



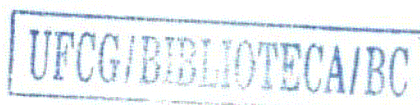
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS – CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – UACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA – PPGMET
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

**CONSUMO HÍDRICO E COEFICIENTES DE CULTIVOS SIMPLES E DUAL
DO COENTRO**

ALEXANDRA LIMA TAVARES

CAMPINA GRANDE – PB

Março - 2012



ALEXANDRA LIMA TAVARES

**CONSUMO HÍDRICO E COEFICIENTES DE CULTIVOS SIMPLES E DUAL DO
COENTRO**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, na área de Agrometeorologia Alexandra Lima Tavares.

Orientadores: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva e Dr. Inajá Francisco de Sousa.

Campina Grande – PB
Março - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

T231c Tavares, Alexandra Lima.
Consumo hídrico e coeficientes de cultivos simples e dual do coentro/
Alexandra Lima Tavares. – Campina Grande, 2012.
63f.: il.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva e Prof.
Dr. Inajá Francisco de Sousa

Referências.

1. Balanço Hídrico do Solo - Evapotranspiração. 2. Umidade do Solo.
3. Irrigação. 4. Equação de Penman-Monteith. I. Título.


CDU 556.13(043)


ALEXANDRA LIMA TAVARES


CONSUMO HÍDRICO E COEFICIENTES DE CULTIVOS SIMPLES E DUAL DO
COENTRO


DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/03/2012

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. INAJA FRANCISCO DE SOUSA
Departamento Engenharia Agrônômica
Universidade Federal de Sergipe


Prof. Dr. LINCOLN ELOI DE ARAUJO
Centro de Ciências Aplicadas e Educação
Universidade Federal da Paraíba

*As pessoas mais importantes da minha vida:
meus pais Alexandre dos Santos Tavares (in
memorian) e Romana Lima Tavares,
DEDICO.*

*Aos meus queridos filhos: Arícia,
Heron e Hércules, com todo amor e
carinho,
OFEREÇO*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar presente, principalmente nas horas mais difíceis, sempre O senti por perto, dando-me discernimento, força e proteção.

Meus agradecimentos ao meu orientador Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, pela orientação, atenção, paciência, e pelo enorme aprendizado através do qual eu adquiri; exemplo de profissional a seguir.

Agradeço a Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa, também na qualidade de orientador, pela atenção, preocupação e todo apoio prestado durante o experimento.

Agradeço a toda minha família, em especial ao meu pai Alexandre dos Santos Tavares (*in memoriam*) e minha mãe Romana Lima Tavares, pela dedicação de uma vida toda, por sempre estarem dispostos a me proporcionar e ensinar tudo de valioso nesta vida. Ao meu primo Jorge pela grande força; e aos meus filhos Arícia, Heron e Hércules, por compreenderem minha ausência e por serem a razão do meu viver.

A todos os colegas do “Projeto Pequeno Produtor Grande Empreendedor” pelo apoio prestado durante o experimento.

Aos meus amigos e parceiros de disciplinas, trabalhos e colaboradores: Mainar, Leandro, Ana, Lidiane, Luciana, Conceição, e a todos os demais colegas da graduação, mestrado e doutorado aos quais fica difícil citar todos, mas que colaboraram de alguma forma, nas horas difíceis e de descontração.

A Divanete pela amizade, competência, profissionalismo e atenção apresentada durante o curso.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pelo suporte financeiro.

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, pela oportunidade de realizar este curso.

A todos que contribuíram de forma positiva nesta minha caminhada e conquista, fica o meu MUITO OBRIGADO!

CONSUMO HÍDRICO E COEFICIENTES DE CULTIVOS SIMPLES E DUAL DO COENTRO

RESUMO: O estudo foi conduzido na Unidade de Produção de Hortaliças, em área do “Projeto Pequeno Produtor Grande Empreendedor” localizado no município de Itabaiana, SE, com a cultura de coentro, no período de 02 de agosto de 2011 a 12 de outubro de 2012. O objetivo do trabalho foi determinar a evapotranspiração e os coeficientes de cultivos simples e dual do coentro cultivada em climas tropicais. O coeficiente de cultivo dual foi obtido de acordo com a nomenclatura da FAO-56. A evapotranspiração da cultura foi obtida pelo método do balanço hídrico no solo e a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith, utilizando-se os dados de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar coletados numa estação automática localizada próxima à área experimental. Os valores do coeficiente de cultivo do coentro nos estádios fenológicos inicial, desenvolvimento, médio e final são, respectivamente, 0,82; 1,03; 1,07 e 0,93. Os resultados obtidos permitiram constatar que a metodologia do Kc dual pode ser utilizada com precisão na estimativa das necessidades hídricas da cultura do coentro em regiões tropicais.

Palavras chave: Balanço hídrico do solo - Evapotranspiração, umidade do solo, irrigação, equação de Penman-Monteith.

WATER REQUERIMENT AND SIMPLE AND DUAL CROP COEFFICIENTS OF CORIANDER

ABSTRACT: The study was carried out in production unit of small vegetable of the *Projeto Pequeno Produtor Grande Empreendedor* in the city of Itabaiana, SE, Brazil, with coriander crop during the period from August 2, 2011 to October 12, 2011. The objective of this study was to determine the evapotranspiration and single and dual crop coefficients of coriander grown in tropical environment. The dual coefficient was obtained following FAO-nomenclature. The crop evapotranspiration was obtained based on soil water balance and reference evapotranspiration by Penman-Monteith method (FAO/56), using the data of air temperature, relative humidity, wind speed and solar radiation from automatic weather station next to experimental site. The coriander crop coefficient values for the growth stages: initial, development, mid-season and late season are, respectively, 0.82; 1.03; 1.07 e 0.93. Results also indicate that the dual crop coefficient approach can provide accurate estimates of water requirements for sugar cane growth in tropical environment.

Keywords: Water balance in soil - Evapotranspiration, soil water content, irrigation, Penman-Monteith approach.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, com destaque para o município de Itabaiana no Estado de Sergipe	25
Figura 2. Imagens da área experimental coma cultura do coentro e equipamentos utilizados da determinação da varáveis de crescimento	27
Figura 3. Evolução temporal da altura do caule e profundidade das raízes durante o ciclo de crescimento do coentro	41
Figura 4. Relacionamento entre o caule e a área foliar ao longo do desenvolvimento do coentro.....	42
Figura 5. Curso diário do índice de área foliar (IAF) no período de crescimento do coentro .	43
Figura 6. Curso temporal do desenvolvimento do índice da área foliar (IAF), do caule e da raiz no período experimental da cultura do coentro.....	44
Figura 7. Curso horário da umidade do solo (cm cm^{-3}) nas três profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm) na área experimental com a cultura do coentro	46
Figura 8. Curva de retenção de água no solo da área experimental em Itabaiana, SE.....	47
Figura 9. Média diária da precipitação + irrigação e da drenagem ao longo do período experimental da cultura do coentro.....	48
Figura 10. Curso diário da evapotranspiração do coentro pelo método do balanço hídrico no solo (ETc-BH), e pela metodologia do coeficiente de cultivo dual (ETc-Dual) durante o período experimental	50
Figura 11. Curso temporal do coeficiente de cultivo basal (Kcb), coeficiente de evaporação de água do solo (Ke) e coeficiente de cultivo dual (Kc dual) da cultura do coentro cultivada em Itabaiana, SE, em 2011	52

Figura 12. Relacionamento entre evapotranspiração obtida pelo balanço hídrico no solo e a evapotranspiração calculada a partir do Kc Dual do coentro cultivado em Itabaiana, SE.....53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias mensais das variáveis climatológicas em Itabaiana, SE, no período de 1989 – 2009	38
Tabela 2. Dados meteorológicos durante o período experimental da região de Itabaiana, SE em 2011	39
Tabela 3. Componentes de crescimento da cultura do coentro e o número de dias de cada fase do seu ciclo	40
Tabela 4. Valores médios dos componentes do balanço hídrico no solo (mm d^{-1}) durante os estádios do ciclo da cultura do coentro.....	45
Tabela 5. Análises física e química do solo da área experimental na profundidade de 0-30 cm	45
Tabela 6. Valores médios (mm d^{-1}) e acumulados (mm) da evapotranspiração da cultura do coentro e coeficientes de cultivos obtidos com base no balanço hídrico no solo e na metodologia do Kc dual.....	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Consumo hídrico das culturas	14
2.2. Métodos de determinação e estimativa da evapotranspiração	15
2.3. A cultura do coentro	18
2.4. Balanço hídrico do solo	20
2.5. Coeficiente de cultivo (K_c)	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Caracterizações da área experimental	24
3.2. Manejo da área de estudo e tratos culturais	26
3.3. Coeficiente de cultivo simples (K_c)	28
3.4. Coeficiente de cultivo dual (K_c dual)	28
3.4.1. COEFICIENTE DE CULTURA BASAL (K_{CB})	29
3.4.2. COEFICIENTE DE EVAPORAÇÃO DO SOLO (K_e)	30
3.4.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE DE ÁGUA	33
3.4.4. TOTAL DE ÁGUA DISPONÍVEL (TAW)	33
3.4.5. Água facilmente disponível (RAW)	34
3.4.6. Balanço de água na zona radicular	34
3.5. Medições da evapotranspiração da cultura	35
3.6. Dados para o balanço hídrico no solo	36
3.7. Evapotranspiração de referência	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5. CONCLUSÕES	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente pelos recursos hídricos para atender ao consumo humano, bem como a indústria e a agricultura irrigada têm estimulado a pesquisa e a adoção de práticas que visam aperfeiçoar o seu uso. Dentre essas demandas se destacam aquelas relacionadas com o estudo das necessidades hídricas das culturas, em que se procura identificar as exigências das plantas em seus diferentes estádios de desenvolvimento.

Um dos fatores fundamentais ao bom desenvolvimento de uma cultura é o fornecimento de água de acordo com a sua demanda hídrica (Silva et al., 2009). Essa temática também está diretamente relacionada a auto sustentabilidade das unidades agrícolas, que dependem da incorporação de novas tecnologias de irrigação e de produção para uma boa produtividade. Para que a água de irrigação seja utilizada de forma racional durante o ciclo, há a necessidade de se determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c), principalmente em regiões como o semiárido nordestino, em que a escassez e a irregularidade pluviométrica são fatores limitantes da produção agrícola (Silva, 2004). A necessidade de água de uma cultura pode ser estimada por métodos indiretos ou diretos. As estimativas com base em métodos indiretos utilizam-se equações empíricas baseadas em vários estudos com dados climatológicos. Já a estimativa através de métodos diretos pode ser feita com a utilização de lisímetros. Sua utilização objetiva a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) que permite estimar a quantidade de água necessária para o desenvolvimento de uma cultura.

Outro fator também relevante neste contexto é a determinação do coeficiente de cultivo (K_c), que se caracteriza como componente importante no cálculo de estimativas das necessidades hídricas de culturas específicas às condições edafoclimáticas do local onde a cultura se desenvolve. A forma de determinação mais apurada dessa variável vem sendo estudada, de modo a proporcionar uma maior acurácia nas estimativas do consumo hídrico das culturas, que é a determinação do coeficiente de cultura dual. Esse procedimento é

recomendado nas estimativas melhoradas de Kc, que podem ser utilizados nas programações de irrigações para campos individuais diariamente (Allen et al., 1998).

O coentro (*Coriandrum sativum L.*) é uma hortaliça muito pouco estudada, apesar de ser considerada no ramo alimentício rica em vitaminas e sais minerais e com capacidade de produzir grandes quantidades de sua planta por unidade de área. As condições edafoclimáticas brasileiras permitem cultivar várias espécies desses vegetais durante o ano todo com o uso de irrigação. Essa olerícola é consumida em quase todo mundo, em face de suas excelentes características nutritivas na culinária, alto teor de vitaminas, propriedades medicinais, e considerável valor e importância sócio-econômica mundial. Diante disso, a demanda pela busca do aumento da produção em relação à olericultura é cada vez mais exigida, tanto no ramo da saúde quanto no agronegócio. Neste contexto, o presente trabalho tem os seguintes objetivos:

Geral: Determinar as necessidades hídricas e o coeficiente de cultivo da cultura de coentro nas condições edafoclimáticas brasileiras, especificamente, na região de Itabaiana, SE.

Específicos: (i) Determinar os coeficientes de cultivo simples e dual dessa hortaliça ao longo do ciclo de produção; (ii) Avaliar o desempenho do coeficiente de cultivo obtido com base na metodologia do Kc dual proposta por Allen et al. (1998); (iii) Avaliar as variáveis de crescimento da cultura ao longo do seu ciclo de produção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Consumo hídrico das culturas

As plantas necessitam manter um ambiente interno aquoso para seus processos gerais de crescimento. Quando as folhas das plantas abrem os estômatos para absorver o gás carbônico necessário à fotossíntese, perdem cerca de 250 moléculas de H₂O para cada uma de CO₂ absorvida, cujo valor provoca a transpiração dessas plantas (Taiz e Zeiger, 1991). Isso implica a contínua extração de água do solo, originando fortes relações entre transpiração, desenvolvimento vegetal e os diversos mecanismos responsáveis por manter o estado hídrico interno das plantas.

Em adição à transpiração, as plantas perdem água também de forma indireta, por meio de evaporação proveniente do solo. Esses processos somados resultam na evapotranspiração, ao passo que a distinção dos mesmos serve para explicar o consumo de água pelas culturas em condições de 'dossel não-fechado' e também para entender a resposta das culturas ao armazenamento de água (Loomis e Connor, 1992).

O termo evapotranspiração é definido como a ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas. Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (Pereira et al., 1997). Devido, tanto a sua importância no ciclo hidrológico, como no desenvolvimento de sistemas que envolvam o manejo da água, a evapotranspiração tem sido um fenômeno bastante abordado desde Thornthwaite (1948) para o caso da evapotranspiração potencial. Nesse estudo, foi definida a evapotranspiração potencial como a perda máxima de água em uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberta com vegetação, em fase de desenvolvimento ativo e com dimensões suficientemente grandes, de modo a minimizar os efeitos de energia advectiva no local. Dada a procura para a obtenção do consumo de água aos mais variados tipos de culturas, surgiu a necessidade de se definir a evapotranspiração

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, com destaque para o município de Itabaiana no Estado de Sergipe.....	25
Figura 2. Imagens da área experimental coma cultura do coentro e equipamentos utilizados da determinação da varáveis de crescimento.....	27
Figura 3. Evolução temporal da altura do caule e profundidade das raízes durante o ciclo de crescimento do coentro	41
Figura 4. Relacionamento entre o caule e a área foliar ao longo do desenvolvimento do coentro.....	42
Figura 5. Curso diário do índice de área foliar (IAF) no período de crescimento do coentro .	43
Figura 6. Curso temporal do desenvolvimento do índice da área foliar (IAF), do caule e da raiz no período experimental da cultura do coentro.....	44
Figura 7. Curso horário da umidade do solo (cm cm^{-3}) nas três profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm) na área experimental com a cultura do coentro	46
Figura 8. Curva de retenção de água no solo da área experimental em Itabaiana, SE.....	47
Figura 9. Média diária da precipitação + irrigação e da drenagem ao longo do período experimental da cultura do coentro.....	48
Figura 10. Curso diário da evapotranspiração do coentro pelo método do balanço hídrico no solo (ETc-BH), e pela metodologia do coeficiente de cultivo dual (ETc-Dual) durante o período experimental	50
Figura 11. Curso temporal do coeficiente de cultivo basal (Kcb), coeficiente de evaporação de água do solo (Ke) e coeficiente de cultivo dual (Kc dual) da cultura do coentro cultivada em Itabaiana, SE, em 2011.....	52

Figura 12. Relacionamento entre evapotranspiração obtida pelo balanço hídrico no solo e a evapotranspiração calculada a partir do Kc Dual do coentro cultivado em Itabaiana, SE.....53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias mensais das variáveis climatológicas em Itabaiana, SE, no período de 1989 – 2009	38
Tabela 2. Dados meteorológicos durante o período experimental da região de Itabaiana, SE em 2011	39
Tabela 3. Componentes de crescimento da cultura do coentro e o número de dias de cada fase do seu ciclo	40
Tabela 4. Valores médios dos componentes do balanço hídrico no solo (mm d^{-1}) durante os estádios do ciclo da cultura do coentro.....	45
Tabela 5. Análises física e química do solo da área experimental na profundidade de 0-30 cm	45
Tabela 6. Valores médios (mm d^{-1}) e acumulados (mm) da evapotranspiração da cultura do coentro e coeficientes de cultivos obtidos com base no balanço hídrico no solo e na metodologia do Kc dual.....	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. Consumo hídrico das culturas	14
2.2. Métodos de determinação e estimativa da evapotranspiração	15
2.3. A cultura do coentro	18
2.4. Balanço hídrico do solo	20
2.5. Coeficiente de cultivo (K_c)	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Caracterizações da área experimental	24
3.2. Manejo da área de estudo e tratos culturais	26
3.3. Coeficiente de cultivo simples (K_c)	28
3.4. Coeficiente de cultivo dual (K_c dual)	28
3.4.1. COEFICIENTE DE CULTURA BASAL (K_{CB})	29
3.4.2. COEFICIENTE DE EVAPORAÇÃO DO SOLO (K_e)	30
3.4.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE DE ÁGUA	33
3.4.4. TOTAL DE ÁGUA DISPONÍVEL (TAW)	33
3.4.5. Água facilmente disponível (RAW)	34
3.4.6. Balanço de água na zona radicular	34
3.5. Medições da evapotranspiração da cultura	35
3.6. Dados para o balanço hídrico no solo	36
3.7. Evapotranspiração de referência	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5. CONCLUSÕES	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente pelos recursos hídricos para atender ao consumo humano, bem como a indústria e a agricultura irrigada têm estimulado a pesquisa e a adoção de práticas que visam aperfeiçoar o seu uso. Dentre essas demandas se destacam aquelas relacionadas com o estudo das necessidades hídricas das culturas, em que se procura identificar as exigências das plantas em seus diferentes estádios de desenvolvimento.

Um dos fatores fundamentais ao bom desenvolvimento de uma cultura é o fornecimento de água de acordo com a sua demanda hídrica (Silva et al., 2009). Essa temática também está diretamente relacionada a auto sustentabilidade das unidades agrícolas, que dependem da incorporação de novas tecnologias de irrigação e de produção para uma boa produtividade. Para que a água de irrigação seja utilizada de forma racional durante o ciclo, há a necessidade de se determinar a evapotranspiração da cultura (ETc), principalmente em regiões como o semiárido nordestino, em que a escassez e a irregularidade pluviométrica são fatores limitantes da produção agrícola (Silva, 2004). A necessidade de água de uma cultura pode ser estimada por métodos indiretos ou diretos. As estimativas com base em métodos indiretos utilizam-se equações empíricas baseadas em vários estudos com dados climatológicos. Já a estimativa através de métodos diretos pode ser feita com a utilização de lisímetros. Sua utilização objetiva a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) que permite estimar a quantidade de água necessária para o desenvolvimento de uma cultura.

Outro fator também relevante neste contexto é a determinação do coeficiente de cultivo (Kc), que se caracteriza como componente importante no cálculo de estimativas das necessidades hídricas de culturas específicas às condições edafoclimáticas do local onde a cultura se desenvolve. A forma de determinação mais apurada dessa variável vem sendo estudada, de modo a proporcionar uma maior acurácia nas estimativas do consumo hídrico das culturas, que é a determinação do coeficiente de cultura dual. Esse procedimento é

recomendado nas estimativas melhoradas de Kc, que podem ser utilizados nas programações de irrigações para campos individuais diariamente (Allen et al., 1998).

O coentro (*Coriandrum sativum L.*) é uma hortaliça muito pouco estudada, apesar de ser considerada no ramo alimentício rica em vitaminas e sais minerais e com capacidade de produzir grandes quantidades de sua planta por unidade de área. As condições edafoclimáticas brasileiras permitem cultivar várias espécies desses vegetais durante o ano todo com o uso de irrigação. Essa olerícola é consumida em quase todo mundo, em face de suas excelentes características nutritivas na culinária, alto teor de vitaminas, propriedades medicinais, e considerável valor e importância sócio-econômica mundial. Diante disso, a demanda pela busca do aumento da produção em relação à olericultura é cada vez mais exigida, tanto no ramo da saúde quanto no agronegócio. Neste contexto, o presente trabalho tem os seguintes objetivos:

Geral: Determinar as necessidades hídricas e o coeficiente de cultivo da cultura de coentro nas condições edafoclimáticas brasileiras, especificamente, na região de Itabaiana, SE.

Específicos: (i) Determinar os coeficientes de cultivo simples e dual dessa hortaliça ao longo do ciclo de produção; (ii) Avaliar o desempenho do coeficiente de cultivo obtido com base na metodologia do Kc dual proposta por Allen et al. (1998); (iii) Avaliar as variáveis de crescimento da cultura ao longo do seu ciclo de produção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Consumo hídrico das culturas

As plantas necessitam manter um ambiente interno aquoso para seus processos gerais de crescimento. Quando as folhas das plantas abrem os estômatos para absorver o gás carbônico necessário à fotossíntese, perdem cerca de 250 moléculas de H₂O para cada uma de CO₂ absorvida, cujo valor provoca a transpiração dessas plantas (Taiz e Zeiger, 1991). Isso implica a contínua extração de água do solo, originando fortes relações entre transpiração, desenvolvimento vegetal e os diversos mecanismos responsáveis por manter o estado hídrico interno das plantas.

Em adição à transpiração, as plantas perdem água também de forma indireta, por meio de evaporação proveniente do solo. Esses processos somados resultam na evapotranspiração, ao passo que a distinção dos mesmos serve para explicar o consumo de água pelas culturas em condições de 'dossel não-fechado' e também para entender a resposta das culturas ao armazenamento de água (Loomis e Connor, 1992).

O termo evapotranspiração é definido como a ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas. Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (Pereira et al., 1997). Devido, tanto a sua importância no ciclo hidrológico, como no desenvolvimento de sistemas que envolvam o manejo da água, a evapotranspiração tem sido um fenômeno bastante abordado desde Thornthwaite (1948) para o caso da evapotranspiração potencial. Nesse estudo, foi definida a evapotranspiração potencial como a perda máxima de água em uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberta com vegetação, em fase de desenvolvimento ativo e com dimensões suficientemente grandes, de modo a minimizar os efeitos de energia advectiva no local. Dada a procura para a obtenção do consumo de água aos mais variados tipos de culturas, surgiu a necessidade de se definir a evapotranspiração

potencial para uma cultura de referência (ET_o), como aquela conceituada por Doorenbos & Pruitt (1977) que expressa a taxa de evapotranspiração que se produz desde uma extensa superfície, com cobertura de vegetação padronizada, de altura uniforme entre 8 e 15 cm, em ativo crescimento, com o solo completamente sombreado e sem déficit de água. Ao longo do tempo, a evapotranspiração de culturas se tornou uma das principais informações exigidas para o manejo de irrigação e para fins de planejamento do uso da água em bacias hidrográficas. Para Medina et al. (1998), a estimativa da evapotranspiração é essencialmente importante para o planejamento de irrigação, perdas de água de reservatório, previsões de escoamento superficial e em estudos de meteorologia e climatologia.

2.2. Métodos de determinação e estimativa da evapotranspiração

Diversos são os métodos para computar a quantidade de água disponível em uma área vegetada. Segundo Burman et al. (1983) as metodologias são divididas em dois grandes grupos: o modo direto e o indireto. O modo direto se dá através de evapotranspirômetros ou lisímetros (de pesagem, drenagem e lençol freático constante), balanço hídrico e controle de umidade no solo; e o segundo grupo é determinado de forma indireta com base nas estimativas da evapotranspiração através de equações empíricas formuladas a partir de vários estudos por meio de dados climáticos. Por outro lado, como afirmam Doorenbos e Pruitt (1977), deve-se ter atenção com relação a obtenção de ET_o para os métodos empíricos a serem aplicados, pois os mesmos podem apresentar discrepâncias à medida que as condições locais se diferenciam daquelas que foram propostas. Segundo esses autores, os métodos mais simples apresentam maiores discrepâncias, isso se deve ao fato desses métodos conterem vários coeficientes de regressão, dependentes de parâmetros climáticos não inseridos nas fórmulas, com necessidade de calibração local dos métodos empíricos. Eles ainda afirmam que apesar dos métodos como o de Penman, no qual se fundamentam em melhor base teórica,

apresenta altas correlações com valores observados, podem apresentar resultados diferentes dos reais, quando aplicados sob certas condições de clima.

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), consideram o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) como padrão de estimativas da ETo, a partir de dados meteorológicos, sendo também utilizado para avaliar outros métodos de estimativa (Smith, 1991). Para se fazer aplicações da evapotranspiração em diversas atividades, como na utilização de recursos hídricos, por exemplo, essa estimativa é um conhecimento de grande necessidade. De acordo com Wei e Sado (1994) para utilizar os recursos hídricos mais efetivamente e com mais precisão, a estimativa da evapotranspiração é muito importante. Para Medina et al. (1998), a estimativa da evapotranspiração é essencial no planejamento de irrigação, perdas de água de reservatório, previsões de escoamento superficial e em estudos de meteorologia e climatologia. Em aplicações agrícolas, estas estimativas são ainda mais necessárias, pois a evapotranspiração é a quantidade total de água perdida pelo sistema, que deve ser determinada com maior cuidado possível a fim de ser a resposta e manter sempre o sistema de cultivo em condições de máximo relacionamento com o meio (Ometto, 1981). Desta forma, o conhecimento da evapotranspiração ou fluxo convectivo de calor latente contribuirá para uma utilização mais racional da água em uma determinada cultura em que as fases críticas de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo são limitadas pelo fator hídrico (Cunha et al., 2002).

O conhecimento dos valores precisos do Kc é particularmente importante para a determinação das necessidades hídricas das culturas, tanto em termos de manejo da água de irrigação, como também no planejamento de sistemas hidroagrícolas. Ressalta-se que o uso inadequado dos métodos de estimativa da ETo às condições climáticas, a falta de precisão na estimativa, bem como o erro devido ao uso de instrumentos de medições, em geral, conduzem

ao manejo inadequado da água, afetando muitas vezes a produção agrícola (Silva et al., 2005). Nesse particular, muitas pesquisas já foram realizadas visando a determinação do consumo hídrico de diferentes culturas no Brasil (Silva et al., 2001; Azevedo et al., 2003; Azevedo et al., 2006; Azevedo et al., 2008; Souza et al., 2008; Silva et al., 2009). Entretanto, nenhuma delas trata do coeficiente de cultivo dual, em especial para hortaliças, foco principal deste trabalho.

A relação dos conceitos da ETo e do Kc dual (Allen et al., 1998, Allen, 2000), é considerada a abordagem mais utilizada em termos de acurácia dos valores de evapotranspiração. A metodologia do Kc dual consiste na conjunção do coeficiente basal da cultura (Kcb) e do coeficiente de evaporação do solo (Ke) (Allen et al., 1998; Allen, 2000). Sendo a demanda atmosférica representada pela ETo, e a variação das características específicas da cultura se dá através do Kc, com o estágio fenológico, a umidade do solo de uma forma limitada e o tempo (Allen et al., 1998). Para a aquisição do Ke é importante o cálculo do balanço hídrico diário do solo, nos quais são necessários como variáveis de entrada parâmetros físicos do solo, como capacidade de campo, ponto murcha permanente e água evaporável (Allen et al., 1998; Allen, 2000). Assim, tendo em vista a importância da agricultura para a economia brasileira, experimentos agrometeorológicos específicos para a determinação do Kc dessas culturas irão propiciar informações relevantes para a agricultura irrigada.

Na escolha de um método para a determinação da evapotranspiração devem ser levados em consideração praticidade e precisão, pois, apesar dos métodos teóricos e micrometeorológicos serem baseados em princípios físicos, eles também apresentam limitações, principalmente quanto à precisão instrumental, o que pode restringir a sua utilização (Campos et al., 2008). Atualmente, ocorre certa tendência para a utilização de estações meteorológicas automatizadas que auxiliam na determinação da ETo, diminuindo,

assim, erros na lâmina de água a ser aplicada à cultura. Quando programadas, essas estações podem utilizar o método de Penman-Monteith para a determinação da ETo, porém, a maior parte dos produtores utiliza outros métodos porque não dispõe desses equipamentos, impossibilitando-os de determinar de forma confiável a demanda atmosférica pelo método-padrão estabelecido pela FAO (Silva et al., 2005).

2.3. A cultura do coentro

O coentro (*Coriandrum sativum L.*) é uma hortaliça herbácea anual pertencente à família Apiaceae, nativa da bacia do Mar Mediterrâneo. A sua versatilidade de uso propicia a essa olerácea grande valor e importância sócio-econômica mundial, destacando-se mais na Ásia, onde se localizam os países líderes de produção e consumo, com grande importância para a culinária, utilizações aromáticas e medicinais (Diederichsen, 1996; Ramadan & Wahdan, 2012), e, também, com ampla utilização na indústria alimentícia (Aluko et al, 2001.; Burdok e Carabin, 2009; Michalczyk et al., 2012), farmacêutica (Jabeen et al., 2009) e cosméticos (Eyres et al., 2005).

A cultura do coentro se destaca como um condimento apreciado pelas suas folhas, cujo sabor e aroma, muito ativo e peculiar, são incorporados a pratos de peixes e sopas portuguesas. O seu cultivo objetiva a produção de massa verde fresca, enquanto os frutos secos (sementes) são largamente utilizados na indústria de condimentos, sendo que, alguns tipos varietais são utilizados para extração de óleos essenciais de alto valor agregado, empregados nas indústrias de flavorizantes, cosméticos e medicamentos (Rangahau, 2001). Ela é rica em vitaminas B1, B2 e C (75 mg 100 g⁻¹), sendo boa fonte de cálcio (188 mg 100 g⁻¹), ferro (3 mg 100 g⁻¹) e pró-vitamina A (Haag e Minami, 1998; Melo et al., 2009), e ainda proteínas, gordura, minerais, fibras, carboidratos, água, fósforo, caroteno, tiamina, riboflavina, sódio, potássio e ácido oxálico (Sarimeseli, 2011).

No Brasil, o coentro é amplamente consumido como condimento, e provavelmente, em valor de mercado, seja a segunda hortaliça folhosa em importância para o país, perdendo somente para a alface (Bertini et al., 2010). Essa olerácea é uma cultura de clima quente, não suportando baixas temperaturas, razão pela qual é semeado de setembro a fevereiro, em localidades altas e frias. Já em regiões de clima quente e baixa altitude, pode ser semeado durante o ano todo (Filgueira, 1982). Por esse fato, ela possui um papel social muito importante, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (Bezerra et al., 1990; Wanderley e Nascimento, 2008). Esta hortaliça é cultivada no Estado da Paraíba em quase todas as micro-regiões por pequenos agricultores, sem nenhuma orientação técnica, o que tem proporcionado baixa produtividade, principalmente devido à falta de cultivares mais adaptadas às diferentes zonas de cultivo (Oliveira et al., 2007, Alves et al., 2005). Isso se deve a pouca pesquisa feita a respeito do coentro, incluindo a tecnologia adequada para a sua produção (Filgueira, 2000) e desenvolvimento de novos cultivares (Pereira et al., 2005).

Pode-se encontrar resultados de pesquisas de coentro no Brasil referentes à qualidade da semente (Pereira et al., 2005), comparação entre genótipos (Oliveira et al., 2007), nutrição mineral (Alves et al., 2005), transmissão de patógenos pelas sementes (Reis et al., 2006) e estudo da variabilidade genética (Melo et al., 2009). No entanto, estudos referentes ao cultivo do coentro são escassos na literatura, como por exemplo, a quantificação de seu consumo hídrico, necessários para um manejo adequado de modo a aumentar sua produção com efeitos industriais. Tem-se conhecimento dos benefícios de suas propriedades nos mais variados setores, tanto de sua massa vegetal, como principalmente dos frutos (sementes), desde a culinária até a composição de ácidos característicos na produção de combustíveis automotores, denotando com isso e seu alto potencial na indústria e no comércio. Pesquisas recentes abordam a utilização de extratos da folha de coentro como um agente redutor de íons resultando na biossíntese de nano partículas de ouro, com potentes aplicações para a

biomedicina, indústria farmacêutica e biotecnologias, com diversas vantagens de custo-benefício, bem como para a produção em larga escala comercial (Narayanan e Sakthivel, 2008). O óleo vegetal extraído a partir dos frutos do coentro possui uma alta concentração de ácidos graxos monoinsaturados, especialmente de ácido petroselinico, composto útil para a produção de detergentes, e podem ser utilizados na síntese de polímeros de nylon (Msaada et al., 2009; Murphy, 1991).

No ramo da medicina, o óleo da semente do coentro tem demonstrado propriedades antimicrobianas, como por exemplo, em estudo realizado por Elgayyar et al. (2001) em que na observação do crescimento de alguns fungos e bactérias como a *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Staphylococcus aureus* e *Rhodotorula sp*, verificou-se sua inibição completa sob condições *in vitro* pela presença da essência do óleo de coentro. Outras propriedades como: antibacterianas (Kubo et al, 2004; Matasyoh et al., 2009), antioxidantes (Wangensteen et al., 2004), antidiabéticos (Gallagher et al., 2003), anticancerígenas e antimutagênicas (Chithra & Leelamma, 2000) foram igualmente constatadas. Estudo recente realizado por Moser & Vaughn (2010) também aborda sobre as propriedades do seu óleo vegetal com uma grande importância comercial apresentando um perfil composto pelos cinco tipos de ácidos graxos (palmítico, esteárico, oléico, linoléico e linolênico), característicos para a produção do biodiesel. A condução de experimentos regionais do coentro de modo a buscar melhorias na sua produção em larga escala, adaptadas às condições edafoclimáticas da região, seria uma boa alternativa para a otimização de produção dessa cultura.

2.4. Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico consiste na contabilização da quantidade de água contida no solo, ou seja, entrada (ganho) e saída (perda) de água, e armazenamento de água no solo. As mudanças no conteúdo de água do solo são controladas por três processos: (1) evaporação da

superfície do solo, (2) transpiração da cultura e (3) drenagem na camada inferior do perfil do solo (Zhao et al., 2004). De acordo com Kimura et al. (2005), a umidade do solo é o fator mais importante que oferece suporte a produção da planta, sendo necessário entender os saldos de calor e água, que geram a dinâmica da água do solo da área local, a fim de obter os benefícios do plantio. O estudo das componentes do balanço hídrico do solo fornece úteis informações para o gerenciamento da cultura de sequeiro e agricultura irrigada, pois revela as características da água do sistema solo-planta-atmosfera durante o desenvolvimento das culturas (Ghiberto et al., 2011). Devido a isso, Streck e Alberto (2006) ressaltam ainda que o armazenamento de água no solo é uma componente do ciclo hidrológico que influencia diretamente a quantidade de água disponível para as culturas agrícolas, o que por sua vez afeta o seu desenvolvimento, crescimento, rendimento e a necessidade de irrigação.

Segundo Cintra et al. (2000), a importância do balanço hídrico não está só relacionada ao conhecimento dos fatores que o compõem como: evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar, escoamento superficial, mas também ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa um importante fator para a interpretação coerente dos resultados da contabilidade hídrica do solo.

O processo de entrada de água no solo se avalia a partir da precipitação e/ou irrigação. Quanto à precipitação, o grau de molhamento do perfil do solo depende da intensidade e duração da precipitação e da topografia do terreno. Em solos com topografia acentuada, a precipitação não é fator preponderante no molhamento do solo, pois o que se evidencia é o escoamento superficial. No entanto, solos com topografia suave favorecem a infiltração e a duração da precipitação; logo, torna-se um fator importante para o processo de molhamento do perfil do solo, principalmente se a intensidade de precipitação é baixa (Campos et al., 2008). A dinâmica da água no solo está diretamente relacionada à produção vegetal, e o balanço hídrico do solo propicia caracterizar fatores que interferem no movimento da água no

sistema solo-planta-atmosfera que envolve processos como infiltração, redistribuição, drenagem e absorção pelas plantas (Lima et al., 2006).

A necessidade de aumentar a produção de alimentos aliada à globalização do comércio e à competitividade dos produtos agrícolas tem estimulado produtores a buscarem técnicas alternativas para a melhoria da produtividade e redução de custos, bem como melhor manuseio dos recursos hídricos no semiárido nordestino. O método do balanço hídrico tem sido utilizado para obter a evapotranspiração de pomar em trabalhos realizados por Evans et al. (1993), Clark et al. (1996), Azevedo et al. (2006), Silva et al. (2009). A realização do balanço hídrico do solo da cultura do coentro é proposta como parte integrante da metodologia para quantificar o consumo hídrico desta cultura no semiárido nordestino. De fato, informações sobre a cultura do coentro são de grande relevância para a agricultura, pois pouco se sabe a respeito desta cultura que é tão utilizada e bem aceita na culinária mundial. Nesse sentido, o método que possibilita o estudo mais detalhado das condições hídricas em que a cultura se desenvolve é o que quantifica os processos da equação do balanço da água no solo (Silva, 2000; Antonino et al., 2000; Cintra et al., 2000; Timm et al., 2002; Azevedo et al., 2003; Cruz et al., 2005).

2.5. Coeficiente de cultivo (Kc)

O consumo de água de culturas determinado em condições específicas de um dado local, ano e época de semeadura, não pode sofrer alterações em valores absolutos para outras condições. Na obtenção das necessidades hídricas de uma cultura, estimada em uma condição específica, é necessário determinar o coeficiente de cultivo (Kc), pois ele integra as características da cultura (varia de acordo com a fase fenológica) e o clima local (Doorenbos e Pruitt, 1977). Muitas abordagens a respeito da estimativa de consumo de água pelas plantas têm sido realizadas, inclusive através do produto do Kc pela ETo, cuja determinação é com

base em dados meteorológicos. As metodologias e procedimentos de cálculo de ET_o têm sido apresentados e recomendados pela Food and Agriculture Organization-- FAO (Doorenbos e Pruitt, 1975; Doorenbos e Kassan, 1979; Allen et al., 1998; Silva et al., 2005).

O cômputo dos valores de K_c se dá por meio da relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c), avaliada experimentalmente, e a ET_o , obtida pelo emprego de modelos de estimativa (Stone e Silveira, 1995). Existem formas ainda mais precisas de se determinar os coeficientes de cultura levando-se em consideração efeitos de eventos específicos para obtenção de valores de K_c . Esses procedimentos consistem em dividir K_c em dois coeficientes distintos, sendo um caracterizando a transpiração da cultura, o K_{cb} , e outro responsável pela quantificação da evaporação da superfície do solo (K_e) (Allen et al., 1998). A abordagem do K_c dual apresenta-se de forma mais complexa, pois o seu procedimento de cálculo é realizado com base em dados diários durante todas as fases fenológicas da cultura, bem como a transpiração da cultura associada às condições climáticas local e a determinação da evaporação do solo. A determinação do K_c dual é mais recomendada para o manejo de sistema de irrigação, para cálculos de balanço hídrico do solo e para pesquisa, levando-se em consideração os efeitos das variações diárias de umedecimento do perfil do solo e seu impacto resultante no valor diário da ET_c . Poucas são as abordagens sobre o K_c dual nas condições edafoclimáticas brasileiras, embora propiciem significativa contribuição para a avaliação, precisão e possível ajuste de determinação de um K_c único.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterizações da área experimental

O presente estudo foi conduzido na Unidade de Produção de Hortaliças, em área do “Projeto Pequeno Produtor Grande Empreendedor” parceria entre a Universidade Federal de Sergipe e Grupo G. Barbosa (rede de supermercados e hipermercados do estado de Sergipe), no município de Itabaiana, SE. A sua localização geográfica é a seguinte: latitude 10°41'06”S, longitude 37°25'31”W e altitude 188 m, centrado na faixa centro-ocidental do estado de Sergipe, limitando-se com os seguintes municípios sergipanos: ao norte com o município de Riberópolis, ao sul com os municípios de Areia Branca e Itaporanga D’Ajuda, a leste com Malhador, a oeste Campo do Brito. O município de Itabaiana possui uma extensão territorial de 336,9 km², ocupando apenas 1,53% do território sergipano. Sua sede municipal distancia-se da capital do estado, Aracaju, em 56 km (Carvalho & Costa, 2010).

Ainda segundo Carvalho & Costa (2010), o município de Itabaiana é considerado uma referência na comercialização e na distribuição de hortifrutigranjeiros, pois toda uma infraestrutura foi desenvolvida, como: rede rodoviária, a construção do Açude da Macela e das Barragens, Jacarecica I e Ribeira, a instalação da EMDAGRO (Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe) e da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) e a construção do Mercado de Hortifrutigranjeiros. Dessa forma, esse município se destaca como importante entreposto comercial atacadista de hortifrutigranjeiros do Estado de Sergipe, competindo, em termos de atração comercial, com os maiores mercados atacadistas de hortifrutigranjeiros do nordeste. A localização geográfica do município de Itabaiana, SE, é apresentada na Figura 1. Essa região, por localizar-se no agreste sergipano em uma área de transição entre a zona da mata e o sertão sergipano, possui o clima de acordo com a classificação de Köppen, do tipo As, clima quente, com temperatura média de 24,5 °C, evapotranspiração de 1.850 mm anual, umidade relativa média de 60% (Silva, 2004).

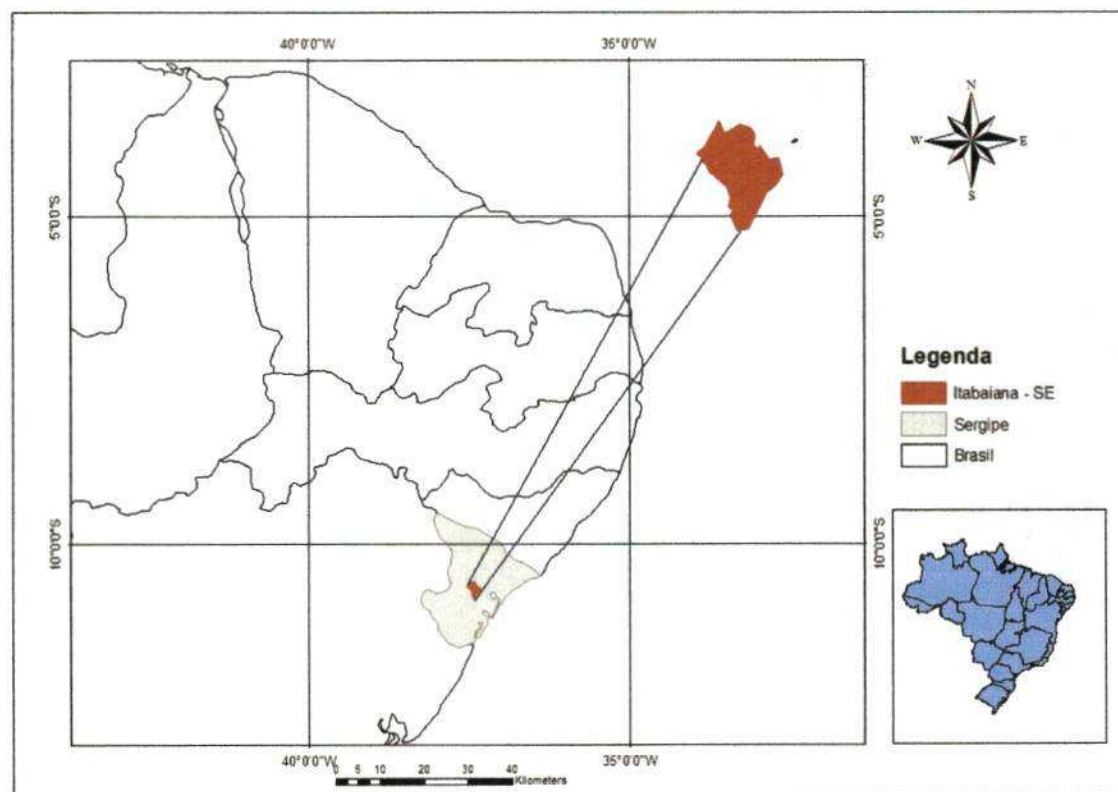


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, com destaque para o município de Itabaiana no Estado de Sergipe

O regime pluviométrico na região possui uma distribuição irregular espacial e temporal, que é uma característica da região Nordeste do Brasil, em função disso a sua sazonalidade de precipitação concentra quase todo o seu volume durante os cinco meses no período de inverno (Silva, 2004). A precipitação local fica em torno de 750 a 1000 mm, sendo o período chuvoso de março a agosto (Nunes, 2002). O município de Itabaiana possui um relevo plano com elevações que circundam todo o município; é cortado por várias bacias hidrográficas, destacando a bacia secundária do Jacarecica e do médio curso do rio Sergipe (Lopes et al., 2007). O solo da área experimental é classificado como Argissolo vermelho amarelo, cuja textura é franco arenoso. As análises químicas e físicas do solo da área

experimental foram realizadas no Laboratório de solo do Departamento de Ciência do Solo na Universidade Federal de Lavras.

3.2. Manejo da área de estudo e tratos culturais

A área experimental foi subdividida em tratamentos dispostos em esquema de sete leiras medindo 9,5 m de comprimento por 0,7 m de largura (Figura 2a), com espaçamento entre as covas de 20 cm. O coentro utilizado no experimento foi da cultivar Verdão. A semeadura, a partir de sementes da marca Sakata, foi realizada no dia 02 de agosto de 2011 (Figura 2b), utilizando-se 4 sementes por cova, de modo a minimizar o insucesso da germinação da planta. A cultivar Verdão é precoce, de ciclo de 30 a 40 dias, sendo uma planta bastante vigorosa, com folhas de coloração verde escura excelente rusticidade e boa resistência às doenças de folhagens, onde se verificou, em relação a produção de massa verde, adaptada às condições de cultivo da região semiárida (Lima et al., 2007). Em termos de comercialização, essa cultivar é líder de mercado em todo o Brasil (Hortivale, 2011). Foram realizados os devidos tratos culturais, com as limpezas dos canteiros efetuadas no dia 25 de agosto de 2011 e incorporado ao solo 70 kg de esterco distribuídos nas sete leiras.

O sistema de irrigação utilizado no manejo hídrico foi por micro aspersão (Figura 2c), realizado diariamente nas plantas da bordadura ($6,9 \text{ mm d}^{-1}$), com o intuito de aprimorar o potencial de água no solo, de modo a suprir as necessidades hídricas da planta. Para a análise de crescimento das plantas foram feitas medições, a cada cinco dias, da altura, comprimento das raízes e caules (Figura 2d) e da área foliar. Avaliou-se a altura de plantas a partir do nível do solo até a extremidade das folhas mais altas, expressa em centímetros (Figura 2e). Para a medição da área foliar da cultura do coentro utilizou-se um equipamento medidor de área foliar da Marca LI-COR, Série LI-3000c (Figura 2f).

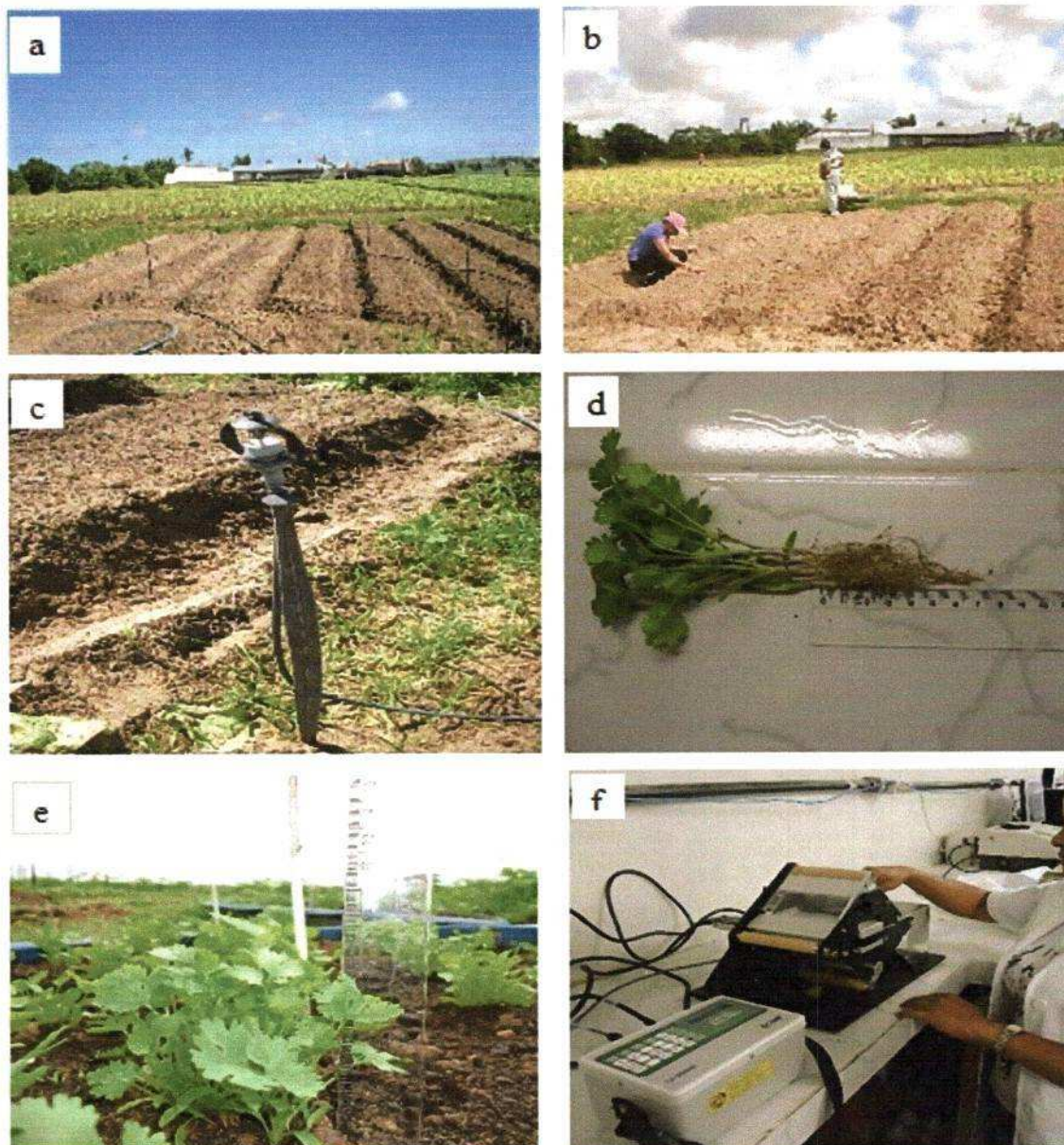


Figura 2. Imagens da área experimental coma cultura do coentro e equipamentos utilizados da determinação da varáveis de crescimento

Os dados observacionais para a determinação da ETo foram obtidos em uma Estação Meteorológica do Perímetro Irrigado Ribeira, localizada no município de Itabaiana, SE. Esta estação coletou dados diários de precipitação pluviométrica, temperatura do ar média, máxima e mínima, umidade relativa do ar média, máxima e mínima, velocidade do vento, insolação e evaporação do tanque classe A.

3.3. Coeficiente de cultivo simples (Kc)

O Kc é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas, devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais, nas quais será utilizado. Para a cultura do coentro o coeficiente de Kc foi obtido como a razão entre o ETc do coentro e a ETo definido por dados meteorológicos. Na nomenclatura da FAO-56 a Kc é expressa por:.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (1)$$

em que ETc é a evapotranspiração da cultura, mm; ETo é a evapotranspiração de referência, mm e Kc é o coeficiente da cultura, adimensional. De acordo com Allen et al. (1998), a maioria dos efeitos meteorológicos se encontra incorporada na estimativa de ETo. Portanto, enquanto ETo representa um indicador da demanda atmosférica, o Kc integra as características da cultura, e varia de acordo com a fase fenológica (Doorenbos e Pruitt, 1977).

3.4. Coeficiente de cultivo dual (Kc dual)

A estimativa do Kc dual proposta por Allen et al. (1998) é considerada como o método mais eficiente; isso se deve a combinação dos efeitos da transpiração da cultura e da evaporação do solo em um Kc único. O Kc dual é determinado separadamente, utilizando-se dois coeficientes – Kcb para descrever a transpiração da planta e o Ke para descrever a evaporação que ocorre na superfície do solo. Este método proporciona observar mais claramente as frações da água utilizadas pela cultura, seja da precipitação ou da irrigação, de forma que o Kc seja representado conforme a equação:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (2)$$

3.4.1. Coeficiente de cultura basal (Kcb)

Por definição, o coeficiente de cultura basal é dito ser a razão entre a ETc e a ET0, quando o solo está seco, com a transpiração da cultura a uma taxa potencial. O primeiro fator a ser considerado é a definição da duração das fases de crescimento da cultura, divididas nos estádios: inicial, desenvolvimento, médio e final. Em seguida, selecionar os coeficientes de cultivos basais (Kcb) correspondentes a cada fase do desenvolvimento da cultura. Os valores tabelados recomendados para Kcb para locais de clima subúmido ($UR \approx 45\%$ e velocidade do vento moderada ($u_2 \approx 2\text{m/s}$) podem ser encontrados no Boletim 56-FAO (Allen et al. (1998). Em localidades de climas diferentes, como é o caso do presente estudo, é necessário fazer o ajuste específico utilizando-se a seguinte equação:

$$K_{cb} = K_{cb(\text{Tab})} + [0,04 \times (u_2 - 2) - 0,004 \times (UR_{\text{min}} - 45)] \times \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (3)$$

em que Kcb é o coeficiente de cultura basal, adimensional; $K_{cb(\text{Tab})}$ o coeficiente de cultura basal tabelado, adimensional; u^2 é a velocidade do vento média diária à altura de 2 m (m/s); UR_{min} é o valor médio da umidade relativa do ar mínima diária do período (%); h é a altura média da planta nos estágios médio e final (m). Para a aquisição dos valores do Kcb, bem como a construção de sua curva para qualquer dia L do ciclo da cultura, é necessária a determinação de apenas três pontos, obtidos a partir da equação a seguir:

$$K_{cb(i)} = K_{cb(\text{ant})} + \left[\frac{i - \sum(L_{\text{ant}})}{L_{\text{período}}} \right] (K_{cb(\text{prox})} - K_{cb(\text{ant})}) \quad (4)$$

em que $K_{cb(i)}$ é o coeficiente basal no dia i; i é o número do dia do período de crescimento;

$L_{\text{período}}$ é a duração do período; $\sum(L_{\text{ant}})$ é o somatório das durações dos períodos anteriores;

$K_{cb(\text{ant})}$ é o coeficiente de cultura do período anterior e $K_{cb(\text{prox})}$ é o Kcb do próximo período.

3.4.2. Coeficiente de evaporação do solo (Ke)

O coeficiente de evaporação do solo K_e descreve a componente de evaporação da ETc. Após a chuva ou irrigação, quando a camada superior do solo fica molhada, K_e é máximo. O cálculo do coeficiente de evaporação do solo K_e dá-se da seguinte forma:

$$K_e = K_r (K_{c\max} - K_{cb}) \leq f_{ew} K_{c\max} \quad (5)$$

em que K_e é o coeficiente de evaporação do solo, adimensional; K_r é o coeficiente de redução da evaporação, dependente do acúmulo de água evaporada, adimensional; $K_{c\max}$ é o valor máximo de K_c após a chuva ou irrigação, adimensional; f_{ew} é a fração do solo exposta à radiação solar e molhada, em %. A evaporação é governada pela quantidade de energia disponível à superfície do solo, a qual depende da porção da energia total consumida pela planta através da transpiração, e restringida pela energia disponível na fração exposta. Devido a este fator K_e não pode exceder $f_{ew} \times K_{c\max}$ (segundo termo da equação).

Para o cálculo diário do K_e , é necessário calcular as seguintes variáveis: $K_{c\max}$, K_r e f_{ew} . O $K_{c\max}$ representa o valor máximo do K_c de qualquer superfície cultivada, calculado pela equação:

$$K_{c\max} = \max \left\{ \left[1,2 + [0,04 \times (u_2 - 2) - 0,004 \times (UR_{\min} - 45)] \times \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \right], \{K_{cb} + 0,05\} \right\} \quad (6)$$

Os valores de u_2 , UR_{\min} e h , utilizados nesta equação foram os mesmos utilizados para a estimativa do K_{cb} (Eq. 3). Quando os valores dos K_c 's médio e final são inferiores a 0,45 e a umidade relativa e velocidade do vento diferem de 45% e 2 m s^{-1} , respectivamente, eles devem ser ajustados de acordo com as seguintes equações:

$$K_{c\text{ med}} = K_{c\text{ med(Tab)}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (7)$$

$$K_{c\text{ fin}} = K_{c\text{ fin(Tab)}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (8)$$

No primeiro estágio, a energia incidente é que limita a evaporação, pois a superfície está molhada (após chuva ou irrigação); nesse estágio, o K_r é igual a 1. Quando a água contida na superfície do solo se torna limitante para o processo evaporativo, o K_r decresce e torna-se zero quando a quantidade total de água evaporável da superfície do solo se extingue. No segundo estágio, o K_r é calculado pela equação abaixo (Allen et al., 1998).

O coeficiente de redução K_r , após a chuva ou irrigação é igual a um. À medida que a superfície do solo fica seca, começa a ocorrer uma redução da evaporação na proporção da quantidade de água remanescente na camada superficial do solo, no qual K_r torna-se menor que um, e zero quando não há água por evaporação e pode ser calculado na equação a seguir:

$$K_r = \frac{TEW - D_{e,i-1}}{TEW - REW} \quad (9)$$

em que TEW é o total de água evaporável da camada superficial do solo, em mm; $D_{e,i-1}$, lâmina d'água acumulada evaporada da camada superficial do solo ao final do dia anterior ($i-1$), em mm; e REW é a água facilmente evaporável, em mm.

$$TEW = \frac{(CC - 0,5PM)}{10} \times Z_e \quad (10)$$

em que CC é a capacidade de campo, em %; PM é o ponto de murcha permanente, em %; Z_e é a profundidade da superfície solo sujeita a evaporação, em cm (10 a 15 cm). O termo REW será estimado pela equação seguinte:

$$REW = 8 + 0,08Arg \quad (11)$$

em que Arg = teor médio de argila no solo, na camada de 0-30 cm. As lâminas d'água acumuladas evaporadas da camada superficial do solo são determinadas a partir do balanço hídrico diário da camada superficial do solo com objetivo de determinar a lâmina acumulada de evaporação. Este balanço é determinado por meio da seguinte equação:

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - (P_i - RO_i) - \frac{I_i}{f_w} + \frac{E_i}{f_{cw}} + T_{cw,i} + DP_{e,i} \quad (12)$$

em que $D_{e,i}$ é a lâmina de água acumulada evaporada da camada superficial do solo ao final do dia i , em mm; e P_i é a precipitação no dia i , em mm; RO_i é o escoamento superficial no dia i , em mm; I_i a lâmina de irrigação no dia i , em mm; E_i a evaporação no dia i , em mm; $T_{ew,i}$ a lâmina transpirada na fração exposta e umedecida da superfície do solo no dia i , em mm; $DP_{e,i}$ as perdas por percolação profunda no dia i (equação 11), em mm; f_w , é a fração da superfície do solo molhada pela irrigação (0,01-1), adimensional; f_{ew} é a fração de solo exposta e molhada, adimensional.

Para iniciar o balanço hídrico diário, assume-se que toda água evaporável da camada superficial do solo esgotou-se, considerando o valor inicial de $D_{e,i-1} = TEW$. Os termos E_i e $DP_{e,i}$, são dados pelas equações 11 e 12, respectivamente:

$$E_i = K_e \times ET_o \quad (13)$$

$$DP_{e,i} = (P_i - RO_i) + \frac{I_i}{f_w} - D_{e,i-1} \quad (14)$$

A fração exposta e molhada da superfície (f_{ew}) define a percentagem da área de cultivo mais susceptível ao processo evaporativo, e calcula-se pela equação a seguir:

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \quad (15)$$

em que f_c é a fração média de solo coberto; $1 - f_c$ é a fração média de solo exposto e não coberto (ou sombreado) por vegetação, variando de 0,01 a 1; e f_w é a fração da superfície do solo molhada pela irrigação ou precipitação, variando de 0,01 a 1. Quando não existe nem irrigação nem precipitação significativa, f_w é igual ao f_w do dia anterior. Porém, quando f_c não é medido em campo, ele pode ser estimado pela seguinte equação:

$$f_c = \left(\frac{K_{cb} - K_{cmin}}{K_{cmax} - K_{cmin}} \right)^{(1+0,5h)} \quad (16)$$

em que f_c é a fração média de solo coberto, K_{cb} o coeficiente de cultura basal, K_{cmin} é o K_c

mínimo para solo seco nu sem nenhuma cobertura de solo (0,15-0,20), $K_{c \max}$ é o K_c máximo logo após o umedecimento do solo e h a altura da planta.

3.4.3. Evapotranspiração em condições de estresse de água

Os efeitos de estresse de água no solo são obtidos pelo produto do coeficiente de cultivo basal e o coeficiente de estresse de água (K_s), da seguinte forma:

$$ET_{aj} = (K_s K_{cb} + K_e) ET_o \quad (17)$$

Para condições em que ocorrem limitações de água no solo $K_s < 1$; entretanto, quando não existe estresse de água no solo $K_s = 1$. O termo K_s incorpora os efeitos do estresse de água na evapotranspiração da cultura. Quando é usado o coeficiente de cultivo simples, tem-se:

$$ET_{aj} = K_s K_c ET_o \quad (18)$$

Como o estresse de água no solo impacta apenas a evapotranspiração, a Eq. (17) oferece estimativas mais precisas do que a Eq. (18). Os procedimentos para a obtenção do coeficiente de estresse de água são apresentados a seguir.

3.4.4. Total de água disponível (TAW)

Após uma chuva forte ou irrigação, o solo drena até alcançar a capacidade de campo, o total de água disponível na zona de raiz é dado por:

$$TAW = 1000(\theta_{cc} - \theta_{pmp}) Z_r \quad (19)$$

em que TAW = total de água disponível na zona de raiz (mm), θ_{cc} = conteúdo de água à capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), θ_{pmp} = conteúdo de água no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e Z_r = profundidade da raiz (m)

3.4.5. Água facilmente disponível (RAW)

A fração de TAW que a cultura pode extrair sem sofrer estresse é chamada de água no solo facilmente disponível (RAW)

$$RAW = pTAW \quad (20)$$

em que RAW = água no solo facilmente disponível na zona de raiz (mm), p = fração média de TAW que pode ser reduzida da zona de raiz antes do estresse de umidade.

Os efeitos do estresse hídrico na ET da cultura são descritos pela redução do valor do coeficiente de cultivo. Tais efeitos são obtidos através da multiplicação do coeficiente de cultura pelo coeficiente de estresse hídrico (K_s). Portanto, o coeficiente de estresse hídrico assume as seguintes condições:

$$K_s = 1, \text{ para } Dr_{i-1} \leq RAW \quad (21)$$

$$K_s = \frac{TAW - Dr_{i-1}}{TAW - RAW} \text{ para } Dr_{i-1} > RAW \quad (22)$$

em que K_s = coeficiente de estresse hídrico, depende da água disponível no solo [0-1], Dr_{i-1} = redução de água na zona radicular no dia anterior [mm], TAW = total de água disponível na zona radicular do solo [mm] e RAW = água facilmente disponível na zona radicular [mm].

3.4.6. Balanço de água na zona radicular

A depleção (ou redução) de água na zona radicular no final do dia i pode ser estimada por:

$$Dr_i = Dr_{i-1} - P_i + RO_i - I_i - CR_i + ET_i + DP_i \quad (23)$$

em que Dr_i = redução de água na zona radicular no final do dia i [mm], Dr_{i-1} = Redução de água na zona radicular no fim do dia anterior, i-1 [mm], P_i = Precipitação no dia i [mm], RO_i = Escoamento superficial do solo no dia i [mm], I_i = Irrigação no dia i [mm], CR_i = Ascensão capilar a partir da coluna do lençol freático no dia i [mm], ET_i = Evapotranspiração da cultura

no dia i [mm] e $DP_i =$ Perdas de água fora da zona radicular por percolação no dia i [mm]. No primeiro dia de elaboração do balanço $Dr_{i-1} = RAW$; em seguida, o Dr_i no final do dia é obtido pela Eq. 23.

Para iniciar o balanço de água na zona radicular, a depleção inicial (Dr_{i-1}) na zona radicular no primeiro dia deve ser estimada. A redução inicial pode ser derivada a partir da quantidade de água no solo por:

$$Dr_{i-1} = 1000(\theta_{CC} - \theta_{i-1})Z_r \quad (24)$$

em que Dr_{i-1} = redução de água da zona radicular no fim do dia anterior, $i-1$ [mm], θ_{CC} = umidade do solo à capacidade de campo em (m^3/m^3), θ_{i-1} = umidade de solo médio na zona radicular em (m^3/m^3), Z_r = Profundidade radicular (m).

Após forte chuva ou irrigação, a umidade do solo na zona radicular pode exceder a capacidade campo. Nesse caso, presume-se que a umidade do solo está em capacidade de campo nesse dia, de forma que a Dr_{i-1} na Eq. 23 torna-se nula. Assim, após fortes chuvas ou irrigação a percolação é dada por:

$$DP_i = (P_i - RO_i) + I_i - Dr_{i-1} \quad (25)$$

3.5. Medições da evapotranspiração da cultura

A evapotranspiração do coentro foi também determinada pelo método do balanço hídrico no solo, expresso por (Libardi, 1995):

$$ET_c = P + I + A - D \pm \Delta W \pm R \quad (26)$$

em que P é a precipitação pluviométrica; I a lâmina de irrigação; A a ascensão capilar; D a drenagem profunda; ΔW a variação da lâmina de água disponível no solo e R o escoamento superficial. Todos os componentes da Eq. (26) são expressos em $mm\ d^{-1}$. O escoamento superficial foi considerado nulo, visto que a topografia do terreno é plana, P foi adquirida

junto a uma Estação Meteorológica do Perímetro Irrigado Ribeira, no município de Itabaiana, SE, e ΔW determinado com base no perfil de umidade do solo.

O volume de controle considerado para elaboração do balanço hídrico corresponde à camada de solo compreendida entre a superfície e a profundidade efetiva do sistema radicular. Como o lençol freático na área de estudo é superior a 1 m de profundidade, o termo ascensão capilar foi considerado nulo e, também, como não foram instalados tensiômetros para monitorar a tensão de água no solo, a drenagem foi obtida com base na Eq. (25). O armazenamento de água no solo (W), em mm, durante um dado intervalo de tempo foi calculado usando-se a seguinte equação:

$$W_t = \int_0^L \theta(z) dz = \bar{\theta} L \quad (27)$$

em que $\bar{\theta}$ é a umidade do solo média até a profundidade considerada ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e L a espessura da camada de solo (cm). Durante o intervalo de tempo considerado, a variação do armazenamento de água no solo (ΔW), expressa em mm, foi obtida como:

$$\Delta W = W_t - W_{t-1} \quad (28)$$

em que W_t e W_{t-1} representam os armazenamentos de água no perfil do solo nos instantes t e $t-1$, respectivamente.

3.6. Dados para o balanço hídrico no solo

A umidade do solo foi monitorada utilizando-se a sonda 5TE Decagon, modelo Em50G, instalados na área em estudo, nas profundidades 20, 40 e 60 cm. Os valores de umidade do solo foram adquiridos em intervalos horários durante o período experimental.

3.7. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência diária (ET_0) foi determinada pelo modelo Penman-Monteith/FAO (Allen et al., 1998), considerando-se uma grama de referência hipotética, com

0,12 m de altura, resistência de superfície de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23, pela equação (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (29)$$

em que ET_o é a evapotranspiração de referência [mm d^{-1}], R_n é o saldo de radiação à superfície da cultura [$\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$], G é a densidade do fluxo de calor do solo [$\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$], T é a média da temperatura do ar a 2 m de altura [$^{\circ}\text{C}$], u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura [m s^{-1}], $(e_s - e_a)$ é o déficit da pressão de vapor medido a 2 m de altura [kPa], Δ é a declinação da curva de pressão de vapor [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$], γ constante psicrométrica [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$], C_n é o coeficiente para a cultura de referência [$\text{kJ}^{-1} \text{ kg } ^{\circ}\text{K}$] resultante da conversão de segundos para dias ou horas, C_d é o coeficiente do vento para a cultura de referência [$\text{kJ}^{-1} \text{ kg } ^{\circ}\text{K}$], resultante da razão das resistências aerodinâmica e estomática, 0,408 é o valor para $1/L$ com $L=2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$, $C_n = 900$ para cálculos diários e $C_n = 37 (= 900/24)$ para cálculos horários, Assumindo $r_s = 70 \text{ s m}^{-1}$ tem-se $C_d = 0,34$ para cálculos diários. Para cálculos horários é preferível distinguir as horas de noite e de dia, fazendo $r_s = 50 \text{ s m}^{-1}$ durante as horas do dia e $r_s = 200 \text{ s m}^{-1}$ durante as horas de noite (Allen et al., 2005). Nessas condições, tem-se $C_d = 0,24$ para as horas de dia ($R_n > 0$) e $C_d = 0,96$ para as horas de noite ($R_n \leq 0$). O fluxo de calor sensível para o solo (G) assume-se como nulo para cálculos diários; para cálculos horários, $G = 0,1 R_n$ durante as horas de dia e $G = 0,5 R_n$ durante as horas de noite. As variáveis utilizadas para o cálculo da evapotranspiração de referência foram obtidas de uma estação agrometeorológica localizadas na área em estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios mensais das principais variáveis meteorológicas no período de 1989 a 2009 do município de Itabaiana, SE, são apresentados na Tabela 1. A temperatura média em Itabaiana é de 25,8 °C, enquanto que a umidade relativa tem uma média histórica de 66%. A precipitação média anual da região é de 1.189,1 mm, enquanto que a insolação média é de 208,8 horas, a evaporação média é de 166,3 mm e a velocidade do vento é em torno de 1,7 m s⁻¹.

Tabela 1. Médias mensais das variáveis climatológicas em Itabaiana, SE, no período de 1989 – 2009. Tméd = temperatura média, UR = umidade relativa do ar, Prec = precipitação, V. Vento = velocidade do vento, EVt = evaporação do tanque classe A

Meses	Tméd (°C)	UR (%)	Prec (mm)	Insolação (h, min)	V.Vento (m/s)	EVt (mm)
Jan	27,3	63	51,5	249,7	2,0	219,1
Fev	27,3	63	43,5	211,7	3,3	180,3
Mar	27,3	63	57,1	240,3	1,7	186,1
Abr	26,0	67	155,5	184,4	1,4	143,2
Mai	24,3	68	214,1	175,3	1,3	144,3
Jun	24,4	71	194,0	155,5	1,2	118,4
Jul	23,7	72	179,1	149,1	1,3	113,4
Ago	23,9	72	120,2	167,5	1,3	128,7
Set	24,5	69	62,6	199,8	1,5	151,2
Out	25,9	62	39,6	248,3	1,8	190,7
Nov	26,0	64	30,6	255,7	2,1	202,2
Dez	29,0	61	41,3	268,3	2,1	218,3
Média	25,8	66	-	208,8	1,7	166,3
Total	-	-	1.189,1	2.505,6	-	1.996,0

Os valores das variáveis meteorológicas durante a realização do experimento com a cultura do coentro na região de Itabaiana, SE, são apresentados na Tabela 2. A precipitação total durante o período experimental (02/08/2011 – 12/10/2011) foi de 157,1 mm. A temperatura do ar e umidade relativa do ar apresentaram valores médios de 23,4°C e 60%, respectivamente; enquanto a insolação total foi de 502,1 horas e a evaporação no período foi

de 229,9 mm. Por outro lado, a umidade relativa variou entre 40-60% e a velocidade média do vento atingiu valores superiores a 7 m s^{-1} . Para análise de crescimento da cultura foi realizado o acompanhamento do desenvolvimento da planta em todos os seus estádios fenológicos. As componentes de crescimento da cultura do coentro e o número de dias de cada estágio são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2. Dados meteorológicos durante o período experimental da região de Itabaiana, SE em 2011. Prec = precipitação, V. Vento = velocidade do vento, Tmáx = temperatura máxima, Tmín = temperatura mínima, Tméd = temperatura média, UR = umidade relativa do ar, EVt = evaporação do tanque classe A, Desv. Pad = desvio padrão, V. Máx = valor máximo, V. Mín = valor mínimo

Variáveis	Prec (mm)	V. Vento (m/s)	Tmín (°C)	Tmáx (°C)	Tméd (°C)	UR (%)	Insolação (h, min)	EV (mm)
Total	157,1	-	-	-	-	-	502,1	229,9
Média	-	1,95	20,0	28,3	23,4	49	7,0	3,2
Desv. Pad	5,01	0,85	1,64	1,80	1,79	4,7	3,1	6,7
V. Máx	28,8	7,22	24,0	32,0	26,5	60	10,5	33,0
V. Mín	0,0	0,62	15,0	24,0	18,0	40	0,1	0,7

Percebe-se que o estágio mais longo da planta é o de desenvolvimento, com 24 dias, e o menor o estágio final, com apenas 10 dias; no entanto, o total de biomassa verde foi maior no estágio médio, de acordo com os valores médios do caule, da raiz e do índice de área foliar (IAF). Portanto, esse estágio apresentou a máxima produção de material orgânico em face do seu período de duração. O tamanho médio do caule do coentro foi de até 2,55 cm no estágio médio, um pouco maior do que no estágio final que foi 2,44 cm.

Similarmente, os valores máximos do tamanho da raiz e do IAF ocorreram também no estágio médio da cultura, com 13 cm e $4 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$, respectivamente. Esses valores também são levemente superiores àqueles do estágio final do coentro. Em resumo, os valores médios do caule, da raiz e do IAF no estágio médio da cultura são, em média, 2,5% superiores àqueles

do estágio final. A maior diferença entre os valores dos componentes de crescimento ocorre entre os estádios inicial e de desenvolvimento.

Tabela 3. Componentes de crescimento da cultura do coentro e o número de dias de cada fase do seu ciclo. IAF = índice de área foliar

Estádios	Dias	Caule (cm)	Raiz (cm)	IAF (cm ² /cm ²)
Inicial	18	0,48	2,75	0,03
Desenvolvimento	24	1,94	10,63	1,33
Médio	20	2,55	13,00	4,00
Final	10	2,44	12,67	3,90
Média	-	1,84	9,76	2,32

O pequeno declínio dos componentes de crescimento no último estágio está associado ao fato que a cultura do coentro é colhida em torno do ápice de seu desenvolvimento foliar, que ocorre entre os estágios fenológicos médio-final. Sarada et al. (2011) estudaram as modificações climáticas e as suas influências na produção de coentro para fins de folhas durante o verão. Nove diferentes sistemas de produção e seus efeitos sobre o micro clima foram estudados. Esse estudo indicou que dentre os fatores climáticos, a temperatura do solo influenciou significativamente na germinação, crescimento da cultura e no rendimento. Além disso, que a temperatura do solo foi significativamente correlacionada com o número e comprimento das folhas, biomassa verde, peso da parte aérea e rendimento da cultura.

A Figura 3 exhibe o desenvolvimento do caule e da raiz do coentro ao longo do ciclo desenvolvimento da cultura em função dos dias após plantio (DAP). No período entre os DAPs 1 e 17 o crescimento das raízes e do caule é linear, sem variações bruscas ao longo do tempo; porém, a partir do DAP 18 até o DAP 32 ocorreram as maiores taxas de crescimento das raízes, sendo esse o período de maior atividade fisiológica da planta. Nesse período, o

crescimento do caule é também acentuado, porém em menor proporção em relação ao crescimento da raiz.

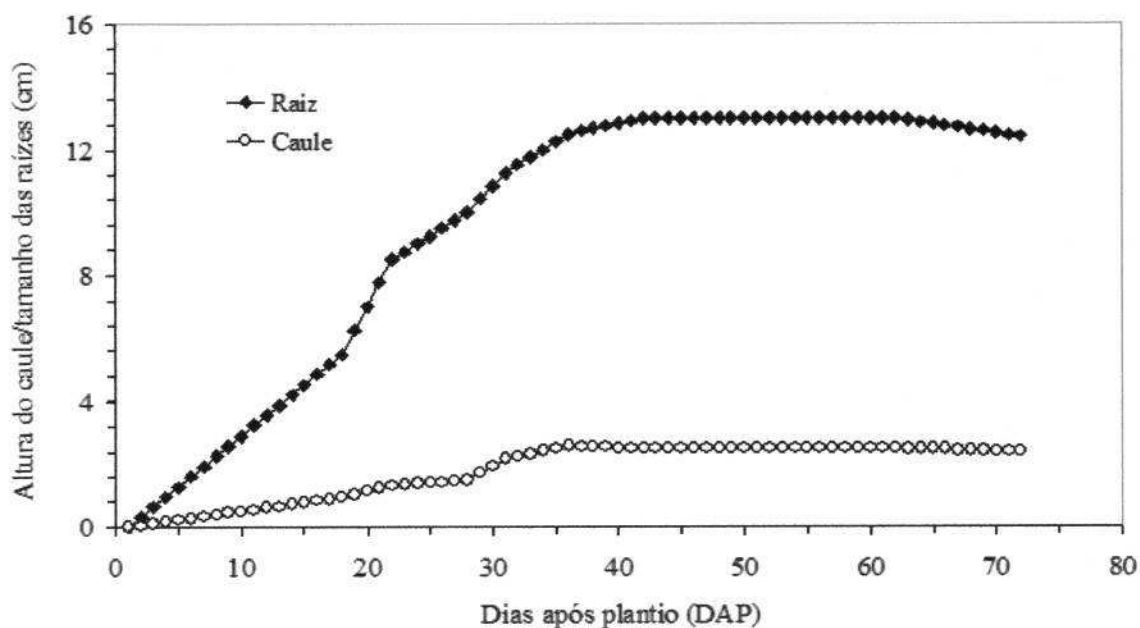


Figura 3. Evolução temporal da altura do caule e profundidade das raízes durante o ciclo de crescimento do coentro

Entre os DAPs 32 e 64, ambos caule e raiz da cultura permanecem praticamente constante, com valores de aproximadamente 2 e 12 cm, respectivamente, para em seguida apresentar um pequeno decréscimo em direção ao DAP 72. Essa redução dos parâmetros de crescimento é associada ao processo de senescência (envelhecimento do tecido foliar) da planta que reduz a produção de biomassa verde. O caule se desenvolve com menor velocidade do que as raízes porque eles absorvem menores quantidades de seivas e nutrientes. A relação entre o caule e a área foliar ao longo do desenvolvimento do coentro é exibida na Figura 4. Este relacionamento foi logarítmico com coeficiente de determinação de 0,95, que é estatisticamente significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t-Student. Observa-se que o crescimento do caule atinge o máximo em torno de 2,6 cm de altura, enquanto que neste ponto a área foliar é de 660 cm². A partir desse ponto, a curva tende saturar, pelo fato da

planta atingir o seu limite máximo de produção foliar; para em seguida entrar no processo de senescência, que é caracterizado pela paralisação da produção de matéria orgânica.

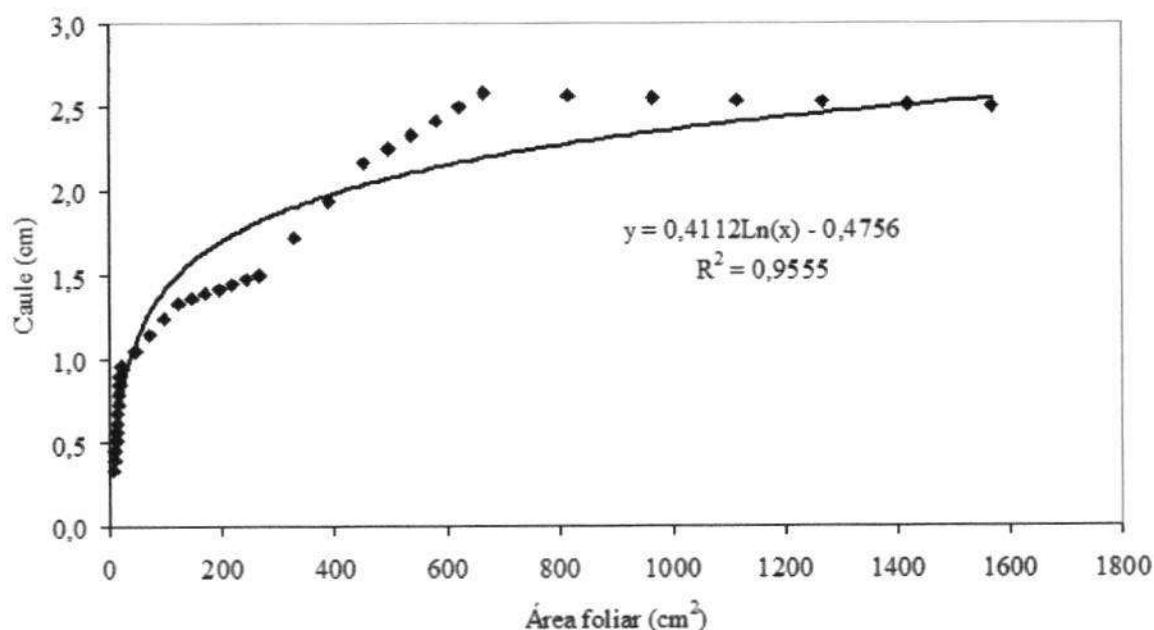


Figura 4. Relacionamento entre o caule e a área foliar ao longo do desenvolvimento do coentro

A Figura 5 exibe o curso diário do índice de área foliar no período de crescimento do coentro, destacando-se que nos 17 primeiros dias o aumento da área foliar se apresenta praticamente constante, em face do pequeno desenvolvimento foliar nesse período. A partir do DAP 18 até o DAP 42 ocorreu um aumento abrupto do desenvolvimento da área foliar. Por outro lado, entre os DAPs 42 e 62 a planta se manteve com IAF constante, para em seguida decrescer levemente até o final do ciclo em face do início do processo de senescência da planta.

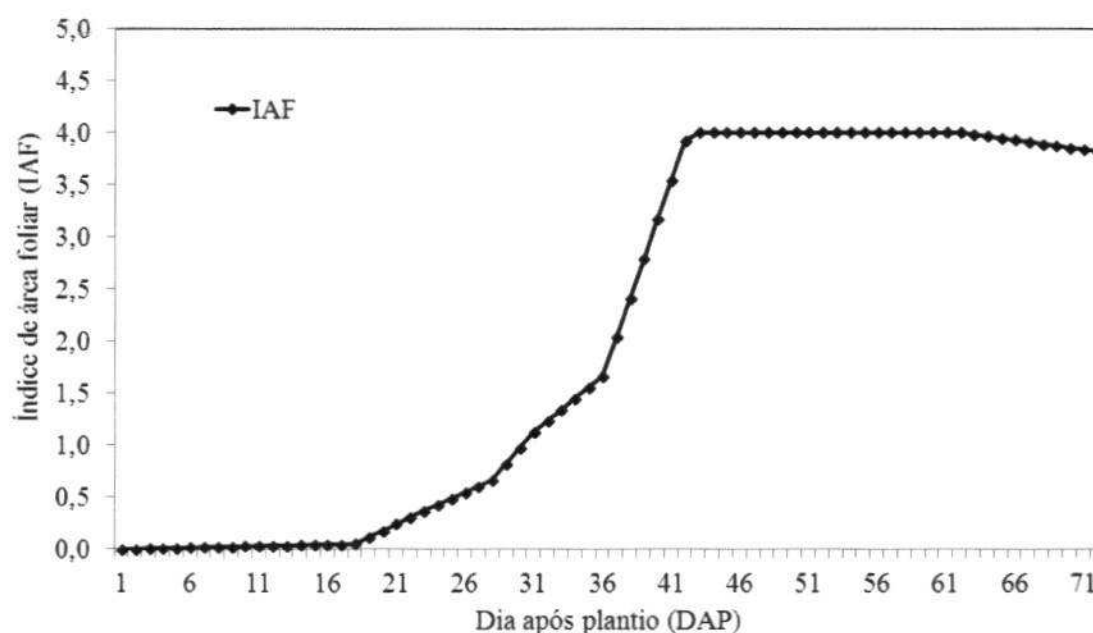


Figura 5. Curso diário do índice de área foliar (IAF) no período de crescimento do coentro

A Figura 6 exibe a comparação das variações do índice da área foliar, do caule e da raiz ao longo de período de crescimento do coentro. Observa-se o crescimento linear das raízes e do caule nos primeiros 18 dias da cultura, ao passo que a área foliar se manteve constante no estágio inicial. Entre os DAPs 21 até o 36 se destaca o aumento simultâneo dos três componentes de crescimento. A partir do DAP 37 se constatou maior atividade no desenvolvimento das raízes, pois a planta necessita de mais nutrientes para a sustentação e desenvolvimento da área foliar. Nesse período, o caule apresenta o seu crescimento estabilizado.

Os componentes do balanço hídrico do solo durante os estádios inicial, desenvolvimento, médio e final da cultura do coentro em experimento de campo realizado em Itabaiana, SE, é exibido na Tabela 4. Durante o período experimental, a drenagem representou 63% da irrigação e a variação de armazenamento de água no solo foi muito pequena, não atingindo nem um milímetro. Por outro lado, a precipitação foi quase a metade da irrigação; enquanto a evapotranspiração da cultura durante todo o período de cultivo foi de 332 mm.

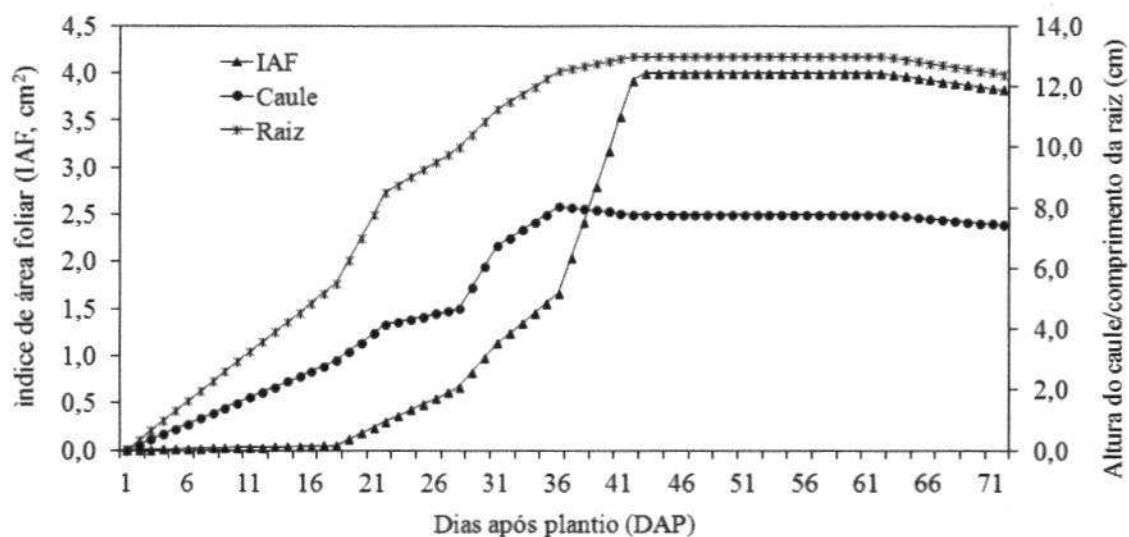


Figura 6. Curso temporal do desenvolvimento do índice da área foliar (IAF), do caule e da raiz no período experimental da cultura do coentro

A evapotranspiração de referência (E_{To}) variou de 3,33 mm, no 20/09/2011, a 5,5 mm, no dia 11/10/2011. A média da evapotranspiração no período experimental foi de 4,61 mm e o total da demanda evaporativa foi de 328,2 mm. Os resultados das análises químicas e físicas do solo da área experimental se encontram na Tabela 5. A Figura 7 exhibe o curso horário da umidade do solo em três profundidades na área experimental cultivada com coentro. Verifica-se que a umidade do solo aumenta de acordo com o aumento da profundidade do solo. Assim, quanto mais próximo da camada superficial do solo menor o conteúdo d'água, isso se deve em face da troca de energia entre o solo e o ambiente que provoca maior evaporação do solo.

Tabela 4. Valores médios dos componentes do balanço hídrico no solo (mm d^{-1}) durante os estádios do ciclo da cultura do coentro. ΔW = variação de armazenamento de água no solo, E_{To} = evapotranspiração de referência

Estádios	Datas	Dias	Precipitação	Irrigação	Drenagem	ΔW	E_{To}
Inicial	(02/08-19/08)/2010	18	2,08	6,9	4,21	0,6	4,60
Desenvolvimento	(20/08-12/09)/2010	24	2,47	6,9	4,48	0,2	4,55
Médio	(13/09-02/10)/2010	20	3,01	6,9	5,58	-0,6	4,33
Final	(03/10-12/10)/2010	10	0,02	6,9	1,71	0,4	4,97
Média	-	-	-	6,9	3,99	0,15	4,61
Total	-	72	157,1	496,8	312,1	0,6	328,2

Durante o período experimental, a umidade do solo variou entre 0,08 a 0,17 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ na camada de 0 - 20 cm; entre 0,11 e 0,24 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ na camada 20 - 40 cm e entre 0,18 e 0,35 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ na camada de 40 - 60 cm. Nas primeiras 330 horas do período experimental, ou seja, entre os dias 02/08/2011 e 16/08/2011, os valores da umidade do solo decrescem rapidamente, para em seguida permanecer praticamente constante no final do experimento (Figura 7).

Tabela 5. Análises física e química do solo da área experimental na profundidade de 0-30 cm

Profundidade	Análise física			Textura
	Granulometria			
	Areia	Silte	Argila	
0-15	80,0	13,0	7,0	Arenosa
15-30	26,0	36,0	38,0	Argilosa
Análise química				
pH (H_2O)	7,7		MG (cmol/dm^3)	2,9
MO (dag/cm^3)	0,6		Al (cmol/dm^3)	0,0
P (mg/DM^3)	87,3		H+Al (cmol/dm^3)	0,7
K (mg/dm^3)	50		CTN (cmol/dm^3)	5,6
Ca (mg/dm^3)	1,9		V (%)	87,8

No período entre 450 e 1000 h após o início da pesquisa, que correspondeu a fase de desenvolvimento da cultura, foi onde ocorreram as maiores variações de umidade do solo, influenciando, dessa forma, o balanço hídrico de acordo com o termo ΔW . Durante todo o período experimental, a umidade do solo média nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm foram de 0,089; 0,155 e 0,204 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$, respectivamente. Os desvios padrão foram muito baixos, de

0,029; 0,054 e 0,078 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, respectivamente, nas camadas de solo de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

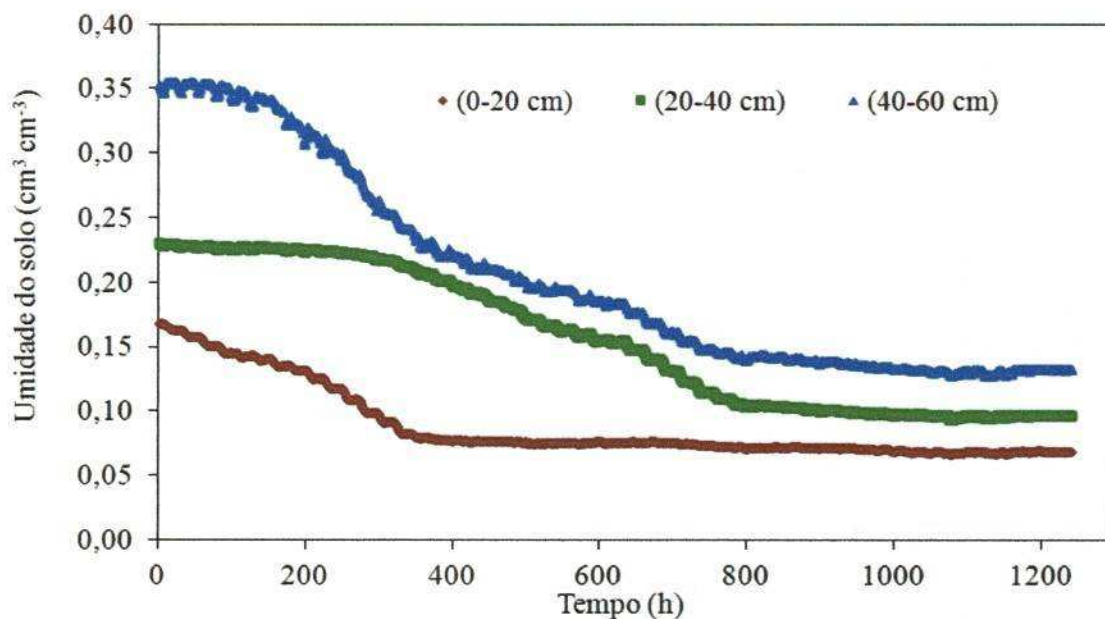


Figura 7. Curso horário da umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) nas três profundidades (0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm) na área experimental com a cultura do coentro

A curva de retenção de água no solo da área experimental é exibida na Figura 8. Tal curva foi ajustada com dados do potencial matricial e umidade volumétrica na camada de solo de 0 a 15 cm de profundidade, na qual permite obter uma estimativa rápida da disponibilidade de água no solo para as plantas. Nessas circunstâncias, ou seja, pela curva de retenção, a umidade do solo pode atingir valores próximos de $0,40 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

O curso temporal de entrada de água no sistema solo-planta através de precipitação, irrigação e drenagem durante o período do experimento é exibido pela Figura 9. Pode-se observar que a irrigação se manteve com valores constantes ao longo do período experimental, haja vista que a frequência da lâmina d'água utilizada na irrigação foi de $6,9 \text{ mm d}^{-1}$, para os dias que não ocorreram registros de chuva.

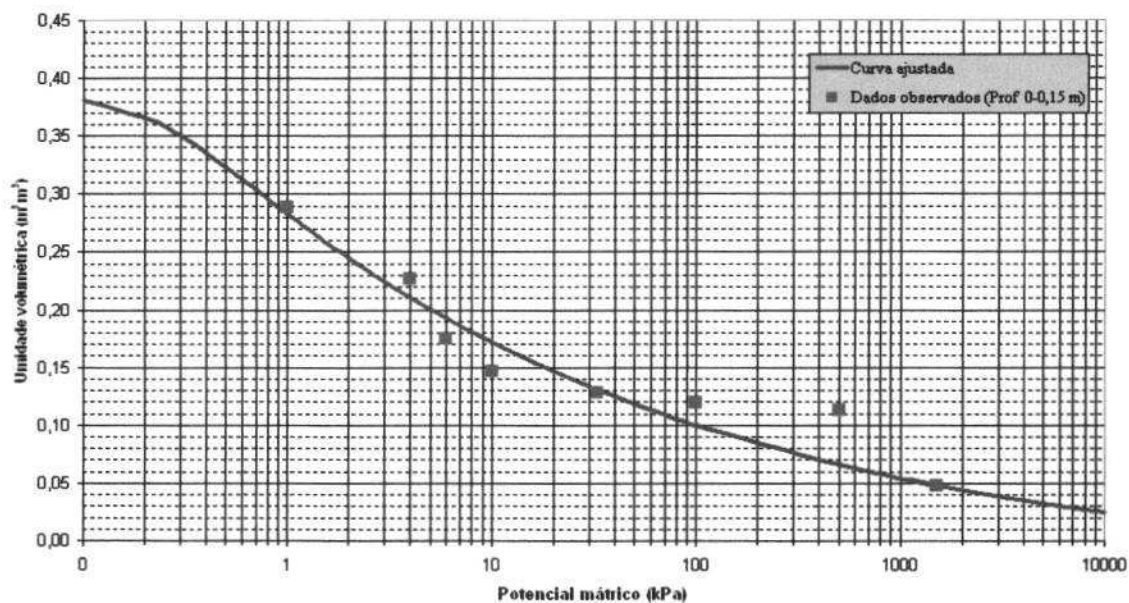


Figura 8. Curva de retenção de água no solo da área experimental em Itabaiana, SE

As ocorrências de chuva foram registradas nos DAPs 8, 16, 17, 21, 22, 25, 27, 34, 46, 47, 48 e 50, com destaque do pico de máximo de precipitação no DAP 48 (18/09/2011) com registro pluviométrico de 28,8 mm. Quanto às flutuações da drenagem pode-se argumentar que ela é extremamente dependente das características físicas do solo, tal como textura e porosidade. Durante o período de experimento com a cultura de coentro, tais características foram favoráveis que produziram taxas elevadas de drenagem, totalizando 312,1 mm. A maior drenagem de 31,4 mm ocorreu no dia 18/09/2011 após a precipitação de 28,8 mm; enquanto as menores taxas de drenagem ocorreram no final do experimento, em face da redução das precipitações, que variaram em torno 1-3 mm.

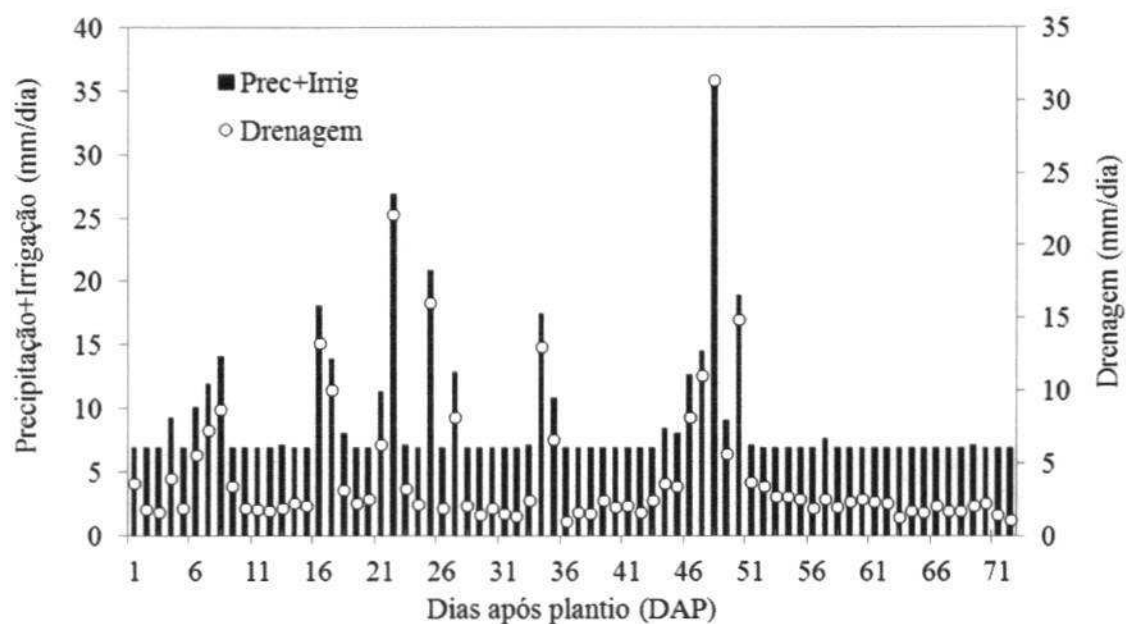


Figura 9. Média diária da precipitação + irrigação e da drenagem ao longo do período experimental da cultura do coentro

Na Tabela 6 são apresentados os valores dos coeficientes de cultivo e da evapotranspiração do coentro com base no balanço hídrico do solo e na metodologia do Kc dual, para todos os estádios fenológicos da cultura. De acordo com as duas metodologias, o coeficiente de cultivo e a evapotranspiração são maiores no estágio médio da cultura; enquanto nos estádios inicial e final esses parâmetros atingem valores mínimos. A metodologia do balanço hídrico no solo subestima os valores do Kc e da ET do coentro em relação à metodologia do Kc dual, muito embora com valores muito próximos. O consumo hídrico do coentro é 332 e de 348,7 mm, pelo método do balanço hídrico (BHS) e pela metodologia do coeficiente de cultivo dual (MCD), respectivamente, cuja diferença representa apenas 4,7%. Já a evapotranspiração média durante o ciclo da cultura pelo BHS foi 4,6 mm e pelo MDC foi 4,7 mm. Por outro lado, o Kc do coentro pelo BHS variou de 0,82 (estádio inicial) a 1,07 (estádio médio) e pelo MDC variou entre 0,91 (estádio inicial) a 1,22 (estádio médio). O estágio de desenvolvimento foi o de maior consumo hídrico de acordo com duas

metodologias, de 112, 8 mm pelo BHS e de 130,6 mm pelo MDC. Esses resultados evidenciam que a metodologia do coeficiente de cultivo dual apresenta estimativas confiáveis das necessidades hídricas da cultura. Resultados semelhantes foram obtidos por Borges (2011) em experimento realizado com a cultura da cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros do Estado da Paraíba.

Tabela 6. Valores médios (mm d^{-1}) e acumulados (mm) da evapotranspiração da cultura do coentro e coeficientes de cultivos obtidos com base no balanço hídrico no solo e na metodologia do Kc dual

Estádios	Balanço hídrico			Coeficiente de cultivo dual		
	Kc	ET - média	ET - total	Kc	ET- média	ET - total
Inicial	0,82	3,9	70,9	0,91	4,2	75,2
Desenvolvimento	1,03	4,7	112,8	1,20	5,4	130,6
Médio	1,07	5,1	101,0	1,22	5,2	105,0
Final	0,93	4,7	47,3	0,77	3,8	37,9
Total	-	-	332,0	-	-	348,7
Média	0,96	4,6	-	1,02	4,7	-

O curso diário da evapotranspiração pelo método do balanço hídrico no solo e pela metodologia do coeficiente de cultivo dual durante o período experimental com a cultura do coentro em Itabaiana, SE, no ano de 2011, é exibido na Figura 10. Como o fornecimento de água através de irrigação durante o experimento foi contínuo, numa taxa de $6,9 \text{ mm d}^{-1}$, os valores de evapotranspiração da cultura por ambos os métodos apresentaram variações de acordo com a demanda atmosférica, expressa pela evapotranspiração de referência.

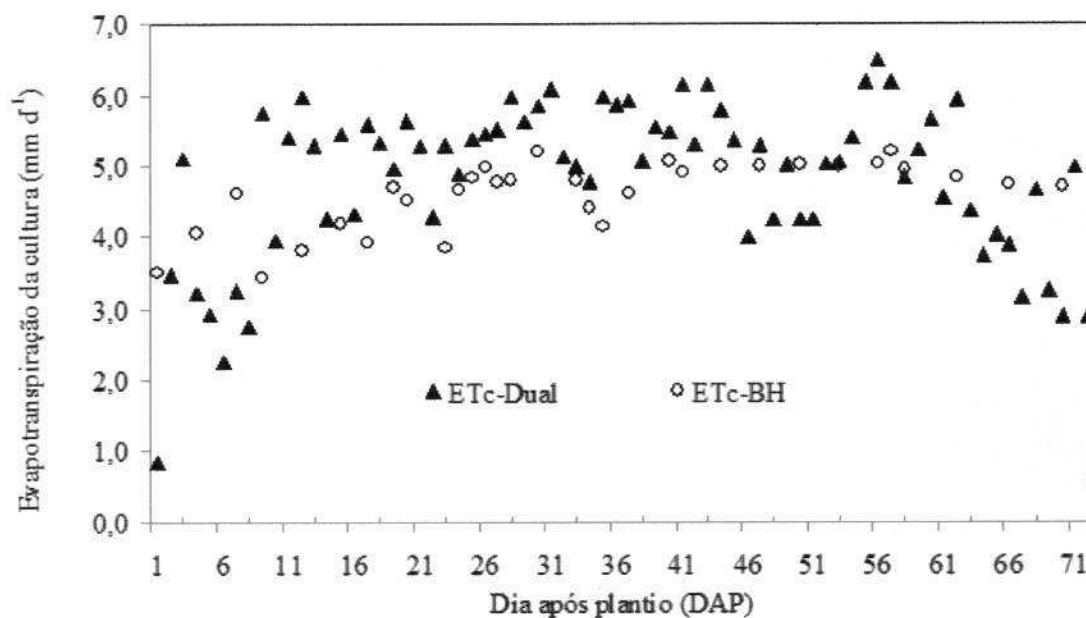


Figura 10. Curso diário da evapotranspiração do coentro pelo método do balanço hídrico no solo (ETc-BH), e pela metodologia do coeficiente de cultivo dual (ETc-Dual) durante o período experimental

Nos dias em que ocorreram os maiores índices pluviométricos, como nos DAPs 22, 25 e 48, foram registrados os menores valores de evapotranspiração, sendo, respectivamente, de 4,4; 5,7; 4,2 mm, pela metodologia do Kc dual e de 4,7; 4,8 e 4,3 mm, respectivamente, pelo método do balanço hídrico do solo. O curso diário da evapotranspiração da cultura evidencia os maiores valores nos estádios fenológicos de desenvolvimento e médio do coentro e os menores nos estádios inicial e final, de acordo com ambas as metodologias.

Na Figura 11 é exibido o curso temporal do coeficiente de cultivo basal, coeficiente de evaporação de água do solo e coeficiente de cultivo dual da cultura do coentro. Constata-se que a evaporação do solo (K_e) tem um comportamento simétrico a da transpiração da planta, expressa pelo coeficiente de cultivo basal, ao longo do desenvolvimento da cultura. Isso se deve ao fato que a evaporação do solo é máxima no início do ciclo da cultura, em face do solo se encontrar descoberto pela vegetação; e, nesse caso, a transpiração é mínima. Por outro

lado, à medida que a planta cresce, há o aumento de sua área foliar, e conseqüente aumento de sua transpiração, pois a fração de cobertura do solo passa a aumentar e a evaporação do solo passa, então, a diminuir, devida a redução da área do solo exposto.

A evaporação de água no solo apresenta maior variabilidade do início e final do período de cultivo; por outro lado, a transpiração, ou seja, o K_{cb} , manteve-se constante nos períodos inicial e médio, além de acréscimo e decréscimo lineares nos estádios de desenvolvimento e final, respectivamente. O decréscimo da transpiração no período final da cultura está associado à sua senescência que é acompanhada pelo leve acréscimo na evaporação de água no solo. Kumar et al. (2008), quando realizaram um experimento de campo em solo franco-arenosa com a cultura de coentro, em Nova Delhi, Índia, observaram que a aplicação de três níveis de irrigações nas fases de ramificação, floração e formação de sementes, produziu os maiores valores de crescimento e produção da cultura. Eles observaram ainda que a evapotranspiração da cultura foi maior com a aplicação das irrigações, mas a eficiência do uso da água manteve-se maior quando a irrigação foi suspensa na fase de formação de sementes.

No período entre os DAPs 1 e 30 é necessário um controle rigoroso da irrigação para a otimização do desenvolvimento da cultura do coentro de forma satisfatória. A metodologia do K_c dual reproduziu satisfatoriamente a variabilidade do consumo hídrico da cultura, com valores mínimos no início e final do ciclo e máximo no estágio intermediário. O coeficiente do estresse hídrico (K_s) foi sempre igual a unidade indicando que em face da alta lâmina de irrigação a cultura não sofreu estresse hídrico em nenhum dia do período monitorado.

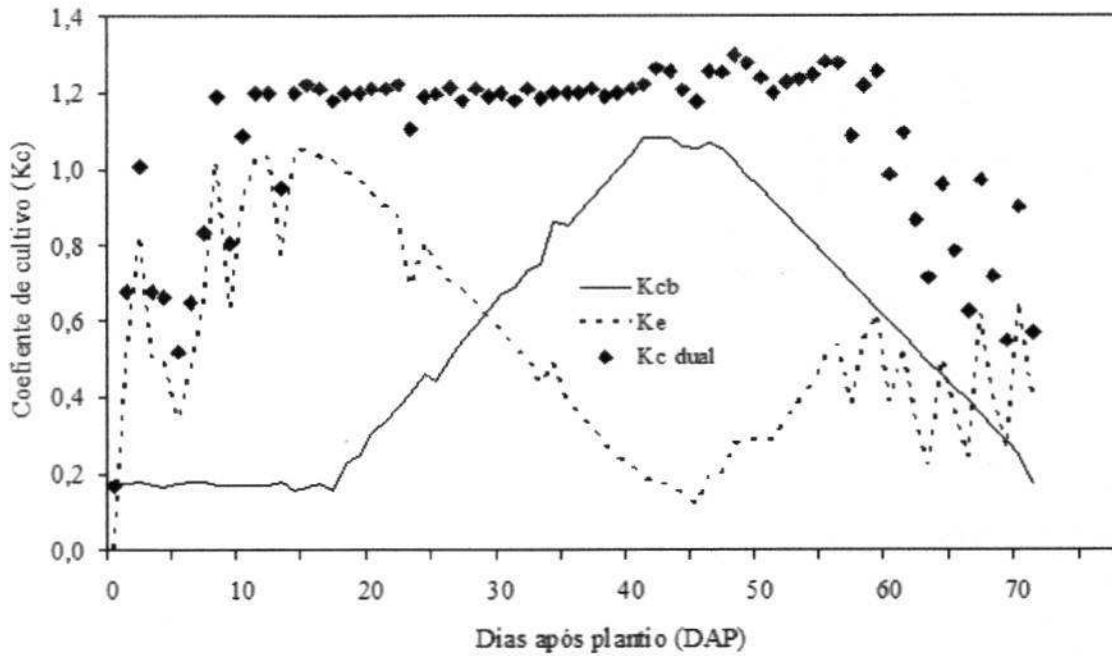


Figura 11. Curso temporal do coeficiente de cultivo basal (K_{cb}), coeficiente de evaporação de água do solo (K_e) e coeficiente de cultivo dual (K_c dual) da cultura do coentro cultivada em Itabaiana, SE, em 2011

O K_{cb} variou do valor mínimo de 0,16, no estágio inicial, a 1,08, no estágio médio; enquanto a média \pm desvio padrão de todo o período foi de $0,55 \pm 0,33$. Os coeficientes de cultivos simples ou basal da cultura do coentro não são listados no Boletim 56 da FAO. Dessa forma, o K_{cb} foi determinado neste trabalho seguindo a metodologia estabelecida em tal boletim (Allen et al., 1998).

A Figura 12 exibe o relacionamento entre os valores da evapotranspiração do coentro obtidos pelo método do balanço hídrico no solo e pela do K_c Dual. O relacionamento linear exibe um coeficiente de determinação de 0,74, que é estatisticamente significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste t-Student. Essa figura assegura ainda que a evapotranspiração com base no K_c dual superestima aquela obtida com base no método do balanço hídrico no solo.

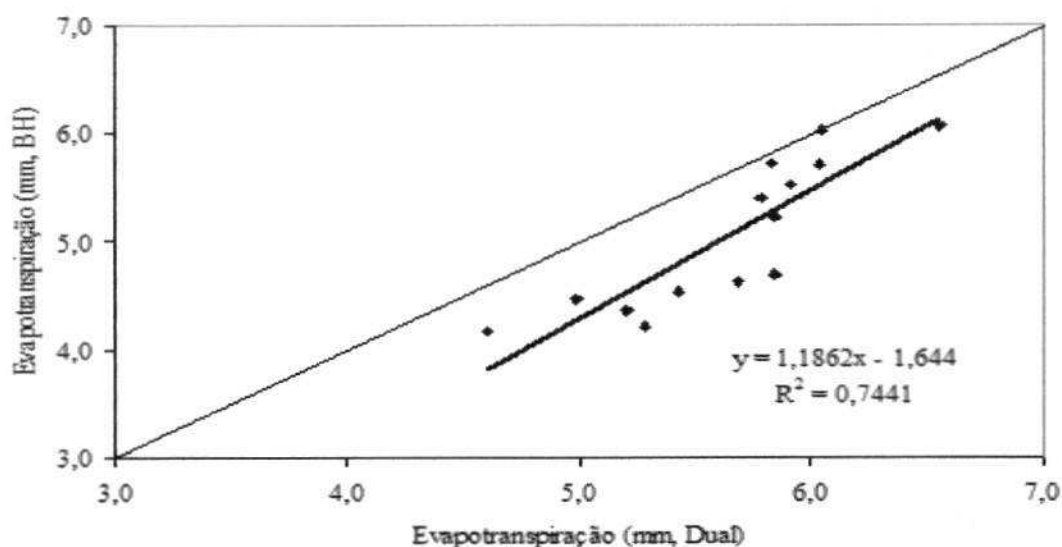


Figura 12. Relacionamento entre evapotranspiração obtida pelo balanço hídrico no solo e a evapotranspiração calculada a partir do Kc Dual do coentro cultivado em Itabaiana, SE

Constatou-se que os valores dos Kcb do coentro encontrados neste estudo são semelhantes àqueles sugeridos para vários tipos de pequenos vegetais. A característica comum desses vegetais é que o coeficiente de cultivo basal final é apenas um pouco inferior àquele do estágio médio, e às vezes até iguais. Por exemplo, os valores dos Kcb da cultura do alho nos estádios inicial, médio e final são, respectivamente, 0,15; 0,95 e 0,90; enquanto para a cultura de alface esses valores são, respectivamente, 0,15; 0,90 e 0,90 (Allen et al., 1998). O coeficiente de evaporação de água no solo (Ke) variou entre 0,1 e 1,1, com valores máximos no estágio inicial e mínimos no estágio médio. A média \pm desvio padrão do Ke durante todo o período foi de $0,5 \pm 0,3$; portanto, bastante próxima do Kcb, porém com grande variabilidade nos estádios inicial e final da cultura. Por outro lado, o Kc dual apresentou uma variabilidade maior do que Ke e Kcb, cuja média \pm desvio padrão foi de $1,1 \pm 0,2$.

5. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho, que analisou o consumo hídrico do coentro com base em duas metodologias, permitem concluir o seguinte:

1. Os valores do coeficiente de cultivo do coentro em seus estádios fenológicos são os seguintes: K_c (inicial) = 0,82; K_c (desenvolvimento) = 1,03; K_c (médio) = 1,07 e K_c (final) = 0,93;

2. Os valores das necessidades hídricas do coentro pelo método do balanço hídrico do solo e pela metodologia do K_c dual são, respectivamente, 332 e 348,7 mm. Em ambos os métodos, o estágio fenológico de desenvolvimento é o de maior demanda hídrica;

3. A metodologia do K_c -dual pode ser utilizada com precisão na estimativa das necessidades hídricas da cultura do coentro;

4. O índice de área foliar do coentro atinge o máximo de $4 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$ no estágio médio, com leve declínio para $3,9 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$ no estágio final da cultura. O caule e a raiz do coentro têm comprimentos médios de 1,84 e 9,76 cm, com valores máximos também no estágio fenológico médio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S., Raes, D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, 300 p, 1998.
- Allen, R. G. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. *Journal of Hydrology*, v.229, n.1, p. 27-41, 2000.
- Allen, R. G.; Clemmens, A. J.; Burt, C. M.; Solomon, K.; O'Halloran, T. Prediction accuracy for project-wide evapo-transpiration using crop coefficients and reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, v.13, n.1, 2005.
- Aluko, R. E.; McIntosh, T.; Reaney, M. Comparative study of the emulsifying and foaming properties of defatted coriander (*Coriandrum sativum*) seed flour and protein concentrate. *Food Research International*, v.34 (8), p.733-738, 2001.
- Alves, E. U.; Oliveira, A. P.; Alcântara, R. L.; Sader, B. R.; Alves, A. U. Rendimento e qualidade fisiológica de sementes de coentro cultivado com adubação orgânica e mineral. *Revista Brasileira de Sementes*, v.27, p.132-137, 2005.
- Antonino, A. C. D.; Sampaio, E. V. S. B.; Dall'Olio, A.; Salcedo, I. H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB, v.4, n.1, p.29-34, 2000.
- Azevedo, P. V.; Soares, J. M.; Silva, V. P. R.; Silva, B. B.; Nascimento, T. Evapotranspiration of "Superior" grapevines under intermittent irrigation. *Agricultural Water Management*, v.95, p.301-308, 2008.
- Azevedo, P. V.; Silva, B. B.; Silva, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, v.58, p.241-254, 2003.

- Azevedo, P. V.; Sousa, I. F.; Silva, B. B.; Silva, V. P. R. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, v. 84, n.1, p. 259-264, 2006.
- Bertini, C. H. M.; Pinheiro, E. A. R.; Nóbrega, G. N.; Duarte, M. L. Desempenho agrônômico e divergência genética de genótipos de coentro. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, CE. n.41, v.3, p.409-416, 2010.
- Bezerra, A. M. E.; Pinheiro, J.; Chaves, F. C. M. Hortaliças cultivadas no cinturão verde de Fortaleza e análise bacteriológica da água utilizada. *Horticultura Brasileira*, v. 08, n. 01, p. 35, 1990.
- Borges, C. J. R. Evapotranspiração e coeficientes de cultivos simples e dual da cana-de açúcar cultivada em condições tropicais. Campina Grande: UFCG, 84p. Tese Doutorado, 2011.
- Burdok, G. A.; Carabin, L. G. Safety assessment of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil as a good ingredient. *Food and Chemical Toxicology*, v.47 (1), p.22-34, 2009.
- Burman, R. D., Nixon, P. R., Wright, J. L. O. Water Requieriments. In: Jensen, M.E. (ed.). *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph: ASAE, p.189-232, 1983.
- Campos, J. H. B. C.; Silva, V. P. R.; Azevedo, P. V.; Borges, C. J. R.; Soares, J. M.; Moura, M. S. B.; Silva, B. B. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.2, p.150-156, 2008.
- Carvalho, D. M.; Costa, J. E. A Intervenção do Estado em Infraestrutura e o Processo de Circulação de Hortifrutigranjeiro em Itabaiana/SE. *Scientia Plena*, v.6, n.3, 2010.
- Chithra, V., Leelamma, S. *Coriandrum sativum* - effect on lipid metabolism in 1,2-dimethyl hydrazine induced colon cancer. *Journal of Ethnopharmacology*, v.71 (3), p.457-463, 2000.

- Cintra, F. L. D.; Libardi, P. L.; Saad, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.1, p.23-28, 2000.
- Clark, G. A., Albregts, E. E., Stanley, C. D., Smajstrla, A. G., Zazueta, F. S. Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants. *Trans. ASAE*. 39, p. 905–912, 1996.
- Cruz, A. C. R.; Libardi, P. L.; Carvalho, L. A.; Rocha, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.1-10, 2005.
- Cunha, A. R.; Escobedo, J. F.; Kiosowski, E. S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia e, cultivo protegido de pimentão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.37, n.6 p.735-743. 2002.
- Diederichsen, A. Coriander (*Coriandrum sativum L.*). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 3. Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute. p.83 , 1996.
- Doorenbos, J.; Kassam, A. H. Yield responses for water. *FAO Irrigation and Drainage, Paper 33*, p.193. FAO, Rome, Italy, 1979.
- Doorenbos, J; Pruitt, W. O. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. *FAO Irrigation and Drainage, Paper 24*, Rome, 1975.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. Crop water requirements. *FAO Irrigation Drainage. Paper No. 24*, FAO, Rome, Italy, 1977.
- Elgayyar, M., Draughon, F. A., Golden, D. A., Mount, J. R. Antimicrobial activity of essential oils from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms. *Journal of Food Protection*, v.64, p.1019-1024, 2001.
- Evans, R. G., Spayd, S. E., Wample, R. L. Water use of *Vitis vinifera* grapes in Washington. *Agricultural Water Management*, v.23, p.109-124, 1993.

- Eyres, G.; Dufour, J. P.; Hallifax, G.; Sotheeswaran, S., Marriott; P. J. Identification of character-impact odorants in coriander and wild coriander leaves using gas chromatography-olfactometry (GCO) and comprehensive twodimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry (GOC x GC-TOFMS). *Journal of Separation Science*, v.28 (9-10), p.1061-1074, 2005.
- Filgueira, F. A. R. *Manual de olericultura-Cultura e comercialização de hortaliças*, v.2. São Paulo-SP, 1982.
- Filgueira, F. A. R. *Novo manual de olericultura: Agrotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças*. 2 ed. Viçosa: UFV, 240 p, 2000.
- Gallagher, A. M.; Flatt, P. R.; Duffy, G.; Abdel-Wahab, Y. H. A. The effects of traditional antidiabetic plants on in vitro glucose diffusion. *Nutrition Research*, v.23 (3), p.413-424, 2003.
- Ghiberto, P. J.; Libardi, P. L.; Brito, A. S.; Trivelin, P. C. O. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. *Agricultural Water Management*, v.102, p.1-7, 2011.
- Haag, H. P.; Minami, K. *Nutrição mineral em hortaliças*. 2 ed., Campinas: Fundação Cargill, p.28-29, 1998.
- Hortivale - Sementes do Vale Ltda. Disponível em: <http://www.hortivale.com.br>> Acesso em: 17 de ago, 2011.
- Jabeen, Q.; Bashir, S.; Lyoussi, B.; Gilani, A. H. Coriander fruit exhibits gut modulatory, blood pressure lowering and diuretic activities. *Journal of Ethnopharmacology*, v.122 (1), p.123-130, 2009.
- Kimura, R.; Liu, Y.; Takayama, N.; Zhang, X.; Kamichika, M.; Matsuoka, N. Heat and water balances of the bare soil surface and the potential distribution of vegetation in the Loess Plateau, China. *Journal of Arid Environments*, v.63, p.439-457, 2005.

- Kubo, I.; Fujita, K.; Kubo, A.; Nihei, K.; Ogura, T. Antibacterial activity of coriander volatile compounds against *Salmonella choleraesuis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.52 (11), p.3329-3332, 2004.
- Kumar, A.; Singh, R.; Chhillar, R. K. Influence of omitting irrigation and nitrogen levels on growth, yield and water use efficiency of coriander (*coriandrum sativum* L.). *Acta Agronomica Hungarica*, 56(1), pp. 69-74, 2008.
- Libardi, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Física e Meteorologia, 497 p, 1995.
- Lima, J. R. de S.; Antonino, A. C. D.; Soares, W. de A.; Souza, E. S. de; Lira, C. A. D. de O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife-PE, v.1, p.89-95, 2006.
- Lima, J. S. S.; Neto, F. B.; Negreiros, M. Z.; Freitas, K. K. C.; Barros Júnior, A. P. Desempenho agroeconômico de coentro em função de espaçamentos e em dois cultivos. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, CE. v. 38, n.4, p.407-413, 2007.
- Loomis, R. S.; Connor, D. J. *Crop ecology: productivity and management in agricultural systems*. Cambridge: University Press, 1992.
- Lopes, E. S. A.; Costa, J. E.; Santana, M. C. S.; Carvalho, D. M.; Vieira, G. S. S.; Jesus, G.; Dantas, I. B.; Lopes, Z. A. Impactos do PRONAF B nos municípios de São Cristóvão e Itabaiana, Estado de Sergipe: para além da dimensão econômica, 2007. Disponível em: <http://www.campusitabaiana.ufs.br/npgeo/attachments/212>. Acesso em: 15 mai. 2011.
- Matasyoh, J. C.; Maiyo, Z. C.; Ngure, R. M.; Chepkorir, R. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Coriandrum sativum*. *Food Chemistry*, v.113 (2), p.526-529, 2009.

- Medina, J. L.; Camargo, E.; Reza, J.; López, R.; Roldán, J. Determination and analysis of regional evapotranspiration in southern Spain using remote sensing and GIS. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.23, n. 4, p.427-432, 1998.
- Melo, R. A.; Menezes, D.; Resende, L. V.; Wanderley Júnior, L. J. G.; Santos, V. F.; Mesquita, J. C. P.; Magalhães, A. G. Variabilidade genética em progênies de meios-irmãos de coentro. *Horticultura Brasileira*, v.27, n.3, p.325-329, 2009.
- Michalczyk, M.; Macura, R.; Tesarowicz, I.; Banaś, J. Effect of adding essential oils of coriander (*Coriandrum sativum L.*) and hyssop (*Hyssopus officinalis L.*) on the shelf life of ground beef. *Meat Science*, v.90, p.842-850, 2012.
- Moser, B. R.; Vaughn, S. F. Coriander seed oil methyl esters as biodiesel fuel: Unique fatty acid composition and excellent oxidative stability. *Biomass and bioenergy*, v.34, p. 550-558, 2010.
- Msaada, K.; Hosni, K.; Ben Taarit, M.; Chahed, T.; Hammami, M.; Marzouk, B. Effects of growing region and maturity stages on oil yield and fatty acid composition of coriander (*Coriandrum sativum L.*) fruit. *Scientia Horticulturae*, v.120 (4), p.525-531, 2009.
- Murphy, D. J. Designer oilseed crops: genetic engineering of new oilseed crops for edible and non-edible applications. *Agro-Industry Hi-Tech*, v.2, p.5-9, 1991.
- Narayanan, K. B.; Sakthivel, N. Coriander leaf mediated biosynthesis of gold nanoparticles. *Materials Letters*, v.62, p.4588-4590, 2008.
- Nunes, M. U. C. Produtividade e principais problemas fitossanitários de cultivares de batata em Sergipe. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.20, n.3, p.424-427, 2002.
- Oliveira, A. P.; Melo, P. C. T.; Wanderley Júnior, L. J. G.; Alves, A. U.; Moura, M. F.; Oliveira, A. N. P. Desempenho de genótipos de coentro em Areia. *Horticultura Brasileira*, v.25, n. 2, p.252-255, 2007.

- Ometto, J. C. Bioclimatologia Vegetal. São Paulo: Ed Agronomica Ceres. Cap.12, p.255. Cap.13, p.319., 1981.
- Pereira, A. R.; Villa Nova, N. A.; Sedyama, G. C. Evapo(transpi)-ração. 1. ed. Piracicaba: FEALQ, 183p. 1997.
- Pereira, R. S.; Muniz, M. F. B.; Nascimento, W. M. Aspectos relacionados à qualidade de sementes de coentro. Horticultura Brasileira v.23, n.3, p.703-706, 2005.
- Ramadan, M. F.; Wahdan, K. M. M. Blending of corn oil with black cumin (*Nigella sativa*) and coriander (*Coriandrum sativum*) seed oils: Impact on functionality, stability and radical scavenging activity. Food Chemistry, v.132, p.873–879, 2012.
- Rangahau, M. K. Coriander. Crop & food research [Broad sheet], n. 30, p. 4. 2001. Disponível em: <http://www.nzicfr.com.nz>.
- Reis, A.; Satelis, J. F.; Pereira, R. S.; Nascimento, W. M. Associação de *Alternaria dauci* e *A. alternata* com sementes de coentro e eficiência do tratamento químico. Horticultura Brasileira, v.24, n.1, p.107-111, 2006.
- Sarada, C.; Kalidasu, G.; Da Reddy, T. Y.; Reddy, P. V. Weather modification for off-season production of coriander (*Coriandrum sativum* L.) for leaf. Journal of Agrometeorology, n.13 (1), p.54-57, 2011.
- Sarimeseli, A. Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves. Energy Conversion and Management, v.52, p.1449-1453, 2011.
- Silva, V. P. R. Estimativa das necessidades hídricas da mangueira. Tese de doutorado. Universidade federal de Campina Grande, PB, 129p, 2000.
- Silva, V. P. R.; Azevedo, P. V.; Silva, B. B.; Bassoi, L. H.; Teixeira, A. H. C.; Soares, J. M.; Silva, J. A. M. Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no balanço hídrico do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.3, p.456-462, 2001.

- Silva, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments* n.58, p.575-596, 2004.
- Silva, V. P. R.; Filho, A. F. B.; Silva, B. B.; Campos, J. H. B. C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.547-553, 2005.
- Silva, V. P. R.; Campos, J. H. B. C.; Azevedo, P. V. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. *Scientia Horticulturae*, v.102, p.467-472, 2009.
- Smith, M. Report on the expert consultation on produces for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO, Rome, p.54, 1991.
- Souza, C. B.; Silva, B. B.; Azevedo, P. V.; Silva, V. P. R. Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.4, p.400-407, 2008.
- Stone, L. F.; Silveira, P. M. Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação. Embrapa- CNPAF, Santo Antônio de Goiás. 49 p, 1995.
- Streck, N. A.; Alberto, C. M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. *Ciência Rural*, v. 36, n. 2, p. 424-433, 2006.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Plant physiology*. Redwood: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1991.
- Thornthwaite, C. W. Na approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v.38, p.55-94, 1948.

- Timm, L. C.; Oliveira, J. C. M.; Tominaga, T. T.; Cássaro, F. A. M.; Reichardt, K.; Bacchi, O. O. S. Water balance of a sugarcane crop: Quantitative and qualitative aspects of its measurement. *Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.57-62, 2002.
- Wanderley Júnior, L. J. G.; Nascimento, W. M. Produção de sementes de coentro. 2008. Disponível em: <<http://www.abhorticultura.com.br>>. Acesso em: 10 abr. 2008.
- Wangensteen, H.; Samuelsen, A.B.; Malterud, K. E. Antioxidant activity in extracts from coriander. *Food Chemistry*, v.88 (2), p.293-297, 2004.
- Wei, Y.; Sado, K. Estimation of areal evapotranspiration using Landsat TM data alone. In: 5th Asian Conference on remote Sensing, Bangalore, India, 1994.
- Zhao, C.; Feng, Z.; Chen, G. Soil water balance simulation of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in the semiarid Chinese Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, v.69, p.101-114, 2004.