



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

RAUL MONTE DOS ANJOS

**IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA CONTROLADA POR ETAPAS NA CULTURA DO MELÃO,
UTILIZANDO O MODELO MOPECO**

FORTALEZA

2015

RAUL MONTE DOS ANJOS

IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA CONTROLADA POR ETAPAS NA CULTURA DO MELÃO,
UTILIZANDO O MODELO MOPECO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

Coorientadora: Profa. Dra. Kelly Nascimento Leite

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- A619i Anjos, Raul Monte dos.
Irrigação deficitária controlada por etapas na cultura do melão, utilizando o modelo mopeco.
/ José Evanaldo Lima Lopes. – 2015.
58f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
Fortaleza, 2015.
Área de Concentração: Manejo e conservação de bacias hidrográficas no semiarido.
Orientação: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo.
Coorientação: Kelly Nascimento Leite.
1. Irrigação - Brasil. 2. Melão. I. Título.

RAUL MONTE DOS ANJOS

IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA CONTROLADA POR ETAPAS NA CULTURA DO MELÃO,
UTILIZANDO O MODELO MOPECO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e drenagem.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Profa. Dra. Kelly Nascimento Leite (Coorientadora)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Pesquisadora Dra. Denise Vieira Vasconcelos
Universidade Federal do Ceará (PNPD/CAPES)

Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

A Deus.

Aos meus pais e irmão pela
educação, incentivo e amor
incondicional.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela presença constante sem que eu precisasse pedir, por ser luz nas minhas escolhas e conforto nas horas difíceis.

A minha mãe Maria Dionilda Monte dos Anjos e ao meu pai Raimundo José dos Anjos, a responsável por minha formação e princípios de vida. Sobretudo, por ter acreditado que a educação é a maior herança que se pode deixar para os filhos.

Ao meu irmão Arthur Monte dos Anjos pelo apoio, incentivo e carinho de sempre. Enfim, a todos os meus tios, tias, primos e primas que de fato me ajudaram a alcançar este sonho. Sem a dedicação de vocês essa conquista jamais seria alcançada.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), uma Instituição de imensa credibilidade, onde pude realizar o sonho de cursar Agronomia.

A todos os professores do departamento de engenharia agrícola da Universidade Federal do Ceará, pelos conhecimentos repassados no decorrer da minha vida acadêmica e por mim assimilados.

A meus orientadores diretos e indiretos Dra. Beatriz Barguil, Dr. Francisco Marto Pinto Viana, Dr. José Emilson Cardoso, Dr. Luís Gustavo Chaves da Silva e Professor Dra. Christiana Bruce e pela paciência na orientação, por todo conhecimento científico passado e incentivo que tornaram possível a conclusão desta Dissertação e a realização de outros trabalhos científicos.

Agradeço muito ao meu orientador, Professor. Dr. Benito Moreira de Azevedo que em momentos complicados da minha formação como mestre esteve presente e muitas vezes me estendendo a mão e fazendo mais do que é poderia.

À Professora Dra. Kelly Nascimento Leite minha co-orientadora, que muitas vezes se fez mais como orientadora do que como co-orientadora. Quem me chamava a atenção para meus erros e botava pressão para que essa dissertação ficasse pronta. Olha deu certo.

À Professora Dra. Renato, que acreditou em me num momento difícil e sempre que pode foi muito prestativo.

Agradeço também a Ananda Crisóstomo, pois você esteve ao meu lado nos momentos tristes e muitas vezes me deu muita raiva, mas isso me ajudou muito.

Claudiane outra pessoa louca que conheci e que é muito sincera, aprende muito com você.

Agradeço aqui a minha amiga e ex-chefa Elaine a pessoa mais animada e de bem com ávida que eu já conheci.

Um grande agradecimento a minha prima e quase irmã Elisa Beth que sempre me ajuda de todas as formas até quando roubam meu computador.

Fabiana Albuquerque (biana), talvez a amiga mais incrível que poderia existir, serei sempre grato essa mulher que foi uma das responsáveis pela minha ascensão.

Um agradecimento meio atrasado para a Guelda, uma pessoa maravilhosa mais que é sempre a última, a saber, das coisas kkkkk.

Juliana Viana e o Hemerson, pessoas que sempre me faz ri e que me ajudou nos momentos complicados.

À kathwry, minha coleguinha e passeia de revisão de literatura te agradeço muito.

Agradeço muito à Natália do Vale Canabrava que me ajudou muito me apoiando e ajudando-me a evitar erros, além de brigar um monte comigo porque não entregava logo isso.

À Natalia Portela, pois desde minha graduação sempre esteve comigo resolvendo aqueles problemas complicados.

Neiri (doida), amiga doida mais com uma grande sabedoria.

Pamella Maria da Costa Pereira, companheira, amiga e enjoada às vezes, essa minha menina que nunca deveria ter saído do meu lado desde quando nasceu, mas, porém após anos de espera a reencontrei e desde então sempre ajudando e dando-me forças. Além de ter ajudando-me a supera um dos momentos mais difíceis da minha vida, essa mulher me fez voltar a acreditar que sou capaz e que eu não era um lixo.

À Priscilla minha amiga de personalidade inconstante, mas que sabe motivar muito bem uma pessoa.

Raiza Neves que esteve ao meu lado tanto na monografia como agora no período de minha dissertação.

A todos os amigos de trabalho, Aldiel, Denise, Zulmira, Debora, filipinho e a neguinha dele, Silvana, Renatinha, Mariana e tantos outros que passaram pelo laboratório.

Venho por meio desse, corrigir um erro cometido por me à uns anos atrás. Agradeço em especial a Camila Regina de Oliveira Rabelo, uma mulher que me ajudou muito na minha formação pessoal e acadêmica. Está mulher que sempre me apoia em meus objetivos, mesmo quando não deveria uma pessoa impar, única e também muito geniosa além complicada.

Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser concluído.

“Meu Deus, perdoe encher meus olhos d'água, e ter-
lhe pedido cheio de mágoa, pro sol inclemente, se
arretirar, retirar.

Desculpe, pedir a toda hora, pra chegar o inverno e
agora, o inferno queima o meu humilde Ceará.

Oh! Senhor, pedi pro sol se esconder um pouquinho,
pedi pra chover, mas chover de mansinho, pra ver se
nascia uma planta, planta no chão.

Violência demais, chuva não tem mais, corrupção
demais, política demais, tristeza demais. O interesse
tem demais! Violência demais, fome demais, falta
demais, promessa demais, seca demais, chuva não tem
mais! Falta demais, é demais, chuva não tem mais,
seca demais, roubo demais, povo sofre demais. Oh!
demais.

Oh! Deus.”

Compositor: Nelinho/Gordurinha

RESUMO

O uso da água na agricultura representa, em nível mundial, cerca de 70% de toda a água doce, enquanto, a indústria utiliza 23% e o abastecimento humano 7%. Se junta a isso, as mudanças climáticas que vêm provocando no Brasil longos períodos de seca, além de promover a quebra na safra, como ocorrido em 2013. Isso demonstra a necessidade dos produtores rurais, em usá-la com a maior eficiência para gerar a máxima produção com o menor consumo de água. Usando o modelo de otimização econômica da irrigação da água: MOPECO, que é uma ferramenta simples para auxiliar a tomada de decisão, devido simular a resposta de diferentes culturas ao déficit hídrico. O objetivo desse trabalho foi definir um manejo de irrigação eficiente, utilizando a metodologia de irrigação deficitária otimizada por etapa, para a cultura do melão amarelo, na região semiárida próxima ao litoral do Ceará. Os trabalhos iniciaram-se com a coleta de dados climáticos e trabalhos relacionados à produção da cultura, estádios fenológicos, déficit hídricos, coeficientes da cultura (K_c), coeficiente de resposta ao déficit hídrico da cultura (K_y), calendário de irrigação, lâminas de irrigação, evapotranspiração de referência (E_{To}), graus dia diário (GDD), que foram coletados de trabalhos produzidos dentro da faixa litorânea do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte. Posteriormente, embasado em informações obtidas em trabalhos científicos, foram definidos os estádios fenológicos, K_c e K_y em GDD. As informações obtidas em campo com o cultivo de melão foram usadas para calibração, e ajustadas com as informações oriundas de outros trabalhos. Após calibração e ajustes, o programa MOPECO foi validado, usando os dados fornecidos pelo trabalho de Sousa (2006). Os resultados obtidos são: O ciclo da cultura do melão amarelo na região, em GDD, foi de 1.393,47 que compreende a um intervalo de 60 a 70 dias, a depender da temperatura diária. Os valores de K_y calibrados para a região foram: 0,4; 0,8; 0,8 e 0,3 e os de K_c foram: 0,21; 1,05 e 0,3. A produção observada e simulada ficou dentro dos níveis de tolerância exigida para calibração do modelo MOPECO. Com relação à irrigação otimizada por etapas, seus resultados foram comparados com a irrigação com déficit hídrico constante, logo: os resultados mais consistentes foram obtidos para uma relação global de 0,8 ET_a/ET_m .

Palavras chaves: *Cucumis melo* L., déficit hídrico, manejo de irrigação.

ABSTRACT

Water use in agriculture is, worldwide, about 70% of all fresh water, while industry uses 23% and human consumption 7%. Joins this, climate change that have led in Brazil long periods of drought, and to promote the fall in the harvest, as occurred in 2013. This demonstrates the need for farmers, to use it as efficiently to generate the maximum output at the lowest water consumption. Using the economic optimization model of irrigation water: MOPECO, which is a simple tool to aid decision making, due simulate the response of different crops to drought. The objective of this study was to define a management efficient irrigation, deficit irrigation using the methodology optimized by step, to yellow melon culture, next to the semi-arid region of Ceará coast. The work began with the collection of climate data and work related to crop production, growth stages, water deficit, crop coefficients (K_c), response coefficient to water deficit of culture (K_y), irrigation schedule, blades irrigation, reference evapotranspiration (ET_o), degrees daily day (GDD), which were collected from works produced in the coastal strip of Piauí, Ceará and Rio Grande do Norte. Later, based on information obtained in scientific studies, phenological stages, K_c and K_y in GDD were defined. The information obtained in the field with melon cultivation were used for calibration, and adjusted with the information coming from other jobs. After calibration and adjustment, the MOPECO program was validated using data provided by Sousa's work (2006). The results obtained are: The yellow melon crop cycle in the region, GDD, which was 1.393,47 comprises a range of 60 to 70 days, depending on the daily temperature. The K_y values calibrated for the region were: 0,4; 0,8; 0,8 and 0,3 and K_c were: 0,21; 1,05 and 0,3. The production was observed and simulated within the tolerance levels required for calibration of MOPECO model. With respect to the steps used by irrigation, their results were compared with constant irrigation with water deficit, then: the most consistent results were obtained for an overall ratio of 0.8 ET_a / ET_m .

Keywords: Cucumis melo L., drought , irrigation managemen.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Área experimental da Estação Meteorológica da UFC, Fortaleza – CE, 2014..	24
Figura 2	Área experimental da Hidráulica da UFC, Fortaleza – CE, 2014.....	24
Figura 3	Rendimento total em função da lâmina de irrigação aplicada para os dois experimentos utilizados. (A) AZEVEDO et al., [ca.2015] e (B) SOUSA (2006).....	28
Figura 4	Diagrama esquemático do processo de cálculo para a relação de água e o manejo de irrigação.....	30
Figura 5	ETo e Precipitação em Fortaleza no período em que ocorreram os experimentos de Azevedo et al., [ca.2015] e Sousa (2006).....	31
Figura 6	Valores obtidos de Kc (MIRANDA et al., 2001; PINHEIRO, 2000; SILVA,1981; LEITE, 2011) e Ky (DOORENBOS e KASSAM, 1979) para cada fase de desenvolvimento do melão.....	34
Figura 7	Variação entre os rendimentos observados e simulados para a calibração (A) Azevedo et al., [ca.2015] e validação (B) Sousa (2006) e tolerância ao déficit hídrico (C) pelo modelo MOPECO, Fortaleza, Ceará.....	42
Figura 8	Relação de ETa/ETm por estágio de Ky e tratamento, para o Azevedo et al., [ca.2015] e Sousa (2006), Fortaleza, Ceará.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características físico-químicas do solo na camada arável (0,0 - 0,2 m), Fortaleza, Ceará, 2010.....	25
Tabela 2	Características químicas da água usada na irrigação do meloeiro, Fortaleza, Ceará, 2010.....	26
Tabela 3	Resumo dos dados dos ensaios com melão, para simulação do MOPECO.....	27
Tabela 4	Dados utilizados para simulação do cultivo pelo modelo MOPECO.....	29
Tabela 5	Duração em dias das etapas de Ky e Kc de diferentes autores, usadas para a calculo das etapas em GDD.....	33
Tabela 6	Coefficiente de cultivo (Kc) e coeficiente de resposta da produtividade ao estresse hídrico (Ky) do meloeiro ajustados para as etapas de cultivo, Fortaleza, Ceará, 2006 e 2010.....	38
Tabela 7	Duração de Kc e Ky para os estádios de desenvolvimento do meloeiro em graus dias diários acumulados (GDD).....	39
Tabela 8	Rendimentos ($t\ ha^{-1}$) observados e simulados para os trabalhos de Azevedo et al. [ca.2015] e Sousa (2006) em função do calendário de irrigação adotado, Fortaleza, Ceará.....	40
Tabela 9	Teste f com duas amostras para variância.....	44
Tabela 10	Eficiência do uso da água (EUA) para a cultura do meloeiro, Fortaleza, Ceará.....	47
Tabela 11	Resumo da análise econômica para 1 hectare de melão, Fortaleza, Ceará.....	47
Tabela 12	Valor de ETa/ETm por etapa de Ky para três manejos globais 0,7; 0,8 e 0,9....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Importância das culturas cucurbitaceae no estado do Ceará	16
2.2. Importância da irrigação no estado do Ceará e uso eficiente da água	17
2.4. Modelos de simulação de culturas e tomadas de decisões	19
2.5. Modelo de auxílio à tomada de decisões – MOPECO	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Descrição da área de estudo e dos trabalhos usados como parâmetros para a calibração e validação do MOPECO.	24
3.2. Calibração dos parâmetros de entrada no sistema MOPECO	29
3.3. Os dados meteorológicos	30
3.4. Duração do ciclo de cultivo em Graus-Dias-Diário (GDD)	31
3.4.1. <i>Coefficiente da cultura (Kc) e coeficiente de resposta ao déficit hídrico (Ky)</i>	33
3.5. Produtividade com relação ao uso da água	34
3.6. Irrigação deficitária controlada por etapa (ORDI)	34
3.7. Análise econômica	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Produtividade máxima (Ym), coeficiente de cultura (Kc), coeficiente de resposta da produtividade da cultura ao déficit hídrico (Ky)	38
4.2. Calibração e validação do MOPECO	41
4.3. Análise estatística dos rendimentos simulados e observados	43
4.4. Irrigação deficitária controlada por etapa (ORDI)	44
4.5. Produtividade do uso da água	46
4.6. Análise econômica	47
4.7. Recomendação de manejo de irrigação para a cultura do melão	48
5 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE	58

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de regiões distintas quanto ao seu clima, sempre apresentou períodos de estiagens, sendo a região nordeste a mais afetada. Porém, na última década os eventos de seca vêm ocorrendo com maior frequência e intensidade em todo o País (SOALHEIRO, 2015; NUNES, 2015). As regiões Sul e Sudeste do Brasil, que historicamente não sofrem com períodos prolongados de estiagem, passaram a apresentar quadro de escassez hídrica. Os mais afetados são os produtores rurais porque estes dependem da água para a obtenção do seu sustento (BARIFOUSE, 2014; OLIVEIRA, 2014; SAMPAIO, 2015). Isto demonstra a necessidade dos produtores rurais em usá-la com maior eficiência, para gerar a máxima produção com menor consumo de água.

No Brasil, existe uma grande demanda de água para agricultura, cerca de 63% da água consumida no País. Para que as áreas irrigadas façam uso deste recurso, se faz necessário muitas vezes a utilização de sistemas de bombeamento para o transporte desta água, e isso implica no consumo de energia pelo sistema de bombeamento, onerando a produção agrícola (REBOUÇAS, 2003; SOUZA, 2010). Ainda sob esse contexto, a grande escassez de água da última década, que reduziu os níveis dos reservatórios em todas as regiões do Brasil, proporcionou o rápido aumento dos preços da energia devido a necessidade de se utilizar termoelétricas, já que as hidroelétricas não estavam suprindo a demanda de forma satisfatória (SIAR, 2010, ANNEL, 2014). Em parte, o aumento do custo da energia deve-se a mudanças climáticas, que na região Nordeste do Brasil tem maiores duração e ocorrência dos eventos de seca. Esses longos períodos de estiagem provocam quebra na safra, como o ocorrido na safra 2013 em alguns estados do Nordeste (ALANA FRAGA, 2014; ANNEL, 2014).

Tendo em vista os problemas acima mencionados, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas e protocolos para ajudar a melhorar a gestão da água na agricultura irrigada, a fim de fazer seu uso mais eficiente, o que levará a uma menor pressão sobre o meio ambiente e maiores benefícios econômicos para permitir a viabilidade deste setor (GARCIA-VILA et al., 2009; RAES et al., 2009; STEDUTO et al., 2009).

Medidas de mitigação já são adotadas como os decretos, como o promulgado pelo Senado Federal em novembro de 2007. Esse decreto em seu Artigo 6º, Parágrafo V trata de: difundir tecnologias poupadoras de água na irrigação e controlar o desperdício de água nas áreas irrigadas (BRASIL, 2007). Outra medida mitigatória adotada é a utilização de técnicas de manejo e equipamentos de irrigação mais eficientes, com a finalidade de reduzir o desperdício de água. A fim de propor um manejo de irrigação mais eficiente em termos de

economia de água e margem bruta obtida, é possível mencionar os modelos de simulação de cultivos para tomadas de decisões e alocação sustentável dos recursos hídricos (DIEGO ANTONELLI, 2012).

Há inúmeras ferramentas para a gestão dos recursos hídricos que visam à máxima produtividade com o menor consumo de água por área plantada. Dentre estas, se destacam: AquaCrop, CropSyst ou WOFOST (JONES et al. 2003). Também, o “Modelo de otimização econômica da água” (MOPECO), desenvolvido pelo “Centro Regional de Estudios del Agua” na Espanha, apresenta-se como um modelo de simulação relativamente simples para auxiliar na tomada de decisões referentes ao manejo de irrigação a ser utilizado em uma propriedade agrícola (DOMÍNGUEZ et al, 2011, LEITE et al., 2014). Os softwares de simulação de cultivos exigem a calibração de variáveis de entrada para as condições específicas de solo, clima e da cultura.

Com o intuito de auxiliar pesquisadores e agricultores na utilização desse programa (MOPECO) no manejo otimizado de irrigação da cultura do melão amarelo para as condições de Fortaleza, Ceará, objetivou-se calibrar, validar e definir um manejo de irrigação eficiente, utilizando a “metodologia de irrigação deficitária otimizada por etapa” (ORDI) obtida pelo modelo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Importância das culturas cucurbitaceae no estado do Ceará

O melão (*Cucumis melo* L.) é uma olerícola muito apreciada e de grande popularidade no mundo, tendo ocupado em 2013, uma área de 1.162.136 hectares, com uma produção de 29.446.185 toneladas de frutos e uma produtividade média de 25,34 toneladas por hectare. O melão está entre as cinco frutas mais exportadas no mundo, e os maiores produtores são: China, Turquia, Irã, USA e Espanha. As cultivares mais plantadas por esses países são, respectivamente, o melão amarelo e o cantaloupe (FAO, 2015).

O Brasil desponta como um dos 10 maiores produtores de melão do mundo, além de ter sido o 3º das Américas no ano de 2013 (FAO, 2015), e, com a atual desvalorização da moeda nacional frente ao dólar, poderá consolidar o País como um grande exportador do fruto (O POVO, 2015; BM&FBOVESPA, 2015). A evolução da cultura do meloeiro no Brasil, no período de 1980 a 1999, mostra que a área cultivada passou de 5.661 ha para 15.000 ha em 20 anos, o que representa uma área plantada quase três vezes maior, para um incremento da produção de até quase quatro vezes (RESENDE e COSTA, 2010). O Brasil é dotado de recursos técnicos estatais e privados capazes de sustentar esse crescimento na produção da cultura, e vem demonstrando essa capacidade de resiliência nos últimos 20 anos (FAO, 2015; RESENDE e COSTA, 2010).

No ano de 2012, o melão foi a fruta mais exportada pelo Brasil, com o crescimento de 8,85% em volume e 20,2% em valor. Atualmente, as exportações brasileiras de melão chegam a US\$ 134 milhões, representando 23,6% do total das exportações brasileiras de frutas frescas (SIMÕES, 2014). A cadeia produtiva do melão gera em torno de 28.000 empregos diretos e 84.000 empregos indiretos na região Nordeste. As variedades mais cultivadas na região são: AF-682; AF-646; GOLD MINE (melão amarelo), Tendency e Toneyden (melão tipo pele de sapo) e HY- MARK (melão cantaloupe) (MAPA, 2014; FREIRE, 2006; COSTA, 2007).

O Ceará é o 6º produtor nacional de frutas e o 2º maior na produção de melão (IPECE, 2014a), superando grandes polos como São Paulo e Rio Grande do Sul.

A produção de melão no estado do Ceará no ano de 2012 foi de 219.309 toneladas. O Estado foi responsável por 29,17 % das exportações brasileira de melões. Em

2012, as exportações de melão foram equivalentes a 103.469.575 milhões de dólares, representando 8,17 % de tudo que exportado pelo Ceará (IPECE, 2015; FAO, 2015). O Ceará está inserido em uma região semiárida o que o favorece ao cultivo do melão, pois a ocorrência de chuvas favorece a incidência de doenças e afetam a qualidade dos frutos. A cultura do melão no Ceará pode alcançar rendimentos de 36 toneladas por hectare, quando se utiliza altos níveis de insumos e tecnologias modernas (CRISÓSTOMO, 2002; IBGE, 2012).

O melão amarelo representa aproximadamente 2,5% do volume de frutas comercializadas na CEASA-CE, apesar disso, ainda é um volume relativamente pequeno. Mas, a fruta apresenta o valor de R\$ 1,58 por quilograma. Já, as vendas realizadas no varejo nos estabelecimentos na cidade de Fortaleza apresentam um preço médio de R\$ 2,55 por quilograma do fruto, representando assim importância para a economia de Fortaleza.

2.2. Importância da irrigação no estado do Ceará e uso eficiente da água

O rápido crescimento da área cultivada de melão no mundo tem provocado a necessidade do uso eficiente dos recursos hídricos, e este uso passa pela aplicação de sistemas de irrigação mais eficazes. (MAPA, 2014; FREIRE, 2006; DNOCS, 2014; IPECE, 2014a).

A agricultura irrigada tem uma grande relevância na produção de alimentos, principalmente em região que sofrem com secas. A fruticultura vem crescendo nos últimos anos no estado do Ceará, ocupando uma área de 67.457 hectares nos perímetros irrigados (DNOCS, 2014), que a cada dia, ocupam lugares de maior destaque no complexo agroindustrial. A agricultura irrigada foi, também, responsável pela exportação de 12.000 toneladas de frutas frescas na safra de 2013 (SIMÕES, 2014).

A prática da irrigação tem sido fundamental para garantir o abastecimento de produtos agrícolas, e a futura demanda de alimentos será criticamente dependente da agricultura irrigada. Entre os benefícios da irrigação no estado do Ceará, é possível citar: melhoria no desempenho financeiro de empreendimentos agrícolas, que no ano de 2012 foi responsável pela exportação de 108,2 milhões de dólares, um acréscimo de aproximadamente 5% em relação ao ano anterior (IPECE, 2014a), crescimento, na mesma proporção e período, do padrão de vida de comunidades rurais (IPECE, 2014b), possibilidade de expansão da fronteira agrícola e diminuição do risco envolvido na atividade agrícola (IPECE, 2014b; IPECE, 2014a). A agricultura irrigada também favorece a expansão do mercado de trabalho no País. Além disso, se bem utilizada, a irrigação é um instrumento muito eficaz no aumento da rentabilidade do produtor rural (BERNARDO, 2006; MATOS et al., 1999).

Contudo para ser utilizado todo o potencial da agricultura irrigada, deve existir uma difusão de tecnologia e o aperfeiçoamento das técnicas que são empregadas neste método de cultivo. Tendo em vista um consumo expressivo de recursos hídricos pela irrigação, fazem-se necessários projetos de manejo desses recursos, e o Estado deve adotar estratégias em suas políticas públicas para promover a expansão da agricultura e garantir o uso sustentável da água (BORGES JÚNIOR et al, 2004, LEITE, 2014, SOUSA, 2006).

A inadequada uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação dos perímetros irrigados do estado do Ceará proporciona excesso da mesma em partes da área de cultivo e falta em outras, diminuindo a disponibilidade de água à cultura e aumentando o custo de produção. (CONCEIÇÃO, 2002).

2.3. Cultivo do melão

As condições edafoclimáticas que favorecem a cultura do melão estão relacionadas com: clima, temperatura, umidade relativa, luminosidade, além da umidade e profundidade do solo.

A temperatura é um dos principais fatores de desenvolvimento vegetal. Para um desenvolvimento adequado, o meloeiro necessita de temperaturas elevadas, na faixa de 20 a 30 °C (PEREIRA et al., 2002; LEITE, 2011; ARAÚJO, 2010). Quando a temperatura está abaixo do ótimo, a taxa de crescimento foliar é determinada pela intensidade luminosa. A redução na luminosidade proporciona um menor desenvolvimento da área foliar da cultura, conseqüentemente afetará a fotossíntese e a qualidade dos frutos (COSTA, 2007).

A faixa adequada de umidade relativa do ar para o desenvolvimento do meloeiro encontra-se entre 65% a 75%. A região Nordeste apresenta um clima semiárido com uma umidade do ar dentro da faixa ótima para cultivo do meloeiro. Por outro lado, regiões com condições de umidade do ar e pluviosidade elevada promovem a formação de frutos de qualidade inferior, além de criar ambiente propício à disseminação de doenças (MONTEIRO, 2004). Menores rendimentos são obtidos em condições de excesso de umidade ou de déficit hídrico, pois essas condições interferem na fisiologia do meloeiro (COSTA, 2007; MONTEIRO, 2004).

Além das condições climáticas, o meloeiro necessita de favoráveis condições edáficas, a cultura consegue se desenvolver em praticamente todos os terrenos, mostrando não depender das condições físicas do solo. Porém, para um desenvolvimento mais satisfatório, solos com textura leve e solta, profundos e que apresentem boa drenagem fazem-se

necessários. Um solo com tais características proporciona a cultura um desenvolvimento radicular maior e mais uniforme, onde suas raízes podem atingir profundidade de até 1,2 m, contudo o sistema radicular efetivo, normalmente, se encontra em uma faixa de 0,3 a 0,5 metros (SILVA et al., 2000; MONTEIRO, 2004; SOUSA, 1999). O meloeiro é muito exigente em relação à acidez do solo, comportando-se melhor na faixa de pH entre 6,0 e 7,5 (COSTA, 2007).

A irrigação, quando realizada de forma adequada, é a prática agrícola que mais favorece a produtividade da cultura do melão (MOTTEIRO, 2004). Logo, a escolha do sistema mais adequado ao tipo de cultivo em questão é de suma importância, principalmente na região semiárida. No caso das plantas do gênero *curcubitaceae*, a irrigação por gotejo é a mais utilizada, pois a água é aplicada junto às raízes das plantas sem que as partes aéreas sejam molhadas, evitando a proliferação de doenças. O sistema ainda proporciona uma economia de água e mão-de-obra, além de alta eficiência de irrigação e fertirrigação (MOROUELLI e SILVA 1998; COSTA, 2007). Em trabalho, com dois sistemas de irrigação: gotejamento e sulcos para a cultura do melão, Abreu et al., (1978) relatam que o sistema de gotejamento teve uma maior eficiência se comparado com os sulcos, demonstrando uma diferença de 32,9% entre os dois sistemas.

2.4. Modelos de simulação de culturas e tomadas de decisões

Nas últimas três décadas, vários modelos de simulação de gestão em propriedades agrícolas, foram desenvolvidos com a finalidade de otimizar o uso de máquinas, mão de obra, insumos e assim promover maiores benefícios aos produtores (STEDUTO et al, 2009). As metas e os objetivos dos modelos de simulação disponíveis são diferentes, e podem ser agrupados em termos de sua natureza e finalidade da ciência (STEDUTO et al., 2009; GEERTS et al., 2009). Os principais modelos de simulação de culturas “agroambientais” integrados foram desenvolvidos a partir de dois centros de pesquisa, holandeses e americanos. (DOGAN et al, 2006).

Desde o início, os modelos holandeses têm centrado sobre a previsão precisa do potencial de produção, contemplando a adubação nitrogenada com uso da água como entrada principal. Já, os modelos americanos mantiveram-se concentrados sobre a aplicabilidade prática, analisando o impacto das condições ambientais sobre o crescimento e produtividade das culturas (DOGAN et al., 2006).

Embora alguns modelos sejam muito complexos, a maioria deles procura um equilíbrio entre precisão e utilidade (LOPEZ-CEDRON et al., 2008). Os modelos devem ser calibrados e validados, mostrando-se robustos o suficiente para fornecer previsões confiáveis. Por esta razão, os modelos mais detalhados podem, em alguns casos, serem menos confiáveis do que os modelos mais simples (SINCLAIR e SELIGMAN, 1996).

O modelo de simulação AquaCrop, desenvolvido pela FAO, pode alcançar equilíbrio ideal, entre a precisão, simplicidade e robustez, (STEDUTO et al., 2009 e RAES et al., 2009). Modelo semelhante é o MOPECO, porém mais simples de manejar, que foi desenvolvido pelo “Centro Regional de Estudios del Agua” (CREA), em Albacete, Espanha. O modelo leva em consideração o efeito da uniformidade de distribuição de água no solo causada pela heterogeneidade da água de irrigação aplicada sobre o rendimento das culturas e da margem bruta obtida (ORTEGA et al 2004; LOPEZ-MATA et al, 2010; DOMÍNGUEZ et al. 2011). Ressaltando a necessidade de encontrar uma combinação ideal de produção por hectare e produção por m³ de água de irrigação para “mais alimentos com menos água”, ou seja, os objetivos são lucros maiores em detrimento de rendimentos máximos (KANG et al., 2000).

A complexidade em estimar a produção agrícola, por conta de fenômenos climáticos, como: as secas levaram a utilização de métodos empíricos e falhos para a estimativa da produção em relação à água utilizada (LEITE, 2011; TARJUELO, 2010; DOMÍNGUEZ et al. 2011).

Diante de uma situação instável de mercado, das políticas agrícolas e das condições ambientais, há uma crescente demanda por ferramentas para auxiliar na tomada de decisões para a gestão da água, dada a natureza complexa dos sistemas de produção agrícola (GARCIA-VILA et al., 2009).

As ferramentas de modelagem podem mostrar os efeitos de cenários alternativos, à viabilidade econômica das explorações agrícolas (STOORVOGEL et al., 2004; GÓMEZ LIMÓN e RISCO, 2004, LOPEZ-MATA et al. , 2010).

Os modelos desenvolvidos para tomadas de decisões como, por exemplo, o MOPECO, uma vez calibrado e validado para uma condição climática específica e ambiente edáfico, são excelentes ferramentas para auxiliar na tomada de decisões, poupando tempo em comparação com a realização de experimentos de campo. Eles também podem ajudar a definir os tratamentos de experimentos de campo, reduzindo seus custos globais (LEITE, 2014).

2.5. Modelo de auxílio à tomada de decisões – MOPECO

Existem vários modelos para auxiliar na tomada de decisões, no entanto, o impacto destas ferramentas é limitado devido a necessidade de informações preliminares e coleta de dados específicos, que normalmente não estão disponíveis para a maioria dos usuários (KUMAR et al., 2007; MARTÍN et al., 2004).

Neste contexto, o modelo MOPECO foi arquitetado para otimizar a margem bruta (GM) da agricultura irrigada, prioritariamente em áreas áridas e semiáridas, onde há escassez de água ou os custos dela são elevados. (ORTEGA et al., 2004). O modelo também simula o efeito da uniformidade de irrigação e do uso de água salina sobre a produção do cultivo (DOMÍNGUEZ et al., 2011). Porém, para a aplicação em determinadas áreas, o modelo requer dados calibrados e validados em um número suficiente de culturas. Após esse procedimento, o modelo poderá ser usado pelos produtores.

O modelo de simulação MOPECO usa a função de Stewart (1977) (Equação 1) para estimar a produtividade de uma dada cultura (Y_a) (kg ha^{-1}) em função do rendimento potencial (Y_m) (kg ha^{-1}), logo se obtém relações entre evapotranspiração real acumuladas (ET_a) (mm) e a evapotranspiração potencial acumulada (ET_m) (mm), considerando-se quatro períodos no processo de crescimento e desenvolvimento da cultura e sensibilidade ao estresse hídrico da cultura em cada estágio (K_y) (adimensional) (DOORENBOS e KASSAM, 1979). O modelo assume que, quando a relação ET_a/ET_m é igual a um potencial de colheita (Y_m), o desempenho é alcançado, e sob estresse tendem a diminuir a produção na proporção da relação de ET_a/ET_m .

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

Para calcular a ET_m , proposta pela equação Doorenbos e Kassam (1979), é necessário conhecer os valores do coeficiente de cultura (K_c , adimensional) para cada fase do desenvolvimento (ALLEN et al., 2006) e o valor da evapotranspiração de referência (ET_0 , mm) calculada pelo método FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), equação 2.

$$ET_m = K_c \cdot ET_0 \quad (2)$$

A capacidade de evapotranspiração da cultura está diretamente relacionada com o teor de água do solo na zona radicular. Se o conteúdo de água no solo é maior do que “p” (definida como a fração de água disponível total do solo na zona de raiz "TAW" que uma cultura pode extrair sem sofrer estresse hídrico), a cultura não é submetida a estresse hídrico (ALLEN et al., 2006)

$$TAW - Dr \geq (1 - p) \cdot TAW; \text{ onde } ET_{aw} = ET_m$$

$$ET_{aw} = \frac{TAW - Dr}{(1 - p) \cdot TAW} \cdot ET_m \quad (3)$$

Em que:

Dr é o déficit de água na zona de raiz em um determinado momento (mm).

Para o cálculo da relação ET_a/ET_m (Evapotranspiração real acumulada), sob condições de déficit hídrico, utiliza-se a expressão proposta por Allen et al. (2006) (Equação 4).

$$\frac{ET_a}{ET_m} = K_{se} = \frac{TAW - Drs}{TAW - RAW} = \frac{TAW - Drs}{(1 - p)TAW} \quad (4)$$

Em que:

K_{se} é o fator de redução da evapotranspiração, dependente da disponibilidade de água no solo (adimensional) (0-1), $K_{se} = 1$ quando $Drs \leq RAW$;

Drs é o déficit de umidade na zona radicular (mm);

RAW é a água facilmente disponível na zona radicular (mm);

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

p é a fração de TAW que um cultivo pode extrair da zona radicular sem sofrer estresse hídrico.

O modelo 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 4 permite estimar a quantidade de água à aplicar para tentar conseguir a relação ET_a/ET_m de objetivo.

Subtendendo-se que é necessário trabalhar com quatro etapas de cultivo, o modelo busca a combinação de déficit por etapas que permitiria 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 MOPECO 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 obtidas em cada uma das etapas.

Um novo módulo ainda por implementar no programa do MOPECO, calcula de maneira otimizada a relação ET_a/ET_m que deve ser alcançada por etapa, de modo a preservar as etapas mais sensíveis ao déficit da cultura, indicadas pelo K_y , coeficiente de produtividade da cultura ao déficit hídrico (LEITE et. al, 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo e dos trabalhos usados como parâmetros para a calibração e validação do MOPECO.

Os experimentos utilizados para calibração [AZEVEDO et al., ca.2015] e validação (SOUSA, 2006) do modelo MOPECO, e posterior recomendações de manejo da cultura para a região, foram conduzidos em uma de área de pesquisa pertencente à Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, localizada no município de Fortaleza, Ceará, Brasil, a 3°44' de latitude sul, 38°33' de longitude oeste e a 19,50 m de altitude.

Na Figura 1, pode-se observar a área experimental usada para a realização do ensaio com o melão amarelo (*Cucumis melo* L.), [AZEVEDO et al., ca.2015]



Figura 1. Área experimental da Estação Meteorológica da UFC, Fortaleza – CE, 2014.

A Figura 2, contém a área experimental usada para a realização do ensaio de (SOUSA, 2006).



Figura 2. Área experimental da Hidráulica da UFC, Fortaleza – CE, 2014.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Aw', caracterizado como clima tropical chuvoso, de savana tropical, com a época mais seca no inverno e com o máximo de chuvas no verão (AGUIAR et al., 2004).

As análises físico-químicas do solo (Tabela 1) e da água (Tabela 2) foram realizadas no Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará. O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo de textura areia franca, segundo EMBRAPA (2006).

Tabela 1. Características físico-químicas do solo na camada arável (0,0 - 0,2 m), Fortaleza, Ceará, 2010.

Análise química		Análise física	
PO_4^{3-} (mg dm ⁻³)	6	Areia fina (g kg ⁻¹)	451
K^+ (mg dm ⁻³)	92	Areia grossa (g kg ⁻¹)	364
$Ca^{2+}+Mg^{2+}$ (cmol _c dm ⁻³)	3,1	Silte (g kg ⁻¹)	122
Na^+ (mg dm ⁻³)	39	Argila (g kg ⁻¹)	63
Ca^{2+} (cmol _c dm ⁻³)	1,7 (0,8*)	Argila natural (g kg ⁻¹)	48
Mg^{2+} (cmol _c dm ⁻³)	1,4	Massa específica (g cm ⁻³)	1,47
Al^{3+} (cmol _c dm ⁻³)	0,05(0,4*)	Floculação (g 100g ⁻¹)	24
pH	5,6	Água útil (g 100g ⁻¹)	2,07
CE (dS m ⁻¹)	0,49(0,4*)	Classe textural	Areia franca

Os valores de ambas as áreas se assemelham. Valores parênteses, são referentes a área experimental da hidráulica da UFC, Fortaleza – CE.

Fonte: Moreira, (2010); Sousa (2010).

Tabela 2. Características químicas da água usada na irrigação do meloeiro, Fortaleza, Ceará, 2010.

Cátions (mmol _c L ⁻¹)					Ânions (mmol _c L ⁻¹)					pH	RAS	CE (dS m ⁻¹)	Classificação
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Σ				
1,00	1,70	4,30	0,20	7,20	3,80	-	3,60	-	7,40	7,9	3,81	0,73	C ₂ S ₁

Fonte: Mesquita, (2010).

O solo da área de estudos apresenta uma estrutura física de característica arenosa com baixa quantidade de argila e silte, que implica em uma boa drenagem, uma maior infiltração de água no solo e um melhor desenvolvimento radicular da cultura. Já, as suas características químicas apresentam um bom equilíbrio, mas se faz necessário uma calagem para o ajuste do pH da área, pois a cultura do melão é exigente quanto a este fator (COSTA, 2007).

A qualidade da água usada para a irrigação do melão, (tabela 2) observar-se um pH ligeiramente básico e uma condutividade elétrica adequada a cultura (COSTA, 2007). A classificação apresentada, segundo a análise, é C₂S₁, ou seja, é uma água de salinidade média (Condutividade Elétrica entre 250 e 750 μS cm⁻¹) e com baixo índice de sódio, e deve ser usada com precaução, de preferência em solos com boa drenagem – isto, quando houver uma lixiviação moderada do solo.

Os dados utilizados para a calibração foram provenientes de um experimento realizado por Azevedo et al., [ca.2015], quando estudaram a resposta da cultura do melão a diferentes lâminas de irrigação, em um delineamento experimental em blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. As necessidades de irrigação foram obtidas através da evapotranspiração de referência calculada pela equação de Penman-Monteith-FAO (ALLEN, 2006). O experimento iniciou em 2009 e obteve-se resposta da cultura a seis lâminas de irrigação (94; 187,9; 281,9; 375,8; 469,8 e 563,7 mm). Os rendimentos obtidos foram 11; 24,5; 29; 32,06; 26 e 25 t ha⁻¹, respectivamente [AZEVEDO et al., ca.2015]. O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento integrado com fluxo turbulento, com vazão média de 1,3 L h⁻¹. Já, a adubação foi realizada por meio de fertirrigação, segundo a recomendação de Crisóstomo (2002). O plantio ocorreu no dia 23 de outubro de 2009 em bandejas e, posteriormente, o transplante das mudas para o local definitivo seguiu o espaçamento de 2,0 m entre fileiras de plantas e 0,50 m entre elas. A duração do ciclo de cultivo foi de 66 dias, sendo 23 dias para o estabelecimento da cultura, 13 dias para a fase vegetativa, 20 dias floração, 10 dias de maturação.

Para a validação do programa MOPECO, utilizou-se como referência os resultados obtidos por Sousa (2006), que estudaram o efeito de quatro lâminas de irrigação localizada. O experimento foi executado em blocos inteiramente casualizados, com parcelas subdivididas em esquema fatorial 4 x 4. As exigências de irrigação foram obtidas através da evapotranspiração de referência calculada pela equação do tanque Classe “A” (ALLEN, 2006). O trabalho foi conduzido em 2005, e obteve resposta da cultura a quatro níveis de irrigação: (185,5; 270,25; 371 e 556,7 mm). Os rendimentos obtidos foram: 18,0; 21; 28 e 34,8 t ha⁻¹, respectivamente (SOUSA, 2006). O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento, com gotejadores integrados do tipo Katif, autocompensantes, espaçados a cada 0,5 m, com vazão média de 2,75 L h⁻¹. Para a realização da adubação foi usado o método da fertirrigação. Semeado no dia 20 de setembro de 2005 em bandejas, e posteriormente o transplante das mudas para o local definitivo seguiu o espaçamento de 2,0 m entre fileiras de plantas e 0,50 m entre plantas. A duração do ciclo da cultura foi de 65 dias, sendo 37 dias para o estabelecimento da cultura e fase vegetativa, 19 dias floração e 9 dias de maturação.

Na Tabela 3 há informações de densidade do plantio, a variedade da cultura, ano de instalação do experimento, dia de início de cada estágio fenológico e o número de irrigações totais realizadas no experimento, para o trabalho de Azevedo et al., [ca.2015] usado para a calibração e Sousa (2006) que foi utilizado para validação.

Tabela 3. Resumo dos dados dos ensaios com melão, para simulação do MOPECO.

Instalação do experimento em campo	n/IRR	Cultivar	Densidade de plantio plantas ha⁻¹	Estabelecimento da cultura (I)	Crescimento vegetativo (II)	Floração (III)	Maturação (IV)	Final (V)
Calibração								
Azevedo et al., [ca.2015]	66	Gold mine	10.000	23 out	6 nov	20 nov	5 dez	27 dez
Validação								
Sousa (2006)	68	Gold Mine	10.000	20 set	5 out	18 out	2 nov	26 nov

n/IRR = calendário de irrigação número de irrigações; As datas se referem ao início de cada fase; As lâminas aplicadas foram : 25, 50, 75, 100, 125 e 150% da ETo para Azevedo et al., [ca.2015] e 50, 75, 100 e 150% da ETo para Sousa (2006).

Utilizou-se quatro lâminas de irrigação na calibração do modelo MOPECO, variando de 94 mm a 563,7 mm (FIGURA 3a), e quatro lâminas de irrigação variando de 185,5 mm a 556,6 mm para sua validação (FIGURA 3b).

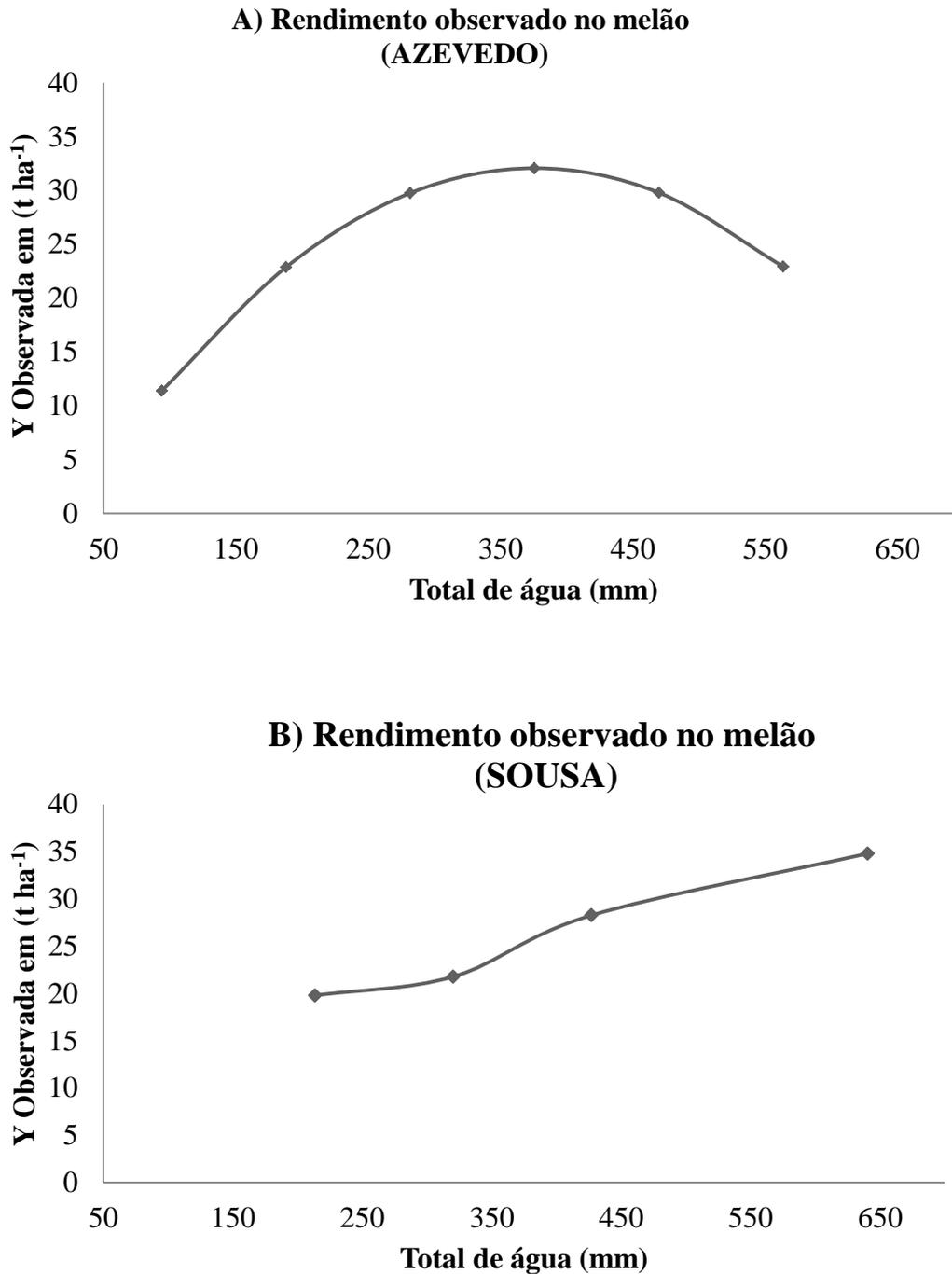


Figura 3. Rendimento total em função da lâmina de irrigação aplicada para os dois experimentos utilizados. (A) AZEVEDO et al., [ca.2015] e (B) SOUSA (2006)

O modelo foi considerado calibrado quando a diferença entre os rendimentos simulados e os observados nos trabalhos foi igual ou inferior a 10%, e quando a porcentagem de acertos pelo programa MOPECO de rendimentos simulados eram superiores a 70%. (DOMÍNGUEZ et al., 2014a).

3.2. Calibração dos parâmetros de entrada no sistema MOPECO

Os coeficientes de produção do melão, coeficiente de cultura (K_c) e coeficiente de resposta ao déficit hídrico (K_y), necessários para calibração do modelo MOPECO e para sua validação foram adquiridos na literatura nacional e internacional, e em pesquisas realizadas na região litorânea do Ceará (AZEVEDO et al., [ca.2015]; MIRANDA et al., 2001; MANGAL et al., 1988).

As variáveis climáticas foram adquiridas no banco de dados da Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará. E, os demais dados relacionados com a fisiologia da cultura foram obtidos em artigos realizados com o meloeiro amarelo no Ceará e nas regiões de fronteira com o Rio Grande do Norte e Piauí (VIANA, 2002; SARAIVA, 2008; COSTA et al, 2008; MIRANDA, 2001; LEITE, 2011) Além dos dados obtidos nos experimentos de Azevedo et al., [ca.2015] e Sousa (2006).

A Tabela 4 contém os dados essenciais que são usados no modelo MOPECO, com suas respectivas unidades de medidas, para que o programa possa simular o desempenho em função da dose bruta de irrigação.

Tabela 4. Dados utilizados para simulação do cultivo pelo modelo MOPECO.

Descrição	Unidade de medida
Desenvolvimento do cultivo	
K_c	adimensional
Etapas fenológicas do cultivo	Dia Juliano
Estresse hídrico	
K_y	Adimensional
Profundidade efetiva das raízes	Metro
Textura de solo	Adimensional
Profundidade de solo	Metro
Capacidade de retenção de água	%
Variáveis climáticas	
ETo	mm dia ⁻¹
Precipitação	mm dia ⁻¹
Produtividade de cultivo	
Rendimento potencial (Y_m)	kg ha ⁻¹
Otimização	
Área	ha
Volume de água disponível	m ³

Fonte: Leite, 2011.

O processo de cálculo realizado pelo programa MOPECO no módulo I, para o desempenho/irrigação, está resumido na Figura 4. Este modelo de simulação de cultivos apresenta uma estrutura algorítmica simplificada em relação a outros modelos e exige um menor número de dados, tais como solo, clima, potencial de rendimento, tipo de irrigação, dados de colheita e informações básicas sobre a cultura (JONES et al., 2003, LOPEZ-MATA et al., 2010, LEITE, 2011).

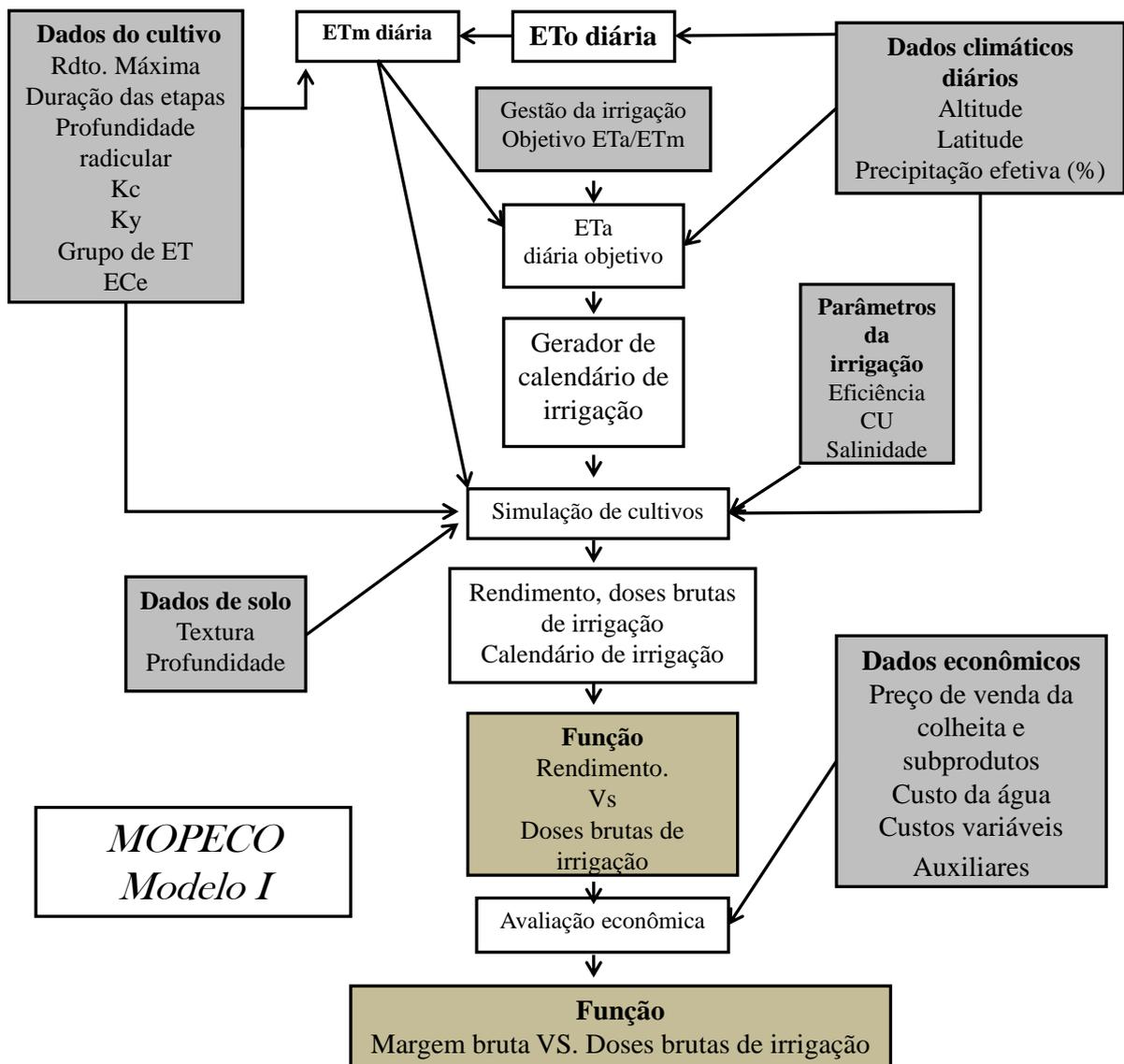


Figura 4. Diagrama esquemático do processo de cálculo para a relação de água e o manejo de irrigação.

3.3. Os dados meteorológicos

Alguns dos dados de entrada do modelo MOPECO, para cálculo da otimização da lamina de água, são: temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima do ar (T_{min}), umidade

relativa máxima (UR max), umidade relativa mínima do ar (UR min), horas de sol (n / N), duração real da luz do sol durante o dia, duração máxima da luz do sol durante o dia, velocidade do vento (v) e precipitação efetiva (Pe).

A Figura 5 apresenta os valores da evapotranspiração de referência e da precipitação nos períodos em que ocorreram os ensaios dos trabalhos usados para a calibração e validação do modelo MOPECO.

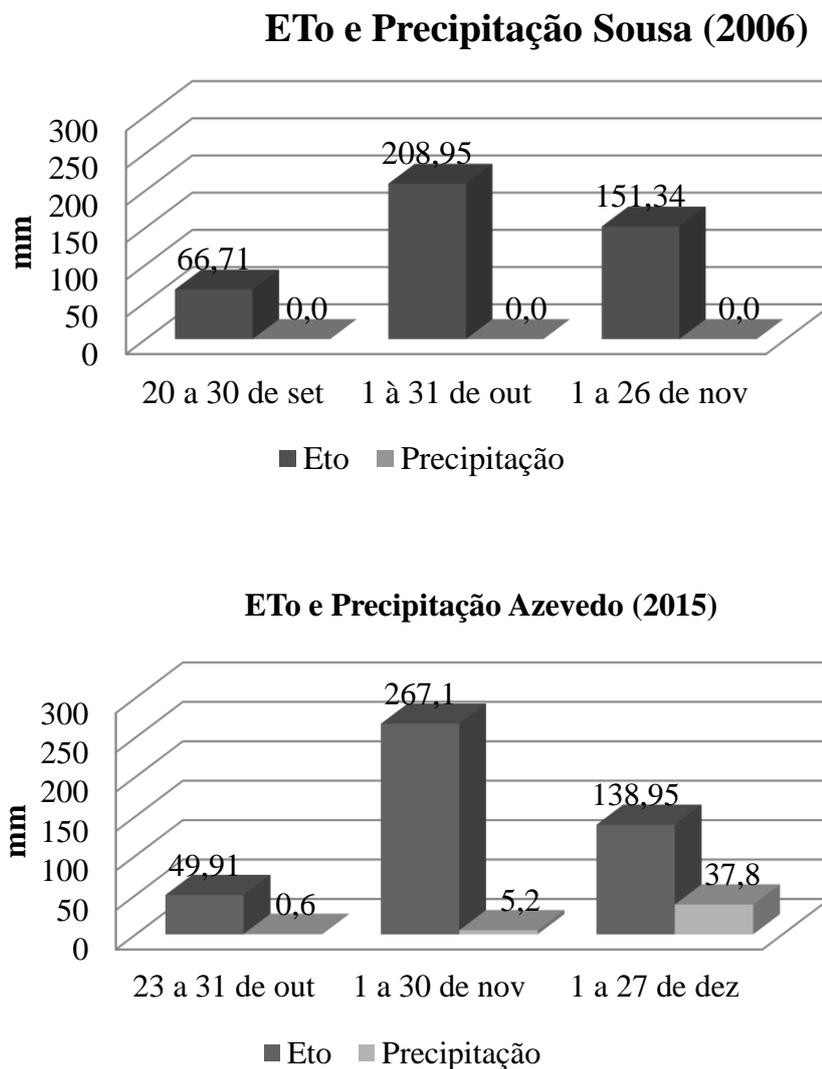


Figura 5. ETo e Precipitação em Fortaleza no período em que ocorreram os experimentos de Azevedo et al., [ca.2015] e Sousa (2006).

3.4. Duração do ciclo de cultivo em Graus-Dias-Diário (GDD)

Para obter a duração dos estágios de crescimento do melão em termos de GDD, o

MOPECO utiliza o método de triangulação dupla (SEVACHERIAN; et al., 1977;.. DOMÍNGUEZ et al., 2014b). Dois parâmetros devem ser considerados para o cálculo GDD: TmínL (temperatura limiar mínima para seu desenvolvimento, em °C) e TmáxL (temperatura limiar superior em que a taxa de desenvolvimento começa a diminuir, em °C). para a cultura do melão a TmínL pode variar de 10 a 15 °C e TmáxL 30-45 °C (WOLFE et al., 1989; BAKER e REDDY, 2001; IBARRA et al., 2001; CHANG et al., 2011).

$$GDD = \frac{(T_{máx} - T_{mínL})^2 - (T_{máx} - T_{máxL})^2}{4(T_{máx} - T_{mínL})} \quad (5)$$

Em que:

TmáxL é a temperatura superior a partir da qual a taxa de desenvolvimento começa a diminuir (°C);
TmínL é a temperatura abaixo da qual o desenvolvimento cessa (°C);

h é o período de cálculo GDD (adimensional);

Tmáx é a temperatura máxima diária (°C);

Tmín é a temperatura mínima do dia corrente (h = 1) ou no dia seguinte (h = 2) (°C);

GDD é graus dias diário, calculado como a soma da estimativa de crescimento em graus dias, durante o período entre Tmín e Tmáx do dia corrente (h=1) e durante o período entre Tmáx do dia atual e Tmín da próximo dia (h=2) (°C).

Para estimar, com maior precisão, a duração das etapas do melão em GDD, foram utilizados como referencia uma série de artigos realizados na região (VIANA et al., 2002; ANJOS, R. M. et al., [ca.2016]; SARAIVA et al., 2008; COSTA et al., 2008; MIRANDA et al., 2001). O procedimento contou com o cálculo da média dos ciclos de toda a série, e os que apresentavam desvio padrão muito alto, em relação aos demais trabalhos, foram excluídos, mantendo-se os outros, que foram utilizados para calcular a duração das etapas em GDD para a região em estudo.

Os dados foram tabulados, calculados e analisados em planilha eletrônica EXCEL[®], onde se calculou as etapas em GDD. Para estimar o início e o fim de cada etapa fenológica foi empregada a escala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt e da Indústria Química) (BLEIHOLDER et al., 2001). A Tabela 4 contém os dados que descrevem a duração das etapas, os valores de Ky e Kc, obtida a partir de diferentes locais da região litorânea.

Tabela 5. Duração em dias das etapas de Ky e Kc de diferentes autores, usadas para o cálculo das etapas em GDD.

	Ano	Número de dias								
		Ky (I)	Ky (II)	Ky (III)	Ky (IV)	Kc (I)	Kc (II)	Kc (III)	Total (Kc)	Total (Ky)
BBCH	Início	5	25	42	60	5	42	60		
	Fim	23	41	59	70	41	59	70		
Fortaleza	2002	28	12	15	5	40	15	5	60	60
Marco	2008	22	10	22	7	32	22	7	61	61
Pacajus	2008	27	9	18	15	36	18	15	69	69
Paraipaba	2001	30	11	18	7	34	18	7	66	66
Pentecoste	2008	27	10	19	8	37	19	8	64	64
Azevedo	2015	23	13	20	10	36	20	10	66	66
Sousa	2006	21	16	19	9	37	19	9	65	65

Ky (I): início; Ky (II): Floração, Ky (III): Formação do fruto, Ky (IV): senescência. Kc (I): Estádio vegetativo; Kc (II): Formação do fruto; Kc (III): senescência. Fortaleza (VIANA, F. M. P. et al., 2002); Marco (SARAIVA, K. R ; et al., 2008); Pacajus (ANJOS, R. M. et al., [ca.2016]); Paraipaba (MIRANDA, F. R. et al., 2001); Pentecoste (COSTA, Z. P. et al., 2008);. Calibração (AZEVEDO et al., [ca. 2015]); VALIDAÇÃO (Sousa, 2006), ambos os trabalhos realizados em Fortaleza, Ceará.

3.4.1. Coeficiente da cultura (Kc) e coeficiente de resposta ao déficit hídrico (Ky)

Os coeficientes de cultivo (Kc) usados para a calibração inicial do programa MOPECO foram obtidos através do Boletim da FAO 56 (ALLEN, et al., 2006), para as condições ambientais da região e calibrados de acordo com pesquisas realizadas na região litorânea do Ceará, levando-se em consideração que o estudo utilizado para validação foi realizado no mesmo município, logo os parâmetros de Kc para o presente trabalho foram considerados os mesmos.

O déficit hídrico na cultura influencia diretamente o rendimento do cultivo, por isso o conhecimento dos efeitos desse déficit sobre o rendimento das culturas é importante para o planejamento da produção. Esse efeito pode ser avaliado pelo coeficiente de resposta do rendimento da cultura ao déficit hídrico (Ky), que foi descrito na equação proposta por Doorenbos e Kassam (1979). Para calibrar os valores de Ky, utilizaram-se como valores de partida os disponíveis na literatura específica, (DOORENBOS e KASSAM 1979). Vale ressaltar que a duração das etapas para Ky, necessariamente, não correspondem a duração das etapas de Kc.

Algumas culturas apresentam semelhança entre a duração das etapas (Figura 6), porém, para o caso do melão, os Ky(i) e Ky(ii) corresponde a etapa Kc I. Além disso, para garantir o estabelecimento da cultura em campo, os dias iniciais da etapa Ky (i) não deve sofrer nenhum estresse elevado pelo menos até o aparecimento das duas folhas primárias.

Após esta fase pode ser aplicado um estresse mais elevado. (SARKAR et al., 2008; DOMÍNGUEZ et al., 2014b)

A Figura 6 contém os valores médios de Kc e Ky para cada etapa do ciclo fenológico da cultura do melão amarelo, baseando-se em trabalho encontrados na região litorânea do Ceará e do Rio Grande do Norte.

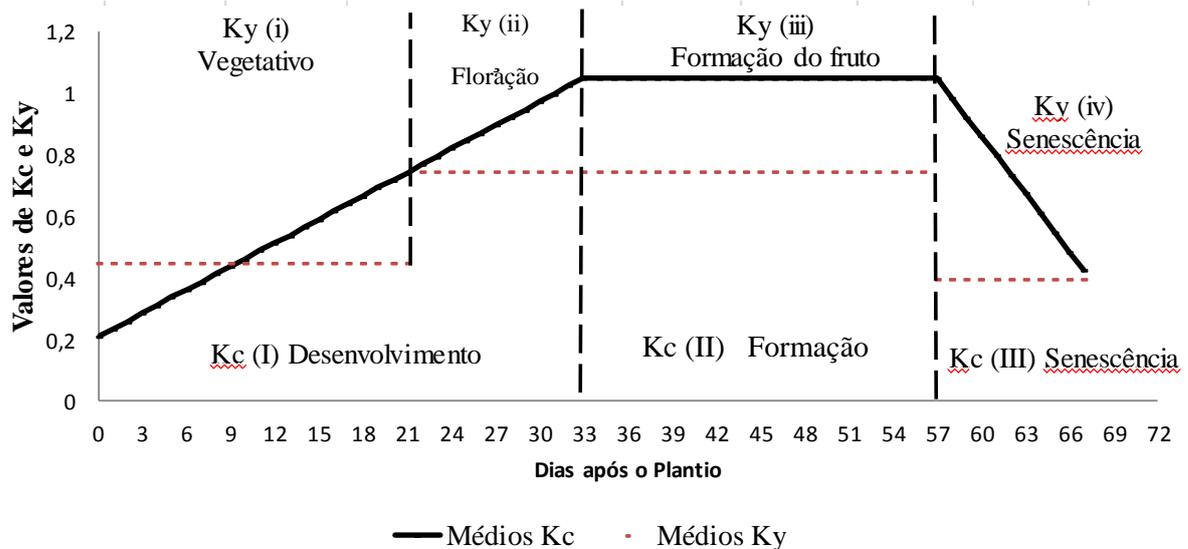


Figura 6. Valores obtidos de Kc (MIRANDA et al., 2001; PINHEIRO, 2000; SILVA,1981; LEITE, 2014) e Ky (DOORENBOS e KASSAM, 1979) para cada fase de desenvolvimento do melão. Kc (I): desenvolvimento das culturas; Kc (II): maturação do fruto; Kc (III): senescência; Ky (i): período vegetativo; Ky (ii): período de floração; Ky (iii): formação de rendimento; Ky (iv); maturação.

3.5. Produtividade com relação ao uso da água.

Define-se eficiência de uso da água (EUA) como sendo a razão entre o rendimento da cultura e a lâmina de água aplicada durante o ciclo da cultura. Para se determinar produtividade com relação ao uso da água, foi usada a seguinte equação:

$$EUA = \frac{Y}{I} \quad (6)$$

Em que :

Y é o rendimento (kg ha^{-1});

I é a lâmina total aplicada (mm).

3.6. Irrigação deficitária controlada por etapa (ORDI)

Tendo como objetivo o uso mais eficaz da água, trabalhos recentes estão associando produtividades elevadas ao uso racional dos recursos hídricos, como é o caso da irrigação com déficit controlado é uma técnica que permite aumentar a eficiência do uso da água nos cultivos. Segundo Mitchell et al., (1984), este método baseado na redução da irrigação nas fases fenológicas da cultura quando o déficit hídrico não afeta de forma marcante a produção e qualidade da produção, e supre plenamente as necessidades de água durante os períodos do ciclo mais sensíveis da cultura.

Domínguez et al., (2014a) citam que a metodologia ORDI (Optimization of the regulated deficit irrigation – Otimização da irrigação com déficit controlado) pode ser usada para calcular 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 dividida pela ETm acumulada por dia durante todo o ciclo) usando um software de otimização linear (LINGO, 2015). English e Navaid (1996) atribuem os benefícios potenciais da irrigação com déficit controlado a três fatores: aumento da eficiência da irrigação, redução dos custos de irrigação e redução de riscos associados aos impactos ambientais.

A ORDI requer um conjunto de restrições para evitar resultados inaceitáveis sob o ponto de vista fisiológico, como a subestimativa ou a sobre estimativa de rendimento:

1º - A relação da evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração real (ETa/ETm) em cada etapa deve ser maior ou igual a 0,5 (ALLEN et al., 2006), pois o nível de tensão aplicada a uma fase particular afeta o rendimento final (DOORENBOS e KASSAM, 1979; MARTÍN DE SANTA OLALLA et al., 2004; SARKAR et al., 2008). 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 (Equação 7). Valores fixos para o primeiro estágio, a fim de obter determinado rendimento meta são fixados a princípio. Portanto, para divisão do estagio inicial mantendo Ky, o modelo utiliza a equação de Stewart et al., (1977), reformulada por Domínguez et al., (2014b):

$$Y_a = Y_m \left(1 - ky_1 \left(1 - \left(\frac{ET_{a_{Kc(t)}} + ET_{a_{ky(t)}}}{ET_{m_1}} \right) \right) \right) \prod_{k=2}^3 \left(1 - ky_k \left(1 - \frac{ET_{a_k}}{ET_{m_k}} \right) \right) \quad (7)$$

2º - O programa é considerado calibrado quando a diferença entre a produtividade observada em relação à simulada for igual ou inferior a 10%, e quando o percentual de rendimento simulado satisfizer o requisito de ser igual ou superior a 70% (DOMÍNGUEZ, 2011; LEITE, 2011).

3º - Se devem evitar altos níveis de estresse hídrico na primeira fase de desenvolvimento e na fase reprodutiva (KUMAR et al., 2007; SARKAR et al., 2008; LEITE, 2014).

O objetivo desta metodologia é de maximizar o rendimento desejado (Y_a), sendo necessário como dados de entrada, o rendimento máximo (Y_m), a ET_m acumulada para cada fase e subestágios e os K_y , anteriormente calibrados. Para estimar a ET_m acumulada por etapa, deve-se utilizar uma série meteorológica para uma adequada precisão da estratégia e, assim, diminuir os riscos de variação climática ao planejar um experimento ORDI ou aconselhar os agricultores sobre a combinação mais adequada de níveis de estresse para um alvo determinado de taxa global de ET_a/ET_m . A variabilidade dos resultados de um número suficiente de anos deve ser analisada estatisticamente. O otimizador calcula a taxa de ET_a/ET_m teórica para cada etapa de K_y que maximiza a produtividade do cultivo. Para o cálculo de otimização foi utilizado o software LINGO[®], onde são aplicadas as restrições acima mencionadas. Segue em anexo, o a estrutura e o algoritmo utilizado.

3.7. Análise econômica

Para a realização da análise real neste trabalho, foram levantados os preços dos insumos em lojas agropecuárias de Fortaleza, em junho de 2015. Em seguida utilizou-se o preço do quilograma do melão de acordo com aquele praticado na compra pelos comerciantes da CEASA-CE. E de posse da produtividade de cada tratamento, calculou-se a receita líquida para cada um deles, com a intenção de verificar o retorno econômico para o produtor, sendo o custo total (CT) foi calculado pela seguinte fórmula:

$$CT = SE + FE + DF + OME + OMA + CA + EI + JC + AG + CE \quad (7)$$

Em que:

- SE é o custo das sementes (R\$ ha⁻¹);
- FE é o custo dos fertilizantes (R\$ ha⁻¹);
- DF é o custo dos Agrotóxicos (R\$ ha⁻¹);
- OME é o custo das operações mecanizadas (R\$ ha⁻¹);
- OMA é o custo das operações manuais (R\$ ha⁻¹);
- CE é o custo das caixas com melões (R\$ ha⁻¹);
- CA é o custo administrativo (R\$ ha⁻¹);
- EI é o custo do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹);
- JC é o custo com os juros sobre o custo (R\$ ha⁻¹);
- AG é o custo da água por 1000 m³ (R\$ ha⁻¹);

Já, a receita bruta (RB) foi calculada pela seguinte fórmula:

$$RB = PC \cdot \text{preço} \quad (8)$$

Em que:

- PC é a produtividade comercial (kg ha⁻¹);
- Preço é o preço do melão (R\$ kg⁻¹);

E, por fim, a receita líquida (RL) foi calculada pela equação:

$$RL = RB - CT \quad (9)$$

Em que:

- RB é a receita Bruta (R\$);
- CT é o custo total (R\$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produtividade máxima (Y_m), coeficiente de cultura (K_c), coeficiente de resposta da produtividade da cultura ao déficit hídrico (K_y)

O rendimento máximo da cultura foi calibrado de acordo com os valores encontrados no trabalho Azevedo et al., [ca.2015] e Sousa (2006), considerando-se o potencial produtivo (Y_m) da região de 40 t ha⁻¹.

O coeficiente de desenvolvimento da cultura (K_c) e o coeficiente de resposta da produtividade ao estresse hídrico (K_y) foram calibrados seguindo as mesmas metodologia e ordem do descrito na literatura de referência proposta pela FAO (ALLEN et al., 2006; DOORENBOS e KASSAM, 1979), sendo ajustado de acordo com o manejo de irrigação empregado pelos autores Azevedo et al., [ca.2015] e Sousa (2006).

Após o cálculo do valor de K_c que melhor representou a produtividade sob a relação ET_a/ET_m por etapa utilizada no experimento real e, conseqüentemente, simulada pelo modelo MOPECO, se procedeu a quantificação dos valores de K_y , também, por etapa partindo dos valores recomendados pela FAO (ALLEN et al., 2006; DOORENBOS e KASSAM, 1979).

Os valores dos coeficientes de cultivo (K_c) e dos coeficientes de resposta da produtividade do cultivo ao estresse hídrico (K_y) que melhor representaram o rendimento obtido sob a lâmina aplicada nos experimentos utilizados estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficiente de cultivo (K_c) e coeficiente de resposta da produtividade ao estresse hídrico (K_y) do meloeiro ajustados para as etapas de cultivo, Fortaleza, Ceará, 2006 e 2010.

	Vegetativo (I)	Formação do fruto (II)	Final do ciclo (III)
	K_c		
	0,21	1,05	0,30
	K_y		
Melão	Vegetativo (i)	Floração (ii)	Formação do fruto (iii)
	0,40	0,80	0,80
			Final do ciclo (iv)
			0,4

O coeficiente de cultivo (K_c) apresentou grande variação entre o estádio

vegetativo e a fruto. Esse comportamento é semelhante aos apresentados por Miranda (2001) e Monteiro (2004), que apresentaram valores de Kc de 0,21-0,5; 0,21-1,21; 0,65-0,98, respectivamente, estando em uma faixa típica pra região, também confirmado pelos autores. Porém, esse comportamento difere do trabalho de Marouelli (1998) realizado em região de clima mais ameno, com incidência e tempo de exposição à luminosidade relativamente menor, o que pode explicar a variação dos valores.

Os estágios II e III, para o coeficiente de resposta da produtividade ao estresse hídrico (Ky) do meloeiro, foram ajustados e ligeiramente inferiores aos indicados pela FAO (DOORENBOS e KASSAM, 1979). Vale ressaltar que essas fases foram ajustadas de acordo com a escala BBCH (MIRANDA e BLEICHER, 2001). O Ky (i) corresponde a praticamente dois terço da fase final do estagio vegetativo do coeficiente do cultivo (Kc), quando inicia-se a floração e Ky (ii) coincide com a fase intermediária do coeficiente de cultivo, ou seja, formação do fruto. Os valores de Ky apresentaram resultados próximos aos recomendados pela FAO (ALLEN et al., 2006; DOORENBOS e KASSAM, 1979). Os valores obtidos foram semelhantes, também, aos descritos por Leite (2014), que realizou a calibração do programa MOPECO para a região litorânea do estado do Ceará. Portanto, os valores de Kc e Ky obtidos na calibração foram condizentes com a região de estudo.

As etapas consideradas para os coeficientes Kc e Ky com a duração para cada uma delas, em graus dias diários acumulados (GDD), estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 Duração de Kc e Ky para os estádios de desenvolvimento do meloeiro em graus dias diários acumulados (GDD).

Local e ano do trabalho		Início	Kc (I)	Kc (II)	Kc (III)	Ky (i)	Ky (ii)	Ky (iii)	Ky (iv)
		Final	5	42	60	5	24	42	60
			41	59	70	23	41	59	70
GDD acumulados (°C)									
Paraipaba	2001 b		816,83	1.172,38	1.308,84	579,49	816,83	1.172,38	1.308,84
Fortaleza	2002 b		823,11	1.129,80	1.252,78	435,11	823,11	1.129,80	1.252,78
Pacajus	2008 b		785,40	1.172,86	1.494,84	579,42	785,40	1.172,86	1.494,84
Marco	2008 a		691,60	1.156,44	1.306,23	458,50	691,60	1.156,44	1.306,23
Pentecostes	2008 c		925,00	1.425,00	1.625,00	675,00	925,00	1.425,00	1.625,00
	Média		808,39	1.207,10	1.393,47	569,78	808,39	1.207,10	1.393,47
	SD		83,75	124,58	156,82	77,17	83,75	124,58	156,82
	CV (%)		10,36	10,32	11,22	13,54	10,36	10,32	11,22
	CV (dias)		3,9	5,8	7,35	3,6	3,9	5,8	7,3

Portanto, o ciclo médio total de cultivo do meloeiro em GDD foi de 1.393,47 °C.

A duração das etapas em GDD apresentadas pelos diferentes autores mostra regularidade, e isso pode ser observado pelos valores do CV, que, segundo Crespo (2002), estão condizentes, pois como o GDD é calculado considerando os fatores ambientais e eles não podem ser controlados, logo o CV pode apresentar um valor mais elevado.

Os valores máximos de rendimento observados para a simulação de produção da cultura do melão amarelo estão descritos na Tabela 8. Os valores simulados pelo programa MOPECO subestimou alguns valores observados pelos autores. Porém, as estimativas apresentaram-se dentro de uma margem de diferença aceitável de 10%, entre o simulado e observado. O programa MOPECO foi capaz de simular 88% dos casos, podendo assim ser considerado calibrado e validado.

Tabela 8. Rendimentos ($t\ ha^{-1}$) observados e simulados para os trabalhos de Azevedo et al., [ca.2015] e Sousa (2006) em função do calendário de irrigação adotado, Fortaleza, Ceará.

	Azevedo et al., [ca.2015]						Sousa (2006)			
Rendimento	94,0	187,9	281,9	375,8	469,8	563,7	185,5	270,25	371	556,5
Observado	11,38	24,5	29	32,06	26,5	24,8	19,78	21,77	28,26	34,80
Simulado	11,61	24,58	31,17	33,63	31,97	33,08	20,15	23,81	31,06	36,96

As lâminas utilizadas por tratamento, para o trabalho de Azevedo, et al., [ca.2015] foram: T1 – 94 mm; T2 - 187,9; T3 – 281,9 mm; T4 – 375,8 mm; T5 – 469,8 mm; T6 – 563,7. Para Sousa (2006) as lâminas usadas foram: T1 – 185,5 mm; T2 - 270,25; T3 – 371 mm; T4 – 556,5 mm.

Os rendimentos observados apresentaram resposta polinomial quadrática, sendo o rendimento crescente até a lâmina de irrigação correspondente a 100% da ETo, quando atingiu seu ápice. Para lâminas maiores (125 e 150% da ETo), que correspondem respectivamente a (469,8 e 563,7 mm), no trabalho de Azevedo et al., [ca.2015], o rendimento apresentou decréscimo. Já para o trabalho de Sousa (2006) a lâmina acima do 100% ETo, ou seja, 556,5 mm, nos mostra que a produtividade continua crescendo com o aumento da lâmina. Frizzzone e Andrade Júnior (2005) justificam essa queda a fatores adversos, lixiviação de nutrientes, doenças causadas pela falta de aeração do solo, entre outros. Entretanto, esses fatores o programa não é capaz de realizar previsão. A mesma tendência polinomial quadrática foi observada pelos autores Monteiro (2004); Silveira (2013) e Barros (1999), confirmando a coerência dos resultados simulados. Os valores alcançado, também, estão condizentes com os valores de produção encontrados na região litorânea do estado do Ceará Araújo (2010).

4.2. Calibração e validação do MOPECO

A calibração do programa MOPECO para a cultura do melão foi realizada usando o trabalho de Azevedo et al., [ca.2015]. Os resultados simulados apresentaram uma boa correlação com os dados reais obtidos pelos autores para o rendimento da cultura. Os coeficientes calibrados de K_c e K_y estavam dentro da faixa de valores obtidos nos trabalhos de Raes et al. (2009), Miranda et al. (2001) e Leite et al. (2010). Os valores do desempenho potencial usados para a calibração da cultura do melão amarelo estão dentro da gama de valores encontrados nos últimos quinze anos na região do estudo (MIRANDA et al., 2001; MEDEIROS et al., 2000; SILVA et al., 2005; COSTA et al., 2008).

Os valores simulados para os tratamentos de (94 mm; 187,9 mm; 281,9 mm e 375,8 mm) do melão amarelo (Figura 7A) diferem menos do que 10% do desempenho observado, exceto para o desempenho obtido com as maiores lâminas (469,8 e 563,7 mm) por Azevedo et al., [ca.2015], quando a simulação apresentou uma subestimativa, em relação ao rendimento obtido no ensaio em campo. Isso ocorre porque o programa não é capaz de simular a queda de rendimento por fatores adversos que não seja o suprimento hídrico. Azevedo et al., [ca.2015] demonstraram que, a partir de uma lâmina de irrigação de 100% da E_{To} , a produção entrava em declínio. Essa redução pode ser relacionada a falta de aeração do solo, lixiviação do nutrientes, doenças, pragas (AGUIAR, 2004, FREIRE, 2006). Já, nos trabalhos desenvolvidos por Sousa (2006), Miranda et al. (2001) e Monteiro et al. (2004) a produtividade cresceu de forma exponencial até 100% da E_{To} e, posteriormente, o crescimento ocorreu de forma linear. Esse padrão de crescimento da produção é bem comum para a cultura do melão amarelo na região litorânea do estado do Ceará, podendo estar relacionado às características físicas do solo e climáticas do local de cultivo (BERNARDO, 2006; REZENDE, 1998; MONTEIRO, 2004). É importante levar em consideração todos os fatores que podem afetar a produção da cultura, pois mesmo diferenças de poucos metros na área de plantio ou no período entre os cultivos podem promover grandes variações na produção.

A validação do MOPECO foi realizada com dados obtidos a partir da calibração, de acordo com o recomendado pela literatura para a calibração de modelos de culturas (GARCIA-VILA et al., 2009; HENG et al., 2009; STEDUTO et al., 2009). Esses dados foram utilizados juntos ou experimento realizado por Sousa (2006). Os dados de calibração substituíram os dados do trabalho de Sousa (2006), exceto os dados de produção e os dados climáticos, que são do trabalho original de Sousa (2006). Com o objetivo de verificar a

consistências dos dados obtidos na calibração, os dados da calibração foram considerados corretos quando o resultado da produção de frutos para trabalho de Sousa (2006) diferiu menos de 10% do observado no experimento original de Sousa (2006).

Os rendimentos observados, em relação aos simulados para a cultura do melão, de forma geral, apresentaram semelhanças, ou seja, todos ficaram dentro no limite de variação estipulado de 10%, a mais ou a menos com relação a ou rendimento observado (Figura 7B), onde Leite (2011) relata em seu trabalho que os rendimentos obtidos com as menores lâminas de irrigação foram os que apresentaram maiores variações, quando relacionados aos rendimentos simulados, extrapolando a margem de 10% de tolerância estabelecida. Essa variação superior aos 10% pode ter ocorrido pelo fato do MOPECO ser um programa para se calcular a produtividade em condições de déficit hídrico, logo os valores de rendimento obtidos sob lâmina de irrigação superior a 100% da ETo podem estar fora da capacidade de simulação do modelo estudado.

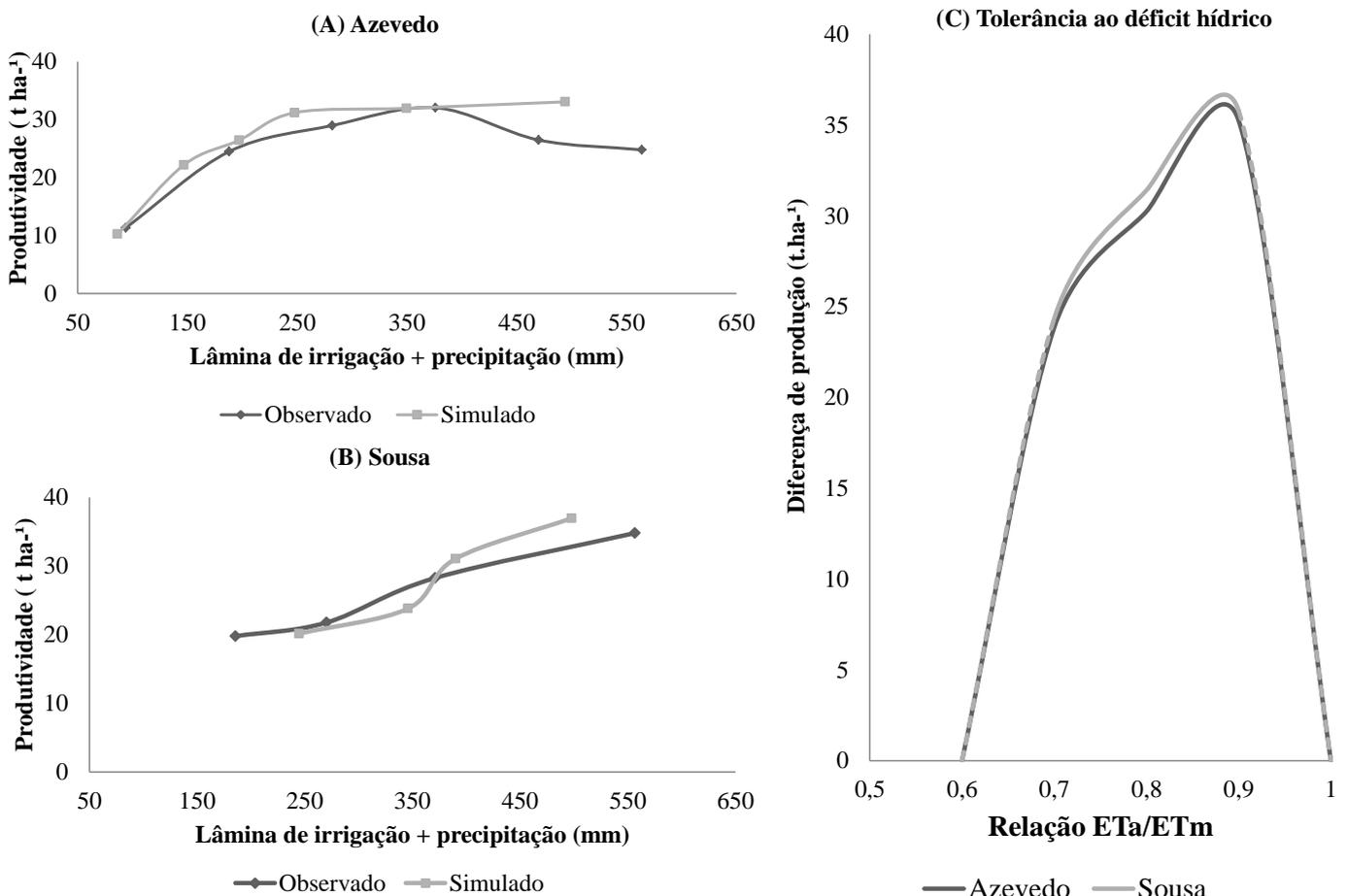


Figura 7. Variação entre os rendimentos observados e simulados para a calibração (A) Azevedo et al., [ca.2015] e validação (B) Sousa (2006) e tolerância ao déficit hídrico (C) pelo modelo MOPECO, Fortaleza, Ceará.

Após a calibração e a validação do MOPECO, foram analisados os dados de produção e o déficit hídrico obtido para a cultura do melão, com o objetivo de identificar os níveis de tolerância da cultura à deficiência hídrica e a diferença de produtividade entre a simulação e a obtida em campo.

Observa-se na (Figura 7C) que, de forma geral, as taxas globais ETa/ETm estão entre 0,6 e 1,0. E estas taxas globais foram relacionadas com os valores médios otimizados e obtidos através do programa MOPECO. Os valores de ETa/ETm obtidos para Azevedo et al., [ca.2015] foram de 0,64 a 0,86 e para Sousa (2006) de 0,67 a 8,6. Os picos de produção para Azevedo et al., [ca.2015] e Sousa (2006) foram estimadas, respectivamente, em 33,63 e 36,96 toneladas por hectare. A diferença encontrada para a relação ETa/ETm de Azevedo et al., [ca.2015] e Sousa (2006) pode ser explicada pela ETo do período de cultivo e a metodologia de obtenção da mesma (COSTA, 2002; SILVEIRA, 2013; BERNARDO, 2006). A diferença entre os picos de produção estimados foi de 0,54 toneladas por hectare, esse valor para uma produção comercial de pequeno porte pode não representar grandes perdas, por exemplo: produção em áreas de três a cinco hectares.

Costa (2002) relata ter aplicado três lâminas de irrigação, 64; 83 e 100% da ETo diária, com os déficits hídricos sendo iniciados a partir do segundo estágio fenológico. Os melhores resultados de produtividade foram obtidos com as lâminas de 83 e 100% da ETo . E, ainda assim, com uma diferença de produtividade entre as duas lâminas acima de 8% ou 2,2 toneladas por hectare. Já, para a tolerância do cultivo ao déficit hídrico, os valores se assemelham aos valores calibrados e validados pelo autor, onde as maiores produtividades foram obtidas em situações com déficit hídrico abaixo de 17%.

Os valores obtidos foram semelhantes aos encontrados por Silveira (2013), Monteiro (2004), Costa (2002), Campelo (2012) e Barros (1999), ratificando as informações apresentadas pelo programa MOPECO.

4.3. Análise estatística dos rendimentos simulados e observados

Os dados de rendimentos observados e simulados pelo MOPECO foram submetidos ao teste f com nível de significância de 95%, para verificar o quanto os valores simulados se aproximavam dos observados. O resultado do teste f apresenta valor de 0,76, indicando que existe aproximação dos valores simulados em relação aos observados. Em outras palavras, isso significa que a produção simulada é semelhante à observada,

demonstrando que o MOPECO foi calibrado e validado adequadamente (Tabela 9).

Tabela 9. Teste f com duas amostras para variância

	<i>Simulado</i>	<i>Observado</i>
Média	26,83	27,58
Variância	22,82	29,99
Observações	9	9
GL	8	8
F		0,76
P (F≤f) uni-caudal		0,35
F crítico uni-caudal		0,29

Trabalhos realizados por Adilson (2005) e Bertoldo (2008) relatam que, se o valor de F for maior que o F crítico, não existe diferença significativa entre as médias. Logo, se verifica que não ocorreu diferença significativa entre o rendimento observado e o simulado, observando-se que os valores simulados estão dentro de uma faixa normal de desvio padrão dos modelos de simulação.

4.4. Irrigação deficitária controlada por etapa (ORDI)

O otimizador, programa MOPECO, calculou a relação teórica ETa/ETm por estágio de Ky que maximizou o rendimento da cultura do melão para a relação global (RG) ETa/ETm , que neste trabalho alcançou os valores de 0,7; 0,8 e 0,9 (Figura 8), utilizando a série de dados climática de 15 anos (2000 a 2014). Para as simulações, a data de transplante para Azevedo et al., [ca.2015] foi o dia 28 de agosto e para e Sousa (2006) o dia 29 de outubro. A duração da fase de crescimento foi calculada através do GDD acumulado obtido, e tendo por base os valores apresentados na Tabela 5.

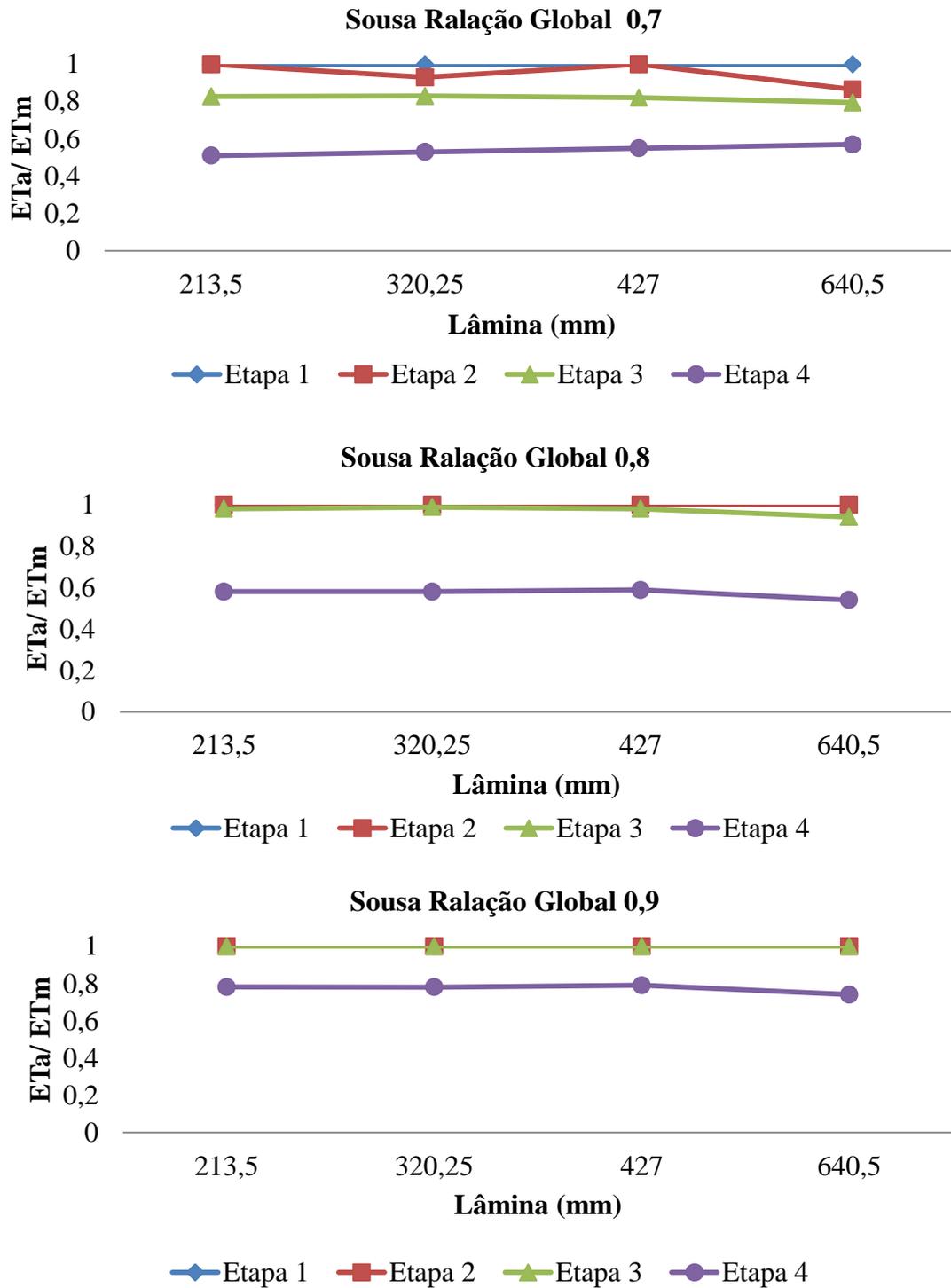


Figura 8. Relação de ETa/ETm por estágio de Ky e tratamento, para Sousa (2006), Fortaleza, Ceará.

Os resultados indicaram a distribuição otimizada do déficit hídrico no ciclo da cultura do melão. Os rendimentos obtidos na simulação foram comparados com os rendimentos observados, como a relação ORDI, durante todo o ciclo de crescimento.

Para relação global de 0,7 da ETa/ETm otimizada, de acordo com as etapas

definidas para K_y , aplicou o déficit nas condições de restrição da programação e preservou as etapas mais sensíveis, ou seja, não aplicando déficit hídrico nas etapas mais sensíveis do cultivo, quando pode-se preservar o rendimento máximo (ALLEN, 2006). No segundo estágio, se verifica um baixo déficit hídrico tanto em Azevedo et al. [ca.2015] como em Sousa (2006). Um comportamento excêntrico é encontrado na fase de maturação do fruto, onde os valores de ETa/ETm decrescem. Este fato pode ter ocorrido devido a algum valor não tão preciso, utilizado para alimentar o programa ou pelo fato do MOPECO, possivelmente, não simular adequadamente em condições de excesso hídrico.

Já, para a relação global de 0,8, os valores foram maiores que os encontrados na relação global de 0,7, e um crescimento suave de seus valores entre os tratamentos 25% até 150% no caso de Azevedo et al., [ca.2015], e de 50% até 150% para Sousa (2006).

Na última relação global (0,9), praticamente todos os estágios apresentam uma ETa/ETm igual ou próximo de 1, exceção verificada no estágio final, que em sua maior parte situou-se entre 0,76 e 0,8 para a ETa/ETm .

Costa (2002) relata que o valor médio mais adequado da relação a ETa/ETm é de 0,8, para alcançar a maximização da produção. Leite (2011) descreve valores de ETa/ETm por etapa, que cresceram de forma exponencial, em função do aumento da lâmina irrigação. No presente estudo, os resultados mais consistentes de produção foram obtidos com a RG de 0,8.

4.5. Produtividade do uso da água

Relacionando a produtividade média com as lâminas de irrigação, tem-se a eficiência do uso da água (EUA), que pode ser verificada na Tabela 10, além da variação percentual em relação ao menor valor de EUA.

As lâminas totais de água aplicadas variaram de 556,5 mm (150% da ETo) a 185,5 mm (50% da ETo). Verifica-se que, na medida em que a lâmina de irrigação cresce, a produtividade aumenta, com incrementos relevantes, porém entre as lâminas de irrigação de 75% da ETo e a de 50% da ETo ocorreu um menor incremento, que pode ser traduzido numa redução das quantidades produzidas para cada milímetro de água aplicado, ou seja, evidenciando uma menor eficiência de água utilizada. Araújo et al., (2010) em seu trabalho realizado em UFRR, com lâminas variado de 20 a 120% da ECA, que há uma maior eficiência no uso da água nas menores lâminas e essa eficiência tende a ir reduzido lentamente até o valor de 80% ECA, Valnir, et al.. (2010) fazem menção a produção melão amarelo para exportação e demonstram que a melhor produção com relação eficiência no uso da água é encontrada com as menores lâminas aplicadas.

Tabela 10. Eficiência do uso da água (EUA) para a cultura do meloeiro, Fortaleza, Ceará

Lâmina de irrigação (% ETo)	Lâmina de irrigação (mm)	Produtividade (t ha ⁻¹)	Eficiência do uso da água (kg mm ⁻¹)	Varição da EUA (%)
150	497,77	35.90	72.12	-
100	396,5	33.14	83,58	15,89
75	345,8	29.18	84,38	16,99
50	244,6	22.78	93,13	29,13

Tendo como base informações de Sousa (2006)

Utilizado a lâmina de irrigação, na ordem de 150% da ETo, foi verificado um aumento de 29,13% na eficiência de uso da água. Este padrão de eficiência foi menor do que o encontrado por Morais (2008) para a cultura da melancia. Já, Monteiro (2004), com a cultura do melão no Vale do Curu, em Pentecoste, Ceará, obteve valores similares aos apresentados neste trabalho. Já Sousa et al, (2010) relata em seu trabalho valores menores, porém mantendo o mesmo comportamento para a eficiência do uso da água.

4.6. Análise econômica

A análise econômica simplificada foi realizada com base no trabalho de Costa (2007), com a finalidade de calcular a lucratividade, para cada lâmina de irrigação estudada.

Tabela 11. Resumo da análise econômica para 1 hectare de melão, Fortaleza, Ceará

	Lâminas de irrigação (mm)			
	244,6	345,8	396,5	497,7
Custo total	R\$ 10.915,04	R\$ 10.984,39	R\$ 11.053,81	R\$ 11.192,59
Produção (t ha ⁻¹)	22.78	29.18	33.14	35.90
Receita total	R\$ 39.421,00	R\$ 46.104,40	R\$ 52.361,20	R\$ 56.722,00
Lucro líquido	R\$ 25.077,37	R\$ 35.189,37	R\$ 41.446,17	R\$ 45.806,97

Valor do kg da fruta no varejo R\$ 1,58 reais 28/05/2015.

Receita menos os custos: não foram descontados nem os impostos e nem os lucros.

Considerando a produtividade entre 22.78 e 35.90 t ha⁻¹, o valor de venda do produto no varejo de R\$ 1,58 por quilograma do fruto e o custo total de produção variando de 10.915,04 a 11.192,59 reais, conforme apresentado na Tabela 11, a receita líquida variou de R\$ 25.077,37 (Lâmina de irrigação de 50% da ETo) a R\$ 45.806,97 (Lâmina de irrigação de 150% da ETo).

Observa-se que os tratamentos com as menores lâminas de irrigação, também apresentaram menor valor no custo de produção e menor receita líquida. Vale ressaltar que o

custo de produção apresentou baixíssima variação para as lâminas de irrigação testadas. Azevedo et al., [ca.2015] relatam que o custo de produção médio foi de R\$ 7.935,29 e lucro médio líquido foi de R\$ 5.144,34 por hectare da cultura de melão. Já, para Costa (2007) o custo de produção ficou em R\$ 9.299,00, um valor compatível se comparado ao encontrado pelo autor que levantaram os dados de campo do presente estudo.

Os valores não são próximos e há grande variação, que pode ser consequência de fatores como: preço do fruto e dos insumos e a fatores levados em consideração para a realização dos cálculos. A diferença encontrada no lucro líquido do trabalho de Azevedo et al., [ca.2015], também, se explica pelo preço de R\$ 0,48 por quilograma do fruto, e em parte pelos fatores acima citadas.

4.7. Recomendação de manejo de irrigação para a cultura do melão

Na Tabela 12, é possível visualizar os valores da relação ETa/ETm para cada estágio fenológico da cultura do melão amarelo, tendo como base para os cálculos a relação global ETa/ETm (LINGO, 2015).

Tabela 12. Valor de ETa/ETm por etapa de Ky para três manejos globais 0,7; 0,8 e 0,9.

Ky	ETa/ETm		
	0,7	0,8	0,9
Etapa I	1,00	1,00	1,00
Etapa II	0,95	0,99	1,00
Etapa III	0,73	0,93	0,97
Etapa IV	0,54	0,57	0,74

Apenas no final do estágio III e no estágio IV que os valores apresentaram significativos níveis de déficit hídrico sem que ocorram perdas consideráveis na produção do fruto, sendo mais expressivas na fase final do ciclo. O trabalho de Costa (2002) indica que os melhores resultados seriam obtidos aplicando-se o déficit hídrico nos dois últimos estágios de desenvolvimento do meloeiro, com lâmina bruta de irrigação acima de 80% da ETo ,

Os resultados indicam uma alta sensibilidade da cultura do meloeiro ao estresse hídrico. Isso se explica pelo decréscimo de água disponível para a planta, promovendo o fechamento dos estômatos e consequentemente o bloqueio do fluxo de CO_2 afetando assim o acúmulo dos fotoassimilados, desta forma, reduzindo a atividade da cultura. Conforme ficou claro em diversos trabalhos (AZEVEDO et al., [ca.2015]; MONTEIRO, 2004; SILVEIRA,

2013; BARROS, 1999). Dessa maneira, o déficit hídrico pode ser aplicado apenas no final do estágio III e no estágio IV. Além disso, ele deve ser aplicado com muita cautela e se extremamente necessário, pois ele deverá provocar perdas consideráveis na produtividade e, conseqüentemente, nas receitas.

5 CONCLUSÕES

O modelo MOPECO foi calibrado e validado para a cultura do melão amarelo no litoral do estado do Ceará, como uma eficácia de 94,78%.

Os valores de K_c e K_y utilizados neste estudo foram semelhantes aos encontrados na literatura, e o modelo obteve um acerto de 88% de suas simulações, demonstrando a eficiência da metodologia para simular o comportamento da cultura do melão em diferentes cenários de abastecimento de água.

O usuário que venha a utilizar o programa MOPECO terá uma ferramenta capaz de auxiliar em sua produção, possibilitando maximizar a produtividade com redução no consumo de água.

O ORDI pode aumentar o rendimento na cultura do melão, implicando em um impacto positivo na receita líquida, em comparação com a estratégia de CDI.

O déficit hídrico só pode ser induzido nas etapas III e IV, devendo ser aplicado com muita cautela e se extremamente necessário, pois ele deverá provocar perdas consideráveis na produtividade e, conseqüentemente, nas receitas.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. de J. N.; et al.. **Dados Climáticos:** Estação de Fortaleza, 2003. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 19 p. (Documentos, 86).
- ABREU, T. A.; et al.. Comparação dos métodos de irrigação por sulcos e por gotejo na cultura do melão no Vale do São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 13, n.3, p. 35-45, 1978.
- ADILSON DOS ANJOS. **Planejamento de Experimentos I**. Paraná: UFPR, p. 98 2005.
- ALANA FRAGA. **Seca deve provocar perdas de mais de R\$ 1,3 bilhões no Nordeste**. In: revista globo rural (dez de 2013). Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT327268-18531,00.html>>. Acessado em: (14/04/2014)
- ALLEN, R. G.; et al.. **Evapotranspiración del cultivo:** guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Riego y Drenaje, n 56. p. 300. 2006.
- ANNEL. Agencia Nacional De Energia Elétrica. **Clic energia**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/areaPerfil.cfm?idPerfil=7>>. Acesso em: 13 abr. 2014.
- ANJOS, R. M.; et al... Manejo preventivo de fitopatogenos na cultura do melão amarelo "GOLD MINE" com o uso de óleos essenciais.. In: **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF , v.?, n.?, p. (No pleno). (Enviado para a publicação)
- ARAÚJO, W. F.; et al... Manejo da irrigação do melão com base na evaporação do tanque classe A. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n.4, p. 495-499, out. 2010.
- AZEVEDO, B. M.; et al... Irrigação do meloeiro no litoral cearense, Kc ótimo e demanda hídrica comparativa com províncias espanholas. In: **Revista Irriga**, Botucatu, v.?, n.?, p. ?, (No pleno). (Enviado para a publicação)
- BAKER, J.T.; REDDY, V.R. temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. **Annals of Botany**. n. 87, p. 605-613. 2001.
- BARIFOUSE, RAFAEL. **Sudeste pode aprender com Nordeste a lidar com seca**. Disponível em:<http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/08/140820_crise_agua_nordeste_sudeste_rb>. Acesso em 27 mai. 2014.
- BARROS, V. S. **Função de produção do melão (Cucumis melo L.) aos níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu, CE**. 1999, 76 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1999.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E.CH. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 625.

BERTOLDO, G.J.; et al... Uso ou abuso em testes de comparação de medias: conhecimento científico ou empírico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n.4, p. 1145-1148, jul, 2008.

BLEIHOLDER, H.; et al... **Growth stages of mono-and dicotyledonous plants BBCH Monograph**. Ed. Meier, U. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. Braunschweig, Germany, 2. ed, 2001.

BM&FBOVESPA. **Cotações on-line**. Disponível em :<<http://www.bmfbovespa.com.br/shared/iframe.aspx?altura=1000&idioma=ptbr&url=www2bmf.com.br/pages/potal/bmfbovespa/clearingl/cambio/cotacoes/cotacoes.asp>>. Acesso em 1 set. 2015.

BORGES JÚNIOR, J.C.F. **Modelo computacional para tomada de decisão em agricultura irrigada**. 2004. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2004.

BRASIL. **Decreto N. 2.447, 20 de novembro de 2007**. No que diz respeito à agricultura irrigada. Lex: Institui a Política Nacional de Combate e Prevenção à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca e dá outras providências, Brasília, v--, p. 4-5, jul./set., 3 trim. 2007, Legislação Federal.

CAMPELO. A. R. **Estudo do manejo da cultura do melão submetida a diferentes frequências de irrigação e fertirrigação como N E P**. 2012, 76 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2012.

CEASA. **Central de Abastecimento do Estado do Ceará - S/A: Histórico de Preços** Disponível em: <<http://www.ceasa-ce.com.br/index.php/informacoes-de-mercado/historico-de-precos>>. Acesso em: 24 mai. 2015.

CHANG, L.Y.; HE, S.P.; CHI, M.H.; HUANG, D.F. Temperature-driven growth shape simulation and model of greenhouse melon leaves. **Mathematical and computer modeling**, v.54 n.(3-4), p. 1175-1180, 2011.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento**. 2002, 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Piracicaba: ESALQ/USP, 2002.

COSTA, Nivaldo Duarte. **O cultivo do melão**. 2007. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/jnw/images/stories/Melao/m.69.pdf>>. Acesso em: 11 Jan. 2015.

COSTA. F. A.; et al.. Rendimento de melão cantaloupe em diferentes coberturas de solo e lâminas de irrigação. **Caatinga**, Mossoró, RN, v. 15, n. 1, p. 49-55, dez. 2002.

COSTA, Z. P. da. Desempenho de híbridos experimentais de melão por meio de caracteres de qualidade dos frutos. **Proceedings of the interamerican society for tropical horticulture**, v. 52, p. 24-26, 2008

CRESPO, ANTONHO ARNOT. **Estatística Fácil**. 18ª ed. São Paulo: Saraiva, p. 224, 2002..

CRISÓSTOMO, L. A.; et al... **Adubação, irrigação, híbridos e práticas culturais para o**

meloeiro no Nordeste. Brasília, DF: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 21, 2002. (Circular Técnica, 14).

DIEGO ANTONELLI. **Quase metade da água usada na agricultura é desperdiçada.**

Disponível em: <

<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=1236145>>. Acesso: (set 2014).

DOGAN, E.; et al.. On-farm scheduling studies and CERES-maize simulation of irrigated corn. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 22, p. 509-516. 2006.

DOMÍNGUEZ, A.; et al.. Deficit irrigation under water stress and salinity conditions: The Mopeco-salt model. **Agricultural Water Manage**, v. 98, p. 1451-1461. 2011

DOMÍNGUEZ, A. **Agricultural Water Manage**: Determination of optimal regulated deficit irrigation strategies for maize in a semi-arid environment. Disponível em:<<http://www-sciencedirect-com.ez11.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0378377412000224>>. Acessado em: 12 set. 2014a.

DOMÍNGUEZ, A. **Agricultural Water Manage**: Simulation of maize crop behaviour under deficit irrigation using MOPECO model in a semi-arid environment. Disponível em: <<http://www.sciencedirectcom.ez11.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S037837741200224>>. Acessado em: 12 set. 2014b.

DOORENBOS, J.A. KASSAM, A.H. **Crop response to water.** Roma: FAO, 1979. p. 194 - 212. (FAO, irrigation and Drainage Paper N. 33).

DNOCS. **Departamento nacional de obras contras as secas.** Disponível em:<http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/araras_norte.html>. Acesso em: 29 set. 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, p. 306. 2006.

ENGLISH, M.; NAVAJD, S. Perspectives on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 32, p. 1-14, 1996.

FAO. **Faostat database results. food and agriculture organization of the united nations: agricultural production, primary crops.** Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

FREIRE, F. C. O.; CARDOSO, J. E.; VIANA, F. M. P. **Doenças do meloeiro.** In: Doenças de fruteiras tropicais de interesse agroindustrial. - Brasília: Embrapa 678 p. 118-120. 2006.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento. (Ed.). Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 627 p.

GARCIA-VILA, M. Déficit de otimização de irrigação de algodão com AquaCrop. **Agronomy Journal**, v. 101 p. 477-487. DOI: 10.2134/agronj2008.0179s. 2009.

GEERTS, S.; et al.. Simulating yield response of quinoa to water availability with AquaCrop. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 499-508. DOI: 10.2134/.0137s. 2009.

GÓMEZ-LIMÓN, J.A.; RIESGO, L. Irrigation water pricing:differential impacts on irrigated farms. **Agronomy Economy**, v. 31, p. 47-66. 2004.

HENG, L. K.; et al.. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. **Agronomy Journal**, v. 101 (3), 488-498. 2009.

IBARRA, L.; FLORES, J; DÍAZ-PÉREZ, J. C. Growth and yield of muskmelon in response to plastic mulch and row covers. **Scientia Horticulturae**, v. 87, p. 139-145. 2001

IPECE. **Instituto de Pesquisa e Estatística do Ceará**. Enfoque Econômico. Disponível em: <<http://www.seplang.ce.gov.br>>. Acesso em: 10 abr. 2014a.

IPECE. **Instituto de Pesquisa e Estatística do Ceará**. Enfoque Econômico - Disponível em < <http://www.adece.ce.gov.br/index.php/agronegocio/fruticultura>>. Acesso em: 29 set. 2014b.

IPECE. **Instituto de Pesquisa e Estatística do Ceará**. Anuário. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/anuario/anuario2013/aspectosEconomicos/comercio/comercio_exterior.htm>. Acessado em: 20 mai. 2015.

JONES, J. W.; et al.. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, p. 235-265, 2003.

KANG, S. Z.; et al.. Alternate furrow irrigation for maize production in an arid area. **Agricultural Water Management**, v. 45 p.267-274, 2000.

KUMAR, S.; et al.. Response of onion (*Allium cepa* L.) to different levels of irrigation water. **Agricultural Water Manage**, v. 89, p. 161-166, 2007.

LEITE, N. K. **Calibración del modelo MOPECO on-line para las explotaciones de regadío de las principales zonas regables de Castilla-La Mancha**. 2011, 45 f. Disertación (Máster en Ciencias Agrícolas y Ingeniería) -Universidade de Castilla-La Mancha, Castilla-La Mancha, 2011.

LEITE, K. N.; et al.. Modelling sustainable salt water management under deficit irrigation conditions for melon in Spain and Brazil, **J. Sci. Food Agric**. 2015; 95: 2307–2318. 2014.

LINGO. **Lindo systems INC**. Disponível em: <http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=10> . Acessado em: 20 mai. 2015.

LOPEZ-CEDRON, F. X.; et al.. Improving the CERES-Maize model ability to simulate water deficit impact on maize production and yield components. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 296-307. DOI: 10.2134/agronj2007.0088. 2008.

LOPEZ-MATA, E.; et al... Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 190-198. 2010.

MARTÍN, S. O. F. J.; DOMÍNGUEZ, A.; LÓPEZ-URREA, R. Production and quality of the

onion crop (*Allium cepa* L.) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. **Agricultural Water Manage**, v. 68, p. 77-89, 2004.

MATOS, J. A.; et al.. Avaliação da distribuição de água de um microaspersor autocompensante. **Revista Irrigação**, Botucatu, v. 4, n. 3, p. 168-174, 1999.

MEDEIROS, J. F.; et al.. Produção de melão sob diferentes lâminas de água com dois níveis de salinidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, suplemento, p. 612-614, jul. 2000.

MESQUITA, J. B. R. **Manejo da cultura do gergelim submetido a diferentes lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação**. 2010. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MIRANDA, F. R. de.; BLEICHER, E. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo e de irrigação para a cultura do melão (*Cucumis melo* L.) na região litorânea do Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p.17, 2001. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2).

MANGAL, J. L.; HOODA, P. S.; LAI, S. Salt tolerance of five muskmelon cultivars. **J. Agric. Sci.** 10:641-643 (1988)

MITCHELL, P. D.; JERIE, P. H.; CHALMERS, D. J. Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. **J. Amer. Soc. Horticultural Science**, v. 109, p. 604-606. 1984.

MONTEIRO, R. O. C. **Função de resposta da cultura do meloeiro aos níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu, CE**. 2004, 73 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004

MORAIS, B. N.; et al.. Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio1. In: **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 3, p.369-377, jul-set, 2008.

MOREIRA, L. G. **Resposta da mamoneira a lâminas de irrigação, ao número de dias com irrigação e à aplicação de nitrogênio**. 2010. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Brasília: Embrapa-CNPQ, p 15. 1998.

NUNES, LEILANE. **Indústria da seca ajuda a manter políticos no poder, diz Fonseca Neto**. Disponível em: < <http://cidadeverde.com/industria-da-seca-ajuda-a-manter-politicos-no-poder-diz-fonseca-neto-148538>>. Acesso em 6 abr. 2015.

OLIVEIRA, GERMANO. **Sem chuva, interior de São Paulo vive pior seca em 70 anos**. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/brasil/sem-chuva-interior-de-sao-paulo-vive-pior-seca-em-70-anos-13517020>>. Acesso em 12 set. 2014.

O POVO online. **Maior produtor de melão do mundo**. Disponível em:

<http://www.opovo.com.br/app/opovo/paginasazuis/2013/05/06/noticias_jornalpaginasazuis,3051034/maior-produtor-do-mundo.shtml>. Acesso em: 1 set 2015.

ORTEGA, J. F.; et al.. MOPECO: an economic optimization model for irrigation water management. **Irrigation Science**. v. 23, ed. 2, p. 61-75, 2004.

PEREIRA, A. R.; et al.. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba, RS: Agropecuária, p. 478, 2002.

PINHEIRO, P. L.; et al.. Evapotranspiração máxima da cultura do melão (*Cucumis melo*, L.) em lisímetro de drenagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza-CE. Anais. Fortaleza : SBEA, trab.EAS1019, p. 21, 2000.

RAES, D.; et al.. AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 438-447. DOI: 10.2134/agronj2008.0140s. 2009.

REBOUÇAS, A. da C. Água No Brasil: Abundância, desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003.

REZENDE, R.; et al.. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p.257-261, 1998 Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

RESENDE, G, M; COSTA, N. D. **Sistemas de Produção**. Disponível em: EMBRAPA semiárido (ago. de 2010). URL:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melao/SistemaProducaoMelao/socioeconomia.html>>. Acessado em 01 set. 2015.

SAMPAIO, LUCAS. **Seca provoca corrida por poços artesianos no interior de São Paulo**. Disponível em: < <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/08/1505337-seca-provoca-corrida-por-pocos-artesianos-no-interior-de-sao-paulo.shtml>>. Acesso em 6 abr. 2015.

SARAIVA, K.R. et al.. Aplicação do “ISAREG” no manejo da irrigação na cultura da melancia no Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 53-60, jan-mar, 2013.

SARKAR, S. et al.. Different indices to characterize water use pattern of micro-sprinkler irrigated onion (*Allium cepa* L.). **Ag. Water Manage**, 95, 625-632. 2008.

SEVACHERIAN, V., STERN, V. M., MUELLER, A. J. Heat accumulation for timing Lygus control pressures in a safflower-cotton complex. **Journal of Economic Entomology**, v. 70, p. 399-402, 1977.

SIAR, **Hoja de información SIAR / CREA abril de 2010**. integrado de assessoramento de Servicio de Riego del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Albacete. Espanha. (2010).

SILVA, M. A. da.; et al.. **Metodologia para determinar as necessidades de água das culturas irrigadas**. In: Pesquisa em irrigação no trópico semiárido: solo, água, planta. Petrolina: Embrapa-CPATSA, p. 25-44. 1981. (Embrapa-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 4).

- SILVA, H. R.; et al.. **Cultivo do meloeiro para o norte de Minas Gerais**. Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa hortaliças, p. 20, 2000.
- SILVA, M. C. C.; et al.. Produtividade de frutos do meloeiro sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, com e sem cobertura do solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 202-205, abr./jun. 2005.
- SILVEIRA, E. M. C. **Fisiologia de plantas de meloeiro cultivados sob diferentes níveis de irrigação**. 2013, 57 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2013.
- SIMÕES, R.; et al.. **Estatística das exportações e importações de frutas frescas**. SEBRAE, Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Brasília - DF, 2014.
- SINCLAIR, T. R.; SELIGMAN, N. G. Crop modeling: from infancy to maturity. **Agronomy Journal**, v. 88 p. 698-704, 1996.
- SOALHEIRO, M. A. **Norte de Minas Gerais perdeu 190 mil cabeças de gado com a última seca**. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/cotidiano/2008/11/13/ult5772u1512.jhtm>>. Acesso em 19 mar. 2015.
- SOUSA, A. E. C. **Níveis de água e adubação potássica no melão**. 2006. 62 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006.
- SOUSA, A. E. C.; et al.. Produtividade do meloeiro sob lâmina de irrigação e adubação potássica. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.2, p. 271-278, mar./abr. 2010.
- SOUSA, V. F.; et al.. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no Meio-Norte do Brasil**, Teresina: Embrapa Meio-Norte, . p. 68. 1999. (Circular Técnica, 21)
- SOUZA, R. O. R. de M. **Disciplina: Irrigação e Drenagem**. Irrigação e Drenagem / UFRA – ICA, Belém-PA, p. 150. 2010.
- STEDUTO, P.; et al.. AquaCrop-The FAO Crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and Underlying Principles. **Agronomy Journal**. v. 101 p. 426-437. DOI: 10.2134/agronj2008.0139s. 2009.
- STEWART, J. I.; et al.. Otimizando a produção agrícola através do controle dos níveis de água e salinidade. **Utah Res água**. Utah – EUA, Lab. PWRG 151-1. 1977.
- STOORVOGEL, J. J.; et al.. Tradeoff analysis model: integrated bio-physical and economic modeling of agricultural production systems. **Agricultural Systems**. v. 80 p. 43-66, 2004.
- TARJUELO, J. M.; et al.. Water resources deficit and water engineering. **Span. J. Agric. Res.**, 8 (S2), p. 102-121. 2010.
- VALNIR, M. JÚNIOR.; et al.. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes lâminas e frequências de irrigação. In: **Agropecuária Técnica**, Areia – PB, v. 31, n. 1, p. 32–40, 2010.

WOLFE, D. W.; ALBRIGHT, L. D.; WYLAND, J. Modeling row cover effects on microclimate and yield: I. Growth response of tomato and cucumber. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 114, p. 562-568, 1989.

APÊNDICE

Programação utilizada no Lingo, para a otimização da produção visando o menor consumo de água por etapa.

```

DATA: ! Dissertação Brasil;
Ymax=40000;          !Valor rendimento máximo Brasil;

ETm1=66.6;
ETm2=77.7;
ETm3=888.8;        !Valores ETm por etapas;
ETm4=999.9;

Ky1=0.40;
Ky2=0.80;
Ky3=0.80;
Ky4=0.40;
                    !Valores de Ky por etapas;

ENDDATA

!FUNCION OBJETIVO;

[Rendimento] MAX=Ymax*(1-Ky1*(1-(ETa1/ETm1)))*(1-Ky2*(1-(ETa2/ETm2)))*(1-Ky3*(1-(ETa3/ETm3)))*(1-Ky4*(1-(ETa4/ETm4)));

!RESTRICIONES;
!Valore ETa/ETm OBJETIVO en el ciclo;
ETa/ETm=0.7;

!ETm ciclo;
ETm=ETm1+ETm2+ETm3+ETm4;
ETa=ETa1+ETa2+ETa3+ETa4;

!Eta máxima <= ETm;
ETa<=ETm;

```

```

!ETa/ETm Máximos;

    ETa1/ETm1<=1;
    ETa2/ETm2<=1;
    ETa3/ETm3<=1;
    ETa4/ETm4<=1;

!ETa/ETm Mínimos;
    ETa1/ETm1>=1.0;
    ETa2/ETm2>=0.5;
    ETa3/ETm3>=0.5;
    ETa4/ETm4>=0.5;

!Diferencias entre etapas;
    @ABS((ETa1/ETm1)-(ETa2/ETm2))<=0.4;
    @ABS((ETa2/ETm2)-(ETa3/ETm3))<=0.4;
    @ABS((ETa3/ETm3)-(ETa4/ETm4))<=0.4;

!SOLUCIONES;
!Relaciones ETa/ETm por etapas;

Relacion1=ETa1/ETm1;
Relacion2=ETa2/ETm2;
Relacion3=ETa3/ETm3;
Relacion4=ETa4/ETm4;
Relacion_Global=ETa/ETm;
Rendimiento_real=Ymax*(1-Ky1*(1-(ETa1/ETm1)))*(1-Ky2*(1-(ETa2/ETm2)))*(1-Ky3*(1-(ETa3/ETm3)))*(1-Ky4*(1-
!(1-Ky10*(1-(ETa5/ETm5*ETm5/(ETm5+ETm10)+ETa10/ETm10*ETm10/(ETm5+ETm10))))*(1-Ky20*(1-ETa20/ETm20))*
(1-Ky30*(1-ETa30/ETm30))*(1-Ky40*(1-ETa40/ETm40));

```