 5,23 e 4,19 mm, respectivamente, para os tratamentos DHC e DOTI (relações ET_a/ET_m: 1,0;0,9;0,80;0,7;0,6).

Os valores das lâminas aplicadas durante o ensaio de campo no ano de 2014 estão apresentados na Tabela 11 para as duas metodologias avaliadas. Seguindo o mesmo padrão observado em 2013, para o estabelecimento da cultura foi aplicada uma lâmina de irrigação por aspersão de 43,6 mm, em todos os tratamentos. Para o tratamento sem irrigação foi

considerada como lâmina aplicada apenas a irrigação por aspersão e a precipitação (109,8 mm). A lâmina total aplicada foi calculada levando em consideração a eficiência dos dois métodos de irrigação utilizados (aspersão e gotejamento), sendo a lâmina real aplicada ao cultivo um pouco superior à necessidade líquida da cultura. Para o ano de 2013, foi aplicado um valor 17% maior que a referência evapotranspirométrica (ET_c (cenoura)), e em 2014 o valor aplicado foi 14% superior a ET_c (cenoura). No ensaio de campo de 2014 foram realizadas 31 irrigações, sendo os valores médios para cada evento de irrigação de 5,2; 4,9; 4,5; 3,8 e 3,4 mm e 5,2; 4,8; 4,4; 4,0 e 3,6 mm, respectivamente para os tratamentos DHC e DOTI (relações ET_a/ET_m : 1,0;0,9;0,80;0,7;0,6). Os valores de lâmina para os dois anos de cultivo diferenciaram-se em aproximadamente 21% devido às características climáticas do período de cultivo.

Tabela 11 - Lâminas de irrigação total aplicada nos tratamentos no cultivo de 2014

Metodologia	Tratamentos					
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	S/Irrigação
DHC	118,05	106,25	94,44	82,64	70,83	0,00
DOTI	118,05	110,29	94,35	77,14	62,91	0,00
Total DHC	271,47	259,67	247,86	236,06	224,25	153,42
Total DOTI	271,47	263,71	247,77	230,56	216,33	153,42

4.3. Produtividade total e produtividade comercial das raízes de cenoura

As produtividades total e comercial de raízes de cenoura, no cultivo realizado no ano de 2013 (Tabelas 12 e 13) apresentam diferença significativa entre as relações ET_a/ET_m estabelecidas, porém não foi detectada diferença estatística significativa entre as duas metodologias de aplicação de déficit hídrico para os rendimentos totais.

Para os rendimentos comerciais, no entanto, foram observadas diferenças significativas entre as metodologias, justificando a otimização do uso da água seguindo as necessidades hídricas reais de cada fase de crescimento do cultivo (Tabela 13).

Para o ano de 2013, as maiores produtividades totais ($67,01 \text{ t ha}^{-1}$) e comerciais ($60,43 \text{ t ha}^{-1}$) foram obtidas pelos tratamentos controle ($ET_a/ET_m = 1,0$). Porém em ambas as metodologias não ocorreram diferença significativa entre o controle e os tratamentos que receberam 90% da lâmina máxima necessária no caso da produtividade total. Essa constatação é importante para reforçar que pode ser realizado um manejo de irrigação que economize água sem afetar a produtividade da cultura da cenoura. Nagaz et al. (2012) relatam que a produtividade da cenoura decresceu com valores de lâmina de água correspondentes à faixa de 80-60% da ET_a . Esses valores encontrados também são corroborados por Oliveira Neto (2013) e Gomes et al. (2012) que encontraram produtividade máxima da cenoura de aproximadamente 62 t ha^{-1} e $75,90 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. Em contrapartida, Lopes et al. (2008) encontraram a produtividade de 39 t ha^{-1} , valor semelhante à produtividade média dos tratamentos correspondentes à ET_a/ET_m de 0,6.

Tabela 12 - Produtividade total de raízes de cenoura ($t\ ha^{-1}$) no ano de 2013 sob diferentes lâminas de irrigação e metodologias de aplicação de déficit hídrico (DHC e DOTI)

Tratamentos	DHC		DOTI	
	Lâmina (mm)	Produtividade ($t\ ha^{-1}$)	Lâmina (Mm)	Produtividade ($t\ ha^{-1}$)
S/ Irrigação	201,4	29,28 g	201,4	29,15 g
0,6	285,0	39,68 ef	276,7	37,92 fg
0,7	298,9	47,62 cde	295,6	46,92 def
0,8	312,9	56,48 bc	309,8	55,84 bcd
0,9	326,8	63,17 ab	322,4	62,35 ab
1,0	340,7	67,01 a	340,7	66,57 a
CV%		10,68		11,47

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Tabela 13 - Produtividade comercial de raízes de cenoura ($t\ ha^{-1}$) no ano de 2013 sob diferentes lâminas de irrigação e metodologias de aplicação de déficit hídrico (DHC e DOTI)

Tratamentos	DHC		DOTI	
	Lâmina (mm)	Produtividade ($t\ ha^{-1}$)	Lâmina (mm)	Produtividade ($t\ ha^{-1}$)
S/Irrigação	201,4	14,38 g	201,4	11,45 g
0,6	285,0	19,84 f	276,7	28,44e
0,7	298,9	28,91e	295,6	37,28d
0,8	312,9	37,32 d	309,8	45,37c
0,9	326,8	43,43cd	322,4	51,77 b
1,0	340,7	60,43 a	340,7	60,03 a
CV%			6,286	

Médias seguidas de mesma letra em ambas colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 10% de probabilidade pelo teste de Duncan.

As produtividades totais e comerciais foram afetadas de maneira diferente de acordo com a metodologia de déficit aplicada. Sendo que para a produtividade total não foi observado diferença significativa entre as metodologias, além de apresentar valores numericamente maiores na aplicação de déficit constante (DHC), apontando uma possível ineficiência da proposta de otimização do uso da água. Entretanto, ao analisar os resultados da produtividade comercial das raízes de cenoura, nota-se que para a metodologia DOTI a qualidade final do produto foi superior quando comparada à metodologia DHC, sendo que quanto menores as relações ETa/ETm , mais evidente são as diferenças entre as duas metodologias. As diferenças de produtividade obtidas entre as metodologias DOTI e DHC alcançaram 44%, 29% e 19%, respectivamente, para os tratamentos 0,6; 0,8 e 0,9 (ETa/ETm). Valores semelhantes foram encontrados para os cultivos de alho e de milho realizados na cidade de Albacete na Espanha, nos quais também foram comparadas metodologias semelhantes de aplicação de déficit hídrico durante o ciclo produtivo (DOMÍNGUEZ et al., 2012; DOMÍNGUEZ et al., 2013).

Diversos estudos relataram um aumento significativo no rendimento das colheitas, quando se realiza um manejo adequado da irrigação (MALASH et al., 2005; JALOTA et al., 2006; ALI et al., 2007; NAGAZ et al., 2008). As variações nos valores de produtividade encontrados pelos diversos autores para cultivar Brasília são causadas pela diferenciação das características climáticas de cada região de cultivo, pelo potencial genético da mesma e pela disponibilidade hídrica do solo. A produtividade média obtida nas áreas de maior produção do Brasil é de 56,1 t ha⁻¹ (CEPEA, 2014), valor esse inferior às médias encontradas.

Em 2014, foi observado o mesmo comportamento encontrado para as produtividades totais e comerciais de raízes no ensaio do ano anterior, confirmando o efeito benéfico das otimizações sobre o rendimento do cultivo. Em relação à produtividade total das raízes de cenoura do cultivo no ano de 2014 (Tabela 14), nota-se um acréscimo na produtividade em todos os tratamentos se comparados ao ano de 2013, além de um consumo menor de água. Esse fator pode ser explicado pelo maior desenvolvimento da cenoura em temperaturas mais amenas, como encontrado por Carvalho et al. (2014) para a mesma cultivar e na mesma região onde foram realizados os ensaios. As metodologias não apresentaram nenhuma diferença significativa, como ocorreu em 2013, apenas a diferença entre as relações ETa/ETm apresentaram diferenças estatísticas significativas.

Tabela 14 - Produtividade total de raízes de cenoura (t ha⁻¹) no ano de 2014 sob diferentes lâminas de irrigação nos dois métodos de aplicação de déficit hídrico (DHC e DOTI)

Tratamento	DHC		DOTI	
	Lâmina (mm)	Produtividade (t ha ⁻¹)	Lâmina (mm)	Produtividade (t ha ⁻¹)
S/Irrigação	153,42	39,10 f	153,42	38,84 f
0,6	224,25	55,53 de	216,33	53,36 e
0,7	236,25	63,00c	230,33	62,87cd
0,8	247,86	68,20bc	247,77	68,48bc
0,9	259,67	71,77ab	263,71	73,28ab
1,0	271,47	77,35a	271,47	77,16a
CV%		14,43		11,30

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan

Semelhante ao que foi obtido em 2013, o déficit otimizado proporcionou maiores produtividades comerciais em 2014 (Tabela 15). Uma maior porcentagem das raízes se enquadrou dentro do padrão de qualidade esperado pelo mercado, proporcionando maior rentabilidade do cultivo. Em 2014 a maior diferença entre as metodologias foi encontrada entre a relação ETa/ETm 0,6, que foi equivalente a praticamente 51% de acréscimo na produtividade comercial entre as metodologias DOTI em relação a da DHC.

Resende et al. (2005) encontraram valores de produtividade de raízes de cenoura de 112,6 e 99 t ha⁻¹, superiores aos que foram obtidos nos cultivos dos anos de 2014 e 2013. Porém para o mesmo período de cultivo, Luz et al. (2009) encontraram para a mesma variedade estudada uma produtividade de 35,5 t ha⁻¹. Essas diferenças são proporcionadas pelas diferenças climáticas e nutricionais de cada região de estudo, além da disponibilidade hídrica por precipitação e da aplicação adequada de água por meio de sistemas de irrigação. O

valor encontrado para ambos os anos de estudos se encontram em uma faixa intermediária aos encontrados na literatura.

Tabela 15 - Produtividade comercial de raízes de cenoura ($t\ ha^{-1}$) no ano de 2014 sob diferentes lâminas de irrigação nos dois métodos de aplicação de déficit hídrico (DHC e DOTI)

Tratamento	DHC		DOTI	
	Lâmina (mm)	Produtividade ($t\ ha^{-1}$)	Lâmina (mm)	Produtividade ($t\ ha^{-1}$)
S/Irrigação	153,42	15,26 h	153,42	19,01 h
0,6	224,25	29,66 g	216,33	44,77ef
0,7	236,25	41,68 f	230,33	52,77cde
0,8	247,86	47,50 def	247,77	60,99bc
0,9	259,67	55,53 cd	263,71	66,98 ab
1,0	271,47	73,29 a	271,47	74,43 a
CV%		14,43		11,30

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan

Os resultados relativos aos efeitos das lâminas aplicadas sob diferentes manejos de irrigação para os dois anos de cultivo (2013 e 2014) na produtividade total e na produtividade comercial encontram-se representados pelos modelos acompanhados dos respectivos coeficientes de determinação, demonstrando um ajuste satisfatório tanto para o modelo polinomial quadrático aos dados obtidos nos dois ensaios e para as duas metodologias de déficit (Tabela 16).

Tabela 16 - Funções de resposta da cultura da cenoura submetida a diferentes lâminas de irrigação e metodologias de aplicação de déficit hídrico

Metodologia	Ano	Produtividade	R ²	Funções de resposta
DOTI	2013	Total	0,999	$y = -0,0028x^2 + 2,2024x - 356,91$
		Comercial	0,998	$y = -0,0004x^2 + 0,7208x - 143,96$
DHC	2013	Total	0,997	$y = -0,0038x^2 + 2,8841x - 473,73$
		Comercial	0,982	$y = 0,005x^2 - 2,4552x + 312,63$
DOTI	2014	Total	0,987	$y = 0,0007x^2 + 0,1791x - 24,818$
		Comercial	0,987	$y = -0,0031x^2 + 1,9291x - 217,02$
DHC	2014	Total	0,977	$y = 0,007x^2 - 2,6291x + 267,03$
		Comercial	0,993	$y = -0,0027x^2 + 1,7992x - 210,19$

y - Rendimento da cultura ($t\ há^{-1}$); x - Lamina aplicada (mm)

A maior produtividade total de raízes foi obtida em 2014, com $77,35\ t\ ha^{-1}$ contra $67,01\ t\ ha^{-1}$ em 2013. As curvas de regressão não apresentam um decréscimo com o aumento da lâmina aplicada justamente devido à calibração e validação feitas pelo MOPECO, ou seja, todos os coeficientes e o manejo de irrigação utilizados geraram uma produção otimizada, reduzindo assim os gastos de água durante o ciclo produtivo. Os resultados relativos aos efeitos da lâmina total de irrigação para os dois anos de cultivo na produtividade total e

comercial das raízes (Figura 9) encontram-se representados pelos modelos, demonstrando o ajuste satisfatório do modelo polinomial quadrático aos dados obtidos.

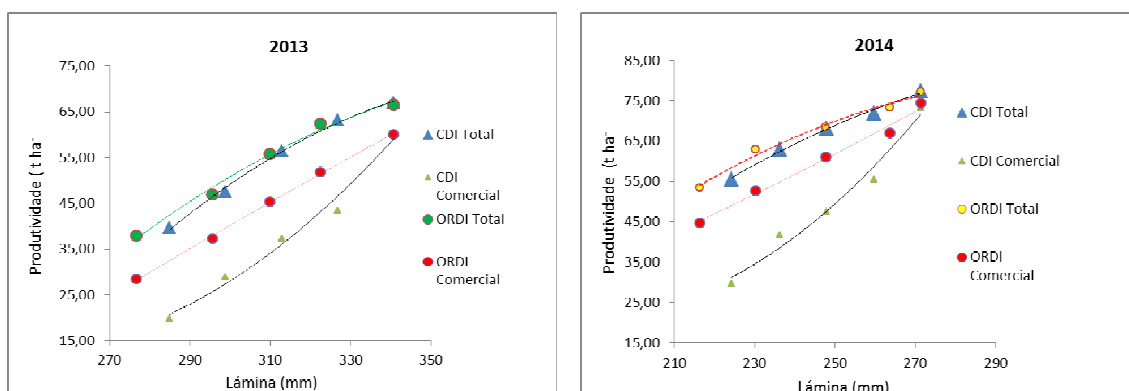


Figura 9- Funções de resposta para a produtividade total e comercial de raízes de cenoura para o cultivo nos anos de 2013 e 2014 submetido as diferentes metodologias DHC e DOTI.

4.4. Análise do manejo de irrigação adotado

Apesar das condições climáticas distintas entre os dois anos de cultivos (2013 e 2014), a metodologia DOTI mostrou ser mais eficiente na utilização da água, aportando um aumento na produtividade comercial e economia de água. Os menores valores de produtividade encontrados no ano de 2013 estão associados às temperaturas superiores e ao maior fotoperíodo durante o ciclo de cultivo, fatores que são prejudiciais para a cultura da cenoura, a qual necessita de temperaturas mais amenas para que não inicie o processo de floração, que é uma etapa de desenvolvimento do cultivo da cenoura, não desejada por produtores que visam rendimento de raízes. Em valores absolutos, a metodologia DOTI apresentou valores inferiores quando comparada à DHC. A maior diferença de rendimento foi apresentada no manejo com a ETa/ETm de 0,6 no ano de 2014, com diferença de 43% de rendimento comercial entre DHC e DOTI. Esse resultado corrobora com os encontrados por Domínguez et al. (2012b) para milho e por Leite et al. (2014) no melão, quando foram encontradas diferenças de 14 e 21%, respectivamente, entre a metodologia DOTI e DHC.

4.5. Eficiência do uso da água

A Tabela 17 apresenta os valores de eficiência do uso da água (EUA) estimados para as diferentes metodologias e manejo de irrigação adotados no ano de 2013. Analisando a produtividade total da cenoura, a maior estimativa para a EUA foi de $19,67 \text{ kg m}^{-3}$, referente ao tratamento que aplicou 100% da demanda evapotranspirométrica da cultura da cenoura, ou seja, sem restrição hídrica, ETa/ETm 1,0 (340,7 mm). Por outro lado, a menor lâmina, referente ao tratamento 0,6 (285 mm) proporcionou EUA de $13,92 \text{ kg m}^{-3}$ e $13,71 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, para DOTI e DHC. Portanto, houve um aumento da ordem de 43% da EUA da menor para a maior lâmina aplicada. Para as duas metodologias avaliadas, a principal diferença nos valores de EUA é expressada a partir da lâmina que proporciona um estresse hídrico superior a 20% da ETc da cenoura. O aumento na EUA foi cerca de 70%, quando se estabeleceu uma comparação entres os valores obtidos entre os tratamentos de maior e menor lâmina de irrigação dentro de cada uma das metodologias.

Como os valores de produtividade comercial foram significativamente diferentes aos de produtividade total, alcançando valores numericamente superiores em até aproximadamente 50%, dentro dos mesmos valores de relação ETa/ETm, os valores de EUA foram diretamente afetados. Portanto, também para as EUA calculadas com os valores de produtividade comercial, as duas metodologias obtiveram diferenças em seu efeito final sobre o cultivo, proporcionando um melhor aproveitamento da água e possibilitando um retorno financeiro maior ao produtor ao se utilizar a metodologia DOTI.

Tabela 17. Eficiência do uso da água (EUA) de raízes de cenoura (kg m^{-3}) em 2013, sob diferentes metodologias de aplicação de déficit hídrico

Tratamentos	DHC		DOTI	
	Produtividade Total	Produtividade Comercial	Produtividade Total	Produtividade Comercial
	EUA (kg m^{-3})		EUA (kg m^{-3})	
S/Irrig	14,54 D	7,14 h	14,48 D	5,69 i
0,6	13,92 D	6,96 h	13,71 D	10,28 fg
0,7	15,93 C	9,67 g	15,87 C	12,61 de
0,8	18,05 B	11,93 ef	18,03 B	14,65 c
0,9	19,33 A	13,29 cd	19,34 A	16,06 b
1	19,67 A	17,74 a	19,54 A	17,62 a
CV%	7,90			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula ou minúscula não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Os valores referentes às EUA seguem o mesmo padrão encontrado para os valores de produtividade, ou seja, os valores de EUA gerados pelos valores de produtividade total, não se diferem quando comparada as duas metodologias, entretanto existe uma grande diferença quando se compara as eficiências geradas pelos valores de produtividade comercial. Outro fator importante que se nota é que o valor de EUA decresce de acordo que as relações ETa/ETm são menores.

Essa tendência observada demonstra que o cultivo da cenoura responde de maneira sensível às variações hídricas a que está sujeita, sendo que a partir de 10% de déficit hídrico o cultivo começa a ser afetado, e a partir de 20% já se tem perdas significativas. Santos (2008) encontrou uma eficiência do uso da água de aproximadamente 49 kg.m^{-3} , para uma lâmina de 90% da ETc, o mesmo autor encontrou para uma lâmina de 120% da ETc o menor valor de eficiência do uso da água. Lima Junior et al. (2012) encontraram para a variedade Nantes um valor semelhante ao citado anteriormente, sendo a eficiência encontrada de 48 Kg m^{-3} . Contrastando com esses valores, Nagaz (2012) encontrou para um cultivo realizado na Tunísia, em uma região caracterizada como árida, um valor de $9,7 \text{ kg m}^{-3}$, e que vão de acordo com os valores encontrados por Paradiso et al. (2002) e por Parabhakar et al. (1991). Cada variedade de cenoura é influenciada de maneira diferente de acordo com as características climáticas e de acordo com a disponibilidade hídrica da área onde é cultivada. Sendo assim, torna-se necessário conhecer as necessidades reais do cultivo para cada região em questão, podendo-se aplicar a quantidade exata que o cultivo demanda. Entretanto, em zonas áridas e com pouca água, é clara a necessidade de conhecer cada uma das etapas da cultura e distribuir a água disponível de forma a minimizar o efeito da falta de água, maximizando o rendimento por hectare.

Observa-se na Figura 10 o comportamento da EUA em função da lâmina de irrigação aplicada na cultura da cenoura. Constatou-se que o modelo polinomial crescente foi o mais adequado para expressar a variação deste parâmetro, tanto para as produtividades totais como para as comerciais. Com as respostas obtidas pelos modelos encontrados com os estudos de regressão, estimou-se o maior valor para a EUA, para cada metodologia, obtendo-se uma EUA de 19,96 kg m⁻³ para a maior lâmina de irrigação (340,7mm).

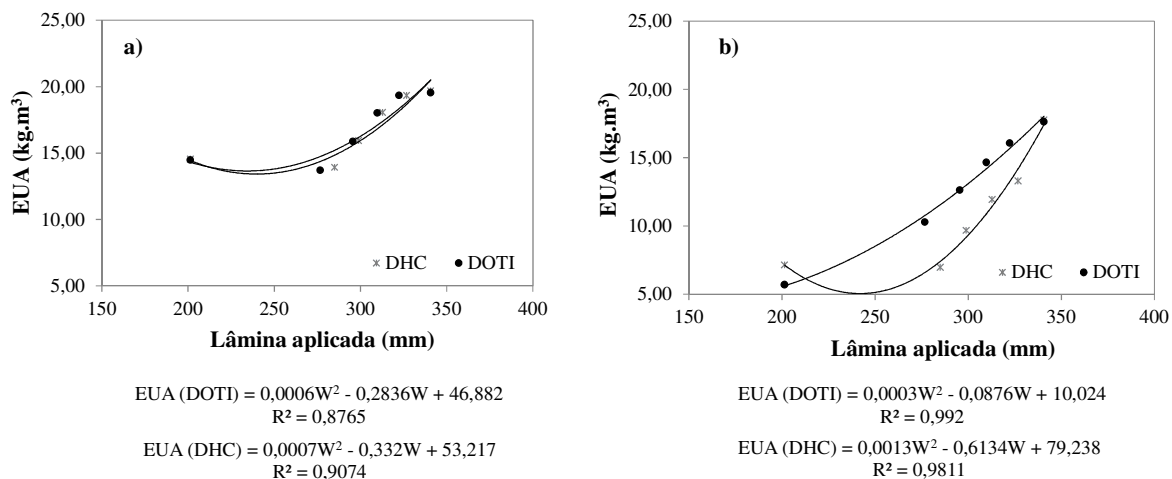


Figura 10 – Eficiência do uso da água (EUA) para o cultivo de 2013, considerando produtividade total (a) e comercial (b) em função da água aplicada.

A EUA para o ano de 2014 mostrou-se superior à obtida em 2013 tanto na produtividade total quanto a referente à produtividade comercial (Tabela 18). Todavia, quanto à diferença da metodologia na produtividade comercial, observou-se maior eficiência do uso da água quando adotado a metodologia de irrigação deficitária controlada por etapas (DOTI).

Tabela 18. Eficiência do uso da água (EUA) de raízes de cenoura (kg m⁻³) em 2014, sob diferentes metodologias de aplicação de déficit hídrico

Tratamentos	DHC		DOTI	
	Produtividade Total	Produtividade Comercial	Produtividade Total	Produtividade Comercial
	EUA (kg m ⁻³)		EUA (kg m ⁻³)	
S/Irrigação	25,49 C	9,95 h	25,32 C	12,39 g
0,6	24,76 C	13,23 g	24,67 C	20,70 de
0,7	26,67 B	17,64 f	27,30 AB	22,91 c
0,8	27,52 A	19,16 e	27,64 A	24,62 b
0,9	27,64 A	21,38d	27,79 A	25,40 b
1	28,49 A	27,00 a	28,42 A	27,42 a
CV%	9,92			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula ou minúscula não diferem entre si estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Oliveira Neto (2012) encontrou valores máximos de eficiência de uso da água de 39,1 kg.m⁻³ para o ano de 2010 e de 26,1 kg m⁻³ para o ano de 2011, utilizando a mesma variedade utilizada nesse trabalho. A semelhança dos resultados é explicada pelo fato de ambos os ensaios serem realizados nas mesmas condições climáticas, no mesmo tipo de solo e com mesmas épocas de cultivo. IMTIYAZ et al. (2000) apresentam valores de no máximo 10,11 kg m⁻³ para a cultura da cenoura, em 2 anos de cultivo realizado em Botswana.

O modelo que melhor representou a EUA para o ano de 2014 foi o polinomial quadrático, para as duas produtividades estudadas (total e comercial) (Figura 11). Observa-se uma EUA crescente com o incremento da lâmina, quando observado o aumento da EUA. Com relação às produtividades comerciais esse aumento é bem mais acentuado, correspondendo a uma EUA estimada pela equação de regressão de 28,4 kg m⁻³ para o tratamento sem déficit hídrico.

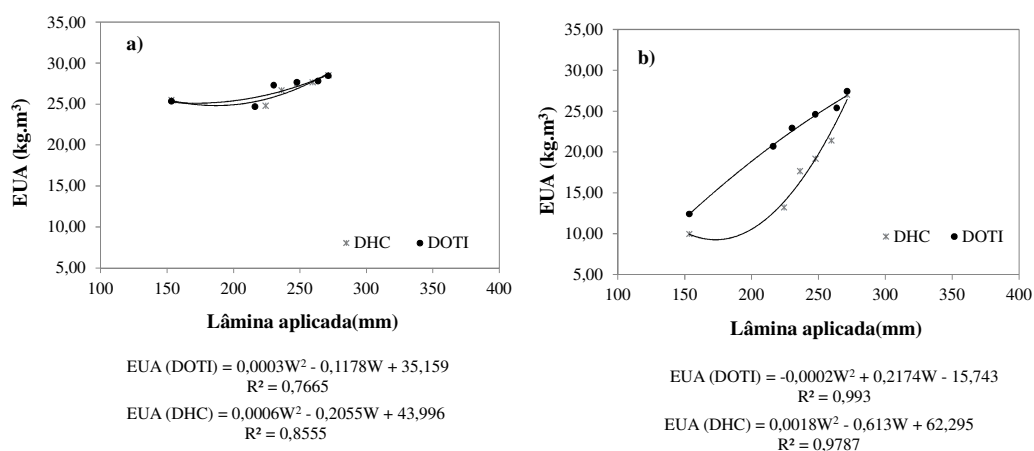


Figura 11 – Eficiência do uso da água (EUA) para o cultivo de 2014, considerando produtividade comercial (a) e comercial (b) por lâmina de água aplica.

O efeito mais acentuado encontrado para a EUA comercial no ano de 2014 é fruto do efeito climático, favorecendo a obtenção de maior produtividade comercial, mesmo utilizando menor quantidade de água. As diferenças entre metodologias também se tornaram mais evidentes, porém obteve-se o mesmo padrão do ano anterior, o que reforça o efeito dos tratamentos a que o cultivo foi submetido.

5. CONCLUSÕES

O MOPECO é uma ferramenta válida para a simulação do cultivo da cenoura e permitiu estabelecer as estratégias de irrigação deficitária otimizada por etapas em condições de campo.

Os tratamentos de irrigação deficitária não melhoraram a eficiência no uso da água no cultivo de cenoura, variedade Brasília. Sendo importante ressaltar que em regiões com disponibilidade hídrica elevada não é interessante economicamente submeter a cultura a estresse hídrico. Entretanto é evidente que em regiões onde a disponibilidade desse recurso seja baixa, a aplicação de estresse utilizando a metodologia que leva em consideração a sensibilidade da etapa de desenvolvimento do cultivo (DOTI) é consideravelmente mais adequada e proporciona melhores produtividades e qualidade comerciais que um déficit hídrico constante em todo o ciclo produtivo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUADO, A., FRÍAS, J., GARCÍA-TEJERO, I., ROMERO, F., MURIEL, J., & CAPOTE, N. Towards the improvement of fruit-quality parameters in citrus under deficit irrigation strategies. *ISRN Agronomy*, 2012. (Article ID 940896, 9 pages).
- ALI M.H., HOQUE M.R., HASSAN A.A., KHAIR M.A., Effects of deficit irrigation on yield, water productivity, and economic return of wheat *Agric. Water Manage.*, 92 (2007), pp. 151–161
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 319p. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56.
- ARAGÃO JÚNIOR, T.C.; CASTRO, P.T. Utilização do balanço hídrico na determinação do coeficiente de cultura (Kc) da cenoura (*Daucus carota*, L). *Ciência Agronômica*, 1983, v.14, n.1/2, p.115-121,
- ARAUJO, M.de T.; PEREIRA, L.S.; SILVA, H.R.; MASCARENHAS, M.H.T. Cultivo da cebola. Brasília: EPAMIG / EMBRAPA / CODEVASF, 1997. Folder.
- ARNOLD, C.Y. The determination and signification of the base temperature in a linear heat unit system. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 1959, 74: 430-445
- ASPIAZÚ, C. Prognóstico de fases em cultivos de raiz dentado, mediante sumas de temperaturas. *Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires*, 19 (1-2): 61-69, 1971
- ASSIS, J.P.; DOURADO NETO, D.; NASS, L. L.; MANFRON, P. A.; BONNECARRERE, R. A. G.; MARTIN, T. N. Simulação estocástica de atributos do clima e da produtividade potencial de milho utilizando-se distribuição triangular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 2006 v. 41, p. 539-543.
- AYARS, J.E., JOHNSON, R.S., PHENE, C.J., TROUT, T.J., CLARK, D.A., MEAD, R.M., Water Use By Drip-Irrigated Late-Season Peaches. *IRRIG. SCI.* 2003. 22, 187–194
- BARBANO, M.T. et. al. Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n.2, p.261-268, 2001.
- BATES, B. C.; KUNDZEWICZ, Z.W.; WU, S.; PALUTIKOF, J.P. Climate change water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, 2008.
- BATTISTI, D. S.; NAYTOR, R. L. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*, 2009. Washington, v. 323, n.5911, p. 240-244
- BEKELE & TILAHUN, 2007 BEKELE, S. & TILAHUN, K. Regulated deficit irrigation scheduling of onion in a semiarid region of Ethiopia. *Agricultural Water Management*. v.89, p.48-152. 2007.

- BERNARDO, S. MANTOVANI, E. SOARES, A. A. Manual de irrigação. 8º ed. Viçosa: UFV. 625p., 2006
- BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: Silva, D. D. da., Pruski, F.F. (Ed.). *Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável da Agricultura*. Viçosa: MMA, SRH, ABEAS, UFV, 1998. 252p.
- BISWADIP, D., SINGH, A., PANDA, S. N., YASUDA, H., Optimal land and water resources allocation policies for sustainable irrigated agriculture. *Land Use Policy*. v42. 2015. p. 527-537
- BOOGAARD, H.L., VAN DIEPEN, C.A., RÖTTER, R.P., CABRERA, J.M.C.A., VAN LAAR, H.H., User's Guide for the WOFOST 7.1 Crop Growth Simulation Model and WOFOST Control Center 1.5. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, Technical Document 52. 1998.
- CAMARGO, M.E., Exigências bioclimáticas e estimativa da produtividade de quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo - Brasil. Piracicaba. ESALQ, 1984. 96p. (Tese Master)
- CARVALHO, D.F., SILVA, L.D.B., FOLEGATTI, M.V., COSTA, J.R., CRUZ, F.A., Avaliação da evapotranspiração de referência em Seropédica, no estado do Rio de Janeiro, Brasil, utilizando um lisímetro de pesagem. *Rev. Bras. Agrometeorologia*. 2006. 14, 108–116.
- CARVALHO, D. F.; NETO, D. H. O.; RIBEIRO, R. L. D.; GUERRA, J. G. M.; ROUWS, J. R. C. Manejo da irrigação associada a coberturas mortas vegetais no cultivo orgânico da beterraba. *Engenharia Agrícola*, v.31, p. 269-277, 2011
- CARVALHO D. F.; DOMÍNGUEZ A.; OLIVEIRA NETO D. H.; TARJUELO J. M.; MARTÍNEZ-ROMERO A.; Combination of date with deficit irrigation for improving the profitability of carrot in a tropical environment (Brasil). *Scientia Horticulturae*, v.179, p. 112-121. 2014
- CARVALHO, J.A., BERNARDO, S., CASALI, V.W.D., CECON, P.R., Efeito de diferentes níveis de irrigação no crescimento de (*Daucus Carota* L.) Cv Brasília. *Rev. Ceres*. 1995.42, 528–542 (in Portuguese).
- CEAGESP. 1999. Classificação de cenoura: programa de adesão voluntária (Folder), São Paulo: Programa Horti & Fruti. 8p.
- CEPEA, 2014 CEPEA. Cenoura. Arquivo disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/130/cenoura.pdf>. Acesso em: 03 de abril de 2014.
- CETINKAYA, C.P., FISTIKOGLU, O., FEDRA, K., HARMANCIOGLU, N.B., Optimization methods applied for sustainable management of water-scarce basins. *J. Hydroinform*. 2008. 10 (1), 69–95.

- CHEN, J.Y., TANG, C.Y., SAKURA, Y., KONDOH, A., SHEN, Y.J., SONG, X.F. Measurement and analysis of the redistribution of soil moisture and solutes in a maize field in the lower reaches of the Yellow River. *Hydrol. Process.* 2004. 18, 2263–2273.
- CHIGOR, V. N., UMOH, V. J., OKUOFU, C. A., AMEH, J. B., IGBINOSA, O. E., OKOH, A.I, Water Quality Assessment: Surface Water Sources Uses For Drinking and Irrigation in Zaria, Nigeria are a Public Health Hazard. *Environ.Monit Assess.* 2012. V.184, p.3389-3400
- CHOPADE, S.O.; BANSODE, P.N.; HIWASE, S.S. Studies on fertilizer and water management to onion. *PKV Research Journal*, v. 22, p. 4447, 1998.
- COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. *Bahia Agrícola*, v.7, n.1, p. 57-60, 2005
- COSTA, E. L.; MAROUELLI, W. A.; CAMBOIM NETO, L. F.; SILVA, W. L. C. Irrigação da cebola. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*, v.23, n. 218, p. 57-66, 2002
- DOMÍNGUEZ, A., DE JUAN, J.A., TARJUELO, J.M., MARTÍNEZ, R.S., MARTÍNEZ-ROMERO, A., Determination of optimal regulated deficit irrigation strategies for maize in a semi-arid environment. *Agric. Water Manage.* 2012. 110, 67–77.
- DOMÍNGUEZ et al., 2011 DOMÍNGUEZ, A.; TARJUELO, J. M.; DE JUAN, A; LÓPEZ-MATA, E.; BREIDY, J.; KARAM, F. Deficit irrigation underwater stress and salinity conditions: The MOPECO-Salt Model. *Agricultural Water Management*, v.98, n.9, p.1451-1461. 2011
- DOORENBOS & KASSAM, 1979 DOORENBOS. J.; KASSAM, A.H. Efectos dei água sobre el redimento de 10s cultivos. Roma: FAO. 1979, 212 p. (Riego y drenage, 33).
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O., Guidelines for predicting crop water requeriments. Rome: FAO, 1977. 179p. (Irrigation and Drainage paper, 24)
- DUFAULT, R. J. Determining heat unit requirements for broccoli in coastal South Carolina. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1997. Alexandria, v.122, n.2, p.169-174
- ENGLISH, M.J., 1990. DEFICIT IRRIGATION. I: ANALYTICAL FRAMEWORK. *JOURNAL OF IRRIGATION AND DRAINAGE ENGINEERING* 116, 399–412
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA-EMBRAPA. Circular técnica: Restropectiva e situação atual da cenoura no Brasil. 1º ed Brasília: Embrapa Hortaliças. 10p. 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 312p. 2006.

- ERREBHI, M., ROSEN, C.J., GUPTA, S.C., BIRONG, D.E., Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. *Agron. J.* 1998. 90, 10–15.
- FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: Ed. UFV, 2008. 421p.
- FILGUEIRA, F. A. R. *Abc da Olericultura Guia da Pequena Horta*, Editora FGV, Rio de Janeiro, 2008, 136p.
- FAO, 2006. World Reference Base for Soil Resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports. FAO, Rome, p. 145.
- FAO, 2010. The Wealth of Waste. The Economics of Wastewater in Agriculture. FAO Water Reports 35, Roma 2010.
- FAO, 2013. FAO Statistical Yearbook 2013, World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 289. <<http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm>> (accessed on 21.04.14)
- FOLEY, J.A., DEFRIES, R., ASNER, G.P., BARFORD, C., BONAN, G., CARPENTER, S.R., CHAPIN, F.S., COE, M.T., DAILY, G.C., GIBBS, H.K., HELKOWSKI, J.H., HOLLOWAY, T., HOWARD, E.A., KUCHARIK, C.J., MONFREDA, C., PATZ, J.A., PRENTICE, I.C., RAMANKUTTY, N., SNYDER, P.K., Global consequences of land use. *Science*. 2005. 309, 570–574.
- GATTO, R. F. Produtividade da cultura da cebola sob doses de nitrogênio e lâminas de irrigação por gotejamento. Lavras, 2013. 82p. (Dissertação, Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas - Universidade Federal de Lavras - UFLA).
- GARCÍA, L.A., FOGED, N., CARDON, G.E., Development of GIS-BASED model to estimate relative reductions in crop yield due to salinity and water logging. *J. Irrig. Drain. Eng.* 2006.132 (6), 553–563.
- GIACOIA NETO, J. Efeito da profundidade do lençol freático na evapotranspiração e na produtividade da cultura de cenoura (*Daucus carota* L.). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 56p. Dissertação Mestrado.
- GILMORE JUNIOR, E.C.; ROGERS, J.S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agronomy Journal*, 1958. v.50, p.611-615,
- GRUNDMANN, J., SCHÜTZE, N., SCHMITZ, G.H., AL-SHAQSI, S., Towards an integrated arid zone water management using simulation-based optimization. *Environ. Earth Sci.* 2012. 65, 1381–1394
- HANTUSH, M.S.M., MARINO, M.A., Chance-constrained model for management of stream-aquifer system. *J. Water Resour. Planning Manage.* 1989. ASCE 115 (3), 259–277.
- HATFIELD et al., 2001 HATFIELD J. L., THOMAS J. S., JOHN HP Gerenciando solo para alcançar uma maior eficiência no uso da água: uma revisão *Agron. J.*, 93 (2001), pp.

271-280.

HARGREAVES & SAMANI, 1985 HARGREAVES, G. H. & SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. in Agric.*, 1(2): 96-99. 1985.

HORTBRASIL- Instituto Brasileiro de Qualidade em Horticultura, 2002. Disponível em: <http://hortibrasil.org.br/> acessado em 13 de janeiro de 2015.

HEUPERMAN, A.F., KAPOOR, A.S., DENECKE, H.W., Biodrainage – Principles, Experiences and Applications. Knowledge Synthesis Report No.-6. International Programme for Technology and Research in Irrigation and rainage. IPTRID Secretariat, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002. Rome, pp. 79.

HOWELL T. A., Aumento da eficiência do uso da água na agricultura irrigada *Agron. J.*, 93 (2001), pp. 182-289.

INES, A. V. M., HONDA, K., GUPTA, A. D., DROOGERS, P., CLMENTE, R. S., Combinig remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm optimization to explore wáter management options in irrigated agricultura. *Agricultural Water Manegement*. 83. (2006). P.221-232

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA–IBGE. Confronto das safras (Rendimento médio) de 2011 e 2012 – Brasil –março 2012 Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201203_3.shtm.

ISLER P. R., Ferramentas matemáticas para modelagem da temperatura com aplicação em graus-dias para otimização da produção agrícola. UNESP. São Paulo. 2011. Tese Mestrado.

IZOTON, E.P. Viabilidade técnica do cultivo da cenoura e beterraba, na Região do Núcleo Rural Tabatinga, Planaltina, DF. *Boletim Técnico*. UPIS – Faculdades Integradas, Departamento de Agronomia. 2009. p.9.

JALOTA S.K., SOOD A., CHAHAL G.B.S., B.U., Choudhury Crop water productivity of cotton wheat system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation *Agric. Water Manage*. 84 (2006), pp. 137–146

JENSEN, M.E., Beyond irrigation efficiency. *Irrig. Sci.* 2007. 25, 233–245

KONDILI, E., KALDELLIS, J.K., PAPAPOSTOULOU, C., A novel systemic approach to water resources optimization in areas with limited water resources. *Desalination*. 2010. 250, 297–301

KREBS, J.R., WILSON, J.D., BRADBURY, R.B., SIRIWARDENA, G.M., The Second Silent Spring. *Nature*. 1999. 400, 611–612.

LETEY, J., VAUX, H.J., FEINERMAN, E., Optimum crop water application as affected uniformity of water infiltration. *Agron. J.* 1984. 76, 435–441.

- LI, J., KAWANO, H., 1996. The areal distribution of soil moisture under sprinkler irrigation. *Agric. Water Manage.* 32, 29–36
- LI, Y.P., HUANG, G.H., WANG, G.Q., HUANG, Y.F., FSWM: a hybrid fuzzy-stochastic water management model for agricultural sustainability under uncertainty. *Agricultural Water Management.* 2009. 96, 1807–1818.
- LIMA JÚNIOR, J. A.; PEREIRA, G.M.; GEISENHOFF, L. O.; SILVA, W. G.; VILAS BOAS, R. C; SOUZA, R. J. Desempenho de cultivares de cenoura em função da água no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.5, 2012, p.514–520
- LÓPEZ BELLIDO, L., 1998. El uso del agua en los sistemas agrícolas mediterráneos. In: Jiménez, R.M., Lamo, J. (Eds.), *Agricultura sostenible*. Ediciones Mundi-Prensa, Spain.
- LÓPEZ-MATA, E., TARJUELO, J.M., DE JUAN, J.A., BALLESTEROS, R., DOMÍNGUEZ, A., 2010. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. *Agric. Water Manage.* 98, 190–198.
- LOPES, W. A. R., NEGREIROS, M. Z., TEÓFILO, T. M. S., ALVES, S. S. V., MARTINS, C. M., NUNES, G.H.S., GRANGEIRO, L.M.et al., Produtividade de cultivares de cenoura sob diferentes densidades de plantio. *Revista Ceres.* 2008. 483p.
- LOUCKS, D.P., STEDGINGER, J.R., HAITH, D.A., *Water Resource Systems Planning and Analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1981. NJ
- LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura base e de graus-dia para estimativa de duração do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 1999, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 31-36.
- LUO, Q., BELLOTI, W., WILLIAMS, M., BRYAN, B. Potential impact of climate change on wheat yield in South Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, Amsterdam, v.132, n.3-4 p. 273-285.
- LUZ, J.M.Q., ORZAL FILHO, A., RODRIGUES, W.L., RODRIGUES, C.R., QUEIROZ, A.A., Adubação de cobertura com nitrogênio, potássio e cálcio na produção comercial de cenoura. *Hortic. Bras.* 2009.27, 543–548
- MATANGA, G.B., MARINO, M.A., Irrigation planning: 1. Cropping pattern. *Water Res. Res.* 1979, 15, 672–678.
- MARTIN DE SANTA OLALLA, F., DOMINGUEZ-PADILLA, A., LOPEZ, R. Production and quality of onion crop (*Allium cepa* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. *Agricultural Water Management*, v. 68, p. 77-89, 2004.
- MANTOVANI, E.C., VILLALOBOS, F.J., ORGAZ, F., FERERES, E., Modelling the effects of sprinkler irrigation uniformity on crop yield. *Agric. Water Manage.* 2001, v27,

- MANTOVANI, Everardo Chartuni; BERNARDO, Salassier; PALARETTI, Luiz Fabiano. Irrigação princípios e métodos. 2.ed. Viçosa-MG: Ed. UFV, 2007. 358p.
- MAROUELLI, W.A.; OLIVEIRA, R.A.; SILVA, W.L.C. Irrigação da cultura da cenoura. Brasília: Embrapa Hortaliças. Circular Técnica 48. 2007.14 p
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2008. 150 p.
- MIRANDA, M. N.; CAMPELO JÚNIOR. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. carioca em colorado do Oeste, Rondônia. Pesquisa Agropecuária Tropical, 2010, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 180-185.
- MONTEZANO, E.M. & PEIL, R.M.N. Sistemas de consórcio na produção de hortaliça. Revista Brasileira de Agrociência, 2006, v.12, n.2, p.129 -132.
- MORADI, R., MOGHADDAM, P. R., MANSOORI, H., Energy use and economical analysis of seedy watermelon production for diferente irrigation systems in Iran. Energy Reports. 2015. P. 36-42
- MOURA, M.T.V., MARQUES Jr., S., BOTREL, T.A., FRIZONE, J.A., Estimation of water consumption in the culture of carrot (*Daucus carota* L.) v. Nantes superior, for the region of Piracicaba, by the water balance method. Sci. Agric. 1994.51, 284–291
- NASCIMENTO, W. M.; VIEIRA, J. V.; MAROUELLI, W. A. Produção de semente de cenoura. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/producao_semente_cenoura_000gnhglr4c02wx5ok0edacxlexpi6zx.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2014
- NAGAZ, K.; MASMOUD, M.M.; MECHLIA.N. B. Impacts of irrigation regime with salina water on carret productivit and soil salinity. Journal of the Saudi Society of Agricultural Scienses. Tunisia. 2012. P. 19-27.
- NAVARO, J. M.; BOTÍA, P.; PÉREZ-PÉREZ, J. G, Influence of déficit irrigation timing on the fruit quality of grapefruit (*Citrus paradisi* Mac.). Food Chemistry. Spain. 2014. P. 329-336
- NOGUEIRA, L. C.;
- NOGUEIRA, L. R. Q.; MIRANDA, F. R. Irrigação do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. (ed.). A cultura do coqueiro no Brasil. 2.ed. revisada e ampliada. Brasília: Embrapa SPI; Aracaju: Embrapa CPATC, 1998. p. 159-187
- NEILD, R. E. & SEELEY, M. W. Growing degree day predictions for corn and sorghun development and some applications to crop productions in NebrasKa. Nebr. Agric. Exp. Sta. Res. Bull, 1975, 280. 112p.

- OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; BISPO, R. C.; SANTOS, I. M. S.; LIMA, C. B. A.; CARVALHO, A. R. P. Coeficiente de cultura e produtividade da cebola submetida a diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental*, v.17, n.9, p.969–974, 2013
- OLIVEIRA, H. F. E.; COLOMBO, A.; FARIA, L.C.; BESKOW, S.; PRADO, G. SAI: Modelo para simulação da irrigação por aspersão – Calibração e validação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB. UAEA/UFCG. v.17, n.3, 2013. p.253–260
- ORTEGA, J.F., DE JUAN, J.A., MARTÍN-BENITO, J.M., LÓPEZ-MATA, E. MOPECO: an economic optimization model for irrigation water management. *Irrigation Science*, 2004, 23 (2), 61–75.
- OLIVEIRA NETO, D. H. Otimização do uso da água e produtividade da cenoura (*Daucus carota*) sob coberturas mortas no solo, em sistema agroecológico de produção. Seropédica, RJ: UFRRJ, 2013. 77p. Tese de Doutorado.
- OLIVEIRA, R. A.; ROCHA, I. R.; SEDIYAMA, G. C.; PUIATTI, M., CECON, P. R.; SILVEIRA, S. F. R. Coeficiente de cultura da cenoura nas condições edafoclimáticas da Alto do Parnaíba, no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v7, n.2, Campina Grande, PB DEAg/UFCG, 2003. p.280
- OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.
- PARADISOR. DE PASCALES. BARBIERIG. Effects of water regime and nitrogen supply on yield and mineral composition of carrot *Itlus Hortus*. 8 (4) (2002), pp. 8–13.
- PARABHAKAR M., SRINIVAS K., HEGDED.M., Effect of irrigation regimes and nitrogen fertilization on growth, yield, N uptake and water use of carrot (*Daucus carota* L.) *Gartenbauwissenschaft*, 56 (5) (1991), pp. 206–209.
- PASTERNAK, D.; MALACH, Y.; BOROVIĆ, I. Irrigation with brackish water under desert conditions I. Problems and solutions in production of onions (*Allium cepa* L.). *Agricultural Water Management*, v. 9, P. 225-235, 1984.
- PEREIRA, A.A., HUNGRIA, M., FRANCHINI, J.C., KASCHUK, G., CHUEIRE. L.M.O., CAMPO, R.J., TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2007: 1397-1412.
- PÉREZ-PÉREZ, J. G., ROBLES, J. M., & BOTÍA, P. Influence of deficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in ‘lane late’ sweet orange. *Agricultural Water Management*, 2009, 96, 969–974.
- PIMENTEL, C. Efficiency of nutrient use by crops for low input agro-environments. In: Rana P. Singh; Niharika Shankar; Pawan K. Jaiwal. (Org.). *Focus on plant agriculture: 1 Nitrogen nutrition in plant productivity*. Houston: Studium Press, LLC, 2006, p.277-328.

- PINTO, J. M.; COSTA, N. D.; RESENDE, G. M. Irrigação. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA Semi-Árido. Sistemas de Produção, 3. Cultivo da cebola no Nordeste.2007.
- PRETT, S. Comparison of seasonal thermal indices for measurement of corn maturity in a prairie environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 1992, Ottawa, v. 72, n. 4, p. 1157-1162.
- RENATO, N. S., SILVA, J. B. L., SEDIYAMA, G. C., PERERIRA, E. G., Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura nas culturas de milho e feijão, *Revista Brasileira de Meteorologia*. 2013, v.28, n.4, p382-388
- ROMERO, P., NAVARRO, J. M., PÉREZ-PÉREZ, J. G., GARCÍA-SÁNCHEZ, F., GÓMEZ-GÓMEZ, A., MARTÍNEZ, V., Effects of deficit irrigation on water relations, vegetative development, yield, fruit quality and mineral nutrition of clemenules mandarin on two rootstocks.*Tree Physiology*, 2006, 26, 1537–1548
- ROMANO, M. R. Desempenho fisiológico da cultura de milho com plantas de arquitetura contrastante: parâmetros para modelos de crescimento. Piracicaba, SP: USP, 2005, 100f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- ROSA, H. T., WALTER, L. C., STRECK, N. A., ALBERTO, C.M., Metodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. *Pesquisa Agropecuaria brasileira*. 2009. V44, n.11, p.1374-1382
- SEVACHERIAN, V., Stern, V.M., Mueller, A.J., Heat accumulation for timing Lygus control pressures in a safflower–cotton complex. *J. Econ. Entomol.* 1977. 70, 399–402
- SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B. G.; SAUNDERS, L. D. Onion yield and quality affected by soil water potential as irrigation threshold. *Horticultural Science*, v. 33, n. 7, p. 1181-1191, 1998.
- SHOCK, C.C., FEIBERT, E.B.G., SAUNDERS, L.D., Irrigation criteria for drip-irrigated onions. *HortScience* 2000. 35, 63–66.
- SILVA, H. R. & MAROUELLI. Palestra apresentada no II Simpósio nacional sobre o Uso da Água na Agricultura. 27 a 30/03/2006. Passo Fundo - RS.
- SILVA, G.O., CARVALHO, A.D.F., VIEIRA, J.V., FRITSCHÉ-NETO, R., Adaptability and stability of carrot populations. *Hortic. Bras.* 2012. 30, 80–83
- SILVA, E., POLLI, H., GUERRA, J.G.M., AGUIAR-MENEZES, E.L., RESENDE, A.L.S., OLIVEIRA, F.L., RIBEIRO, R.L.D., 2011a. Sucessão entre cultivos orgânicos de milho e couve consorciados com leguminosas em plantio direto. *Hortic. Bras.* 29, 57–62
- SILVA, V. J.; TEODORO, R.E.F.; CAVALHO, H.P.; MARTINS, A.D., LUZ, J.M.Q. Resposta da cenoura à aplicação de diferentes lâminas de irrigação. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 27, n. 6, 2011. p. 954-963.

- SINGH, A., 2014b. Optimizing the use of land and water resources for maximizing farm income by mitigating the hydrological imbalances. *J. Hydrol. Eng.* ASCE, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000924](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000924).
- SINGH, A., Optimal allocation of resources for the maximization of net agricultural return. *J. Irrig. Drain. Eng.* ASCE 138, 2012a (9), 830–836.
- SINGH, A., Decision support for on-farm water management and long-term agricultural sustainability in a semi-arid region of India. *J. Hydrol.* 2010. 391 (1–2), 63–76
- SINGH, A., PANDA, S.N., Integrated salt and water balance modelling for the management of waterlogging and salinization. 1: Validation of SAHYSMOD. *J. Irrig. Drain.* 2012b. *Eng. ASCE* 138 (11), 955–963.
- SINGH, A., PANDA, S.N., Optimization and simulation modelling for managing the problems of water resources. *Water Res. Manage.* 2013. 27 (9), 3421–3431.
- SMITH, M., ALLEN, R., MONTEITH, J.L., Expert Consultation on Revision of FAO Methodologies for Crop Water Requirements. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, 1992. Rome, Italy, 60 pp
- SNYDER, R. L. Hand calculating degree days. *Agriculture and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 35, n. 1-4, p.353-358, 1985.
- STEDUTO et al., 2009 Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrig. Sci.* 25, 189–207
- STEWART et al., 1977; STEWART, J. I.; HAGAN, R. M.; PRUITT, W. O.; KANKS, R. J.; RILEY, J. P.; DANILSON, R. E.; FRANKLIN, W. T.; JACKSON, E. B. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. (1977). *Reports*. Paper 67.
- STÖCKLE, C.O., DEBAEKE, P., Modelling crop nitrogen requirement: a critical analysis. *Eur. J. Agron.* 1997. 7, 161–169.
- STÖCKLE, C.O., MARTÍN, S., CAMPBELL, G.S., CropSyst: a cropping systems model: water/nitrogen budgets and crop yield. *Agric. Syst.* 1994. 46, 335–359.
- STRECK, N.A. A temperature response function for modeling leaf growth and development of the African violet (*Saintpaulia ionantha* Wendl.). *Ciência Rural*, 2004. v.34, p.55-62
- STRECK, N.A., PAULA, G.M. De, OLIVEIRA, F.O., SCHWANTES, A.P., MENEZES, N.L. de. Improving node number simulation in soybean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2009. v.44, p.661-668
- SUDAR, R.A., SAXTON, K.E., SPOMER, R.G., A predictive model of water stress in corn and soybean. *Trans.* 1981. *ASAE* 24, 97–102.

- TEIXEIRA, J.L., PEREIRA, L.S., ISAREG, an irrigation scheduling simulation model. *ICID Bull*, 1992. 41 (2), 29–48
- TILMAN, D., CASSMAN, K.G., MATSON, P.A., NAYLOR, R., POLASKY, S., Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 2002. 418, 671–677.
- TRENTIN, R., SCHREIBER, F., STRECK, N.A., BURIOL, G.A., soma térmica de subperíodos de desenvolvimento da planta de melancia. *Ciência Rural*, 2008, v.38, n.9, p.2463-2470
- UNITED NATIONS, Available from <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm> (accessed 25.04.14) 2012. World Population Prospects: 2012 Revision Population Database.
- VAN DAM, J.C., SINGH, R., BESSEMBINDER, J.J.E., LEFFELAAR, P.A., BASTIAANSEN, W.G.M., JHORAR, R.K., KROES, J.G., DROOGERS, P., 2006. Assessing options to increase water productivity in irrigated river basins using remote sensing and modeling tools. *Int. J. Water Resour. Dev.* 22, 115–133
- VIEIRA, J. V.; PESSOA, H. B. S. V. MAKISHIMA, N. Cenoura (*Daucus carota*). Sistemas de produção, 5. Embrapa Hortaliças. Jun. 2008. Disponível em http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cenoura/Cenoura_Daucus_Carota/autores.htm > Acesso em 19 de março de 2014
- VOLPE, C. A.; SCHOFFEL, E.; BARBOSA, J. C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas ‘Valência’ e ‘Natal’ na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2002, Jaboticabal. v.24, n.2, p. 436-441
- VILAS BOAS, R. C.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA JUNIOR, J. A.; CONSONI, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. *Ciência&Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 4, p. 781-788, 2011.
- WEBER, C.; CAMPBELL, C.; BUTLER, M.; ELEVELD; B. Carrot seed production under drip irrigation, Central Oregon Region. *Ns, Oregon: Oregon State University, Extension Service*. 2004. 6p.
- WUTKE, E.B. et al. Estimativa de temperatura base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 2000, v.8, n.1, p.55-61.
- YAKUSHIJI, H., MORINAGA, K., & NONAMI, H., Sugar accumulation and partitioning in Satsuma mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, (1998). 123, 719–726
- ZHANG, X. C.; LIU, W. Z. Simulating potential response of hydrology, soil erosion, and crop productivity to climate change in Changwu tableland region on the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005 Amsterdam, v. 131, n. 3-4, p.127-142.