



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

KLEITON ROCHA SARAIVA

**VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO “ISAREG” NO MANEJO
DA IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA MELANCIA NO PERÍMETRO IRRIGADO
BAIXO ACARAÚ, CEARÁ**

FORTALEZA

2010

KLEITON ROCHA SARAIVA

VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO “ISAREG” NO MANEJO DA
IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA MELANCIA NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO
ACARAÚ, CEARÁ

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Francisco Marcus Lima Bezerra.

FORTALEZA

2010

KLEITON ROCHA SARAIVA

VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO PRÁTICA DO MODELO “ISAREG” NO MANEJO DA
IRRIGAÇÃO DA CULTURA DA MELANCIA NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO
ACARAÚ, CEARÁ

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 13 de agosto de 2010

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra
Universidade Federal do Ceará - UFC
(Orientador)

Prof. Ph.D. Francisco de Souza
Universidade Federal do Ceará - UFC
(Co-Orientador)

Prof. Dr. Luis de França Camboim Neto
Universidade Federal do Ceará - UFC
(Conselheiro)

DEDICO

Aos meus pais Nilson Coelho Saraiva e
Valdenora Rocha Saraiva, que sempre, desde
minha infância, me forneceram bases
educacionais e morais, que foram fundamentais
para que me tornasse a pessoa que sou hoje.

À minha esposa Ana Karla.

À minha filha Karen.

AGRADECIMENTOS

- A Deus pela sabedoria e discernimento, os quais são as duas maiores riquezas que o homem possui.
- A minha família (pais e irmãos), pelo apoio e confiança depositados em vários anos de estudo, principalmente à minha mãe e ao meu pai. Ela que sempre contagiou a mim e a meus irmãos com sua fé inigualável, e ele com suas palavras de força e perseverança.
- A minha esposa, amiga e companheira, Ana Karla que sempre me apoiou com suas palavras de paz e otimismo, e com seus gestos de amor. Sem contar, a grande felicidade de minha vida, o fruto do nosso amor que ela está a esperar.
- A todos os meus tios e tias, em especial à minha tia Aldenora, que tanto me apoiou nos momentos de minha formação estrutural e profissional. Essa pessoa que Deus permitiu que continuasse entre nós e ajudando a toda família.
- Ao meu amigo, professor e segundo pai, Titico (Francisco de Souza), que desde 1999 me instrui sobre todas as áreas da agronomia e da vida, me ensinando a lidar com as problemáticas da agropecuária do Brasil, em especial do Nordeste.
- Ao professor Francisco Marcus Lima Bezerra, responsável pela orientação da pesquisa que gerou esta Dissertação, e pelo apoio, amizade e discernimento de como conduziu este trabalho.
- Aos pesquisadores Luis Santos Pereira e Paula Paredes, do Instituto Superior de Agronomia, em Lisboa, Portugal, pelo valioso apoio na validação e aplicação do modelo ISAREG.
- Ao professor Luis de França Camboim Neto, pelo aprendizado sobre normatização de trabalhos científicos, e pelo apoio, amizade e colaboração na conclusão deste trabalho.
- Aos colegas do curso de graduação e do curso de Pós-Graduação em Solos e Engenharia Agrícola, pela amizade e convivência harmoniosa, que de qualquer forma me incentivaram para a conclusão deste trabalho.
- A Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade e apoio concedidos durante a realização desta dissertação.
- Ao CNPq, pelo apoio financeiro (bolsa de estudos) à pesquisa, durante os dois anos no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará.
- Aos gestores do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú e aos irrigantes que colaboraram durante todas as fases da pesquisa.

- Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola que contribuíram para o meu crescimento profissional com os ensinamentos transmitidos.
- Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFC, que de alguma forma contribuíram para a conclusão do Mestrado no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

RESUMO

SARAIVA, Kleiton Rocha, Universidade Federal do Ceará. Agosto de 2010. **Validação e aplicação prática do modelo “ISAREG” no manejo da irrigação da cultura da melancia no perímetro irrigado Baixo Acaraú, Ceará.** Orientador: Francisco Marcus Lima Bezerra. Co-Orientador: Francisco de Souza. Conselheiro: Luis de França Camboim Neto.

O Perímetro Irrigado Baixo Acaraú (PIBA) foi escolhido como local – alvo da pesquisa, cujos objetivos foram validar o modelo ISAREG, comparando resultados experimentais, com resultados de simulações. Neste aspecto analisou-se as seguintes variáveis: variação de armazenamento de água no solo (Δh) e fluxo de água no solo (q); além de calcular as necessidades hídricas da cultura da melancia. Para tanto, utilizou-se o ISAREG, pela análise do balanço hídrico do solo, elaborando um calendário de irrigação, visando a máxima produtividade da cultura, para as condições edafoclimáticas do PIBA, para uma data de plantio, comparando-o com o manejo de irrigação atualmente adotado pelos irrigantes. A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa constou de duas etapas: a primeira consistiu no processo de validação do modelo, e a segunda referiu-se à aplicação prática do modelo, no manejo da irrigação da cultura da melancia no PIBA. Para a realização do processo de validação do ISAREG foi realizado um levantamento bibliográfico, visando a obtenção de informações de solo, clima e cultura, requeridas pelo modelo para a realização do balanço hídrico no solo. No processo de simulação, o ISAREG utiliza a metodologia indicada por Pereira (2004). Após o processo, os resultados da simulação foram comparados com resultados experimentais, através da realização de análises de regressão. Visando a aplicação prática do ISAREG, primeiramente, o modelo foi alimentado com dados mensais de variáveis climatológicas; em seguida, o ISAREG calculou a evapotranspiração de referência (ET_o). Após esse procedimento, o modelo foi alimentado com dados de precipitação. Quanto aos dados da cultura, digitou-se os dados referentes às fases fenológicas da cultura, bem como a profundidade efetiva do sistema radicular e o fator de disponibilidade de água no solo, ambos por fase fenológica. Seguidamente, os valores de coeficiente da cultura (K_c) foram inseridos. Após essa fase, os dados do solo foram utilizados. Finalmente, quanto à irrigação, selecionou-se opções de manejo da irrigação disponíveis no ISAREG, e o mesmo realizou a simulação do balanço hídrico do solo. Para se tomar conhecimento acerca do manejo da irrigação, realizado pelo irrigante do PIBA foram aplicados questionários. Os resultados da pesquisa conduzem às seguintes conclusões: o ISAREG demonstrou um detalhado balanço hídrico do solo, sendo validado neste trabalho, pois quando seus resultados foram comparados aos experimentais, houve semelhança nas tendências das variáveis analisadas, apesar da diferença quanto aos coeficientes de correlação estatística. No entanto, vale salientar que as disparidades verificadas, devem-se à precisão dos dados, requeridos para as simulações, já que os experimentos realizados no campo não haviam sido projetados com o objetivo precípuo de validar modelos, e sim de gerar valores de K_c . Também a pesquisa evidenciou que os irrigantes do PIBA, no cultivo da melancia não estão manejando adequadamente os recursos hídricos. Durante o ciclo da cultura, o irrigante está aplicando em excesso cerca de 215,2 mm de água, em alguns períodos, e está proporcionando um déficit hídrico de 24,2 mm à cultura, em outros períodos.

Palavras-chave: Água. Balanço hídrico. Software.

ABSTRACT

SARAIVA, Kleiton Rocha, Universidade Federal do Ceará. Agosto de 2010. Validation and practical application of the model "ISAREG" in the irrigation of watermelon crop in the irrigated low Acaraú, Ceará. Adviser: Francisco Marcus Lima Bezerra. Co- Adviser: Francisco de Souza. Committee member: Luis de França Camboim Neto.

The Low Acaraú Irrigation District (PIBA) was chosen as the site - target of this research, which aimed to validate the ISAREG model, comparing results from experimental research, carried out previously, with simulation results performed by ISAREG. The following variables were analyzed: variation of soil water storage (Δh) and soil water flow (q). The model calculates the crop water needs of watermelon, by analysing the soil water balance, and developing an irrigation schedule in order to obtaining the maximum yield to the PIBA climatic conditions, for the planting date, comparing it with the irrigation management currently adopted by the Lower Acaraú irrigators. The methodology used to develop this research consisted of two stages: the first was the process of validating the model, and the second is referred to the practical application of the model in the irrigation of the watermelon in the PIBA. To perform the validation process a literature review was performed to, aimed at obtain information of soil, climate and culture required by the model to simulate the soil water balance. In the simulation process, the ISAREG uses the methodology suggested by Pereira (2004). After the process, the simulation results were compared with the field experimental, by performing regression analysis. Aiming at the practical application of ISAREG, first the model was run with monthly fed data from the PIBA climatological station; then, ISAREG calculated the reference evapotranspiration (ET_o). After this procedure, the model was fed with precipitation data. Crop data was related to the phenological stages, the effective depth of the root system and a factor of soil water availability, both for each phenological phase. Thereafter, the crop coefficient values have been entered; after this phase, the soil data were used. Finally, with regard to the irrigation events irrigation management options were selected to performe the simulation of the soil water balance. To be informed about the irrigation, it was carried out by the producers questionnaires were applied. The research results lead to the following conclusions: the ISAREG demonstrated a detailed soil water balance, and it was validated in this work, since their results were compared to the field experimental results. There was agreement in the variable trends, despite the difference in the statistical correlation coefficients. However, it was observed that the disparities are due to the precision of the data required to the simulations, since the experiments performed in the field had not been designed with the ultimate goal of validating models, but to generate K_c values. Also, the research showed that the watermelon producers are managing inadequately the water resources. Along the crop cycle, they were applying too much, water at some periods, about 215.2 mm, and providing a water deficit of 24.2 mm at other periods

Keywords: Water. Water balance. Software.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Tela inicial do ISAREG.....	37
FIGURA 2	Evapotranspiração da cultura simulada versus experimental para ECA de 50%	70
FIGURA 3	Análise de regressão entre ET_c experimental e ET_c simulada pelo ISAREG, para ECA de 50%	72
FIGURA 4	Variação de armazenamento de água no solo simulada versus experimental para ECA de 50%	74
FIGURA 5	Análise de regressão entre Δh experimental e Δh simulada pelo ISAREG, para ECA de 50%	75
FIGURA 6	Fluxo de água no solo simulado versus experimental para ECA de 50%	76
FIGURA 7	Análise de regressão entre o fluxo experimental e o fluxo simulado, para ECA de 50%	77
FIGURA 8	Evapotranspiração da cultura simulada versus experimental para ECA de 100%	79
FIGURA 9	Análise de regressão entre ET_c experimental e ET_c simulada, para ECA de 100%	80
FIGURA 10	Variação de armazenamento de água no solo simulada versus experimental para ECA de 100%	81
FIGURA 11	Análise de regressão entre Δh experimental e Δh simulada pelo ISAREG, para ECA de 100%	82
FIGURA 12	Fluxo de água no solo simulado versus experimental para ECA de 100%	84
FIGURA 13	Análise de regressão entre o fluxo experimental e o fluxo simulado, para ECA de 100%	84
FIGURA 14	Evapotranspiração da cultura simulada versus experimental para ECA de 150%	87
FIGURA 15	Análise de regressão entre ET_c experimental e ET_c simulada, para ECA de 150%	88
FIGURA 16	Variação de armazenamento de água no solo simulada versus experimental para ECA de 150%	89

FIGURA 17	Análise de regressão entre Δh experimental e Δh simulada pelo ISAREG, para ECA de 150%	90
FIGURA 18	Fluxo de água no solo simulado versus experimental para ECA de 150%	91
FIGURA 19	Análise de regressão entre o fluxo experimental e o fluxo simulado, para ECA de 150%	92
FIGURA 20	Evapotranspiração da cultura total	93
FIGURA 21	Evapotranspiração da cultura total – ISAREG com 2 frequências.....	94
FIGURA 22	Varição de armazenamento de água no solo total.....	95
FIGURA 23	Varição de armazenamento de água no solo total – ISAREG com 2 frequências.....	96
FIGURA 24	Fluxo de água no solo total (50% x 100% x 150% de ECA)	97
FIGURA 25	Fluxo de água no solo total – ISAREG com 2 frequências	98
FIGURA 26	Evapotranspiração da cultura (ETc) da melancia, para um período de 2 dias	99
FIGURA 27	Temperatura máxima média representativa do Baixo Acaraú.....	102
FIGURA 28	Temperatura mínima média representativa do Baixo Acaraú	103
FIGURA 29	Umidade relativa do ar representativa do Baixo Acaraú	104
FIGURA 30	Insolação representativa do Baixo Acaraú	105
FIGURA 31	Insolação representativa do Baixo Acaraú	106
FIGURA 32	Evapotranspiração da melancia (ETc) versus coeficiente cultural.....	107
FIGURA 33	Varição de armazenamento da água no solo.....	114
FIGURA 34	Fluxo da água no solo	115
FIGURA 35	Varição de armazenamento da água no solo.....	118
FIGURA 36	Fluxo da água no solo	120
FIGURA 37	Precipitação representativa do Baixo Acaraú.....	121
FIGURA 38	Manejo realizado pelo irrigante versus manejo ISAREG	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Dados da cultura do melão, para o tratamento L1 (50% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA).....	48
TABELA 2	Dados da cultura do melão, para o tratamento L3 (100% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA).....	49
TABELA 3	Dados da cultura do melão, para o tratamento L4 (150% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA).....	50
TABELA 4	Dados de evapotranspiração de referência – ETo e de precipitação, utilizados nos tratamento L1, L3 e L4.....	51
TABELA 5	Dados de solo, utilizados nos tratamento L1, L3 e L4	52
TABELA 6	Dados de datas e lâminas para o tratamento L1 (50% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA).....	53
TABELA 7	Dados de datas e lâminas para o tratamento L3 (100% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA).....	53
TABELA 8	Dados de datas e lâminas para o tratamento L4 (150% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA).....	53
TABELA 9	Dados de evapotranspiração de referência - ETo e de precipitação do Baixo Acaraú, inseridos no ISAREG	57
TABELA 10	Dados da cultura da melancia inseridos no ISAREG no processo de simulação do balanço hídrico no solo.....	59
TABELA 11	Dados de solo representativos do PIBA, utilizados na simulação com o ISAREG.....	60
TABELA 12	Componentes do balanço hídrico, para o tratamento L1 (50% de ECA), na comparação entre o resultado experimental (CARVALHO, 2006) e a simulação do ISAREG.....	71
TABELA 13	Componentes do balanço hídrico, para o tratamento L3 (100% de ECA), na comparação entre o resultado experimental (CARVALHO, 2006) e a simulação do ISAREG.....	78
TABELA 14	Componentes do balanço hídrico, para o tratamento L4 (150% de ECA), na comparação entre o resultado experimental (CARVALHO, 2006) e a simulação do ISAREG.....	86

TABELA 15	Evapotranspiração de referência - ETo do Baixo Acaraú, calculada pelo ISAREG.....	101
TABELA 16	Datas e lâminas gerados pelo ISAREG, para o manejo ótimo da irrigação.....	109
TABELA 17	Dados de datas e lâminas inseridos no ISAREG, referentes ao manejo da irrigação da cultura da melancia, adotado no Baixo Acaraú.....	111
TABELA 18	Componentes do balanço hídrico do solo do Baixo Acaraú para o manejo de irrigação realizado pelos irrigantes do Baixo Acaraú, com entrada de datas a lâminas (ISAREG).....	113
TABELA 19	Dados de datas e lâminas inseridos no ISAREG, referentes ao manejo da irrigação da cultura da melancia, adotado no Baixo Acaraú.....	116
TABELA 20	Componentes do balanço hídrico do solo do Baixo Acaraú para o manejo de irrigação realizado pelos irrigantes do Baixo Acaraú, com entrada de datas a lâminas (ISAREG).....	119

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	A agricultura irrigada no Ceará	18
2.2	O manejo da irrigação	19
2.3	A evapotranspiração da cultura (ETc)	21
2.3.1	Os métodos de estimativa da evapotranspiração das culturas	22
2.3.2	A evapotranspiração de referência (ETo)	24
2.3.2.1	Os parâmetros climáticos para a determinação da ETo	25
2.3.3	O coeficiente de cultivo (Kc)	26
2.4	Necessidades hídricas: balanço hídrico do solo	27
2.5	Calendários de irrigação	29
2.6	Os “Softwares” no manejo da irrigação	30
2.6.1	A validação de “softwares” utilizados no manejo da irrigação	31
2.7	O ISAREG	33
2.8	O manejo da irrigação em perímetros irrigados	33
2.9	A cultura da melancia	35
3	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	37
3.1	O processo de validação do “ISAREG”	37
3.1.1	O estado da arte do “ISAREG”	37
3.1.2	O balanço hídrico do solo: a experimentação de campo	38
3.1.3	O balanço hídrico do solo: a simulação do “ISAREG”	43
3.1.3.1	A metodologia de cálculo utilizada pelo ISAREG	43
3.1.3.2	O processo de simulação	46
3.2	A aplicação prática do “ISAREG”: manejo da irrigação para a cultura da melancia no Perímetro irrigado Baixo Acaraú – PIBA	54
3.2.1	Coleta de informações do sistema água, solo, planta e clima referentes ao Perímetro irrigado Baixo Acaraú	54
3.2.1.1	Localização do PIBA	54
3.2.1.2	Características do projeto	55
3.2.1.3	Aspectos geográficos e edafoclimáticos	56
3.2.1.4	Dados climatológicos do PIBA	56
3.2.1.5	Dados da cultura da melancia	57
3.2.1.6	Dados do solo do PIBA	60
3.2.1.7	O manejo da irrigação adotado pelo irrigante	60
3.2.2	O modelo “ISAREG” no planejamento da irrigação	61
3.2.2.1	Cálculo da evapotranspiração de referência (ETo)	62
3.2.2.2	Necessidades hídricas da cultura da melancia e o balanço hídrico do solo	63
3.2.2.3	As opções do manejo da irrigação	65
3.2.2.4	O calendário de irrigação	65
3.2.3	O processo de simulação	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
4.1	O processo de validação do “ISAREG”	69
4.1.1	O balanço hídrico do solo: o experimento de campo x o “ISAREG”	69
4.1.1.1	A simulação para a condição de manejo de 50% de ECA	69
4.1.1.2	A simulação para a condição de manejo de 100% de ECA	77
4.1.1.3	A simulação para a condição de manejo de 150% de ECA	85
4.1.1.4	ETc, Δh e q_{60} totais para as três condições de manejo (50%, 100% e 150%)	92

4.2	A aplicação prática com o “ISAREG”: manejo da irrigação para a cultura da melancia no Perímetro irrigado Baixo Acaraú	99
4.2.1	A evapotranspiração da melancia (ETc).....	99
4.2.1.1	Evapotranspiração de referência (ETo) em função das variáveis Climatológicas.....	100
4.2.1.2	ETc em função dos dados da cultura da melancia.....	106
4.2.2	O balanço hídrico do solo: condições edafoclimáticas do Baixo Acaraú.....	108
4.2.2.1	Balanço hídrico no solo para um manejo ótimo da irrigação	108
4.2.2.2	Balanço hídrico no solo (data e lâmina de 8,7 mm, aplicadas pelos irrigantes do Baixo Acaraú).....	110
4.2.2.3	Balanço hídrico no solo (data e lâmina de 17,4 mm, aplicadas pelos irrigantes do Baixo Acaraú)	116
4.2.2.4	A precipitação.....	121
4.2.3	O calendário de irrigação para a cultura da melancia.....	122
4.2.4	do Baixo O manejo da irrigação recomendado pelo “ISAREG” versus o manejo adotado pelo agricultor Acaraú.....	123
5	CONCLUSÕES.....	125
6	RECOMENDAÇÕES.....	127
	REFERÊNCIAS	128
	APÊNDICES	138
	ANEXOS	168

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida. No entanto, milhões de pessoas no mundo enfrentam problemas relacionados à escassez hídrica.

Por outro lado, a agricultura irrigada utiliza entre 70 e 80% da água doce disponível no mundo. Sua importância tem aumentado em virtude da necessidade de incremento da produção e da produtividade agrícolas, em função do crescimento populacional, o que provoca escassez e degradação dos recursos hídricos.

Segundo Annan (2005) a produção global de alimentos terá que aumentar em 60%, durante o período de 2000 a 2030, para satisfazer a crescente demanda populacional. Isso acarretará num aumento de 14% na demanda de água para a agricultura irrigada.

As políticas públicas, referentes à água, foram iniciadas no Estado do Ceará, em 1919, com a construção de açudes, realizada pelo IFOCS (Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas), precursora do atual Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), que no início da década de 60 começou a construção dos perímetros públicos de irrigação.

O Estado do Ceará conta, hoje, com o perímetro irrigado mais moderno do País, que é o Baixo Acaraú, com uma área irrigável de 8.440 ha, mas, atualmente, somente 2.053 ha estão sendo irrigados. No perímetro irrigado Baixo Acaraú, assim como nos demais perímetros irrigados do Nordeste brasileiro, o manejo da irrigação é realizado de forma empírica, ou seja, o irrigante não sabe, com precisão, quanto nem quando irrigar (com vistas à economia de água e energia). Pode-se supor que o irrigante não teria como ter acesso a essa informação precisa, pois o Governo também é alheio a essa informação. Segundo Santana et al. (2008) o Governo considera, durante a elaboração dos projetos públicos de irrigação, que todas as culturas têm uma demanda hídrica de 18.000 m³/ha/ano, não importando a localização geográfica do perímetro, o que, na maioria das vezes é um valor elevado. Também afirma que esse dado utilizado não é confiável, pois é tecnicamente impossível que para cada condição diferente do sistema solo-água-planta-clima (em cada perímetro irrigado), a demanda hídrica seja a mesma. Esse estresse ou excesso hídrico aplicado às culturas afeta, sensivelmente, a produção das mesmas. Isto, sem levar em consideração os dispêndios de água e de energia.

O manejo racional da irrigação objetiva maximizar a eficiência do uso da água e minimizar o consumo de energia (nos métodos pressurizados), mantendo favoráveis as condições de umidade do solo e de fitossanidade das plantas, levando em consideração as

condições climáticas do local de cultivo, bem como as características da cultura. O manejo racional visa suprir as necessidades hídricas das culturas, fornecendo água no momento certo e na quantidade correta, ou seja, adaptando calendários de irrigação (PEREIRA, 2004). Segundo Souza (2002) uma das razões para baixas eficiências dos sistemas de irrigação é a falta de atenção dada ao manejo após a fase de implantação do projeto. Uma técnica barata e efetiva para eliminar esses problemas é a adoção de calendários de irrigação adequados, inclusive através da utilização de “softwares” computacionais.

Softwares computacionais usados no manejo da irrigação são programas para microcomputadores que calculam os requerimentos de água da cultura e de irrigação, a partir de dados do clima, do solo e da cultura. Adicionalmente, os programas permitem estabelecer calendários de irrigação para diferentes condições de manejo, e calculam o esquema de suprimento de água de um projeto para diferentes padrões de cultivo (PEREIRA, 2004).

Diversos modelos de simulação do balanço hídrico constituem ferramentas preciosas para a determinação das necessidades de irrigação e para a condução da irrigação. Um deles é o CROPWAT que já foi objeto de estudo pelo PPGEA (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), com pesquisas realizadas por Guimarães (1993); Viana (1997), dentre outros. Outro que tem se destacado no âmbito internacional é o modelo ISAREG, que é um software de simulação do balanço hídrico no solo, desenvolvido no Instituto Superior de Agronomia, em Portugal, em 1992, que é capaz de lidar com a ascensão capilar e com percolação através da zona radicular. O ISAREG tem sido utilizado em vários países e aplicações recentes foram realizadas, porém o mesmo não foi aplicado para as condições da agricultura irrigada do Estado do Ceará, razão pela qual decidiu-se por realizar esta pesquisa.

Por sua vez, estudos que visem validar simulações de “softwares” computacionais aplicados ao manejo da irrigação, necessitam da disponibilidade de resultados de criteriosos experimentos, realizados sob condições locais de solo e de clima, para analisar as variações do armazenamento e do fluxo de água no solo.

Por outro lado, a melancia (*Citrullus lanatus*, Schrad) é uma das culturas de ciclo curto, mais cultivadas nos perímetros irrigados, administrados pelo DNOCS. Independentemente do método de irrigação utilizado, um dos fatores mais importantes no cultivo da melancia é o manejo da água de irrigação. O déficit ou o excesso de água afeta, significativamente, a disponibilidade de nutrientes às plantas, o desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e, conseqüentemente afeta também o rendimento de frutos (OLIVEIRA et al., 1991).

Com base nesses aspectos, o presente trabalho foi planejado com os seguintes objetivos:

- a) validar o modelo ISAREG, introduzindo-o aos estudos de manejo de água na irrigação do Estado, comparando resultados de pesquisas experimentais, anteriormente realizados, com resultados de simulações, realizadas com o uso do “software”, analisando as seguintes variáveis: variação de armazenamento de água no solo (Δh) e fluxo de água no solo (q);
- b) calcular as necessidades hídricas da cultura da melancia, utilizando o ISAREG, pela análise do balanço hídrico do solo, e elaborando um calendário de irrigação, visando a máxima produtividade da cultura da melancia, para as condições edafoclimáticas do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, para 1 (uma) data de plantio (01/09), comparando-o com o manejo de irrigação atualmente adotado pelos irrigantes do Baixo Acaraú.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para a realização desta dissertação, tornou-se necessária, uma revisão de literatura sobre todas as questões inerentes ao estudo do manejo da irrigação e à elaboração dos calendários de irrigação.

2.1 A agricultura irrigada no Ceará

De acordo com o Censo Agropecuário (2006) apenas 6,3% dos estabelecimentos agrícolas do Brasil estão utilizando técnicas de irrigação, sendo que esta área irrigada compreende 4,45 milhões de hectares ou 7,4% da área total cultivada com culturas temporárias e permanentes.

Comparando-se os dois últimos censos agropecuários, houve um aumento de 39,0% no número de estabelecimentos que declararam utilizar irrigação e 42,0% no total da área irrigada no País. (CENSO AGROPECUÁRIO, 2006).

Segundo Léo e Hernandez (2007) a irrigação nos perímetros irrigados administrados pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) gerou mudanças socioeconômicas importantes, tais como: criação de empregos diretos; aumento considerável na demanda de bens de consumo e serviços, com aumento de estabelecimentos comerciais e industriais; diminuição no fluxo migratório rural-urbano; e, melhoria nas condições de saúde, educação, habitação e de lazer dos irrigantes.

Quanto ao manejo da irrigação, o Ceará tem condições, tem a base. São as estações meteorológicas, um sistema de gerenciamento dos recursos do Estado muito bom. O que precisa é fazer essa informação chegar até o pequeno produtor. O uso eficiente da água vai ser tão mais adequado, quanto maior for a necessidade e a percepção dessa necessidade por parte dos produtores e dos gestores públicos (HERNANDEZ, 2008).

Deve-se tornar evidente para o irrigante, em primeiro lugar, as características do desempenho de seus equipamentos de irrigação (como irrigar), e em segundo lugar, e não menos importante que o primeiro, o manejo da irrigação (quanto e quando irrigar). Com essas ações e informações o irrigante poderá garantir a economia de água e de energia desejada no processo produtivo da agricultura irrigada (LÉO; HERNANDEZ, 2007).

“No Estado do Ceará, a fruticultura irrigada tem apresentado enorme potencial, tanto para o mercado interno como para o de exportação, como tecnicamente factível, economicamente viável e socialmente desejável” (BEZERRA; OLIVEIRA, 1999, p.174).

Uma parcela representativa da agricultura irrigada do Ceará é realizada dentro dos perímetros irrigados, ministrados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS. Este, desde o fim da década de 60 e início de 70, desapropriou terras das bacias de irrigação, onde foram implantados os "perímetros irrigados", dividindo-os em pequenos lotes, onde foram assentados os "colonos" ou “irrigantes”. São 38 perímetros de irrigação, no Nordeste, sendo 14 no Ceará (SOUZA et al., 2004).

O Ceará, com 11,9% do total da área irrigada da Região Nordeste, conta com 117.059 ha irrigados (CENSO AGROPECUÁRIO, 2006). Por sua vez, a área total cultivada com fruteiras, no Ceará, do ano de 1999 até 2007 cresceu 30,4%. Já a produção total, para o mesmo período, aumentou em 51,1% (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Oliveira (2008) em 10 anos o Ceará saiu do 12º lugar nacional na exportação de frutas tropicais, para a (3º) terceira posição, ficando atrás de Pernambuco e da Bahia.

O Estado do Ceará conta, hoje, com uma das mais modernas e funcionais obras de irrigação da América Latina e do mundo, o perímetro irrigado Baixo Acaraú. Este perímetro conta com estruturas físicas automáticas modernas, tais como: estação de bombeamento, sistema de abertura de comportas, controles eletrônicos automáticos, dentre outras estruturas modernizadas (DIBAU, 2008).

2.2 O manejo da irrigação

A irrigação é o método artificial de aplicação de água na agricultura, que tem a finalidade de suprir as necessidades hídricas da planta, em caráter total ou suplementar. Isto quer dizer que a irrigação viabiliza o cultivo de espécies de plantas em locais onde, sem sua aplicação, seria impossível suprir as plantas de água. Com o desenvolvimento tecnológico e a criação de diferentes métodos de irrigação e metodologias de manejo, a irrigação tornou-se sinônimo de eficiência de produção, modernidade e de garantia de qualidade aos produtos (HERNANDES, 2008).

Uma crescente escassez de água devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico está criando desafios principalmente para os países em desenvolvimento no sentido de encontrarem novas soluções para a gestão dos recursos hídricos. Nos últimos anos houve uma grande mudança na forma de se abordar a água, atualmente amplamente reconhecida tanto como um bem social e um problema técnico de suprimento quanto um recurso econômico (KEMPER, 1997 apud BARBOSA, 2005, p.19).

A irrigação propicia o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos, sem falar da redução de riscos de perdas da produção, ocasionados por períodos de estiagem; porém, ela deve ser conduzida de maneira eficiente. Muitas vezes, o produtor acha que basta adquirir um sistema de irrigação para obter elevados níveis de produtividade, esquecendo-se que é preciso adotar técnicas que possibilitem aplicar a água no momento certo e na quantidade necessária às plantas (RAMOS et al., 2000).

Pereira (2004) afirma que o manejo da irrigação deve ser entendido como a combinação ótima entre as necessidades hídricas das culturas, as características do solo, tanto como meio de transporte como de armazenamento de água, e a operação de irrigação, com as suas condições técnicas, econômicas e sociais.

A partir de trabalhos científicos, constata-se que o estresse causado pela falta de água reduz, sensivelmente, a produção vegetal, inviabilizando-a, por exemplo, em regiões de clima árido ou semiárido, onde a falta de água é constante e limita a atividade agrícola. Por outro lado, como consequência de uma irrigação realizada no momento correto, aplicando-se a quantidade certa de água, é possível alcançar maiores produtividades (SOUZA, 2000).

Tate (1990) afirma que o conceito de uso eficiente da água inclui qualquer medida que reduza a quantidade de água que se utiliza por unidade de área e favoreça a manutenção e o melhoramento da qualidade da água. O uso eficiente da água é básico para o desenvolvimento sustentável, o que implica no uso racional dos recursos naturais pela população atual mantendo as suas disponibilidades para as gerações futuras. Observa, ainda, que a importância do uso eficiente da água varia entre regiões e épocas.

Smith (1989 apud VIANA, 1997) afirma que o manejo da irrigação é o elemento crítico na programação de aplicação da água na obtenção de eficiência do seu uso, de forma que não conduza a problemas de alagamento, salinização, poluição do solo e dos recursos hídricos.

Segundo Souza (1992) uma das razões para baixas eficiências dos sistemas de irrigação é a falta de atenção dada ao manejo após a fase de implantação do projeto. Uma técnica barata e efetiva para eliminar esses problemas é a adoção de calendários de irrigação adequados.

O aumento da escassez de água nas zonas semi-áridas alerta para a urgente necessidade de racionalizar o uso desta. Na agricultura irrigada, frequentemente, a eficiência de utilização dos recursos disponíveis e, principalmente da água de irrigação, é baixa. Assim, é indispensável o conhecimento das relações funcionais entre a água e o rendimento das culturas (MENDES, 1997).

O manejo racional da irrigação objetiva maximizar a eficiência do uso da água e minimizar o consumo de energia (em métodos pressurizados), mantendo favoráveis as condições de umidade do solo e de fitossanidade das plantas, levando em consideração as condições climáticas do local de cultivo, bem como as características da cultura. O manejo racional visa suprir as necessidades hídricas das culturas, fornecendo água no momento e na quantidade correta, ou seja, adotando calendários de irrigação (PEREIRA, 2004).

Segundo Merriam e Keller (1978 apud CARVALHO, 2006) quando se melhora o manejo de água, pode-se economizar água e trabalho, e aumentar os rendimentos do solo e das culturas.

Lima, Ferreira e Christofidis (2004) afirmam que, por não adotar um método de controle de irrigação, o produtor rural, usualmente, irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico.

2.3 A evapotranspiração da cultura (ET_c)

Segundo Doorenbos e Pruitt (1977) a evapotranspiração da cultura (ET_c) é obtida através do produto entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente da cultura (K_c), ou seja, $ET_c = ET_o \times K_c$.

A evapotranspiração (ET) consiste na combinação de dois processos distintos pelo qual a água é perdida, sendo da superfície do solo por evaporação e, por outro lado, da cultura através da transpiração (ALLEN et al., 1998).

Para Jensen (1990) a necessidade de água de uma cultura corresponde à demanda evapotranspirativa dessa cultura em determinado ambiente e recebendo tratamentos culturais determinados.

Segundo Doorenbos e Pruitt (1997) a evapotranspiração é o parâmetro mais importante para se determinar as necessidades hídricas da planta; ela é usada para definir a

perda de vapor d'água para a atmosfera através do efeito combinado dos processos de evaporação da água das superfícies do solo e da planta e de transpiração da água pela planta.

Segundo Pontes (2002) o termo evapotranspiração (ET) foi introduzido na literatura científica por Thornthwaite (1948), que definiu a ET potencial (ETp) como a perda máxima de água por uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberto com vegetação em fase de desenvolvimento ativo e com dimensões suficientemente grandes, de modo a minimizar os efeitos da energia advectiva local, se quaisquer dessas condições, não forem atendidos, tem-se evapotranspiração real (ETr).

A evapotranspiração das culturas pode observar-se através de lisímetros, ser calculada com precisão recorrendo a observações micrometeorológicas ou ser estimada com base em variáveis agrometeorológicas (PEREIRA, 2007).

O método prático de cálculo da evapotranspiração das culturas (ETc) recorre a observações climáticas padrão e utiliza “dois passos” para a estimativa (ALLEN et al., 1998; 2006b): primeiro, calculando a demanda climática que representa as condições ambientais através da evapotranspiração de referência (ETo); segundo, considerando a especificidade da cultura através de um coeficiente cultural (Kc). Para o efeito, recorre-se a uma dupla padronização: a da cultura de referência para o cálculo da ETo, e a da cultura em causa, de forma a considerar que a mesma é cultivada em condições favoráveis à obtenção da produção máxima, condições para as quais se define Kc (PEREIRA, 2004).

2.3.1 Os métodos de estimativa da evapotranspiração das culturas

Tanner (1968 apud VIANA, 1997) agrupou em três classes principais os métodos de estimativa de evapotranspiração: métodos micrometeorológicos, métodos do balanço hídrico e métodos empíricos.

De acordo com Hargreaves (1974 apud VIANA, 1997) dentre os métodos empíricos, o uso de tanque de evaporação, como índice de evapotranspiração potencial das culturas é o método de mais larga utilização, principalmente em locais de condições convectivas relativamente uniformes durante a época do desenvolvimento das culturas.

Medeiros (1996) afirmou que a evapotranspiração pode ser estimada através de 4 métodos: 1) métodos combinados (Penman 1963 - Penman-Monteith, Penman Kimberly, 1982 e Penman corrigido pela FAO); 2) métodos baseados na temperatura: (Hargreaves 1985

e Blaney-Criddle corrigido pela FAO); 3) Tanque de evaporação FAO; 4) método baseado na radiação (Radiação FAO).

De acordo com Silva (1989 apud CABRAL, 2000) o modelo de Penman (1948) estima a evaporação de uma superfície livre de água. Esta equação consiste basicamente em dois termos; um termo energético baseado na radiação, e um termo aerodinâmico expresso em função da velocidade do vento a uma altura de 2 metros e do déficit de saturação.

Segundo Jensen (1990), Penman (1948) não inclui a função de resistência a transferência de vapor d'água em sua equação original. A equação combinada com o termo aerodinâmico e a resistência da superfície de uma cobertura vegetal é chamada de Penman-Monteith.

A comissão internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentos (FAO), consideram o método de Penman-Monteith como sendo o padrão de cálculo de evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos e para avaliar outros métodos (SMITH, 1990).

Existem vários métodos de medição da evapotranspiração, como: métodos baseados nos parâmetros físicos, em que se destaca o balanço de energia; os métodos micrometeorológicos, tais como: método de transferência de massa (razão de Bowen), e os métodos baseados no balanço hídrico, onde o mais comum e preciso é a lisimetria (OLIVEIRA, 2004).

O uso de lisímetros de pesagem é considerado um dos métodos mais práticos e precisos para se determinar a evapotranspiração (HOWELL et al., 1985). Também, segundo Aboukhaled (1982 apud MIRANDA; BLEICHER, 2001) a adoção de algumas medidas de controle durante a instalação e operação dos lisímetros permite assegurar a medição direta da evapotranspiração com precisão e confiabilidade.

No Ceará, através de um acordo entre a Universidade Federal do Ceará, a Universidade do Tennessee e a Embrapa\CNPAT, juntamente com o apoio da Funcap, e do BNB, como fontes financiadoras, foram instaladas duas estações lisimétricas de precisão; uma na Estação Experimental Vale do Curu-Paraibapa, em 1996 e a outra, em 1999, no Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi (SOUZA et al., 2002).

2.3.2 A evapotranspiração de referência (ET_o)

Allen et al. (1998) através do Boletim n° 56 da FAO, recomendaram o uso da equação de Penman-Monteith (FAO-PM) com algumas simplificações, também conhecido como o método FAO Penman-Monteith, como o método padrão para estimar a evapotranspiração de referência - ET_o a partir de dados climáticos.

A evapotranspiração de referência (ET_o) define-se como a taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência hipotética, para a qual se assume uma altura de 0.12 m, uma resistência de superfície constante de 70 s m⁻¹ e um albedo de 0.23, semelhante à evapotranspiração de um extenso coberto de relva verde de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e bem abastecido de água (PEREIRA, 2004).

Com objetivos de estimativa, os processos de transferência turbulenta do vapor no interior e acima das copas, bem como os efeitos da partição da radiação líquida e da energia no interior das copas, podem ser representados pelas resistências de superfície e aerodinâmica. A resistência de superfície, ou resistência da copa, pode ser calculada a partir da resistência à passagem dos fluxos de vapor através das aberturas estomáticas tomando em conta a área foliar total da cultura. Porém, engloba também a resistência aos fluxos de vapor relativos à evaporação direta da água do solo e aos fluxos não turbulentos de vapor que ocorrem no interior da copa até este atingir a superfície exterior. A resistência aerodinâmica representa a resistência à transferência turbulenta do vapor entre a cobertura vegetal e um plano de referência, associada à correspondente transferência vertical de calor sensível para a cultura ou vegetação (PEREIRA, 2004).

Segundo Albuquerque et al. (2002) o método Penman-Monteith/FAO é recomendado como padrão para determinar a ET_o porque é o que mais se aproxima da ET_o da grama no local avaliado, tem embasamento físico e incorpora explicitamente tanto os parâmetros fisiológicos quanto os aerodinâmicos.

Existem duas maneiras de se obter a evapotranspiração de referência: através de métodos diretos ou pela utilização de equações. As medidas diretas, através do método da variação de um bloco de solo isolado (lisímetro de pesagem) é considerado, atualmente, um dos métodos de pesquisa mais precisos (OLIVEIRA, 1999).

Souza e Yoder (1994) compararam cálculos de evapotranspiração com grama, como referência, a partir de dados diários totalizados em meses no período de (1974-78), para os métodos de Penman-Monteith e de Hargreaves et al. (1985), com a equação de Hargreaves

(1974). Os mesmos autores encontraram como resposta que as equações de Hargreaves (1974) e Hargreaves e Samani (1985) superestimaram a evapotranspiração determinada pela equação de Penman-Monteith (1985).

A análise realizada por Souza e Yoder (1994) mostrou que a equação de Hargreaves (1985) não proporciona boas estimativas de evapotranspiração de referência para o Nordeste do Brasil.

As recomendações de Allen et al. (1998) apresentam procedimentos para cálculos de estimativas quando dados climáticos forem perdidos, além do uso da evapotranspiração de referência (ET_o) ao invés da evapotranspiração potencial (ET_p).

Segundo Sedyama (1987 apud OLIVEIRA, 1999) tudo isso mostra a importância dos estudos de evapotranspiração de referência (ET_o) considerada o fator primordial para a quantificação da lâmina de irrigação durante o ciclo da cultura, quando se deseja um manejo adequado da água nos trabalhos de irrigação.

2.3.2.1 Os parâmetros climáticos para a determinação da ET_o

No cálculo da evapotranspiração através do método Penman-Monteith (FAO-PM) são necessários vários parâmetros que caracterizam o estado de umidade da atmosfera e as transferências de vapor entre a superfície da copa e o ar. Tais parâmetros são obtidos a partir de observações em estações meteorológicas padrão, especificamente, recorrendo a estações automáticas onde se observam a temperatura do ar, a umidade relativa, a radiação solar ou a duração diária da insolação e a velocidade do vento (PEREIRA, 2004).

Segundo Pereira (2004) é de grande importância a qualidade das observações e que os dados da estação meteorológica não correspondam às condições de aridez já que a atual definição de evapotranspiração de referência foi estabelecida, para condições de pleno abastecimento hídrico da vegetação acima da qual se fazem as observações. Allen et al. (1998; 2006b) propuseram metodologias simples para análise e correção de dados que são conveniente utilizar.

Ian e Wein (1998 apud AMORIM; GRIEBELER; GONÇALVES, 2003) afirmam que o uso de dados de estações climatológicas próximas pode ser realizado adotando dois procedimentos distintos: ou supõe-se que os dados climáticos de uma dada estação sejam representativos de uma região circunvizinha a qual engloba um determinado local específico;

ou, então, faz-se a interpolação espacial das variáveis climáticas para gerar dados para um local específico ou para uma série de locais.

2.3.3 O coeficiente de cultivo (K_c)

Devido às variações nas características ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, o K_c das culturas varia desde a sementeira até a colheita (PEREIRA, 2004).

Doorenbos e Pruitt (1997) propuseram uma metodologia para estimativa do K_c ao longo do ciclo da cultura, dividindo-o em quatro estádios: a) inicial: da sementeira à emergência completa das folhas definitivas, perfazendo mais ou menos 10% da superfície do solo; b) crescimento: do final do estágio inicial até a cobertura de 80% da área e/ou início da floração; c) intermediário: do final do estágio de crescimento até o início da maturação; d) final do final do estágio intermediário até a colheita.

A evapotranspiração cultural, E_{Tc} (mm d^{-1}), é calculada multiplicando a evapotranspiração de referência, E_{To} (mm d^{-1}), pelo coeficiente cultural, K_c (adimensional), como vulgarizado por Doorenbos e Pruitt (1975) e adaptado posteriormente (Allen et al., 1998 e 2006b; Pereira, 2004; Pereira e Alves, 2005): O coeficiente cultural, conforme bases teóricas analisadas por Pereira et al. (1999), representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a evapotranspiração da cultura da de referência: a altura da cultura (h), que afeta a rugosidade e a resistência aerodinâmica; a resistência de superfície relativa ao par cultura - solo, que é afetada pela área foliar (determinando o número de estomas), pela fração de cobertura do solo pela vegetação, pela idade e condição das folhas, e pelo teor de umidade à superfície do solo; o albedo da superfície cultura-solo, que é influenciado pela fração de cobertura do solo, pela vegetação e pelo teor de umidade à superfície do solo e influencia a radiação líquida disponível à superfície, R_n , que é a principal fonte de energia para as trocas de calor e de massa no processo de evaporação (PEREIRA, 2004).

Durante o período vegetativo, o valor de K_c varia à medida que a cultura cresce e se desenvolve, do mesmo modo que varia com a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação, e à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação. Por este motivo, busca-se o cálculo do K_c em função do LAI (índice de área foliar) efetivo dado que a transpiração de uma cultura varia ao longo do ciclo vegetativo de forma semelhante ao LAI.

No entanto, apenas se tem atingido um sucesso relativo porque a ET da cultura varia também com a evaporação da água do solo, a qual é mais importante na fase inicial da cultura, quando a cobertura do solo é pequena, e se reduz muito em culturas que sombreiam bem o solo quando desenvolvidas (PEREIRA, 2004).

Valores experimentais de K_c para melancia e outras culturas são encontrados na literatura (DOORENBOS; PRUITT, 1977; ALLEN et al., 1998). No entanto, Allen et al. (1998) ressaltam que a altura da cultura e algumas condições climáticas do local do cultivo, tais como a velocidade do vento e a umidade relativa do ar, podem alterar a resistência aerodinâmica e, conseqüentemente, o K_c da cultura (MIRANDA, et al., 2004).

A curva dos coeficientes culturais é construída através dos passos seguintes: a) dividir o ciclo vegetativo em quatro períodos de acordo com a fenologia e o desenvolvimento da cultura: (1) período inicial, (2) período de crescimento rápido, (3) período intermédio e (4) período final; b) Identificar os três valores de K_c que correspondem a K_c ini , K_c mid e K_c end: **K_c ini**: valor de K_{cb} durante o período inicial: culturas anuais - da sementeira ou plantação até $\approx 10\%$ de cobertura do solo; culturas perenes - desde que termina a dormência até que se estabelece o crescimento vegetativo. **K_c mid**: valor de K_{cb} durante o período intermédio: culturas anuais - desde que se estabelece a cobertura total do solo até ao início da maturação ou senescência; culturas perenes - desde que se atinge o desenvolvimento vegetativo pleno até ao início da senescência ou a mudança de coloração das folhas. **K_c end**: valor de K_{cb} na data de colheita ou do início da dormência; c) Traçar os segmentos de reta relativos aos quatro períodos de desenvolvimento (PEREIRA, 2004).

2.4 Necessidades hídricas: balanço hídrico do solo

As necessidades de água para a irrigação são estimadas através do balanço hídrico do solo cultivado. Para tanto, considera-se que parte das necessidades de água é satisfeita pela precipitação, pela reserva de água do solo e pela ascensão capilar e que as saídas de água correspondem à ET (transpiração pelas plantas e evaporação a partir do solo), à percolação para além da zona radicular e ao eventual escoamento à superfície do solo. Estas necessidades são posteriormente corrigidas pela eficiência da irrigação e com a fração de lavagem, quando haja que controlar a salinidade do solo, para obtenção das necessidades brutas ou totais da cultura na prática de irrigação (PEREIRA, 2007).

A determinação do balanço hídrico do solo na zona de enraizamento, com a respectiva quantificação dos termos que o constituem e a caracterização dos padrões de ocorrência dos processos de transferência hídrica (padrões de extração pelas raízes e de escoamento de água no solo) é uma necessidade determinante para a gestão da irrigação e para o seu melhoramento e otimização (CAMEIRA et al., 2005).

As manifestações fisiológicas das plantas devidas às necessidades hídricas deverão servir como indicadores padrão para determinar quando irrigar. Estes indicadores podem ter caráter empírico, como cor, viçosidade, turgidez, enrolamento das folhas, ou constituir métodos científicos, como os relativos ao potencial da água nas folhas, à temperatura da copa, ou a variação dos diâmetros de caules e ramos (TORRECILLAS et al., 2007). Por outro lado, poderão servir de padrão para a calibração prática de métodos baseados na medição de processos que ocorrem no meio onde a cultura se desenvolve, - a atmosfera e o solo, caso da medição do fluxo de seiva para estimar a taxa de transpiração da cultura, a utilização de medições de variáveis meteorológicas para estimar a ET cultural (que se analisou acima), a observação da taxa de variação do teor de água no solo por métodos como o gravimétrico, o da sonda de nêutrons ou o do TDR, ou do potencial da água no solo com tensiômetros (ORTEGA-FARIAS, 2007; MORENO et al., 2007).

Em todos os casos, as variáveis observadas permitem otimizar a decisão relativa à oportunidade da irrigação desde que os métodos estejam calibrados ou validados para a cultura e o ambiente em que esta se desenvolve (PEREIRA, 2003).

Miranda (1998) realizando pesquisas sobre a cultura do melão, em Fortaleza, no Ceará, afirmou que o método do balanço hídrico mostrou-se confiável na determinação do coeficiente de cultivo e do consumo de água pela cultura.

Santos (1998) determinando o coeficiente cultural do feijão caupi, em Fortaleza, no Ceará, utilizando o método do balanço hídrico encontrou uma demanda hídrica total do ciclo da cultura de 266,2 mm.

Montenegro (2002) estudando a cultura do mamoeiro, no perímetro irrigado Curu-Paraipaba, utilizando o método do balanço hídrico, encontrou valores de evapotranspiração da cultura semelhantes aos medidos por lisímetros.

2.5 Calendários de irrigação

Para James (1980 apud SOUZA, 1992) o "Calendário de Irrigação" pode ser definido como o processo ou a técnica para determinar **quando** irrigar e **quanto** de água aplicar em cada irrigação. O estabelecimento do calendário de irrigação apropriado é essencial para o uso eficiente de água, energia e outros fatores da produção, tais como fertilizantes.

Jensen et al. (1969 apud SOUZA, 1992) citam alguns autores para mostrar que na década de 60 estudos indicavam que as práticas para determinar o calendário de irrigação, o momento de irrigar e a quantidade a aplicar, não apresentava grandes modificações daqueles observados 25 anos antes, por Israelsen (1944). Mas, estes autores lembram que o potencial para melhorar o manejo da irrigação havia aumentado substancialmente nos últimos 15 anos (a partir de 1954), devido ao desenvolvimento de equipamento de controle e medição da água, melhoramento nos critérios de dimensionamento, métodos mais confiáveis para estimar ET, e a disponibilidade comercial de instrumentos de medição da umidade do solo para determinar quando irrigar.

Desde o trabalho de Jensen et al. (1969) até a atualidade, o desenvolvimento científico e tecnológico evoluiu de modo a permitir até mesmo o uso do microcomputador no controle do calendário de irrigação (GUIMARÃES, 1993). Jensen et al. (1969 apud GUIMARÃES, 1993) foi o primeiro a introduzir o conceito de utilização de um serviço de extensão baseado no computador.

Haisen e Hagan (1967 apud VIANA, 1997) classificam as técnicas para determinação de calendários de irrigação da seguinte forma: a) Indicadores e medidores da água no solo: - tato e aparência do solo; - conteúdo de água do solo (gravimétrico e sonda de nêutrons) – tensão da água no solo (tensiômetros e blocos de resistência); b) indicadores e medidores de água na planta: - indicadores visuais do estresse hídrico – indicadores do crescimento da planta; temperatura e refletância da folha – medições de água na planta; c) enfoques meteorológicos – requerem os seguintes conhecimentos: taxa de evapotranspiração nos diversos estádios de desenvolvimento da planta; características da retenção hídrica do solo; déficit hídrico permitido a demanda evaporativa; efeito da profundidade das raízes para o crescimento da cultura; e evaporativas.

Existem diversos modelos computadorizados para determinar calendários de irrigação e o primeiro deles foi desenvolvido por Jensen (1969), utilizando dados de clima, cultura do solo. Esse programa, que foi inicialmente aplicado em alguns lotes 1966,

aumentando nos anos seguintes, tem servido de referencia para vários outros pesquisadores. (VIANA, 1997).

Allen (1984 apud VIANA 1997) desenvolveu algumas rotinas, em linguagem, “Fortran”, para planejamento e projetos preliminares de irrigação. Estas rotinas incluem procedimentos para projetar vários tipos de irrigação e sistemas de distribuição, realizando também, estimativa de custos de componentes do sistema. As rotinas de cálculo dos custos dos canais, bombas e tubulações realizadas por Allen são similares àquelas usadas pelo U.S. Bureau of Reclamation. As rotinas dos sistemas de irrigação por sulco e bacias baseiam-se nas famílias de infiltração do SCS (Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos) para a aproximação das características da infiltração.

Smith (1989 apud GUIMARÃES 1993) com o objetivo de obter critérios práticos para calendários de irrigação e distribuição de água, desenvolveu um modelo de simulação para programar o manejo da irrigação. Este modelo da FAO, denominado “CROPWAT” é baseado nas relações de água, solo, planta e clima. Permite simular situações de forma que apresente as melhores opções de uso eficiente da água e redução de rendimento das culturas.

Lima et al. (2004) afirmam que, por não adotar um método de controle de irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico.

2.6 Os “Softwares” no manejo da irrigação

Softwares computacionais usados no manejo da irrigação são programas para microcomputadores que calculam os requerimentos de água da cultura e de irrigação, a partir de dados do clima, do solo e da cultura. Adicionalmente, os programas permitem estabelecer calendários de irrigação para diferentes condições de manejo, e calculam o esquema de suprimento de água de um projeto para diferentes padrões de cultivo (PEREIRA, 2004).

Smith (1989 apud RIBEIRO, 1992) apresentou um modelo de manejo da irrigação da FAO (CROPWAT), testado em vários projetos desta instituição, que permite o desenvolvimento de calendários de irrigação indicativos a partir de dados médios de clima e agrícolas.

Ribeiro (1992) desenvolveu o modelo computadorizado CADIR, com a finalidade de elaborar calendários de irrigação para a cultura do milho, no perímetro irrigado Curu-

Pentecoste, alcançando resultados satisfatórios. Ao comparar o modelo CADIR, com o CROPWAT, desenvolvido pela FAO (Food Agriculture Organization), mostrou que os resultados foram aproximados.

Salazar et al. (1987) relatam que para, aproximadamente, 400.000 hectares de área irrigada, cientificamente, nos Estados Unidos o manejo é realizado com a utilização de calendários de irrigação que utilizam técnicas computadorizadas baseadas no balanço do sistema solo-planta-atmosfera, juntamente com observações periódicas de campo por técnicos ou irrigantes.

Viana (1997) utilizou o “software” CROPWAT para determinar as necessidades hídricas de 8 (oito) culturas do perímetro irrigado Curu-Paraipaba, alcançando resultados satisfatórios.

Guimarães (1993) realizou o manejo da irrigação da cultura do algodão, no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi, utilizando o modelo computacional CROPWAT. Com a utilização deste modelo computadorizado de irrigação foi possível o teste de várias opções de manejo, sendo realizadas as mais diferentes simulações, possibilitando a economia de tempo e de recurso financeiro.

Segundo Pereira (2003) para o irrigante a vantagem de ser orientado quanto ao manejo da irrigação é ter um guia que lhe permita conhecer qual é, aproximadamente, o consumo que ele está esperando da cultura em desenvolvimento e, portanto, estabelecer um calendário próprio de irrigação, dependendo do sistema utilizado por ele na propriedade.

A determinação das necessidades de irrigação e a definição das dotações podem ser facilitadas pelo uso de modelos de simulação do balanço hídrico. Requer-se, porém, adequada parametrização no que respeita ao solo e à cultura e, para a condução da irrigação, que sejam encontradas formas de levar a informação aos agricultores, incluindo o apoio da “Web” (PEREIRA, 2007).

2.6.1 A validação de “softwares” utilizados no manejo da irrigação

Atualmente, uma das principais linhas de investigação refere-se ao desenvolvimento de tecnologias e ao uso de modelos bem calibrados que possam contribuir no manejo eficiente do uso da água (CHATERLAN et al., 2007).

Visando a validação, modelos computadorizados desenvolvidos para o uso no manejo da irrigação devem ser testados para várias condições de clima, solo e cultura, e comparados a resultados oriundos de experimentos de campo, e a outros “softwares” já validados (RIBEIRO, 1992).

Chaterlan et al. (2007) calibraram e validaram o modelo ISAREG, utilizando a seguinte metodologia: investigaram o coeficiente de cultivo (K_c) e o fator de esgotamento de água do solo (p), para as principais fases fenológicas da cultura da cebola. Analisaram de forma que as diferenças entre o observado e o simulado mostrassem diferenças mínimas, entre si.

Godinho et al. (2007) calibraram e validaram o modelo SIMDual K_c , comparando-se os teores de água no solo simulados e os observados, utilizando-se uma regressão forçada à origem, recorrendo a dados referentes a diversos ensaios de campo. Concluíram que as simulações efetuadas com o modelo demonstraram uma boa concordância com os dados observados no campo.

O modelo ISAREG foi validado para as condições portuguesas e para diversos outros países. Para a sua validação utilizaram-se observações de água do solo, ao longo do ciclo vegetativo das culturas, recorrendo à sonda de nêutrons e relativas a todo o perfil do solo suscetível de ser explorado pelas raízes (PEREIRA, 2004). O mesmo autor afirma ainda que no Vale do Sorraia, em Portugal, o ISAREG foi validado, analisando-se a cultura do milho, em solo de aluvião, comparando-se teores de umidade no solo, simulados (ISAREG) com os observados (ensaios de campo).

Ribeiro (1992) visando validar o seu modelo computadorizado (CADIR) utilizou o efeito da época de plantio e do potencial matricial na produtividade de híbridos de milho cultivados sob irrigação, estudado por Santos (1986).

Carvalho (2006) não utilizou os tensiômetros para determinar o momento de irrigação, pois o controle da lâmina a ser aplicada fora a partir do Tanque “Classe A”, ou seja, duas metodologias diferentes para o manejo da irrigação. Durante o processo de validação, as informações simuladas podem diferir das observadas no campo (experimental) devido a esse fato. É fato que estimar a evapotranspiração através de tanques evaporimétricos é arriscado, pois demonstra baixa precisão e as medidas ocasionam estimativas acumuladas da evapotranspiração muitas vezes irreais (CARLESSO; PEREIRA, 2008).

2.7 O ISAREG

O ISAREG é um software de simulação do balanço hídrico no solo desenvolvido no Instituto Superior de Agronomia, em Portugal, em 1992. É utilizado para a simulação do calendário de irrigação. Para tal devem ser informados dados relacionados à cultura, o solo, dados de evapotranspiração, dados de chuva efetiva e dados da opção de irrigação. Deste modo, a entrada para o modelo é feita por um cursor através do qual o agricultor seleciona a sua parcela. Em seguida, a interface executa uma busca à base de dados e carrega os dados referentes à parcela (PEREIRA, 2004).

Diversos modelos de simulação do balanço hídrico constituem ferramentas preciosas para a determinação das necessidades de irrigação e para a condução da irrigação (PEREIRA et al., 1992; 1995). Dentre eles destaca-se o modelo ISAREG (TEIXEIRA; PEREIRA, 1992; PEREIRA et al., 2003), disponível em Windows – modelo ISAREG - e capaz de lidar com a ascensão capilar e a percolação através da zona radicular (LIU et al., 1998). O modelo tem sido utilizado em vários países, e aplicações recentes foram realizadas (CHATERLAN et al., 2007; SALOMON et al., 2007; VICTÓRIA et al., 2007).

O modelo é composto por um programa para o cálculo da evapotranspiração de referência com o método FAO-PM, EVAP56, que inclui a estimativa de parâmetros no caso de variáveis meteorológicas em falta, por um programa para parametrizar a cultura, e por um módulo de simulação do balanço hídrico, calculando as necessidades de água e de irrigação das culturas com diversos passos de tempo e diversas opções de entrada de dados climáticos, de solos e da cultura (PEREIRA, 2007).

Para a validação do modelo utilizam-se observações da água do solo ao longo do ciclo vegetativo das culturas e relativas a todo o perfil de solo susceptível de ser explorado pelas raízes (PEREIRA, 2004). Este complementou afirmando que durante a validação de “softwares” é sempre importante a geração de dados de experimentos locais.

2.8 O manejo da irrigação em perímetros irrigados

Segundo Ramos et al. (2000) a irrigação propicia o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos, sem falar da redução de riscos de perdas da produção, ocasionados

por períodos de estiagem; porém, ela deve ser conduzida de maneira eficiente. Muitas vezes, o produtor acha que basta adquirir um sistema de irrigação para obter elevados níveis de produtividade, esquecendo-se que é preciso adotar técnicas que possibilitem aplicar a água no momento certo e na quantidade necessária às plantas.

O manejo da irrigação compreende um conjunto de procedimentos que devem ser adotados para assegurar o suprimento adequado de água à cultura, durante suas diferentes fases de desenvolvimento, de forma eficiente e econômica, reduzindo as perdas de água e nutrientes, porém sem redução do rendimento. Frequentemente é antieconômico manter a cultura irrigada a um nível de potencial mátrico que permita a máxima produtividade fisiológica (FRIZZONE, 1990).

Medeiros et al. (2001) trabalhando com manejo de irrigação em um perímetro irrigado do Estado de Minas Gerais, obtiveram resultados que permitiram concluir que: ocorreu uma aplicação excessiva de água em todo o perímetro, com exceção dos meses de janeiro de 1999 e janeiro, fevereiro, março e abril de 2000, quando a irrigação foi deficiente. Portanto, é necessária a implantação de um plano de manejo de irrigação que vise à otimização do uso de água no perímetro.

Carvalho et al. (2000) pesquisando o manejo de irrigação no perímetro irrigado do Gorutuba, em Minas Gerais, concluíram que ao utilizar uma técnica de programação linear na irrigação, reduzindo a lâmina aplicada pelos irrigantes, a renda dos mesmos foi superior à obtida por eles na irrigação tradicional.

Costa et al. (2005) analisando as eficiências de aplicação e de uso da água, em cultivo de arroz, no perímetro irrigado Morada Nova, no Ceará, concluíram que em solos ideais para a irrigação do arroz, a eficiência de aplicação chegou a 77%, mas no solo sem aptidão a eficiência foi de apenas 38%.

Costa (2006) pesquisando sobre a racionalização do uso da água no perímetro irrigado Curu-Pentecoste diagnosticou perda de água, decorrente da operação dos sistemas irrigados do perímetro. Na ocasião utilizou metodologias visando aumentar a eficiência do uso da água de irrigação.

Segundo Oliveira (2008) o perímetro Baixo Acaraú não possui nenhuma estratégia de manejo da irrigação, levando os irrigantes a manejar, empiricamente, os recursos hídricos.

Santos et al. (2009) desenvolveram um modelo linear para a otimização do uso da água, no projeto de irrigação Baixo Acaraú, no Ceará, e concluíram que a disponibilidade hídrica do perímetro não é fator limitante quanto à utilização das terras.

Segundo Christofidis (2008) o indicador de água anual requerida para irrigar um hectare, equipado com sistemas de irrigação é de 11.430 m³/ha/ano. Outrossim, acredita que esse número é elevado e que com o advento da tecnologia, esse indicador possa ser incentivado para situar-se próximo a 8.500 m³ de água por hectare irrigado por ano. De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Ceará, o indicado usado para o planejamento da irrigação dos perímetros irrigados do Estado é igual a 18.000 m³/ha/ano.

Hernandez (2008) afirma que o manejo da irrigação em perímetros de irrigação é o grande desafio em termos de agricultura irrigada. O produtor tem uma série de procedimentos com que se preocupar. Ele sabe que precisa irrigar, mas não tem a noção da dimensão do prejuízo ou do ganho, se fizer a coisa certa. O manejo é um procedimento que precisa ser feito todo dia, seja ele baseado num critério de solo, colocando um sensor para indicar a umidade, ou utilizando a atmosfera para estimar esta perda de umidade.

Um desafio essencial na agricultura irrigada é o da necessidade de redução das perdas nos sistemas de irrigação, sejam perdas na aplicação da água nas áreas irrigadas, sejam perdas de água nos sistemas de condução e de distribuição de água pelas infra-estruturas hídricas (CHRISTOFIDIS, 2008).

2.9 A cultura da melancia

A melancia (*Citrullus lanatus*, Schrad) pertence à família das cucurbitáceas, sendo originária do continente africano. É uma planta anual, de crescimento rasteiro, com várias ramificações que alcançam até 5 m de comprimento.

No Brasil, segundo dados Agriannual (2003) a área plantada em 2000 superou 80.000 ha, com produção total de 2.267.880 toneladas de frutos e rendimento da ordem de 28 t/ha, sendo o Nordeste responsável por 35,17% desta produção destacando-se os Estados da Bahia (427.720 t), Pernambuco (122.360 t) e Maranhão (94.020 t), porém vale salientar que o Estado do Ceará é crescente na produção de melancia.

Oliveira (2008) afirmou que, nas exportações do Estado do Ceará a melancia ocupa a 5^o (quinta) posição, com cerca de 12 milhões de dólares vendidos. Foram mais de 26 milhões de quilogramas (kg) dessa fruta que o Estado vendeu para outros países.

Segundo Nóbrega et al. (2009) o Brasil produz cerca de 12,5 milhões de toneladas de melancia por ano, posicionando-se como a quarta fruteira mais produzida no país.

Para Oliveira (1999) a época ideal para a produção de melancia no Estado do Ceará, sob o ponto de vista fitossanitário e para a obtenção de frutos de melhor qualidade e melhores preços no mercado, compreende de julho a dezembro, e que este período coincide com a estação seca, sendo fundamental o uso da irrigação para suprir as necessidades hídricas da cultura.

“As condições edafoclimáticas do Estado do Ceará favorecem a exploração da melancia entre as culturas predominantes nos projetos irrigados do Ceará” (BEZERRA; OLIVEIRA, 1999, p.174).

A baixa produtividade nacional é devido à inclusão da produção das áreas de sequeiro, sujeitas aos riscos da irregularidade das chuvas. O Nordeste destaca-se como a maior região produtora, tanto na agricultura de sequeiro, praticada por pequenos agricultores, quanto na agricultura irrigada (COSTA; LEITE, 2004).

Vários fatores contribuem para que a produtividade dessa cultura não alcance níveis mais satisfatórios, como a carência de informações sobre o manejo da água, fator que limita o desenvolvimento da agricultura irrigada (BEZERRA; OLIVEIRA, 1999).

A cultura da melancia pode ser irrigada por qualquer sistema e/ou método de irrigação. Cada um apresenta suas vantagens e limitações. A seleção do sistema a ser utilizado depende de uma série de fatores técnicos, econômicos e sociais concernentes a cada condição específica (ARAÚJO et al., 1982).

Independentemente do método de irrigação utilizado, um dos fatores mais importantes no cultivo da melancia é o manejo da água de irrigação (quando e quanto aplicar de água). A falta ou excesso afeta significativamente a disponibilidade de nutrientes às plantas, o desenvolvimento vegetativo, reprodutivo e conseqüentemente o rendimento de frutos (OLIVEIRA et al., 1991).

Na fase inicial, até os 20 dias após a germinação, a cultura exige menos água, sendo que a exigência aumenta durante o período de ramificação à frutificação. Entretanto a fase crítica (de maior exigência por água) vai da floração à formação dos frutos (30 a 50 dias após a germinação). A falta de umidade adequada no solo, neste período, reduz severamente a produtividade de frutos bem como propicia o aparecimento da podridão apical conhecida como "fundo preto". Por outro lado, no período da maturação dos frutos, um moderado déficit hídrico melhora a qualidade dos mesmos, propiciando polpa menos fibrosa, com maior teor de açúcar e mais suculento (ANDRADE JÚNIOR, 1998).

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa em questão constou de duas etapas: a primeira consistiu no processo de validação do modelo ISAREG, e a segunda referiu-se à aplicação prática do modelo, no manejo da irrigação da cultura da melancia no Perímetro irrigado Baixo Acaraú.

3.1. O processo de validação do “ISAREG”

3.1.1. O estado da arte do “ISAREG”

O ISAREG é um software de simulação do balanço hídrico no solo desenvolvido no Instituto Superior de Agronomia (ISA), em Portugal, em 1992. Na tela inicial do ISAREG (ver Figura 1), o software dá boas vindas ao usuário, e posteriormente, pergunta se o mesmo deseja abrir um arquivo existente ou criar um novo arquivo, clicando em uma das duas caixas disponíveis, e confirmando a opção na tecla “create”. O modelo foi validado para as condições portuguesas e para diversos outros países. Para a sua validação utilizaram-se observações da água no solo ao longo do ciclo vegetativo das culturas, recorrendo à sonda de nêutrons e relativas a todo o perfil do solo suscetível de ser explorado pelas raízes.



Figura 1 – Tela inicial do ISAREG

Esse modelo é capaz de lidar com a ascensão capilar e a percolação através da zona radicular, bem como com os impactos da salinidade da água e do solo. Com vistas à validação, o modelo apresenta uma valiosa ferramenta que consiste em sua auto-avaliação. O mesmo compara, graficamente, seus resultados simulados, com resultados observados no campo.

Também, o modelo foi adaptado para operar em SIG (Sistema de Informação Geográfica), na versão “GISAREG”. Foi igualmente modificado para operar na “Internet” e servir de apoio na condução da irrigação aos agricultores que tenham acesso à internet (WEBISAREG).

O ISAREG tem sido utilizado em vários países europeus. Mais recentemente, tem sido utilizado e aplicado na América Latina. No Brasil, o mesmo está sendo utilizado nas regiões Sul e Sudeste. No entanto, no Nordeste, e no Ceará em particular, o modelo ISAREG ainda não está sendo utilizado, inclusive, até então, não foi validado para as condições edafoclimáticas da região supracitada. Esta pesquisa estuda, pela primeira vez, o modelo ISAREG, para as condições edafoclimáticas cearenses, buscando validá-lo e aplicá-lo às condições do Baixo Acaraú, na cultura da melancia, e buscando deixar perspectivas de utilizações futuras, para as diversas condições de solo, de clima e de culturas do Estado do Ceará.

3.1.2. O balanço hídrico do solo: a experimentação de campo

Para a realização do processo de validação do ISAREG foi realizado um levantamento bibliográfico, com a procura de monografias, dissertações e/ou teses, realizadas no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFC, que tivessem todas as informações de solo, clima e planta, requeridas pelo modelo para a realização do balanço hídrico do solo. Isso, com o intuito de se fazer comparações entre os componentes do balanço hídrico (evapotranspiração da cultura, fluxo de água no solo, e variação no armazenamento de água no solo) outrora obtidos em experimentação de campo, com os mesmos componentes simulados pelo ISAREG após a sua alimentação com os dados oriundos de pesquisas experimentais ocorridas no campo. Porém, vale salientar que se procurou trabalhos de pesquisas que utilizassem metodologias corretas, que fossem mundialmente conhecidas e utilizadas.

Todavia, devido à falta de trabalhos que preenchessem os requisitos necessários à simulação do balanço hídrico pelo modelo, optou-se por utilizar dados da dissertação de mestrado de Carvalho (2006), intitulada “Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do melão sob diferentes lâminas de irrigação”. Para a obtenção das variáveis do balanço hídrico, no campo, a seguinte metodologia foi utilizada por Carvalho (2006):

A cultura do melão foi irrigada por um sistema de irrigação localizada, tipo gotejamento, com uma linha de gotejadores por fileira de plantas. As irrigações foram realizadas diariamente, no período de 29 de setembro a 30 de novembro de 2005, em Fortaleza, no Estado do Ceará.

Para o monitoramento da umidade do solo foram instalados 48 tensiômetros com manômetros de mercúrio, distribuídos em doze baterias, nas profundidades de 0,10; 0,30; 0,50 e 0,70 m, que permitiu o estudo do movimento da água para o balanço hídrico do meloeiro. No entanto, é importante salientar que esses tensiômetros foram utilizados para analisar o movimento da água no solo, e não para determinar o manejo da irrigação (quando e quanto irrigar). Para tanto, foi utilizado o Tanque “Classe A”. Ou seja, a quantidade de água aplicada, diariamente, não obedecia ao balanço hídrico do solo, e sim a um indicador externo (Tanque Classe A), o que poderia “mascarar” a precisão necessária dos resultados. Por tanto, as quantidades de água aplicadas em cada irrigação não resultaram de indicadores de déficit hídrico do solo e sim de indicador de clima, o que, fisicamente, não fecha o balanço hídrico do solo. No entanto, vale salientar que a pesquisa de Carvalho (2006) objetivava também analisar o comportamento da cultura, com diferentes lâminas, que era aplicadas de acordo com a evaporação do Tanque Classe A.

Os valores do potencial matricial da água no solo foram calculados, diariamente, pela equação 1.

$$\psi_m = -12,6h_{Hg} + h_c + Z \quad (1)$$

em que:

ψ_m – potencial matricial da água no solo (cm H₂O);

H_{Hg} – altura da coluna de mercúrio (cm Hg);

h_c – altura do nível de mercúrio na cuba em relação ao solo (cm);

Z – profundidade de instalação do tensiômetro (cm).

A umidade do solo foi calculada pela equação do modelo de van Genuchten (1980), equação 2.

$$\theta_a = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{1 + \alpha |\psi_m|^n}^m \quad (2)$$

em que:

θ_a – umidade atual do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_r – umidade residual do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_s – umidade de saturação do solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

ψ_m - potencial matricial da água no solo (cm H_2O); e,

α , m e n – parâmetros do solo.

É importante dizer que o θ_a não fora utilizado por Carvalho (2006) para determinar a quantidade de água a ser irrigada diariamente, ou seja, o “quanto irrigar” poderia “furar” o balanço hídrico do solo. Pois se a variação $\bar{\theta}_f - \bar{\theta}_i$ não coincidir com a lâmina aplicada de acordo com a evaporação do Tanque Classe A, então o balanço não fecha.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pelo método de Penman Monteith – FAO (1990, apud ALLEN et al., 1994b).

O consumo de água do meloeiro foi estimado entre os dias 29 de setembro a 27 de novembro de 2005. Este período de produção foi dividido em estágio vegetativo, estágio de floração-frutificação e estágio de maturação.

O balanço hídrico no solo foi realizado pela contabilização da irrigação (I), da variação da armazenagem da água no solo (Δh), da drenagem profunda ou ascensão capilar (Q_z). Assim, para calcular a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi aplicada a equação 3. Onde os valores de I, Q_z e Δh foram obtidos em experimentos no campo, e a ET_c fora determinada através da supracitada equação.

$$ET_c = I + (\pm Q_z) - (\pm \Delta h) \quad (3)$$

em que,

ETc - é a evapotranspiração da cultura (mm);

I - é a irrigação (mm);

Δh - é a variação do armazenamento da água no solo na camada de profundidade de zero a Z, para o intervalo de tempo considerado no balanço (mm); e,

Qz - é a percolação, quando negativo, ou ascensão capilar, quando positivo (mm).

As lâminas de irrigação foram baseadas na evaporação do tanque “Classe A” (ECA) e foram calculadas usando uma percentagem de área molhada de 50%. Os tratamentos foram denominados de acordo com as lâminas evaporadas no tanque (ECA), sendo elas: L₁ (50% da ECA), L₂ (75% da ECA), L₃ (100 da ECA) e L₄ (150% da ECA). Quanto a esta pesquisa, é importante mencionar que nas simulações realizadas durante o processo de validação o tratamento L₂ foi descartado, pois demonstrou resultados inconsistentes.

A variação do armazenamento da água no solo, no intervalo de tempo considerado, na profundidade adotado no balanço hídrico, foi obtida pela equação 4 (REICHARDT, 1990).

$$\Delta h = \bar{\theta}_f - \bar{\theta}_i Z \quad (4)$$

Onde:

$\bar{\theta}_f$ - umidade média do solo na camada de 0 – 0,60 m, no dia da irrigação (m³. m⁻³);

$\bar{\theta}_i$ - umidade do solo na camada estudada, no dia da irrigação subsequente (m³. m⁻³); e,

Z – profundidade do solo, adotada para o balanço hídrico (mm).

A equação de Buckingham – Darcy (1907), equação 5, foi utilizada para a determinação da drenagem profunda ou ascensão capilar, no limite inferior do volume de solo considerado.

$$Q_z = -K \frac{\Delta \psi}{\Delta Z} \quad (5)$$

em que,

$K(\theta)$ – condutividade hidráulica do solo na profundidade Z , em função da umidade do solo (mm.d^{-1}); e,

$\frac{\Delta \psi}{\Delta Z}$ – gradiente do potencial total da água no solo na profundidade Z (m. m^{-1}).

Os valores de $K(\theta)$ foram obtidos mediante um ensaio de campo, numa parcela de 25 m^2 , com três baterias de tensiômetros com manômetro de mercúrio, nas profundidades de 0,10; 0,30; 0,50; 0,70 e 0,90 m. O ensaio foi conduzido por Carvalho (2006) num período de 40 dias, e a equação 6 foi obtida para a condutividade hidráulica a 0,60 m, de acordo com o método de Hillel et al., modificado por Saunders (1978).

$$K_{\theta_{60}} = 4 \times 10^{-7} \exp^{68,936 \times \theta_{med}} \quad (6)$$

sendo,

$K(\theta)_{60}$ – condutividade hidráulica do solo em função da umidade média do solo (θ_{med}) até a profundidade de 0,60 m (mm.d^{-1}); e,

θ_{med} – umidade média do solo até a profundidade de 0,60 m ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$).

O cálculo dos valores dos coeficientes da cultura (k_c) para o meloeiro, nos diferentes estádios fenológicos, foi feito utilizando-se os valores diários da evapotranspiração de referência (ET_o), estimados pelo método de Penman – Monteith FAO (1990) e da evapotranspiração da cultura (ET_c), obtida através do balanço hídrico no solo. Os cálculos para a obtenção dos K_c 's basearam-se na definição fundamental do coeficiente geral da cultura definido por Doorenbos e Kassam (2000), equação 7.

$$k_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (7)$$

sendo:

K_c – coeficiente da cultura;

ET_c – evapotranspiração da cultura (mm.d^{-1}); e,

ET_o – evapotranspiração de referência (mm.d^{-1}).

Os resultados do balanço hídrico, obtidos através do experimento supracitado (Carvalho 2006) encontram-se no Anexo A.

O propósito de se alimentar, com dados do experimento de campo, o modelo ISAREG foi obter resultados (variáveis do balanço hídrico) gerados pelo simulador, que proporcionem diferenças mínimas, entre as variáveis observadas (campo) e as simuladas. Aí então, o modelo em questão poderia estar validado, para ser utilizado, em condições locais de solo, clima e cultura.

As variáveis das Tabelas obtidas por Carvalho (2006) foram comparadas com as obtidas através da metodologia utilizada pelo ISAREG no cálculo dessas variáveis, através de uma análise estatística de regressão, com consideração e observação dos coeficientes de determinação. Pereira (2004) afirma que na validação de modelos como o ISAREG, as curvas devem seguir uma mesma tendência, mas é importante dizer que discrepâncias nos resultados experimentais podem afetar a validação, ou seja, o ISAREG pode gerar informações imprecisas devido à falta de precisão nos dados fornecidos. Pois segundo Carlesso e Pereira (2008) durante a validação do ISAREG os dados requisitados devem ser precisos, e exemplificam um caso de validação em Portugal, onde foram precisos 4 anos de pesquisa, para a geração de dados necessários ao processo de validação do modelo.

3.1.3. O balanço hídrico do solo: a simulação do “ISAREG”

3.1.3.1. A metodologia de cálculo utilizada pelo ISAREG

O balanço hídrico do solo visando simular o seu teor de umidade foi calculado, através da equação 8.

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \frac{(P_i - Q_{ri}) + I_{ni} - ET_{ci} - DP_i + GW_i}{1000 Z_{ri}} \quad (8)$$

onde:

θ_i - teor de água do solo na zona radicular ($m^3 m^{-3}$ ou $mm mm^{-1}$) no dia i ;

θ_{i-1} - teor de água do solo na zona radicular no dia $i-1$ ($m^3 m^{-3}$);

P_i - precipitação no dia i (mm);

Q_{ri} - escoamento superficial no dia i (mm);

I_{ni} - lâmina (líquida) de irrigação no dia i (mm), ou seja, a quantidade de água de irrigação que realmente se infiltrou para armazenamento na zona radicular;

ET_{ci} - evapotranspiração da cultura no dia i (mm);

DP_i - percolação no dia i (mm); e,

GW_i - fluxo acumulado de ascensão capilar no dia i (mm).

Para a obtenção da umidade atual do solo, para o cálculo do balanço hídrico, os seguintes passos equacionais abaixo foram seguidos. O ISAREG utilizou a seguinte metodologia indicada por Pereira (2004): o cálculo da água disponível, a quantidade de água retida no solo à capacidade de campo até a profundidade radicular, expressa como altura da lâmina de água armazenada, foi calculada pela equação 9.

$$W_{r,FC} = 1000 \theta_{FC} Z_r \quad (9)$$

onde:

$W_{r,FC}$ - armazenamento de água do solo na zona radicular à capacidade de campo (mm);

θ_{FC} - teor de água do solo à capacidade de campo ($m^3 m^{-3}$); e,

Z_r - profundidade radicular, i.e., da zona explorada pelas raízes (m).

A quantidade de água retida no solo, no ponto de murcha e até a profundidade radicular foi obtida utilizando a equação 10.

$$W_{r,WP} = 1000 \theta_{WP} Z_r \quad (10)$$

onde:

$W_{r,WP}$ - armazenamento de água do solo na zona radicular no ponto de murcha (mm);

θ_{WP} - teor de água do solo no ponto de murcha ($m^3 \cdot m^{-3}$); e,

Z_r - profundidade radicular (m).

A quantidade de água disponível total no solo (TAW¹) é a quantidade de água que pode ser extraída pelas plantas. Uma vez que a umidade que excede a umidade à capacidade de campo (θ_{FC}) é a água não retida que drena livremente através do perfil do solo, e que a água retida a tensões inferiores à correspondente a umidade no ponto de murcha (θ_{WP}) não é susceptível de ser extraída pela generalidade das plantas cultivadas, resultou da equação 11.

$$TAW = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_r \quad (11)$$

onde:

TAW - água disponível total na zona radicular (mm);

θ_{FC} - teor de água do solo à capacidade de campo ($m^3 \cdot m^{-3}$);

θ_{WP} - teor de água do solo no ponto de murcha ($m^3 \cdot m^{-3}$); e,

Z_r - profundidade radicular, i.e. da zona explorada pelas raízes (m).

Para a realização do balanço hídrico, recorreu-se a valores relativos aos teores de umidade do solo. Assim, utilizou-se a fração da água do solo extraível sem afetar a produção (p) que permitiu calcular a água facilmente disponível (RAW²), através da equação 12.

$$RAW = p TAW = p 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_r \quad (12)$$

onde:

RAW² - água do solo facilmente disponível na zona radicular (mm);

¹ TAW = foi mantida a nomenclatura original do ISAREG (“Total Available Water”)

² RAW = foi mantida a nomenclatura original do ISAREG (“Resorly Available Water”)

p - fração da água do solo extraível sem afetar a produção, ou seja, é a fração de TAW que pode ser extraída da zona radicular sem que ocorra stress hídrico;

TAW - água disponível total na zona radicular (mm);

θ_{FC} - teor de água do solo à capacidade de campo ($m^3 \cdot m^{-3}$);

θ_{WP} - teor de água do solo no ponto de murcha ($m^3 \cdot m^{-3}$); e,

Z_r - profundidade da zona explorada pelas raízes (m).

Na ocasião da pesquisa a ascensão capilar foi desprezada. Segundo Pereira (2004) não há problemas em não utilizar essa variável no balanço hídrico já que o seu valor é relativamente pequeno quando comparado com a ET_c e com as lâminas de precipitação e de irrigação, sendo freqüentemente inferior ao erro que se comete no cálculo do balanço hídrico.

Quanto à percolação o ISAREG utilizou o seguinte critério:

$$DP_i = 0 \quad \text{quando } \theta_i \leq \theta_{FC}$$

$$DP_i = 1000 (\theta_i - \theta_{FC}) Z_{rI} \quad \text{quando } \theta_i > \theta_{FC}$$

Os resultados foram comparados através da realização de análises de regressão, com consideração e observação dos coeficientes de determinação, para cada um dos 3 (três) tratamentos, das seguintes variáveis do balanço hídrico: variação de armazenamento da água no solo (Δh), fluxo da água no solo (q), e evapotranspiração máxima da cultura (ET_m).

3.1.3.2. O processo de simulação

Visando iniciar o processo de simulação foram necessárias informações de clima, do solo, da cultura do melão e da opção do manejo da irrigação. Isso, para cada um dos 3 (três) tratamentos analisados no campo e utilizados no processo de validação (L_1 , L_3 e L_4), onde: L_1 foi a lâmina aplicada, referente a 50% da evaporação do tanque Classe A - ECA, L_3

foi a lâmina representativa de 100% da ECA, e L_4 representou 150% da evaporação do Tanque Classe A.

Em relação aos dados da cultura foram necessárias as seguintes informações: o ciclo da mesma, com suas fases fenológicas bem definidas (6 fases), a profundidade do sistema radicular (z) da cultura, a cada fase fenológica, o fator de disponibilidade de água (p), também por fase fenológica, e o coeficiente da cultura (K_c), em 3 (três) estádios (inicial, médio e final). Outra variável demandada pelo ISAREG é o coeficiente de sensibilidade da produção ao estresse hídrico (K_y), porém como não havia informações sobre esse coeficiente na pesquisa selecionada, o modelo não foi alimentado com essa informação. Os dados da cultura, para cada situação de tratamento, encontram nas Tabelas 1, 2 e 3. Também, esses dados de entrada, no ambiente do ISAREG, podem ser visualizados no Apêndice A.

Em relação aos dados do clima, o ISAREG foi alimentado com valores de evapotranspiração de referência (ET_o), obtidos através de metodologia adotada por Carvalho (2006). O modelo também foi alimentado com dados de precipitação. Todavia, durante o experimento de campo não houve precipitação. Os dados de ET_o e de precipitação, para cada situação de tratamento, encontram-se na Tabela 4. Também, estes dados de entrada, no ambiente do ISAREG, podem ser visualizados no Apêndice B.

Tabela 1 - Dados da cultura do melão, para o tratamento L₁ (50% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA)

Estádio Fenológico da Cultura	Data	Profundidade das Raízes (z) em metros (m)	Fator de Disponibilidade de Água (p)	Coefficiente Cultural (Kc)
Estádio A – Plantio e início da 1 ^o irrigação	29/09	0,10	0,20	0,52
Estádio B – Início do crescimento vegetativo	16/10	0,20	0,20	0,52
Estádio C – Máxima cobertura e floração	30/10	0,40	0,20	0,86
Estádio D – Formação da produção	14/11	0,40	0,20	0,86
Estádio E – Início da senescência	20/11	0,40	0,20	0,86
Estádio F – Colheita e final do ciclo da cultura	28/11	0,40	0,20	0,29

Tabela 2 - Dados da cultura do melão, para o tratamento L₃ (100% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA)

Estádio Fenológico da Cultura	Data	Profundidade das Raízes (z) em metros (m)	Fator de Disponibilidade de Água (p)	Coefficiente Cultural (Kc)
Estádio A – Plantio e início da 1 ^o irrigação	29/09	0,10	0,20	0,57
Estádio B – Início do crescimento vegetativo	16/10	0,20	0,20	0,57
Estádio C – Máxima cobertura e floração	30/10	0,40	0,20	0,89
Estádio D – Formação da produção	14/11	0,40	0,20	0,89
Estádio E – Início da senescência	20/11	0,40	0,20	0,89
Estádio F – Colheita e final do ciclo da cultura	28/11	0,40	0,20	0,54

Tabela 3 - Dados da cultura do melão, para o tratamento L₄ (150% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA)

Estádio Fenológico da Cultura	Data	Profundidade das Raízes (z) em metros (m)	Fator de Disponibilidade de Água (p)	Coefficiente Cultural (Kc)
Estádio A – Plantio e início da 1 ^o irrigação	29/09	0,10	0,20	0,51
Estádio B – Início do crescimento vegetativo	16/10	0,20	0,20	0,51
Estádio C – Máxima cobertura e floração	30/10	0,40	0,20	1,00
Estádio D – Formação da produção	14/11	0,40	0,20	1,00
Estádio E – Início da senescência	20/11	0,40	0,20	1,00
Estádio F – Colheita e final do ciclo da cultura	28/11	0,40	0,20	0,37

Tabela 4 - Dados de evapotranspiração de referência - ETo e de precipitação, utilizados nos tratamento L₁, L₃ e L₄

Mês	Evapotranspiração de Referência (ETo), em milímetros (mm)	Precipitação* (mm)
Janeiro	3,85	0,00
Fevereiro	3,98	0,00
Março	4,10	0,00
Abril	4,15	0,00
Maió	4,17	0,00
Junho	4,60	0,00
Julho	4,70	0,00
Agosto	4,89	0,00
Setembro	5,10	0,00
Outubro	5,10	0,00
Novembro	5,10	0,00
Dezembro	5,20	0,00

Fonte: Carvalho, 2006.

Quanto aos dados do solo, foram utilizados a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, em fração de volume, a cada camada de solo considerada no experimento de campo (0-20 cm e 20-40 cm). Os dados do solo, para cada situação de tratamento, encontram na Tabela 5. Também, esses dados de entrada, no ambiente do ISAREG, podem ser visualizados no Apêndice B.

Tabela 5 - Dados de solo, utilizados nos tratamentos L₁, L₃ e L₄

Camada do solo	1° camada	2° camada
Camada Superior (m)	0,00	0,20
Camada Inferior (m)	0,20	0,40
Espessura da Camada (m)	0,20	0,20
Capacidade de campo (FC)	0,19	0,18
Ponto de Murcha (WP)	0,06	0,07

Fonte: Carvalho, 2006.

Em se tratando da opção do manejo de irrigação, no momento da simulação, optou-se por alimentar o modelo com informações de datas e de lâminas em que Carvalho (2006) irrigou a cultura do melão, para cada tratamento, diferentemente. No entanto, vale salientar que o modelo tem a limitação de processar somente 30 (trinta) observações de irrigação. Mas como o ciclo do melão do experimento de campo foi de 60 dias, e a irrigação fora realizada diariamente, seria preciso que o ISAREG processasse 60 (sessenta) observações de irrigação. Para amenizar esta limitação, durante a simulação, as 60 observações foram transformadas em 30, tomando o devido cuidado de se manter a lâmina total aplicada, por tratamento, durante o experimento de campo. Os dados de datas e de lâminas, para cada um dos 3 (três) tratamentos, encontram nas Tabelas 6, 7 e 8. Também, estes dados de entrada, no ambiente do ISAREG, encontram-se no Apêndice C.

Após a alimentação do modelo, o mesmo gerou Tabelas e gráficos, contendo dentre as principais informações referentes ao balanço hídrico do solo: relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração máxima, fluxo de água no solo (se houve excesso ou déficit), porcentagem de água no solo, lâmina total aplicada, percolação profunda, dentre outras informações relevantes.

Tabela 6 - Dados de datas e lâminas para o tratamento L₁ (50% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA)

Seqüência da Irrigação	Data da Irrigação	Lâmina Aplicada (mm)
1°	29/09	9,1
2°	03/10	8,6
3°	07/10	10,7
4°	11/10	6,2
5°	14/10	8,8
6°	18/10	12,3
7°	23/10	9,3
8°	27/10	6,8
9°	30/10	6,8
10°	02/11	13,3
11°	07/11	7,3
12°	10/11	17,3
13°	17/11	17,3
14°	24/11	5,0

Tabela 7 - Dados de datas e lâminas para o tratamento L₃ (100% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA)

Seqüência da Irrigação	Data da Irrigação	Lâmina Aplicada (mm)
1°	29/09	25,9
2°	05/10	25,9
3°	11/10	26,3
4°	17/10	23,4
5°	22/10	28,5
6°	28/10	37,9
7°	05/11	25,7
8°	10/11	23,2
9°	15/11	25,9
10°	20/11	15,6
11°	23/11	19,2

Tabela 8 - Dados de datas e lâminas para o tratamento L₄ (150% da evaporação do tanque “Classe A” - ECA)

Seqüência da Irrigação	Data da Irrigação	Lâmina Aplicada (mm)
1°	29/09	32,4
2°	04/10	45,4
3°	10/10	32,4
4°	15/10	57,0
5°	23/10	34,6
6°	28/10	41,1
7°	03/11	33,0
8°	07/11	43,5
9°	13/11	37,2
10°	18/11	38,3
11°	23/11	21,8

3.2. A aplicação prática do “ISAREG”: manejo da irrigação para a cultura da melancia no Perímetro irrigado Baixo Acaraú - PIBA

Visando a aplicação prática do ISAREG foi preciso coletar uma série de informações acerca do PIBA, bem como da cultura da melancia. Dentre as principais informações que foram coletadas, algumas informações sobre o manejo da irrigação (quanto e quando irrigar), adotado pelos irrigantes do PIBA, o turno de irrigação da melancia, as características físicas do solo representativo do perímetro, todos os coeficientes técnicos (oriundos de pesquisas locais), referentes à cultura da melancia, bem como a obtenção de série histórica de dados climatológicos do PIBA.

3.2.1. Coleta de informações do sistema água, solo, planta e clima referentes ao Perímetro irrigado Baixo Acaraú

Para a realização da simulação, utilizando o “ISAREG” foi necessário a obtenção de dados geográficos, do clima e do solo, representativos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú (PIBA), de informações acerca da cultura da melancia, e das práticas relacionadas ao manejo da irrigação, adotadas pelo produtor.

3.2.1.1. Localização do PIBA

O Perímetro Irrigado Baixo Acaraú está localizado na região norte do Estado do Ceará no trecho final da bacia do rio Acaraú, abrangendo áreas dos municípios de Acaraú, Bela Cruz e Marco. Geograficamente é definida pelas coordenadas 40° 08' de longitude oeste, 02° 53' latitude sul e 16,5m de altitude. Está localizado na bacia hidrográfica do Acaraú. O acesso ao projeto é feito por rodovias pavimentadas. Partindo-se de Fortaleza pela BR-222 até a cidade de Umirim, deste ponto segue-se pela rodovia estadual CE-016, e pouco antes de chegar à cidade de Morrinhos, encontra-se o entroncamento com a CE-161/BR-403, a qual

atravessa a área do Projeto no sentido Morrinhos- Acaraú, sendo de aproximadamente 210 km o percurso Fortaleza- Marco (SIRH, 2002).

3.2.1.2. Características do projeto

O Baixo Acaraú tem uma área irrigável de 8.440 ha, mas, atualmente, estão sendo irrigados 2.053 ha. Os lotes estão distribuídos da seguinte forma: os pequenos produtores dispõem de 482 lotes de 8 ha, cada um. Já para os técnicos agrícolas há 52 lotes, de 16 ha, cada. Também há 39 lotes de 80 ha, cada, disponíveis para os empresários. O sistema de irrigação é de dois tipos: Microaspersão e Gotejamento. A fonte hídrica é através do Rio Acaraú, perenizado no trecho, pelas águas dos Açudes Públicos Araras e Serrote, hoje denominados de Paulo Sarasate e Edson Queiroz, respectivamente. As culturas exploradas são: o Algodão, o Feijão, o Tomate, o Maracujá, o Amendoim, a Manga, o Melão, Citrus e a Cenoura. A área está distribuída da seguinte forma: 44,7% encontram-se com colonos em lotes com área média de 8 ha, irrigados por aspersão convencional; 10,7% estão com técnicos agrícolas ou agrônomos em lotes com área média de 16 ha, sendo 8 ha irrigados por aspersão convencional e 8 ha por gotejamento; 40% são ocupados pelos empresários, em lotes com área média de 80 ha, dos quais 30 ha deverão ser irrigadas por gotejamento e 50 ha por sistema de pivô central; 4,6% formam os reassentamentos em lotes com áreas médias de 2 ha e 4 ha, irrigados por aspersão convencional; e serão instalados 04 núcleos habitacionais dotados de infra-estrutura urbana e de apoio à produção, abastecimento d'água, rede viária básica e abastecimento de energia elétrica (SIRH, 2002).

A Infra-Estrutura Hidráulica Principal do Projeto Baixo Acaraú compreende todo o sistema de captação e adução de água, formada pela barragem de derivação Santa rosa, pela Estação de Bombeamento Principal, pelas Adutoras Principais e pela Rede Principal do Perímetro. A infra-estrutura parcelar é composta pela infra-estrutura dos lotes Empresariais (80 ha), técnicos (16 ha), colonos (8 ha) e Reassentados (4 ha e 2 ha). Compreende também as estações individuais de pressurização e as linhas fixas e móveis, de sistemas convencionais de aspersão (SIRH, 2002).

Segundo Santana et al. (2008) dentre os perímetros irrigados, localizados no Ceará, o Baixo Acaraú é o segundo maior, em termos de demanda hídrica ($151,92 \text{ hm}^3/\text{ano}$) ficando atrás apenas do perímetro irrigado Tabuleiro de Russas ($188,28 \text{ hm}^3/\text{ano}$).

3.2.1.3. Aspectos geográficos e edafoclimáticos

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área é do tipo Aw', quente e úmido com chuvas de verão-outono, com precipitação anual média de 960 mm e evaporação de aproximadamente 1.600 mm anuais. Os solos são predominantemente classificados como Neossolo Flúvico, Argissolo e Neossolo Quartzarênico. No que respeita ao relevo, a região é caracterizada por uma topografia suave-ondulada, porém com uma forte declividade longitudinal (AQUINO et al., 2008).

O relevo dos tabuleiros é relativamente plano e suavemente ondulado com altitudes compreendidas entre 56 e 36 metros, com declividade sul/norte de aproximadamente um metro por quilômetro, vertentes longas com declividades inferiores a 5% (SIRH, 2002). A temperatura mínima média anual é de 22,8°C, A temperatura máxima média anual é de 34,7°C, a insolação média é de 3.000 h/ano, a umidade relativa do ar média é de 70%, a velocidade média dos ventos é de 2,10 m/s e a evaporação anual medida pelo tanque "Classe A" é de 1.600 mm (SIRH, 2002).

3.2.1.4. Dados climatológicos do PIBA

Em termos de estação climatológica, somente há duas, nas proximidades do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú. Uma delas é do próprio Distrito de irrigação, e fornece todos dados das variáveis necessárias à simulação pelo ISAREG (temperatura, radiação, velocidade do vento, umidade relativa do ar, e precipitação). Todavia, somente há cerca de 5 anos de dados climatológicos. Já a segunda e mais antiga estação climatológica, localiza-se próximo ao PIBA e pertence ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Esta estação conta com mais de 30 anos de dados climatológicos. Portanto, visando utilizar uma série histórica (1977 a 2007) das variáveis climatológicas, para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), utilizou-se as informações fornecidas pelo INMET.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da área é do tipo Aw', quente e úmido. Apresenta precipitação média anual de 900 mm, com temperatura variando de 28,1 a 34,7 °C, e evaporação de, aproximadamente, 1.600 mm anuais.

Para realizar o cálculo da ETo, através do método de Penman-Monteith/FAO, o ISAREG requer as seguintes informações climáticas: (a) temperatura máxima, T_{máx}; (b) temperatura mínima, T_{mín}; (c) umidade relativa do ar, Ur; (d) velocidade do vento, V_v; e, (e) insolação, In. Também são necessárias as seguintes informações adicionais: altitude e latitude do local.

Na Tabela 9 encontram-se os valores de precipitação computados pelo ISAREG, e os valores de evapotranspiração de referência (ETo) calculados pelo modelo, através da equação de Penman-Monteith/FAO (recomendada pelo boletim da FAO n° 56).

Tabela 9 - Dados de evapotranspiração de referência - ETo e de precipitação do Baixo Acaraú, inseridos no ISAREG

Mês	Evapotranspiração de Referência (ETo), em milímetros (mm)	Precipitação (mm)
Janeiro	3,74	8,80
Fevereiro	4,20	10,10
Março	3,71	12,90
Abril	3,54	12,20
Mai	3,85	8,40
Junho	4,19	4,90
Julho	4,97	4,70
Agosto	5,71	1,50
Setembro	6,17	1,40
Outubro	6,34	1,30
Novembro	6,14	1,60
Dezembro	5,67	4,00

Fonte: INMET

Os principais dados climatológicos (médias mensais), inclusive os de precipitação, representativos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, utilizados na simulação com o ISAREG, para a determinação da evapotranspiração de referência (ETo), e estes são apresentados no Apêndice D.

3.2.1.5. Dados da cultura da melancia

A cultura selecionada para o processo de aplicação prática do ISAREG, na elaboração do balanço hídrico e de calendários de irrigação foi a melancia "*Citrullus vulgaris*

Schrad". Essa cultura foi selecionada através de solicitações do próprio PIBA. Onde se verificou que a supracitada cultura está em ascensão no perímetro, sendo cada vez mais cultivada.

A melancia é cultivada no perímetro em um espaçamento de 3 m x 1 m. A cultura tem um ciclo em torno de 70 dias. As durações das fases fenológicas da melancia são as seguintes, de acordo com o modelo ISAREG: a) 10 dias do plantio até a primeira irrigação; b) 10 dias de início de crescimento vegetativo; c) 17 dias de cobertura total e floração; d) 12 dias de formação de frutos; e) 7 dias de início da senescência das folhas; e, f) 14 dias de colheita e final do ciclo.

Em relação à profundidade efetiva do sistema radicular (z), por fase fenológica, utilizaram-se as seguintes profundidades, de acordo com a literatura e com pesquisadores: a) 0,1 m do plantio até a primeira irrigação; b) 0,2 m de início de crescimento vegetativo; c) 0,3 m de cobertura total e floração; d) 0,35 m de formação de frutos; e) 0,4 m de início da senescência das folhas; e, f) 0,4 m de colheita e final do ciclo.

Quanto ao fator de esgotamento máximo de água disponível (p) não foi possível obter, com precisão esse fator, principalmente, por fase fenológica. Portanto, adotou-se um valor de "p" médio utilizado pelos pesquisadores locais, para a cultura da melancia, de 0,2.

Os coeficientes da cultura (K_c) da melancia que foram utilizados são oriundos da pesquisa local, realizada por Miranda; Oliveira e Souza (2004) que trabalhando com lisimetria de precisão, encontraram os seguintes K_c 's da cultura da melancia: 0,39 no estágio inicial, 1,31 no estágio intermediário e 0,7 no estágio final. Na Tabela 10 encontram-se as variáveis relacionadas à cultura da melancia, processadas pelo ISAREG na simulação do balanço hídrico. Esses dados de entrada em ambiente do ISAREG encontram-se no Apêndice E.

Tabela 10 - Dados da cultura da melancia inseridos no ISAREG no processo de simulação do balanço hídrico no solo

Estádio Fenológico da Cultura	Data	Profundidade das Raízes (z) em metros (m)	Fator de Disponibilidade de Água (p)	Coefficiente Cultural (Kc)
Estádio A – Plantio e início da 1ª irrigação	01/09	0,10	0,20	0,39
Estádio B – Início do crescimento vegetativo	11/09	0,20	0,20	0,39
Estádio C – Máxima cobertura e floração	08/10	0,30	0,20	1,31
Estádio D – Formação da produção	20/10	0,35	0,20	1,31
Estádio E – Início da senescência	27/10	0,40	0,20	1,31
Estádio F – Colheita e final do ciclo da cultura	10/11	0,40	0,20	0,70

3.2.1.6. Dados do solo do PIBA

Os solos do PIBA são, predominantemente, classificados como Neossolo Flúvico, Argissolo e Neossolo Quartzarênico. A textura do material é bastante variada, aparecendo sedimentos arenosos e areno-argilosos, às vezes intercalados com camadas de cascalhos de quartzo desarestado e concentrações lateríticas a maiores profundidades e segundo Matias Filho (2001) essa formação origina solos profundos.

As variáveis necessitadas pelo ISAREG para a simulação foram a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente, ambas em fração de volume, e as profundidades das camadas de amostragem do solo. Os dados de solo foram obtidos por Moreira (2009). O mesmo realizou uma pesquisa no PIBA, calculando, com relativa precisão, as variáveis demandadas. Vale salientar que as informações físicas do solo, que foram utilizadas são representativas de um Neossolo Quartzarênico, solo esse predominante na área atual de exploração agrícola do PIBA.

Na Tabela 11 encontram-se as variáveis relacionadas às características físicas do solo representativo do PIBA, processadas pelo ISAREG na simulação do balanço hídrico. Os dados de entrada, relacionados ao solo do Baixo Acaraú, no ambiente do ISAREG, encontram-se no Apêndice F.

Tabela 11 - Dados de solo representativos do PIBA, utilizados na simulação com o ISAREG

Camada do solo	1° camada	2° camada	3° camada	4° camada
Camada Superior (m)	0,00	0,08	0,23	0,38
Camada Inferior (m)	0,08	0,23	0,38	0,53
Espessura da Camada (m)	0,08	0,15	0,15	0,15
Capacidade de campo (FC)	0,13	0,24	0,19	0,23
Ponto de Murcha (WP)	0,08	0,16	0,08	0,12

Fonte: Moreira, 2009.

3.2.1.7. O manejo da irrigação adotado pelo irrigante

Visando tomar conhecimento de como o irrigante realiza o manejo da irrigação no PIBA foram aplicados dois modelos de questionário técnico. O primeiro, que foi aplicado aos

irrigantes, teve como principais objetivos, saber: quais as culturas mais exploradas, quando ocorre a irrigação, quanto de água é aplicado, por cultura, qual a concepção dos irrigantes em se tratando do uso da água. O segundo foi aplicado ao gerente do Distrito de irrigação. Este teve como principais objetivos, saber: dos gestores sobre suas opiniões e expectativas, quanto ao aumento de produção no PIBA, analisar qual a disponibilidade dos irrigantes em pagar as tarifas de uso da água, qual a função do Distrito de irrigação na busca pela economia da água de irrigação.

Atualmente, cerca de 2.053 ha estão sendo irrigados no PIBA. A quantidade média de água aplicada à cultura da melancia é de, aproximadamente $117 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Considerando um ciclo médio da melancia no PIBA de 70 dias, significa dizer que os irrigantes estão aplicando cerca de 8.173 m^3 de água por hectare em todo o ciclo da cultura. Ainda, levando-se em consideração que o espaçamento adotado pelos irrigantes, para a cultura é de 3 x 1 m, os mesmos estão aplicando, diariamente, cerca de 35 litros de água por planta.

Também através dos questionários aplicados, observou-se que apesar de os irrigantes pagarem pelo uso da água, os mesmos não reclamam. Eles acreditam estar aplicando a quantidade de água correta, no momento correto, mas concordam com a importância da pesquisa, que poderá evidenciar um deficiente manejo da irrigação no PIBA.

De uma forma geral, os questionários tiveram a função fundamental de fornecer informações sobre quanto e quando as culturas estão sendo irrigadas, principalmente, a cultura da melancia (objeto do estudo). Foram questionados 4 irrigantes e 2 representantes do Distrito de irrigação, totalizando 6 questionários. Os 2 (dois) modelos de questionários aplicados encontram-se no Apêndice G.

3.2.2. O modelo “ISAREG” no planejamento da irrigação

Diversos modelos de simulação do balanço hídrico constituem ferramentas preciosas para a determinação das necessidades de irrigação e para a condução da irrigação (PEREIRA et al., 1992, 1995; SMITH, 1992). Dentre eles destaca-se o modelo ISAREG (TEIXEIRA et al., 1992; LIU et al., 1998; PEREIRA et al., 2003), desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural do Instituto Superior de Agronomia - ISA, agora disponível em Windows, através da versão 1.3, é capaz de lidar com a ascensão capilar e com

a percolação profunda (FERNANDO; PEREIRA; LIU, 2001) bem como com a salinidade da água de irrigação e do solo (CAMPOS et al., 2001).

O ISAREG é utilizado para simular o balanço hídrico do solo, permitindo o cálculo e a programação do calendário de irrigação, para um ou vários cenários, tendo por base a caracterização do meio (solo, cultura e clima), e a disponibilidade hídrica, de acordo com os objetivos do usuário.

Após a entrada de dados no modelo de simulação são geradas informações sobre os aspectos relacionados ao balanço hídrico do solo, bem como acerca do manejo da irrigação como um todo. Resumidamente, as informações geradas foram as seguintes:

- a) lâmina de água aplicada durante todo o ciclo da cultura;
- b) lâmina de água percolada (se houver) ao longo do ciclo da cultura;
- c) lâmina de água por ascensão capilar (se houver);
- d) necessidade de lixiviação (se houver);
- e) curva do coeficiente de cultivo (Kc);
- f) evapotranspiração da cultura (ETc), ao longo de todo o ciclo;
- g) necessidade hídrica em função do fator de produtividade (Ky);
- h) variação completa do armazenamento da água no solo;
- i) intervalo entre irrigações, para cada opção de manejo;
- j) gráficos de Lâmina em função de TAW e RAW;
- k) gráficos do ciclo da cultura e dos perfis do solo; e,
- l) gráficos comparativos (validação) entre resultados experimentais e resultados oriundos da simulação.

3.2.2.1. Cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o)

O ISAREG utiliza a equação 13 de Penman-Monteith/FAO, descrita por Allen et al. (1994b).

$$ET_{o \text{ PM}} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (13)$$

onde:

ET_{OPM} : evapotranspiração de referência (mm.d^{-1});

R_n : radiação líquida na superfície da cultura ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$);

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

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

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

$e_s - e_a$: déficit de saturação do vapor d'água do ar (kPa);

Δ : declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água do ar ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$);

γ : constante psicrométrica ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$);

900: coeficiente para a cultura de referência ($\text{kJ}^{-1}.\text{kg.K}$) resultante da conversão de segundos para dias e de coeficientes devidos à substituição das variáveis ρ , c_p , e r_a ;

0,34: coeficiente de vento para a cultura de referência ($\text{kJ}^{-1}.\text{kg.K}$) resultante da razão r_s/r_a (no denominador da equação 13 i.e. de $70/208 = 0,34$);

0,408: valor para $1/\lambda$ com $\lambda = 2,45$ (MJ.kg^{-1}).

Para tanto, o simulador necessita dos seguintes dados:

- a) Informações geográficas básicas do PIBA (latitude e altitude); e,
- b) Dados climáticos, que podem ser diários, a cada decêndio ou mensais, acerca das seguintes variáveis climatológicas: temperatura máxima média, temperatura mínima média, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e/ou radiação.

Durante o processo de simulação, no que se refere à evapotranspiração de referência (ET_o), o simulador foi alimentado com dados climatológicos, oriundos de uma série histórica (1977 – 2007) do PIBA. No anexo B encontram-se os valores médios dos dados climatológicos, representativos do Baixo Acaraú (série histórica) utilizados na simulação com o ISAREG, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

3.2.2.2. Necessidades hídricas da cultura da melancia e o balanço hídrico do solo

Essa função do ISAREG é uma das suas principais ferramentas. A determinação da evapotranspiração da cultura, calculada pelo modelo depende, diretamente, dos dados de clima e de dados da cultura.

Para o cálculo das necessidades hídricas da cultura foram utilizados dados mensais das variáveis climatológicas demandadas (temperatura máxima média, temperatura mínima média, velocidade do vento, insolação, e umidade relativa do ar). Após a alimentação

do modelo, o mesmo calculou a evapotranspiração de referência (ET_o) do PIBA. O ISAREG realiza essa ação através da equação 13.

Somando-se às informações supracitadas, foram inseridos dados de precipitação (também oriundos de série histórica), pois o modelo de simulação, a partir das informações de precipitação total, estima o que vai ser considerado como chuva efetiva (ver Tabela 9, supracitada).

Também, para o cálculo da evapotranspiração da cultura da melancia (ET_c), o simulador foi alimentado com dados técnicos referentes à cultura em questão. Foram eles: datas e durações de cada fase fenológica da cultura, a partir da data de plantio da mesma, profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da melancia, a cada fase fenológica, fator de disponibilidade de água, também por fase fenológica, e os coeficientes de cultivo, para as fases: inicial, intermediária e final (ver Tabela 10, supracitada). Porém, vale salientar que o ISAREG permite a entrada de dados diários de coeficientes cultural, o que refletiria em maior precisão na ET_c, mas devido à escassez de dados, utilizou os K_c's: inicial, intermediário e final, oriundos de resultados de pesquisas locais (MIRANDA; OLIVEIRA; SOUZA, 2004). Com isso, o ISAREG calcula a ET_c através da equação 14.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (14)$$

Quanto às questões hídricas, após a seleção do tipo de manejo de irrigação que se deseja, deve-se alimentar o modelo acerca do total de água disponível no solo (TAW) no momento do início da irrigação, pois é a partir do TAW e de informações do fator de disponibilidade de água no solo (p), e da profundidade efetiva do sistema radicular (z), a capacidade de retenção de água no solo, e a percolação profunda (q), que o simulador mostrará, durante o balanço hídrico, a água prontamente disponível numa fração de solo (RAW), num certo momento do ciclo da cultura.

Após a entrada das informações supracitadas, o ISAREG processou os dados e determinou a evapotranspiração da cultura, a variação de armazenamento da água no solo (Δh), o fluxo de água no solo (q), dentre outras informações, resultando no completo balanço hídrico do solo, gerando um calendário de irrigação, para cada opção de manejo da irrigação pré-selecionado. Finalmente, informando ao usuário, para as condições de clima, solo e cultura fornecidos, quando e quanto se deve irrigar a cultura da melancia.

3.2.2.3. As opções do manejo da irrigação

Em se tratando das opções do manejo da irrigação, o ISAREG permite a escolha de uma das cinco opções a seguir:

- a) Irrigation aiming maximum yield (lâmina para o máximo rendimento)
 - Lâmina de água no solo nunca é maior que “p”.
 - Lâmina de irrigação deverá sempre deixar o solo à CC.
- b) Seting irrigation timings and dephs (definindo tempos e laminas de irrigação)
 - A cada tempo de irrigação a lâmina será calculada.
- c) Seting irrigation dates and dephs (definindo datas e laminas de irrigação)
 - Dias das lâminas de irrigação são conhecidas e definidas.
- d) No irrigation scheme (sem irrigação)
 - Um esquema em que não ocorre irrigação (sequeiro).
- e) Compute net irrigation requerements (requerimento de irrigação pelo ISAREG)
 - A lâmina líquida para todo o ciclo da cultura é calculada pelo ISAREG.

No ambiente do ISAREG, as caracterizações acerca das opções do manejo da irrigação podem ser vistos no Anexo C.

3.2.2.4. O calendário de irrigação

O ISAREG, na elaboração dos calendários de irrigação, permite as seguintes opções:

- a) irrigação visando à máxima produtividade no campo, sem levar em consideração somente a economia de água;
- b) irrigação com o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar, selecionados pelo irrigante e/ou técnico;
- c) irrigação com o monitoramento das lâminas de irrigação em função das datas conhecidas pelo irrigante;

- d) simular esquemas de irrigação onde não há irrigação, com déficit hídrico, o caso da irrigação de sequeiro; e,
- e) esquema em que o simulador elabora o calendário, somente em função das necessidades hídricas da cultura.

O cálculo do calendário é baseado no balanço hídrico do solo, onde, diariamente, o fluxo de água de entrada e de saída (evapotranspiração, precipitação, irrigação) na zona das raízes do perfil do solo é monitorado. Para os cálculos foram requeridos dados de evapotranspiração, de precipitação, da cultura e do solo.

Na elaboração do calendário de irrigação, o modelo funciona de acordo com a opção do manejo da irrigação selecionado, o ISAREG pode realizar o balanço hídrico do solo seguindo uma das cinco opções a seguir:

- a) Relação ETa/ETm – Neste caso, quando um dado valor da relação entre evapotranspiração real (ETa) e evapotranspiração máxima (ETm) é atingido, a irrigação é iniciada. Nesta opção, todas as irrigações ocorrem quando a água no solo estiver igual ou abaixo do fator de disponibilidade de água no solo (p);
- b) Porcentagem de TAW utilizada – Nesta opção a irrigação é iniciada quando um dado valor de TAW (pré-selecionado) é atingido. No caso, a lâmina de água no solo poderá estar igual ou acima de “ p ”;
- c) Porcentagem de umidade do solo utilizada – Neste caso, o modelo utiliza o TAW, e irriga sempre para elevar o nível de água no solo, até a capacidade de campo do mesmo;
- d) Porcentagem de depleção permitida (MAD – Management Allowable Deficit) – Quando se trata dessa opção, a condição é o valor de MAD. Neste esquema o MAD é representado pelo “ p ”, e todas as irrigações ocorrem quando a água no solo estiver abaixo de “ p ”; e,
- e) Fração de depleção da água no solo – Essa fração será expressa por “ p ”, que corresponde à situação na qual $MAD = 100\%$. Nesse esquema, a irrigação ocorre quando a água no solo for igual a “ p ”, evitando o “stress” da cultura.

Foi elaborado 1 (um) calendário de irrigação, para a opção de manejo ótimo e com entradas de datas e lâminas, a partir de dados oriundos da pesquisa “in loco”, realizada junto aos irrigantes (lâminas aplicadas por eles na cultura da melancia). Em relação às datas de plantio, foram elaborados calendários para a data de plantio de 01 de setembro, visando simular uma condição em que a região não se encontra no período das chuvas.

O ISAREG, após o processo de simulação, apresenta uma série de informações que retratam as condições atuais, em relação ao balanço hídrico e das recomendações, em relação ao calendário de irrigação. Estes resultados foram organizados e compilados em Tabelas elaboradas. Os calendários de irrigação, para cada opção de manejo da irrigação, contêm as seguintes informações:

- a) tipo de cultura e data de plantio;
- b) fase fenológica da cultura em que ocorre a irrigação;
- c) água prontamente disponível à planta (RAW) em função de TAW (total de água disponível no solo);
- d) evapotranspiração real e máxima, ao longo do ciclo da cultura;
- e) fluxo de água (perda ou excesso) no solo;
- f) eficiência do calendário de irrigação;
- g) lâmina total de água aplicada no ciclo da cultura; e,
- h) deficiência no calendário de irrigação, que é determinada pela relação ETa/ETm .

Foi realizada uma análise comparativa entre a quantidade de água que os irrigantes estão aplicando à cultura da melancia no PIBA e a quantidade de água que o ISAREG recomendou, através de suas simulações (calendários de irrigação).

Finalmente, sabendo-se a evapotranspiração das culturas, suas épocas de plantio, as eficiências dos sistemas de irrigação utilizados no perímetro, os ciclos das culturas, as características dos emissores e a disposição das plantas no campo, foram elaborados “calendários de irrigação”. Com isso, o irrigante do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú saberá quanto e quando deverá irrigar, para que não haja desperdício de água nem energia, buscando uma maior eficiência na produção.

3.2.3. O processo de simulação

O processo de simulação seguiu a seguinte seqüência: primeiramente, o modelo foi alimentado com dados mensais de variáveis climatológicas do PIBA; em seguida, foi selecionada a opção para que o ISAREG calculasse a evapotranspiração de referência (ET_o). Após este procedimento, o modelo foi alimentado com dados de precipitação do PIBA. Assim, iniciou-se a entrada de dados da cultura da melancia. Ainda neste segmento, os primeiros passos consistiram na entrada de dados referentes às fases fenológicas da cultura,

bem como a profundidade efetiva do sistema radicular e fator de disponibilidade de água no solo, ambos por fase fenológica. Seguidamente, os valores de coeficiente da cultura foram inseridos. Após ter sido finalizada a entrada de dados da cultura, inseriu-se os dados referentes ao solo (características físicas) do PIBA. Finalmente, quanto à irrigação, selecionou-se um processo de simulação para cada opção de manejo da irrigação disponível no ISAREG. Após terem sido inseridos todos os dados necessários, o modelo foi utilizado na realização da simulação do balanço hídrico no solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e a discussão, desta pesquisa referem-se a duas ações. A primeira diz respeito ao processo de validação do modelo ISAREG, e a segunda refere-se à aplicação prática do modelo no manejo da irrigação da cultura da melancia no Perímetro Irrigado Baixo Acaraú – PIBA.

4.1. O processo de validação do “ISAREG”

Na análise para a validação do modelo foram realizadas observações do balanço hídrico do solo, levando-se em consideração os 3 (três) estratégias de manejo adotadas por Carvalho (2006).

4.1.1. O balanço hídrico do solo: o experimento de campo versus o “ISAREG”

Quanto ao balanço hídrico do solo, para cada uma das estratégias de manejo supracitadas foram analisados os seguintes parâmetros: a evapotranspiração da cultura, a variação de armazenamento de água no solo e o fluxo de água no solo.

4.1.1.1. A simulação para a condição de manejo de 50% de ECA

Na Tabela 12 encontram-se os valores de ET_c , Δh e q_{60} , advindos da pesquisa experimental de Carvalho (2006), bem como as variáveis oriundas da simulação do ISAREG, com dados experimentais do supracitado autor.

a) a evapotranspiração da cultura (ET_c)

Através da Tabela 12 é possível observar que a evapotranspiração da cultura (ETc) gerada através do ISAREG mostrou um comportamento crescente, com exceção de um período de 3 dias, durante o estágio fenológico de formação da cultura e dos últimos 3 dias do ciclo da cultura (7,10 mm).

O estágio fenológico de maior consumo de água pela cultura foi o de floração/frutificação (102,34 mm). Isto ocorreu mesmo este estágio tendo o mesmo número de dias do estágio de formação da cultura (25 dias). Este aumento na demanda hídrica deve-se ao fato de que é neste estágio em que a cultura atinge a profundidade máxima e efetiva das raízes, elevando a retenção de água nesta zona e maior absorção de água pela cultura. Outro fator importante é que neste estágio a área foliar da cultura alcança o máximo, elevando a transpiração da mesma.

Analisando a Figura 2, na comparação entre a evapotranspiração da cultura obtida de forma experimental por Carvalho (2006) e a ETc simulada pelo ISAREG, ambas para as mesmas condições edafoclimáticas, observa-se que a curva segue uma mesma tendência, com exceção de um período de 11 (onze) dias, já no estágio de floração/frutificação, em que a ETc simulada pelo modelo subestimou a ETc calculada experimentalmente. Esta diferença pode ser justificada pelos seguintes fatores: o primeiro é que o ISAREG, requer as informações a cada fase fenológica da mesma, o que o modelo divide em 6 (seis) fases, e é a partir das durações destas fases, que o ISAREG engloba na utilização do coeficiente cultural (Kc) os dados fornecidos. No entanto, esta informação foi estimada, de acordo com experiência de campo de pesquisadores locais.

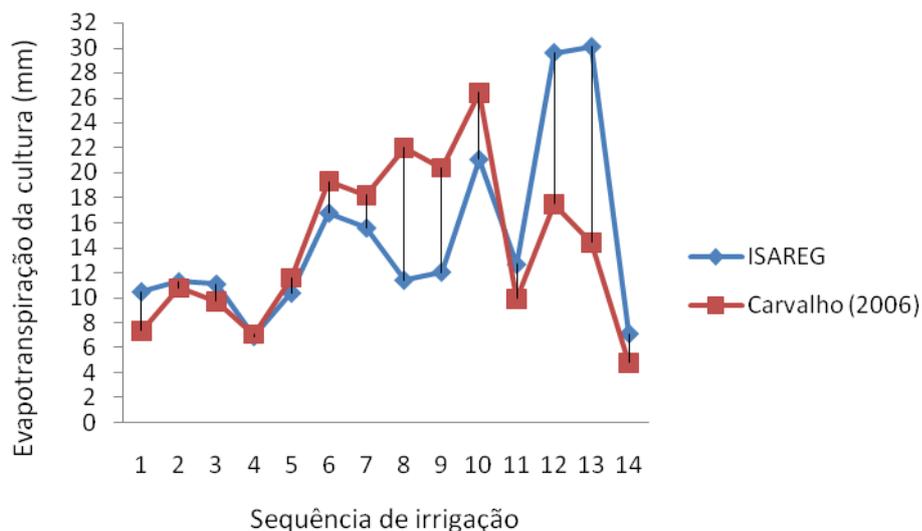


Figura 2 - Evapotranspiração da cultura simulada versus experimental para ECA de 50%

Tabela 12 - Componentes do balanço hídrico, para o tratamento L₁ (50% de ECA), na comparação entre o resultado experimental (CARVALHO, 2006) e a simulação do ISAREG

Período (dia/mês)	Duração (Dia)	DAT	Estádio Fenológico	Componentes do balanço (mm)								ETc _{Exp} (mm.d ⁻¹)	ETc _{ISA} (mm.d ⁻¹)
				q _{60Exp}	q _{60ISA}	Δh _{Exp}	Δh _{ISA}	I _{Exp}	I _{ISA}	ETc _{Exp}	ETc _{ISA}		
29/09-02/10	2	3	Formação da cultura	-2,59	0	-4,6	-4,12	9,1	9,1	7,4	10,46	2,5	5,23
03/10-06/10	4	7	Formação da cultura	-0,48	0	-3,2	-5,88	8,6	8,6	10,8	11,26	2,7	2,81
07/10-10/10	4	11	Formação da cultura	-0,21	0	0,2	-0,05	10,7	10,7	9,7	11,06	2,4	2,76
11/10-13/10	3	14	Formação da cultura	-0,40	0	-2,3	-1,87	6,2	6,2	7,1	6,89	2,4	2,30
14/10-17/10	4	18	Formação da cultura	-0,54	0	-4,3	-4,61	8,8	8,8	11,6	10,36	2,9	2,59
18/10-22/10	5	23	Formação da cultura	-0,33	0	-8,4	-13,76	12,3	12,3	19,3	16,77	3,9	3,35
23/10-26/10	4	27	Floração-frutificação	-0,36	0	-9,5	-15,56	9,3	9,3	18,2	15,57	4,5	3,89
27/10-29/10	3	30	Floração-frutificação	-0,02	0	-15,2	-12,53	6,8	6,8	22,0	11,39	7,3	3,80
30/10-01/11	3	33	Floração-frutificação	-0,02	0	-13,6	-12,29	6,8	6,8	20,4	12,04	6,8	4,01
02/11-06/11	5	38	Floração-frutificação	-0,01	0	-13,2	-19,72	13,3	13,3	26,4	21,07	5,3	4,21
07/11-09/11	3	43	Floração-frutificação	-0,10	0	-2,7	-12,97	7,3	7,3	9,9	12,66	3,3	4,22
10/11-16/11	7	50	Floração-frutificação	-0,03	0	-0,3	-32,45	17,3	17,3	17,5	29,61	2,5	4,23
17/11-23/11	7	57	Maturação	-0,05	0	2,4	-30,12	17,3	17,3	14,4	30,10	2,1	4,30
24/11-26/11	3	60	Maturação	-0,15	0	-0,1	166,99	5,0	5,0	4,8	7,10	1,0	2,37
TOTAL	59			-14,2	0	-74,8	1,5	138,8	138,8	199,5	206,3		
MÉDIA												3,5	3,60

As diferenças entre a ETc obtida de maneira experimental e a ETc simulada pelo ISAREG é aceitável, pois Ribeiro (1992) no processo de análise da ETc, para a validação do modelo “CADIR” verificou uma diferença de cerca de 11% entre a ETc simulada pelo CADIR, quando comparada a simulada pelo CROPWAT, ambas com dados oriundos de trabalhos experimentais.

A diferença entre as ETc's pode ser justificada pela falta de informação, precisa, quanto às fases fenológicas da cultura da melancia, de acordo com o solicitado pelo ISAREG, pois isso influencia, diretamente, nos coeficientes da cultura (Kc). Para Pereira (2004) é possível padronizar os coeficientes culturais desde que se faça uso de procedimentos de cálculo adequados e as durações das fases fenológicas da cultura se baseie em observações reais de campo.

Na Figura 3 encontra-se a análise de regressão linear, onde a correlação entre a ETc experimental (Carvalho, 2006) e a ETc simulada (ISAREG) foi baixa (0,24). No entanto, a mesma foi positiva, ou seja, há uma relação direta entre as duas variáveis analisadas, de tal forma que apesar de as ETc's terem tido valores diferentes, seguiram a mesma tendência.

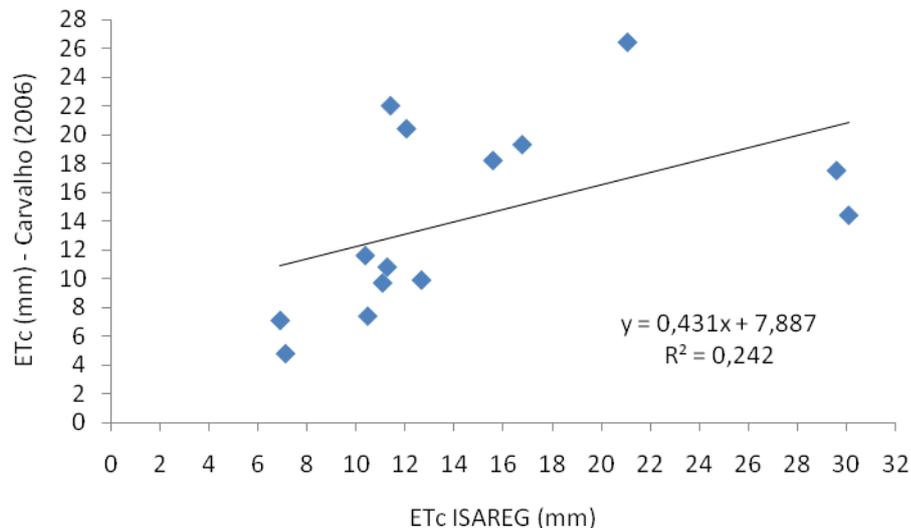


Figura 3 - Análise de regressão entre ETc experimental e ETc simulada pelo ISAREG, para ECA de 50%

Já em relação ao coeficiente angular (0,43) e ao coeficiente linear (7,89), esses não ficaram próximos dos ideais (1,0 e 0, respectivamente). Como foi citado anteriormente, a justificativa para a resposta da análise está nos dados referentes à cultura, durante a validação.

b) a variação de armazenamento de água no solo (Δh)

Ainda na Tabela 12 é possível observar que a variação de armazenamento de água no solo (Δh) gerada através do ISAREG evidenciou que o solo em questão pouco armazenou água, causando estresse hídrico em quase todos os dias do ciclo da cultura. A exceção ocorreu nos últimos 3 dias do ciclo da cultura, em que o solo conseguiu ficar com um saldo de armazenamento hídrico de $\Delta h = 166,99$ mm. Este excesso de água justifica-se pelo fato de que neste período o coeficiente cultural (K_c) foi o mais reduzido do ciclo, reduzindo a demanda hídrica da cultura, e também devido a uma irrigação, com lâmina de 5 mm que fora aplicada já na fase final do ciclo.

A falta de informação acerca da profundidade efetiva do sistema radicular (z) da cultura da melancia, em cada fase fenológica, comprometeu a simulação do ISAREG, quanto ao Δh . O armazenamento de água pelo solo e sua disponibilidade às plantas dependem de processos dinâmicos, tais como: infiltração, redistribuição interna, drenagem e absorção pelas raízes das plantas (JONG VAN LIER, 2000).

Analisando a Figura 4, na comparação entre a variação do armazenamento de água no solo (Δh) obtida de forma experimental por Carvalho (2006) e a Δh simulada pelo ISAREG, ambas para as mesmas condições edafoclimáticas, observa-se que a curva segue uma mesma tendência, com exceção de um período de 17 (dezessete) dias, compreendendo os estádios de floração/frutificação e de maturação, em que a Δh simulada pelo modelo subestimou (durante 14 dias), e superestimou (durante os últimos 3 dias) a Δh calculada experimentalmente. Esta tendência mostra que o ISAREG é validado, apesar da discrepância nos valores das variáveis que foram influenciados pelo controle da irrigação, pois este fora baseado no clima e não no balanço hídrico do solo. Pois segundo Pereira (2004) durante a validação do ISAREG, com dados experimentais de balanço hídrico do solo, os mesmos devem ser obtidos através de tensiometria ou sonda de nêutrons. Provavelmente, o comportamento de subestimativa deveu-se primeiramente a textura do solo, que o modelo, a partir de dados fornecidos, deve ter interpretado como sendo franco-arenoso, ou seja, de baixa capacidade de retenção de água. Todavia, a principal justificativa deve-se ao fato de que o ISAREG, durante a simulação do balanço hídrico, tem a limitação de processar, no máximo, 30 irrigações. Sendo assim, o turno de irrigação utilizado na simulação foi de 2 dias, diferentemente da pesquisa de Carvalho (2006) que fora de 1 dia. Portanto, o ISAREG interpreta que um solo arenoso e com um turno de rega maior armazenará menos água.

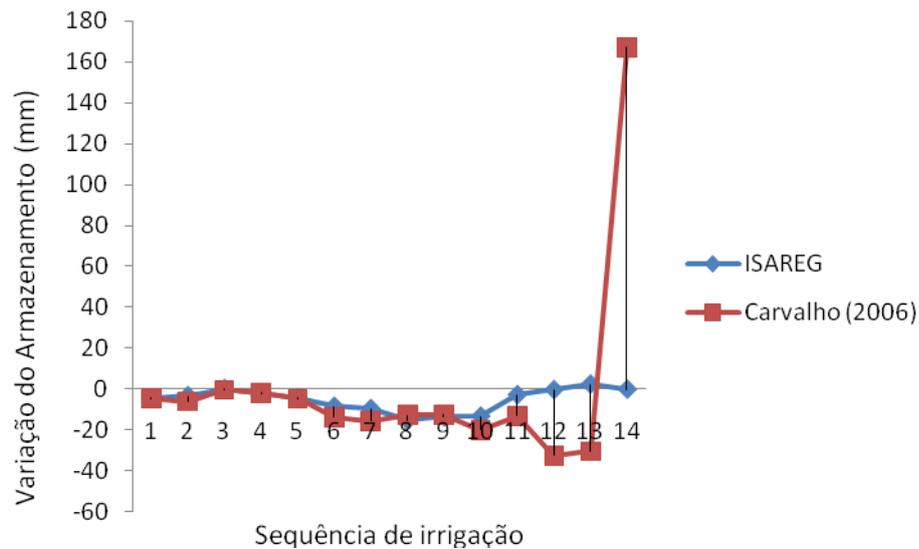


Figura 4 - Variação de armazenamento de água no solo simulada versus experimental para ECA de 50%

Miyamoto (1984) durante a validação do modelo criado por ele, testou o mesmo em uma área de 260 ha, comparando as simulações com as observações experimentais, analisando como principal variável a variação de armazenamento de água no solo.

O modelo ISAREG considera que a reserva máxima de água no solo é igual a água disponível total na zona radicular e que a reserva mínima para conforto hídrico corresponde à água do solo facilmente disponível na zona radicular.

Para a validação do ISAREG, ocorrida no vale do Sorraia (Portugal) utilizaram-se observações da água do solo ao longo do ciclo vegetativo das culturas recorrendo à sonda de nêutrons e relativas a todo o perfil de solo susceptível de ser explorado pelas raízes. O que comprova a importância de o modelo ter a informação precisa da zona explorada pelas raízes da cultura, nos diferentes estádios de desenvolvimento da mesma.

Observando a Figura 5 quanto à regressão linear, nota-se que a correlação entre a variação de armazenamento de água no solo (Δh) experimental e o Δh simulado foi baixa (0,06). No entanto, a mesma foi positiva, ou seja, há uma relação direta entre as duas variáveis analisadas, de tal forma que apesar de as Δh 's terem tido valores diferentes, seguiram a mesma tendência.

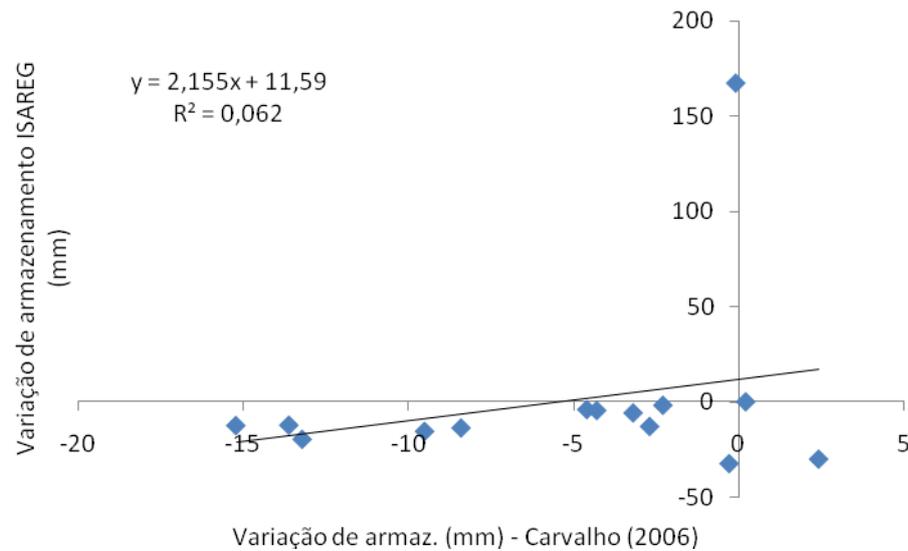


Figura 5 - Análise de regressão entre Δh experimental e Δh simulada pelo ISAREG, para ECA de 50%

O coeficiente angular (2,15) e o coeficiente linear (11,59) não ficaram próximos dos valores ideais. Como foi citado anteriormente, a justificativa para a resposta da análise está fornecimento dos dados referentes à profundidade do sistema radicular ao longo das fases fenológicas da cultura, durante a validação.

c) o fluxo de água no solo (q_{60})

Na Tabela 12 observa-se que o fluxo (q_{60}) foi nulo, ou seja, não houve excesso de água no solo, e sim déficit hídrico. Este comportamento implica que o modelo considera que a cultura, para essa condição de manejo (50% de ECA), sofreu déficit por falta d'água.

Analisando a Figura 6, na comparação entre o fluxo de água no solo obtido de forma experimental por Carvalho (2006) e o q_{60} simulado pelo ISAREG, ambos para as mesmas condições edafoclimáticas, observa-se que a curva segue uma tendência diferenciada, pois nos 28 primeiros dias do ciclo da cultura, compreendendo os estádios de formação da cultura e início da floração/frutificação, os resultados experimentais demonstram que houve um pequeno excesso de água no solo. No entanto, a simulação demonstra que em momento algum houve excesso hídrico. A justificativa é esclarecida quando se sabe que o ISAREG divide em 6, as fases fenológicas da cultura, que é a partir daí que o mesmo utiliza o K_c , e também, que o turno de rega foi modificado, aumentando-se a lâmina aplicada por vez (na simulação), fazendo com que o solo, que tem baixa capacidade de retenção de água, contribua

para a perda de água por percolação. Fernando e Pereira (1989) objetivando validar o ISAREG no vale do Sorraia (Portugal), pesquisando a cultura do milho, analisaram a tensão da umidade no solo em função da profundidade do sistema radicular da cultura. Com isso verificaram a quantidade de água que fora percolada para além da zona radicular da cultura.

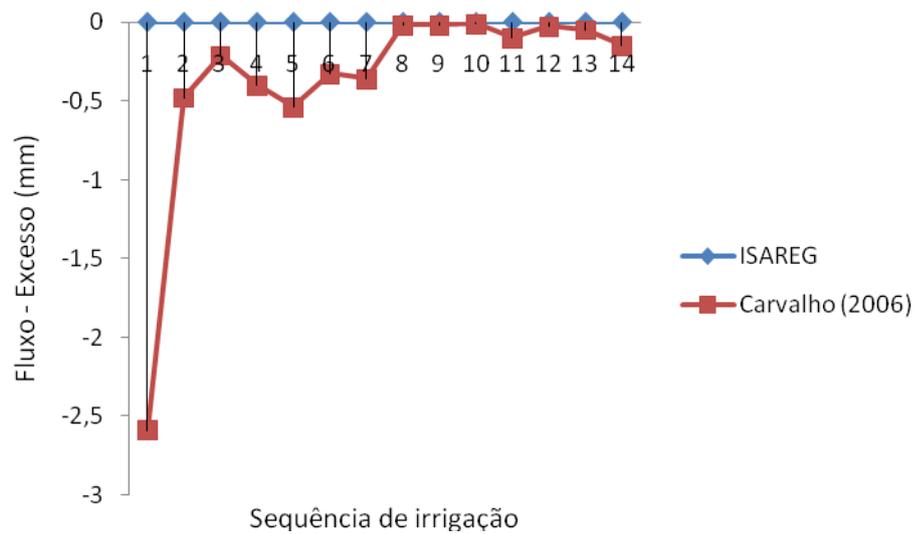


Figura 6 - Fluxo de água no solo simulado versus experimental para ECA de 50%

De acordo com Pereira (2004) a partir das características do solo (fornecidas na simulação), o solo em questão é franco arenoso, ou seja, com baixa capacidade de armazenamento de água. Sendo assim, qualquer variável inconsistente fornecida ao ISAREG poderia refletir em diferenças na variação de armazenamento de água no solo ou no fluxo da água no solo.

Observando a Figura 7 quanto à regressão linear, nota-se que não houve correlação entre o fluxo de água no solo, experimental e o fluxo simulado. Isso ocorreu devido aos valores que deram origem a análise de regressão, pois o resultado da simulação do ISAREG indicou fluxo zero.

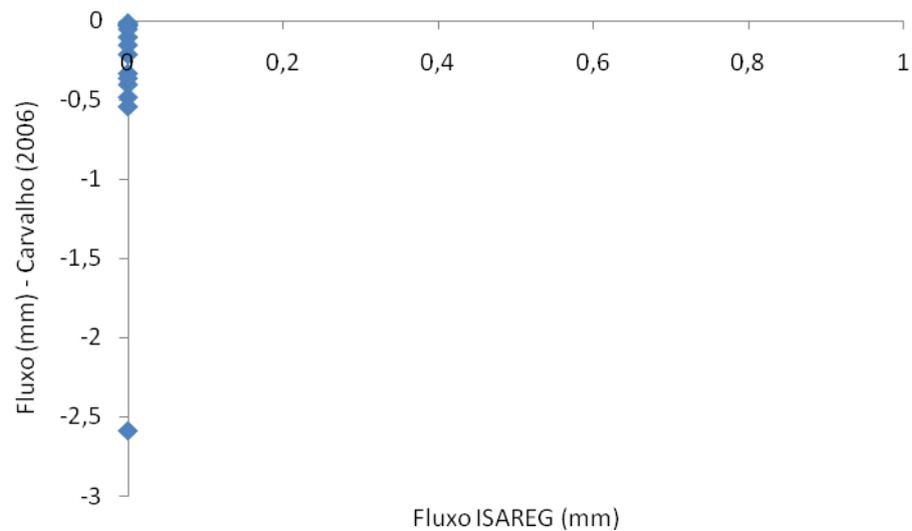


Figura 7 - Análise de regressão entre o fluxo experimental e o fluxo simulado, para ECA de 50%

Também, não foi possível analisar os coeficientes angular e linear, devido ao mesmo motivo supracitado.

4.1.1.2. A simulação para a condição de manejo de 100% de ECA

Na Tabela 13 encontram-se os valores de ET_c , Δh e q_{60} , oriundos da simulação do ISAREG, e os mesmos, obtidos experimentalmente por Carvalho (2006).

a) a evapotranspiração da cultura (ET_c)

Através da Tabela 13 é possível observar que a evapotranspiração da cultura gerada através do ISAREG mostrou um comportamento crescente, com exceção de um período de 6 dias, durante o estágio fenológico de formação da cultura e dos últimos 8 dias do ciclo da cultura, compreendendo parte do estágio de maturação.

O estágio fenológico de maior consumo de água pela cultura foi o de floração/frutificação (119,21 mm). Este estágio foi de 29 dias. O aumento na demanda hídrica deve-se ao fato de que é no estágio de floração/frutificação em que a cultura atinge a profundidade máxima e efetiva das raízes, e é neste estágio que a área foliar da cultura alcança o máximo, elevando a transpiração da mesma.

Tabela 13 - Componentes do balanço hídrico, para o tratamento L₃ (100% de ECA), na comparação entre o resultado experimental (CARVALHO, 2006) e a simulação do ISAREG

Período (dia/mês)	Duração (Dia)	DAT	Estádio Fenológico	Componentes do balanço (mm)								ETc _{Exp} (mm.d ⁻¹)	ETc _{ISA} (mm.d ⁻¹)
				q _{60Exp}	q _{60ISA}	Δh _{Exp}	Δh _{ISA}	I _{Exp}	I _{ISA}	ETc _{Exp}	ETc _{ISA}		
29/09-04/10	6	7	Formação da cultura	-2,8	0,00	-0,2	22,57	25,9	25,9	12,3	17,67	2,0	2,94
05/10-10/10	5	12	Formação da cultura	-2,99	0,00	2,3	37,64	25,9	25,9	16,4	18,26	3,3	3,65
11/10-16/10	6	18	Formação da cultura	-0,23	-9,30	-1,8	48,91	26,3	26,3	22,2	15,43	3,7	2,57
17/10-21/10	5	23	Floração-frutificação	-0,68	-7,70	-12,3	36,71	23,4	23,4	27,5	17,64	5,5	3,53
22/10-27/10	6	29	Floração-frutificação	-0,55	-13,50	-16,9	45,38	28,5	28,5	40,3	23,94	6,7	3,99
28/10-04/11	8	37	Floração-frutificação	-1,13	-19,70	-4,0	48,19	37,9	37,9	36,8	34,27	4,6	4,28
05/10-09/11	5	42	Floração-frutificação	-0,08	0,00	6,4	12,26	25,7	25,7	17,8	21,18	3,6	4,24
10/11-14/11	5	47	Floração-frutificação	-3,09	-3,40	2,5	16,75	23,2	23,2	16,6	22,17	3,3	4,43
15/11-19/11	5	52	Maturação	-2,34	-6,10	0,4	15,10	25,9	25,9	15,4	22,87	3,1	4,57
20/11-22/11	3	55	Maturação	-1,21	0,00	0,8	-6,27	15,6	15,6	10,3	13,95	3,4	4,65
23/11-27/11	5	60	Maturação	-3,6	-2,80	1,8	-280,69	19,2	19,2	14,8	15,67	3,0	3,13
TOTAL		59		-71,9	-62,50	-21,0	-3,42	277,5	277,5	230,4	223,1		
MÉDIA												3,8	3,80

Na Figura 8, quanto a comparação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) obtida de forma experimental por Carvalho (2006) e a ET_c simulada pelo ISAREG, ambas para as mesmas condições edafoclimáticas, observa-se que as curvas seguem uma mesma tendência, com exceção de um período de 6 (seis) dias do início do ciclo da cultura, no estágio de formação da cultura, em que a ET_c simulada pelo modelo superestimou a ET_c calculada experimentalmente. Esta diferença pode ser justificada pelos seguintes fatores: o fato de o ISAREG, quando da entrada de dados da cultura, requerer todas as informações a cada fase fenológica da mesma, o que o modelo divide em 6 (seis) fases, e é a partir das durações dessas fases, que o ISAREG engloba na utilização do coeficiente cultural (K_c) os dados fornecidos, pois, fatalmente, havendo diferenças nos K_c's, ocorrerá mudança na ET_c.

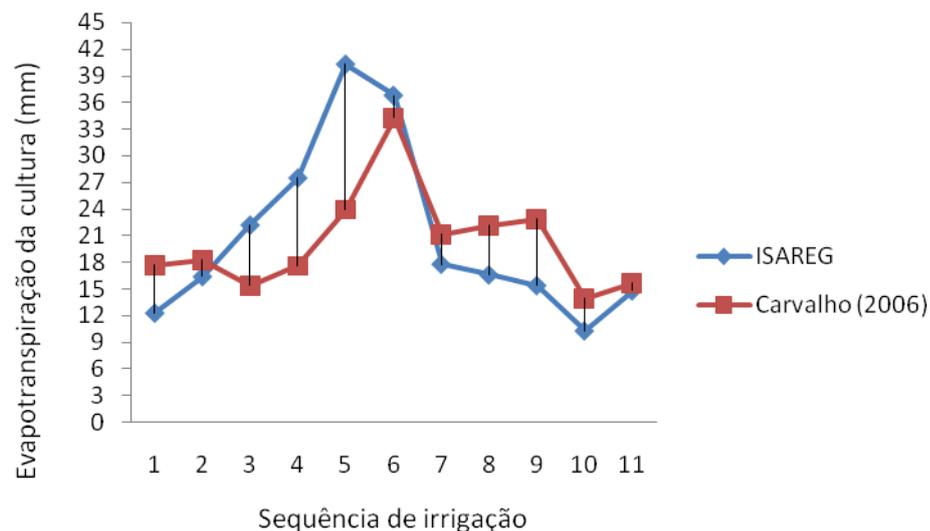


Figura 8 - Evapotranspiração da cultura simulada versus experimental para ECA de 100%

A conformação das curvas dos coeficientes culturais e os conseqüentes resultados do cálculo da ET_c são sensíveis à definição temporal do período vegetativo das culturas, pois é neste período em que, constantemente, a cobertura do solo pela cultura, e sua área foliar estão modificando-se.

Pereira (2004) afirma que o coeficiente cultural (K_c) representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a evapotranspiração da cultura da evapotranspiração de referência (ET_o): a altura da cultura (h) que afeta a rugosidade e a resistência aerodinâmica; a resistência de superfície relativa ao par cultura - solo, que é afetada pela área foliar, pela fração de cobertura do solo pela vegetação, pela idade e condição das folhas, e pelo teor de umidade à superfície do solo; o albedo da superfície cultura-solo,

que é influenciado pela fração de cobertura do solo, pela vegetação e pelo teor de umidade à superfície do solo e influencia a radiação líquida disponível à superfície, que é a principal fonte de energia para as trocas de calor e de massa no processo de evaporação. Esta afirmação reforça a justificativa na diferença entre as ETc's experimental e simulada, serem em decorrência da deficiência nos dados da durações das fases fenológicas da cultura da melancia, o que resultaram em informações imprecisas de acerca do coeficiente cultural (Kc).

Na Figura 9 encontra-se a análise de regressão linear, onde a correlação entre a ETc experimental (Carvalho, 2006) e a ETc simulada (ISAREG) foi baixa (0,44), mais já superior a ETc, para a ECA de 50%. No entanto, a mesma foi positiva, ou seja, há uma relação direta entre as duas variáveis analisadas, ou seja, as ETc's seguem a mesma tendência.

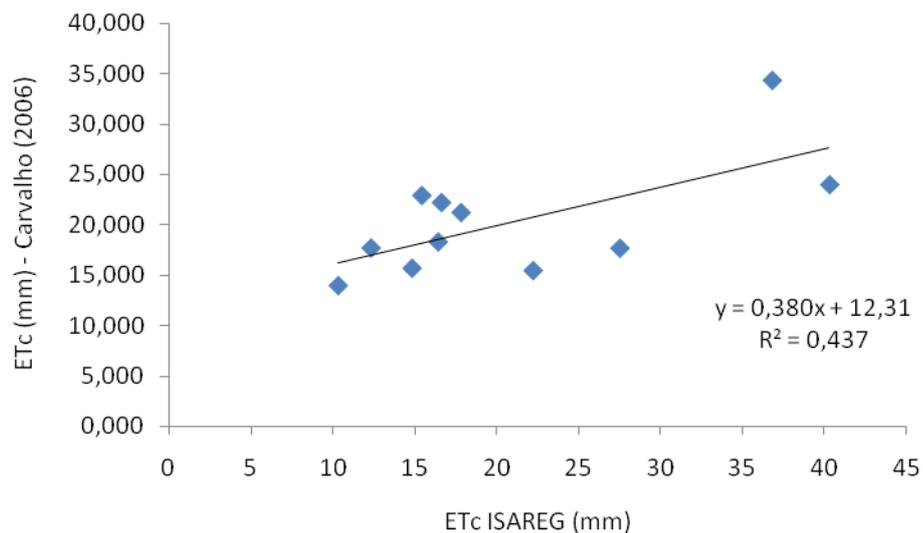


Figura 9 - Análise de regressão entre ETc experimental e ETc simulada, para ECA de 100%

Já em relação ao coeficiente angular (0,38) e ao coeficiente linear (12,31), estes não ficaram próximos dos ideais (1,0 e 0, respectivamente). Como foi citado anteriormente, a justificativa para a resposta da análise está nos dados referentes à cultura, durante a validação.

b) a variação de armazenamento de água no solo (Δh)

Analisando a Tabela 13 é possível observar que a variação de armazenamento de água no solo gerada através do ISAREG evidenciou que o solo em questão pouco armazenou água nos últimos 8 dias do ciclo da cultura, causando estresse hídrico nesses dias. Nos outros 52 dias do ciclo da cultura o solo conseguiu ficar com saldo positivo de armazenamento

hídrico (283,51 mm). Este excesso de água justifica-se pelo fato de que neste período a lâmina de água aplicada fora superior a evapotranspiração da cultura.

Observando a Figura 10, na comparação entre a variação do armazenamento de água no solo obtida de forma experimental por Carvalho (2006) e a Δh simulada pelo ISAREG, ambas para as mesmas condições edafoclimáticas, observa-se que a curva segue uma mesma tendência, com exceção de um período de 5 (cinco) dias, compreendendo o estágio de maturação, em que a Δh simulada pelo modelo subestimou a Δh calculada experimentalmente. Esta tendência mostra que o ISAREG é validado, apesar da discrepância nos valores das variáveis que foram influenciados pelo controle da irrigação, pois este fora baseado no clima e não no balanço hídrico do solo (tensiometria ou sonda de nêutrons). Também, Duran e Campelo Júnior (2008) durante a validação do modelo Enwatbol's analisaram as tendências, e não valores exatos, pois poderiam haver falhas nos dados experimentais. Provavelmente, o comportamento de subestimativa deveu-se ao fato de o ISAREG interpretar o solo como sendo franco-arenoso, ou seja, de baixa capacidade de retenção de água. Todavia, a principal justificativa deve-se ao fato de que o ISAREG, durante a simulação do balanço hídrico, tem a limitação de processar, no máximo, 30 irrigações. Sendo assim, o turno de irrigação utilizado na simulação foi de 2 dias, diferentemente da pesquisa de Carvalho (2006) que fora de 1 dia. Portanto, o ISAREG interpretou que se tratava de um solo arenoso e com um turno de rega maior armazenaria menos água.

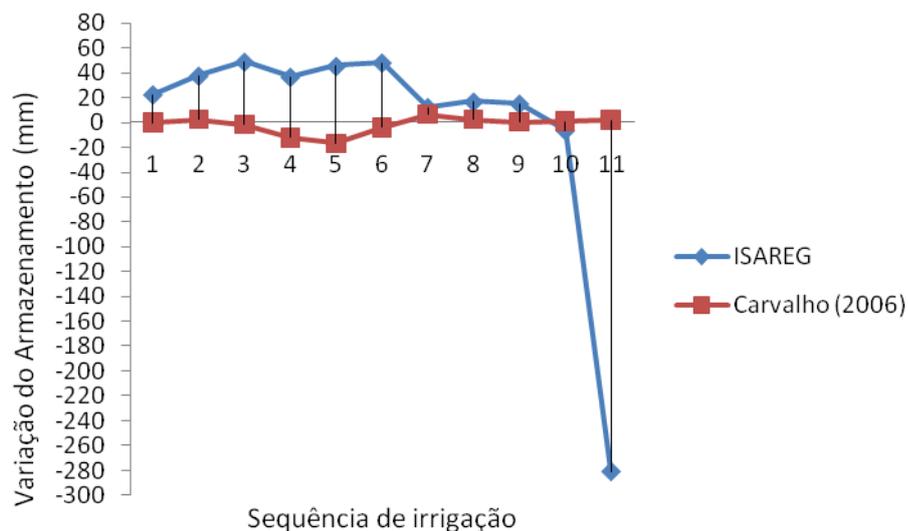


Figura 10 - Variação de armazenamento de água no solo simulada versus experimental para ECA de 100%

Duran e Campelo Júnior (2008) em um trabalho de validação do modelo Enwatbal's, concluíram que o mesmo pôde subestimar ou superestimar a umidade volumétrica nas camadas do solo, mas foi eficaz na estimativa do armazenamento de água no perfil. Também, os mesmos afirmaram que a especificidade dos dados é determinante durante a validação de um modelo qualquer.

Um fator importante no armazenamento da água no solo está na percolação profunda determinada pelo ISAREG, a partir das características do solo. Esta água é tida como perdida e não aproveitada pela cultura por estar fora da zona das raízes, ou seja, no momento da validação, com imprecisão da profundidade efetiva do sistema radicular a cada fase fenológica da cultura, há possibilidade de super ou subestimativa quanto ao balanço hídrico do solo.

Observando a Figura 11, quanto à regressão linear, nota-se que a correlação entre a variação de armazenamento de água no solo (Δh) experimental e o Δh simulado foi muito baixa (0,08). No entanto, a mesma foi positiva, ou seja, há uma relação direta entre as duas variáveis analisadas, de tal forma que apesar de as Δh 's terem tido valores diferentes, seguiram a mesma tendência.

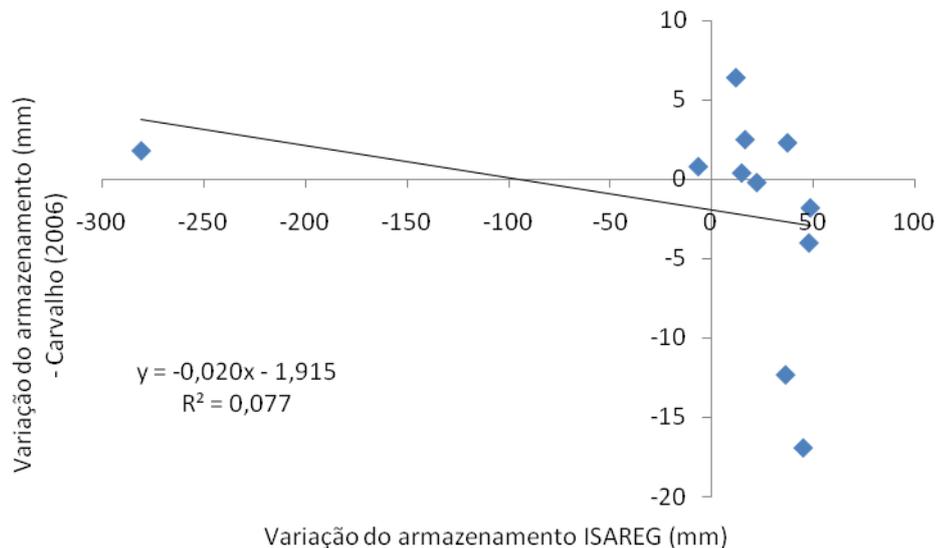


Figura 11 - Análise de regressão entre Δh experimental e Δh simulada pelo ISAREG, para ECA de 100%

O coeficiente angular (0,02) e ao coeficiente linear (1,91), estes não ficaram próximos dos valores ideais. Como foi citado anteriormente, a justificativa para a resposta da análise está fornecimento dos dados referentes à profundidade do sistema radicular ao longo das fases fenológicas da cultura, durante a validação.

c) o fluxo de água no solo (q_{60})

Na Tabela 13 observa-se que o fluxo foi nulo em 19 (dezenove) dias do ciclo da cultura, ou seja, não houve excesso de água no solo, e sim déficit hídrico. Esse comportamento constata que a cultura, para a condição de manejo 100% de ECA, sofreu déficit hídrico nesses dias. Também é possível concluir que o fluxo de água no solo tem influência direta na variação de armazenamento de água no solo, pois nesses dias de déficit hídricos foram os dias dos mais reduzidos valores de Δh .

Nos outros 41 dias do ciclo da cultura, houve excesso de água (-62,5 mm), embora reduzido. Isto se deve às condições físicas do solo em questão, que tem baixa capacidade de retenção de água, e devido à lâmina de água aplicada que fora maior que a da condição de 50% de ECA.

Para se observar com eficiência, no campo, o fluxo de água no solo, deve-se utilizar tensiômetros, pois para Carlesso e Pereira (2008) o monitoramento do potencial matricial da água no solo através de tensiômetros tem sido utilizado em áreas irrigadas. Os tensiômetros fornecem dados sobre o potencial de água nas camadas monitoradas e através da curva característica da água no solo se obtém o conteúdo de água no solo, para fins de determinação da quantidade de irrigação (lâmina a ser aplicada).

É necessário salientar que Carvalho (2006) não utilizou os tensiômetros para determinar o momento de irrigação, pois o controle da lâmina a ser aplicada fora a partir do Tanque “Classe A”, ou seja, duas metodologias diferentes para o manejo da irrigação. As informações simuladas podem diferir das observadas no campo (experimental) devido a esse fato. A prova é que estimar a evapotranspiração através de tanques evaporimétricos é arriscado, pois demonstra baixa precisão e as medidas ocasionam estimativas acumuladas da evapotranspiração muitas vezes irrealistas (CARLESSO; PEREIRA, 2008).

Analisando a Figura 12, na comparação entre o fluxo de água no solo obtido de forma experimental por Carvalho (2006) e o q_{60} simulado pelo ISAREG, ambos para as mesmas condições edafoclimáticas, observa-se que a curva segue uma tendência diferenciada, pois em 25 dias do ciclo da cultura, compreendendo os estádios de formação da cultura e início da floração/frutificação, os resultados experimentais demonstraram que houve um pequeno excesso de água no solo, no entanto a simulação demonstra que nesse período não houve excesso hídrico. Este fato é justificável, pois se sabe que o ISAREG divide em 6, as fases fenológicas da cultura, e que é a partir daí que o mesmo utiliza o K_c , e também, que o turno de rega foi modificado para 2 dias, aumentando-se a lâmina aplicada por vez (na

simulação), fazendo com que o solo, que tem baixa capacidade de retenção de água, contribua para a perda de água por percolação, contribuindo para um resultado deficitário.

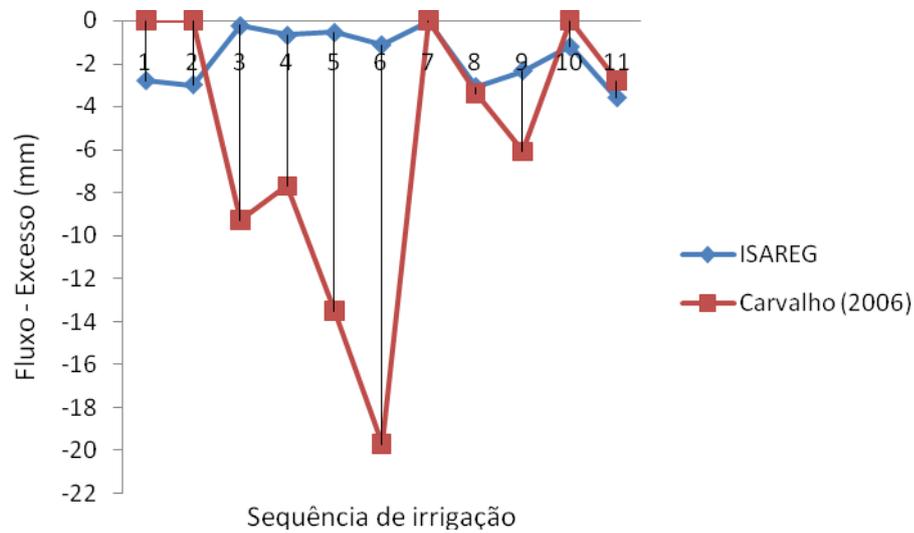


Figura 12 - Fluxo de água no solo simulado versus experimental para ECA de 100%

A Figura 13 traz uma correlação baixa (0,17) entre os fluxos experimental e o simulado. No entanto, a mesma foi positiva, ou seja, há uma relação direta entre as duas variáveis analisadas, sendo assim os fluxos seguem a mesma tendência.

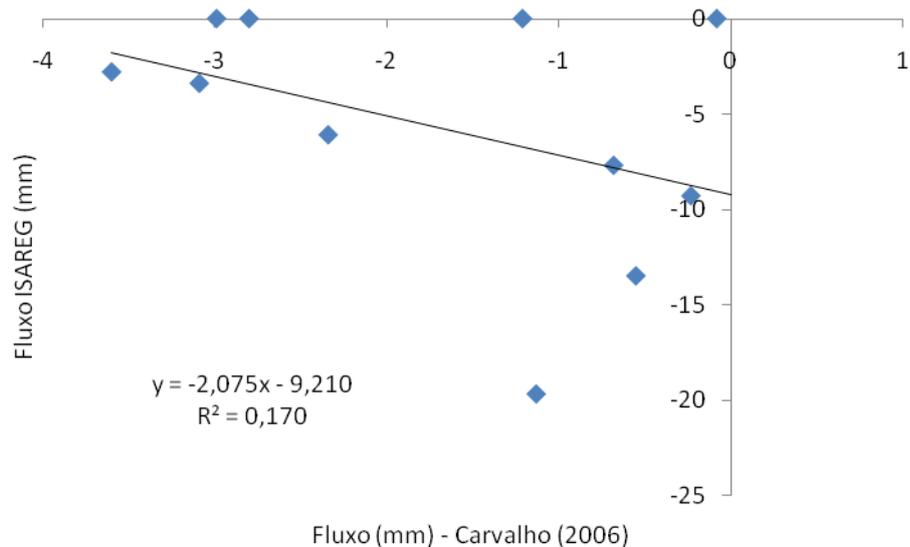


Figura 13 - Análise de regressão entre o fluxo experimental e o fluxo simulado, para ECA de 100%

Já em relação ao coeficiente angular (2,07) e ao coeficiente linear (9,21), estes não ficaram próximos dos ideais (1,0 e 0, respectivamente). Como foi citado anteriormente, a justificativa para a resposta da análise está nos dados referentes ao solo e à cultura, durante a validação.

4.1.1.3. A simulação para a condição de manejo de 150% de ECA

Na Tabela 14 encontram-se os valores de ET_c , Δh e q_{60} , oriundos da simulação do ISAREG, com dados experimentais de Carvalho (2006). Também, encontram-se as mesmas variáveis obtidas pelo supracitado autor.

a) a evapotranspiração da cultura (ET_c)

A partir da Tabela 14 é possível observar que a evapotranspiração da cultura (ET_c) gerada através do ISAREG mostrou um comportamento crescente, com exceção de um período de 5 dias, durante o estágio fenológico de formação da cultura, 9 dias durante o estágio de floração/frutificação, e dos últimos 4 dias do ciclo da cultura, compreendendo parte do estágio de maturação.

O estágio fenológico de maior consumo de água pela cultura foi o de floração/frutificação (125,22 mm). Este estágio foi de 29 dias. O aumento na demanda hídrica deve-se ao fato de que é no estágio de floração/frutificação em que a cultura atinge a profundidade máxima e efetiva das raízes, e é nesse estágio a área foliar da cultura alcança o máximo, elevando a transpiração da mesma.

Tabela 14 - Componentes do balanço hídrico, para o tratamento L₄ (150% de ECA), na comparação entre o resultado experimental (CARVALHO, 2006) e a simulação do ISAREG

Período (dia/mês)	Duração (Dia)	DAT	Estádio Fenológico	Componentes do balanço (mm)								ETc _{Exp} (mm.d ⁻¹)	ETc _{ISA} (mm.d ⁻¹)
				q _{60Exp}	q _{60ISA}	Δh _{Exp}	Δh _{ISA}	I _{Exp}	I _{ISA}	ETc _{Exp}	ETc _{ISA}		
29/09-03/10	5	6	Formação da cultura	-6,64	-0,00	5,3	60,85	32,4	32,4	6,9	13,05	1,7	2,61
04/10-09/10	6	12	Formação da cultura	-6,90	-24,10	5,5	129,47	45,4	45,4	16,7	16,63	2,8	2,77
10/10-14/10	5	17	Formação da cultura	-1,55	-18,50	-1,2	105,35	32,4	32,4	19,1	11,48	3,8	2,30
15/10-22/10	8	25	Floração-frutificação	-1,83	-43,60	-13,5	175,47	57,0	57,0	53,9	25,63	6,7	3,20
23/10-27/10	5	30	Floração-frutificação	-8,43	-14,20	-8,6	70,78	34,6	34,6	33,1	21,42	6,6	4,28
28/10-02/11	6	36	Floração-frutificação	-0,61	-25,60	-3,5	96,25	41,1	41,1	44,0	27,74	7,3	4,62
03/10-06/11	4	40	Floração-frutificação	-0,75	-12,60	-0,8	66,68	33,0	33,0	27,4	19,71	6,8	4,93
07/11-12/11	6	46	Floração-frutificação	-6,10	-25,90	7,2	93,59	43,5	43,5	23,2	30,72	3,9	5,12
13/11-17/11	5	51	Maturação	-0,47	-13,10	2,6	66,24	37,2	37,2	14,5	23,69	2,9	4,74
18/11-22/11	5	56	Maturação	-4,26	-17,20	0,2	64,28	38,3	38,3	11,0	26,06	2,2	5,21
23/11-26/11	4	60	Maturação	-10,33	-0,70	-10	-938,56	21,8	21,8	6,8	12,36	1,7	3,09
TOTAL		59		-176,8	-195,50	-16,8	-9,6	416,7	416,7	256,6	228,5		
MÉDIA												4,2	3,90

Quanto à Figura 14, na comparação entre a evapotranspiração da cultura obtida de forma experimental por Carvalho (2006) e a ETc simulada pelo ISAREG, em ambas, para as mesmas condições edafoclimáticas, observa-se que a curva segue uma mesma tendência, com exceção de um período de 5 (cinco) dias do início do ciclo da cultura, no estágio de formação da cultura, em que a ETc simulada pelo modelo superestimou a ETc calculada experimentalmente. Esta diferença pode ser justificada pelos seguintes fatores: o fato de o ISAREG, quando da entrada de dados da cultura, requerer todas as informações a cada fase fenológica da mesma, o que o modelo divide em 6 (seis) fases, e é a partir das durações destas fases, que o ISAREG engloba na utilização do coeficiente cultural (K_c) os dados fornecidos, pois, fatalmente, havendo diferenças nos K_c 's, ocorrerá mudança na ETc.

Durante o processo de validação do modelo CADIR, Ribeiro (1992) baseou-se, principalmente, na comparação entre a evapotranspiração da cultura, simulada pelo “software”, e da ETc obtida de forma experimental por Santos (1986).

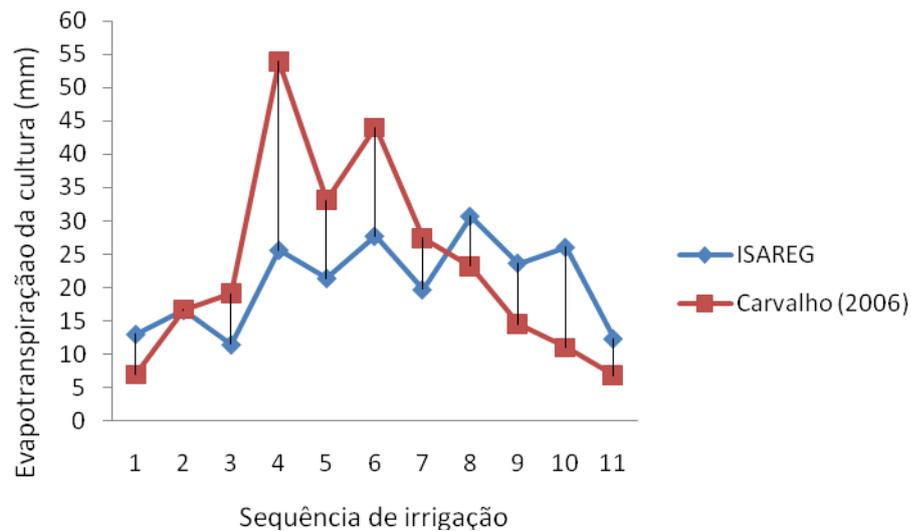


Figura 14 - Evapotranspiração da cultura simulada versus experimental para ECA de 150%

Outra justificativa plausível estaria na forma de obtenção do K_c experimental, pois segundo Pereira (2004) os coeficientes culturais não são simples coeficientes de transferência de caráter empírico, antes têm significação física precisa. Também que o empirismo das equações de determinação da evapotranspiração das culturas deve ser corrigido quando os coeficientes culturais forem utilizados de forma racional.

Na Figura 15 encontra-se a análise de regressão linear, onde a correlação entre a ETc experimental (CARVALHO, 2006) e a ETc simulada (ISAREG) foi muito baixa (0,28). No entanto, a mesma foi positiva, ou seja, há uma relação direta entre as duas variáveis analisadas, ou seja, as ETc's seguem a mesma tendência.

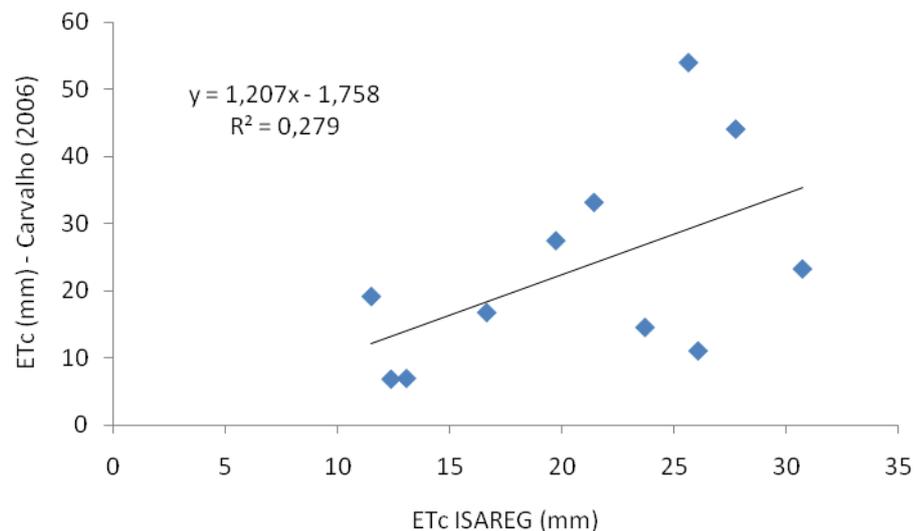


Figura 15 - Análise de regressão entre ETc experimental e ETc simulada, para ECA de 150%

Já em relação ao coeficiente angular (1,21) e ao coeficiente linear (1,76), este não ficou próximo do ideal, mas aquele sim. Como foi citado anteriormente, a justificativa para a resposta da análise está fornecimento dos dados referentes à cultura, durante a validação.

b) a variação de armazenamento de água no solo (Δh)

Na Tabela 14 é possível observar que a variação de armazenamento de água no solo (Δh) gerada através do ISAREG evidenciou que o solo em questão pouco armazenou água nos últimos 4 dias do ciclo da cultura, causando estresse hídrico nestes dias. Nos outros 56 dias do ciclo da cultura o solo conseguiu ficar com saldo positivo de armazenamento hídrico ($\Delta h = 928,96$ mm). Este excesso de água justifica-se pelo fato de que nesse período a lâmina de água aplicada fora superior a evapotranspiração da cultura. Inclusive a lâmina aplicada para esta condição de manejo fora superior às lâminas aplicadas nas outras duas condições (50% e 100% de ECA).

Analisando a Figura 16, na comparação entre a variação do armazenamento de água no solo obtida de forma experimental por Carvalho (2006) e a Δh simulada pelo ISAREG, ambas para as mesmas condições edafoclimáticas, observa-se que a curva segue uma mesma tendência, com exceção de um período de 8 (oito) dias, no período de formação da cultura, e de 4 dias, compreendendo o estágio de maturação, em que nos 8 dias a Δh simulada pelo modelo superestimou a Δh calculada experimentalmente. Esta tendência mostra que o ISAREG é validado, apesar da discrepância nos valores das variáveis que foram influenciados pelo controle da irrigação, pois este fora baseado no clima e não no balanço hídrico do solo (tensiometria ou sonda de nêutrons). O comportamento inverso foi observado nos 4 dias. O comportamento de superestimativa pode ser justificado pelo excesso de água no solo, durante esse período, o que pode ser decorrente do turno de rega que foi, necessariamente, modificado na simulação. Provavelmente, o comportamento de subestimativa deveu-se ao fato de o ISAREG interpretar o solo como sendo franco-arenoso, ou seja, de baixa capacidade de retenção de água. Também, deve-se ao fato de que o ISAREG, durante a simulação do balanço hídrico, mostrou a limitação de processar, no máximo, 30 irrigações. Sendo assim, o turno de irrigação utilizado na simulação foi de 2 dias, diferentemente da pesquisa de Carvalho (2006) que fora de 1 dia. Portanto, o ISAREG interpretou que se tratava de um solo arenoso e com um turno de rega maior, armazenaria menos água.

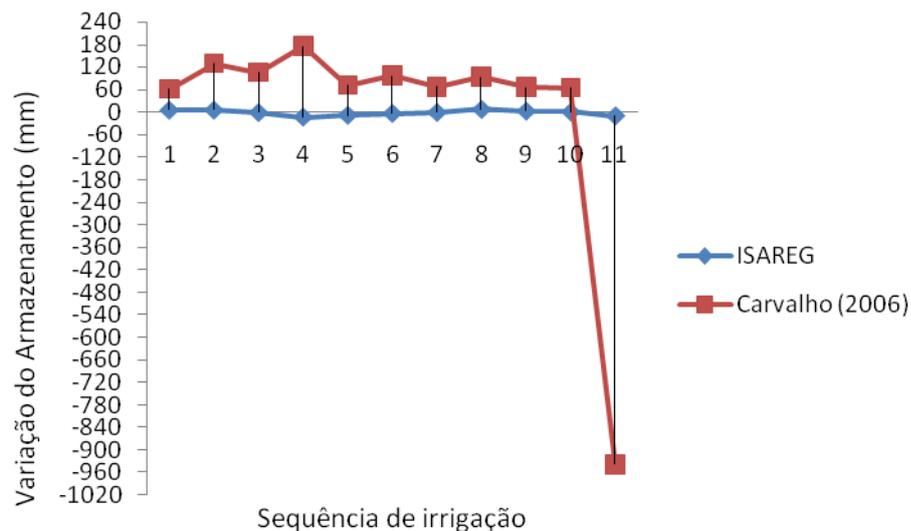


Figura 16 - Variação de armazenamento de água no solo simulada versus experimental para ECA de 150%.

A lâmina total de água armazenada no solo está em função da quantidade de água retida no solo à capacidade de campo e ao ponto de murcha, até a profundidade radicular (PEREIRA, 2004).

O fator de disponibilidade de água no solo (p), certamente foi determinante nas diferenças observadas, durante a validação, na comparação entre a variação da água armazenada no solo e o fluxo de água no solo, observado experimentalmente e simulado pelo ISAREG. Isto por não ter sido possível a obtenção, precisa, dos valores de “ p ” para cada fase fenológica da cultura analisada experimentalmente por Carvalho (2006).

Observando a Figura 17 quanto à regressão linear, nota-se que a correlação entre a variação de armazenamento de água no solo (Δh) experimental e o Δh simulado foi baixa (0,13). No entanto, a mesma foi positiva, ou seja, há uma relação direta entre as duas variáveis analisadas, de tal forma que apesar de as Δh 's terem tido valores diferentes, seguiram a mesma tendência.

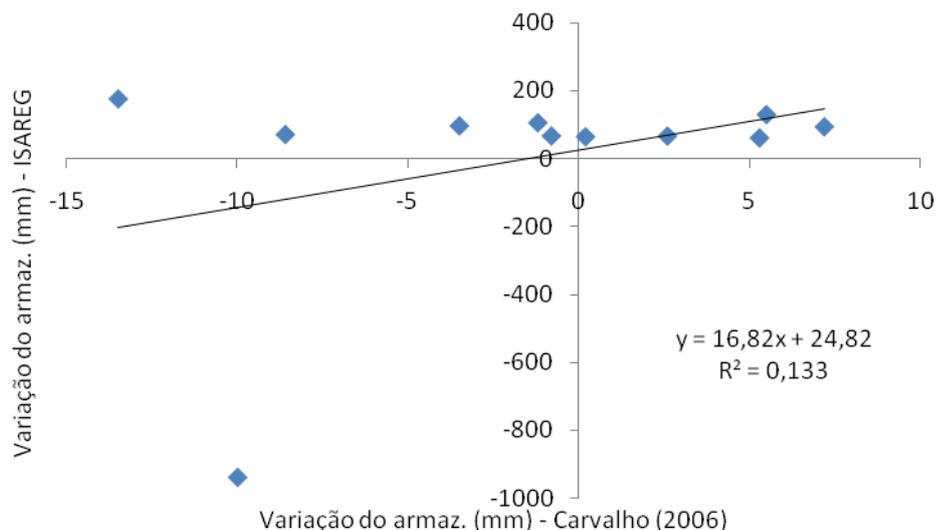


Figura 17 - Análise de regressão entre Δh experimental e Δh simulada pelo ISAREG, para ECA de 150%.

O coeficiente angular (16,82) e ao coeficiente linear (24,82), estes não ficaram próximos dos valores ideais. Como foi citado anteriormente, a justificativa para a resposta da análise está fornecimento dos dados referentes à profundidade do sistema radicular ao longo das fases fenológicas da cultura, durante a validação.

c) o fluxo de água no solo (q_{60})

Na Tabela 14 observa-se que o fluxo (q_{60}) foi nulo em 5 (cinco) dias do ciclo da cultura, ou seja, não houve excesso de água no solo, e sim déficit hídrico nestes dias. Este comportamento constata que a cultura, para a condição de manejo 150% de ECA, recebeu “castigo” por falta d’água nestes dias. Também confirma-se a influência de q_{60} sobre Δh , pois nesses dias de déficit hídrico foram os dias dos mais reduzidos valores de Δh .

Nos outros 55 dias do ciclo da cultura, houve excesso de água (-195,5 mm), em quantidades maiores do que nas outras duas condições de manejo. Isto se deve às características físicas do solo em questão, e principalmente, devido a lâmina de água aplicada que fora maior que a das condições de 50% e 100% de ECA.

Analisando a Figura 18, na comparação entre o fluxo de água no solo obtido de forma experimental por Carvalho (2006) e o q_{60} simulado pelo ISAREG, ambos para as mesmas condições edafoclimáticas, observa-se que a curva segue uma tendência diferenciada, pois em 51 dias do ciclo da cultura, compreendendo os estádios de formação da cultura, floração/frutificação, e parte da maturação, os resultados da simulação subestimaram os resultados experimentais. Já nos primeiros 5 dias e nos últimos 4 dias do ciclo da cultura, os resultados da simulação superestimaram os resultados experimentais. O ISAREG divide em 6, as fases fenológicas da cultura, que é a partir daí que o mesmo utiliza o K_c . Também, o turno de rega foi modificado, aumentando-se a lâmina aplicada por vez (na simulação), fazendo com que o solo, que tem baixa capacidade de retenção de água, contribua para a perda de água por percolação.

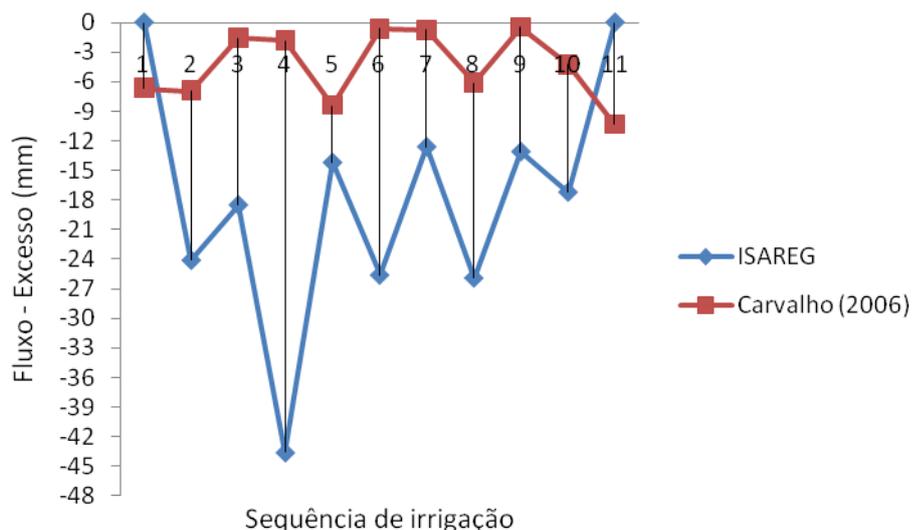


Figura 18 - Fluxo de água no solo simulado versus experimental para ECA de 150%.

Segundo Pereira (2004) a determinação da variação do teor de água no solo, do fluxo da água, bem como do potencial da água no solo permite que seja tomada a decisão relativa ao manejo da irrigação, desde que os métodos estejam calibrados ou validados para a cultura e o ambiente em que esta se desenvolve.

A Figura 19 traz uma correlação baixa (0,19) entre os fluxos experimental e o simulado. No entanto, a mesma foi positiva, ou seja, há uma relação direta entre as duas variáveis analisadas, sendo assim os fluxos seguem a mesma tendência.

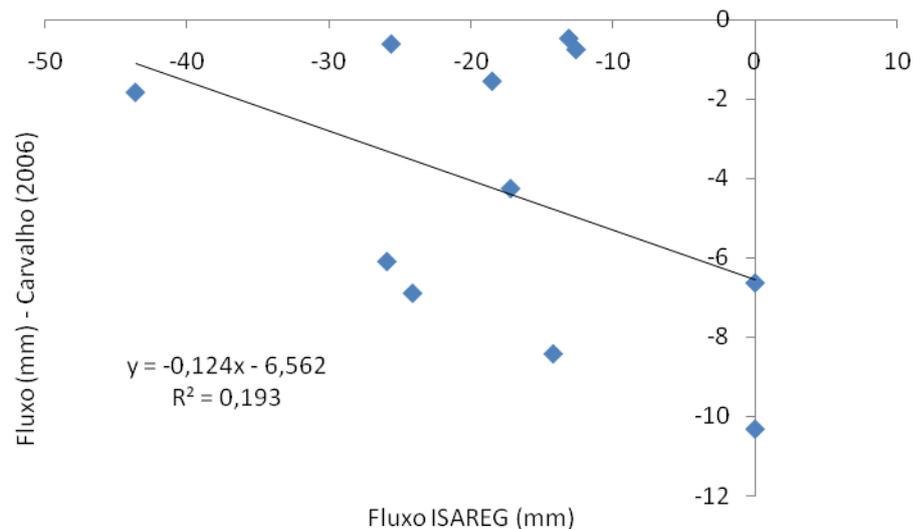


Figura 19 - Análise de regressão entre o fluxo experimental e o fluxo simulado, para ECA de 150%.

Já em relação ao coeficiente angular (-0,12) e ao coeficiente linear (6,56), esses não ficaram próximos dos ideais (1,0 e 0, respectivamente). Como foi citado anteriormente, a justificativa para a resposta da análise está no fornecimento dos dados referentes ao solo e à cultura, durante a validação.

4.1.1.4. ETc, Δh e q60 totais para as três condições de manejo (50%, 100% e 150%)

Visando uma análise mais apurada e conclusiva do processo de validação do ISAREG, na comparação entre resultados experimentais (Carvalho, 2006) e as simulações com o uso do modelo foram elaboradas: a Figura 20, referente a evapotranspiração da cultura;

a Figura 22 (variação de armazenamento de água no solo), e a Figura 24, que trata do fluxo de água no solo, contendo valores totais do final do ciclo da cultura, para cada condição do manejo da irrigação (50%, 100% e 150% de ECA). Também, para as mesmas variáveis supracitadas foram elaboradas situações (Apêndice H), e as Figuras 21, 23 e 25, utilizando nas simulações uma frequência de irrigação de 2 dias, que seria o mais próximo da frequência adotada por Carvalho (2006) que foi de 1 dia.

d) a evapotranspiração da cultura (ETc)

Ao analisar a Figura 20 observa-se que para a condição de manejo da irrigação de 50% de ECA, a evapotranspiração total do ciclo da cultura calculada de forma experimental (199,5 mm) encontrou-se próxima à ETc simulada pelo ISAREG (206,3 mm). Neste caso a ETc simulada superestimou a ETc experimental em 3,3%. Este comportamento se deve a questão do turno de irrigação, no momento da simulação, que foi de 2 dias (limitação do modelo), diferentemente do experimental que fora de 1 dia.

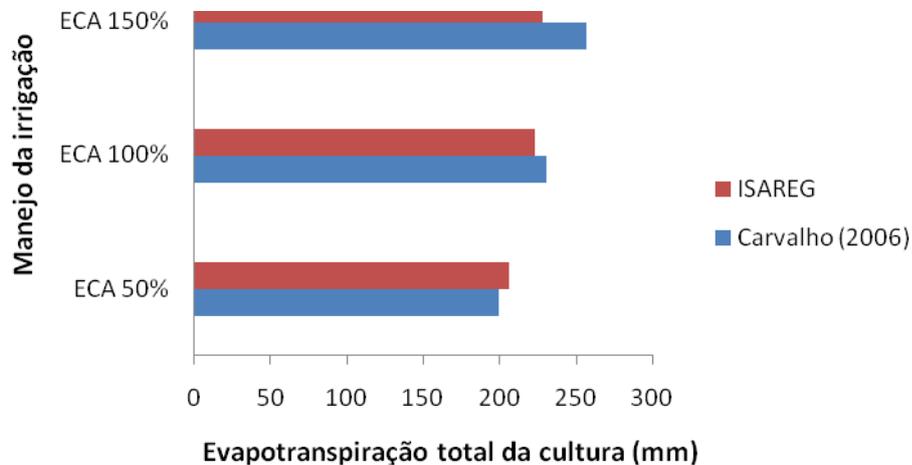


Figura 20 - Evapotranspiração da cultura total.

Para as condições de manejo de 100% e de 150% de ECA, também as evapotranspirações totais estiveram próximas, pois para a condição de 100% a ETc simulada subestimou a ETc experimental em 3,2%, já para a condição de 150%, a ETc simulada subestimou a experimental em 10,9%. Estes comportamentos podem ser justificados devido às 6 (seis) fases de desenvolvimento da cultura que o ISAREG demanda para alocar os valores de Kc.

Esses valores demandados pelo modelo não puderam ser fornecidos com precisão, podendo ter ocasionado uma diferença nas ETC's totais. É tanto que Chaterlan et al. (2007) calibraram e validaram o ISAREG, utilizando a cultura da cebola em Alquizar – Cuba. Para tanto, analisaram 20 anos de dados precisos da cultura, na determinação do coeficiente de cultivo e do fator de disponibilidade de água no solo, observando estas variáveis em todas as fases fenológicas da cultura.

Segundo Rivera e Ulloa (2007) apesar dos avanços alcançados, quando se necessita de informação climática para a determinação da evapotranspiração das culturas é possível advertir que em muitas localidades existem inconvenientes, como a falta de dados, inadequada distribuição espacial e baixa qualidade dos registros, assim como carência de critérios unificados para a seleção de estações e estimativa de variáveis climáticas.

Na Figura 21 comparou-se, para cada condição do manejo da irrigação, a evapotranspiração da cultura (ETc), simulada pelo ISAREG, com frequência adotada na pesquisa (4 dias), com a ETc simulada pelo modelo com frequência de 2 dias, e com a ETc obtida experimentalmente por Carvalho (2006).

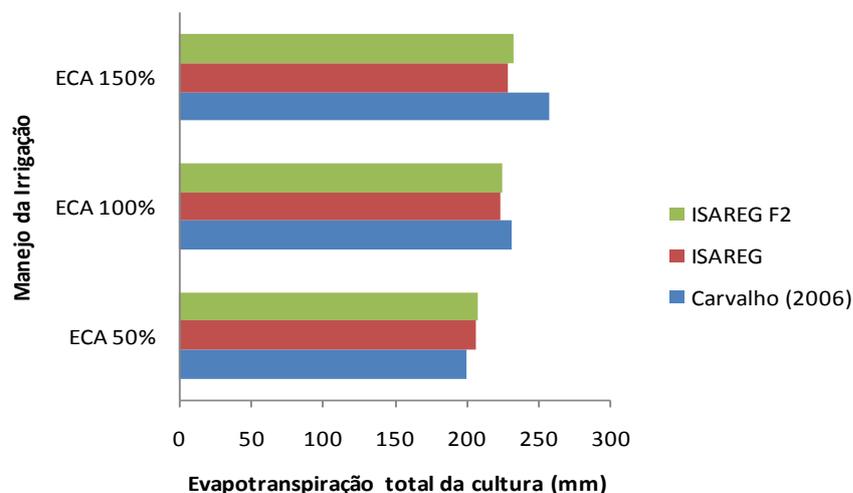


Figura 21 - Evapotranspiração da cultura total – ISAREG com 2 frequências.

Observa-se que os valores totais de ETc ao final do ciclo da cultura, simulados pelo ISAREG mostraram-se próximos aos calculados experimentalmente por Carvalho (2006). Todavia, quando a frequência, durante a simulação, foi aumentada para 2 dias a ETc total do ciclo se aproximou ainda mais da ETc experimental. É notório que devido à limitação do modelo em somente aceitar 30 entradas de irrigação, a validação do ISAREG foi prejudicada,

pois se fosse possível fazer a simulação com uma frequência de irrigação de 1 dia, ou seja, a mesma adotada por Carvalho (2006), os valores, certamente, mostrariam diferenças mínimas.

e) a variação de armazenamento de água no solo (Δh)

Analisando a Figura 22 observa-se que para a condição de manejo da irrigação de 50% de ECA, a variação de armazenamento de água no solo, obtida de forma experimental (-74,8 mm) demonstrou diferença significativa, quando comparada à simulada pelo ISAREG (1,05 mm). No entanto, observa-se que para as condições de 100% e 150% as diferenças entre as formas analisadas diminuem. Para a condição de 100% de ECA, a Δh simulada pelo modelo superestimou a Δh experimental em 83,8%. Já para a condição de 150% a superestimativa da Δh simulada sob a Δh experimental foi de 42,9%. Este acontecimento, provavelmente, deve-se ao mesmo motivo do turno de irrigação que foi de 2 dias, durante a simulação, diferindo do turno de rega experimental, que foi de 1 dia. Contudo, o aumento gradativo observado entre as condições de manejo da irrigação justifica-se pelo fato de que o ISAREG processa, frente às características físicas do solo (fornecidas na simulação), que com o aumento do turno e o aumento da lâmina aplicada, maior será o armazenamento de água no solo.

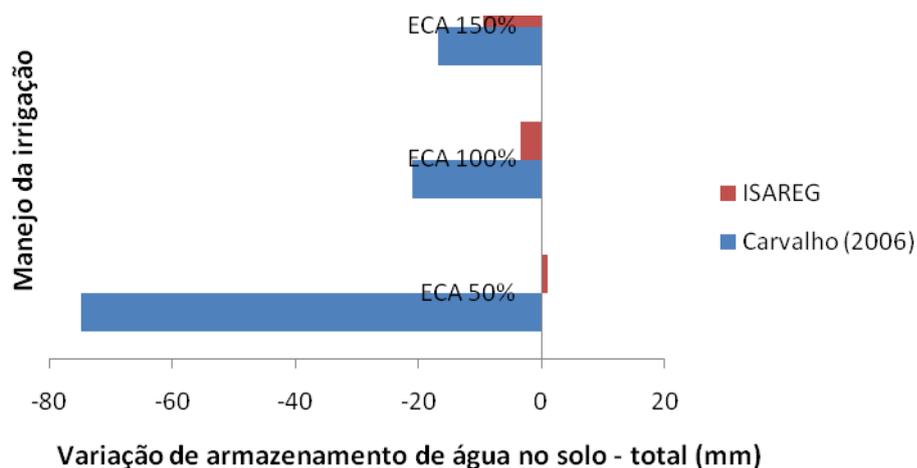


Figura 22 - Variação de armazenamento de água no solo total.

Segundo Pereira (2004) a variação do armazenamento de água no solo depende, diretamente, da espessura do solo e da profundidade do sistema radicular, ou seja, o fluxo vertical da água no solo poderá não ser contabilizado pelo modelo de forma correta se houver informação imprecisa quanto às variáveis requeridas pelo ISAREG.

As lâminas de irrigação experimentais de Carvalho (2006), utilizadas na validação do modelo ISAREG, não eram baseadas nas leituras dos tensiômetros instalados, para controlar o quanto irrigar (controle das lâminas de irrigação), e sim nas informações do Tanque Classe A. Como consequência, a física do fenômeno (balanço hídrico do solo) fora modificada: as lâminas aplicadas poderiam ser maior ou menor do que a variação de armazenamento de água no solo, o que alterou, substancialmente, os resultados do balanço hídrico, medidos e simulados, comprovados estatisticamente.

Na Figura 23 comparou-se, para cada condição do manejo da irrigação, a variação de armazenamento de água no solo (Δh), simulada pelo ISAREG, com frequência adotada na pesquisa (4 dias), com a Δh simulada pelo modelo com frequência de 2 dias, e com a Δh obtida experimentalmente por Carvalho (2006).

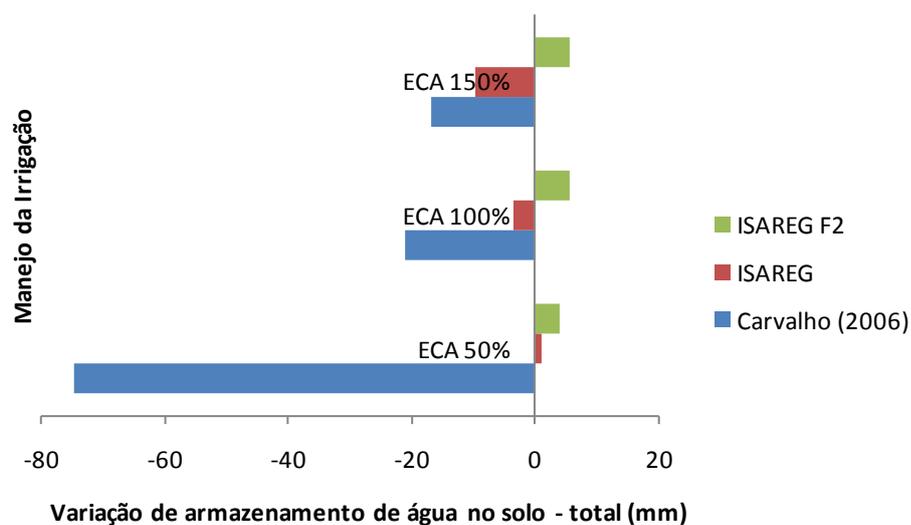


Figura 23 - Variação de armazenamento de água no solo total – ISAREG com 2 frequências.

Ao se analisar a Figura 23, observa-se que os valores totais de Δh ao final do ciclo da cultura, simulados pelo ISAREG pouco próximos aos calculados experimentalmente por Carvalho (2006). Quando a frequência, durante a simulação, foi aumentada para 2 dias a Δh total do ciclo se distanciou ainda mais da Δh experimental. É notório que devido à limitação do modelo em somente aceitar 30 entradas de irrigação, a validação do ISAREG foi

prejudicada, pois ficou claro que quando a frequência de irrigação é modificada, o comportamento de armazenamento de água no solo também muda, mas de forma contrária à evapotranspiração da cultura.

f) o fluxo de água no solo (q60)

Na Figura 24 observa-se que para a condição de manejo da irrigação de 50% de ECA, o fluxo de água no solo, obtido de forma experimental (-14,2 mm) foi superior ao simulado, que mostrou “zero”. Neste caso o ISAREG “acusou” que não houve excesso de água, como também a cultura sofreu déficit hídrico durante todo o ciclo. Para a condição de 100% de ECA o fluxo simulado subestimou em 13,9 % o experimental, mas para 150% de ECA o fluxo simulado superestimou em 9,2% o fluxo experimental. Na análise do fluxo de água no solo, concluiu-se que as diferenças, para cada condição de manejo, foram bastante reduzidas, em comparação às observadas no estudo da variação de armazenamento de água no solo.

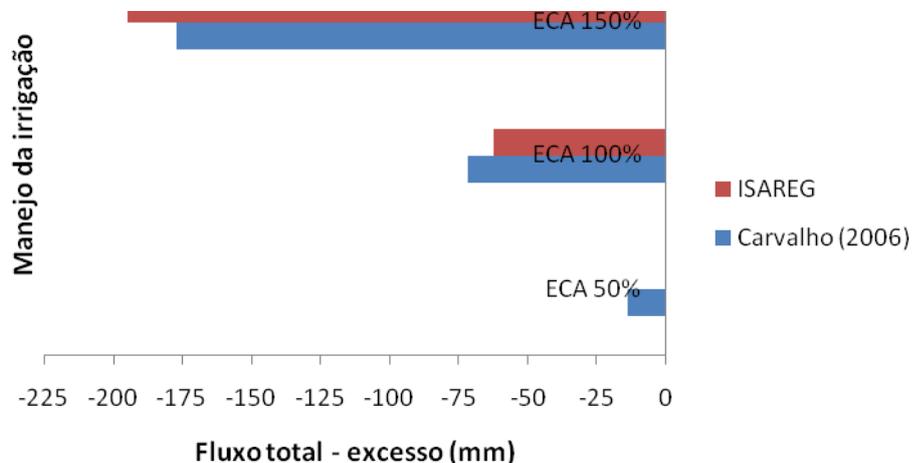


Figura 24 - Fluxo de água no solo total (50% x 100% x 150% de ECA).

O modelo mostrou-se eficiente quando da análise dos valores totais de fluxo de água, pois não é por acaso que para Rivera e Ulloa (2007) o ISAREG é um dos principais modelos de simulação para calcular o fluxo de água do solo, possibilitando a geração de alternativas de irrigação, colaborando para a redução dos impactos relativos aos rendimentos das culturas.

Também, Ribeiro (1992) afirma que o modelo de simulação do balanço hídrico no solo “SWATREER” somente foi validado após diversas tentativas. Somando-se a este, cita-se o “CROPWAT”, desenvolvido por Smith (1989) a pedido da FAO (Food Agriculture Organization), pois para ser validado este modelo foi testado em vários projetos da FAO.

Na Figura 25 comparou-se, para cada condição do manejo da irrigação, o fluxo de água no solo (q_{60}), simulada pelo ISAREG, com frequência adotada na pesquisa (4 dias), com o q_{60} simulado pelo modelo com frequência de 2 dias, e com o q_{60} obtido experimentalmente por Carvalho (2006).

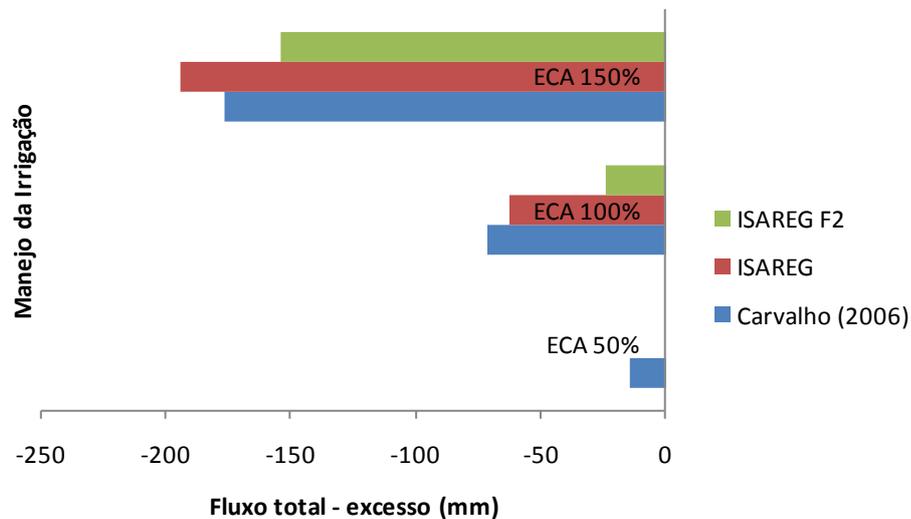


Figura 25 - Fluxo de água no solo total – ISAREG com 2 frequências.

Ao averiguar a Figura 25, observa-se que os valores totais de q_{60} ao final do ciclo da cultura, simulados pelo ISAREG mostraram-se próximos aos calculados experimentalmente por Carvalho (2006). Todavia, assim como o ocorrido nas outras duas variáveis analisadas, quando a frequência, durante a simulação, foi aumentada para 2 dias o q_{60} total do ciclo se aproximou ainda mais do q_{60} experimental. No caso do comportamento do fluxo de água no solo, a irrigação com frequência de 4 dias continuou mais próximo do experimental do que o q_{60} simulado com frequência de 2 dias. No entanto, vale salientar que este fluxo seguiu a mesma tendência dos demais, ou seja, quanto menor a frequência, maior o fluxo de água no solo.

4.2. A aplicação prática com o “ISAREG”: manejo da irrigação para a cultura da melancia no Perímetro irrigado Baixo Acaraú

Após o processo de validação, o modelo ISAREG foi aplicado às condições reais de clima e de solo do perímetro irrigado Baixo Acaraú, no manejo da irrigação da cultura da melancia. Como resultados, as variáveis mais relevantes, no que tange às necessidades hídricas da cultura e ao calendário de irrigação, foram: a evapotranspiração da cultura, e o balanço hídrico do solo.

4.2.1. A evapotranspiração da melancia (ETc)

A partir dos dados de clima e da cultura da melancia, fornecidos ao modelo de simulação, o ISAREG calculou a evapotranspiração da cultura (ETc), diariamente, para a data de plantio de 01 de setembro. No entanto para uma maior facilidade na observação dos resultados, os valores obtidos foram agrupados por períodos de 2 (dois) e 4 (quatro) dias (ver Figura 26).

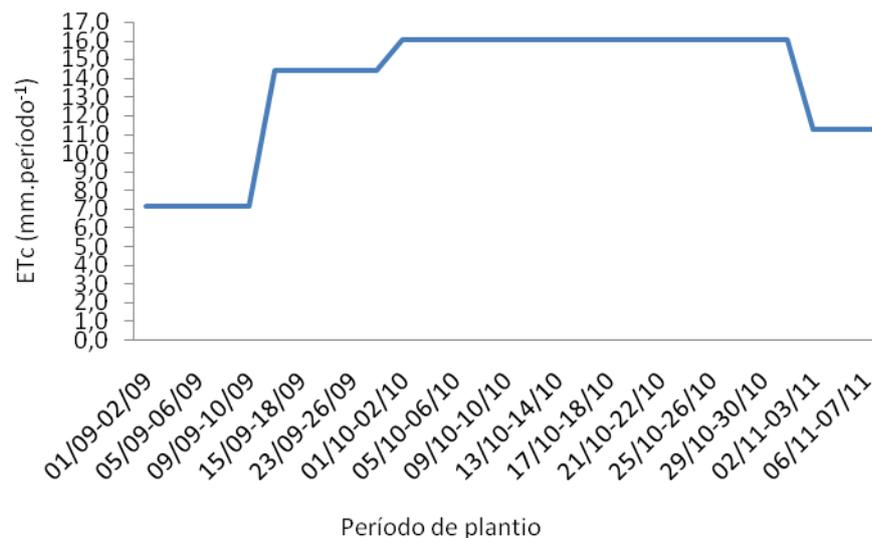


Figura 26 - Evapotranspiração da cultura da melancia, para um período de 2 dias.

Ao se analisar a Figura 26, verifica-se que a evapotranspiração da cultura da melancia (ETc) variou em função dos dados culturais e dos dados do clima. Os maiores valores verificados no período de 2 dias foram os presentes no mês de outubro (16,02 mm), o que representa uma ETc de 8,01 mm.dia⁻¹. Bezerra e Oliveira (1999) verificaram ETc da melancia de 8,7 mm.dia⁻¹, com 45 dias de ciclo da cultura. Já nos primeiros 30 dias do ciclo da cultura, a ETc média foi de 7,18 mm.dia⁻¹. No final do ciclo da cultura, verificou-se, para o período de 2 dias, ETc média de 11,26 mm, o que resulta em uma ETc de 5,63 mm.dia⁻¹. Miranda et al. (2004) encontraram, ETc média de 4,2 mm.dia⁻¹, ao final do ciclo da cultura da melancia. A ETc total do ciclo foi de 409,1 mm. Viana (1997) encontrou ETc total do ciclo para a cultura da melancia de 467,4 mm, já Oliveira (1999) verificou essa ETc de 267,1 mm, mas para uma época de plantio diferentes dos demais. Quanto às variáveis climatológicas, os aspectos relevantes foram os seguintes: partindo do princípio que o ciclo da cultura perdurou durante os meses de setembro (30 dias), outubro (31 dias) e novembro (7 dias), já se obteve como informação relevante, o fato de que esses 3 (três) meses apresentarem os maiores valores de evapotranspiração de referência (ETo), calculados pelo ISAREG, para as condições climáticas do Baixo Acaraú, sendo 6,17 mm, 6,34 mm e 6,14 mm, respectivamente. O fator importante relacionado à cultura da melancia, refere-se ao coeficiente de cultivo (Kc). Para tanto, utilizou-se os Kc's inicial de 0,39, máximo de 1,31 e final de 0,70. Estes estão diretamente, relacionados à ETc da melancia, levando-se em consideração esses Kc's, a cada fase fenológica da cultura. O mesmo raciocínio foi entendido por Silva e Klar (2002) que ao pesquisarem ETc da cultura do maracujá, verificaram que o Kc aumenta, conforme a cultura se desenvolve.

4.2.1.1. Evapotranspiração de referência (ETo) em função das variáveis climatológicas

Após a entrada dos dados das variáveis climatológicas representativas do Baixo Acaraú no ISAREG, o modelo calculou a evapotranspiração de referência (ETo), em mm, fazendo uma média diária, de cada mês do ano (ver Tabela 15).

Tabela 15 - Evapotranspiração de referência - ETo do Baixo Acaraú, calculada pelo ISAREG

Mês	Evapotranspiração de Referência (ETo), em milímetros (mm)
Janeiro	3,74
Fevereiro	4,20
Março	3,71
Abril	3,54
Maiο	3,85
Junho	4,19
Julho	4,97
Agosto	5,71
Setembro	6,17
Outubro	6,34
Novembro	6,14
Dezembro	5,67

Ao se verificar a Tabela 15, torna-se possível observar que a ETo aumenta com o passar dos meses. No mês de setembro (início do ciclo) a ETo calculada pelo ISAREG foi de 6,17 mm.dia⁻¹, e no mês de novembro (final do ciclo) a ETo foi de 6,14 mm.dia⁻¹. Miranda et al. (2004) ao pesquisarem a ETo para as condições de Paraipaba-CE, verificaram valores de ETo igual a 3,83 mm.dia⁻¹ (início do ciclo) e de 4,86 mm.dia⁻¹ (final do ciclo). Já Oliveira (1999) em pesquisa realizada no mesmo perímetro de irrigação, encontrou valores de ETo igual a 3,82 mm.dia⁻¹ (início do ciclo) e de 4,83 mm.dia⁻¹ (final do ciclo). Sabe-se que de acordo com o comportamento das variáveis climatólogicas (temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento, e insolação (radiação solar), a evapotranspiração de referência é afetada.

a) temperatura máxima média

Na Figura 27 encontram-se os valores de temperatura máxima média, para cada mês do ano, representativos do Baixo Acaraú.

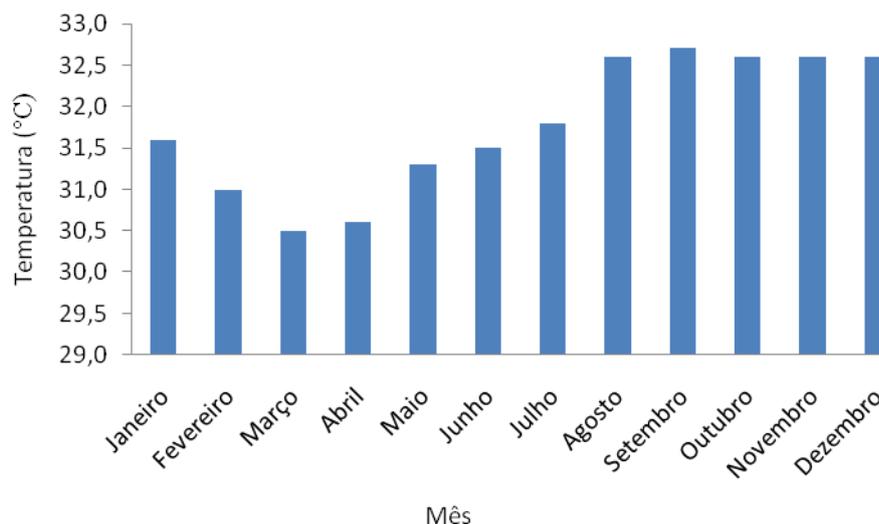


Figura 27 - Temperatura máxima média representativa do Baixo Acaraú.

Ao observar a Figura 27 nota-se que os meses de maiores registros de temperatura foram os de agosto (32,6°C), setembro (32,7°C), outubro, novembro e dezembro, estes três últimos com temperatura máxima média de 32,6°C. Quando se analisa os resultados de evapotranspiração de referência (ET_o), gerados pelo ISAREG, os maiores valores de ET_o ocorreram, exatamente, nos meses de agosto a dezembro. Isto ocorreu porque a temperatura do ar acompanha de modo aproximado, o saldo de radiação, pois a temperatura máxima do ar acontece uma a duas horas após a máxima incidência de radiação solar. Sendo assim concluiu-se que quando maior for a temperatura máxima média, maior será a ET_o. Miranda et al. (2004) estudando a ET_c da cultura da melancia, em Paraipaba-CE, verificaram maiores valores de ET_o, nos meses de maiores temperaturas máximas médias.

b) temperatura mínima média

Na Figura 28 encontram-se os valores de temperatura mínima média, para cada mês do ano, representativos do Baixo Acaraú.

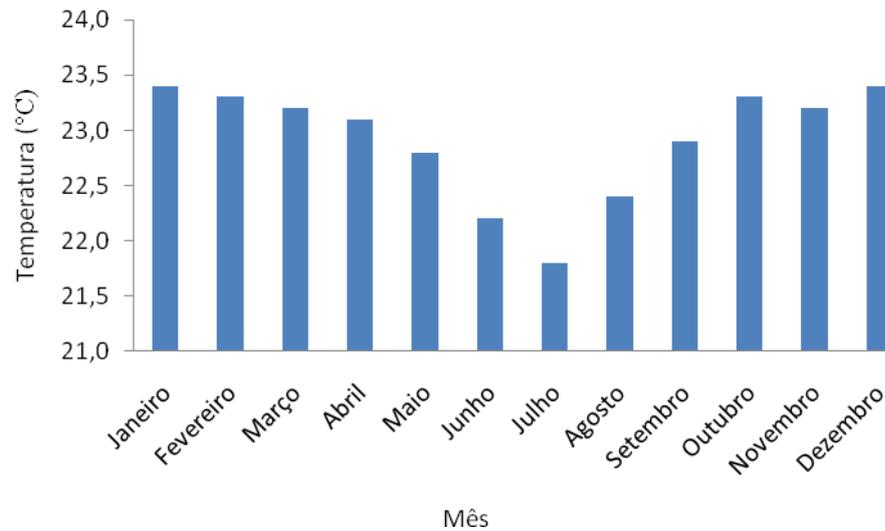


Figura 28 - Temperatura mínima média representativa do Baixo Acaraú.

O maior valor de temperatura mínima média ocorreu nos meses de janeiro e dezembro (23,4°C), já o menor valor foi verificado no mês de julho (21,8°C). A temperatura mínima média também tem influência na evapotranspiração de referência (ET_o). No entanto, não diretamente como a temperatura máxima influencia, pois quando se relaciona a temperatura mínima à ET_o, analisa-se a amplitude térmica, onde as temperaturas máxima e mínima são consideradas. Esta variável está ligada a alguns eventos climáticos, como a nebulosidade, pois em condição de céu coberto a temperatura, no período diurno diminui, devido à redução do saldo de radiação.

c) umidade relativa do ar

Na Figura 29 encontram-se os valores de umidade relativa do ar, para cada mês do ano, representativos do Baixo Acaraú.

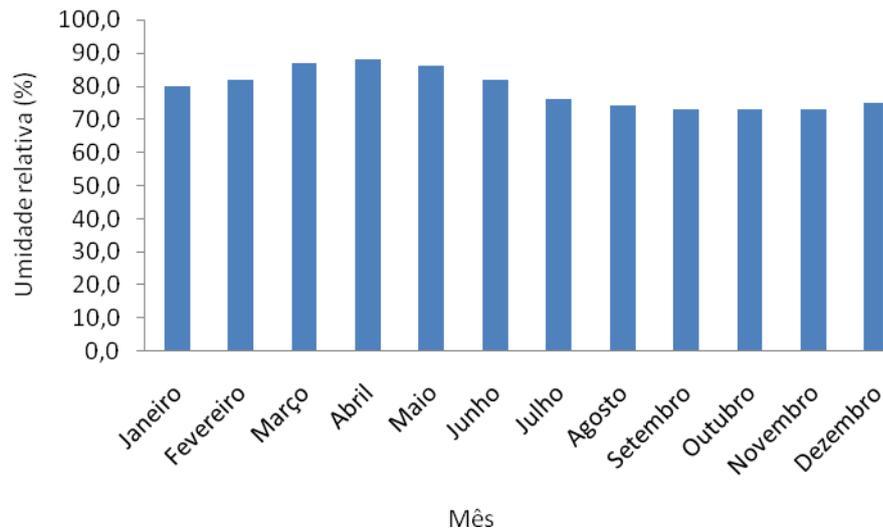


Figura 29 - Umidade relativa do ar representativa do Baixo Acaraú.

Observando os valores presentes na Figura 29, verifica-se que o maior valor de umidade relativa ocorreu no mês de abril (88%), e o menor valor nos meses de setembro, outubro e novembro (73%). Esta análise tornou possível concluir que a evapotranspiração de referência (E_{To}) e a umidade relativa são inversamente proporcionais, pois nos meses de maiores umidades do ar, ocorreram os menores valores de E_{To} . Isto deve-se ao fato de que quanto menor for a umidade relativa do ar, maior será o déficit de saturação, ou seja, maior é a capacidade do ar em alojar vapor d'água. Em consequência, baixos valores de umidade do ar tendem a aumentar as taxas evaporativas. Viana (1997) elaborando calendários de irrigação no perímetro irrigado Curu-Paraipaba, verificou que a E_{To} fora maior nos meses de registros de umidade relativa do ar mais baixos.

d) insolação (radiação solar)

Na Figura 30 encontram-se os valores de insolação (radiação solar), para cada mês do ano, representativos do Baixo Acaraú.

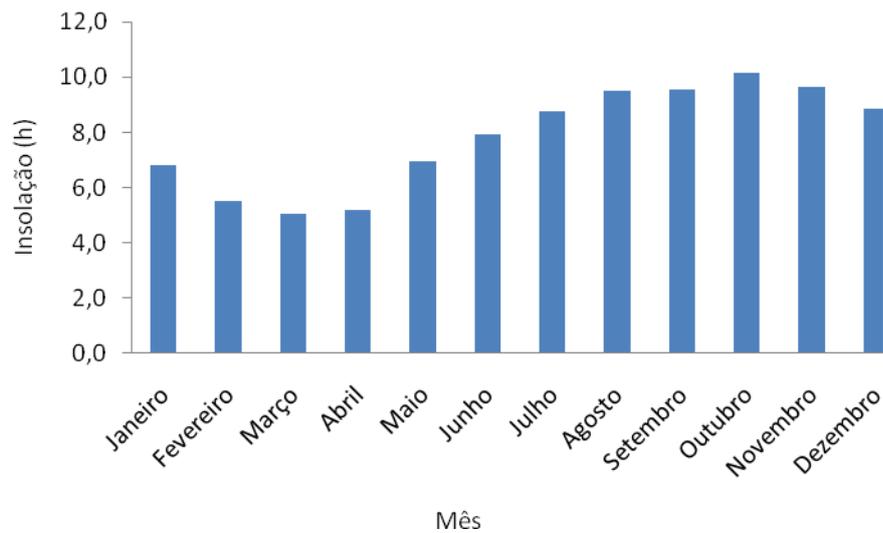


Figura 30 - Insolação representativa do Baixo Acaraú.

Assim como a temperatura máxima média, a insolação (radiação solar) tem influência direta sobre a evapotranspiração de referência (ET_o). Quando da análise da Figura 30, observa-se que os maiores registros de insolação ocorreram nos meses de agosto (9,49h), setembro (9,56h), outubro (10,14h), novembro (9,62h) e dezembro (8,85h), meses estes que mostraram os maiores valores de ET_o. Os meses de março e abril tiveram os menores valores, 5,03h e 5,17h, respectivamente. Nestes dois meses encontrou-se os menores valores de ET_o (3,71mm e 3,74mm, respectivamente). Oliveira (1999) pesquisando a demanda hídrica da melancia, no perímetro irrigado Curu-Paraipaba, observou que a ET_o foi superior nos meses de maiores registros de insolação, o que resultaram em radiações mais elevadas.

O supracitado acontecimento, relacionado à ET_o é justificado pelo fato de que quanto maior for a radiação líquida, maior será a energia disponível e maior será o número de moléculas de água, no estado líquido, que passarão para o estado gasoso. Portanto foi possível concluir que quanto maior a insolação (radiação solar), maior será a evapotranspiração de referência (ET_o).

e) velocidade do vento (efeito advectivo)

Na Figura 31 encontram-se os valores de velocidade do vento, para cada mês do ano, representativos do Baixo Acaraú.

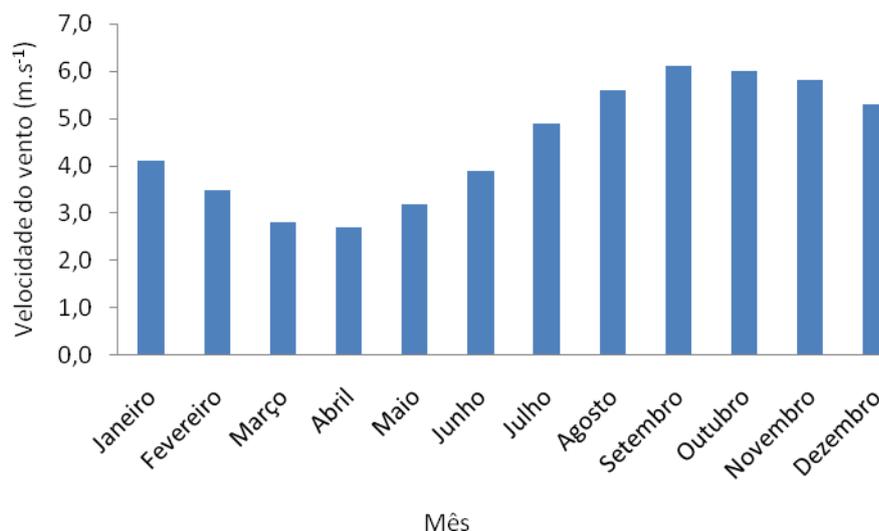


Figura 31 - Insolação representativa do Baixo Acaraú.

Ao observar a Figura 31, verifica-se a direta proporcionalidade entre a velocidade do vento e a evapotranspiração de referência (E_{To}), pois os meses com maiores registros de efeito advectivo (agosto a dezembro) foram também os meses de maiores valores de E_{To} verificados, no cálculo do ISAREG, para as condições do Baixo Acaraú. O mês de maior valor de velocidade do vento foi setembro ($6,1 \text{ m.s}^{-1}$), tendo este mês uma E_{To} de $6,17 \text{ mm}$. Já o mês com menor valor foi abril ($2,7 \text{ m.s}^{-1}$), com o menor valor de E_{To} verificado ($3,54 \text{ mm}$).

À noite a radiação líquida é negativa e a evaporação origina-se, principalmente, das contribuições advectivas (velocidade do vento), pois este renova a massa de ar em contato com a superfície evaporante. Quanto menor for a velocidade do vento, menores serão as taxas evaporativas. Em oposição, maiores valores de velocidade do vento tendem a aumentar as taxas evaporativas. Oliveira (2004) em trabalho realizado no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodí, observou que os maiores valores de E_{To} , coincidiram com os maiores valores de velocidade do vento.

4.2.1.2. E_{Tc} em função dos dados da cultura da melancia

Na Figura 32 é possível visualizar bem, que a curva de E_{Tc} segue a mesma tendência da curva de K_c , mostrando a relação direta entre o coeficiente cultural e a demanda

de água da cultura. No entanto quanto mais precisos forem os dados de entrada fornecidos ao ISAREG, mais realistas serão os resultados expressos.

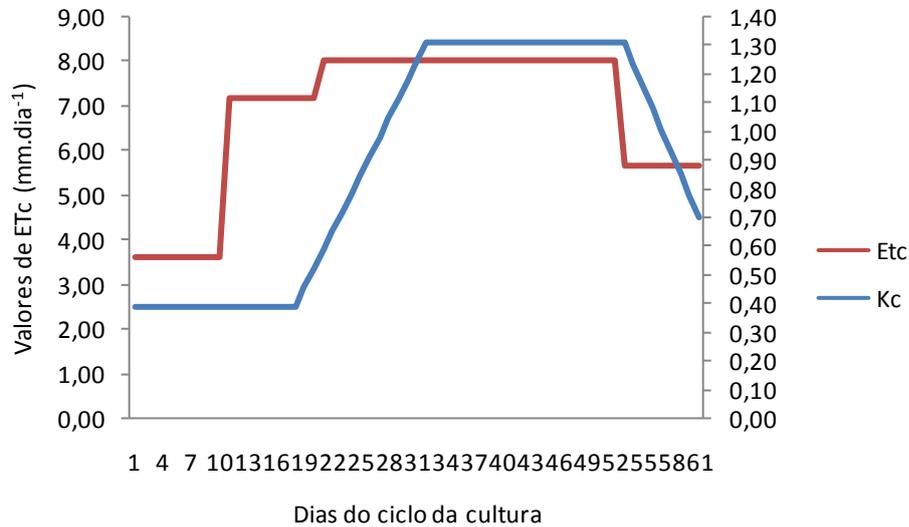


Figura 32 - Evapotranspiração da melancia (ETc) versus coeficiente cultural (Kc).

Como citado anteriormente, a evapotranspiração da cultura da melancia (ETc) foi diretamente, influenciada pelas variáveis climatológicas e pelos dados da cultura. Quanto aos dados referentes à cultura da melancia, fornecidos ao ISAREG (ciclo da cultura em 6 estádios, profundidade efetiva do sistema radicular (Z) a cada estágio, coeficiente cultural (Kc) a cada estágio, e fator de disponibilidade de água (p), também a cada estágio fenológico da cultura), não foi possível haver o fornecimento preciso das informações. As variáveis Z, Kc e p deveriam ter sido fornecidas ao ISAREG, a cada estágio fenológico da cultura da melancia, mas não verificou-se na literatura, trabalhos que resultassem nestas variáveis precisas. Sendo assim, os dados de profundidade do sistema radicular, de Kc e do fator de disponibilidade de água (p) foram oriundos de reduzido número de pesquisas científicas, bem como de depoimentos de pesquisadores.

O fator “p” é de grande importância na ETc, que é um fator fundamental na análise do balanço hídrico no solo, pois segundo Pereira (2004) o valor de p em função da ET_c, não só serve para tomar em consideração os efeitos do clima mas também para responder à variação da sensibilidade das culturas em função das suas fases vegetativas. Inclusive, os menores valores para p correspondem aos períodos de floração e formação do fruto, que são

os mais sensíveis, e quando é maior a ET_c ; ao contrário, na fase de maturação, a ET_c é menor, a cultura é menos sensível ao stress hídrico e resulta p menor.

Provavelmente, a evapotranspiração da cultura (ET_c) não tenha sido precisa, do ponto de vista do modelo ISAREG, mas bastante aceitável no que se refere aos dados de entrada, pois estes foram frutos de pesquisas locais, traduzindo assim, uma maior realidade nos resultados de ET_c obtidos, através do modelo.

4.2.2. O balanço hídrico do solo: condições edafoclimáticas do Baixo Acaraú

No cálculo do balanço hídrico no solo, o ISAREG foi utilizado na simulação de duas condições de manejo da irrigação, sendo a primeira para um manejo ótimo da irrigação, e a segunda com a entrada de datas, e lâminas aplicadas pelos irrigantes do Baixo Acaraú, na cultura da melancia. Nesta segunda condição de manejo, foram gerados dois resultados, sendo 1 (um) com uma lâmina a cada dois dias, de 8,7 mm, e 1 (um) com uma lâmina a cada dois dias, de 17,4 mm. Isso ocorreu devido à limitação do ISAREG, em processar, no máximo 30 (trinta) irrigações, por simulação. Para cada condição de simulação do balanço hídrico foi dada ênfase às variáveis: variação de armazenamento de água no solo (Δh) e fluxo de água no solo (q).

4.2.2.1. Balanço hídrico no solo para um manejo ótimo da irrigação

Para que um manejo de irrigação seja considerado ótimo é preciso que não haja desperdício de água, e que a cultura recebe a água que ela necessite para o seu desenvolvimento, no momento correto e na quantidade necessária. Na simulação realizada pelo ISAREG para o manejo ótimo (ver Tabela 16), a relação entre a evapotranspiração atual (ET_a) e a evapotranspiração máxima (ET_m) foi igual a 1. Portanto, o modelo simulou o balanço hídrico no solo, subentendendo que ET_a foi igual a ET_m , e que para as condições fornecidas de clima, de solo e da cultura da melancia, não houvesse excesso nem déficit de água na irrigação. A lâmina de água total requerida pela cultura da melancia, durante o ciclo

de 68 dias foi de 400,9 mm. Miranda et al. (2004) estudando o manejo da irrigação para a cultura da melancia, concluíram que a lâmina de água total requerida pela cultura, durante todo o ciclo foi de 408 mm.

Tabela 16 - Datas e lâminas gerados pelo ISAREG, para o manejo ótimo da irrigação

Seqüência da Irrigação	Data da Irrigação	Lâmina Aplicada (mm)
1°	01/09	2,4
2°	02/09	4,0
3°	03/09	3,0
4°	04/09	3,3
5°	05/09	3,6
6°	06/09	4,0
7°	07/09	4,4
8°	08/09	2,3
9°	09/09	2,5
10°	10/09	5,3
11°	11/09	2,8
12°	12/09	2,8
13°	13/09	2,9
14°	14/09	5,8
15°	15/09	3,0
16°	16/09	3,0
17°	17/09	3,1
18°	18/09	3,2
19°	19/09	3,2
20°	20/09	3,3
21°	21/09	3,4
22°	22/09	3,4
23°	23/09	3,5
24°	24/09	3,6
25°	25/09	3,7
26°	26/09	3,8
27°	27/09	3,9
28°	28/09	4,0
29°	29/09	4,1
30°	30/09	4,1
31°	01/10	8,4
32°	02/10	4,3
33°	03/10	8,7
34°	04/10	8,9
35°	05/10	9,1
36°	06/10	9,3
37°	07/10	4,7
38°	08/10	9,6
39°	09/10	4,9
40°	10/10	9,9
41°	11/10	10,1
42°	12/10	5,2
43°	13/10	10,5
44°	14/10	5,3
45°	15/10	10,9
46°	16/10	5,5
47°	17/10	5,6
48°	18/10	11,4
49°	19/10	5,8
50°	20/10	11,9
51°	21/10	6,1
52°	22/10	6,2
53°	23/10	6,4
54°	24/10	13,1
55°	25/10	6,7
56°	26/10	6,9
57°	27/10	6,9
58°	28/10	6,9
59°	29/10	6,9
60°	30/10	13,9
61°	31/10	6,9
62°	01/11	6,9
63°	02/11	6,9
64°	03/11	6,9
65°	04/11	6,9
66°	05/11	6,9
67°	06/11	6,9
68°	07/11	6,9
TOTAL		400,9

O total de água disponível no solo, ao final do ciclo da cultura foi de 32 mm. O total acumulado de chuva, durante todo o ciclo da cultura foi de 3,2 mm. Neste caso a eficiência do balanço foi de 100%. A água total que fica armazenada nas camadas mais profundas do solo é um fator importante, pois Pereira (2004) afirma que baixas umidades nas camadas mais profundas do solo, representa uma reduzida condutividade hidráulica do mesmo, ou seja, significa dizer que a drenagem do solo é deficitária. No apêndice I podem ser vistos todos os resultados da simulação do balanço no solo, para a condição ótima, realizado pelo ISAREG, no ambiente do modelo.

4.2.2.2. Balanço hídrico no solo (data e lâmina de 8,7 mm, aplicadas pelos irrigantes do Baixo Acaraú)

A lâmina de 8,7 mm, utilizada no processo de simulação com o ISAREG é a lâmina diária, aplicada pelos irrigantes do Baixo Acaraú, na cultura da melancia. Todavia, devido à limitação do modelo em processar apenas 30 (trinta) irrigações, por simulação, neste caso, optou-se por fazer a simulações com uma possível subestimativa de irrigação, subentendendo que os irrigantes irrigam 30 vezes, durante o ciclo da cultura, tendo cada irrigação uma lâmina de 8,7 mm.

Nesse manejo de irrigação (Tabela 17), a lâmina total aplicada foi de 261 mm. Durante todo o ciclo da cultura, 40,95 mm de água foram percolados.

Durante as simulações foi possível verificar que até a 15^o irrigação, onde a cultura encontrava-se com cerca de 30 dias do ciclo houve excesso de água, e sempre 1 dia anterior à irrigação ocorrera déficit hídrico. A partir de 16^o irrigação, verificou-se a ocorrência de déficit hídrico.

A relação entre a evapotranspiração real (ET_a) e a evapotranspiração máxima (ET_m) variou entre 1 (primeira irrigação) e 0,35 (segunda irrigação), provando o manejo da irrigação deficitário, para essa simulação de balanço hídrico.

Tabela 17 - Dados de datas e lâminas inseridos no ISAREG, referentes ao manejo da irrigação da cultura da melancia, adotado no Baixo Acaraú*

Seqüência da Irrigação	Data da Irrigação	Lâmina Aplicada (mm)
1°	01/09	8,7
2°	03/09	8,7
3°	05/09	8,7
4°	07/09	8,7
5°	09/09	8,7
6°	11/09	8,7
7°	13/09	8,7
8°	15/09	8,7
9°	17/09	8,7
10°	19/09	8,7
11°	21/09	8,7
12°	23/09	8,7
13°	25/09	8,7
14°	27/09	8,7
15°	29/09	8,7
16°	01/10	8,7
17°	03/10	8,7
18°	05/10	8,7
19°	07/10	8,7
20°	09/10	8,7
21°	11/10	8,7
22°	13/10	8,7
23°	15/10	8,7
24°	17/10	8,7
25°	19/10	8,7
26°	21/10	8,7
27°	23/10	8,7
28°	25/10	8,7
29°	27/10	8,7
30°	29/10	8,7
TOTAL		261,0

(*) Manejo da irrigação com a entrada de datas e lâminas adotadas pelos irrigantes do Baixo Acaraú, com frequência de irrigação de 2 dias (subestimativa de irrigação)

O total de água disponível no solo, ao final do ciclo da cultura foi de 2,1 mm. O total acumulado de chuva, durante todo o ciclo da cultura foi de 3,2 mm. A eficiência do balanço foi de 84,31%. Porém, vale salientar que o que é interpretado pelo ISAREG como balanço eficiente é aquele onde não há desperdício de água. Neste caso de manejo, a cultura da melancia, durante 38 dias do seu ciclo, não receberia a quantidade de água necessária para o seu desenvolvimento (déficit hídrico), mesmo com a supracitada eficiência de aplicação.

Diversas vezes a eficiência de aplicação é elevada, mas a eficiência de armazenamento não acontece satisfatoriamente.

No Apêndice J podem ser vistos todos os resultados da simulação do balanço no solo, para a condição de datas e lâminas (8,7 mm), realizada pelo ISAREG, no ambiente do modelo.

a) a variação de armazenamento de água no solo

Ao se observar a Tabela 18 é possível notar que a variação de armazenamento de água no solo (Δh) gerada através do ISAREG evidenciou que o solo em questão pouco armazenou água, causando estresse hídrico em quase todos os dias do ciclo da cultura. A exceção ocorreu nos últimos 2 dias do ciclo da cultura, em que o solo conseguiu ficar com um saldo de armazenamento hídrico de $\Delta h = 5,68$ mm.

A falta de informação precisa, acerca da profundidade efetiva do sistema radicular (z) da cultura da melancia, em cada fase fenológica, comprometeu a simulação do ISAREG, quanto ao Δh . O armazenamento de água pelo solo e sua disponibilidade às plantas dependem de processos dinâmicos, tais como: infiltração, redistribuição interna, drenagem e absorção pelas raízes das plantas (JONG VAN LIER, 2000).

Na Figura 33 pode ser visto a variação de armazenamento da água no solo, ao longo do ciclo da cultura da melancia.

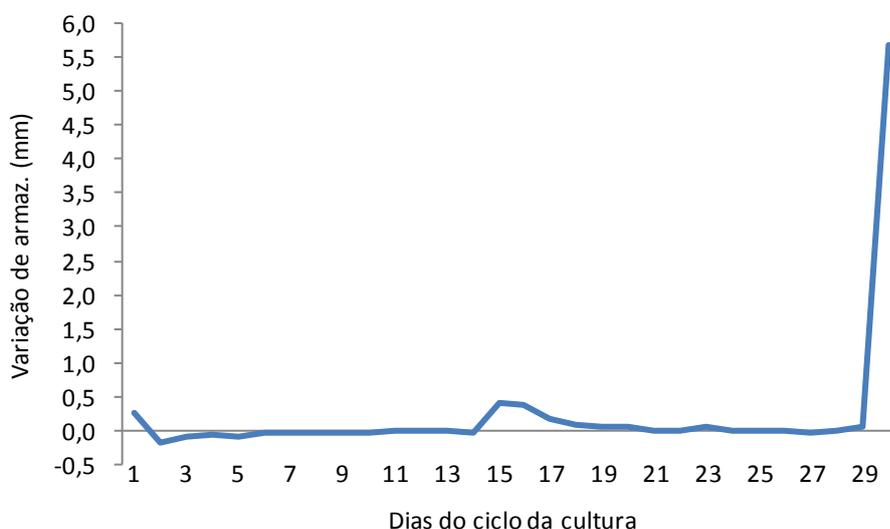


Figura 33 - Variação de armazenamento da água no solo.

Provavelmente, o comportamento deveu-se primeiramente a textura do solo, que o modelo, a partir de dados fornecidos, deve ter interpretado como sendo franco-arenoso, ou seja, de baixa capacidade de retenção de água. Todavia, a principal justificativa deve-se ao fato de que o ISAREG, durante a simulação do balanço hídrico, tem a limitação de processar, no máximo, 30 irrigações.

O modelo ISAREG considera que a reserva máxima de água no solo é igual a água disponível total na zona radicular e que a reserva mínima para conforto hídrico corresponde à água do solo facilmente disponível na zona radicular.

Para a validação do ISAREG, ocorrida no vale do Sorraia (Portugal) utilizaram-se observações da água do solo ao longo do ciclo vegetativo das culturas recorrendo à sonda de nêutrons e relativas a todo o perfil de solo susceptível de ser explorado pelas raízes. O que comprova a importância de o modelo ter a informação precisa da zona explorada pelas raízes da cultura, nos diferentes estádios de desenvolvimento da mesma.

b) o fluxo de água no solo

Ainda na Tabela 18 observa-se que o fluxo de água no solo (q) total, que foi de 40,8 mm, evidenciando o excesso de água durante o ciclo da cultura da melancia. Do dia 01/09 (plantio e primeira irrigação) até o dia 10/10 houve excesso de água, tendo o maior valor observado nos 2 primeiros dias (8,7 mm). Desta data até o último dia do ciclo da cultura houve déficit hídrico. Souza et al. (2009) analisando o balanço hídrico, para a cultura do maracujá, verificaram um fluxo de água de 8,76 mm, no 243º dia do ciclo da cultura, mas no total do experimento o fluxo encontrado foi de 74,6 mm.

Analisando a Figura 34, observa-se o fluxo de água no solo ao longo do ciclo da cultura da melancia. Quando os valores situam-se abaixo de zero, significa que está havendo desperdício de água, por percolação profunda.

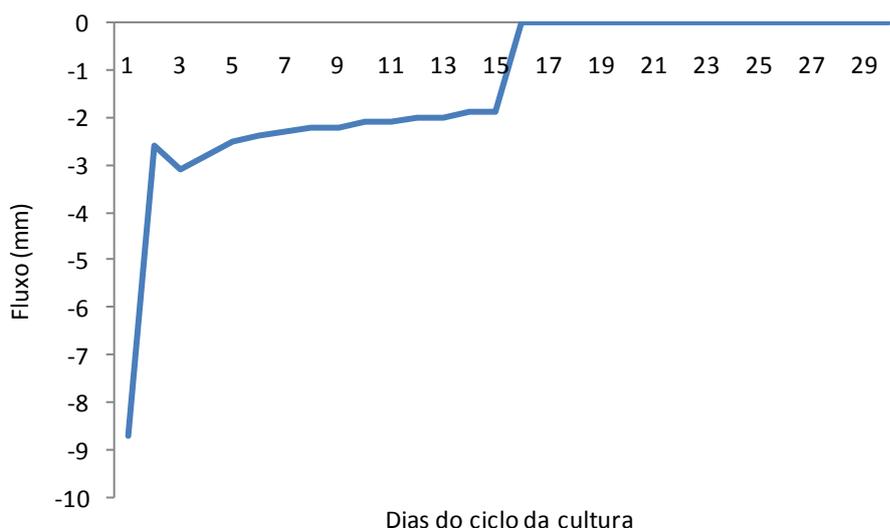


Figura 34 - Fluxo da água no solo.

O comportamento verificado nessa simulação de balanço hídrico deve-se ao fato principal de que a lâmina que é aplicada diariamente fora inserida na simulação como sendo a cada dois dias, ou seja, houve uma tendência à subestimativa de resultados. Ficou claro que seria pouca água aplicada à cultura, principalmente da metade para o final do ciclo, onde as demandas hídricas costumam aumentar. No entanto, verificou-se excesso de água no início do ciclo, ocasião em que a demanda hídrica ainda era reduzida. De qualquer forma, este excesso ocorreu pelo fato de o solo do Baixo Acaraú ser um Neossolo Quartzarênico, ou seja, de elevada velocidade de infiltração.

4.2.2.3. Balanço hídrico no solo (data e lâmina de 17,4 mm, aplicadas pelos irrigantes do Baixo Acaraú)

A lâmina de 8,7 mm, utilizada no processo de simulação com o ISAREG é a lâmina diária, aplicada pelos irrigantes do Baixo Acaraú, na cultura da melancia. Todavia, devido à limitação do modelo em processar apenas 30 (trinta) irrigações, por simulação, neste caso, optou-se por fazer a simulações com uma possível superestimativa de irrigação, subentendendo que os irrigantes irrigam 30 vezes, durante o ciclo da cultura, tendo cada irrigação uma lâmina de 17,4 mm. Nesse manejo de irrigação (Tabela 19), a lâmina total aplicada foi de 522 mm.

Tabela 19 - Dados de datas e lâminas inseridos no ISAREG, referentes ao manejo da irrigação da cultura da melancia, adotado no Baixo Acaraú**

Seqüência da Irrigação	Data da Irrigação	Lâmina Aplicada (mm)
1°	01/09	17,4
2°	03/09	17,4
3°	05/09	17,4
4°	07/09	17,4
5°	09/09	17,4
6°	11/09	17,4
7°	13/09	17,4
8°	15/09	17,4
9°	17/09	17,4
10°	19/09	17,4
11°	21/09	17,4
12°	23/09	17,4
13°	25/09	17,4
14°	27/09	17,4
15°	29/09	17,4
16°	01/10	17,4
17°	03/10	17,4
18°	05/10	17,4
19°	07/10	17,4
20°	09/10	17,4
21°	11/10	17,4
22°	13/10	17,4
23°	15/10	17,4
24°	17/10	17,4
25°	19/10	17,4
26°	21/10	17,4
27°	23/10	17,4
28°	25/10	17,4
29°	27/10	17,4
30°	29/10	17,4
TOTAL		522,0

(**) Manejo da irrigação com a entrada de datas e lâminas adotadas pelos irrigantes do Baixo Acaraú, com frequência de irrigação de 2 dias (superestimativa de irrigação).

Durante todo o ciclo da cultura, 229,08 mm de água foram percolados. Durante as simulações foi possível verificar que durante todas as irrigações houve excesso e déficit de irrigação.

A relação entre a evapotranspiração real (ETa) e a evapotranspiração máxima (ETm) também variou entre 1 (primeira irrigação) e 0,35 (segunda irrigação), provando o manejo da irrigação deficitário, para essa simulação de balanço hídrico.

O total de água disponível no solo (TAW), ao final do ciclo da cultura foi de 3,5 mm. Pereira (2004) afirma que a informação sobre TAW não é suficiente porque as plantas extraem mais ou menos dificilmente a água do solo de acordo com os seus padrões característicos de extração radicular e de acordo com as condições climáticas da atmosfera, ocorrendo ainda influência das características físicas e químicas do solo, inclusive a salinidade. O total acumulado de chuva, durante todo o ciclo da cultura foi de 3,2 mm. Neste caso a eficiência do balanço foi de 56,11%. Pôde-se observar que neste caso de simulação do balanço hídrico, onde a lâmina aplicada foi o dobro da lâmina anterior, o ISAREG reduziu a eficiência de aplicação em 28,2%. Embora a eficiência tenha reduzido, torna-se importante dizer que neste caso, a cultura da melancia receberia toda a água necessária para o seu correto desenvolvimento, mas com uma grande quantidade de água desperdiçada (aplicação em excesso).

No apêndice K pode ser visto os resultados da simulação do balanço no solo, para a condição de datas e lâminas (17,4 mm), realizada pelo ISAREG, no ambiente do modelo.

a) a variação de armazenamento de água no solo

Ao se observar a Tabela 20 é possível notar que a variação de armazenamento de água no solo (Δh) gerada através do ISAREG evidenciou que o solo em questão pouco armazenou água, mas sem causar estresse hídrico à cultura da melancia, devido à lâmina elevada. A exceção ocorreu nos últimos 2 dias do ciclo da cultura, em que o solo conseguiu ficar com um saldo de armazenamento hídrico de $\Delta h = 6,48$ mm. Souza et al. (2009) estudando o balanço hídrico do solo, para a cultura do maracujá, verificaram uma variação na amplitude de armazenamento de água no solo de 18,94 mm, enfatizando que essa amplitude foi reduzida no período de floração/frutificação da cultura.

Na Figura 35 pode ser visto a variação de armazenamento da água no solo, ao longo do ciclo da cultura da melancia.

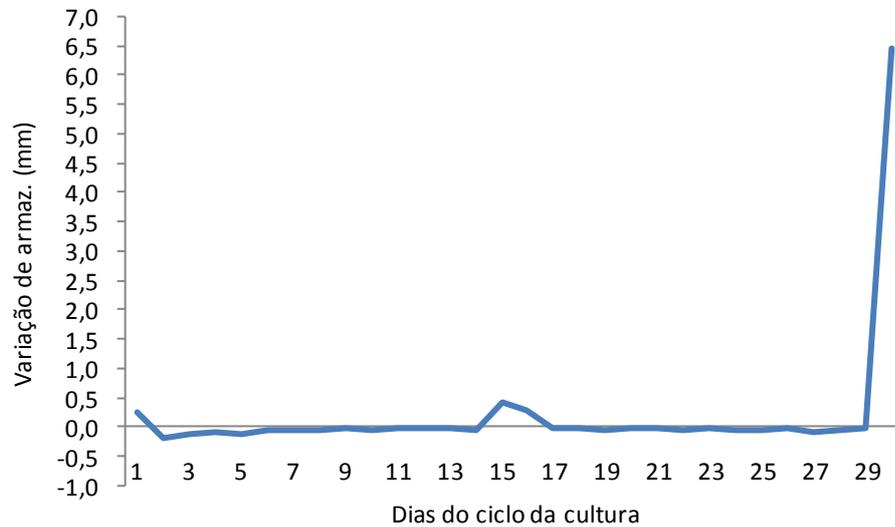


Figura 35 - Variação de armazenamento da água no solo.

Provavelmente, o comportamento deveu-se primeiramente a textura do solo, que o modelo, a partir de dados fornecidos, deve ter interpretado como sendo franco-arenoso, ou seja, de baixa capacidade de retenção de água. Todavia, a principal justificativa deve-se ao fato de que o ISAREG, durante a simulação do balanço hídrico, tem a limitação de processar, no máximo, 30 irrigações.

b) o fluxo de água no solo

Ainda na Tabela 20 observa-se que o fluxo de água no solo (q) total, que foi de 229 mm, evidenciando o excesso de água durante todo o ciclo da cultura da melancia. No entanto do dia 01/09 (plantio e primeira irrigação) até o dia 10/10 verificou-se os maiores valores de excesso de água, tendo o maior valor observado nos 2 primeiros dias (17,4 mm). Os menores valores de fluxo ocorreram nos últimos dois dias do ciclo (2,8 mm).

Analisando a Figura 36, observa-se o fluxo de água no solo ao longo do ciclo da cultura da melancia. Quando os valores situam-se abaixo de zero, significa que está havendo desperdício de água, por percolação profunda. Segundo Pereira (2004) de fato, após a irrigação é normal que ocorra drenagem para as camadas mais profundas do solo, ou mesmo que haja percolação para além da zona explorada pelas raízes. No entanto, o mesmo afirma que conforme a planta inicia a utilização da água do solo, o sentido do escoamento da água pode se inverter, e as camadas de solo abaixo da zona das raízes passam a fornecer água às camadas superiores.

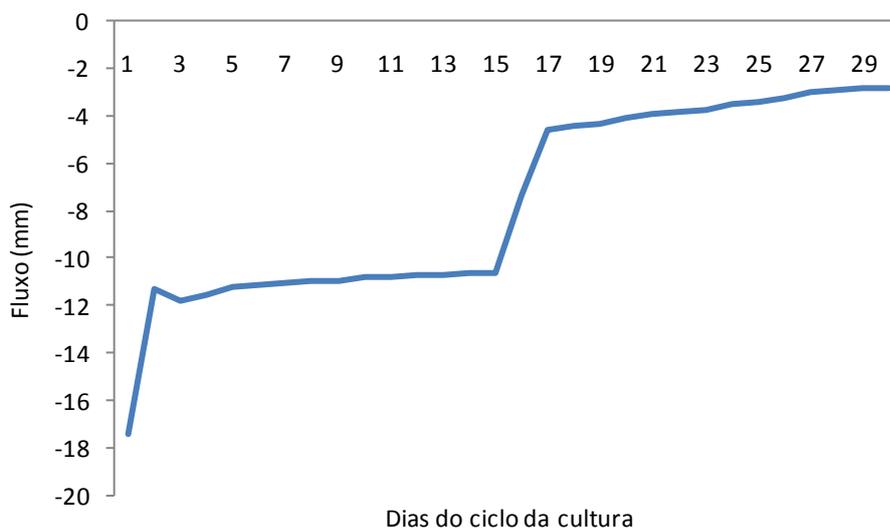


Figura 36 - Fluxo da água no solo.

O comportamento verificado nesta simulação de balanço hídrico deve-se ao fato principal de que o dobro da lâmina que é aplicada diariamente (17,4 mm) fora inserida na simulação como sendo a cada dois dias, ou seja, houve uma tendência à superestimativa de resultados. Foi notório que houve excesso de água aplicada, principalmente, no início do ciclo da cultura da melancia, ocasião em que a demanda hídrica ainda era reduzida. De qualquer

forma, esse excesso ocorreu pelo fato de o solo do Baixo Acaraú ser um Neossolo Quartzarênico, ou seja, de elevada velocidade de infiltração.

4.2.2.4. A precipitação

A partir dos dados de precipitação, oriundos de série histórica, inseridos no ISAREG, o mesmo englobou a água advinda da chuva, no processo de simulação do balanço hídrico no solo. A Figura 37 os valores médios de precipitação do Baixo Acaraú.

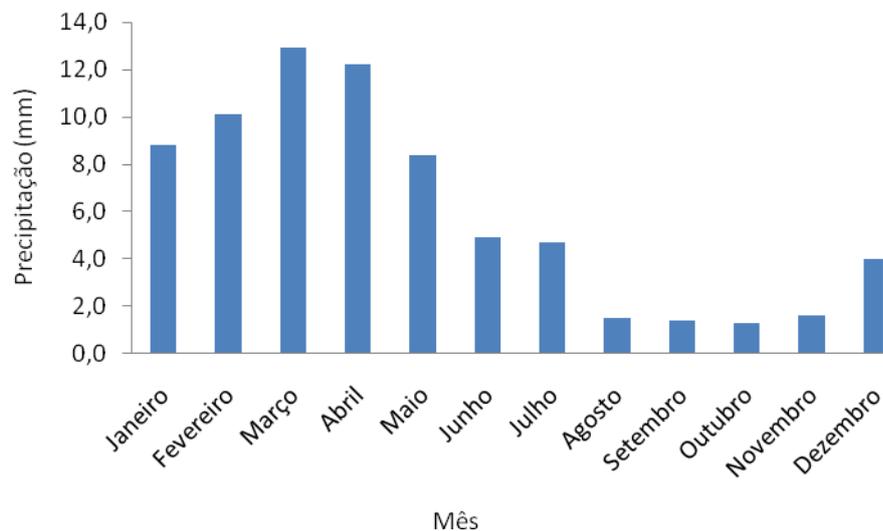


Figura 37 - Precipitação representativa do Baixo Acaraú.

Sabe-se como a precipitação é importante para a economia na aplicação da água de irrigação, pois a mesma entra como saldo positivo no balanço hídrico. Nos meses de janeiro a maio, foram verificados os maiores eventos pluviométricos no Baixo Acaraú, com precipitação alcançando 12,9 mm no mês de março. No entanto, como a cultura da melancia, no processo de simulação, foi cultivada no início de setembro (precipitação média de 1,4 mm), a chuva pouco colaborou para a redução na lâmina aplicada na irrigação. Guimarães (1993) durante a elaboração de calendários de irrigação para o perímetro de irrigação Jaguaribe-Apodi, concluiu que durante o balanço hídrico no solo, quando a precipitação

efetiva não supri, pelo menos parcialmente, as necessidades hídricas das culturas, há uma elevação considerável na lâmina de água a ser aplicada via irrigação.

4.2.3. O calendário de irrigação para a cultura da melancia

Após a entrada de dados do clima, do solo, e da cultura da melancia, utilizou-se o ISAREG, visando o ótimo manejo da irrigação, elaborando-se um calendário de irrigação, com uma lâmina de água a ser aplicada a cada dia do ciclo da cultura da melancia (Apêndice L).

No manejo ótimo da irrigação a lâmina aplicada total de água foi de 400,9 mm, o que converge para a afirmação de Doorenbos e Kassam (1979) que afirmaram que, para a melancia alcançar alto rendimento são necessários de 400 a 600 mm de água, durante o ciclo total da cultura. O modelo calcula a lâmina de água a ser aplicada, levando-se em consideração, principalmente, a evapotranspiração da cultura (ETc), a precipitação, e as características físicas do solo. A lâmina mínima exigida foi de 2,3 mm, no 8º dia do ciclo da cultura. Já a lâmina máxima foi de 13,9 mm, na irrigação do 60º dia do ciclo.

É possível observar que as lâminas aumentam a partir do 31º dia do ciclo da cultura (início do mês de outubro), com um valor mínimo de 4,3 mm e um máximo de 13,9 mm. Isso se deve a diversos fatores, tais como: o coeficiente cultural (Kc) se eleva, a partir do estágio fenológico correspondente a idade da cultura da melancia de cerca de 28 dias, reduzindo nos últimos dias de cultivo, mas não sendo inferior ao Kc inicial; somando-se a esse fato, o maior registro de evapotranspiração de referência (ETo) foi verificado, exatamente, no mês de outubro ($6,34 \text{ mm.dia}^{-1}$), ou seja, com o aumento da evapotranspiração da cultura (ETc), elevou-se a necessidade da aplicação da lâmina d'água.

Analisando a demanda hídrica calculada pelo ISAREG, quanto ao manejo da irrigação, no que se refere à quantidade de água a ser aplicada, com a utilização dos mesmos emissores utilizados atualmente pelos irrigantes do Baixo Acaraú, nos dias de máxima demanda (13,9 mm) o irrigante deveria funcionar o sistema de irrigação durante 4,8 horas por dia, mas nos dias de demanda mínima (2,3 mm), o sistema funcionaria 0,8 horas (47,5 minutos). No entanto, viabilizando a prática de aplicação, numa média, com a demanda de 5,9 mm, o irrigante deveria acionar o sistema por 2 horas diárias.

4.2.4. O manejo da irrigação recomendado pelo “ISAREG” x o manejo adotado pelo agricultor do Baixo Acaraú

Após a fase de coleta de informações, realizada no perímetro irrigado Baixo Acaraú, com os irrigantes, os seguintes dados sobre o manejo atual de irrigação foram analisados: os produtores de melancia utilizam cerca de 415 emissores por hectare, com vazão de 70 litros/cada emissor. Irrigam todos os dias, e no caso da melancia, a irrigação ocorre 3 horas diárias. Portanto, em média, os irrigantes do Baixo Acaraú aplicam uma lâmina de 8,7 mm por dia, em seus cultivos de melancia. Levando-se em consideração que a duração média do ciclo da melancia é de 68 dias, então durante todo o ciclo da cultura os irrigantes estão aplicando, aproximadamente, 591,6 mm.

No manejo ótimo da irrigação, realizado pelo ISAREG, a lâmina aplicada total de água foi de 400,9 mm. O modelo calculou a lâmina de água a ser aplicada, levando-se em consideração, principalmente, a evapotranspiração da cultura (ETc), a precipitação, e as características físicas do solo. Isto, visando à aplicação de água, na quantidade correta, e no momento ideal, reduzindo assim o desperdício hídrico. Esta diferença entre lâminas de 190,7 mm pode ser em decorrência da indicação de manejo da cultura da melancia, realizada pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), através do projeto executivo, quando do planejamento de implantação do perímetro irrigado Baixo Acaraú, pois o supracitado órgão costumava utilizar métodos de determinação da evapotranspiração não indicados pela FAO (Food Agriculture Organization). Guimarães (1993) em pesquisa realizada no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi verificou que a ETo estimada pela metodologia de Penman-Monteith superestimou a ETo estimada pela metodologia de Hargreaves. A ocorrência inversa foi observada por Viana (1997).

A Figura 38 mostra a comparação entre o manejo da irrigação realizado pelo irrigante do Baixo Acaraú e o manejo ótimo de irrigação, calculado pelo ISAREG.

É possível observar que até o 30º dia do ciclo da cultura da melancia, o irrigante está aplicando mais água do que a cultura necessita. Esta diferença é mínima em 2,9 mm ($29 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) e máxima em 6,4 mm ($64 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Para o mesmo período do ciclo da melancia, Miranda et al. (2004) aplicaram uma lâmina de 2,61 mm. Já a partir do 31º dia do ciclo até o 60º dia, o irrigante está aplicando menos água do que a planta necessita. Neste dia uma lâmina de 5,2 mm é aplicada a menos, ou seja, ocorre um déficit hídrico de $52 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ nas culturas de melancia cultivadas no Baixo Acaraú. Nos últimos 8 (oito) dias do ciclo da

cultura, volta a ocorrer uma superestimativa, e o irrigante volta a aplicar mais água do que o demandado pela cultura da melancia. O pequeno e o médio irrigantes, público ou privado, continua fazendo “aguação”, pois é necessário gerar, adaptar e difundir tecnologias de manejo adequado de irrigação, privada e pública, empresarial e do pequeno e do médio irrigante (SOUZA, 2000).

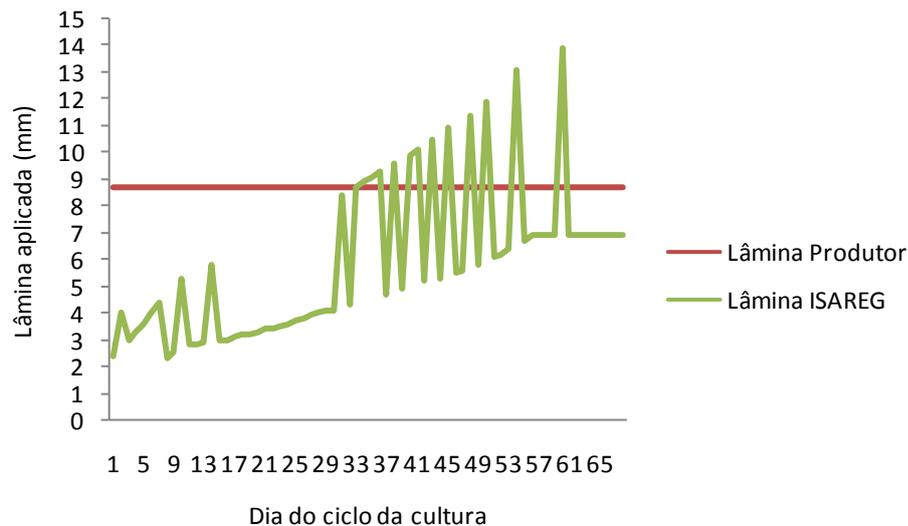


Figura 38 - Manejo realizado pelo irrigante versus o manejo com o ISAREG.

Ao total absoluto do ciclo da cultura, considerando o plantio no mês de setembro, o irrigante do Baixo Acaraú está aplicando em excesso cerca de 215,2 mm de água à cultura da melancia. Também, o mesmo está proporcionando um déficit hídrico de 24,2 mm, durante todo o ciclo da cultura. O estresse sofrido pela cultura traduz-se pela diminuição da taxa de evapotranspiração e, conseqüentemente, das funções fisiológicas que com ela se relacionam; como a respiração, a fotossíntese e a assimilação (PEREIRA, 2004). Provavelmente, a água aplicada a mais, deva estar, em quase sua totalidade sendo percolada, devido às características físicas do solo do Baixo Acaraú, traduzindo em custos para os irrigantes. Já o déficit se dá devido a maior evapotranspiração da cultura nos estádios de máxima cobertura, de floração e de frutificação.

5. CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa conduzem às seguintes conclusões:

- a) O modelo ISAREG demonstrou um detalhado balanço hídrico do solo, quando da análise científica das variáveis estudadas, tendo já sido anteriormente validado em diversos países e regiões, sendo também validado neste trabalho, pois quando seus resultados foram comparados aos experimentais, houve semelhança nas tendências das variáveis analisadas (variação de armazenamento e fluxo de água no solo).
- b) Na comparação entre os resultados experimentais e os simulados, quanto às correlações estatísticas, durante a análise do processo de validação, para a condição L₁ (50% de ECA) o R² para a variação de armazenamento de água no solo (Δh) foi de 0,13, e de 0,19 para o fluxo de água no solo (q). Na condição L₃ (100% de ECA) o R² foi de 0,17 para o “ q ”, e de 0,08 para Δh . Já na condição L₄ (150% de ECA) o R² de Δh foi de 0,06. Para “ q ” não houve correlação, pois a maioria dos valores foi zero;
- c) Apesar de haver diferenças significativas, entre os resultados experimentais e os simulados, quanto às variáveis: variação de armazenamento de água no solo (Δh) e fluxo de água no solo (q), o resultado da evapotranspiração da cultura (ET_c), durante o processo de validação, mostrou-se aceitável, embora também, tenha havido deficiência na precisão dos dados referentes à cultura;
- d) No processo de aplicação do ISAREG, as necessidades hídricas da melancia foram simuladas. A evapotranspiração da cultura variou de 3,59 mm.dia⁻¹ a 8,01 mm.dia⁻¹, ao longo do ciclo da melancia;

- e) Quanto ao balanço hídrico no solo, para a cultura da melancia no Baixo Acaraú, a variação de armazenamento de água no solo (Δh) total durante o ciclo da cultura, foi de 6,5 mm, tanto na condição de lâmina aplicada de 8,7 mm, como para a situação em que a lâmina foi de 17,4 mm. Já quanto ao fluxo de água no solo (q), os valores variaram de 40,8 mm (lâmina aplicada de 8,7 mm) a 229 mm (lâmina aplicada de 17,4 mm);

- f) Foi elaborado um calendário de irrigação, para a cultura da melancia, onde as lâminas a serem aplicadas variaram de 2,4 mm, nos primeiros dias do ciclo da melancia a 13,9 mm, nas fases de maiores demandas hídricas da cultura;

- g) A pesquisa evidenciou que os irrigantes do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, no cultivo da melancia estão manejando mal os recursos hídricos. Durante todo o ciclo da cultura, o irrigante está aplicando em excesso cerca de 215,2 mm de água, e também está proporcionando um déficit hídrico de 24,2 mm à cultura.

6. RECOMENDAÇÕES

De acordo com a pesquisa realizada, as seguintes recomendações são sugeridas:

- a) Pesquisas experimentais devem ser realizadas, visando à obtenção de todas as variáveis culturais requisitadas pelo ISAREG, na obtenção das necessidades hídricas das culturas, tais como: fases fenológicas bem definidas, fator de disponibilidade de água (p), profundidade do sistema radicular (z), e coeficiente cultural (K_c), ambos a cada fase fenológica. Isto, para que seja possível, não somente validar modelos, como o ISAREG, mas também para a adequada aplicação prática do mesmo.
- b) O ISAREG deve ser aplicado, como forma de pesquisa, em casos diferenciados de: tipos de solo, clima e cultura, comparando os resultados, a experimentos de campo, inclusive com a utilização de lisímetros de precisão, e a outros modelos.
- c) O modelo ISAREG deve ser amplamente testado por pesquisadores de instituições de ensino, pesquisa e extensão, de modo que as informações geradas pelo “software” sejam adaptadas, para a utilização por parte dos Distritos de Irrigação, inclusive do Baixo Acaraú.
- d) Quanto ao uso do ISAREG nos perímetros de irrigação, o mesmo deve ser aplicado para as várias opções de manejo (para a máxima produtividade, com entrada de datas e lâminas dentre outras), e para diversas culturas, de forma que seja bem aceito por parte dos irrigantes, inclusive na elaboração dos calendários de irrigação, que devem iniciar com datas de plantios específicos para cada situação.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. São Paulo: FNP. p. 406-408, 2003.

ALBUQUERQUE, P. E. P. de; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, F. de; SEDIYAMA, G. C.; BEZERRA, J. R. C.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. **ITEM: Irrigação & Tecnologia Moderna**. Brasília, n. 52/53, p. 49-57, 4º trimestre 2001 / 1º trimestre 2002.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration (guideline for computing crop water requirements). **Série FAO Irrigation and Drainage Paper**, 56. Rome: FAO, 1998. 300 p.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del Cultivo. **Guias para La Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos**. Estudio Riego y Drenaje 56, FAO, Roma. 2006b.

ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA L.S. An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, 43(2): 35-92. 1994b.

AMORIM, R. S. S.; GRIEBELER, N. P.; GONÇALVES, F. A. Comparação de métodos de interpolação para espacialização de dados climáticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Novas fronteiras: o desafio da engenharia agrícola: [trabalhos apresentados]. Goiânia: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. 1 CDROM.

ANDRADE JÚNIOR, A.S. de. **A cultura da melancia**. Brasília: Embrapa-SPI; Teresina: Embrapa - CPAMN, 1998, 86p. (Coleção plantar; 34).

ANNAN, C. **Relatório anual da Organização das Nações Unidas – ONU**. 256p. Roma, Itália. 2005.

AQUINO, D.N.; ANDRADE, E.M.; LOPES, F.B.; TEIXEIRA, A.S.; CRISOSTOMO, L.A. Impacto do manejo da irrigação sobre os recursos solo e água. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 02, p. 225-232, Abr.- Jun., 2008.

ARAÚJO, J. P. de; FREIRE, L.C.; FARIA, C. M. B. de. Aperfeiçoamento do sistema de produção de melancia em áreas irrigadas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília: v.7, n.10, p.1505-1508, out. 1982.

BARBOSA, F.C. **Estimativa das necessidades de irrigação e avaliação do impacto da cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia do baixo Jaguaribe – Ce.** Dissertação de mestrado. Fortaleza, 2005.

BEZERRA, F.M.L.; OLIVEIRA, C.H.C. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura nos estádios fenológicos da melancia irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB. 1999.

CABRAL, R.C. **Evapotranspiração de referência de Hargreaves (1974) corrigida pelo método de Penman-Monteith/FAO (1991) para o Estado do Ceará.** Dissertação de Mestrado. Fortaleza-Ce. 2000.

CAMEIRA, M.R.; FERNANDO, R.M.; AHUJA, L.; PEREIRA, L.S. Simulating the fate of water in field soil-crop environment. **Journal of Hydrology** 315: 1-24. 2005.

CAMPOS, A. A; FABIÃO, M. S.; PEREIRA, L. S.; GONÇALVES, J.M.; VALÍN, M. I. Y.; LIU, Y. N.; LI, Z.; MAO, B. D. Irrigation Scheduling For Water Savings And Salinity Control In The Yellow River Basin, China. Asabe technical library. **ASAE**. Annual Meeting. 2002.

CAMPOS, A.A.; PEREIRA, L.S.; GONÇALVES, J.M.; FABIÃO, M.S.; LIU, Y.; LI, Y.N.; MAO, Z.; DONG, B. **Water saving in the Yellow River Basin, China. 1. Irrigation demand scheduling.** Agricultural Engineering International Vol. V. 2001.

CARLESSO, R.; PEREIRA, L.S. Jornadas sobre "Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad", Red Riegos, CYTED y AECID. **Necessidades de água dos cultivos: uso de modelos para a programação e manejo da rega; aplicação a casos reais com enfoque nos impactos ambientais.** La Antigua (Guatemala), 11 al 14 de agosto de 2008.

CARVALHO, D.F.; SOARES, A.A.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SEDIYAMA, G.C.; PRUSKI, F.F. Otimização do uso da água no perímetro irrigado do Gorutuba, utilizando-se a técnica da programação linear. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, v.4, n.2, p.203-209, 2000.

CARVALHO, L.C.C. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do melão sob diferentes lâminas de irrigação.** Dissertação de Mestrado. Fortaleza-Ce. 2006, 73p.

CHATERLAN, Y.; DUARTE, C.; LEÓN, M.; PEREIRA, L.S.; TEODORO, P.R.; GARCÍA, R.R. Coeficientes de cultivo de la cebolla y su determinación con el modelo ISAREG. In: MODERNIZACIÓN DE RIEGOS Y USO DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN (Red

CYTED-Riegos, La Paz, Bolivia, Setembro de 2007). **Anais...** La Paz, Bolívia CD-ROM. 2007.

CHRISTOFIDIS, D. O futuro da irrigação e a gestão das águas. **Revista Item**, n.80. p. 40-47. Brasília, 2008.

COSTA, N.D.; LEITE, W.M. **O Cultivo da Melancia**. Relatório técnico. Fortaleza, CE. 35p. 2004.

COSTA, R.N.T. **Estratégias para racionalização e conservação do recurso água na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Curu-CE**. Projeto de pesquisa. Pentecoste-CE. 2006.

COSTA, R.N.T.; COLARES, D.S.; SAUNDERS, L.C.U.; SOUZA, F.de. Eficiências de aplicação e de uso da água em cultivo de arroz no perímetro irrigado morada nova, ce. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 372-382, novembro-dezembro, 2005.

Distrito de Irrigação Baixo Acaraú – DIBAU. 2008. Disponível em: <<http://www.dibau.com.br>>. Acesso em: 27 jan. 2010.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas da cultura**. Campina Grande, UFPB, 1997. 204p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop Water Requirements. **FAO série Irrigation and Drainage Paper, 24**. Rome: FAO, 1992. 144 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for Predicting Crop Water Requirements**. Irrigation and Drainage 24 (fourth ed.), FAO, Roma. 1992.

DOORENBOS, J; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 2000. 221p. (Estudos FAO: Irrigação e drenagem, nº 33, tradução Gheyi, H. R. e outros, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO. Estudio FAO. Riego y Drenaje, 33. 1979. 212p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper**, n. 24, 2ed. FAO. Rome. 1975. 179p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper**, n. 24, 2ed. FAO. Rome. 1977. 156p.

DURAN, J.A.R.; CAMPELO JÚNIOR, J.H. Desempenho do Enwatbal para avaliar a umidade do solo e o uso da água em um sistema agroflorestal Enwatbal's performance in the evaluation of soil moisture and water use in an agroforestry system. **Revista Árvore**, vol.32 no.5 Viçosa Sept./Oct. 2008.

FERNANDO, R.M.; PEREIRA, L.S. Evaluation of irrigation management practices for corn in a sandy soil and in a loamy soil. In: Plancquaert Ph (ed.) Management of Water Resources in Cash Crops and in Alternative Production Systems. **Anais...** CEC, EUR 11935, Luxembourg: 53-70. 1989.

FERNANDO, R.M.; PEREIRA, L.S.; LIU, Y. Simulation of capillary rise and deep percolation with ISAREG. In: Wang MH, Han, LJ, Lei, TW, Wang, BJ (Eds.) International Conference on Agricultural Science and Technology, Vol. 6: Information Technology for Agriculture, ICAST. **Anais...** Ministry of Science and Technology, Beijing, China, p. 447-455. 2001.

FERREIRA, M. de N. L. **Determinação da evapotranspiração atual e potencial da cultura da melancia (*Citrulus lanatus*, Thunb.)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 1990, 68p.

FRIZZONE, J.A. **Controle de irrigação**. Piracicaba, ESALQ. Departamento de Engenharia Rural. 1990. 25p. (Notas de aula).

GODINHO, P.; SEQUEIRA, B.; PAREDES, P.; PEREIRA, L.S. Simulação das necessidades de água das culturas pela metodologia dos coeficientes culturais duais. Modelo SIMDualKc. In: Taller Internacional: Modernización de Riegos e Uso de Tecnologías de Información. La Paz, Bolivia, 2007. **Anais...** La Paz, Bolívia CD-ROM. 2007.

GUIMARÃES, J. W. A. **Manejo do algodão irrigado no projeto Jaguaribe-Apodi, utilizando um modelo computacional**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza, 1993, 182p.

HERNANDEZ, F.B.T. "A gestão dos perímetros irrigados precisa ser repensada". In: II Winotec - II Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação e o I Simpósio Brasileiro sobre o Uso Múltiplo da Água. **Anais...** II Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, 2008.

HOWELL, T.A.; MCCORMICK, R.L.; PHENE, C. J. Design and installation of large weighing lysimeters. Transactions of the **ASAE**, St. Joseph, v.28, n.117, p.106-112. 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Agropecuário 2005-2006. Rio de Janeiro, p.1-777, 2006.

JENSEN, M. E. **Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements**. Prepared by the Committee on Irrigation Water Requirements of the Irrigation and Drainage Division of the American Society of Civil Engineers-ASCE. 1990.

JONG VAN LIER, Q. Índices de disponibilidade de água para as plantas. In: Freitas, J.R. Tópicos em Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.95-106. 2000. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

LÉO, L.F.R.; HERNANDEZ, F.B.T. **A irrigação na agricultura irrigada**. São Paulo-SP. 2007.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>>. Acesso em: 30 dez. 2004.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>>. Acesso em: 30 dez. 2004.

LIU, Y.; TEIXEIRA, J.L.; ZHANG, H.J.; PEREIRA, L.S. **Model validation and crop coefficients for irrigation scheduling in the North China plain**. Agri. Water manag. 36: 223-246p. 1998.

MATIAS FILHO, J. et al. **Estudos e pesquisas para avaliação de riscos potenciais de drenagem e/ou salinidade na área prioritária do projeto de irrigação Baixo Acaraú**. Fortaleza: UFC, 2001. 27 p. (Relatório Técnico).

MENDES, A. J. P. **Estabelecimento de calendários de irrigação para o manejo racional do perímetro K do projeto de irrigação Morada Nova “utilizando o programa “Cropwat”**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza. 1997, 115p.

MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, J.A.A. **Avaliação do manejo de irrigação no Perímetro Irrigado de Pirapora, MG**. Id. 898208 Idioma português. Título Avaliação do manejo de irrigação no Perímetro Irrigado de Pirapora, MG. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 20 abr. 2001.

MEDEIROS, A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referência para duas localidades do Nordeste através de oito métodos, utilizando o programa REF-ET**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza-Ce. 1996.

MIRANDA, F.R.; OLIVEIRA, J.J.G.; SOUZA, F. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultivo para a cultura da melancia irrigada por gotejamento. **Revista Ciência Agronômica**, Vol. 35, N° 1, jan.-jun. 36 – 43p. 2004.

MIRANDA, F.R.; BLEICHER, E. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo e de irrigação para a cultura do melão (*Cucumis melo* L.) na Região Litorânea do Ceará. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa**. 17p. 2001.

MIRANDA, E.P. **Coefficiente de cultivo do melão (*Cucumis melo*, L.) determinado pelo balanço hídrico e graus-dia de desenvolvimento**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza, Ceará. 1998.

MIYAMOTO, S. A model for scheduling pecan irrigation with microcomputers. Trans. **ASAE**. 456-462, 1984.

MONTENEGRO, A.A.T. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do mamoeiro obtidos através do método do balanço hídrico para a região litorânea do Ceará**. Dissertação de mestrado. Fortaleza. 2002.

MORENO, F.; MARTÍN-PALOMO, M.J.; GIRÓN, I.F.; FERNÁNDEZ, J.E.; MURILLO, J.M.; CABRERA, F. Experiencias científicas para optimizar el riego de los cultivos en zonas semiáridas. In: Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información (Red CYTED-Riegos, La Paz, Bolivia, Set. 2007). **Anais...** La Paz, Bolívia CD-ROM. 2007.

MOREIRA, L.C.J. **Evapotranspiração da melancia irrigada por meio Sebal, Balanço Hídrico e Correlações Turbulentas**. Dissertação de mestrado. Fortaleza. 2009.

OLIVEIRA, J.J.G. **Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultivo da melancia (*Citrullus lanatus*, Schrad) através de lisímetro de pesagem de precisão para a região litorânea do Ceará**. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza, 1999, 121p.

OLIVEIRA, E.L.L. de. **Manejo racional da cultura do melão utilizando lisímetro de pesagem na fazenda frutacor no perímetro de irrigação Jaguaribe/apodi**. (Dissertação de Mestrado). Fortaleza, 2004, 65p.

OLIVEIRA, A.S.; LEÃO, M.C.S.; OLIVEIRA, H.G. de; PEREIRA, O.J. Ocorrência da podridão apical em frutos de melancia submetidos a diferentes períodos de deficiência hídrica no solo. **Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.22, n.1/2, p.121-125, 1991.

OLIVEIRA, F.Z. de. **O Crescimento da fruticultura irrigada no Ceará.** Folder da ADECE. Fortaleza, Ceará. 2008.

ORTEGA-FARIÁS, S. Sistema integral para la gestión hídrica. In: Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información (Red CYTED-Riegos, La Paz, Bolivia, Set. 2007). **Anais...** La Paz, Bolívia CD-ROM. 2007.

PEREIRA, L.S.; ALVES I. **Crop water requirements.** In: D. Hillel (ed.) *Encyclopedia of Soils in the Environment.* Elsevier, London and New York, vol. 1, pp. 322-334. 2005.

PEREIRA, L.S.; PERRIER, A.; AIT KADI, M.; KABAT, P. (eds): **Crop Water Models.** ICID Bulletin Special issue 41 (2). USA. 1992.

PEREIRA, L.S.; VAN DEN BROEK, B.; KABAT, P.; ALLEN, R.G. (eds), **Crop-Water Simulation Models in Practice.** Wageningen Pers, Wageningen. USA. 1995.

PEREIRA, L.S. **Necessidades de Água e Métodos de Rega.** Publ. Europa-América, Lisboa, 2004, 313 p.

PEREIRA, L.S.; PERRIER, A.; ALLEN, R.G.; ALVES, I. Evapotranspiration: concepts and future trends. **J. Irrig. Drain. Engrg. ASCE** 125 (2), p.45–51. 1999.

PEREIRA, L.S. **Indicadores de uso da água.** In: AF Cirelli e E.M. Abraham (Eds.). *Uso y gestion Del água em terras secas.* v. XI *El Água en Iberoamérica.* CYTED área IV. 13: 207-214p. 2003.

PEREIRA, L.S.; TEODORO, P.R.; RODRIGUES, P.N.; TEIXEIRA, J.L. Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. In: Rossi, G., Cancelliere, A., Pereira, L.S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions.* Kluwer, Dordrecht, p. 161-180. 2003. **Anais...** Kluwer, 2003.

PEREIRA, L.S. **Necessidades de água e programação da rega: modelação, avanços e tendências.** Taller Internacional: Modernización de riegos y uso de tecnologías de información. La paz – Bolivia. 2007.

PONTES, C. G. M. **Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultivo do abacaxi (Ananas comosus L. Merrill) através de lisímetro de pesagem de precisão para a região litorânea do Ceará.** (Dissertação de Mestrado). Fortaleza: UFC, 2002. 98 p.

RAMOS, M.M.; OLIVEIRA, R.A.; LOPES, J.M.S. **Manejo da irrigação em diferentes fontes de água na agricultura irrigada**. São Paulo-SP. 2000.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba: Manole, 1990. 188p.

RIBEIRO, R.S.F. **Modelo computadorizado para a determinação de calendários de irrigação**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza-Ce. 1992, 89p.

RIVERA, R.C.; ULLOA, A.O. **Necesidades de água y programación de riegos: avances basados em nuevas tecnologías de la información**. Bolívia, 2007. p. 09-13.

SALAZAR, L.; HARGREAVES, G. H.; STUTLER, R. K.; GARCIA, J. **Irrigation scheduling manual**. Irrigation Center, Utah State University, Logan UT. 1987.

SALOMÓN, M.A.; SÁNCHEZ, C.M.; PEREIRA, L.S. Estimacion del balance hídrico mediante aplicación del modelo ISAREG en el Canal Segundo Vistalba, Lujan de Cuyo, Mendoza (Argentina). In: E. Ruz e L.S. Pereira (eds.) Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información (Red CYTED-Riegos, La Paz, Bolivia, Set. 2007). **Anais...** La Paz, Bolívia CD-ROM. 2007.

SANTANA, E.W., CAMPELO, C.M.F., FILHO, F.A.S., OLIVEIRA, J.L.F., LUNA, R.M., COSTA, R.G.S., PINHO, T.R. **Pacto das Águas - "Iniciando o Diálogo"**. 2008. 63p.

SANTOS, L.M.F. Efeito da época de plantio e do potencial matricial na produtividade de híbridos de milho (*Zea mays* L.) cultivados sob regime de irrigação. Dissertação de mestrado, UFC, Fortaleza. 1986, 109p.

SANTOS, M.A.L.; COSTA, R.N.T.; FRIZZONE, J.A.; SANTOS, C.G.; SANTOS, V.R. Modelo de programação linear para otimização econômica do projeto de irrigação baixo acaráu – ce. **Revista Caatinga** (Mossoró,Brasil), v.22, n.1, p.06-19, janeiro/março de 2009.

SANTOS, J.J.A. et al. Determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração máxima (ET_m) em diferentes fases fenológicas do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA: UFLA, 1998. v. 2, p. 184-186.

SAUNDERES, L.C.U. **Métodos de determinação e variabilidade espacial da condutividade hidráulica sob condições de campo**. Tese de Doutorado. Piracicaba, SP. 1978. 71p.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DOS RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ – SIRH. 2002. Fortaleza, CE. Disponível em: <http://www.atlas.srh.ce.gov.br> . Acesso em: 15 de fev. 2010.

SILVA, H. R.; COSTA, N. D. **Melão produção, Aspectos técnicos.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2004. (Séries frutos do Brasil, 33). 144p.

SILVA, A.A.G.; KLAR, A.E. Demanda hídrica do maracujazeiro Amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.). **Revista Irriga**, Botucatu, v.7, n.3, 2002.

SMITH, M. Manual for Cropwat. A computer for IBM-PC or compatibles. AGLW, FAO. Rome. 1989.

SMITH, M. **Use of computers in consumptive water use and irrigation scheduling.** Land and Water Development Division. FAO, Rome, Italy, 1990.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements.** Rome – Italia, FAO. 1992. 45p.

SOUZA, F. de.; YODER, R.E. ET estimation in the northeast of Brazil: Hargreaves or Penman-Monteith? **ASAE** paper N° 942545, Int'l Winter Meeting, December 13-16, 1994. Atlanta-GA.

SOUZA, F.; SARAIVA, K.R.; SALES, F.M.G.; RÊGO, J.L.; BASTOS, G.C. **Avaliação do sistema de irrigação da acerola.** Relatório técnico para a fazenda “Amway – Nutrilite do Brasil”. 2001. 40p.

SOUZA, F.; SARAIVA, K.R.; SALES, F.M.G. **Necessidades de água e manejo da irrigação recomendados para a bananeira irrigada.** Relatório técnico para a fazenda “Frutacor II”. 30p. Limoeiro do Norte – Ce. 2002.

SOUZA, F.; GONÇALVES, J.J.O.; VASCONCELOS, J.P.; OLIVEIRA, V.R.; SARAIVA, K.R. Relatório técnico CENTEC/DNOCS acerca de 4 perímetros de irrigação no Ceará. Fortaleza. 2004.

SOUZA, M.S.M.; BEZERRA, F.M.L.; VIANA, T.V.A.; TEÓFILO, E.M.; CAVALCANTE, I.H.L. Evapotranspiração do maracujá nas condições do Vale do Curu. **Revista Caatinga** (Mossoró, Brasil), v.22, n.2, p.11-16, abril/junho de 2009.

SOUZA, F.de. **Irrigação – Desenvolvimento e Tecnologia.** 93p. 2000.

SOUZA, F. de. **Manejo computadorizado da irrigação utilizando o programa Cropwat da FAO: Estudo de caso de híbridos de milho (Zea mays L.) no Vale do Curu, Ceará.** Tese de concurso público – professor titular, UFC, DENA, Fortaleza, 1992.

TATE, D. M. **Principios del uso eficiente del agua.** Disponível em: <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/cap2.htm>. Acesso em: 15 jan. 1990.

TEIXEIRA, J.L.; PEREIRA, L.S. ISAREG, na irrigation scheduling model. **ICID bulletin**, 41 (2): 29-48p. 1992.

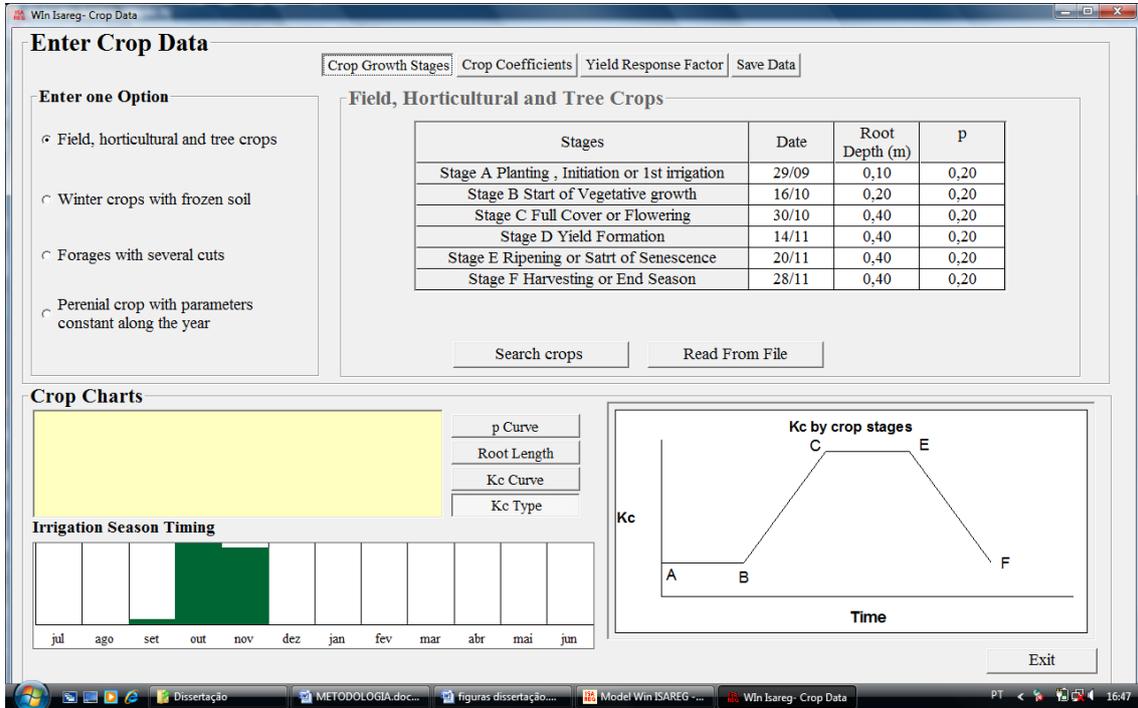
TORRECILLAS, A.; CONEJERO, W.; ORTUÑO, M.F.; GARCÍA-ORELLANA Y., NICOLÁS, E.; ALARCÓN, J.J. Utilización de las medidas de las variaciones del diámetro del tronco para la programación Del riego en melocotonero temprano. In: Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información (Red CYTED-Riegos, La Paz, Bolivia, Set. 2007). **Anais...** La Paz, Bolívia CD-ROM. 2007.

VIANA, J.M. **Determinação de calendário de irrigação para as culturas do perímetro irrigado Curu-Paraipaba, utilizando um modelo computacional (Cropwat v.5.7, 1991-FAO).** Dissertação de Mestrado. Fortaleza-Ce. 1997, 122p.

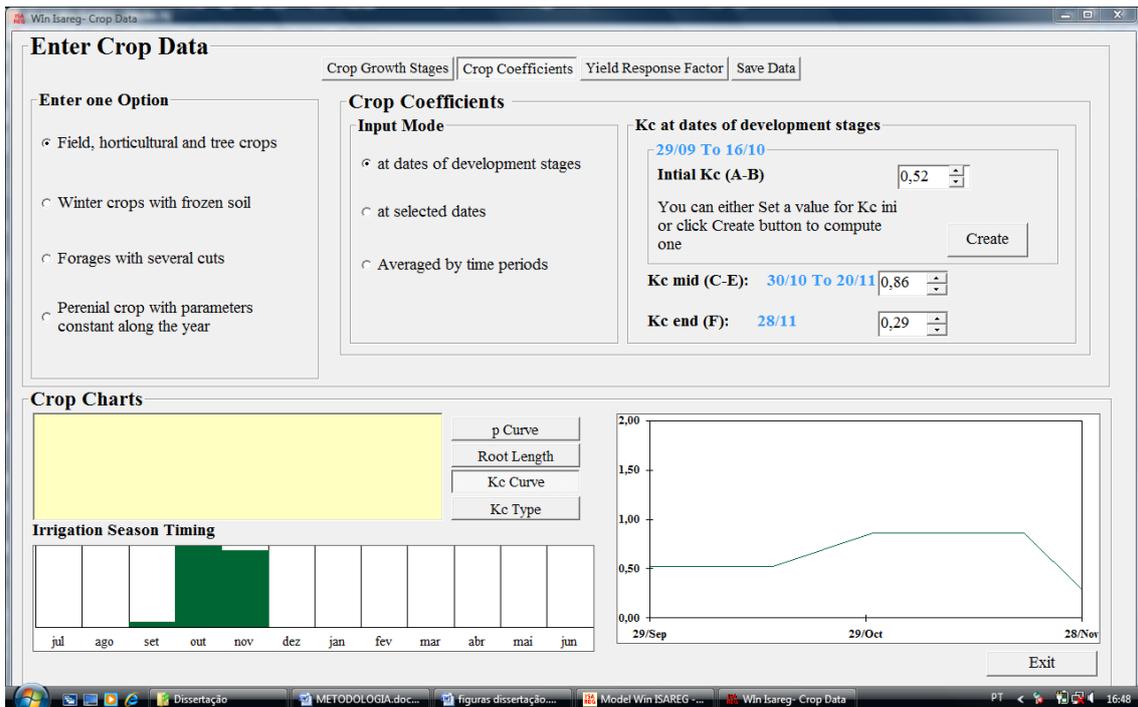
VICTORIA, F.R..B.; VIEIRA, H.J.; PEREIRA, L.S. O gerenciamento de microbacias com vocação agrícola em Santa Catarina: estudos agro-hidroclimatológicos integrados. In: Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información (Red CYTED-Riegos, La Paz, Bolivia, Set. 2007). **Anais...** La Paz, Bolívia CD-ROM. 2007.

APÉNDICES

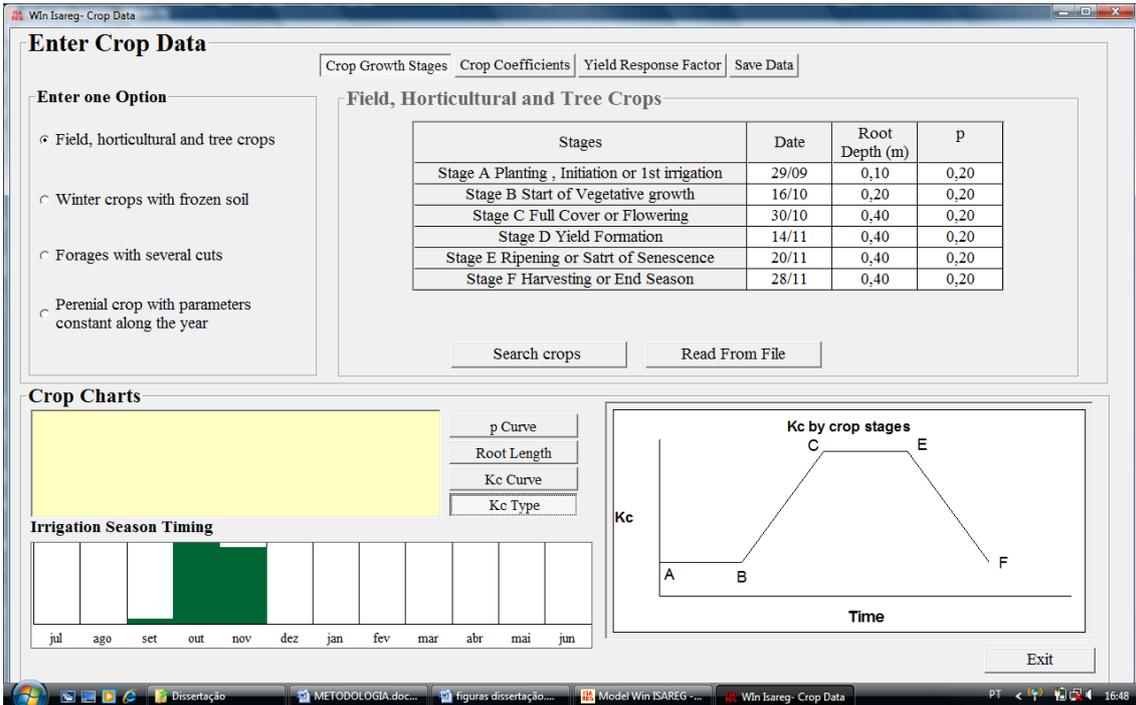
APÊNDICE A – Dados da cultura no ambiente do ISAREG



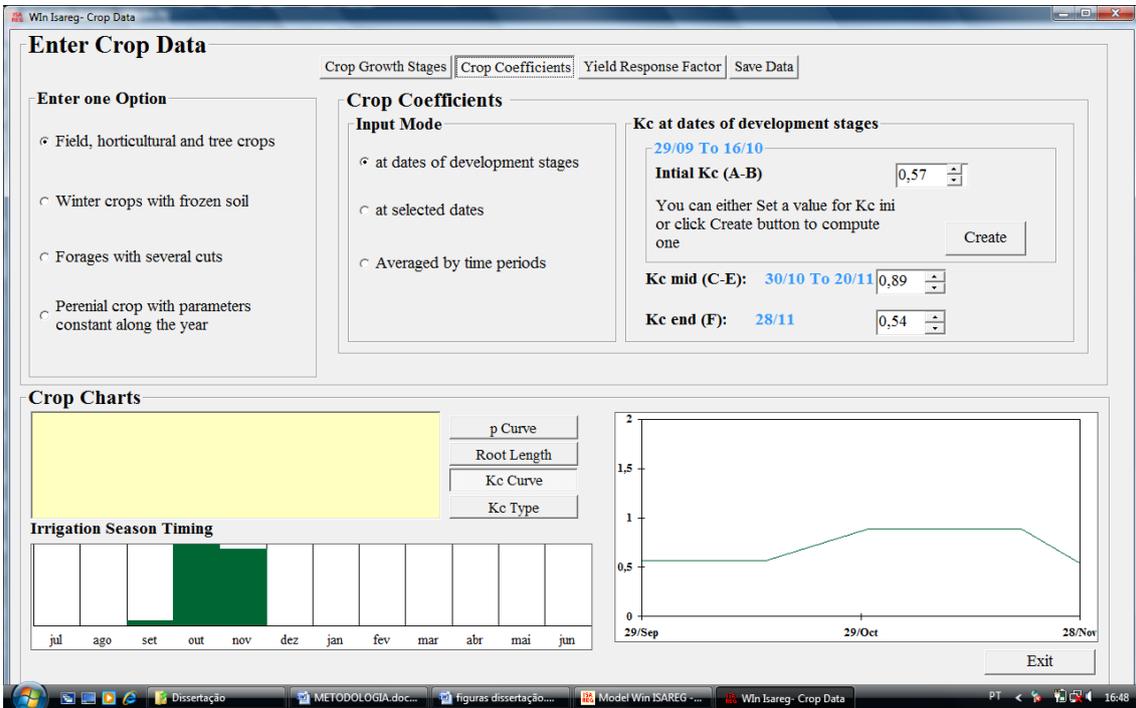
Dados da cultura para o tratamento L1 (50% de ECA)



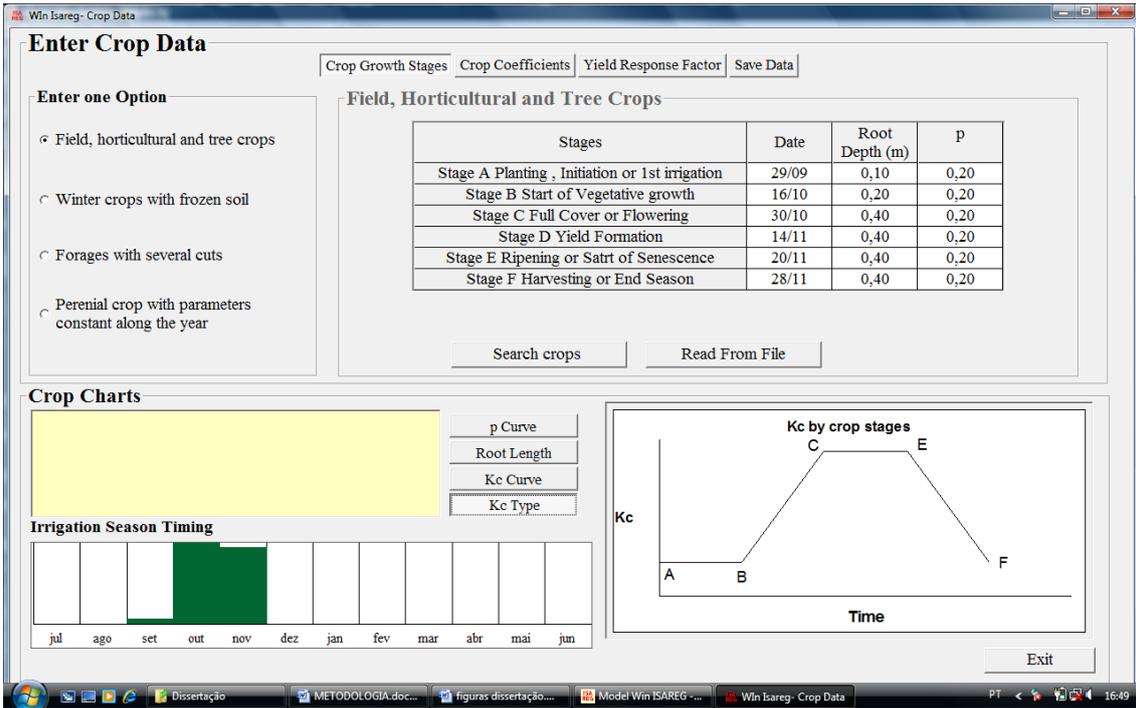
Kc's da cultura para o tratamento L1 (50% de ECA)



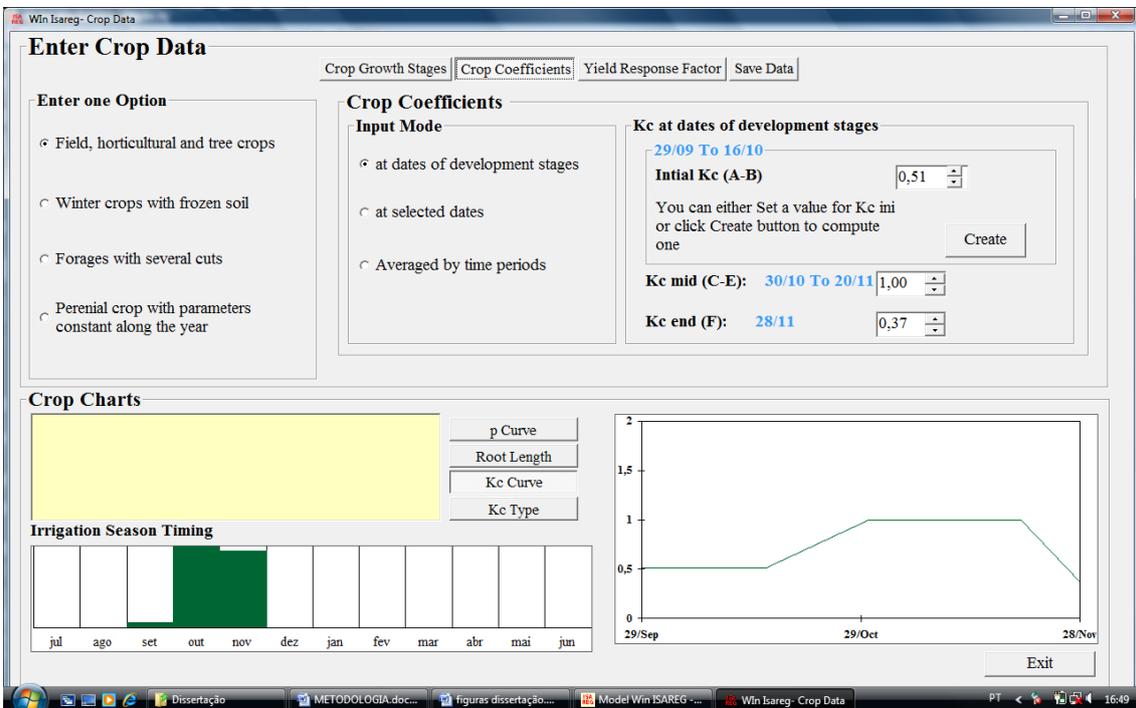
Dados da cultura para o tratamento L3 (100% de ECA)



Kc's da cultura para o tratamento L3 (100% de ECA)

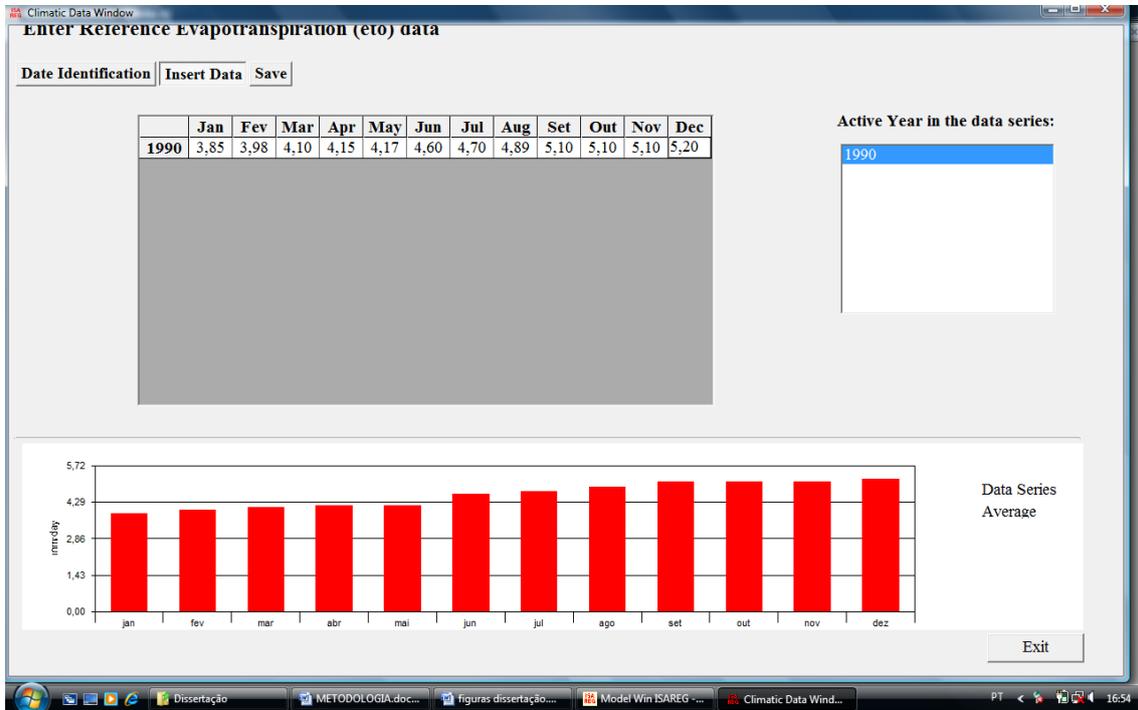


Dados da cultura para o tratamento L4 (150% de ECA)

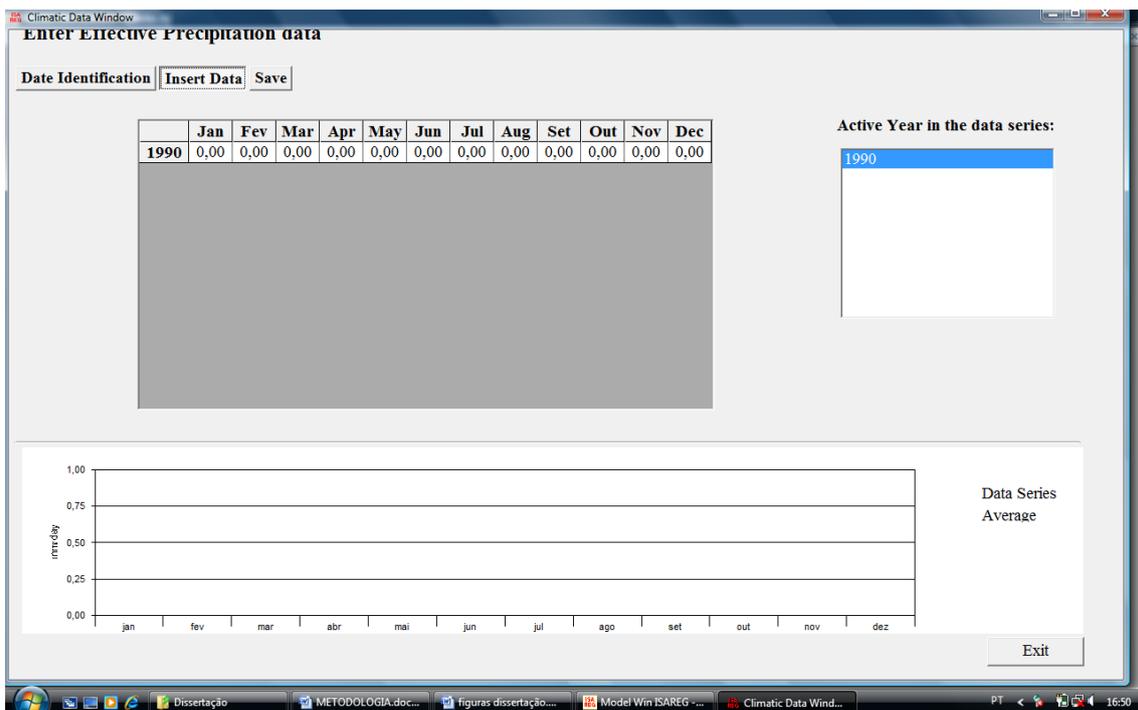


Kc's da cultura para o tratamento L4 (150% de ECA)

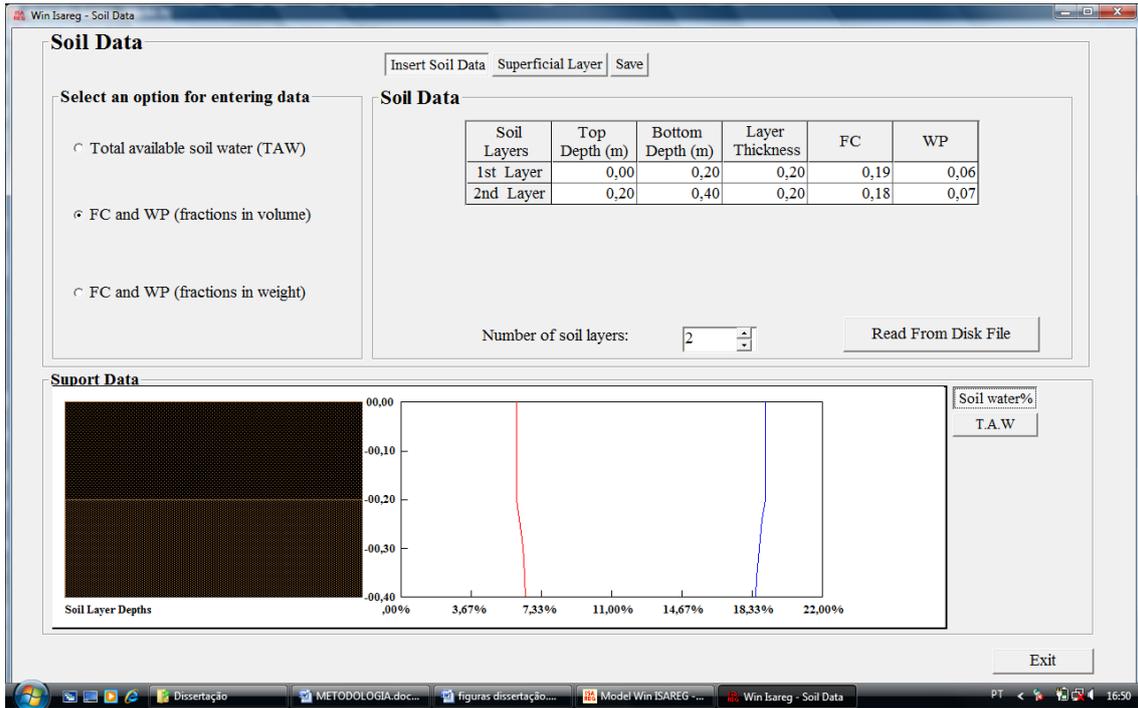
APÊNDICE B – Dados de ETo e de precipitação, no ambiente do ISAREG



Entrada de dados de ETo

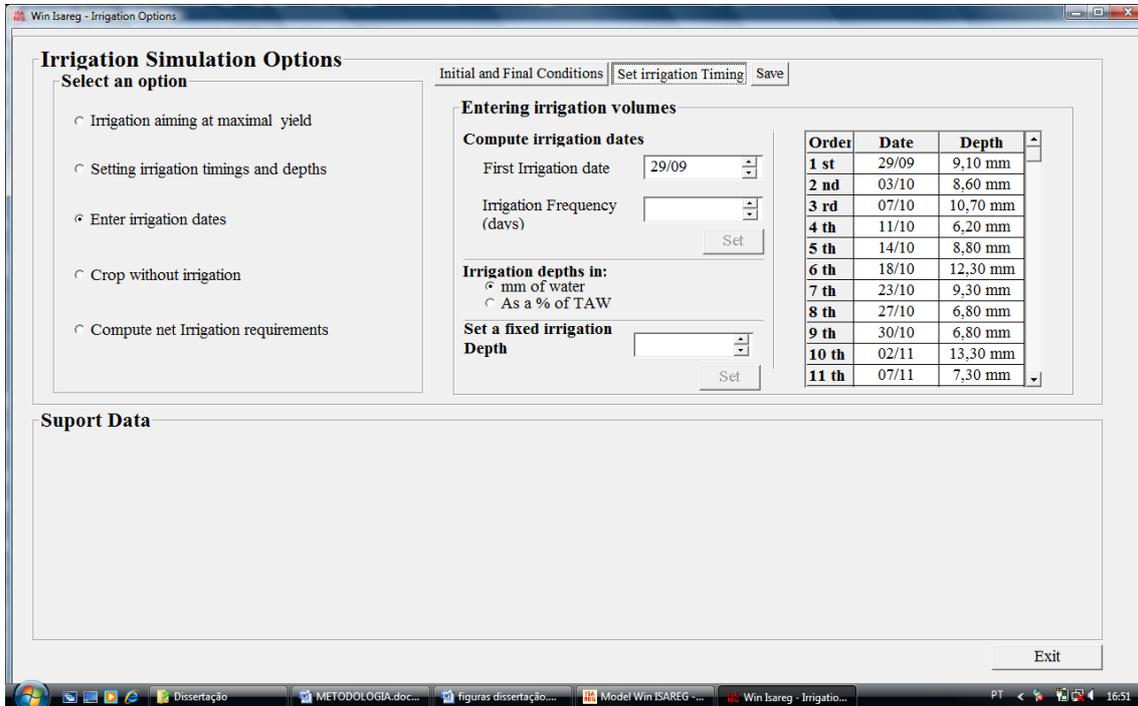


Entrada de dados de precipitação

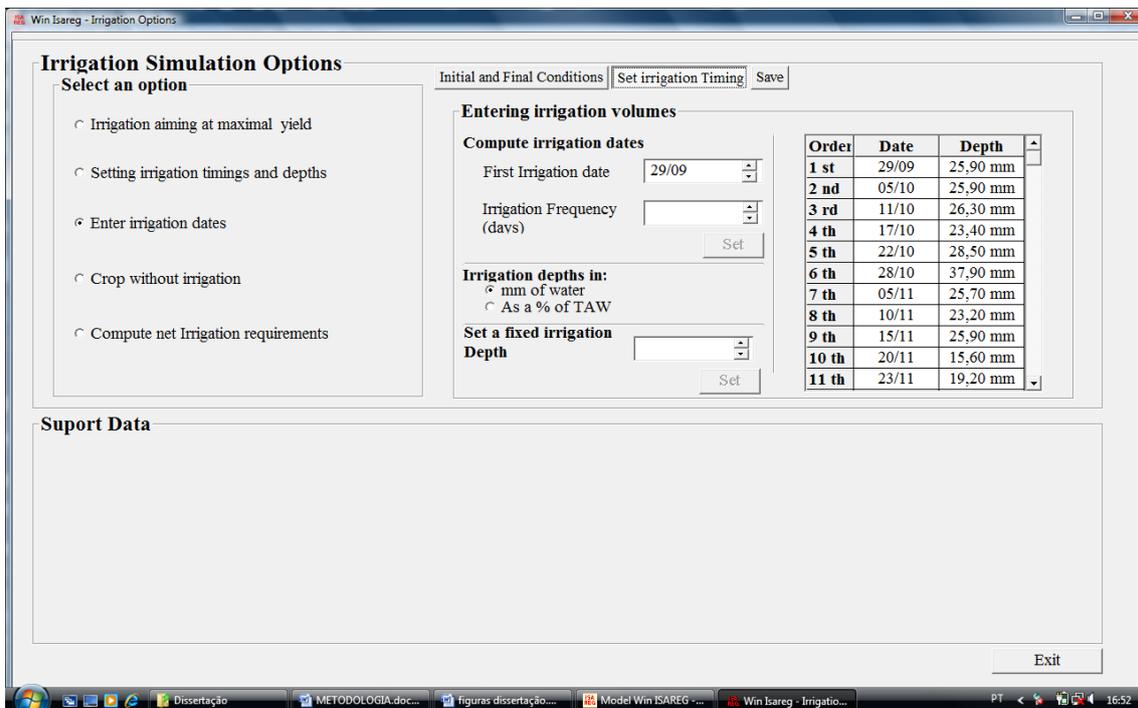


Entrada de dados do solo

APÊNDICE C - Os dados de datas e de lâminas, para cada um dos 3 (três) tratamentos, no ambiente do ISAREG



Entrada de dados de datas e lâminas de irrigação (tratamento L1 – 50%)



Entrada de dados de datas e lâminas de irrigação (tratamento L3 – 100%)

Win Isareg - Irrigation Options

Irrigation Simulation Options

Select an option

- Irrigation aiming at maximal yield
- Setting irrigation timings and depths
- Enter irrigation dates
- Crop without irrigation
- Compute net Irrigation requirements

Initial and Final Conditions | Set irrigation Timing | Save

Entering irrigation volumes

Compute irrigation dates

First Irrigation date: 29/09

Irrigation Frequency (days):

Irrigation depths in:

- mm of water
- As a % of TAW

Set a fixed irrigation Depth:

Order	Date	Depth
1 st	29/09	32,40 mm
2 nd	04/10	45,40 mm
3 rd	10/10	32,40 mm
4 th	15/10	57,00 mm
5 th	23/10	34,60 mm
6 th	28/10	41,10 mm
7 th	03/11	33,00 mm
8 th	07/11	43,50 mm
9 th	13/11	37,20 mm
10 th	18/11	38,30 mm
11 th	23/11	21,80 mm

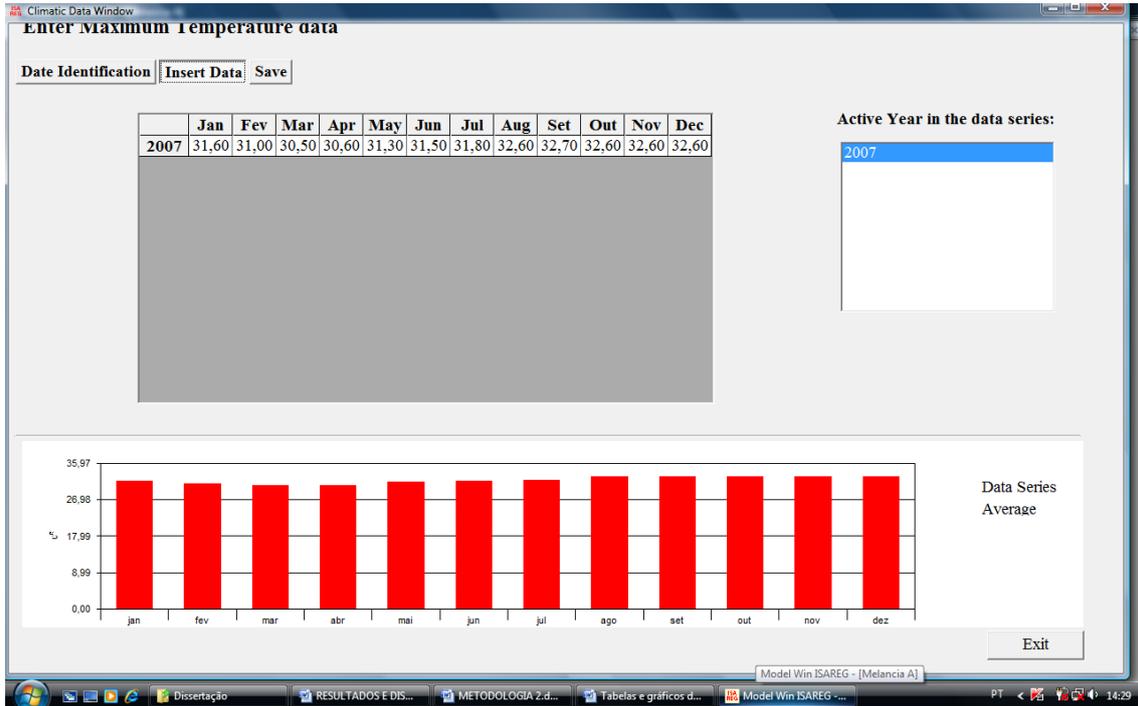
Support Data

Exit

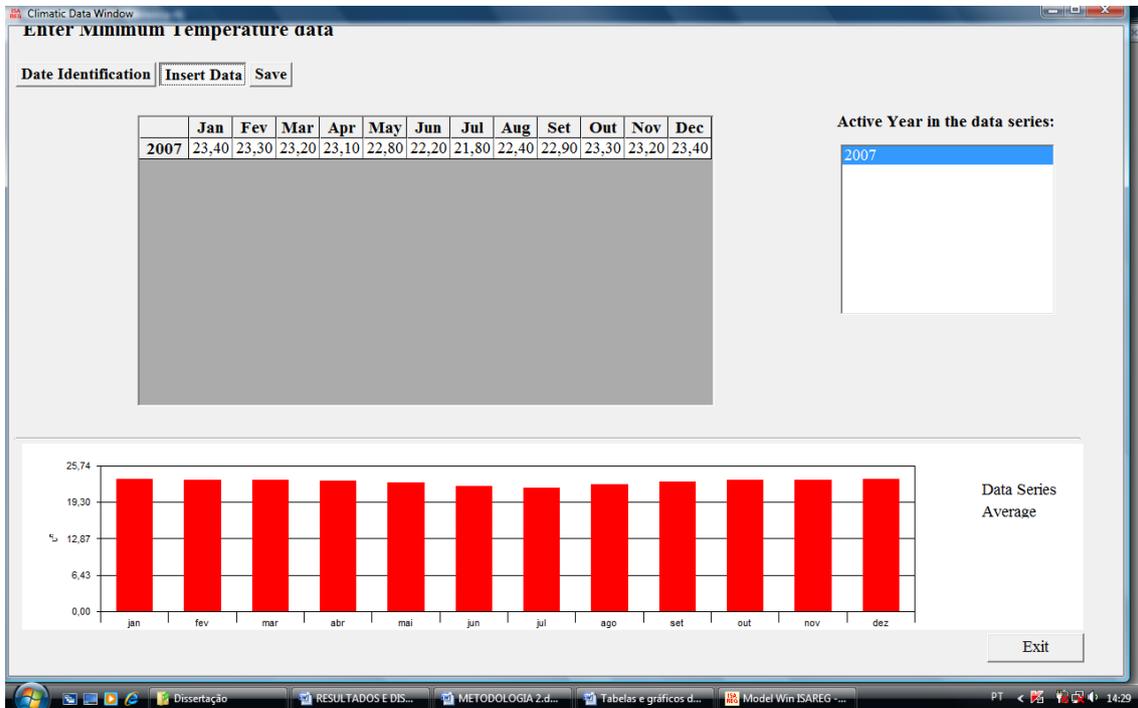
Taskbar: Dissertação, METODOLOGIA.doc..., Figuras dissertação..., Model Win ISAREG ..., Win Isareg - Irrigatio..., 16:52

Entrada de dados de datas e lâminas de irrigação (tratamento L4 – 150%)

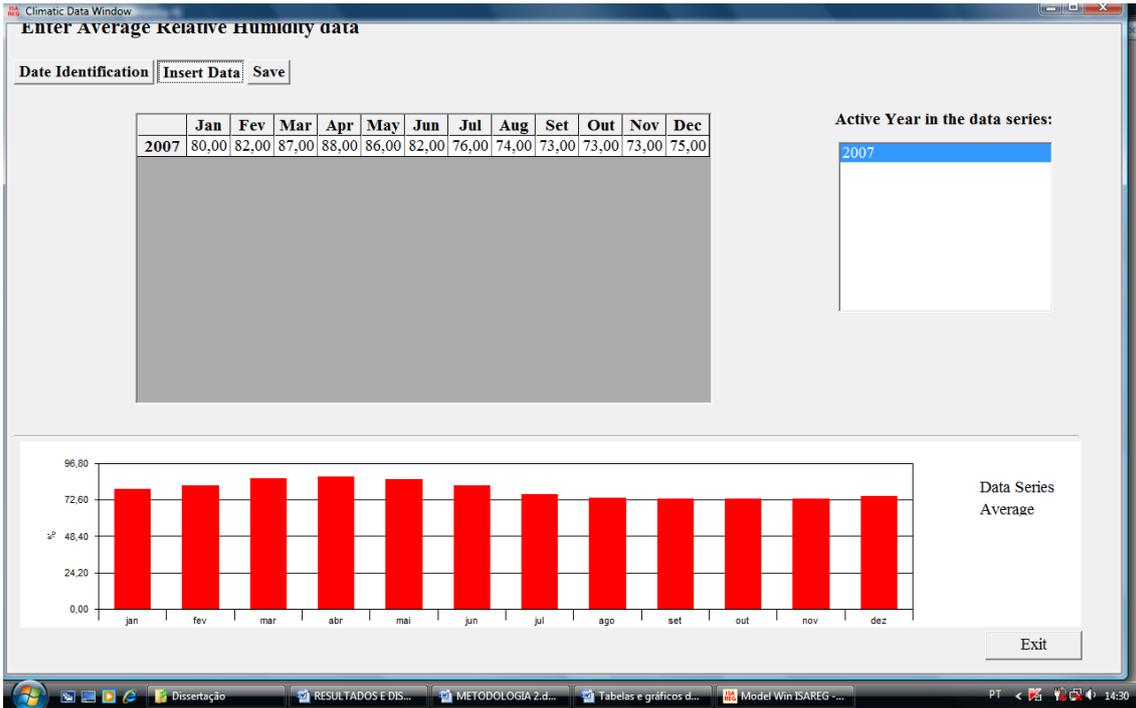
APÊNDICE D – Dados do Clima Representativos do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú-CE



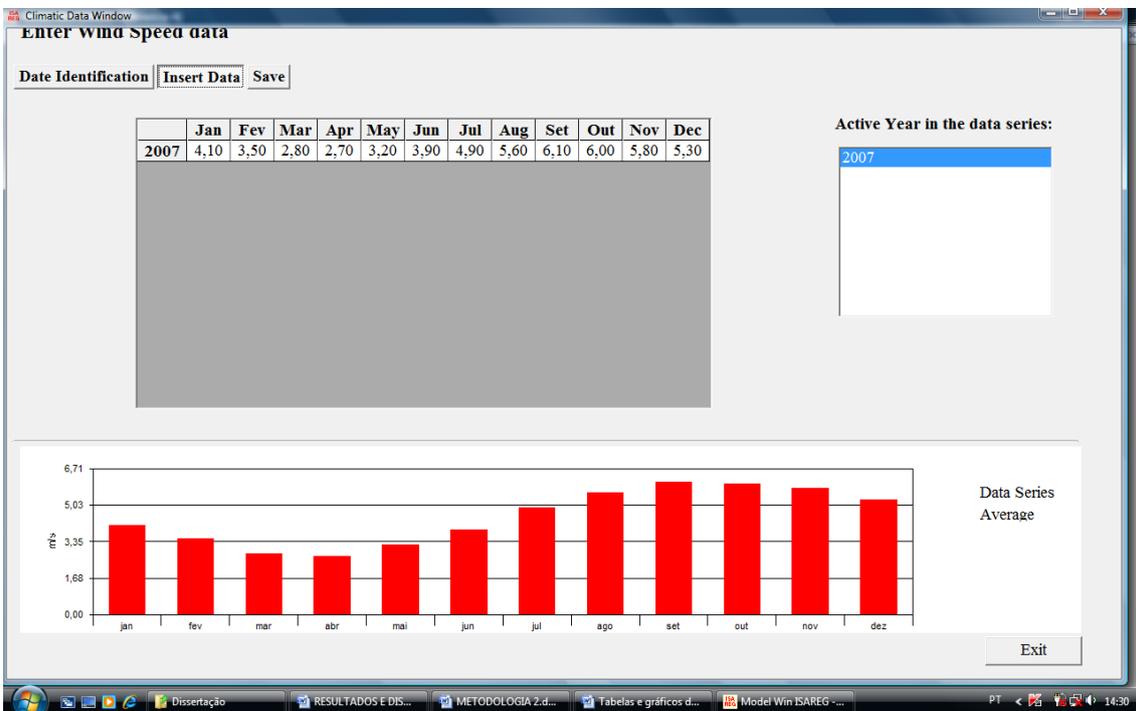
Temperatura máxima média



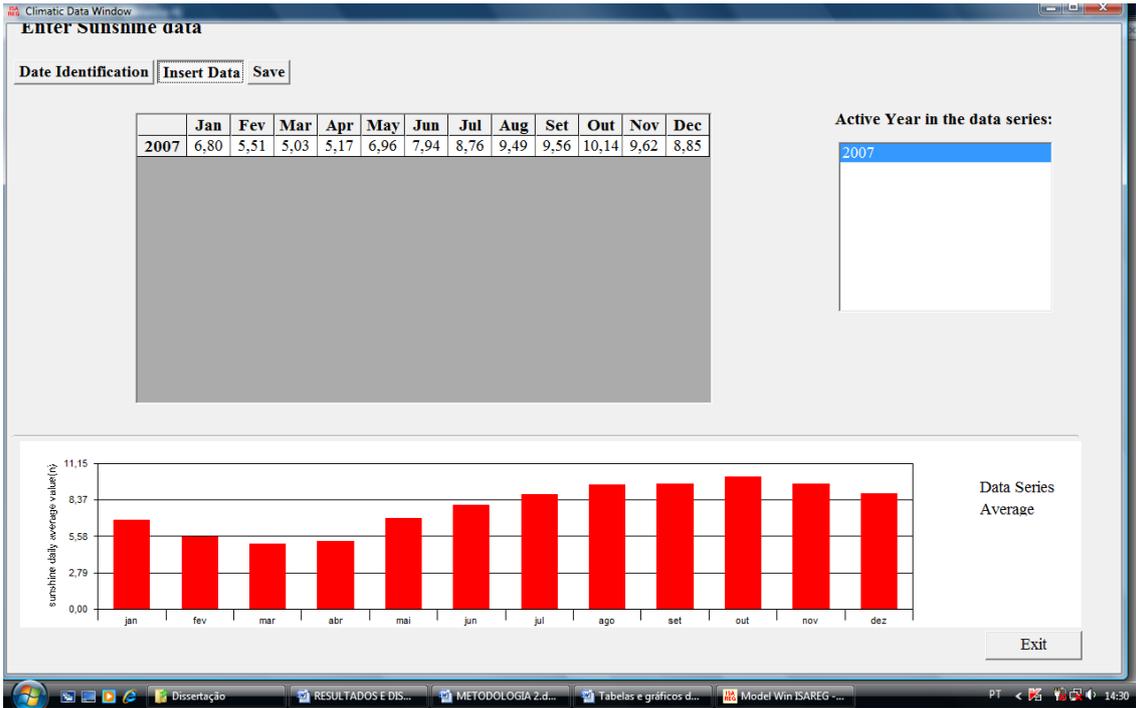
Temperatura mínima média



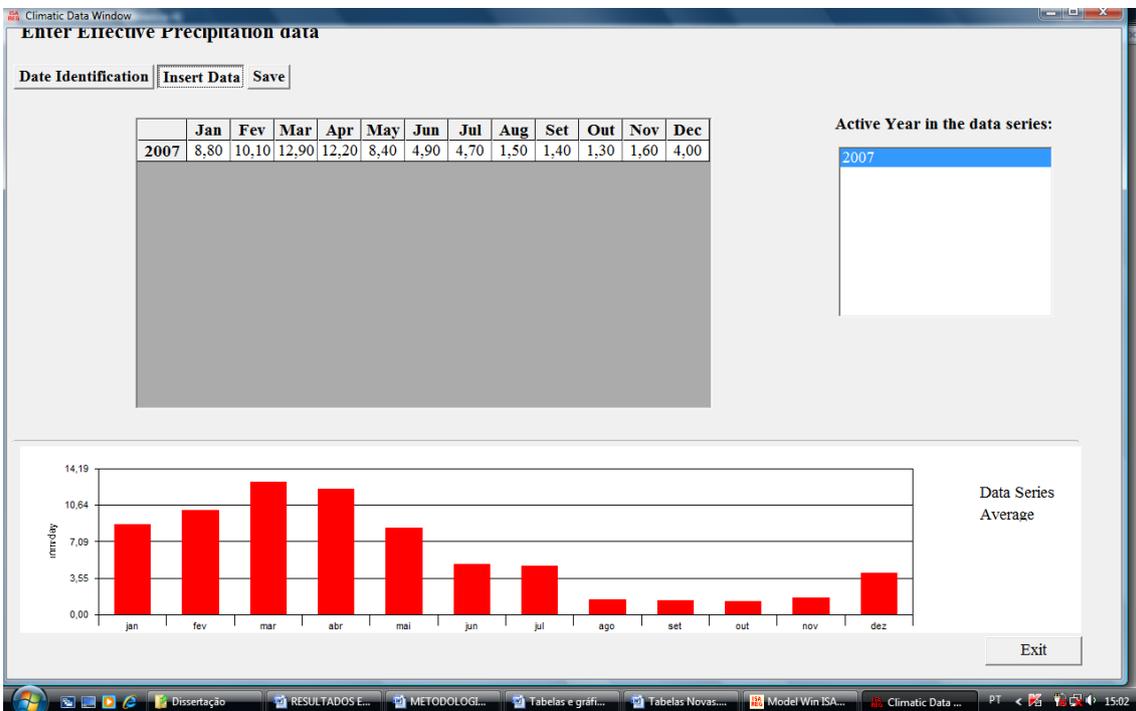
Umidade relativa do ar



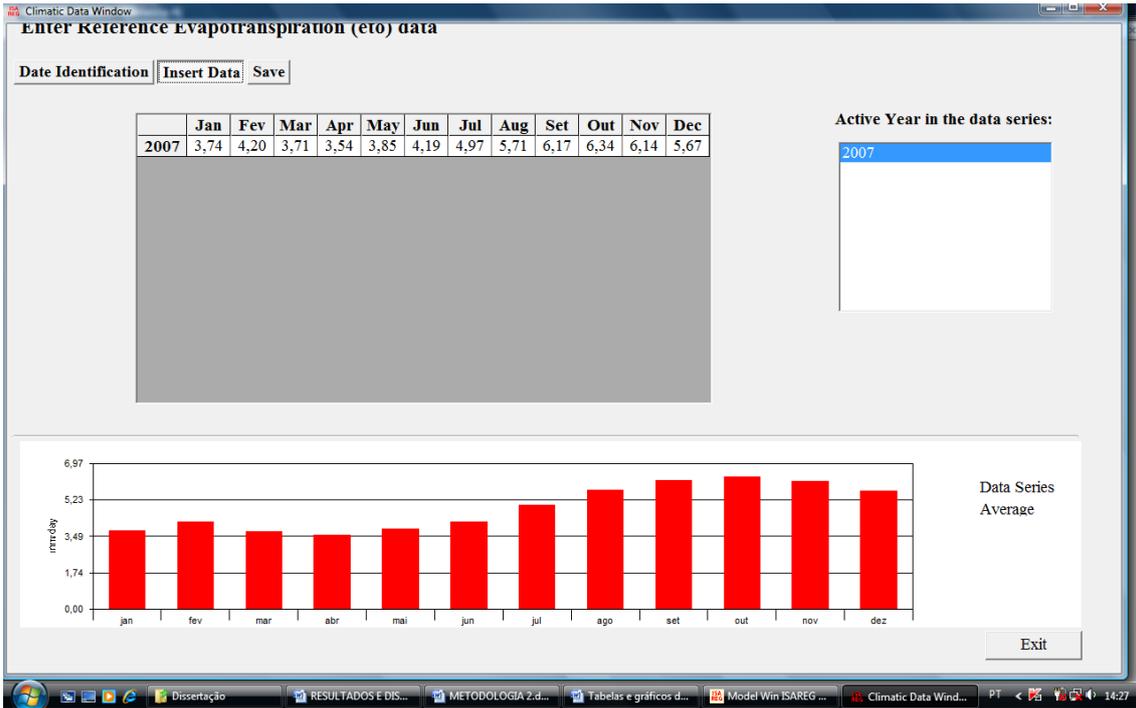
Velocidade do vento



Insoleção (radiação solar)

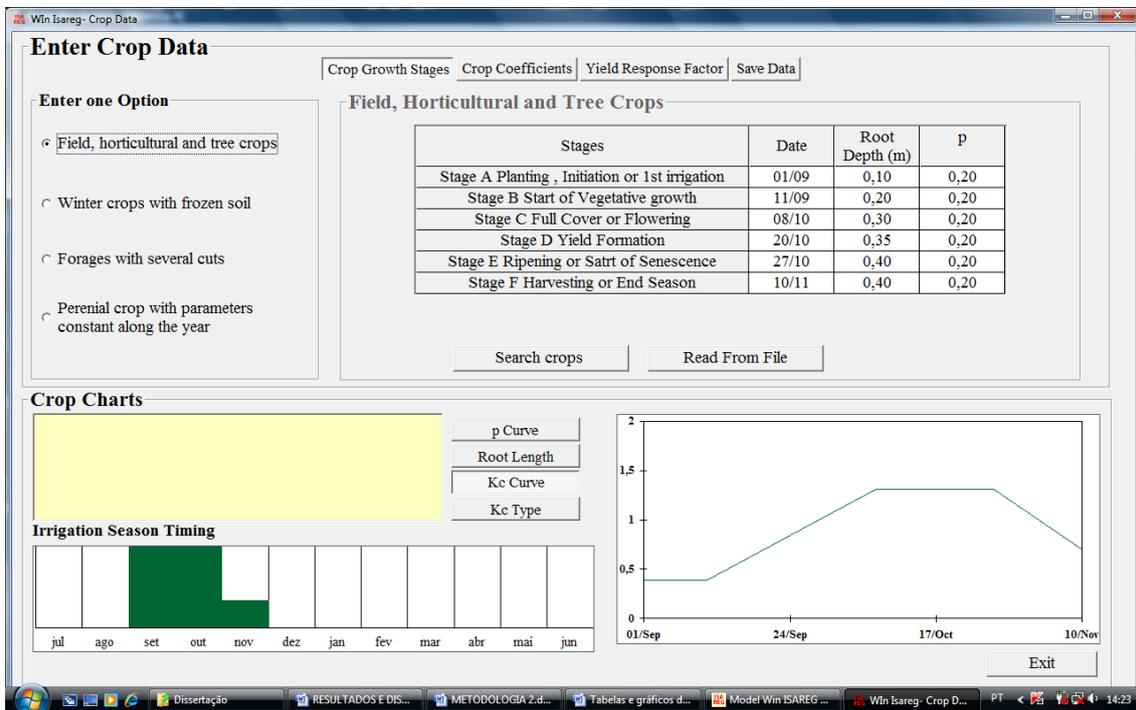


Precipitação

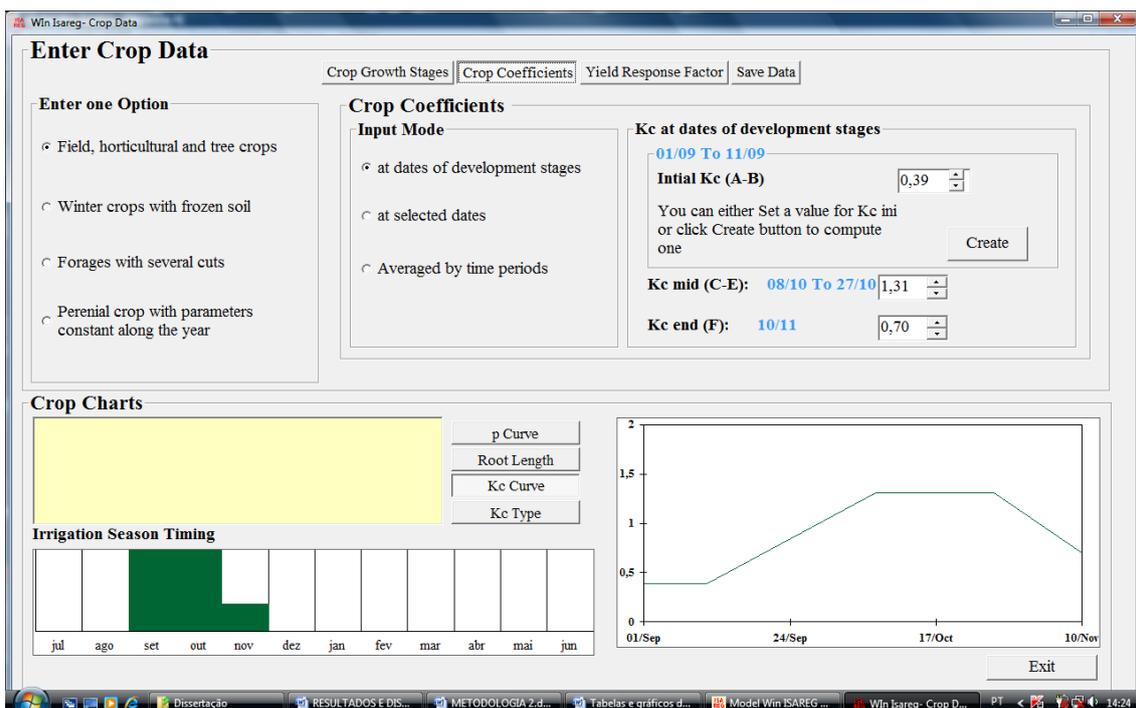


Evapotranspiração de referência (ETo)

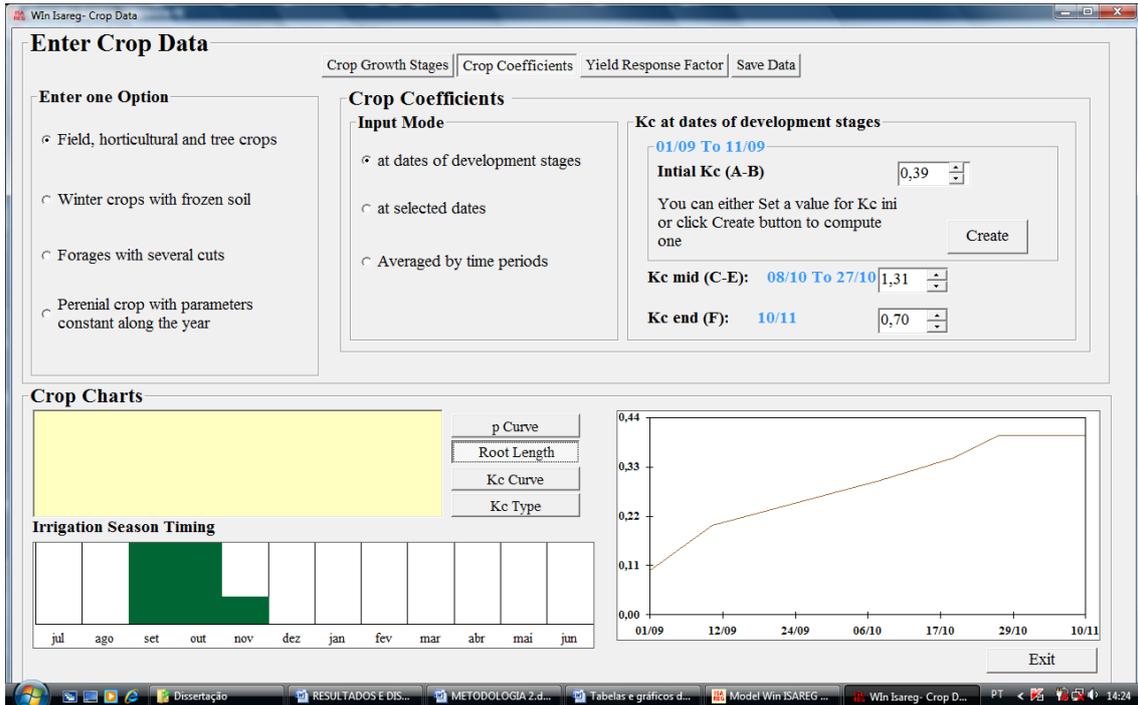
APÊNDICE E – Dados de entrada relacionados à cultura da melancia no ISAREG



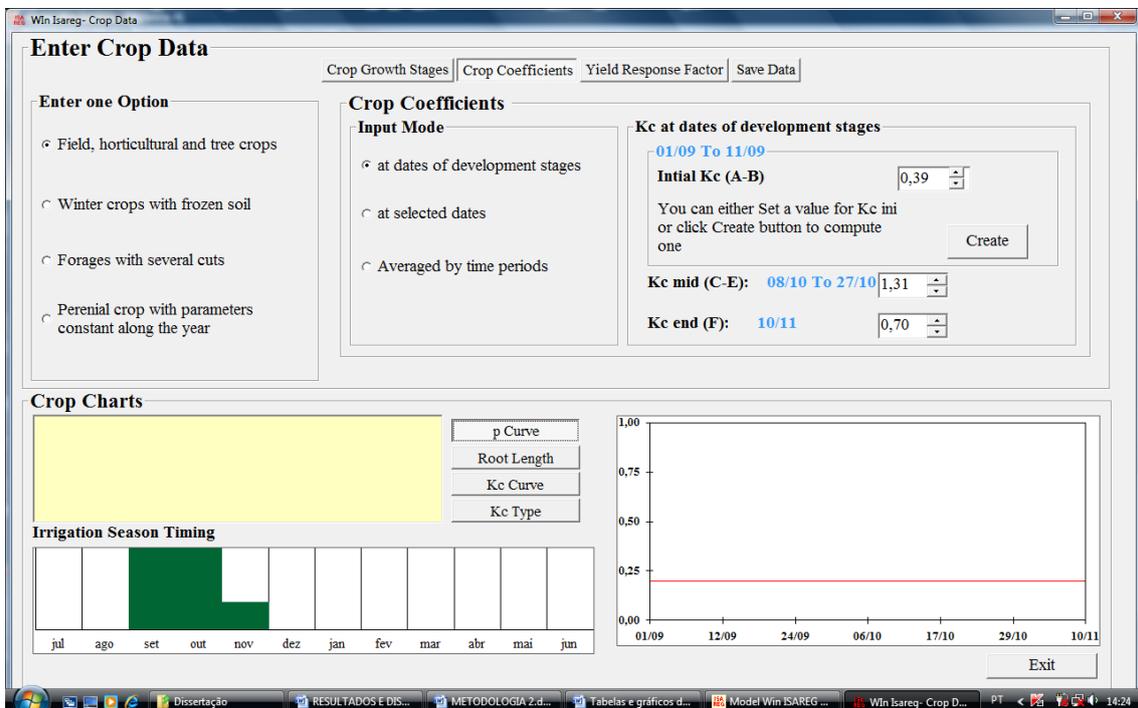
Fases fenológicas da melancia, profundidade do sistema radicular, e fator de disponibilidade de água



Kc's inicial, médio e final, com ênfase na curva de Kc

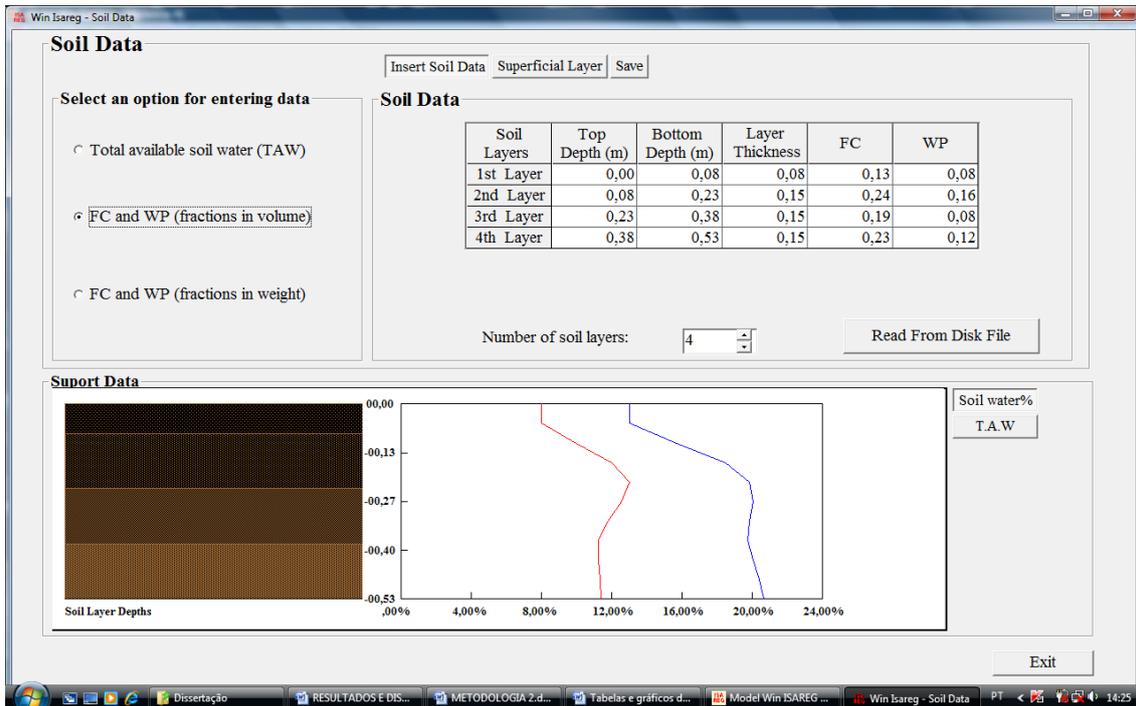


Kc's inicial, médio e final, com ênfase na curva do crescimento das raízes

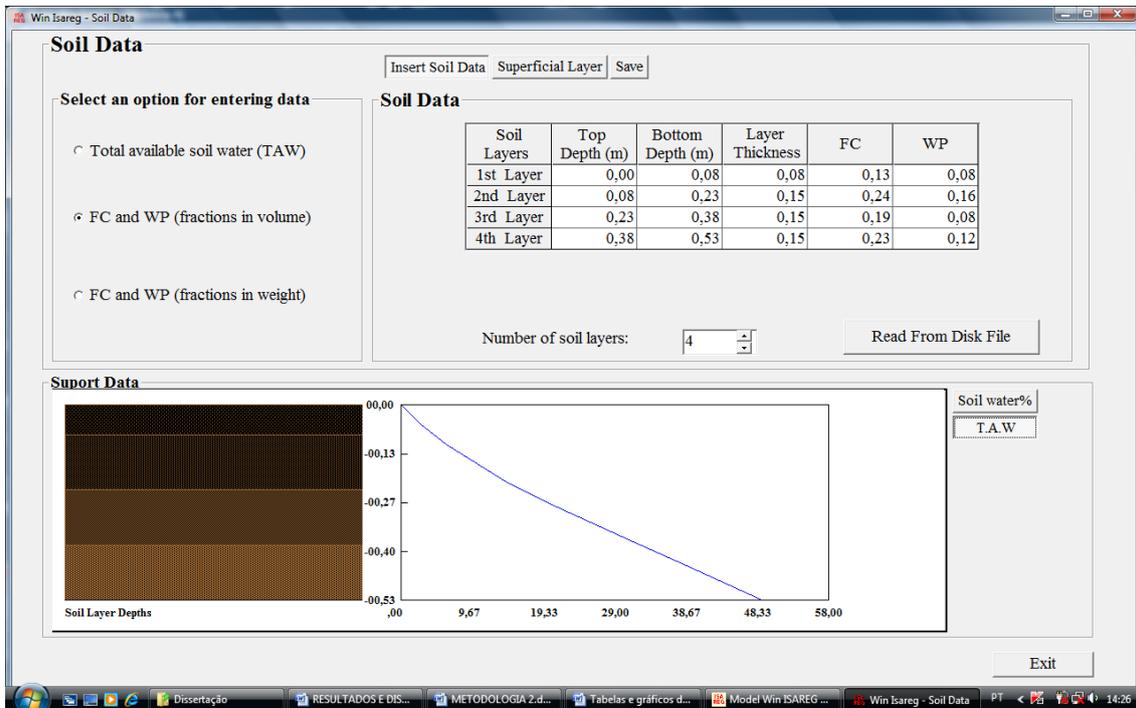


Kc's inicial, médio e final, com ênfase na curva de "p"

APÊNDICE F – Dados do solo do Baixo Acaraú



Camadas de solo, capacidade de campo e ponto de murcha, com ênfase nas curvas do perfil de infiltração da água no solo



Camadas de solo, capacidade de campo e ponto de murcha, com ênfase na curva representativa da água armazenada no solo

APÊNDICE G – Questionários aplicados aos irrigantes e ao distrito de irrigação

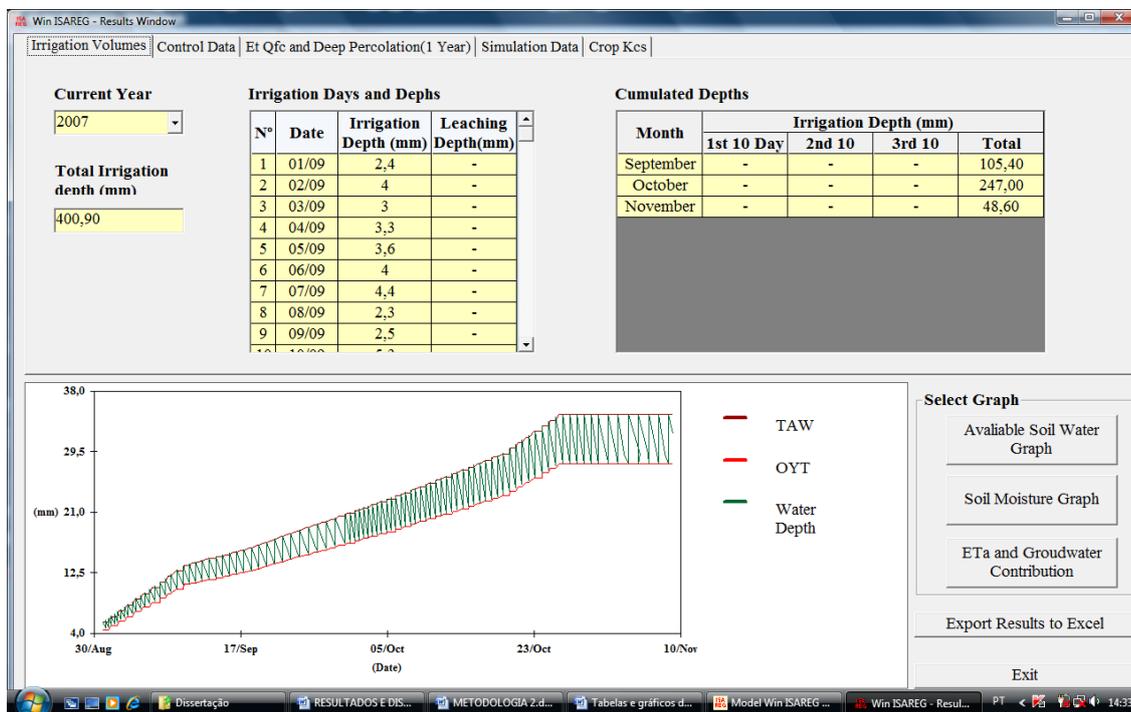
PERGUNTAS À GERÊNCIA DO DISTRITO DE IRRIGAÇÃO

- 1) Atualmente, quais as culturas mais exploradas?
- 2) Há quantos produtores cultivando essas culturas?
- 3) Quais os principais tipos de solo?
- 4) Quais as tarifas são pagas, K1 e/ou K2?
- 5) Quantos dias por semana se libera água?
- 6) Há dados climatológicos de Acaraú? De quanto tempo?
- 7) Quantos hectares tem hoje, irrigados na 1º fase do perímetro?
- 8) Há reclamações, por parte dos irrigantes, quanto ao pagamento de água?
- 9) Para onde é escoada a produção de melão e maracujá?
- 10) Qual é a área irrigada com melancia e com maracujá, atualmente?
- 11) No perímetro há problemas com salinidade?
- 12) Já houve pesquisas de irrigação em quais lotes, com plantio de maracujá ou de melão?

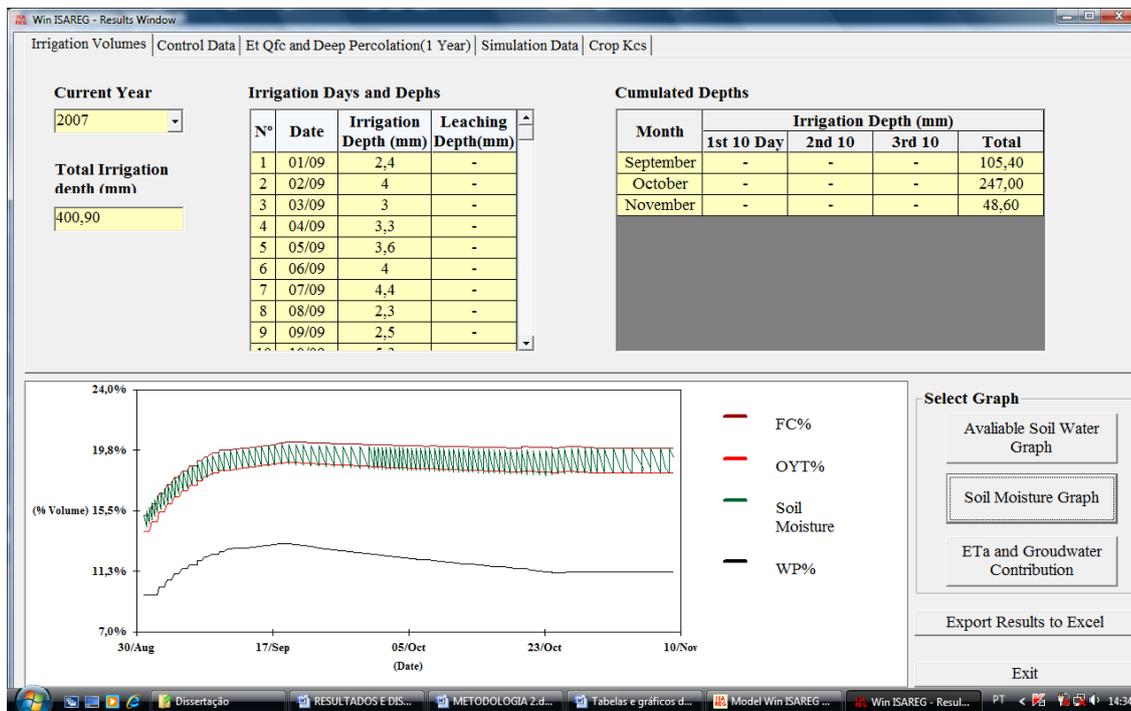
PERGUNTAS AOS IRRIGANTES DE MELANCIA DO BAIXO ACARAÚ

- 1) Há quanto tempo cultiva essas culturas?
- 2) Cultiva desde o início ou cultivava outra cultura?
- 3) Qual o método de irrigação?
- 4) Qual o sistema de irrigação?
- 5) Quais os emissores utilizados?
- 6) Qual a vazão dos emissores?
- 7) Qual o turno de rega?
- 8) Quantas horas deixa o sistema funcionando, durante a irrigação?
- 9) Sabe quanto gasta para se produzir um hectare dessas culturas?
- 10) Há problemas com salinidade?
- 11) Qual é a produtividade?
- 12) Qual o espaçamento utilizado nas culturas?
- 13) Quanto paga de água?
- 14) Para quem vende?
- 15) Qual o preço recebido pelo produto?
- 16) Quantos emissores há por hectare?
- 17) Há uso de máquinas agrícolas?
- 18) Irriga sempre que tem água?
- 19) Sabe quanto aplica de água por hectare, por cultura?
- 20) Acredita que poderia aplicar menos água, produzindo a mesma quantidade?
- 21) Qual a época de plantio do maracujá e do melão?
- 22) Qual o ciclo médio da cultura?

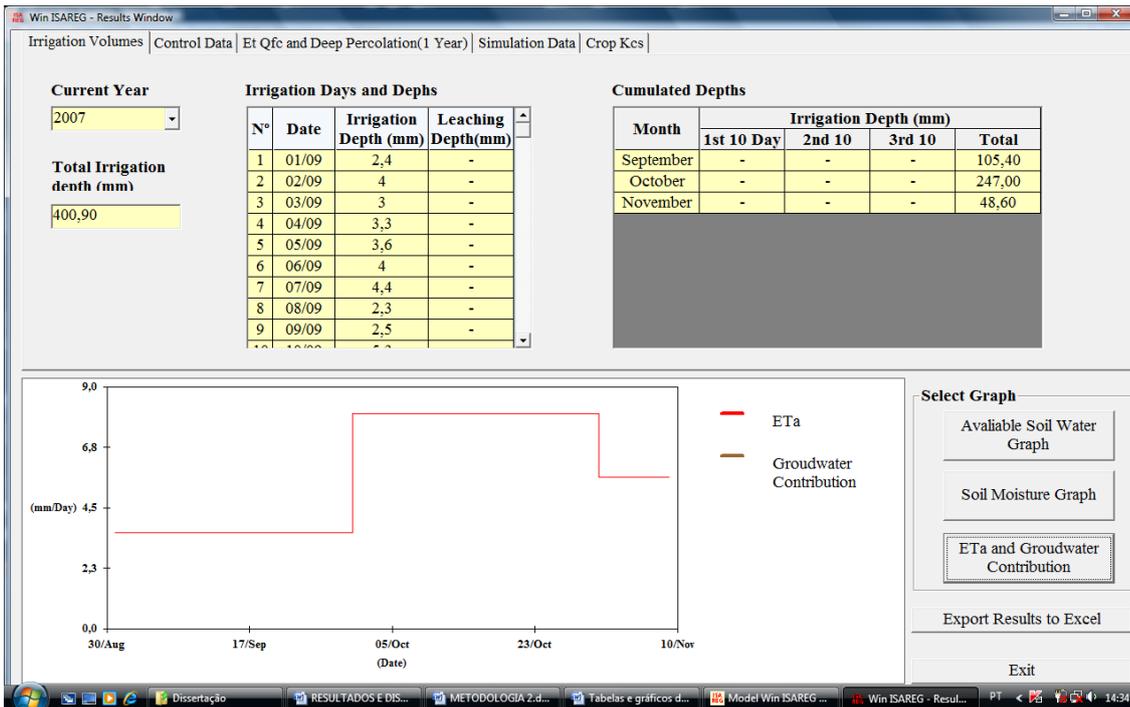
APÊNDICE I - Resultados da simulação do balanço no solo, para a condição ótima, realizado pelo ISAREG, no ambiente do modelo



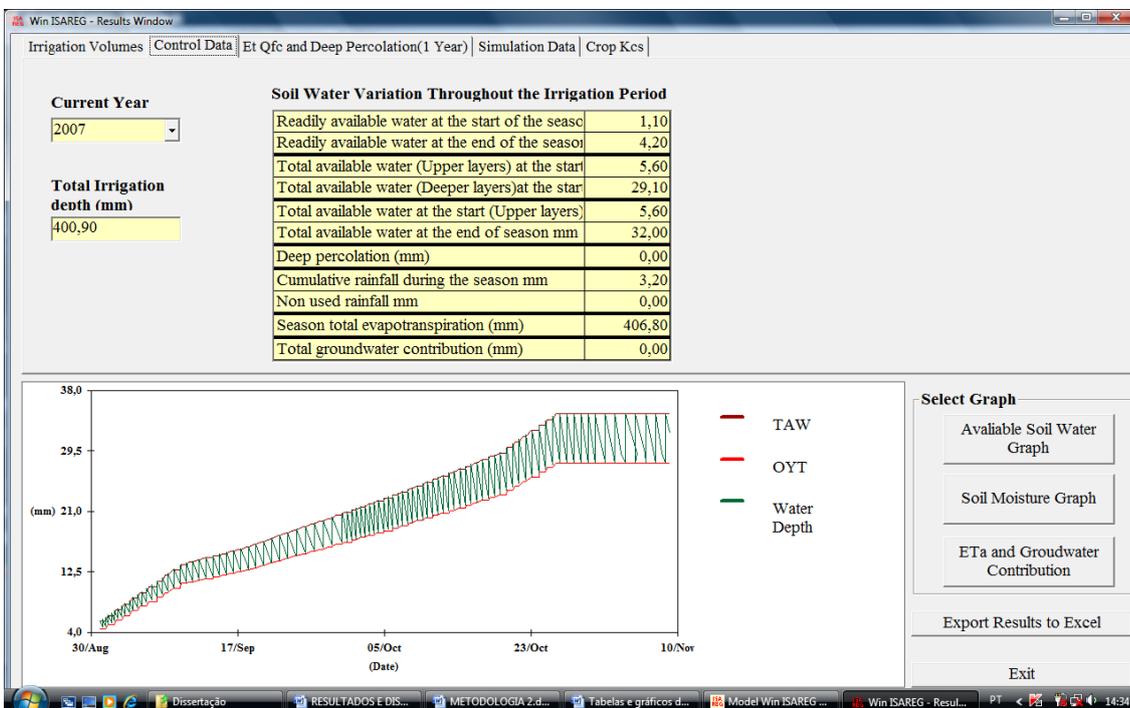
Comportamento da água no solo, em função das lâminas recomendadas pelo ISAREG



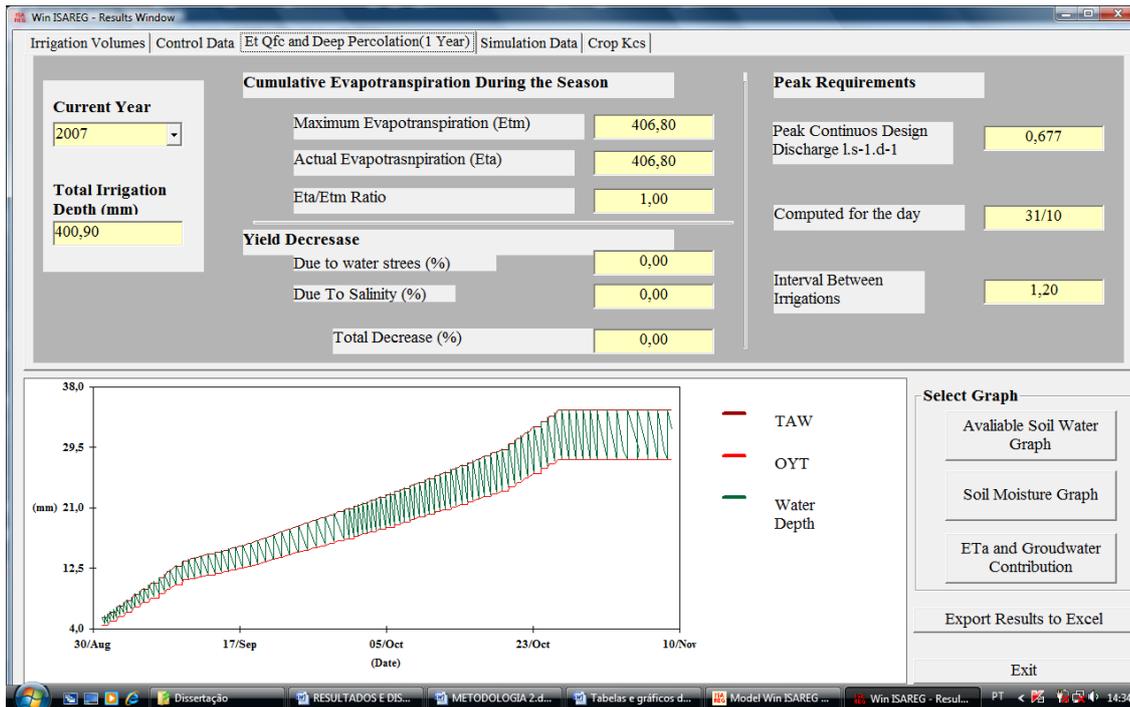
Comportamento da água no solo, com relação à capacidade de campo e o ponto de murcha



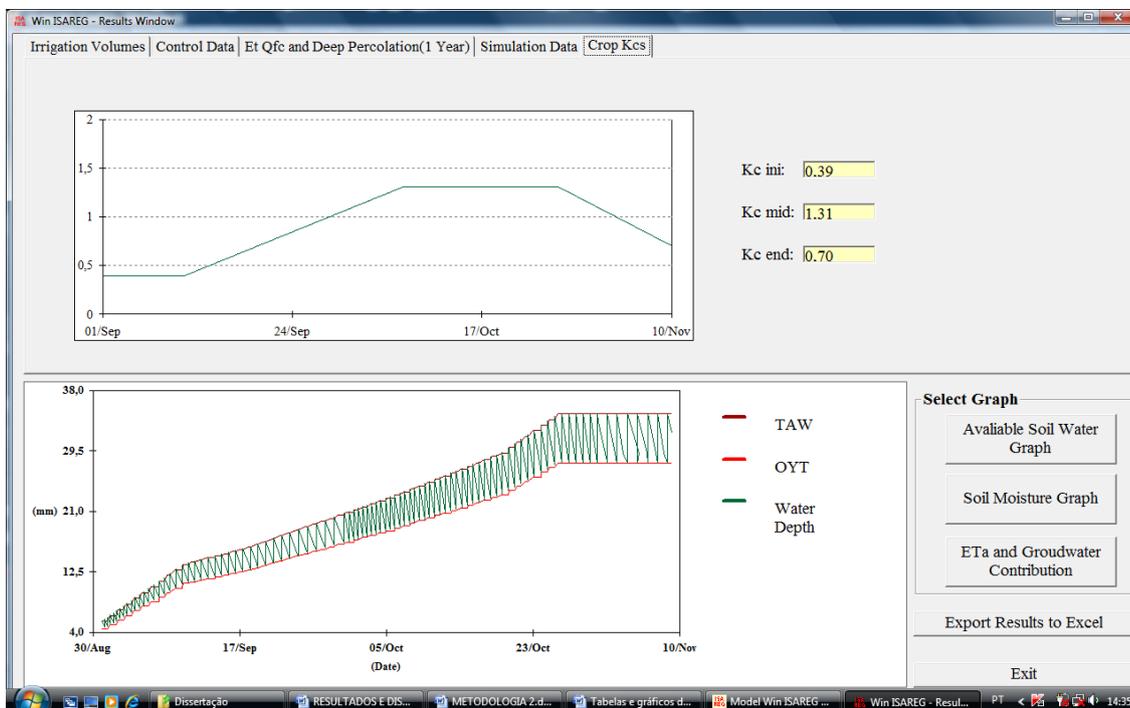
Evapotranspiração real (ETa), relacionada às condições hídricas do solo



Variação das condições hídricas do solo ao longo do ciclo da melancia

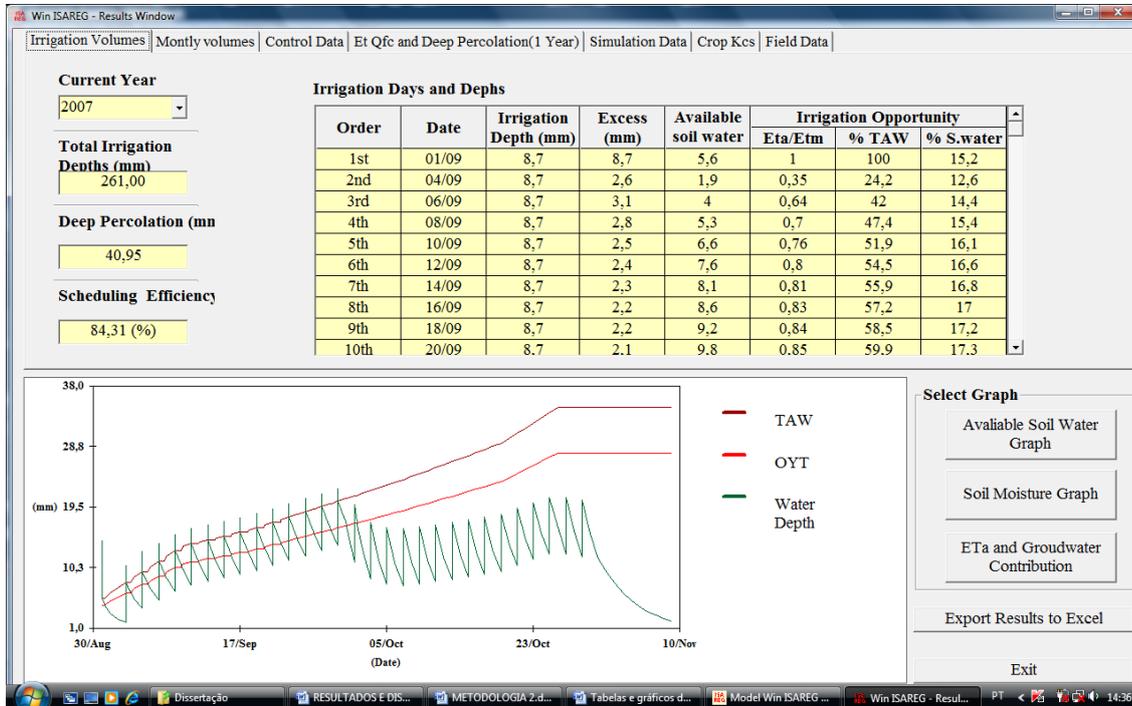


Relação entre evapotranspiração máxima (ETm) e evapotranspiração real (ETA) da melancia

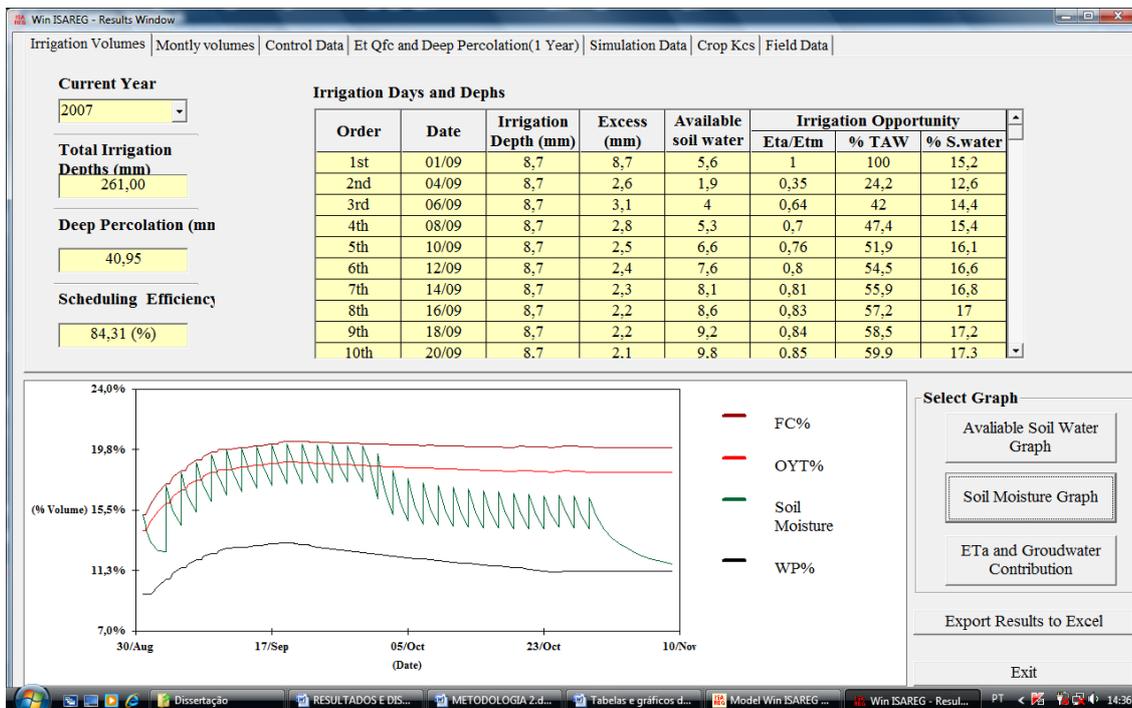


Influência do coeficiente cultural (Kc) na demanda de água da melancia

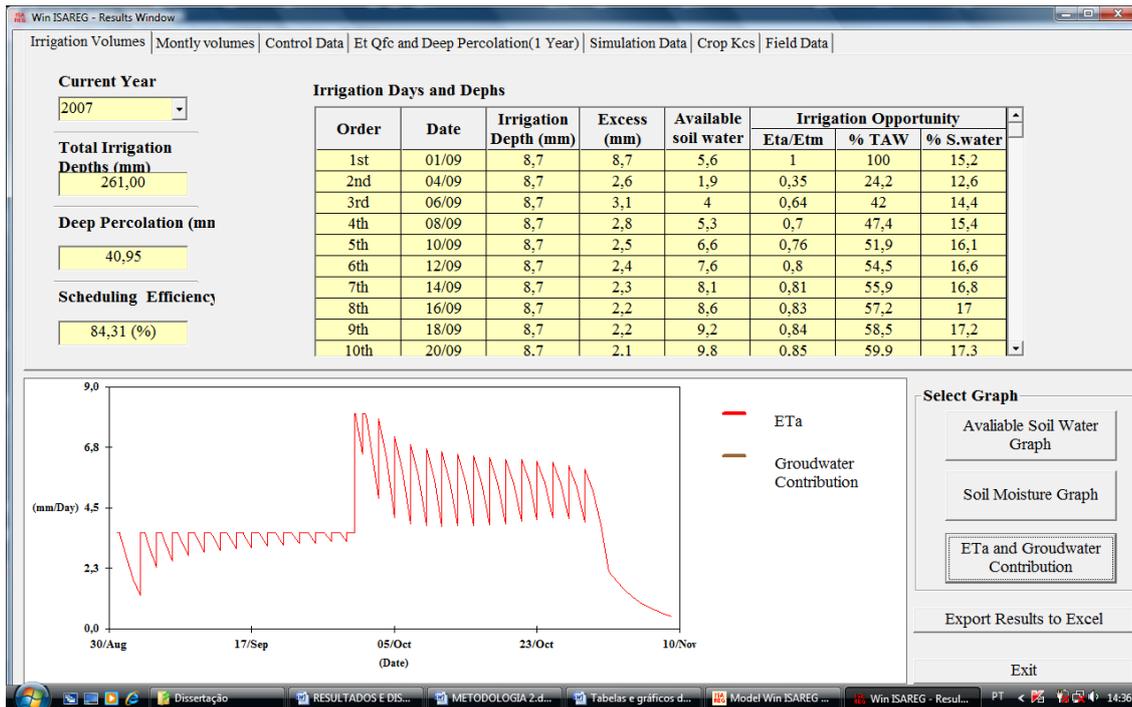
APÊNDICE J - Resultados da simulação do balanço no solo, para a condição de datas e lâminas (8,7 mm), realizado pelo ISAREG, no ambiente do modelo



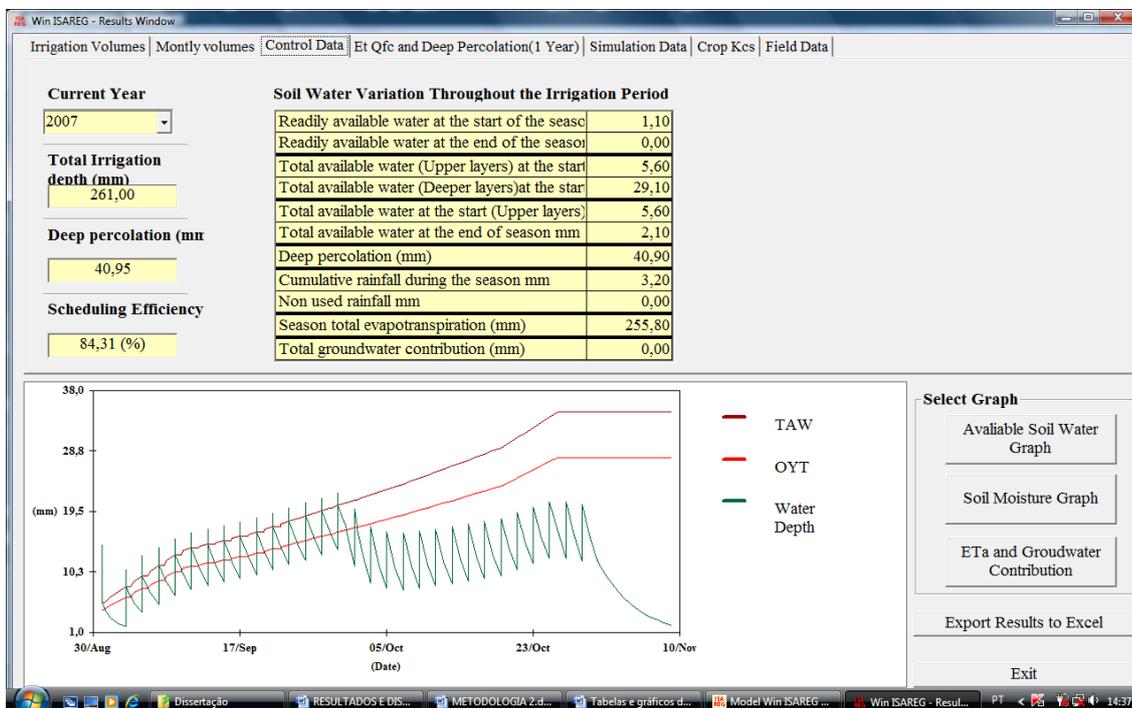
Comportamento da água no solo, em função das lâminas recomendadas pelo ISAREG



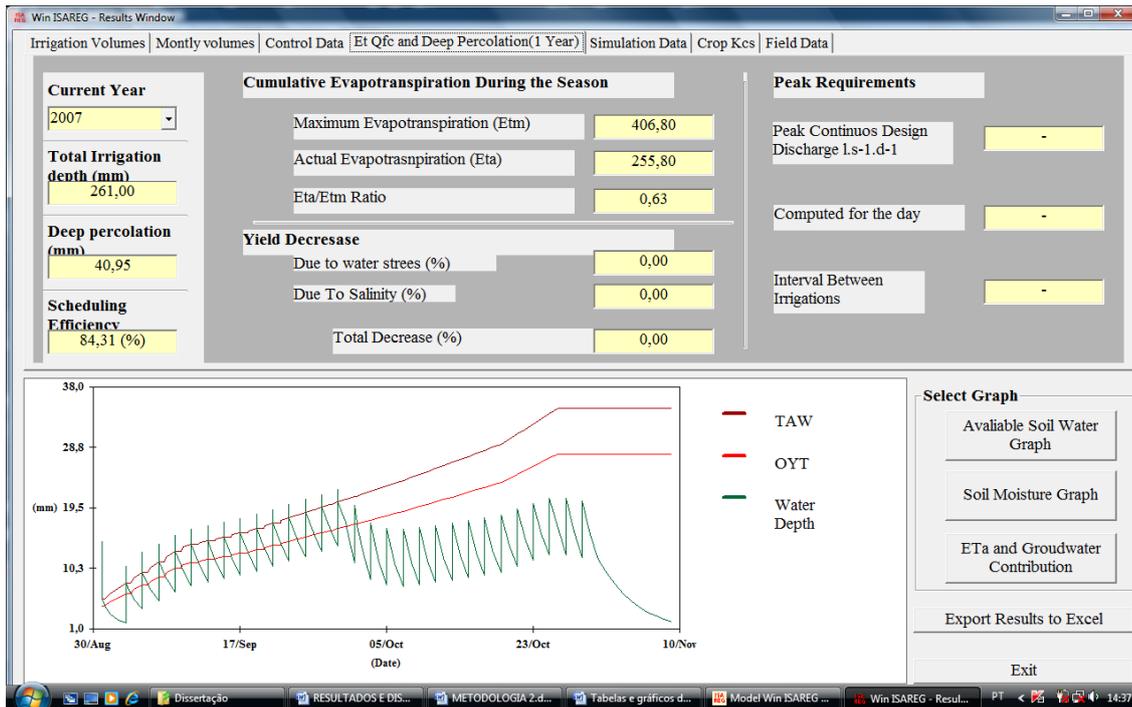
Comportamento da água no solo, com relação à capacidade de campo e o ponto de murcha



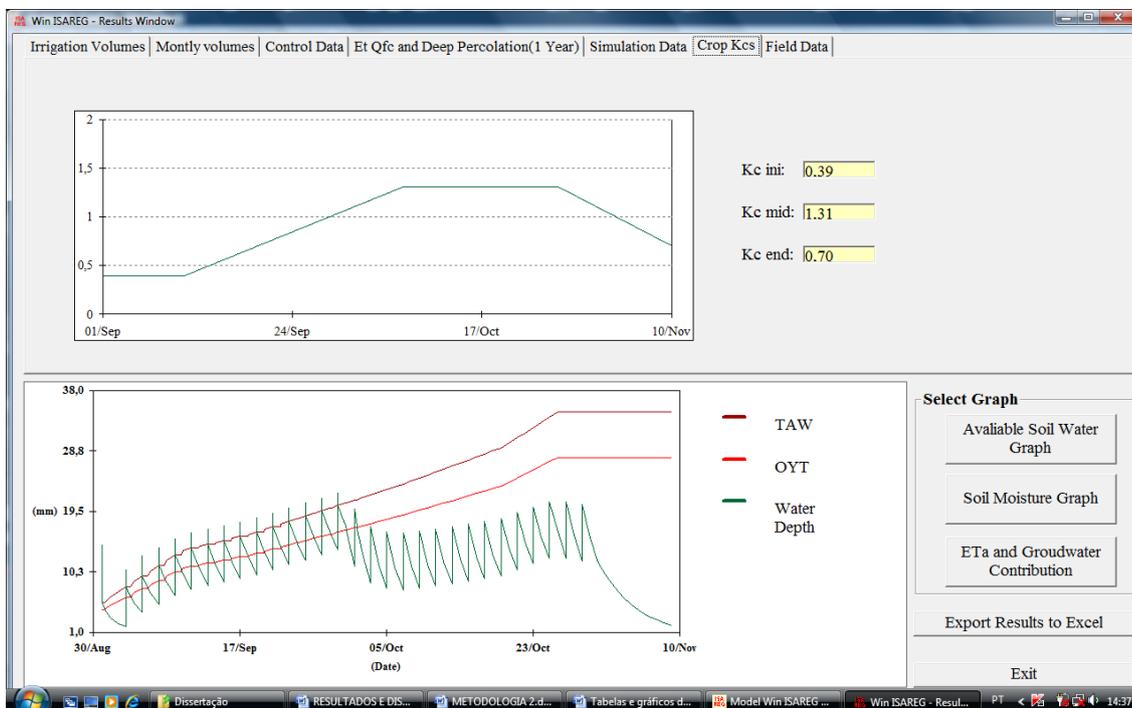
Evapotranspiração real (ETa), relacionada às condições hídricas do solo



Variação das condições hídricas do solo ao longo do ciclo da melancia

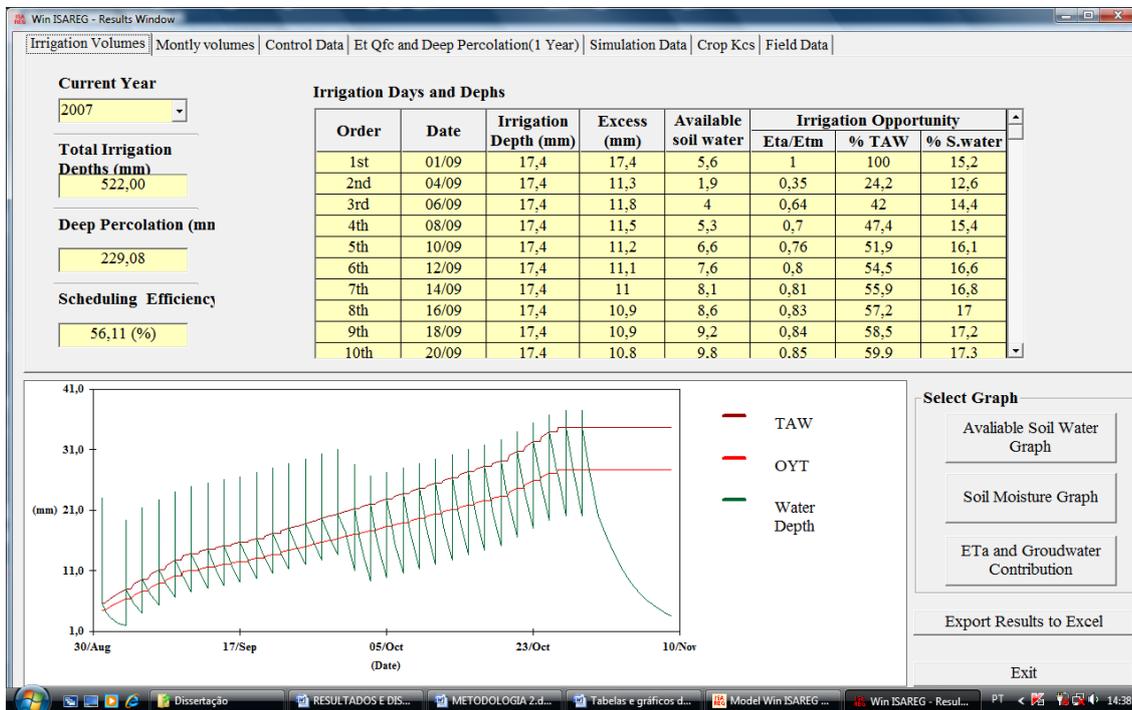


Relação entre evapotranspiração máxima (ETm) e evapotranspiração real (ETA) da melancia

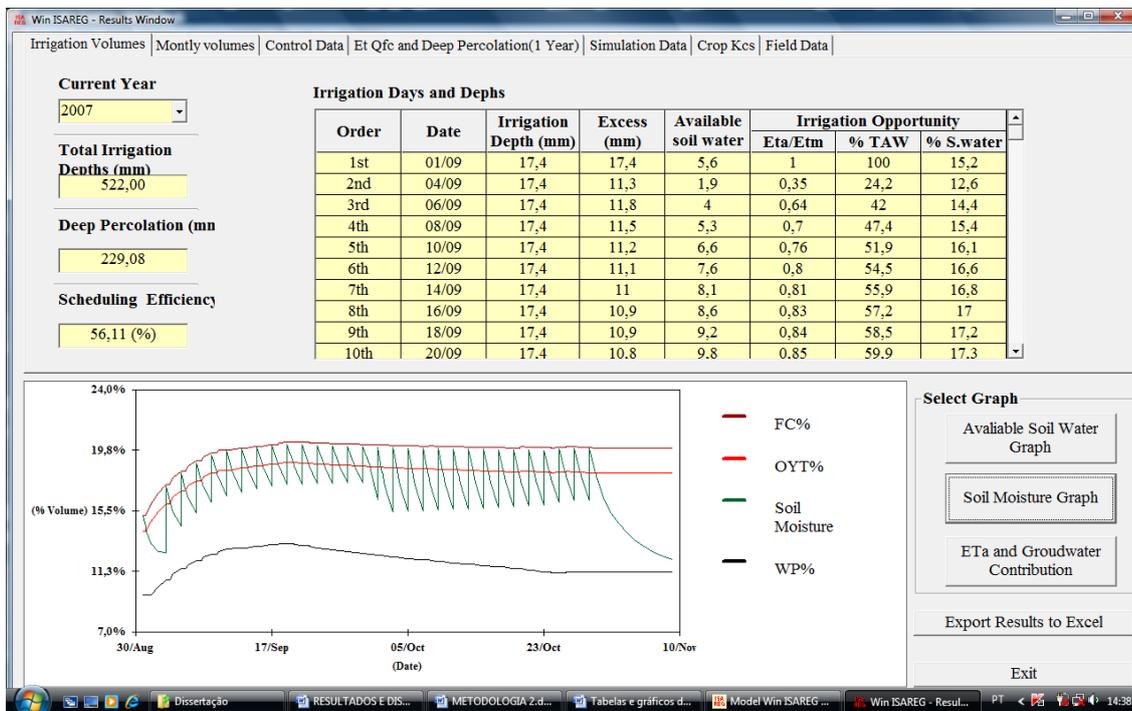


Influência do coeficiente cultural (Kc) na demanda de água da melancia

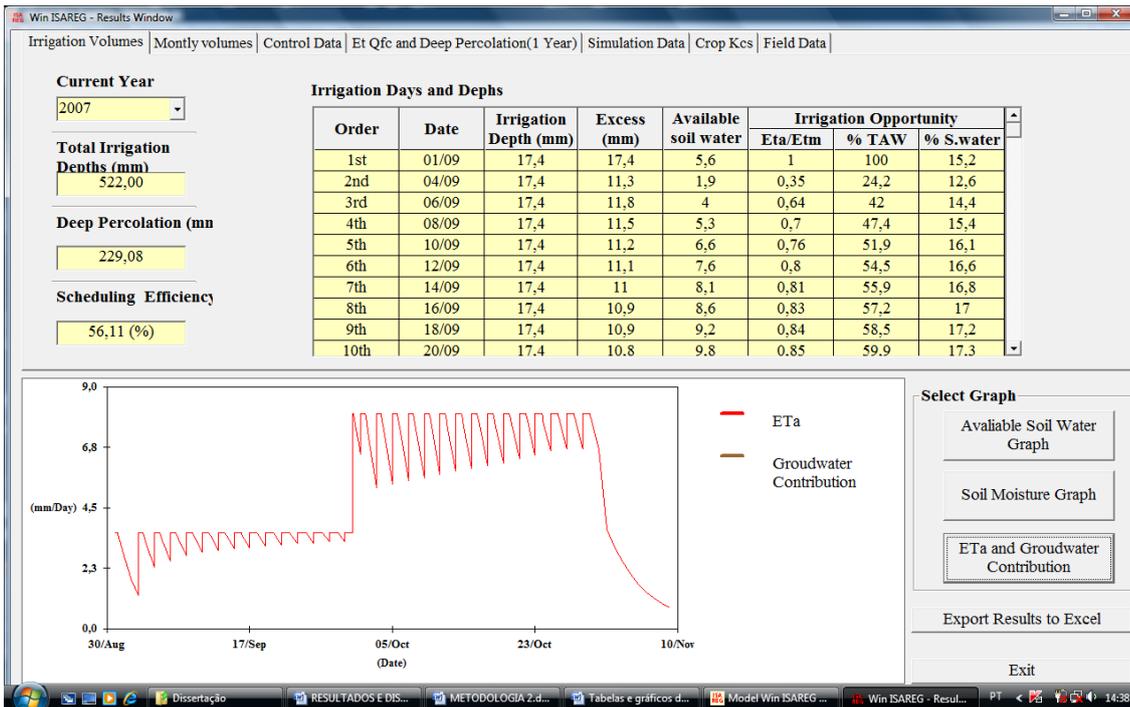
APÊNDICE K - Resultados da simulação do balanço no solo, para a condição de datas e lâminas (17,4 mm), realizado pelo ISAREG, no ambiente do modelo



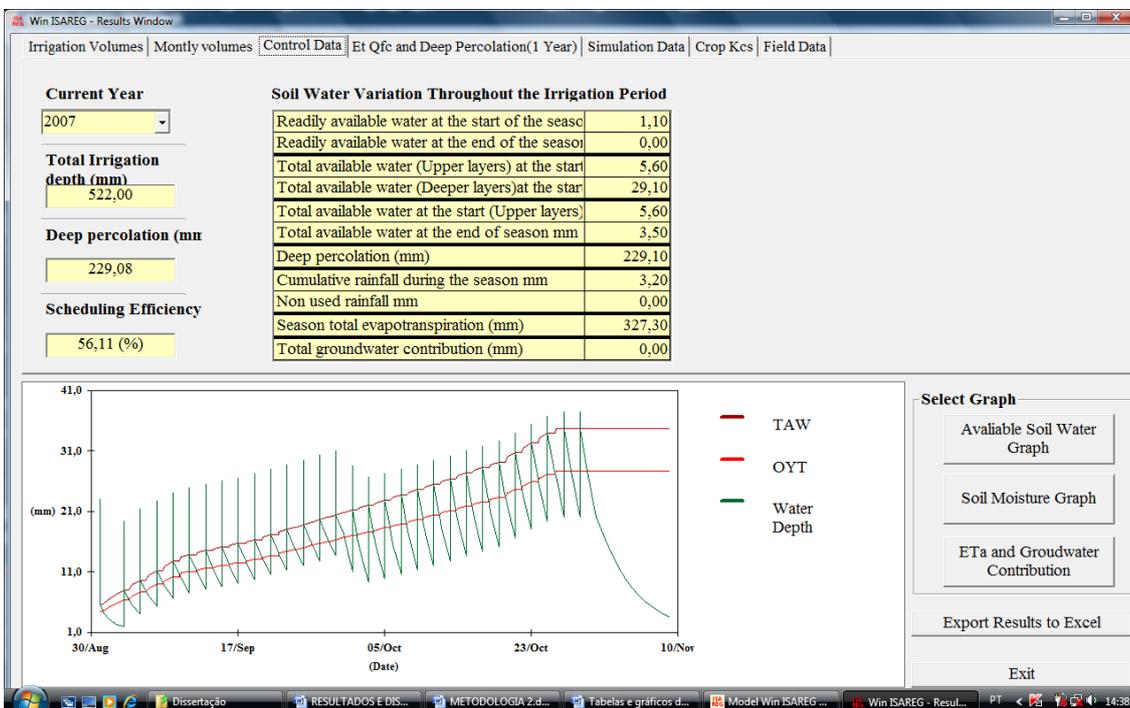
Comportamento da água no solo, em função das lâminas recomendadas pelo ISAREG



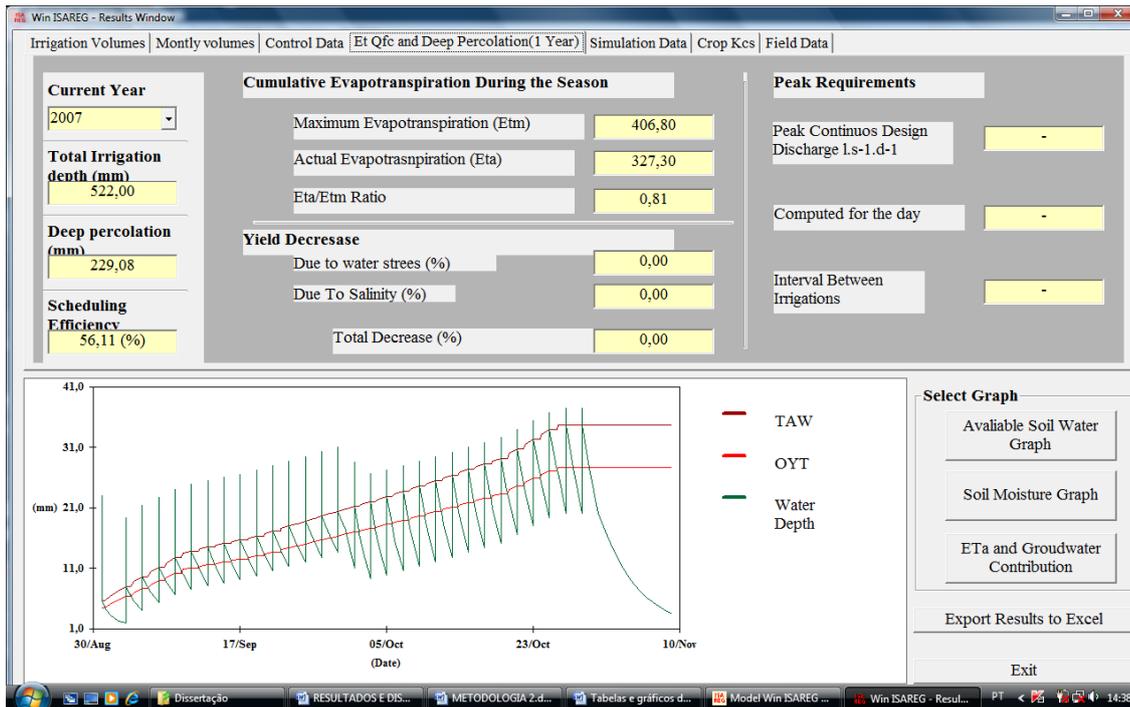
Comportamento da água no solo, com relação à capacidade de campo e o ponto de murcha



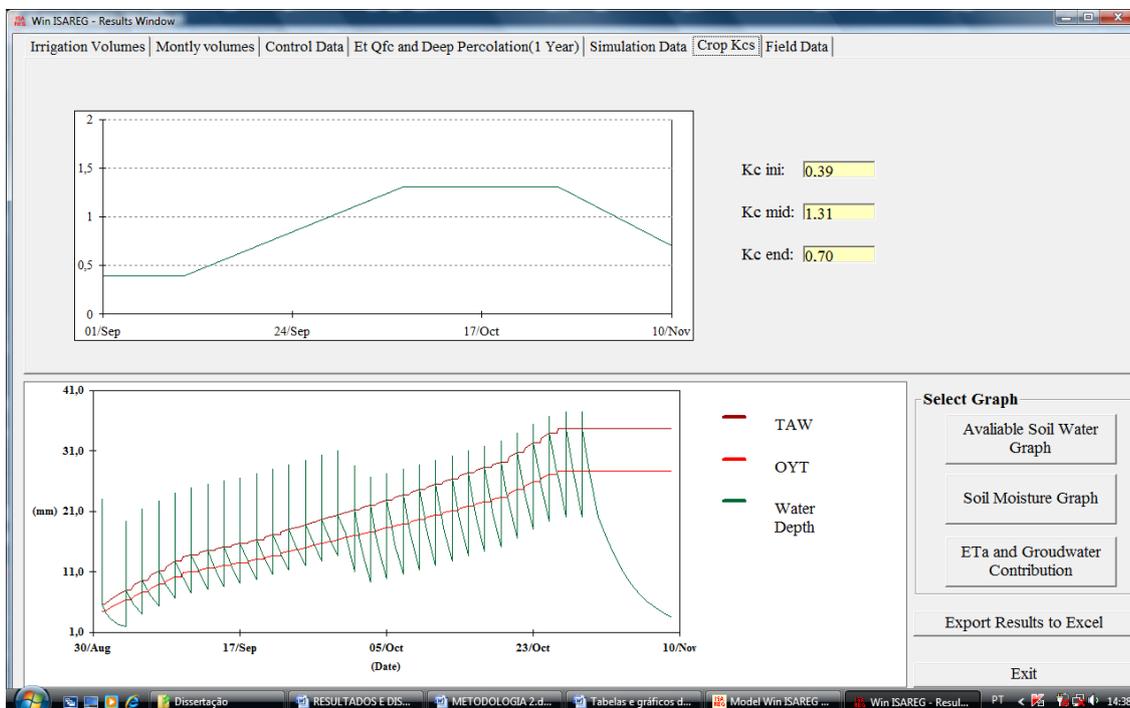
Evapotranspiração real (ETa), relacionada às condições hídricas do solo



Variação das condições hídricas do solo ao longo do ciclo da melancia



Relação entre evapotranspiração máxima (ETm) e evapotranspiração real (ETA) da melancia



Influência do coeficiente cultural (Kc) na demanda de água da melancia

APÊNDICE L - Calendário de irrigação, elaborado através do ISAREG, para a cultura da melancia, no perímetro irrigado Baixo Acaraú, para a data de plantio de 01 de setembro

Calendário de irrigação para a cultura da melancia, no Baixo Acaraú

Seqüência da Irrigação	Data da Irrigação	Lâmina Aplicada (mm)
1°	01/09	2,4
2°	02/09	4,0
3°	03/09	3,0
4°	04/09	3,3
5°	05/09	3,6
6°	06/09	4,0
7°	07/09	4,4
8°	08/09	2,3
9°	09/09	2,5
10°	10/09	5,3
11°	11/09	2,8
12°	12/09	2,8
13°	13/09	2,9
14°	14/09	5,8
15°	15/09	3,0
16°	16/09	3,0
17°	17/09	3,1
18°	18/09	3,2
19°	19/09	3,2
20°	20/09	3,3
21°	21/09	3,4
22°	22/09	3,4
23°	23/09	3,5
24°	24/09	3,6
25°	25/09	3,7
26°	26/09	3,8
27°	27/09	3,9
28°	28/09	4,0
29°	29/09	4,1
30°	30/09	4,1
31°	01/10	8,4
32°	02/10	4,3
33°	03/10	8,7
34°	04/10	8,9
35°	05/10	9,1
36°	06/10	9,3
37°	07/10	4,7
38°	08/10	9,6
39°	09/10	4,9
40°	10/10	9,9
41°	11/10	10,1
42°	12/10	5,2
43°	13/10	10,5
44°	14/10	5,3
45°	15/10	10,9
46°	16/10	5,5
47°	17/10	5,6
48°	18/10	11,4
49°	19/10	5,8
50°	20/10	11,9
51°	21/10	6,1
52°	22/10	6,2
53°	23/10	6,4
54°	24/10	13,1
55°	25/10	6,7
56°	26/10	6,9
57°	27/10	6,9
58°	28/10	6,9
59°	29/10	6,9
60°	30/10	13,9
61°	31/10	6,9
62°	01/11	6,9
63°	02/11	6,9
64°	03/11	6,9
65°	04/11	6,9
66°	05/11	6,9
67°	06/11	6,9
68°	07/11	6,9
TOTAL		400,9

ANEXOS

ANEXO B - Valores médios dos dados climatológicos, representativos do Baixo Acaraú (série histórica – 1977 a 2007) utilizados na simulação com o ISAREG



Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MA

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

3º Distrito de Meteorologia - 3º DISME

Rua : São João, 504 - Bairro : São José

Fone : 81 34242211 / Fax : 81 34248984

RECIFE / PE - CEP : 50020 - 150 - BRASIL

<http://www.inmet.gov.br>

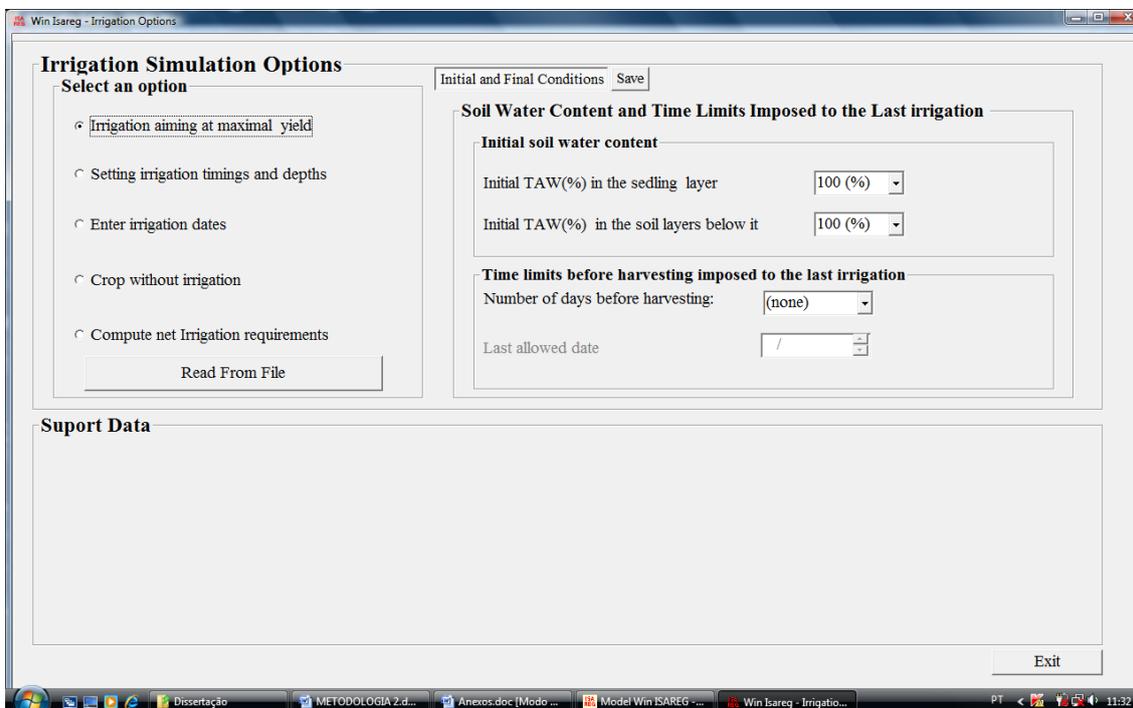
Estação: 82294 Acaraú UF: CE Altitude da Estação (Hs): 16,50m

Latitude:02°53'S Longitude: 40°08' W Altitude do Barômetro: 17,37m

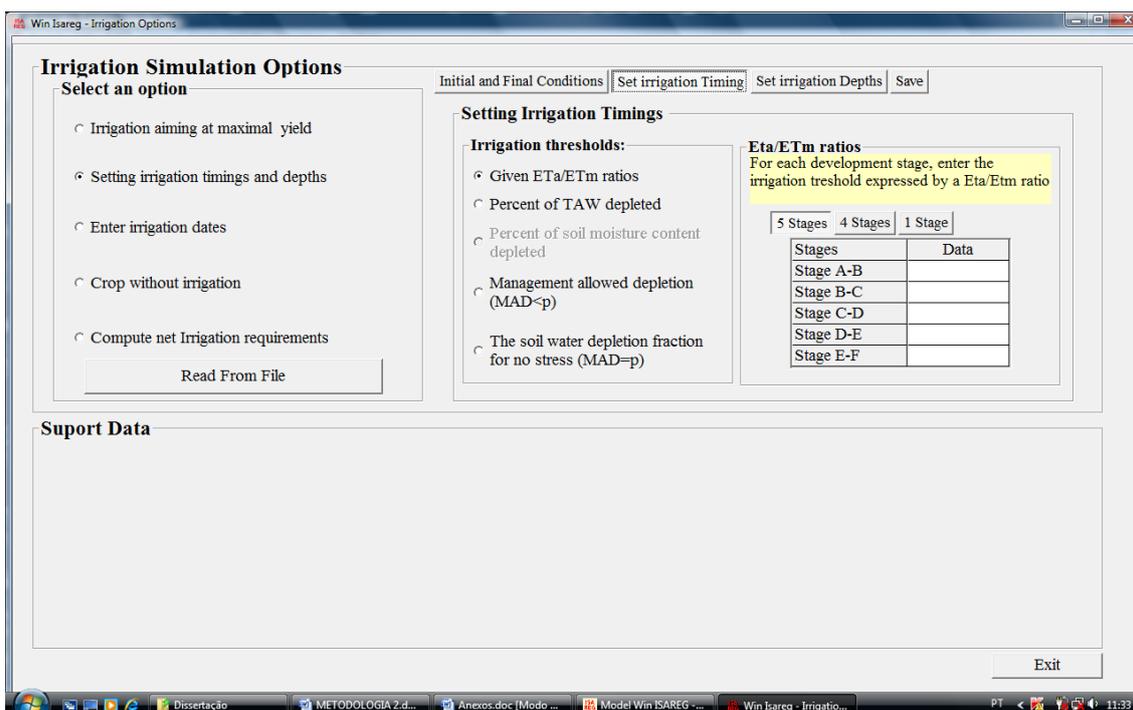
Média Anual 1977 a 2007

Mês	Pressão	Temperatura do Ar							Umidade	Nebulosidade	Precipitação				Evaporação	Insolação	Vento	
		Média		Máxima Absoluta	Data	Mínima Absoluta	Data	Média Compensada			Total	Dias de Chuva	Máxima em 24h	Data			Direção	Velocidade
		Máximas	Mínimas															
JAN	1007,8	31,6	23,4	36,5	26/01/06	20,0	12/01/83	27,3	80	6	113,9	13	115,8	29/01/04	153,3	204,1	E	4,1
FEV	1008,1	31,0	23,3	36,7	02/02/05	20,8	07/02/89	26,9	82	7	161,1	16	171,5	09/02/04	110,7	165,4	E	3,5
MAR	1008,0	30,5	23,2	35,9	07/03/05	17,5	27/03/76	26,6	87	7	296,4	23	180,2	29/03/92	78,8	150,8	E	2,8
ABR	1008,0	30,6	23,1	34,3	24/0/01	19,4	07/04/76	26,5	88	7	281,2	23	150,1	14/04/00	70,2	155,2	E	2,7
MAI	1008,5	31,3	22,8	34,8	28/05/93	18,9	17/05/76	26,5	86	5	134,2	16	109,6	16/05/94	94,4	208,7	E	3,2
JUN	1009,8	31,5	22,2	35,0	25/06/97	18,6	27/06/85	26,3	82	4	53,8	11	58,5	05/06/89	114,0	238,2	E	3,9
JUL	1010,1	31,8	21,8	35,2	26/07/98	18,4	13/07/95	26,4	76	3	28,0	6	58,6	10/07/93	164,0	262,8	E	4,9
AGO	1010,3	32,6	22,4	36,4	10/08/07	19,2	18/08/88	27,1	74	3	4,6	3	8,5	31/08/85	218,6	284,8	E	5,6
SET	1009,7	32,7	22,9	36,4	09/09/06	19,3	09/09/89	27,2	73	3	2,8	2	14,4	28/09/90	235,3	286,9	E	6,1
OUT	1008,7	32,6	23,3	36,9	11/10/00	16,6	13/10/76	27,6	73	4	2,6	2	12,9	05/10/76	251,3	304,3	E	6,0
NOV	1007,8	32,6	23,2	36,0	17/11/07	19,0	21/11/80	27,7	73	4	3,3	2	17,2	17/11/97	232,7	288,5	E	5,8
DEZ	1007,8	32,6	23,4	35,6	19/12/05	19,5	15/12/85	27,8	75	4	15,9	4	73,5	16/12/77	211,9	265,5	E	5,3
Ano	1008,7	31,8	22,9	36,9	11/10/00	16,6	13/10/76	27,0	79	5	1097,7	120	180,2	29/03/92	1935,2	2815,3	E	4,5

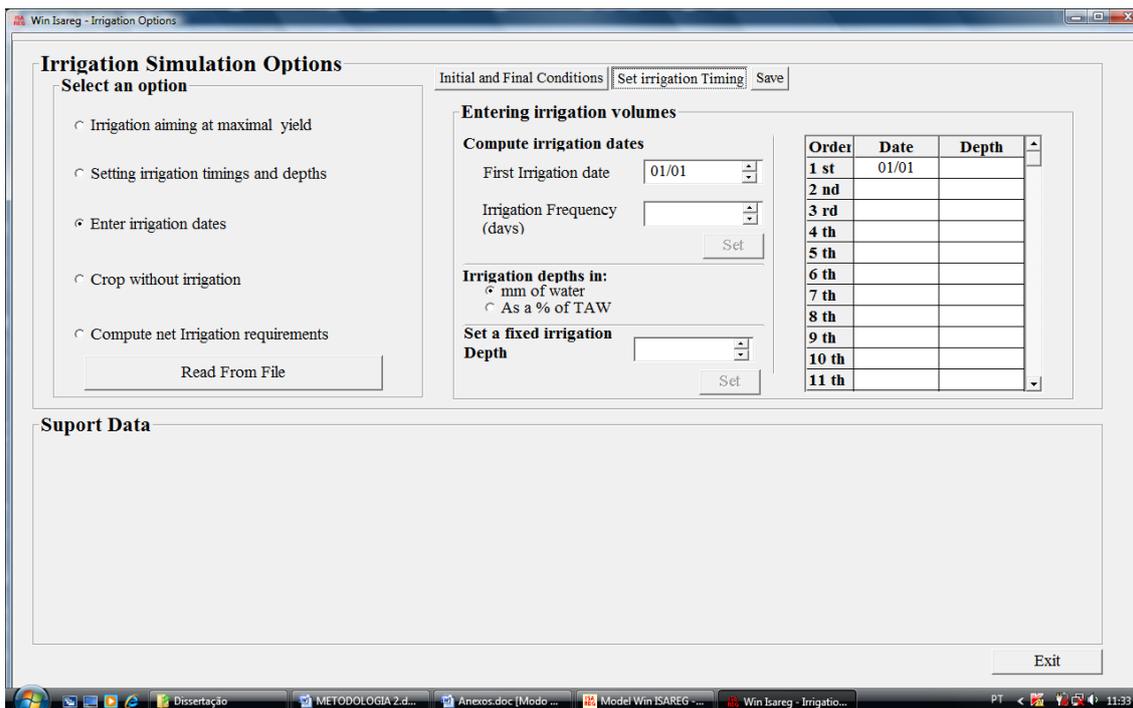
ANEXO C - Caracterizações acerca das opções do manejo da irrigação no ambiente do ISAREG



Opções de manejo: Lâmina para o máximo rendimento, sem irrigação, e requerimento de irrigação completamente realizado pelo ISAREG



Opção de manejo: definindo tempos e laminas de irrigação



Opção de manejo: definindo datas e laminas de irrigação