



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DO GERGELIM NA REGIÃO DA CHAPADA
DO APODI -RN**

ELLOISE RACKEL COSTA LOURENÇO

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO – 2016

**CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DO GERGELIM NA REGIÃO DA CHAPADA
DO APODI -RN**

ELLOISE RACKEL COSTA LOURENÇO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Agrometeorologia e Micrometeorologia

LINHA DE PESQUISA: Necessidades Hídricas de Culturas

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- L892c Lourenço, Elloise Rackel Costa.
Consumo hídrico da cultura do gergelim na região da Chapada do Apodi-RN / Elloise Rackel Costa Lourenço. – Campina Grande, 2016.
59 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2016.
"Orientação: Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo".
Referências.
1. Agrometeorologia. 2. Balanço Hídrico no Solo. 3. Gergelim (*Sesamun indicum L.*). 4. Coeficiente de Cultivo. I. Azevedo, Pedro Vieira de. II. Título.

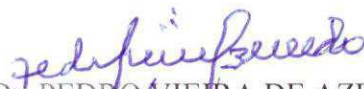
CDU 551.5:631(043)

ELLOISE RACKEL COSTA LOURENÇO

CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DO GERGELIM NA REGIÃO DA CHAPADA
DO APODI - RN

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/02/2016

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
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



Dr. JOSÉ RENATO CORTEZ BEZERRA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Algodão

DEDICATÓRIA

A Deus, por me dar a vida e estar sempre comigo me dando forças para superar todos os obstáculos, mesmo quando eu fraquejei.

Aos meus pais Evaldo e Francicleide, por sempre acreditarem em mim, se esforçarem para me proporcionar desde pequena, uma vida com educação de qualidade e serem meus maiores companheiros nessa minha jornada acadêmica e dando o exemplo para que eu queira ser uma pessoa melhor.

Aos meus irmãos Clívia e Evaldo Filho, por serem sempre meus parceiros e me fazerem se esforçar para ser o seu exemplo.

A meu amado Vinícius Campos, por estar comigo desde o começo do mestrado, sempre me apoiando e motivando nos momentos difíceis.

Aos meus amigos, por proporcionarem momentos alegres mesmo quando eu queria ficar triste, por serem minha fonte de alegria.

AGRADECIMENTOS

A CAPES, pela disponibilização da bolsa e pelo incentivo a pesquisa.

Ao professor e orientador Pedro Vieira de Azevedo, por acreditar no meu potencial e ampliar meus conhecimentos sobre a Agrometeorologia.

Ao doutor José Renato Cortez Bezerra, pelo total apoio desde a inicialização do projeto tanto em Apodi quanto na realização da metodologia, pelas lições de vida e por mostrar como é fantástico fazer o que gosta.

Ao professor Carlos Antônio Costa, pela paciência e contribuição na minha jornada acadêmica.

Aos funcionários da Embrapa Algodão, Célio, Zonta, Mário e Sebastião pelo apoio durante o experimento de campo.

À Emparn pela disponibilização de um ambiente confortável durante minha estadia em Apodi.

Aos funcionários da Emparn - Apodi, em especial a Júlia, Najara e Paulo, pela ajuda durante a época experimental e o apoio em Apodi.

Aos meus colegas de curso por me ajudarem nas diversas etapas, em especial a minha colega Thais Benevides, com quem conservei uma grande amizade.

Aos meus professores do Mestrado em Meteorologia pelos ensinamentos e incentivos.

Aos funcionários da Pós-Graduação, pela atenção.

Ao meu colega e auxiliar no experimento Alécio Pereira, pelo imensurável auxílio na condução do trabalho de campo, na dissertação e com quem construí uma grande amizade.

Aos funcionários da Universidade Federal de Campina Grande e do Laboratório de Solo da Embrapa Algodão, pelas análises do solo.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Cultura do gergelim.....	18
2.2 Movimento da água no solo	20
2.3 Consumo hídrico da cultura	21
2.4 Sondas de capacitância para monitoramento da umidade no solo	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Caracterizações da área de estudo	31
3.2 Cultura estudada	32
3.3 Plantio.....	34
3.4 Solo e água	35
3.5 Coleta de dados climáticos da área experimental.....	37
3.6 Instrumentação utilizada	37
3.7 Evapotranspiração de referência	39
3.8 Evapotranspiração da cultura pelo balanço hídrico no solo.....	43
3.9 Coeficiente de Cultivo.....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1 Ciclo fenológico do gergelim, BRS ANAHÍ	48
4.2 Evapotranspiração de Referência (ET _o) pelo método de Penman- Monteith.....	48
4.3 Evapotranspiração da cultura do Gergelim pelo método do balanço hídrico no solo.....	49
4.4 Coeficiente de Cultivo (K _c) do gergelim	51
4.5 Lâmina líquida e consumo hídrico do gergelim.....	53
4.6 Rendimento do Gergelim	54
5. CONCLUSÕES.....	55
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

A	Ascensão capilar
BHS	Balanço Hídrico no Solo
c	Coeficiente de confiança
cm	Centímetros
C_p	Calor específico do ar seco à pressão constante
d	Difusidade
d_r	Inverso da distância relativa Terra-Sol
D	Drenagem Profunda
DAE	Dias após emergência
D_j	Dia Juliano
ΔAM	Variação no armazenamento da água no solo
ΔAh	Variação do armazenamento de água no solo
ET	Evapotranspiração
ETo	Evapotranspiração de referência
ETc	Evapotranspiração da cultura
e_s	Pressão de saturação do vapor de água
$e^0(T)$	Pressões de saturação do vapor de água mínima e máxima
$e^0(T_{max})$	Pressão de saturação do vapor de água para a temperatura máxima
$e^0(T_{min})$	Pressão de saturação do vapor de água para a temperatura mínima
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FDR	Sonda de Capacitância
FR	Frequência relativa
G	Fluxo de calor no solo
G_{sc}	Constante solar
I	Irrigação
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
K	Condutividade hidráulica
K_c	Coeficiente da cultura
$K(\theta)$	Condutividade hidráulica do solo não saturado
L	Calor latente de vaporização da água
LL	Lâmina líquida de reposição
m	Metros
MDA	Ministério de Desenvolvimento Agrário
N	Nitrogênio
P	Precipitação pluviométrica
PM	Penman-Monteith
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
P_o	Pressão atmosférica local média
q	Movimento da água do solo para a planta
r	Coeficiente de correlação de Pearson
r^2	Coeficiente de determinação
R	Escoamento superficial
R_a	Radiação extraterrestre
R_n	Saldo de radiação
R_{nl}	Balanço de radiação de ondas longas
R_{ns}	Balanço de radiação de ondas curtas
R_s	Radiação solar incidente

R_{so}	Radiação solar para dias de céu claro
S_e	Saturação efetiva
T	Temperatura média
TDR	Reflectometria no domínio do tempo
T_i	Temperatura mínima
T_x	Temperatura máxima
θ	Conteúdo volumétrico de água no solo
θ_s	Umidade volumétrica no momento da saturação
θ_r	Umidade volumétrica residual a 1500 kPa
u_2	Velocidade média diária do vento a 2 m de altura
u_{10}	Velocidade média diária do vento a 10 m de altura
UR	Umidade relativa do ar
UR_{max}	Umidade relativa máxima
UR_{min}	Umidade relativa mínima
ω_s	Ângulo horário
φ	Latitude local em radianos
ψ_m	Potencial matricial do solo
γ	Fator psicrométrico
ε	Razão entre as massas moleculares da água e do ar seco
z	Altitude local
Z	Espessura da camada do solo
δ	Declinação solar

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1	Evapotranspiração de referencia (E_{To}).....	39
Equação 3.2	Inclinação da curva de vapor (Δ).....	40
Equação 3.3	Temperatura média do ar (T).....	40
Equação 3.4	Constante psicrométrica (γ).....	40
Equação 3.5	Pressão atmosférica local média (P_0).....	40
Equação 3.6	Velocidade média diária do vento a 2 m de altura (u_2).....	41
Equação 3.7	Pressão de saturação do vapor de água (e_s).....	41
Equação 3.8	Pressões de saturação do vapor de água mínima e máxima ($e_0(T)$).....	41
Equação 3.9	A pressão atual do vapor de água (e_a).....	41
Equação 3.10	O saldo diário de radiação (R_n).....	41
Equação 3.11	Balanco de radiação de ondas curtas (R_{ns}).....	41
Equação 3.12	Balanco de radiação de ondas longas (R_{nl}).....	42
Equação 3.13	Radiação solar para dias de céu claro (R_{so}).....	42
Equação 3.14	Radiação extraterrestre (R_a).....	42
Equação 3.15	Ângulo horário (ω_s).....	42
Equação 3.16	Inverso da distância relativa Terra-Sol (d_r).....	42
Equação 3.17	Declinação solar (δ).....	42
Equação 3.18	Evapotranspiração da cultura (E_{Tc}).....	42
Equação 3.19	Volume de reposição da água (LL).....	43
Equação 3.20	Drenagem e Ascensão Capilar (D/A).....	43
Equação 3.21	Potencial matricial do solo (ψ_m).....	43
Equação 3.22	Condutividade hidráulica do solo não saturado ($K\theta$).....	43
Equação 3.23	Saturação efetiva (S_e).....	44
Equação 3.24	Armazenamento de água no solo (ΔAM).....	47
Equação 3.25	Varição do armazenamento (ΔAh) no perfil do solo molhado.....	47
Equação 3.26	Coefficiente de cultivo (K_c).....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Componentes do método do Balanço Hídrico no Solo.....	25
Figura 2.2	Variação dos coeficientes de cultivo (Kc) em função da cultura no ciclo total.....	28
Figura 2.3	Sonda Diviner 2000® e seus componentes.....	30
Figura 3.1	Localização do experimento na sede da EMPARN da cidade de Apodi - RN.....	31
Figura 3.2	Desenvolvimento do cultivar BRS ANAHÍ na área experimental da EMPARN, Apodi, RN, 2015.....	32
Figura 3.3	Sementes do gergelim BRS ANAHÍ, Apodi, RN, 2015.....	33
Figura 3.4	Detalhamento do caule, folhas e frutos do gergelim BRS ANAHÍ . Apodi, RN, 2015.....	33
Figura 3.5	Linhas de Plantio traçadas com a plantadeira e adubação. Apodi, RN, 2015.....	34
Figura 3.6	Delimitação da área experimental. Apodi, RN, 2015.....	35
Figura 3.7	Aspersor na área experimental. Apodi, RN, 2015.....	37
Figura 3.8	Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática. Apodi, RN, 2015.....	38
Figura 3.9	Equação de calibração da sonda Diviner 2000.....	39
Figura 3.10	Infiltrômetro na área experimental. Apodi, RN, 2015.....	45
Figura 3.11	Curva de retenção do conteúdo de água do solo da área experimental nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm do perfil do solo da área experimental. Apodi, RN, 2015.....	46
Figura 4.1	Evapotranspiração de Referência durante o ciclo do gergelim BRS ANAHÍ.....	49
Figura 4.2	Evapotranspiração da cultura para a cultura do gergelim BRS ANAHÍ. Apodi, RN, 2015.....	51
Figura 4.3	Coefficiente de cultivo do gergelim BRS ANAHÍ para a região da Chapada do Apodi-RN.....	52
Figura 4.4	– Comparação do Coeficiente de cultivo do gergelim BRS ANAHÍ com o da FAO (Allen et al. 1998).....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Dados meteorológicos médios mensais de pressão atmosférica (Pressão), temperatura média (T), temperatura máxima (T_x), temperatura mínima (T_i), precipitação (P) e umidade Relativa do ar (UR) do período experimental. Apodi, RN, 2015.....	35
Tabela 3.2 Caracterização física do solo da área experimental nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo. Apodi, RN, 2015.....	36
Tabela 3.3 Umidade do solo e Água disponível da área experimental, Apodi, RN.....	37
Tabela 3.4 Valores dos parâmetros de ajuste obtidos pelo modelo de Van Genuchten (1980) da curva de retenção do conteúdo de água no solo e da condutividade hidráulica da área experimental. Apodi, RN, 2015.....	46
Tabela 4.1 Ciclo fenológico do gergelim, cultivar BRS ANAHÍ em suas fases fenológicas, no período de 11/08 a 31/10/2015, Apodi, RN, 2015.....	48
Tabela 4.2 Evapotranspiração de Referência (ET _o) diária e total pelo método de Penman-Monteith no período experimental. Apodi, RN, 2015.....	48
Tabela 4.3 Balanço Hídrico no solo para o gergelim no período experimental. Valores totais da Irrigação (I), Drenagem (D), Variação de armazenamento de água no solo (Δh), Evapotranspiração da cultura (ET _c) e valores diários da ET _c . Apodi, RN, 2015.....	50
Tabela 4.4 Valores médios dos coeficientes de cultivo (K _c) do gergelim divididos pela fase fenológica. Apodi, RN, 2015.....	52
Tabela 4.5 Valores das lâminas líquidas aplicadas no gergelim e seu consumo hídrico.....	53

CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DO GERGELIM NA REGIÃO DA CHAPADA DO APODI –RN

RESUMO

O experimento de campo foi conduzido na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (RN) – EMPARN, localizada no município de Apodi, RN. O período de estudo foi de 11 de agosto a 31 de outubro de 2015, cujo objetivo foi estudar o consumo hídrico da cultura do gergelim (*Sesamum indicum L*) para as condições edafoclimáticas da região semiárida da chapada do Apodi - RN. Para o estudo foi utilizado os métodos do balanço hídrico no solo para estimar a evapotranspiração da cultura (ETc), o método de Penman - Montheith para estimar a evapotranspiração de referência (ETo) e a relação ETc/ ETo para determinação do coeficiente de cultivo (Kc). No experimento foi estudada a cultura do gergelim BRS ANAHÍ. A irrigação foi feita por aspersores distribuídos em toda a parcela experimental e foi aplicado no ciclo total o equivalente a 534,9 mm de água. O ciclo do gergelim foi de 82 dias, distribuídos na fase I, período de germinação das plantas até 10% de cobertura, com duração de 13 dias; a fase II, 10 % da cobertura ao início da floração, com duração de 22 dias; a fase III, do início da floração ao início da maturação dos frutos, com duração de 33 dias; e a fase IV – fase final, da maturação dos frutos até a colheita, com duração de 14 dias. O consumo hídrico total foi de 502,2 mm durante todo o ciclo e o médio para cada fase fenológica foi de 43,8 mm (Fase I), 121,7 mm (Fase II), 268,5 mm (Fase III) e 68,2 mm (Fase IV). O coeficiente de cultivo (Kc) apresentou valores médios para cada fase fenológica de 0,51; 0,73; 1,03 e 0,59 para as fases I, II, III e IV, respectivamente.

Palavras chave: balanço hídrico no solo, *Sesamun indicum*, coeficiente de cultivo.

WATER CONSUMPTION OF GERGELIM'S CROP IN THE REGION OF THE APODI PLATEAU-RN

ABSTRACT

The field experiment was conducted at the Experimental Agricultural Research Farm Company of Rio Grande do Norte (RN) – EMPARN, located in Apodi, RN. The study period was from August 11 to October 31 of 2015 whose objective was to study the water consumption of the gergelim's crops (*Sesamum indicum* L) to soil and climatic conditions of the semiarid region of Apodi - RN. For the study, it was used the methods of water balance in the soil to estimate the crop evapotranspiration (ET_c), Penman's method - Monteith to estimate the reference evapotranspiration (ET_o) and the relationship ET_c/ET_o to determine the crop's coefficient (K_c). In the experiment we studied the gergelim BRS ANAHI crop. The Irrigation was carried out by nozzles distributed throughout the experimental plots and was applied to the entire cycle equivalent to 534.9 mm of water. The gergelim's cycle was 82 days, distributed in phase I, the plants germination period was up to 10% coverage, with duration a of 13 days; Phase II, 10% of the coverage to the beginning of flowering, which lasts 22 days; Phase III, the beginning of flowering to early fruit maturation, lasting 33 days; and phase IV - Final stage of ripeness of the fruit to harvest, lasting 14 days. The total water consumption was 502.2 mm throughout the cycle and the average for each phenological stage was 43.8 mm (Fase I), 121,7 mm (Fase II), 268,5 mm (Fase III) and 68,2 mm (Fase IV). The cultivation coefficient (K_c) showed an avarage value for each phenological stage 0.51; 0.73; 1.03 and 0.59 for the phases I, II, III and IV, respectively.

Keywords: water balance in the soil, *Sesamum indicum*, crop coefficient.

1. INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum L*) é uma cultura que apresenta características ideais para a região semiárida do Nordeste Brasileiro (NEB), de fácil cultivo e muito resistente a áreas com o clima seco. Tem registro de cultivo a mais de 4.300 anos a. C., é cultivado em mais de 70 países, principalmente em países do continente asiático e africano, sendo a China, Myanmar e Índia responsáveis por mais de 50% da produção mundial. Surgiu no continente africano e trata-se de uma oleaginosa que, além de produzir óleo de qualidade superior, pode ser utilizada na alimentação humana *in natura* ou por meio de produtos industrializados (AMABILE et al., 2001).

No Brasil, o cultivo do gergelim é restrito. As áreas se encontram na maioria dos estados nordestinos, em São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso. O país se caracteriza como pequeno produtor de gergelim com rendimento de 600,0 kg/ha e produz 15 mil toneladas em uma área de 25 mil hectares (FAO, 2005). O gergelim tem um grande potencial econômico e nos últimos anos vem recebendo um importante estímulo no mercado brasileiro. Com o recente incentivo do governo Federal, em utilizar o biodiesel na matriz energética nacional, as oleaginosas surgem como fonte de energia renovável com a finalidade de preservação do meio ambiente (MESQUITA et al., 2013). Um dos incentivos para a diversificação de oleaginosas é a mudança que ocorreu em 2010 pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA) na regra do benefício fiscal do selo combustível social do Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel (PNPB), cuja mudança incentiva o cultivo do gergelim e da mamona, oferecendo ótimos benefícios a quem adquirir a produção dos agricultores rurais dessas culturas.

Entre as demais culturas oleaginosas, o gergelim apresenta uma produtividade bem inferior, mas devido a produção do óleo de grande qualidade, oferece fontes de lucro ao pequeno e médio produtor. Muito embora com produtividade inferior à maioria das oleaginosas cultivadas, o gergelim merece um grande incentivo na sua exploração graças à sua ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas dos locais de clima quente, bom nível de resistência à seca e por representar uma excelente opção agrícola ao alcance do pequeno e médio produtor, exigindo práticas agrícolas simples e de fácil assimilação (ARRIEL et al., 2009). O teor de óleo presente no gergelim é de 44 a 58% do peso das sementes. Os grãos de gergelim, além de serem usados como excelente fonte de óleo, também são empregados na confecção de farinha, farelos e produtos de confeitaria (SAVY FILHO & BANZATTO, 1988). A demanda pelo gergelim, por parte dos produtores, gera a necessidade de que sejam

identificadas cultivares com alto rendimento e teor de óleo, assim, o gergelim é uma alternativa para a integração do sistema produtivo e torna-se competitivo com outras oleaginosas (AMABILE et al., 2001). No Nordeste Brasileiro, a cultura do gergelim teve a exploração comercial iniciada em 1986, com a diminuição do cultivo do algodão. Antigamente, o gergelim era plantado como uma alternativa pouco comerciável e não existia uma cultivar definida para as condições edafoclimáticas do Nordeste Brasileiro. A Embrapa Algodão e seus parceiros desenvolveram estudos de melhoramento genético, contribuindo para o estudo da adaptabilidade e da estabilidade de genótipos, para obter alta produtividade, entre eles se destacam as BRS Seda, CNPA G2 e CNPA G3.

A preocupação encontrada pelos produtores rurais são os custos com a produção, pois demanda de uma grande mão-de-obra na época de colheita que é totalmente manual (ARRIEL et al., 1999). Segundo Mazzani (1999), a exploração semi-mecanizada da cultura do gergelim é um componente fundamental para os produtores familiares, como forma de diminuir os custos de produção e de tempo de execução das atividades correspondentes numa exploração em escala comercial para a região do semiárido do Nordeste Brasileiro, ou seja, passar de “cultura de fundo de quintal” para cultura comercial de, no mínimo, dois hectares por produtor.

A água é um recurso de extrema necessidade para a vida dos seres vivos e seu uso de forma sustentável para as práticas agrícolas têm sido muito pesquisados nos últimos anos. Dentre outros estudos, o conhecimento das necessidades hídricas para uma cultura é de extrema importância para identificar a quantidade de água que a planta necessita em seu desenvolvimento potencial, com obtenção do maior rendimento possível. A água pode chegar ao solo por precipitação ou irrigação. A região Nordeste do Brasil (sujeita a massas de ar quentes e secas, oriundas da África) é a mais deficiente em chuvas, apresentando uma média anual inferior a 1000 mm de água (BISCARO, 2007).

Na região semiárida do Brasil, essas médias anuais de precipitação pluvial nem sempre são superiores a 500 mm, além das chuvas ocorrerem de forma aleatória e irregular ao longo do ano, comprometendo o suprimento adequado de água à maioria das culturas. Por isso, na maioria dos casos deve haver um planejamento do fornecimento suplementar de água as culturas, pois tanto a escassez quanto o excesso podem prejudicar o desenvolvimento da planta. A irrigação é a forma mais utilizada para se obter o desenvolvimento e produção da cultura potencial, principalmente para as regiões do semiárido brasileiro.

Devido a água ser um recurso natural escasso na região semiárida do Brasil, faz necessário oferecer alternativas de cultivo para os produtores rurais que gerem lucros e que se adequem a sua região. Por isso, é de extrema importância se conhecer as necessidades hídricas para um manejo eficiente da água. Deste modo, estimar a quantidade de água de uma cultura para seu crescimento, desenvolvimento e produtividade, deve partir da obtenção das entradas de água e saídas de água do solo, que pode ser obtido pela estimativa da evapotranspiração da área cultivada. O conhecimento de alternativas e métodos de estimativa das necessidades de água das culturas constitui-se de fundamental importância para o melhor entendimento das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera, para o planejamento da época de semeadura, na elaboração de projetos de irrigação e para o aperfeiçoamento de zoneamentos agroclimáticos (MATZENAUER et al., 1998). Os estudos mais comuns para se estimar a evapotranspiração são o balanço hídrico, balanço de energia (razão de Bowen) ou o método das correlações turbulentas. É de extrema importância estudar a necessidade hídrica da cultura para estabelecer um manejo de água adequado para a cultura.

Conhecendo como a planta utiliza a água no solo, e como ela responde aos níveis de armazenagem, o balanço hídrico pode ser uma alternativa para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo visando o melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas (BORGES, 2011). O balanço hídrico contabiliza os dados dos processos e fluxos no solo como a entrada de água seja ela vinda por precipitação ou por irrigação, variação do armazenamento da água, drenagem profunda/ ascensão capilar, o escoamento superficial e a evapotranspiração de uma determinada cultura durante seu cultivo.

No entanto, estudos referentes ao consumo hídrico do gergelim são escassos na literatura, e são necessários para um manejo adequado de modo a aumentar sua produtividade. Com isso, deve-se conhecer as necessidades hídricas da cultura do gergelim, podendo-se assim, determinar a quantidade de água a ser aplicada à cultura.

Face ao exposto, o presente trabalho foi desenvolvido visando os seguintes objetivos:

Geral: Obtenção do consumo hídrico da cultura do gergelim para as condições edafoclimáticas da região semiárida da chapada do Apodi, Rio Grande do Norte.

Específicos:

- Estimar a evapotranspiração da cultura (ETc), a partir do balanço hídrico no solo em cada fase fenológica da cultura;
- Obter o coeficiente de cultura (Kc) ao longo do ciclo de produção da cultura do gergelim.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do gergelim

A cultura do gergelim é considerada a nona oleaginosa mais cultivada do mundo, além de ser uma cultura de produção prospera em áreas com altas temperaturas, fatores ambientais e de grande radiação solar. É uma planta dicotiledônea, pertencente à família *Pedaliaceae* e que possui características morfológicas bem heterogêneas. Possui o caule ereto, sem ou com ramificações, apresentam folhas opostas ou alternadas, com as folhas de parte inferior mais larga. Seu período vegetativo tem duração de 3 a 4 meses e sua altura vai de 0,5 a 3 metros. Na fase de florescimento, desenvolvem-se flores completas e axilares, de 1 a 3 por axila foliar com a corola branca ou rosa. Seu fruto tem um ápice de ponta curta e dura e se abre ao atingir a maturação ou indeiscente, atinge o tamanho de 2 a 8 centímetros.

As condições ideais para a cultura do Gergelim atingir a máxima produção são as tropicais e subtropicais, temperatura elevada e umidade moderada. Segundo Beltrão & Vieira (2001) sua ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas a países de clima quente, bom nível de resistência à seca e facilidade de cultivo tornam a cultura do gergelim uma excelente opção para diversificação agrícola e com grande potencial econômico, tendo em vista as boas perspectivas do mercado nacional e internacional, pois suas sementes contêm em média 50% de óleo de elevada qualidade com aplicações que se encontram em plena ascensão, devido ao aumento da quantidade de produtos industrializáveis para o consumo, que tem crescido em torno de 15% ao ano, gerando demanda do produto *in natura* e mercado potencial capaz de absorver quantidades superiores à atual oferta. Para que ocorra o melhor desenvolvimento e crescimento do gergelim, os principais fatores meteorológicos são: temperatura, luminosidade e precipitação. A temperatura é um fator muito importante no cultivo do gergelim, porque influi diretamente nos processos respiratórios e fotossintéticos da planta, estando relacionada com a altitude, luminosidade e ventos (ARRIEL et al., 2009).

O cultivo do gergelim apresenta melhores resultados em áreas de altas temperaturas (25 °C a 30 °C) e altitudes de até 1.250 m. Temperaturas acima de 40 °C causam o abortamento de flores, não enchimento de grãos, pouca produtividade dos frutos, temperaturas muito baixas ou abaixo de 20 °C atrasam a fase de germinação e no desenvolvimento da planta e abaixo de 10 °C o metabolismo fica paralisado e isto leva a morte da planta.

O gergelim cresce e se desenvolve bem em diversos tipos de solo, principalmente em solos francos do ponto de vista textural, silicoargilosos, bem drenados e férteis e

principalmente em solos mais profundos de no mínimo 60 cm. Os solos das regiões semiáridas (Sertão, Cariri e Seridó) são pelo menos razoáveis, para o cultivo do gergelim (BELTRÃO et al., 1994). Segundo os mesmos autores, de maneira geral, nas regiões do Nordeste com maior risco de seca e período chuvoso curto, é recomendado cultivares de ciclo precoce a médio, porque as cultivares tardias nestas condições tem sua produtividade bastante reduzida, já nas regiões do Agreste também deve ser dada preferência às cultivares de ciclo mais rápido, recomendando-se ajustar, sempre, a época de plantio, de modo a que a colheita seja efetuada em período seco, para evitar a depreciação do produto colhido.

Milani et al. (2006) avaliaram o comportamento de 25 genótipos de gergelim em Ribeirão Preto/SP, com os experimentos conduzidos na safrinha e no período chuvoso, verificaram o baixo desenvolvimento destes genótipos avaliados em sistema de cultivo de sequeiro, no entanto, na área irrigada observou-se seu pleno desenvolvimento, comprovando que, embora seja resistente à seca, a quantidade de água é de fundamental importância para o desenvolvimento da cultura nos primeiros meses de cultivo. Pinto et al. (2008) estudaram o crescimento, distribuição do sistema radicular da cultura do gergelim sob irrigação e em ciclos de deficiência hídrica, e nos ciclos de deficiência hídrica notou uma diminuição no crescimento da planta e no número de folhas. Silva et al. (2008) avaliaram as áreas do Estado do Ceará com aptidão a cultura do gergelim sobre as condições edafoclimáticas e fenológicas da cultura do gergelim, dos 184 municípios no Estado do Ceará estudados, 136 foram considerados aptos para o gergelim e foi verificado risco climático diferenciado em função da época de plantio e do tipo de solo.

Para o cultivo do gergelim o solo deve ser preparado com o uso de aração e gradagem ou técnicas de preparo mínimo. O gergelim, por apresentar sementes que são muito pequenas, precisa ser semeado em solo bem preparado para facilitar a emergência das plântulas e promover seu estabelecimento o mais rápido possível, a fim de evitar a competição com as plantas daninhas.

A semeadura do gergelim deve ser realizada após regularização das chuvas e de modo que a colheita coincida com o período de estiagem, a fim de se obter grãos de qualidade. A semeadura é feita diretamente no campo e pode ser manual ou mecânica. Em caso de semeadura manual deve-se distribuir em torno de 25 a 30 sementes por metro e em caso de semeadura mecânica recomenda-se ajustar a distribuição de modo que se utilize no máximo 2 kg/ha de sementes. Deve haver o controle de plantas daninhas, pragas e doenças. O controle pode ser

manual (enxada e/ou cultivador) ou químico (herbicidas). A cultura deve ficar livre de competição até os 45 dias após a germinação.

2.2 Movimento da água no solo

A água é essencial para a vida e o desenvolvimento das plantas depende da existência de água disponível no solo. As plantas terrestres que entram em contato com o ar, radiação e o solo, perdem água por evapotranspiração. A água pode chegar até a planta por precipitação e por irrigação utilizando água dos lençóis freáticos, de rios, lagos, etc. Quando a água atinge o solo ela pode: ser armazenada no solo, ser absorvida pelas raízes e transpirada para a atmosfera através de suas folhas, ser drenada para camadas profundas ou ser evaporada para a atmosfera, completando assim o ciclo hidrológico.

De forma indireta a evaporação influencia a perda de água através do solo. A evaporação é determinada pela radiação que atinge a superfície do solo e diminuindo à medida que a cultura vai se desenvolvendo quando seu dossel sombrear o solo. A água e os nutrientes são absorvidos nas raízes e transportados pela planta. A planta absorve gás carbônico através dos estômatos e perdem moléculas de água no processo de transpiração. Quase tudo que é transportado é perdido na transpiração restando pouco para a planta. Quando a planta se desenvolve a transpiração vira o processo principal de perda de água através de suas folhas. Qualquer cultura tem um consumo hídrico para o seu desenvolvimento, sendo que cerca de 98% do volume apenas passa pela planta, perdendo pela atmosfera pelo processo de transpiração (REICHARDT, 1985).

A água quando armazenada no solo, fornece nutrientes suficientes para o desenvolvimento das plantas e quando o fornecimento não é correto a sua necessidade hídrica e quando ocorre perda do volume da água, a cultura pode sofrer grandes consequências. As perdas de água podem ser dadas por escoamento superficial, ocasionando erosão no solo ou por drenagem profunda, com a água indo direto para o lençol freático. O escoamento superficial pode ocorrer devido à topografia do terreno, declividade, das características do solo e da intensidade das chuvas. Quando água tem seu volume superior a capacidade de armazenamento do solo ela será movimentada para a parte mais profundas, indo para o lençol freático.

O movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera é um processo espontâneo e utiliza os gradientes de potencial matricial, gravitacional, de pressão e osmótico. Analisando a cultura e o movimento da água, ela irá se movimentar do solo para a raiz, depois para a planta

e finalmente para a atmosfera. A água se move procurando um local que tenha um estado de energia mais baixo, ou seja, para a atmosfera. Enquanto a água perdida por transpiração for repostada pelo solo, a planta não irá entrar em estado de ponto de murcha permanente, permanecendo túrgida. Quando a água disponível no solo não estiver em quantidade ideal para a demanda que será evaporada da atmosfera, a planta passará a perder mais água e entrará em ponto de murcha. Caso esse ponto de murcha ocorra, levará a morte da planta. Dentre esses e outros motivos é importante conhecer o nível de umidade do solo para que não ocorra nem excesso e nem falta de água para a cultura.

A água se movimenta da raiz para planta através do xilema. O xilema é um tecido vegetal formado por elementos condutores de água. O movimento é dado pela mesma equação do solo para a raiz, a equação de Darcy, sendo que o K do xilema é quase constante e maior em relação ao do solo. O movimento da água do solo para a planta se dá de forma líquida e quando for transpirada pela folha para a atmosfera se transformará em vapor. Para a transformação da forma líquida para a gasosa será utilizada a energia que é fornecida pelo Sol. Em dias mais quentes, caso o Sol forneça mais energia, o processo de transpiração será maior que nos outros dias.

O solo, planta e atmosfera são agentes que afetam diretamente o movimento da água. Para isto é importante que se conheça os fatores do solo (condutividade hidráulica, umidade e curva da água), da planta (área foliar, xilema, sistema radicular) e da atmosfera (vento, radiação e umidade relativa). A movimentação da água e perda pelas plantas é um processo bastante extenso, assim é importante sempre analisar o sistema água-planta-solo-atmosfera.

2.3 Consumo hídrico da cultura

O consumo hídrico da cultura depende das necessidades hídricas particulares de cada tipo de cultura. A quantidade de água no solo é um fator importante, devido aos movimentos que a mesma executa e nesse movimento nem todos os poros do solo ficam preenchidos. O manual 56 da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) diz que a combinação dos processos: de perda água da superfície do solo por evaporação e perda de água da cultura através de transpiração, é chamada de evapotranspiração (ET). A evapotranspiração é diretamente influenciada pelas condições climáticas do local, varia com a velocidade dos ventos, intensidade da radiação solar, temperatura do ar (TEIXEIRA & LIMA FILHO, 2004).

O aumento da população e o consumo de água gera uma maior preocupação para sua gestão. Isso tem estimulado o crescimento de pesquisas nessa área e dentre elas a necessidade hídrica da cultura, que consiste em quantificar a água que a planta precisa em seus estágios de desenvolvimento e para não ocorrer perdas no rendimento. Em regiões semiáridas, o manejo correto da água proporciona uma melhor gestão e economia dos recursos hídricos e maiores cuidados com a salinidade. Em regiões com o clima superúmido, onde os problemas são drenagem e lixiviação do solo e regiões com a precipitação não tão regulares, são as áreas que mais necessitam do estudo das necessidades hídricas das culturas (REICHARDT, 1985).

São poucos ainda os estudos referenciados aos mecanismos morfológicos e fisiológicos de resposta à deficiência hídrica para a cultura do gergelim (PINTO, 2006). Beltrão et al. (2001) comentaram que há poucas pesquisas abordando as necessidades hídricas do gergelim e uma das causas é o fato da cultura ainda não ser produzida no Brasil em escala comercial. A cultura do gergelim é plantada na maioria das vezes em pequenas propriedades e em consórcio com outras culturas (BELTRÃO et al., 1994). O gergelim é geralmente cultivado no Nordeste brasileiro em condições de sequeiro. Em condições de sequeiro, no semiárido nordestino o gergelim tem apresentado produtividades entre 800 e 1000 kg de sementes por hectare (ARRIEL et al., 2009). Segundo Nascimento et al. (2011) o máximo de rendimento da cultura é obtido em precipitações de 500 a 650 mm bem distribuídas durante o ciclo da cultura. Em sistema de cultivo irrigado, o gergelim tem possibilidades reais de produzir mais de 2.500 kg de sementes por hectare (ARRIEL et al., 2009).

O gergelim necessita, como as outras culturas, que haja a correta quantificação do volume de água a ser aplicado no solo para seu máximo rendimento, como o emprego da técnica da irrigação (NASCIMENTO et al., 2011; MESQUITA et al., 2013). Observa-se que em perímetros irrigados os produtores rurais vêm negligenciando o manejo adequado da irrigação, trazendo prejuízos no crescimento da cultura e trazendo consequências negativas para o rendimento e qualidade do produto (MANTOVANI et al., 2007). Em casos de saturação dos solos em regime de sequeiro ou irrigação negligenciada, mesmo em regiões semiáridas, podem ser alteradas as condições químicas e biológicas do solo e dependendo da fase fenológica que o gergelim se encontra pode afetar a produção, a altura da planta e a quantidade de frutos. Se a saturação ocorrer em períodos longos, pode causar até a morte da planta.

Pereira et al. (2014) determinaram o consumo hídrico do gergelim através do balanço hídrico no solo em na área da Embrapa Algodão em Barbalha, CE, com a cultivar BRS 196 CNPA G4 irrigada com 100% da ETC, onde aplicou uma lâmina líquida total de 567,50 mm.

2.3.1 Evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência ou evapotranspiração da cultura de referência (ET_o), é a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência denominada. O conceito da evapotranspiração de referência foi criado com o intuito de estudar a evaporação da atmosfera independente da cultura, manejo e desenvolvimento.

Na literatura, encontram-se diversos métodos para o cálculo da ET_o. Dentre eles podemos exemplificar o método de Priestley & Taylor (1972), tanque classe A e o de Penman-Monteith (PM). O método é utilizado na estimativa da ET_o, se constitui numa aproximação do método de PM. Nesta equação permanece apenas o saldo de radiação corrigido por um coeficiente empírico (α), conhecido como parâmetro de Priestley & Taylor, o qual incorpora a energia adicional ao processo de evapotranspiração proveniente do termo aerodinâmico. O método do tanque classe A dará a ET_o de forma bastante simplificada a partir de dados coletados no tanque (evaporação da água). A ET_o será obtida a partir do coeficiente de conversão da evaporação do tanque Classe “A” em ET_o, em função da velocidade do vento, da área de exposição vegetal relativa ao tanque, umidade relativa do ar e a evaporação do tanque classe A (mm/dia). Já o método de PM é bastante usado e referenciado por ser o método que apresenta melhores resultados. No manual 56 da FAO (ALLEN et al., 1998) recomendam o método de PM como padrão, o qual requer os parâmetros climáticos de radiação, temperatura do ar, umidade do ar e dados de velocidade do vento. O método realiza o cálculo para derivar parâmetros climáticos dos dados meteorológicos, calculando as variáveis meteorológicas estimadas. Assim, o cálculo de ET_o é dado com diferentes espaços de tempo, são descritos com parâmetros meteorológicos principais e com dados perdidos.

Considerando que o método de PM, mesmo sendo o padrão para a estimativa de ET_o, exige a medição ou a estimativa de muitos elementos de difícil obtenção na maioria das regiões brasileiras, mesmo contando-se atualmente com maior facilidade de aquisição de mini-estações meteorológicas automatizadas, a determinação de valores de K_c para métodos de estimativa de ET_o que utilizam elementos de maior simplicidade de obtenção como a temperatura do ar, e de maior facilidade de estimativa como a radiação solar no topo da atmosfera, aumenta a perspectiva de uso mais correto do coeficiente de cultivo, propiciando maior universalização

do manejo de água com maior racionalidade na agricultura irrigada, o que levará à maior economia de água e, como consequência, de energia (FERREIRA, 2010). As utilizações de estações automáticas podem determinar a ETo diminuindo os erros, e programadas podem utilizar o método de PM e caso ocorra falta de dados, o método também utiliza ferramentas para estimação (ALLEN et al., 1998).

Cunha et al. (2013) realizaram um estudo para avaliar o desempenho de 30 métodos para estimar a ETo para Chapadão do Sul (MS), utilizando dados meteorológicos do INMET no período de 2008 a 2011 tomando como método padrão de PM – FAO 56 e a comparando os resultados por meio do coeficiente de determinação (r^2), dos coeficientes “a” e “b” das regressões lineares, erro-padrão da estimativa (EPE), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de correlação de Pearson (r) e do coeficiente de confiança (c). Sousa et al. (2014) utilizaram a ETo para estimar a lâmina de irrigação do gergelim em uma área experimental em Fortaleza da Universidade Federal do Ceará e utilizou cinco lâminas de irrigação: L1=57 mm; L2=114 mm; L3= 171 mm; L4= 228 mm e L5= 285 mm) que correspondem a 25, 50, 75, 100 e 125% da ETo de PM na presença e ausência de biofertilizante bovino.

2.3.2 Evapotranspiração da cultura (ETc)

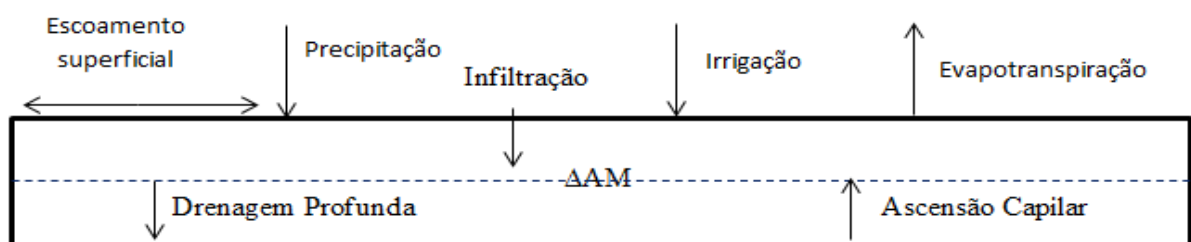
A ETc depende das condições meteorológicas, expressas por meio da evapotranspiração de referência (ETo), do tipo de cultura e da área foliar. Como a área foliar da cultura padrão é constante e a da cultura real varia, o valor do coeficiente de cultura (Kc) também varia. A estimativa adequada da ETc consiste no principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, uma vez que ela totaliza a quantidade de água utilizada nos processos de evaporação e transpiração pela cultura durante determinado período (AZEVEDO et al., 2007). A ETc pode ser estimada utilizando o balanço hídrico no solo, diversos pesquisadores vêm desenvolvendo estudos utilizando este método (ANTONINO et al., 2000; CINTRA et al., 2000; SILVA et al., 2001; LIMA et al. 2006). O conhecimento da ETc irá fornecer subsídios para a correta utilização de lâminas de água para irrigação dependendo do clima da região. Existem inúmeras pesquisas sobre as necessidades hídricas da cultura e irrigação, podemos citar: Mesquita et al. (2013) com o objetivo de avaliar o efeito de cinco níveis de irrigação, a produtividade da cultura do gergelim, e outras características agronômicas sobre a variedade “Seda”. A pesquisa foi realizada na área experimental da Estação Agrometeorológica, pertencente à Universidade Federal do Ceará utilizaram lâminas de irrigação com base na ETo de 25% (T1), 50% (T2), 75% (T3), 100% (T4) e 150% (T5). A

lâmina de irrigação que maximizou a produtividade do gergelim foi estimada em 116,5% com base na ETo de PM.

Para fins de manejo de irrigação, valores diários de ETc podem ser estimados a partir das curvas do coeficiente da cultura (Kc), os quais refletem as taxas de variação do uso da água de acordo com os estágios de crescimento, se os valores da ETo estão disponíveis (BENLIN et al., 2006). É de extrema importância para a utilização dos recursos hídricos, pois possibilita estimar o consumo de água em diversas condições locais e evitar a perda de água. A determinação da quantidade de água para uma cultura é importante para o manejo da irrigação e para um melhor aproveitamento das áreas referentes ao cultivo, trazendo assim uma maior produtividade e desenvolvimento da planta.

2.3.3 Balanço hídrico no solo (BHS)

O BHS é a somatória da quantidade de água que é adicionada, armazenada e retirada do solo na produção agrícola. Ele é utilizado com intuito de estimar quanto de água a cultura necessita em seu desenvolvimento e a quantidade líquida que permanecerá disponível. De acordo com Libardi (1995), o método do BHS avalia, em determinado período de tempo, os vários processos de fluxo da água em um dado volume de solo através da contabilização da precipitação pluviométrica (P, mm), da irrigação (I, mm), da drenagem profunda/ascensão capilar (D/A, mm), da variação no armazenamento da água no solo (ΔAM , mm), do escoamento superficial (R, mm) e da evapotranspiração (ETc, mm). O BHS pode ser mostrado na Figura 2.1.



Figuras 2.1 – Componentes do método do balanço hídrico no solo. Fonte: Autora.

Para conhecer as necessidades hídricas das culturas não é preciso somente conhecer os dados pluviométricos do estudo. Segundo Camargo (1987) deve considerar também os processos de perda de água do solo para a atmosfera fazendo-se o BHS. Para realizar o BHS é importante escolher a camada do solo que vai ser utilizada e essa camada deve fazer parte da zona de absorção das raízes, ou parte dela (REICHARDT, 1985). Com isso é importante também entender o sistema radicular da cultura em estudo, pois com esses dados é possível

calcular o balanço corretamente. A precisão dos dados é de extrema importância para a confiabilidade do BHS, por isso, a utilização de instrumentos corretamente calibrados também auxilia na confiabilidade dos dados. Um dos principais problemas para determinação dos componentes do balanço é a quantificação da drenagem/ascensão capilar, principalmente em solos muito arenosos, com baixa capacidade de retenção de água e irrigação intensas, onde a drenagem é elevada.

O BHS é bastante utilizado por diversos pesquisadores na determinação da ETc e tem mostrado bons resultados, uma vez que o mesmo reflete melhor as condições de advecção muitas vezes não captada pela maioria dos métodos de medidas ou estimativas. Lima et al. (2006) determinaram os componentes do BHS (evapotranspiração, variação do armazenamento de água no solo, drenagem profunda, ascensão capilar e precipitação pluvial), em um Latossolo Amarelo cultivado com feijão caupi. Em uma área de 4 ha do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, Areia - PB e verificou-se a ocorrência de uma subestimativa da drenagem profunda, pequenos valores (-17,23 mm) encontrados para esse tipo de solo e que as variações do armazenamento de água no perfil de solo seguiram as variações da precipitação pluvial, a evapotranspiração do feijão caupi foi mais elevada nos períodos de maior disponibilidade hídrica, com valor médio de 4,12 mm/d, sendo que o maior consumo de água ocorreu na fase reprodutiva.

Antonino et al. (2000) realizaram o BHS em cultivos do semiárido nordestino, instalou-se um experimento em Coxixola - PB, com quatro tratamentos (plantios de milho e de feijão, solo nu e com cobertura morta), e foram medidos chuva, evaporação (Tanque “classe A”) e armazenamento de água no solo (sonda de nêutrons). Segundo os mesmos autores, a chuva pouca (212 mm) e mal distribuída causou restrição hídrica na parte final do experimento e foi responsável pelas baixas eficiências de uso de água e baixas produtividades do milho (grãos e biomassa total, 282 e 1141 kg ha⁻¹) e do feijão (166 e 558 kg ha⁻¹), o solo nu e com cobertura morta tiveram comportamentos semelhantes, com grandes perdas de água (1,57 e 1,48 mm dia⁻¹, respectivamente) e apenas pequenos aumentos nas lâminas armazenadas no perfil do solo, ao final do experimento (28 e 35 mm, respectivamente).

2.3.4 Coeficiente de cultivo (Kc)

O coeficiente de cultivo (Kc) é dado pela relação entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo). O Kc é de extrema importância para ajustar o consumo da quantidade de água necessária de uma cultura específica, para que com isso seja

redirecionado o sistema de irrigação caso necessite de um perímetro irrigado. A determinação do K_c é dada pela relação das médias da evapotranspiração de referência e da cultura de cada fase fenológica. Segundo Amaral & Silva (2008) o coeficiente de cultivo é um fator importante no indicativo do consumo de água ideal para a planta durante todo o seu ciclo, constituindo-se, portanto, em um elemento imprescindível para um escalonamento mais racional de projeto e manejo de irrigação.

O K_c integra os efeitos das características típicas de uma cultura particular, conseqüentemente, culturas diferentes possuem valores diferentes de K_c e variando de acordo com seu crescimento. Estes valores dependem do desenvolvimento da cultura e das condições meteorológicas, da entrada de água no solo e a densidade do plantio. Durante o período de crescimento da planta, a variação do K_c ocorre devido às mudanças na vegetação e do grau de cobertura do solo, variando ao longo do crescimento da cultura e representado pela curva de variação do K_c (Allen et al., 1998). Para Doorenbos & Pruitt (1975) a cultura pode ser dividida em quatro fases: Fase I – Inicial (K_c inicial), Fase II- Crescimento (K_c intermediário), Fase III – Média (K_c médio) e Fase IV – Final (K_c final). Levando em consideração aos fatores morfológicos e fisiológicos da planta, podemos entender que a Fase I é a fase de onde ocorre o estabelecimento da planta, da germinação até 10% da cobertura vegetal. A Fase II ocorre de 10% da cobertura a floração, a fase III, do início da floração ao início da maturação dos frutos; e a fase IV – fase final, da maturação dos frutos até a colheita.

Segundo Allen et al. (1998), o estreito espaçamento entre plantas e maior altura da superfície de um grande número de culturas agrícolas, ocorre como resultado destas culturas coeficientes maiores do que 1,0. Segundo os mesmos autores, em tais casos, o K_c muitas vezes é 5 a 10% maior do que o valor de referência (onde $K_c = 1,0$), pode ser 15 a 20% mais elevado no caso de culturas altas, tais como milho, sorgo ou cana de açúcar (Figura 2.2).

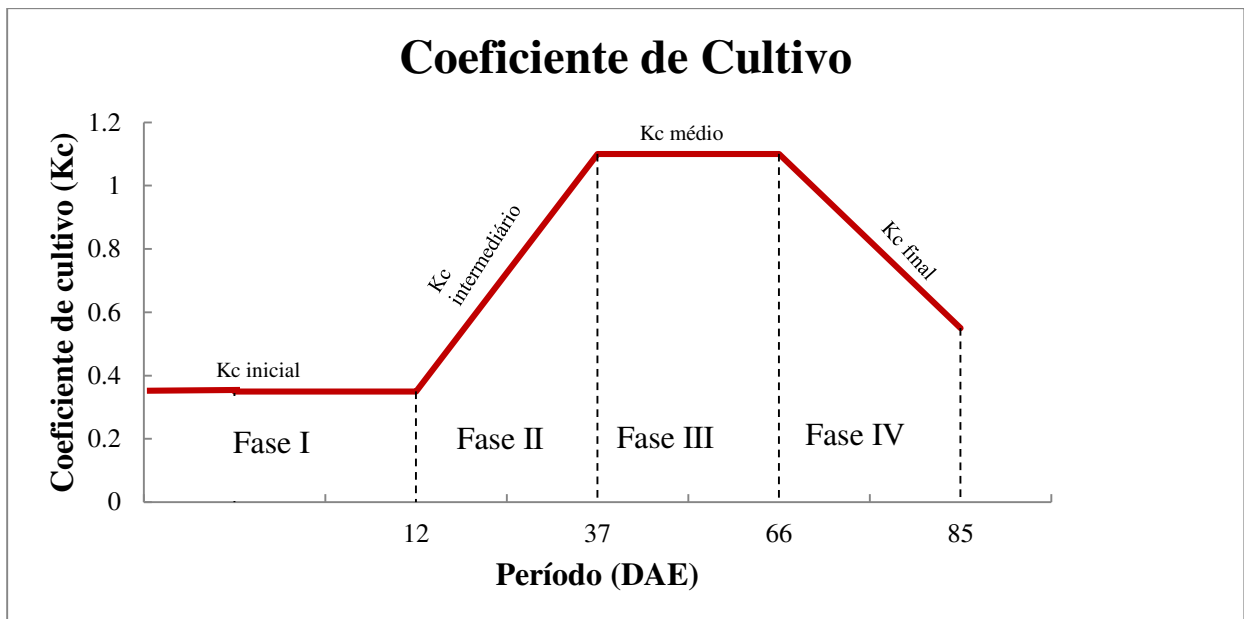


Figura 2.2 – Variação do coeficiente de cultivo (Kc) em função do ciclo total da cultura. Fonte: Adaptado de Allen et al. (1998)

2.4 Sondas de capacitância para monitoramento da umidade no solo

Para determinar a quantidade de água existente em uma parcela de solo é necessário conhecer alguns conceitos, dentre eles está o da água disponível, que pode ser definida como a água que está disponível no solo na zona radicular e é absorvida pela planta. O manejo correto da irrigação auxilia na produtividade e qualidade do cultivo, oferecendo assim, um ótimo retorno financeiro ao produtor. As práticas corretas de irrigação proporcionam a umidade correta para a zona radicular das plantas e minimiza a contaminação difusa, ou seja, a lixiviação de nutrientes e água por baixo da zona radicular.

Para se conhecer o consumo hídrico de uma cultura é necessário que obtenha o Kc, em função da ETo e da ETc. Fornecendo assim, estimativas da quantidade de água para os cultivos que será utilizada na irrigação e um aumento da produtividade. Existem diversas metodologias, classificadas em métodos diretos e indiretos. 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 de forma indireta com base na evapotranspiração obtida pelo balanço de energia ou balanço hídrico do solo.

O método direto (gravimétrico) onde há o monitoramento da umidade do solo é bastante utilizado como calibração dos métodos indiretos. A medição do peso é dada por balanças de precisão e é utilizado amostras de solo. Para as coletas do solo é utilizado o trado retirando

amostras de diversas profundidades. Coletadas as amostras elas devem ser guardadas para não ocorrer perda de água por evaporação, e para o armazenamento geralmente utilizam latas de alumínio seladas e sacos plásticos. O material coletado deve ser levado ao laboratório para obter as características físicas do solo. Os métodos diretos são mais exatos, contudo, são onerosos e difíceis, pois exigem equipamentos e instalações especiais e os instrumentos são de altos custos, justificando-se apenas em condições experimentais (PEREIRA et al, 1997).

Vários métodos são encontrados na literatura para o monitoramento da água no solo, que podem ser usados para estimar a umidade do solo, destacam-se: os tensiométricos (tensiômetros), os radiométricos (sonda de nêutron), os de resistência elétrica (bloco de gesso), os de reflectometria no domínio do tempo (TDR), os de capacitância ou reflectometria no domínio da frequência, por exemplo, a Sonda de Capacitância (FDR), e os de reflexão ou emissão de radiação (sensoriamento remoto). Segundo EVETT et al. (2006) os equipamentos do tipo TDR e FDR podem ser considerados da mesma categoria porque baseiam seu princípio de funcionamento nas características eletromagnéticas do solo. Os métodos diretos se destacam por obter dados com pouca alteração no perfil do solo de forma eficiente e prática.

O TDR ultimamente está sendo muito utilizado para determinar a umidade e se baseia no tempo do sinal eletromagnético. A sua constante dielétrica do solo é medida na frequência de 10 MHz a 1 GHz. As sondas de nêutrons são constituídas de um aparelho com uma fonte de radiação que emite nêutrons rápidos e nêutrons lentos. A sua leitura é dada com o instrumento inserido no solo na profundidade desejada nos tubos de acessos, conectado a fonte de nêutrons rápidos e o detector de nêutrons lentos. Um dos problemas da utilização desta sonda é a exposição à radiação, custo do equipamento, a calibração, e devido a sonda necessitar de tubos de acesso de alumínio, sendo que em muitos estudos tem sido relatado a corrosão em solos ácidos, característicos de regiões tropicais.

Por isso, para o método do BHS, as FDR (EnviroScan e Diviner 2000) oferecem uma melhor alternativa para a quantificação da umidade do solo. Para que os sensores forneçam dados precisos é necessário que haja a sua correta calibração e que os sensores sejam instalados no solo.

A sonda Diviner 2000 utiliza a capacitância elétrica, criando um campo elétrico de alta frequência ao redor do sensor, partindo do tubo e penetrando no solo, cuja frequência dará a quantidade de água no solo. A conversão do sinal de frequência em conteúdo volumétrico de

água no solo (θ) é obtida por uma equação de calibração previamente ajustada, inserida no coletor de dados (FRANCO, 2009). A sonda deverá ser inserida em um tubo de acesso no solo, instalada com o mínimo de perturbação do perfil do solo. Ela oferece uma precisão de cerca de 1% da água volumétrica do solo e é constituída de um coletor de dados (*datalogger*), conectado a um cabo a uma haste onde está o sensor inserido. Segundo a Fondriest Environmental (2015), a Diviner 2000 é um dispositivo portátil e robusto para a medição de água no solo ao longo de várias profundidades (em intervalos de 10 cm) no perfil do solo (Figura 2.4). As leituras são realizadas através de tubos de acesso em PVC em locais selecionados. A sonda registra os dados de forma rápida e sem necessidade de reiniciar o aparelho.



Figura 2.3 – Sonda Diviner 2000® e seus componentes. Fonte: Fondriest Environmental (2015)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterizações da área de estudo

A pesquisa foi realizada na estação experimental pertencente a EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, no município de Apodi, Rio Grande do Norte cujas coordenadas geográficas são: latitude $5^{\circ} 37' 37''$ S, longitude de $37^{\circ} 49' 54''$ W e altitude de 138m (Figura 3.1). O clima da região é semiárido, segundo a classificação de Thornthwaite, concentração de evapotranspiração potencial no trimestre mais quente (novembro, dezembro e janeiro). Segundo dados da normal climatológica de 1961-1990 (INMET, 1992), os valores de temperatura máxima, mínima são 34°C e $22,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente e a precipitação média anual é de 920,8 mm. A estação chuvosa ocorre concentrada no verão e outono.

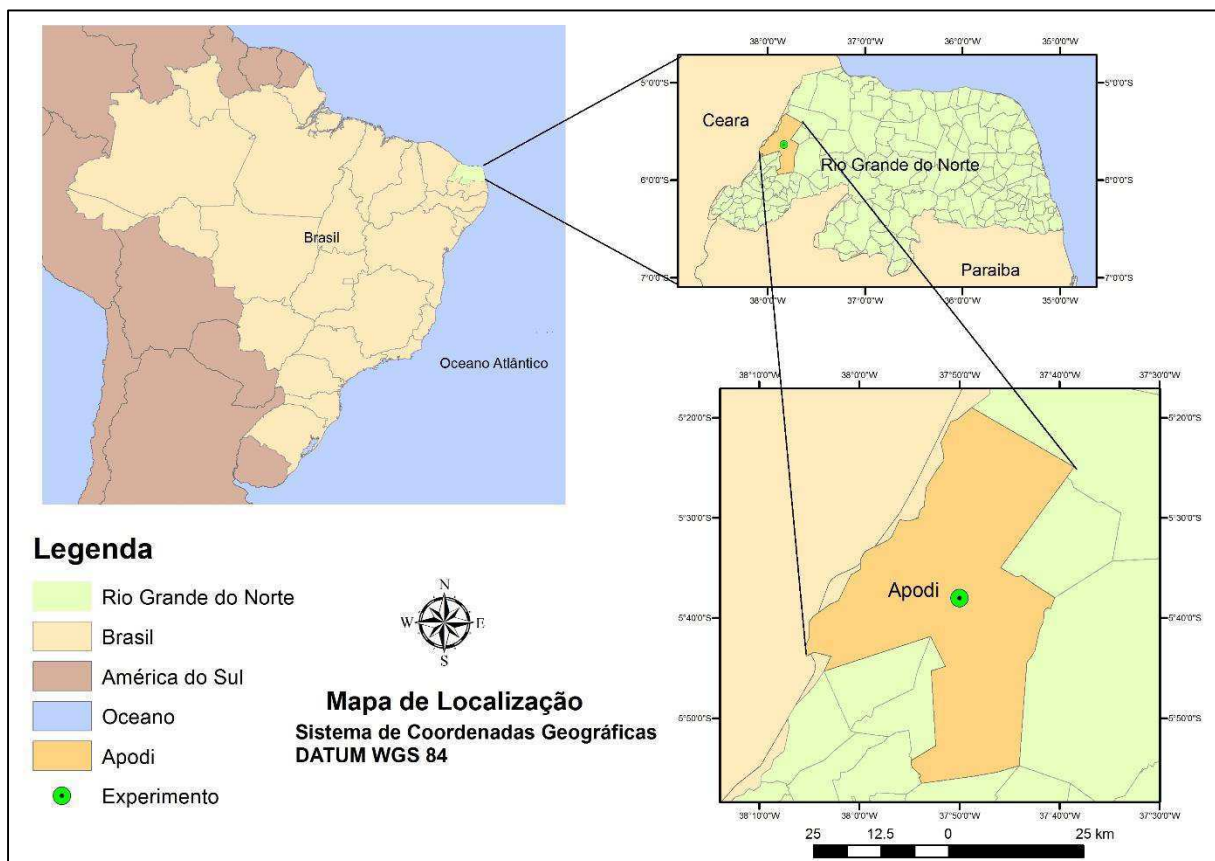


Figura 3.1 – Localização da área experimental na sede da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) no município de Apodi – RN. Fonte: Autora, 2016.

3.2 Cultura estudada

Na área experimental foi estudada a cultura do gergelim (*Sesamum indicum L*) BRS ANAHI e foi semeada numa área de 0,732 ha, espaçado de 0,80 m e uma densidade de plantio de 10 plantas/m. A cultivar BRS ANAHÍ, segundo a EMBRAPA (2015), é uma cultivar de porte médio, ciclo médio de 90 dias, haste de coloração verde escura, hábito de crescimento não ramificado e três frutos por axila foliar e floração aos 39 dias (Figura 3.2).



Figura 3.2 – Desenvolvimento do cultivar BRS ANAHÍ na área experimental da EMPARN, Apodi, RN, 2015. Fonte: Autora.

O gergelim BRS ANAHÍ apresenta tolerância a mancha-angular, murcha-de-macrofomina e cercosporiose. Em condições normais de água e solo e manejo adequado, tem potencial de produzir 1.600 kg/ha de sementes. Suas sementes têm coloração claro tipo esbranquiçada, peso médio de 4,22 mg e teor de óleo de 50 % a 52% (EMBRAPA, 2015).



Figura 3.3 - Sementes do gergelim BRS ANAHÍ, Apodi, RN, 2015. Fonte: Autora.

Segundo a EMBRAPA (2015), a sua região de adaptação consiste em áreas de altitude máxima de 1.250 metros, temperaturas médias de 23° C e 30° C e precipitações pluviárias anuais entre 300 e 850 milímetros bem distribuídos entre o ciclo do cultivo. A planta tem preferência por solos de pH próximo de 7 e não tolera acidez elevada, abaixo de pH 5,5, nem alcalinidade excessiva acima de pH 8,0.



Figura 3.4 - Detalhamento do caule, flores, folhas e frutos do gergelim BRS ANAHÍ. Apodi, RN, 2015. Fonte: Autora.

3.3 Plantio

Para o plantio do Gergelim foi realizado primeiramente o preparo do solo para a semeadura. Foram traçadas as linhas de plantio com auxílio da plantadeira com o espaçamento de 80 cm. O desbaste foi realizado em duas etapas, uma quando as plantas estavam com 4 folhas e outra quando atingiu mais de 10 cm de altura na maioria das plantas (Figuras 3.5 e 3.6).



Figura 3.5 - Linhas de Plantio traçadas com a plantadeira e adubação. Apodi, RN, 2015. Fonte: Autora.

Foi realizada a adubação de fundação, aplicando-se 67 kg/ha de P₂O₅ e 12 kg/ha de Nitrogênio (N), sob a forma de MAP. A adubação de cobertura foi realizada em sulcos laterais às linhas de plantio e efetuada utilizando-se 45 kg/ha de N aproximadamente 30 dias após a emergência e repetindo-se esta dosagem 40 dias após a primeira aplicação, sob a forma de uréia.

O controle de ervas daninhas foi efetuado utilizando-se a mistura de Alachlor (1 L/ha) + Diuron (1,5 L/ha), aplicados em pré-emergência, logo após o plantio. Trinta dias após a emergência foi efetuada uma aplicação de graminicida (Poast 1L/ha e Podium 1 L/ha). Para completar o controle de ervas daninhas após a aplicação dos herbicidas foi efetuado o controle manual com enxada.

A semeadura foi realizada dia 06 de agosto de 2015 de forma manual para o controle do espaçamento das plantas, utilizando em média 5 sementes por cova na profundidade de 3 cm. O controle de pragas foi realizado conforme foi recomendado pela EMBRAPA, onde é feita a amostragem da praga a cada cinco dias, até o ciclo final da cultura, realizando o combate sempre

que a praga ultrapassar o nível de controle. A colheita foi feita de forma manual após a maturação dos frutos, realizada 97 dias após a germinação.



Figura 3.6 – Delimitação da área experimental. Apodi, RN, 2015. Fonte: Autora.

3.4 Solo e água

O solo da área experimental, após a análise do solo realizada no laboratório de irrigação e salinidade da Universidade Federal de Campina Grande (LIS/UFCG), Campina Grande, PB foi classificado como Cambissolo Eutrófico, e a textura como Franco Arenoso e Franco-Argilo-Arenoso. As características físicas foram analisadas no LIS/UFCG, Campina Grande, PB, nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm do solo e descritas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Caracterização física do solo da área experimental nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo. Apodi, RN, 2015.

Características	Camadas (cm)		
	0-20	20-40	40-60
Granulometria	0-20	20-40	40-60
Areia (%)	67,22	50,84	45,29
Silte (%)	15,14	25,35	34,14
Argila (%)	17,64	23,81	20,57
Classificação Textural	Franco Arenoso	Franco Argilo-Arenoso	Franco Argilo-Arenoso
Densidade aparente do solo (g cm ³)	1,42	1,20	1,21
Densidade de Partículas (g cm ³)	2,64	2,57	2,67
Porosidade total (%)	46,34	53,23	54,77

Na análise do solo foi obtida a umidade do solo e a água disponível presente no solo classificada pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Potencial de umidade no perfil do solo da área experimental ($m^3 m^{-3}$), Apodi, RN.

Potencial de umidade (atm)	Camadas do solo (cm)		
	0-20	20-40	40-60
Natural	0,45	0,69	0,21
0,10	19,68	31,46	30,94
0,33	12,30	19,31	18,88
1,00	10,36	17,07	16,98
5,00	8,28	15,98	15,07
10,0	7,75	13,88	14,75
15,0	7,25	12,36	13,83
Água disponível	6,05	6,95	5,05

A análise de fertilidade do solo foi realizada no Laboratório de Solos e Nutrição das plantas da EMBRAPA Algodão, Campina Grande, PB, apresentando os seguintes resultados: pH = 6,2; $Ca^2 = 34,8 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3$; $Mg^2 = 10,0 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3$; $Na = 0,4 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3$; $K = 1,6 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3$; $S = 46,8 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3$; $H + Al = 23,1 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3$; $T = 69,9 \text{ mmol}_c / \text{dm}^3$; $V = 67,0 \%$; $P = 10,7 \text{ mg} / \text{dm}^3$; matéria orgânica = 16,4 g/kg.

A água utilizada na irrigação foi a de um poço artesiano próximo ao experimento. As irrigações foram calculadas para aplicar água até uma profundidade de 60 cm, onde o sistema radicular da planta ocupa no solo. Para repor o consumo eram efetuada duas irrigações na semana calculadas a partir dos dados da ETo e do Kc do gergelim conforme a FAO.

As irrigações utilizaram aspersores Fabrimar (Figura 3.7) com bocais de 4,4 x 3,2 mm, vazão de 1,8 m^3/h e pressão de serviço de 2,5 atm. Antes do plantio para levar o solo a capacidade de campo foi realizada uma irrigação em toda a área e após 3 dias de plantado foi aplicada uma pequena lâmina para assegurar a germinação.



Figura 3.7 – Aspensor instalado na área experimental. Apodi, RN, 2015.

3.5 Coleta de dados climáticos da área experimental

A coleta de dados do experimento foi conduzida a partir do dia 11 de agosto de 2015 e finalizada no dia 31 de outubro de 2015. Durante o período em estudo foram obtidos os seguintes valores médios das variáveis meteorológicas (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Dados meteorológicos médios mensais de pressão atmosférica (Pressão), temperatura do ar: média (T), máxima (T_x), e mínima (T_i), precipitação pluviométrica (P) e umidade relativa do ar (UR) do período experimental. Apodi, RN, 2015.

Dados Meteorológicos INMET						
Mês	Pressão	T	T_x	T_i	P	UR
	(hPa)	(°C)			(mm)	(%)
Agosto	999.0	29.0	35.3	22.7	0	48
Setembro	999.0	29.5	36.0	22.8	0	47.8
Outubro	998.4	29.8	36.8	23.1	0	46

Fonte: INMET (2015).

3.6 Instrumentação utilizada

3.6.1 Instrumentos para a determinação da ETo

Para estimar a evapotranspiração de referência pelo método de Penman–Monteith (ALLEN et al., 1998) foram adquiridos os dados da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorológico (INMET), localizada a aproximadamente 300 m da área

experimental irrigada da EMBRAPA, localizada na EMPARN no município de Apodi, RN (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática. Apodi, RN, 2015.

A estação tem como instrumentos um *datalogger* conectado a sensores de umidade relativa do ar, temperatura do ar e do ponto de orvalho, pressão atmosférica, vento a 10 m de altura, radiação global e precipitação pluviométrica. Os dados disponibilizados por essa estação são as médias de intervalos disponibilizados a cada hora.

3.6.2 Instrumentos para a determinação da umidade do solo

Para determinação do conteúdo de umidade do solo foi utilizada a sonda Diviner 2000® Sentek Pty Ltda, Austrália, que tem como princípio a reflectometria por domínio de frequência. Com este equipamento, diariamente, foi efetuada as determinações do conteúdo volumétrico da umidade do solo. Foi instalado 1 tubo de acesso para ter o controle da umidade do solo. O equipamento consiste de um display coletor de dados (*datalogger*) acoplado, via cabo, a um sensor, que, inserido em um tubo de PVC (tubo de acesso) instalado no solo, gera automaticamente leituras do conteúdo de água, com base na medida da constante dielétrica ou capacitância da matriz do solo (ar, água, solo), obtida por meio de frequência de ondas eletromagnéticas, que atravessam o volume do solo (FRANCO, 2009).

As coletas de umidade foram realizadas diariamente no tubo de acesso, no período de 11 de Agosto de 2015 a 31 de outubro de 2015, totalizando 82 dias. As medições foram realizadas a cada 10 cm, até a profundidade de 50 cm.

Como a Diviner 2000 não há exatidão nos valores da contagem de frequência, foi utilizada a normalização desta medida que consistiu primeiro em fazer leituras no tubo de PVC longe do ar e da água, os valores da frequência relativa (FR) foram obtidos e convertidos para cada camada do solo com a equação de calibração conforme recomendada pela SENTEK (2015) mostrada na figura 3.9.

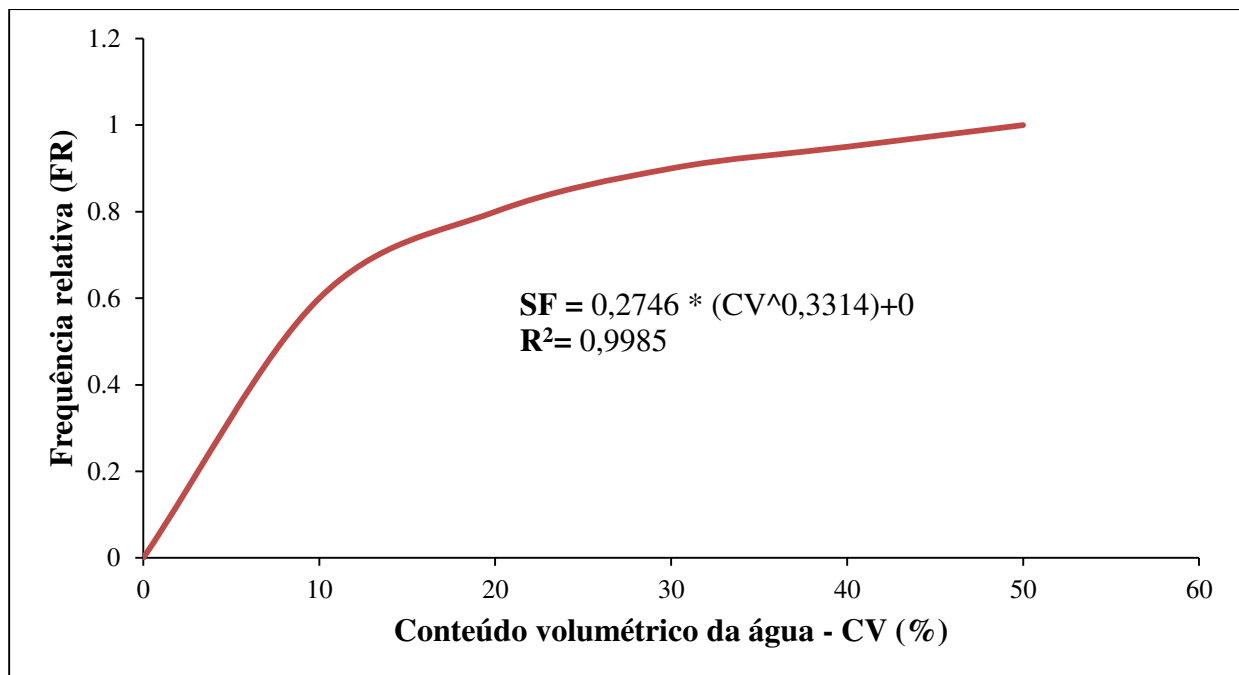


Figura 3.9 – Equação de calibração da sonda Diviner 2000. Fonte: SENTEK (2000)

3.7 Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência diária (ET_0) foi obtida diariamente e calculada pelo modelo Penman-Monteith/FAO, em mm.d^{-1} utilizando a expressão (ALLEN et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900 U_2}{T + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (3.1)$$

Onde: ET_0 é a evapotranspiração de referência; Δ é a declinação da curva de pressão de vapor no ponto correspondente a temperatura ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G é o

fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); γ é o fator psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T é a temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$); U_2 é a velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação do vapor de água (kPa); e_a é a pressão atual do vapor de água (kPa).

Para obter as variáveis dos cálculos da ETo foram obtidos diariamente no site do INMET (www.inmet.gov.br) os dados climatológicos da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET, localizada na fazenda experimental da EMPARN em Apodi.

A inclinação da curva de pressão de vapor (Δ) foi obtida através da temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$) pela seguinte expressão:

$$\Delta = \frac{2504 \exp\left(\frac{17,27T}{T+237,3}\right)}{(T+237,3)^2} \quad (3.2)$$

Onde: T é a temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$); Δ é a inclinação da curva de variação da temperatura com a pressão do vapor d'água no ar, dado em $\text{KPa}^\circ\text{C}^{-1}$.

A temperatura média diária do ar (T) foi obtida em função da temperatura máxima (T_x) e pela mínima (T_i) com a seguinte expressão:

$$T = \frac{T_x + T_i}{2} \quad (3.3)$$

Onde: T_x é a temperatura máxima ($^\circ\text{C}$); T_i é a temperatura mínima ($^\circ\text{C}$); T é dada em $^\circ\text{C}$.

O fator psicrométrico (γ) foi determinado por:

$$\gamma = \frac{C_p P_0}{L\varepsilon} = 0,665 \times 10^{-3} P_0 \quad (3.4)$$

Onde: C_p é o calor específico do ar seco à pressão constante ($1013 \times 10^{-3} \text{MJ. Kg}^{-1}.^\circ\text{C}^{-1}$); P_0 é a pressão atmosférica local média (kPa); L é o calor latente de vaporização da água ($2,45 \text{MJ. kg}^{-1}$); ε é a razão entre as massas moleculares da água e do ar seco (0,622).

A pressão atmosférica local média (P_0) foi obtida por:

$$P_0 = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 Z}{293} \right)^{5,26} \quad (3.5)$$

Onde: Z é a altitude local (m).

O fluxo de calor no solo (G) para o cálculo da evapotranspiração de referência diária foi desprezado, devido ao seu valor relativamente baixo onde $G \cong 0$ (ALLEN et al., 1998).

Na estação meteorológica o vento é obtido a um nível de 10 metros de altura (u_{10}) e para ajustar para o nível de 2 metros, utilizou a expressão:

$$u_2 = u_{10} \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (3.6)$$

Onde: u_{10} é a velocidade média diária do vento a 10 metros de altura ($m.s^{-1}$); z é a altura de 10 metros.

A pressão de saturação do vapor de água (e_s) foi obtida por:

$$e_s = \frac{[e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})]}{2} \quad (3.7)$$

Onde: $e^0(T_{max})$ é a pressão de saturação do vapor de água para a temperatura máxima (kPa); $e^0(T_{min})$ é a pressão de saturação do vapor de água para a temperatura mínima (kPa).

As pressões de saturação do vapor de água mínima e máxima foram determinadas por:

$$e^0(T) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T}{T + 237,3}\right) \quad (3.8)$$

A pressão atual do vapor de água (e_a) foi obtida por:

$$e_a = \frac{e^0(T_{min}) \frac{UR_{max}}{100} + e^0(T_{max}) \frac{UR_{min}}{100}}{2} \quad (3.9)$$

Onde: UR_{max} é a umidade relativa máxima (%); UR_{min} é a umidade relativa mínima (%).

O saldo de radiação (R_n) foi determinado por:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3.10)$$

Onde: R_{ns} é o balanço de radiação de ondas curtas ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$); R_{nl} é o balanço de radiação de ondas longas ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$).

O balanço de radiação de ondas curtas (R_{ns}) foi determinado por:

$$R_{ns} = 0,77 \times R_s \quad (3.11)$$

Onde: R_s é a radiação solar incidente ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

O balanço de radiação de ondas longas (R_{nl}) foi obtido por:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (3.12)$$

Onde: σ é a constant de Stefan–Boltzman ($4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ.K}^{-4}.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); $T_{\max,K}$ a temperatura do ar diária máxima em Kelvin (K); $T_{\min,k}$ a temperatura do ar diária mínima em Kelvin (K); e_a a pressão atual do vapor de água; R_s a radiação solar incidente ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); R_{so} a radiação solar para dias de céu claro ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$).

A radiação solar para dias de céu claro (R_{so}) foi calculada por:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (3.13)$$

Onde: R_a é a radiação extraterrestre ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); z é a altitude local (m)

A radiação extraterrestre (R_a) foi estimada por:

$$R_a = \frac{24 \cdot (60)}{\pi} G_{sc} \cdot d_r [\omega_s \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varphi) \cdot \text{cos}(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_s)] \quad (3.14)$$

Onde: G_{sc} é a constante solar ($0,0820 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{min}^{-1}$); d_r é o inverso da distância relativa Terra-Sol (rad); ω_s é o ângulo horário (rad); φ é a latitude local em radianos (rad); δ é a declinação solar (rad).

O ângulo horário (ω_s) foi determinado por:

$$\omega_s = \arccos [-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)] \quad (3.15)$$

O inverso da distância relativa Terra-Sol (d_r) foi obtido por:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} D_j\right) \quad (3.16)$$

Onde: D_j é o dia Juliano (número do dia de 1 até 365).

A declinação solar (δ) foi determinada por:

$$\Delta = 0,049 \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} D_j - 1,39\right) \quad (3.17)$$

3.8 Evapotranspiração da cultura pelo balanço hídrico no solo

O balanço hídrico no solo foi realizado na área do experimento a partir da equação geral da evapotranspiração da cultura em junção do balanço hídrico no solo foi obtida com:

$$ET_c = P + I + A - D - R \pm \Delta AM \quad (3.18)$$

Onde: ET_c é a evapotranspiração da cultura; P é a precipitação efetiva; I é a irrigação; A é a ascensão capilar; D é a drenagem profunda; R é o escoamento superficial; ΔAM é a variação do armazenamento de água no solo. Todas as variáveis desta equação são expressas em mm.

A precipitação pluviométrica foi medida por meio de um pluviômetro instalado em uma estação meteorológica convencional do INMET localizada na fazenda experimental da EMPARN, próxima à área experimental. Durante o período não houve precipitação.

Após a germinação da cultura, as irrigações foram conduzidas para a realização em dois dias da semana (segunda e sexta) e fazendo a reposição da água calculada de acordo com a ET_o . A Irrigação foi estimada baseada na ET_o para que não houvesse desperdício de água, pois o ergelim é extremamente sensível ao encharcamento do solo.

A lâmina líquida de reposição da água (LL) foi baseada no produto da ET_o multiplicada pelo K_c obtido conforme a metodologia recomendada pela FAO-56 dada na equação (ALLEN et al.,1998):

$$LL = ET_o \times K_c \quad (3.19)$$

Onde: LL é a lâmina líquida de reposição (mm); ET_o é a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith; K_c é o coeficiente de cultivo da fase fenológica do dia da irrigação; ET_c é a evapotranspiração da cultura.

O escoamento superficial foi considerado nulo uma vez que a área do experimento é plana, devido ao seu valor ser relativamente pequeno, foi desprezado.

A drenagem profunda (D) e/ou a ascensão capilar (A) foi determinada com base na equação de Darcy, que permite a determinação do movimento de água no solo. O fluxo de água D e A representa a quantidade de água que passa por unidade de área de solo na unidade de tempo, expressa em $cm.h^{-1}$. O gradiente $\delta\Psi/\delta Z$ representa a variação da energia da água no solo em relação à distância Z , sendo responsável pelo movimento de água no solo. $K(\theta)$ é o coeficiente de proporcionalidade entre o fluxo e o gradiente, isto é, a condutividade hidráulica

saturada, que é a propriedade que o solo tem de transmitir água. A condutividade hidráulica é função da umidade do solo, alcançando o máximo quando o solo está saturado, denominando-se condutividade hidráulica saturada (K_0).

Considerando o fluxo vertical, o gradiente $\delta\Psi/\delta Z$ pode ser aproximado por uma diferença finita $\Delta\Psi/\Delta Z$ entre o nível inicial (i) e final (f) da camada de solo considerada, ou seja, $(\Psi_f - \Psi_i)/(Z_f - Z_i)$. Deste modo, a equação de Darcy poderia ser redefinida assumindo a seguinte expressão:

$$D/A = -K(\theta) \left[\frac{\Psi_f - \Psi_i}{L} \right] \quad (3.20)$$

Onde: $L = Z_f - Z_i$ e $\Psi_f - \Psi_i$ são os potenciais hidráulicos nos níveis Z_f e Z_i respectivamente.

Foi utilizado o modelo de Van Genuchten (1980), para obtenção dos coeficientes de ajuste da curva de retenção de umidade para cada camada de solo, para obtenção do potencial hidráulico, de acordo com a seguinte equação:

$$\Psi_m = \frac{\left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad (3.21)$$

Onde: θ é o conteúdo volumétrico de água no solo; θ_s é a umidade volumétrica no momento da saturação; θ_r é a umidade volumétrica residual a 1500 kPa, todas expressas em $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$; Ψ_m é o potencial matricial do solo (kPa); α , n e m são constantes empíricas que afetam a forma da curva de retenção.

A condutividade hidráulica do solo não saturado $K(\theta)$ foi obtida por meio da equação proposta por Van Genuchten (1980):

$$K(\theta) = K_0 S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (3.22)$$

Onde: K_0 é a condutividade hidráulica saturada; l é um parâmetro empírico, igual a 0,5 (Mualen, 1976); $m = 1 - \frac{1}{n}$; S_e é a saturação efetiva; θ é a umidade volumétrica; θ_s é a umidade

volumétrica no momento da saturação; θ_r é a umidade volumétrica residual à 1500 kPa, todas expressas em $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$.

O valor da saturação efetiva (S_e) foi obtido pela seguinte equação:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (3.23)$$

Foi realizado o teste de infiltração no dia 22/09/2015 para obter a condutividade hidráulica em diferentes pontos da área experimental com um infiltrômetro com anéis de diâmetros 50 e 25 cm conforme a metodologia usada por Carvalho et al. (2009).



Figura 3.10 - Infiltrômetro instalado na área experimental. Apodi, RN, 2015

As curvas de retenção do conteúdo de água no solo (Figura 3.10) obtidas por meio dos dados analisados no Laboratório referentes ao potencial matricial (kPa) e do conteúdo volumétrico da água no solo, para as profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm (Tabela 3.4) foram determinadas utilizando o extrator de Richards.

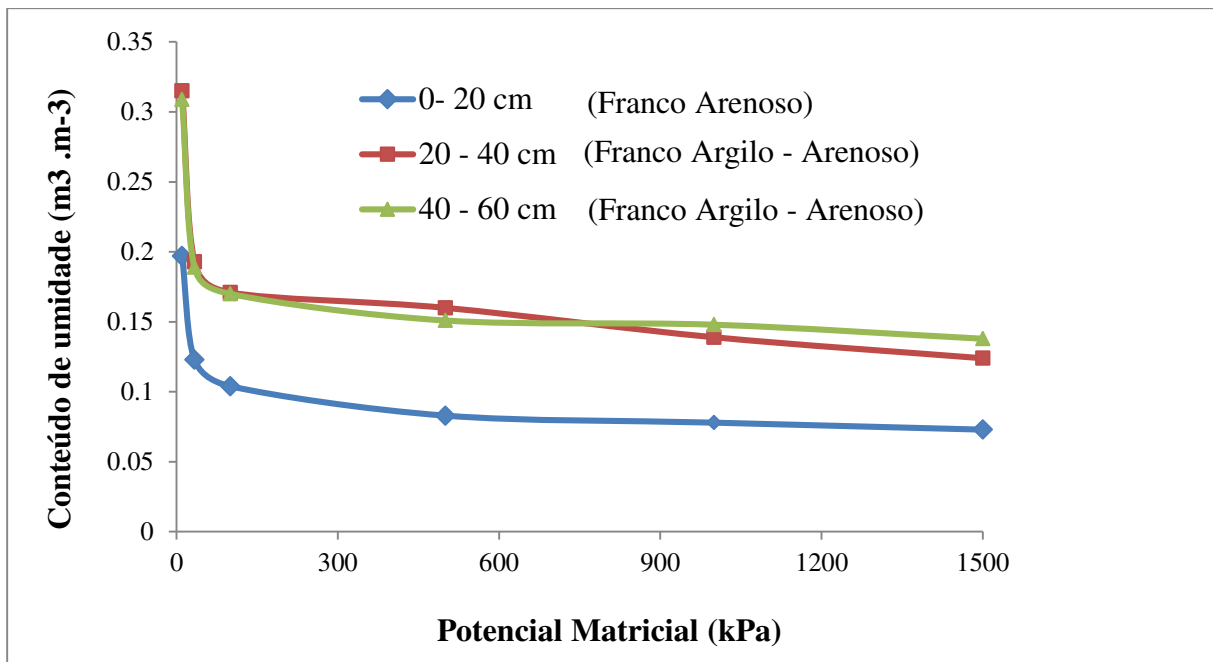


Figura 3.11 - Curva de retenção do conteúdo de água do solo da área experimental nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm do perfil do solo da área experimental. Apodi, RN, 2015.

Os dados da curva foram ajustados conforme o modelo de Van Genuchten (1980) por regressão polinomial utilizando o software SWRC versão 3.00 beta (Dourado Neto et al., 2000). A Tabela 3.4 mostra os resultados obtidos com os parâmetros como α , m e n = parâmetros das curvas de retenção do conteúdo de água no solo (adimensionais), desde que $\Theta \ll 1$, $\Theta < m < 1$ e $n > 1$; Θ_s = conteúdo de água na saturação ($m^3 m^{-3}$); θ_r = conteúdo de água residual ($m^3 m^{-3}$); K_o = condutividade hidráulica ($mm d^{-1}$).

Tabela 3.4 – Valores dos parâmetros de ajuste obtidos pelo modelo de Van Genuchten (1980) da curva de retenção do conteúdo de água no solo e da condutividade hidráulica da área experimental. Apodi, RN, 2015.

Parâmetros	Camadas (cm)		
	0 – 20	20 – 40	40 – 60
α	1,3565	1,1232	0,6696
m	0,2133	0,2226	0,2616
n	2,7852	2,7852	3,243
Θ_r	0,067	0,115	0,136
Θ_s	0,717	1,011	1,007
K_o	3,8	1	0,2

O armazenamento de água no solo (ΔAM), dado em mm, foi calculado utilizando a regra do trapézio, considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente

espaçados da superfície ($z = 0$) até a profundidade de interesse ($z = L$), utilizando a expressão (LIBARDI, 1995):

$$\Delta AM = \int_0^L \theta(z) dz = \left[0,5\theta(z_0) + \sum_{i=1}^{n-1} \theta(z_i) + 0,5\theta(z_n) \right] \Delta z \quad (3.24)$$

Onde: θ é a umidade média do perfil do solo considerado ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$); Z é a espessura da camada do solo (cm).

Durante o intervalo de tempo considerado, a variação do armazenamento (ΔAh) no perfil do solo molhado foi obtida com a equação:

$$\Delta Ah = Ah_t - Ah_{(t-1)} \quad (3.25)$$

Onde: ΔAh é a variação do armazenamento de água no solo, no período de tempo considerado, em mm; t é o intervalo de tempo, em dia; Ah_t e $Ah_{(t-1)}$ são as lâminas totais de água remanescentes no perfil do solo nos instantes t e $t-1$, em mm, respectivamente.

3.9 Coeficiente de Cultivo

O coeficiente de cultivo (K_c) ao longo do ciclo de produção da cultura foi obtido com a seguinte fórmula:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3.26)$$

Onde: ET_c - evapotranspiração da cultura, em mm dia^{-1} ; ET_o - evapotranspiração de referência, em mm dia^{-1} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ciclo fenológico do gergelim, BRS ANAHÍ

A fenologia do gergelim, BRS ANAHÍ foi dividida em quatro fases (Tabela 4.1) em função dos seus processos fisiológicos, dias após emergência (DAE), conforme mostra a tabela abaixo.

Tabela 4.1 – Ciclo fenológico do gergelim, BRS ANAHÍ em suas fases fenológicas, no período de 11/08 a 31/10/2015, Apodi, RN, 2015.

Fase Fenológica		Período (DAE)	Duração (dias)
Fase I	Emergência a 10% da cobertura de solo	1 – 13	13
Fase II	10% da cobertura de solo ao início da floração	14 – 35	22
Fase III	Início da floração ao início da maturação	36 – 68	33
Fase IV	Início da maturação ao final do ciclo da cultura	69 – 82	14
Total			82

Com as observações obtidas em campo, constatou-se que a Fase I, período de emergência das plantas até 10% de cobertura do solo, teve duração de 13 dias. A Fase II, que ocorreu da cobertura de 10% do solo ao início da floração, ou seja, com início da floração e seu desenvolvimento vegetativo, teve duração de 22 dias. A Fase III, ocorreu com o início da floração até o início da maturação, durou 33 dias. A Fase IV foi a última fase da cultura, ocorreu do início da maturação ao final do ciclo da cultura pelo período de 14 dias. O gergelim BRS ANAHÍ teve um ciclo inferior ao BRS Seda (GRILO JUNIOR, 2013) e ao BRS 196 CNPA G4 (PEREIRA et al., 2014) ambas com total de 90 dias, e com isso pode também ser classificado como uma cultivar de ciclo curto.

4.2 Evapotranspiração de Referência (ET_o) pelo método de Penman- Monteith

A ET_o foi estimada no período de 82 dias e foi realizado o seu cálculo diário utilizando a metodologia de PM conforme recomenda Allen et al. (1998), cujos valores médios foram divididos para cada fase fenológica e estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Evapotranspiração de Referência (ET_o) diária e total pelo método de Penman-Monteith no período experimental. Apodi, RN, 2015.

Fase Fenológica	Período (DAE)	Duração (dias)	Evapotranspiração de referência (ET _o)	
			Acumulada (mm)	Diária (mm d ⁻¹)
Fase I	1 – 13	13	93,9	7,2
Fase II	14 – 35	22	165,6	7,5
Fase III	36 – 68	33	260,7	7,9
Fase IV	69 – 82	14	115,6	8,3
Total		82	635,7	-

Os valores da ETo acumulada no período de crescimento e desenvolvimento (Fases: I, II e III) variaram de 93,9 a 260,7 mm (Tabela 4.2), enquanto que o valor total acumulado durante as 4 fases foi de 635,7 mm e os valores médios diários variaram de 7,2 a 8,3 mm d⁻¹, conforme os valores previstos pela FAO (Allen et al., 1998) para regiões semiáridas com temperatura média superior a 30 °C.

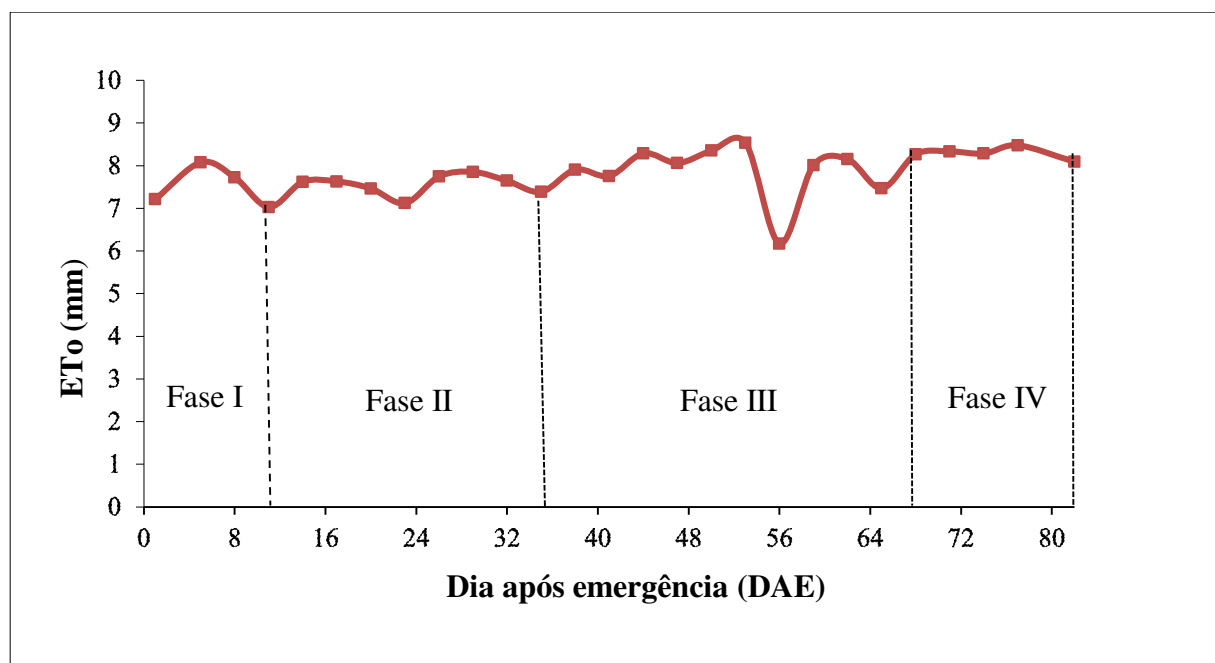


Figura 4.1 – Evapotranspiração de referência durante o ciclo fenológico do gergelim BRS ANAHÍ. Apodi, RN, 2015.

Conforme a Figura 4.1, a distribuição dos dados é bastante contínua, ocorrendo uma queda na fase III devido aos fatores meteorológicos no período. Em termos diários, a primeira fase obteve o menor valor de ETo com 7,2 mm d⁻¹ e o maior valor na fase IV com 8,3 mm d⁻¹, justificado pela resultante da combinação dos diferentes elementos climáticos. Estes resultados são bastante parecidos com os obtidos por Borges (2011) pelo método de Penman- Monteith, no mesmo local na safra de 2008 (6,4 a 9,4 mm d⁻¹, respectivamente).

4.3 Evapotranspiração da cultura do Gergelim pelo método do balanço hídrico no solo

Os valores dos componentes do balanço hídrico para o período experimental foram calculados através do balanço hídrico no solo, conforme Tabela 4.3, onde são exibidos os componentes do balanço hídrico no solo durante as quatro fases do ciclo da cultura do gergelim, bem como a duração das fases fenológicas e o período.

Tabela 4.3 – Balanço Hídrico no solo para o gergelim no período experimental. Valores totais da Irrigação (I), Drenagem (D), Variação de armazenamento de água no solo (ΔAM), Evapotranspiração da cultura (ETc) e valores diários da ETc. Apodi, RN, 2015.

Fase Fenológica	Período (DAE)	Duração (dias)	I	D	ΔAM	ETc	ETc (mm d ⁻¹)
			(mm)				
Fase I	1 – 13	13	50,9	4,9	-0,6	43,8	3,7
Fase II	14 – 35	22	127,1	8,6	0,0	121,7	5,5
Fase III	36 – 68	33	276,2	10,5	-3,8	268,5	8,1
Fase IV	69 – 82	14	80,8	3,3	-1,0	68,2	4,9
Total		82	534,9	27,3	-5,4	502,2	-

Durante o período experimental não houve precipitação (P) por isso este valor não foi considerado no cálculo do balanço hídrico, sendo a irrigação a única entrada de água. O escoamento superficial foi desprezado porque a área do experimento era plana.

A drenagem (D) apresentou 27,3 mm no ciclo total, este baixo valor de drenagem pode ser explicado devido ao manejo da água ter sido estimado baseado no consumo hídrico da planta e pelos baixos valores de condutividade hidráulica do solo (Tabela 3.4). O seu comportamento foi pouco variável e aumentou na fase III e diminuiu na fase final, seguindo o mesmo padrão da irrigação. Não ocorreu ascensão capilar.

Na variação do armazenamento de água no solo (ΔAM) foram encontrados valores negativos e tais valores podem ser explicados por ocorrer nessas fases uma maior evaporação do solo devido ao fato da cultivar ter pouca cobertura vegetal. Outro motivo para a planta ter sofrido falta de água foi devido ao seu consumo e a drenagem que tinham valores próximos da irrigação, por mais que o volume de água na irrigação tenha sido satisfatório, a planta não conseguiu armazenar água no solo. O método do balanço hídrico no solo foi utilizado na determinação da evapotranspiração da cultura do gergelim, cuja ETc é apresentada na figura abaixo.

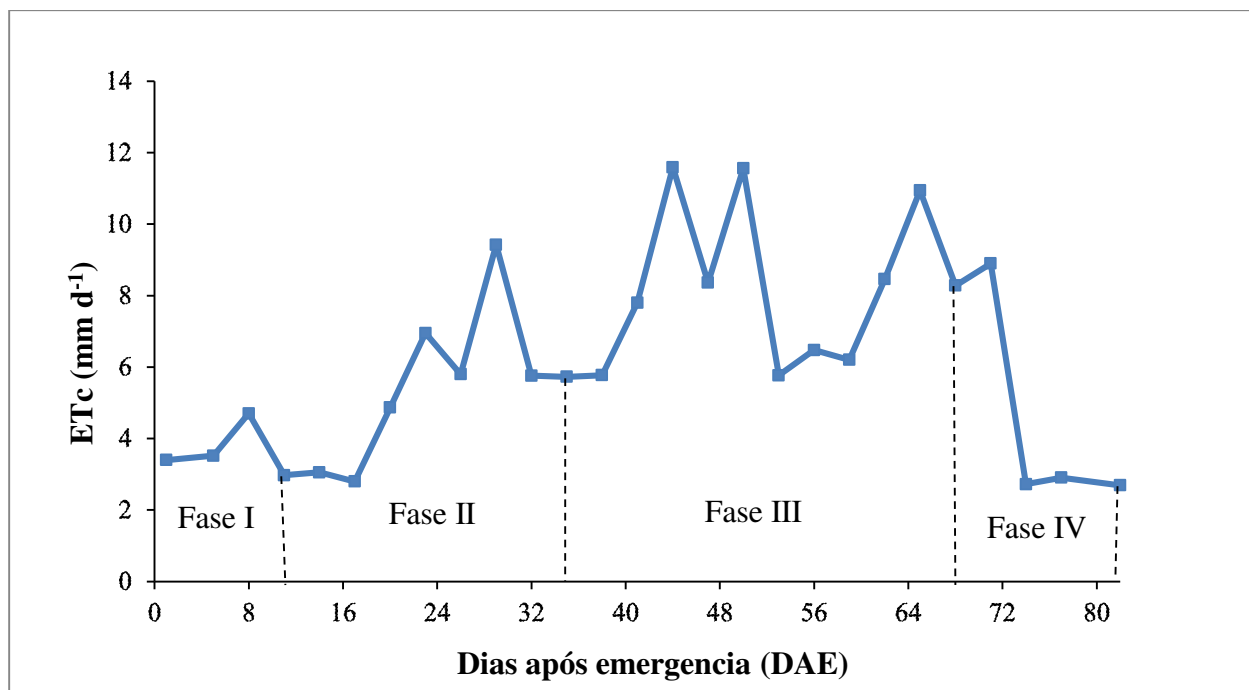


Figura 4.2 – Evapotranspiração da cultura para a cultura do gergelim BRS ANAHÍ. Apodi, RN, 2015.

O balanço hídrico calculado foi para 3 dias, devido apresentar resultados satisfatórios e pela frequência da irrigação no experimento. A ETc foi determinada também nesse intervalo para que a irrigação fosse contemplada no cálculo. Este procedimento foi também utilizado por Azevedo et al. (2003) na evapotranspiração da mangueira na região do sub médio do Rio São Francisco Em relação à evapotranspiração da cultura percebe-se no gráfico que foi bastante variável durante o ciclo fenológico, apresentando valores extremos máximos de 11,59 mm na fase III e mínima de 2,69 mm na fase IV final da cultura, provavelmente devido a senescência das folhas, onde foi reduzido a área foliar conforme encontrado por Cruz et al. (2005). Este comportamento foi encontrado também por Pereira et al. (2014) no Gergelim cultivar BRS 196 CNPA G4 cujos valores médios variaram de 1,3 a 14,5 mm d⁻¹ em condições meteorológicas semelhantes ao do estudo.

Observando a comportamento do gergelim no gráfico é possível observar que a evapotranspiração da cultura aumentou na fase II e III, ocorreu quando a planta teve um maior volume de água disponível, também o aumento da sua área foliar e o surgimento das flores.

4.4 Coeficiente de Cultivo (Kc) do gergelim

Da relação da ETo, obtida pelo método de Penman- Monteith e da ETc pelo balanço hídrico no solo foi obtido o Kc médio para cada fase fenológica do gergelim, conforme Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Valores médios do coeficiente de cultivo (Kc) do gergelim para as quatro fases fenológicas da cultura. Apodi, RN, 2015.

Fase Fenológica	Kc	Duração (dias)	Período (DAE)	Kc médio
Fase I- fase inicial	Kc inicial	13	1 – 13	0,51
Fase II – fase de crescimento	Kc intermediário	22	14 – 35	0,73
Fase III – fase intermediária	Kc médio	33	36 – 68	1,03
Fase IV – fase final	Kc final	14	69 – 82	0,59

O valor do Kc inicial referente a Fase I (fase inicial) obtido foi igual a 0,5 conforme mostra a Tabela 4.4 e a Figura 4.3. Este valor é bastante próximo ao encontrado por Pereira et al. (2014) em um estudo utilizando o gergelim BRS 196 CNPA G4, em condições semiáridas em um experimento em Barbalha no estado do Ceará.

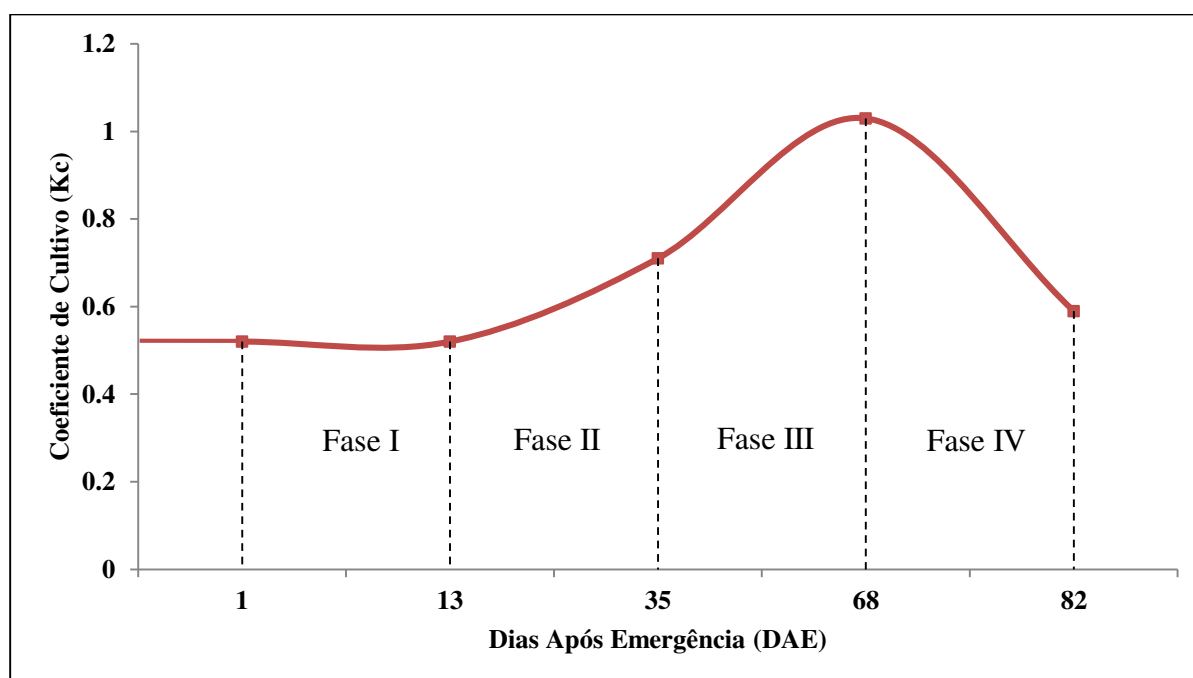


Figura 4.3 – Coeficiente de cultivo do gergelim BRS ANAHÍ para a região da Chapada do Apodi-RN.

Na Figura 4.3 está representada a curva do coeficiente de cultivo do gergelim, observada nas condições da área do experimento. Da fase inicial até a fase de crescimento vegetativo (1 até 35 DAE), o Kc médio aumentou de 0,5 até 0,7. Durante a fase intermediária (florescimento e desenvolvimento dos frutos, a partir de 35 DAE) o Kc aumentou e apresentou um valor médio superior as outras fases de 1,0. Na última fase à medida que a cultura começa a produzir os frutos devido a seu processo natural, o valor de Kc começa a diminuir para alcançar um valor mínimo. Conforme observado (Figura 4.4), os valores de Kc para cada fase fenológica, são similares aos da literatura, como aqueles encontrados por Allen et al. (1998), com valores

superiores na fase I e inferiores nas fases II e III, devido às condições meteorológicas e a outros fatores como o solo que influenciaram no cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc).

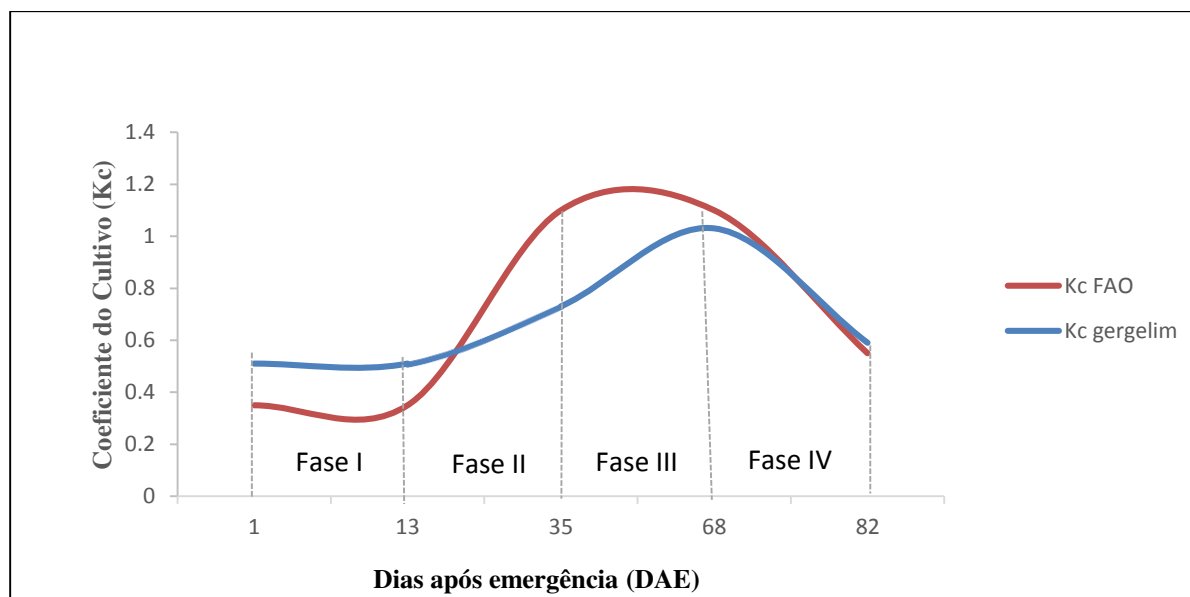


Figura 4.4 – Comparação do coeficiente de cultivo do gergelim BRS ANAHÍ com o da FAO (Allen et al. 1998).

4.5 Lâmina líquida e consumo hídrico do gergelim

Para o cálculo da lâmina líquida foi utilizada a fórmula de acordo com Allen et al. (1998) e utilizando o Kc conforme a FAO. As irrigações foram realizadas duas vezes na semana com um total no ciclo de 534,9 mm. O gergelim teve o ciclo de 82 dias, só que aos 80 dias foi suspensa a irrigação da planta, pois se constatou o estágio de maturação da planta. Dos 534,9 mm de água aplicados, foram distribuídos 50,9 mm na fase inicial, com duração de 13 dias, na fase do desenvolvimento vegetativo aplicou 127,1 mm, com duração de 22 dias, na fase da formação dos frutos aplicou 276 mm, esta fase teve duração de 33 dias e na fase final aplicou 80,8 mm, esta fase teve duração de 14 dias. Na fase de desenvolvimento produtivo apresenta maiores volumes (276,2 mm), por esta fase necessitar de maiores suprimentos de água por ser a fase com maior índice de evapotranspiração (268,5 mm) (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 – Valores das lâminas líquidas aplicadas no gergelim e seu consumo hídrico.

Fase Fenológica	Período (dias)	Irrigação (mm)	ETc (mm)	ETo (mm)
Fase I	13	50,9 (9,5%)	43,8	93,9
Fase II	22	127,1 (23,8%)	121,7	165,6
Fase III	33	276,2 (51,6%)	268,5	260,7
Fase IV	14	80,8 (15,1%)	68,2	115,6
Total	82	534,9	502,2	635,7

Observa-se que mais de 50 % da água aplicada ao longo do ciclo foi na fase III. Esta fase foi a que mais consumiu água em virtude do aumento significativo da cobertura vegetal e

consequente aumento da evapotranspiração, necessitando de mais água para a planta. Também foi a fase mais duradoura (33 dias). Na última fase, o consumo hídrico diminuiu conforme os resultados encontrados por Allen et al. (1998).

4.6 Rendimento do Gergelim

Com a finalização do experimento, o rendimento dos grãos foi obtido. O rendimento obtido foi de 800 kg/ha, valor bem inferior ao previsto e ao encontrado por Grilo Junior et al. (2013) de 1.400 kg/ha com a BRS SEDA em Ceará Mirim (RN), porém com valores próximos de Perin et al. (2010), que obtiveram uma produtividade média de 842,43 kg/ha. O rendimento inferior se deu ao fato de que o espaçamento utilizado foi muito largo, devido a plantadeira ter sido calibrada para o traçado das linhas de plantio com um espaçamento bem superior ao recomendado e ter traçado mais fundo que o necessário pois por esta cultivar possui somente uma haste e a recomendação do espaçamento é de 50 cm entre as linhas. Outro motivo foi a perda de pelo menos 40% da produtividade devido ao atraso na colheita devido ela ter sido realizada após o dia de campo realizado pela EMBRAPA.

5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa apresenta um estudo sobre o consumo hídrico da cultura do gergelim BRS ANAHÍ na região da Chapada do Apodi, localizada no estado do Rio Grande do Norte. As principais conclusões sobre o estudo foram:

- A cultura do gergelim concluiu seu ciclo em 82 dias, distribuídos entre as fases: I = 13 dias; II = 22 dias; III = 33 dias e IV = 14 dias;
- O coeficiente de cultivo (Kc) médio foi de 0,51 na fase I; 0,73 na fase II; 1,03 na fase III e 0,59 na fase IV;
- O consumo hídrico da cultura do gergelim (BRS ANAHÍ) foi de 502,2 mm de água e teve seu maior consumo na Fase III (268,5 mm).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy, 300 pp, 1998.
- AMABILE, R. F.; FARIAS NETO, A. L.; SPEHAR, C. R.; ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. M. CNPA G3: nova opção de gergelim para a região do Distrito Federal. EMBRAPA Cerrados, Planaltina. 2001. 3p. (Comunicado Técnico, 43).
- AMARAL, J. A. B do; SILVA, M. T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do gergelim por manejo de irrigação. Rev. bras. ol. fibras., Campina Grande, v.12, n.1, p.25-33, jan./abr. 2008.
- ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIO, A. D.; SALCEDO, I. H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semiárido do nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.29-34, 2000.
- ARRIEL, N. H. C.; VIEIRA, D. J.; FIRMINO, P. T. Situação atual e perspectivas da cultura do gergelim no Brasil. In: QUEIRÓZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o nordeste brasileiro. (on line). Versão 1.0. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília-DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999.
- ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIRMINO, P. de T. Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 209 p.
- AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water requirements of irrigated mango orchards in Northeast Brazil. Agricultural Water Management, v.58, n.1, p.241-254, 2003.
- AZEVEDO, P. V.; SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; SILVA, V. P. R. Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment, Brazil. Agricultural Water Management, v. 88, n. 1, p. 201-208, 2007.
- BELTRÃO, N. E. M.; FREIRE, E.C.; LIMA, E. F. Gergelimcultura no trópico semiárido nordestino. EMBRAPA-CNPA, Campina Grande. 1994. 52p. (Circular Técnico, 18).
- BELTRÃO, N. E. M.; VIEIRA, D. J. O agronegócio do gergelim no Brasil. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001. 348p.

BENLIN, B.; KODAL, S.; ILBEYI, A.; USTUN, H. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. *Agricultural Water Management*. 81, p, 358-370, 2006.

BISCARO, G. A.; *Meteorologia Agrícola Básica*. Mato Grosso do Sul: UNIGRAF, 2007.87 p.

BORGES, C. J. R. Evapotranspiração e coeficientes de cultivos simples e dual da cana-de-açúcar cultivada em condições tropicais. 2011. 85 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2011.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: *Simpósio sobre o Manejo de água na agricultura*, Campinas, 1987. Anais: Campinas, Fundação Cargil, p.53-90, 1987.

CARVALHO, J. F. de; PINHEIRO, L. da C.; ALBUQUERQUE, F. da S.; POSSAS, J. M. C.; JÚNIOR, C. C. P.; JESUS, C. G. de; SILVA, E. F. de F. Avaliação da infiltração da água no solo pelo método do infiltrômetro de anel com carga variável e pelo modelo de Kostiakov. In: *IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão*. Recife, PE. 2009.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.23-28, 2000.

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, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul – MS. *Engenharia na agricultura*, v.21 n.2, p.159-172,2013.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. *Crop water requirement's: Revised*, Roma: FAO, 1975. 144 p. *Irrigation and Drainage Paper*, 24

EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Cultivares do gergelim. Disponível em:<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/gergelim/arvore/CONT000gkv1h5yr02wx5ok0xkgyq55vqh6l3.html>> Acessado em 20 maio 2015.

EVETT, S. R.; TOLK, J. A.; HOWELL, T. A. Soil profile water content determination: sensor accuracy, axial response, calibration, temperature dependence, and precision. *Vadose Zone Journal*, v.5, p.894-907, 2006.

FAO (Roma). Dados agrícolas de FAOSTAT. Disponível em: <[http:// apps.fao.org/](http://apps.fao.org/)>. Acessado em: 25 maio 2015.

FERREIRA, J. O. P. Evapotranspiração e coeficientes de cultura da melancia irrigada por gotejamento em alvorada do Gurguéia-PI. 2010. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP. 2010.

FRANCO, E. M. Monitoramento da dinâmica da água e solutos em um perfil de solo, sob sistema de fertirrigação por gotejamento, utilizando sonda de capacitância e extratores de solução. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2009.

FONDRIEST ENVIRONMENTAL. Sentek Diviner 2000 Portátil Soil Moisture Probe, Disponível em: <<http://www.fondriest.com/sentek-diviner-2000-portable-soil-moisture-probe.htm>>. Acesso em: 14 maio 2015.

GRILO JUNIOR, J. A. S. Avaliação dos benefícios socioeconômicos e ambientais do cultivo do gergelim irrigado no assentamento de canudos, em Ceará-Mirim (RN). 2013. 90f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2013.

GRILO JUNIOR, J. A. S.; AZEVEDO, P. V. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do gergelim BRS Seda na agrovila de canudos, em Ceará Mirim (RN). *Holos*, v. 2, p. 19 - 33, 2013.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normal climatológica de 1961-1990. SPI/EMBRAPA: Brasília, 1992.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: ESALQ/USP. 1995. 497p.

LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A.C. D.; SOARES, W. de A.; SOUZA, E. S. de; LIRA, C. A. B. de O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) Brazilian Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 1, No 1, 2006.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: Princípios e Métodos. 2 ed., Viçosa: Ed. UFV, 2007. 358p.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A. Evapotranspiração da cultura do milho. II - relações com a evaporação do tanque classe “a”, com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global, em três épocas de semeadura. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 1998.

MAZZANI, B. Investigación y Tecnología de Cultivo del Ajonjolí en Venezuela. Caracas: Conicit, 1999. 115p. (Edición Del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas).

MESQUITA, J. B. R. DE; AZEVEDO, B. M. DE; CAMPELO, A. R.; FERNANDES, C. N. V.; VIANA, T. V. DE A. Crescimento e produtividade da cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) sob diferentes níveis de irrigação. Irriga, v. 18, n. 2, p. 364-375, 2013.

MILANI, M.; COUTINHO, D.; BALLARIS, A. L. Avaliação de Genótipos de Gergelim (*Sesamum indicum* L.) em Ribeirão Preto/SP. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, Campina Grande. 2006. 19p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 66).

NASCIMENTO, J. J. V. R.; AZEVEDO, C. A. V. DE; SOUSA, J. S. C.; MENDES, L. B.; NETO, J. D. Eficiência do uso de água do gergelim em função da água disponível no solo. Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável, v.6, n.4, p. 230 - 233, 2011.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 183 p.

PEREIRA, J. R.; ARAÚJO, W. P.; ALMEIRA, E. S. A. B. DE; BEZERRA, J. R. C.; GUERRA, H. O. C.; ZONTA, J. H. Sesame crop coefficients using crop evapotranspiration by water balance and, reference evapotranspiration by Penman – Monteith. Irriga, Botucatu, Edição Especial 01, p. 72-84, 2014.

PEREIRA, J. R.; ZONTA, J. H.; ARAÚJO, W. P.; ALMEIDA, E. S. A. B. DE; FIRMINO, P. DE T.; SOUSA, J. Y. B. DE. Estimativas de coeficientes de cultivo do gergelim através do balanço hídrico no solo. In: VI Congresso Brasileiro de Mamona e III Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, Fortaleza, CE. 2014.

PERIN, A.; CRUVINEL, J. D.; SILVA, W. J. Desempenho do gergelim em função da adubação NPK e do nível de fertilidade do solo. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 32, n.1, p. 93-98, 2010.

PINTO, C. M. Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. 2006. 84f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Centro de Ciências Agrárias, UFC, Fortaleza, 2006.

PINTO, C. de M.; TAVORA, F. J. F. A.; BEZERRA, M. A.; CORREA, M. C. de M. Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 03, p. 429-436, 2008.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, v.100, p.81-92, 1972.

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4ª. Ed. Ver. E ampliada. Campinas, Fundação Cargil, 1985. 445p.

SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N. V. Descrição morfológica do gergelim (*Sesamum indicum* L.), IAC Ouro. Campinas: Instituto Agronômico, 1988. 12p. (IAC. Boletim Científico, 13).

SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; BASSOI, L. H.; TEXEIRA, A. H. de C.; SOARES, J. M.; SILVA, J. A. M. Estimativa da evapotranspiração Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no 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, M. T.; FARIAS, G. C.; ARAÚJO, L. F.; JÚNIOR, S. C. F. F.; AMARAL, J. A. B. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do gergelim no Estado do Ceará. EMBRAPA Agroindústria Tropical, Fortaleza. 2008. 23p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 31).

SOUSA, G. G. de; VIANA, T. V. de A.; DIAS, C. N.; SILVA, G. L. da; AZEVEDO, B. M. de. Lâminas de irrigação para cultura do gergelim com biofertilizante bovino. *Revista Magistra*. v. 26, n. 3, p. 347 - 356, 2014.

TEIXEIRA, A. H. C; LIMA FILHO, J. M. P. Sistemas de Produção. EMBRAPA semiárido. ISSN 1807-0027. Versão Eletrônica Julho/2004.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society American Journal*, n. 44, p. 892-898, 1980.