

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CLÁUDIO JOSÉ SORIANO CORDEIRO

BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO PARA O MILHO NO SEMIÁRIDO ALAGOANO

Rio Largo – AL
2019

CLÁUDIO JOSÉ SORIANO CORDEIRO

BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO PARA O MILHO NO SEMIÁRIDO ALAGOANO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

ORIENTADOR

Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra

Rio Largo – AL

2019

DEDICATÓRIA

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecário: Erisson Rodrigues de Santana

C794b Cordeiro, Cláudio José Soriano

Balanço de água no solo para o milho no semiárido alagoano. Rio Largo-AL – 2019.

41 f.; il; 33 cm

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso - TCC em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2019.

Orientador(a): Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra

1. Necessidade hídrica. 2. Evapotranspiração. 3. NEB. I. Título.

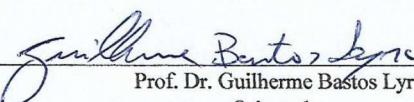
CDU: 633.15(813.5)

Folha de Aprovação


CLÁUDIO JOSÉ SORIANO CORDEIRO

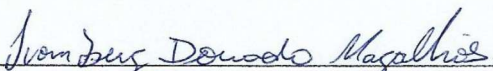
Balanço de água no solo para o milho no semiárido alagoano

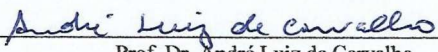
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo e aprovação em 13 de fevereiro de 2019.


Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra
Orientador
CECA/UFAL

BANCA EXAMINADORA:


Doutorando Adolpho Emanuel Quintela da Rocha
Membro Titular da banca
UFV-MG


Prof. Dr. Ivomberg Dourado Magalhães
Membro Titular da banca
CECA-UFAL


Prof. Dr. André Luiz de Carvalho
Membro Titular da banca
CECA-UFAL

Aos meus familiares, amigos e a minha namorada que sempre estiveram ao meu lado apoiando e incentivando.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Cristina Soriano, pela luta, amor, suporte e carinho ao longo de todos esses anos.

À minha tia Balbina Soriano por ser como uma segunda mãe, me ajudando, apoiando de todas as formas possíveis.

Ao meu Pai, Cláudio Cordeiro, pelos ensinamentos durante a minha vida.

Ao meu professor Dr. Guilherme Lyra por toda a paciência, dedicação, ensinamentos, que me ajudou durante todos os 4 anos de convívio no laboratório virando para mim um mentor.

À minha namorada, Júlia Guimarães, que veio para me dar palavras de conforto, incentivo e amor. E que se não fosse por ela, não teria tido a visão de amigos e de crescimento profissional que somos capazes.

Aos meus familiares, meus avós, tios e primos que sempre me ajudaram com dicas e ensinamentos.

Aos meus outros professores Iêdo Teodoro, André Carvalho pelo sabedoria e incentivo sempre ao crescimento de cada aluno.

Aos meus amigos do Clube do Chopp que estão comigo há mais de 8 anos fazendo parte dos bons e dos maus momentos, mas que nunca deixaram um copo de cerveja vazio enquanto precisávamos de conselhos.

Aos amigos que fiz na faculdade conhecido como o famoso Bonde do René (René Barros, Renato Moura, Allan Santana e Rodney Cardoso). Pelas brincadeiras, momentos de aperreio, de alegria e pela confiança passada durante esses 5 anos.

Aos amigos que pude fazer no Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia, Constantino Junior, Arthur Cantarelli, Jeferson Miguel, Ednaldo Marques, Alan Moura, Augusto César que foram parceiros durante o período de aprendizagem no laboratório.

Ao meu amigo, Renato Araújo, que me ajudou no meu primeiro Pibic e teve paciência para me ensinar várias vezes sempre que eu precisei.

A todos os meus colegas e amigos de turma e do CECA, pela amizade, ajuda e convivência.

Ao corpo docente do CECA, pela importante contribuição na minha formação profissional.

A todos que acreditaram em mim e me ajudaram de alguma forma na conclusão deste trabalho.

“Quando você elimina o impossível, o que restar, não importa o quão improvável, deve ser a verdade.”

(Arthur Conan Doyle)

RESUMO

A produção de milho ocorre em todas regiões do país, normalmente a produção é voltada para o mercado interno (67,2%), sendo utilizado para suprir a alimentação de animais. A região semiárida brasileira (NEB) apresenta uma irregularidade climática e variações meteorológicas de grande amplitude. Além da variabilidade climática, os solos da NEB, em sua maioria, possuem baixa aptidão para a agricultura com baixa concentração de nutrientes e estrutura física pouco apropriada para atividades agrícolas. O estudo foi conduzido ao longo do perímetro irrigado do Canal do Sertão Alagoano, onde os solos foram coletados com base no seu tipo de uso atual e o potencial para a agricultura irrigada. Coletaram-se amostras de solo nos municípios de Inhapi (Argissolo Vermelho Amarelo), Delmiro Gouveia (Neossolo Quartzarênico) e Pariconha (Neossolo Regolítico). O solo foi dividido em perfis de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, onde foram determinadas as suas características físico-hídricas. A simulação de irrigação com gotejo foi realizada com base na precipitação pluvial e evapotranspiração da cultura (ETc), a cada dois dias. A região de Inhapi obteve teores de umidade do solo próximos ao que foi visto em literaturas para o tipo de solo que ela possui. Já a região de Delmiro foi a que obteve a maior capacidade de retenção observada e Pariconha a umidade do solo ficou muito abaixo do que foi encontrado nas literaturas, com capacidade de retenção 5 vezes menor do que foi encontrado em outros estudos. A segunda época de plantio foi a que menos utilizou água de irrigação, sendo considerada a melhor época para iniciar o plantio da cultura de milho. Os balanços de água no solo em diferentes épocas de plantio, gerou uma série de dados que pode ajudar para uma prática de manejo hídrico na região próxima ao canal do sertão alagoano. Através da irrigação e dos estudos da dinâmica da água, é possível aumentar a produtividade de áreas no semiárido alagoano, principalmente, na região do canal do sertão. A cultura do milho tem um alto potencial produtivo, alcançando 10 t ha⁻¹ de grãos, no Brasil, em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas. No semiárido, se for feito o manejo adequado da época de plantio e se houver a disponibilidade hídrica através de irrigação, é possível obter resultados positivos e um possível aumento na produção e produtividade local.

Palavras-chave: Necessidade hídrica, evapotranspiração, NEB

ABSTRACT

Maize production occurs in all regions of the country, normally the production is directed to the domestic market (67.2%), and is used to supply animal feed. The Brazilian semi-arid region (NEB) presents a climatic irregularity and wide-ranging meteorological variations. In addition to climatic variability, NEB soils are mostly poorly adapted to agriculture with low nutrient concentration and poor physical structure for agricultural activities. The study was conducted along the irrigated perimeter of the Sertão Alagoano Channel, where soils were collected based on their current type of use and the potential for irrigated agriculture. Soil samples were collected in the municipalities of Inhapi (Yellow Red Argissolo), Delmiro Gouveia (Quartzarenic Neossolo) and Pariconha (Neoso Regolítico). The soil was divided into 0-10, 10-20 and 20-30 cm profiles, where its physical-water characteristics were determined. The simulation of drip irrigation was performed based on rainfall and crop evapotranspiration (ET_c), every two days. The Inhapi region obtained soil moisture content close to what was seen in literature for the type of soil it possesses. The region of Delmiro was the one that obtained the highest retention capacity observed and Pariconha soil moisture was much lower than was found in the literature with retention capacity 5 times lower than that found in other studies. The second planting season was the one that used the least amount of irrigation water, being considered the best time to start planting the corn crop. The water swings in the soil at different planting times, generated a series of data that may help a water management practice in the region near the channel of the backwoods of Alagoas. Through irrigation and studies of water dynamics, it is possible to increase the productivity of areas in the Alagoan semi-arid region, mainly in the region of the sertão canal. The corn crop has a high productive potential, reaching 10 t ha⁻¹ of grains in Brazil under experimental conditions and by farmers adopting adequate technologies. In the semi-arid region, if adequate management of the planting season is done and if there is water availability through irrigation, it is possible to obtain positive results and a possible increase in local production and productivity.

Keywords: Water requirement, evapotranspiration, NEB

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Forma trapezoidal do Canal do Sertão.	14
Figura 2. Traçado do Canal do Sertão entre o sertão e agreste alagoano.	14
Figura 3. Variação da temperatura do ar máxima ($T_x^{\circ}\text{C}$), mínima ($T_n^{\circ}\text{C}$) e média diária ($T_m^{\circ}\text{C}$).	22
Figura 4. Evapotranspiração da cultura (ET_c) para as três épocas de plantio do milho e precipitação (P), E1, E2 e E3, A, B e C, respectivamente.	23
Figura 5. Balanço de água no solo estimado para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E1.	27
Figura 6. Balanço de água no solo estimado para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E2.	28
Figura 7. Balanço de água no solo estimado para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E3.	29
Figura 8. Balanço de água no solo com irrigação estimada para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E1.	30
Figura 9. Balanço de água no solo com irrigação estimada para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E2.	31
Figura 10. Balanço de água no solo com irrigação estimada para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E3.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização das texturas do solo nas regiões Inhapi (I30), Delmiro Gouveia (D15) e Pariconha (PP).	18
Tabela 2. Classificação dos diferentes tipos de solo nas regiões Inhapi (I30), Delmiro Gouveia (D15) e Pariconha (PP).	18
Tabela 3. Densidade dos solos nas regiões de Inhapi (I30), Delmiro Gouveia (D15) e Pariconha (PP).	19
Tabela 4. Épocas de plantio simuladas para a cultura do milho.	20
Tabela 5. Valores iniciais e finais da capacidade de água disponível no solo para as regiões de Inhapi (I30), Delmiro Gouveia (D15) e Pariconha (PP).....	21
Tabela 6. Capacidade de campo (33 kPa) e ponto de murcha permanente (1500 kPa) para as 3 localidades do semiárido alagoano.	25
Tabela 7. Lâminas de irrigação + precipitação para as três épocas de plantio.	33

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	12
3.	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
	3.1 Canal do sertão: importância e utilização	13
	3.2 Evapotranspiração.....	15
	3.3 Balanço Hídrico	17
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
	4.1 Local e descrição geral da área de estudo.....	17
	4.2 Características Físico-químicas	18
	4.2.1 Textura	18
	4.2.2 Densidade.....	19
	4.3 Umidade do solo.....	19
	4.4 Variáveis meteorológicas	20
	4.5 Evapotranspiração de referência – método Hargreaves-Samani.....	20
	4.6 Evapotranspiração da cultura (ETc)	21
	4.7 Balanço de água na zona radicular	21
	4.8 Irrigação	22
5.	RESULTADOS E DISSCUSSÃO	22
6.	CONCLUSÃO.....	33
7.	REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os 10 maiores produtores de milho do mundo entre os anos-safra 2007/08 e 16/17 foi responsável, em média, por 8,09% da produção mundial de milho, situando-se na terceira posição. Os maiores produtores foram os Estados Unidos e China, com médias de 35,47% e 21,6%, respectivamente. A produção no ano-safra de 2007/08 correspondeu a um total de 58.652 milhões de toneladas e em 16/17 subiu para 97.817 milhões de toneladas, um aumento de 59% na produção total de grãos de milho. Com relação a produtividade, o Brasil ocupa a 8ª posição no ranking com valores de 3.972 t ha⁻¹ e 5.560 t ha⁻¹ nos anos-safra 2007/08 e 16/17, respectivamente. (CONAB, 2018).

A produção de milho ocorre em todas regiões do país, normalmente a produção é voltada para o mercado interno (67,2%), sendo utilizado para suprir a alimentação de animais. A principal região produtora é o Centro-Oeste com 51,1% da produção nacional em 2017/18, seguido do Sul com 23,8%, Sudeste com 13,7%, Nordeste com 8,4% e por último pelo Norte com 3,0%. Para a safra de 2017/18 o Nordeste será a única região que deverá ter um aumento na sua produção, porém a maior produtividade deverá ser obtida no Sul (5,5 t ha⁻¹) sendo a maior produtividade do Brasil e o Nordeste (2,5 t ha⁻¹) na última posição. As diferenças em produtividade dessas regiões podem ser explicadas pela utilização de melhores tecnologias, como a utilização de sementes adaptadas as regiões e do uso de irrigação durante o ciclo da cultura. Estima-se que a produção de milho na NEB seja de 6.815,2 mil toneladas em 2017/18, ficando 2% acima em comparação com a safra anterior. A área plantada atualmente é de 2.668,0 mil hectares com produtividade alcançando 2,5 t ha⁻¹ tendo um decréscimo de 0,5% com relação a safra anterior. (BNB/ETENE, 2018).

A variação climática anual na região do Nordeste do Brasil (NEB) tem sido uma das principais causas de redução da produtividade agrícola (ABREU et al., 2013). No estado de alagoas, 45,3% da área total corresponde à região semiárida concentrando 37% dos municípios e aproximadamente 28,8% da população alagoana (MEDEIROS et al., 2009). Considerada a região mais pobre do país e a que possui os problemas socioeconômicos mais acentuados a agricultura, normalmente, é a de subsistência (milho e feijão) e a disponibilidade hídrica é o que impede altos índices de produção agrícola. Normalmente, as culturas de subsistências são implantadas na época de várzeas, com a semeadura sendo feita logo após as primeiras chuvas. Muitas vezes, essas plantas

sofrem perdas significativas pela falta de água, devido à má distribuição na precipitação e à pouca retenção de água presentes nas camadas de solo (ANTONINO et al., 2000).

A NEB apresenta uma irregularidade climática e variações meteorológicas de grande amplitude. Em regiões semiáridas a disponibilidade de água no solo é o fator primário no controle do fluxo de água (sobretudo na evapotranspiração), na assimilação de carbono e na respiração do ecossistema (HUSSAIN et al., 2011).

Além da variabilidade climática, os solos da NEB, em sua maioria, possuem baixa aptidão para a agricultura com baixa concentração de nutrientes e estrutura física pouco apropriada para atividades agrícolas. A degradação do solo é resultado de processos naturais e também induzidos pelo homem, essa degradação faz com que tenha uma diminuição na cobertura vegetal através de uma série de processos físicos, químicos e hidrológicos que provocam a destruição do potencial biológico e da capacidade de sustento dos mesmos. O principal fator que conduz às perdas das terras produtivas no semiárido é a perda de solo por erosão, principalmente em locais dependentes de chuvas. (CASTRO, 2012).

Com toda a dificuldade na obtenção de melhores índices de produção e produtividade nessas regiões, são poucas as pesquisas que ajudem a melhorar o desempenho na região semiárida Alagoana, por isso, torna-se necessário o estudo das relações físico-hídricas e balanços hídricos para a NEB alagoana.

1. OBJETIVOS

2.1 Geral: Gerar balanços hídricos móveis para a cultura do milho para as regiões de Inhapi, Delmiro Gouveia e Pariconha em diferentes épocas de plantio.

2.2 Específicos: Determinar as características físico-hídricas dos solos dessas regiões. Determinar a evapotranspiração de referência e da cultura para o milho. Gerar o balanço hídrico móvel da cultura associado a profundidade do sistema radicular da cultura em diferentes épocas de plantio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Canal do sertão: importância e utilização

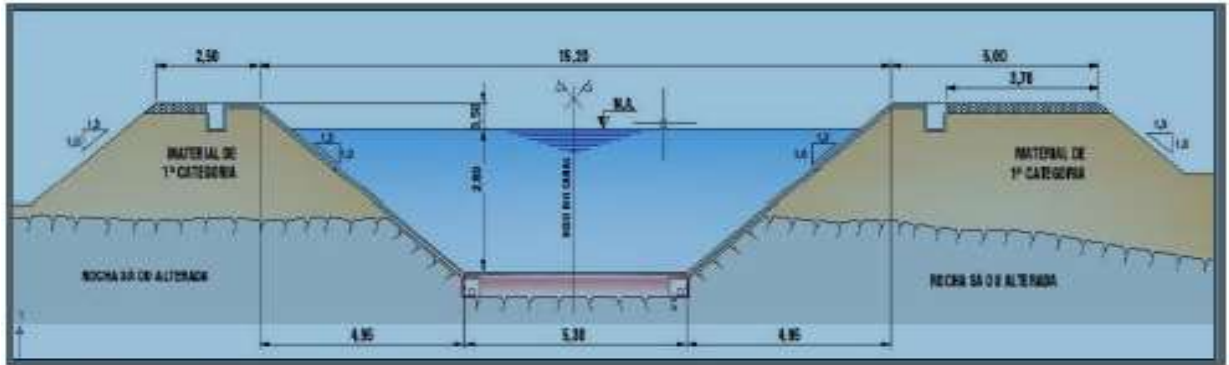
A seca é um fenômeno natural que tem como principal característica a má distribuição e irregularidade na precipitação pluvial que acontece numa determinada localidade, gerando uma estiagem com longos períodos e gerando problemas socioeconômicos que afetam a população de todo o mundo. O Nordeste é a região que mais sofre com períodos de secas no Brasil, principalmente a região semiárida, que possui índices pluviométricos muito abaixo do que os apresentados nas outras regiões.

A região do semiárido alagoano é formado por trinta e oito municípios, em que vinte e seis estão localizados na mesorregião do Sertão e doze estão localizados na mesorregião do Agreste. Segundo dados do IBGE (2010) essa região semiárida possui uma área de aproximadamente 12.600 km², que representa 1,28% da área total do semiárido brasileiro e uma população de 900.549 habitantes. As atividades econômicas de maior destaque nessa região são a agricultura e a pecuária, possuem um sistema de produção tradicional, pela mão de obra familiar. O canal do sertão é a maior e mais moderna obra de infraestrutura hídrica do estado de Alagoas, seu projeto foi lançado em 1992 pelo Governo do Estado e consiste em transpor uma parcela do fluxo do rio São Francisco e levar água através do canal para os municípios que mais sofrem com os efeitos de seca (PINTO, 2017).

O canal do sertão compreenderá numa extensão total de 250 quilômetros teve seus primeiros 65 quilômetros de extensão, passando pelos municípios de Delmiro Gouveia, Pariconha e Água Branca, inaugurados no ano de 2013 (SEMAH, 2014). Atualmente mais de 100 km já foram inaugurados e o terceiro trecho que abrange a região de Inhapi foi inaugurado em 2015. O tempo estimado para a conclusão do canal era de 12 anos e ainda hoje trechos da primeira fase do projeto ainda não foram concluídos totalmente e os que foram, não estão com os projetos planejados para que funcionem corretamente (CARMO, 2018).

O canal apresenta uma forma trapezoidal, na maior parte de seu percurso, mas também é composto por outras formas. Isso ocorre por conta da diferença do tipo de terreno em que o curso da obra tem de passar, visto que o fato de a água ter de ser transportada por gravidade existe a

necessidade de se manter o nível do canal, conforme é demonstrado na figura 1 adaptado de Carmo, 2018.



Fonte: Pedrosa, 2016.³

³ Retirado da apresentação de slides apresentada no Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Cada gota conta: as águas do rio São Francisco. 2016.

Figura 1. Forma trapezoidal do Canal do Sertão.

A implantação do Canal do sertão tem como proposta o desenvolvimento de perímetros irrigados a margens do canal, esses perímetros seriam distribuídos em alguns dos municípios como Delmiro Gouveia, Inhapi e Pariconha, além de municípios do alto sertão há previsão para perímetros irrigados em municípios do Agreste alagoano, como demonstrando na figura 2.



Fonte: Google, 2018

Figura 2. Traçado do Canal do Sertão entre o sertão e agreste alagoano.

2.2 Evapotranspiração

O clima é o principal fator responsável pelas oscilações e frustações das safras agrícolas no Brasil. Diversas análises da produção agrícola apontam alta correlação entre variações de safras, das principais culturas, e as condições meteorológicas e climáticas. Em geral, as condições hídricas são as que mais afetam a produção das lavouras (BERGAMASCHI et al., 2009).

O déficit hídrico na planta é um fenômeno quase diário, que pode ocorrer mesmo em condições de alta disponibilidade de água no solo. Durante o dia, a planta perde mais água do que consegue absorver até, aproximadamente, o meio da tarde. Em seguida, com a diminuição da demanda evaporativa atmosférica, a planta absorve mais água que a perda por transpiração, iniciando a recuperação do déficit, até que ocorra o equilíbrio dos potenciais durante a noite. Se não houver reposição de água no solo pela precipitação pluvial ou por irrigação, o estresse se tornará irreversível. Este processo depende da demanda evaporativa da atmosfera, da capacidade de armazenagem de água no solo, das características da cultura e do estágio de desenvolvimento da planta. (BERGAMASCHI et al., 2009).

Bergamaschi et al. (2006) relacionaram o rendimento de grãos do milho com o déficit hídrico e com a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima (E_{Tr}/E_{Tm}), para o Rio Grande do Sul. Verificaram que houve maior redução na produção durante o período que engloba a polinização, formação do zigoto e o desenvolvimento inicial do grão, demonstrando que a irrigação aumenta e estabiliza a produção do milho naquele Estado.

Evapotranspiração é o termo utilizado por Thornthwaite, para expressar uma ocorrência simultânea que corresponde à água utilizada por uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo e cobrindo totalmente o terreno. A evapotranspiração é regida pela disponibilidade de energia no ambiente, pela disponibilidade de água no solo e pela demanda atmosférica, com isso, o consumo de água depende diretamente da demanda energética atmosférica, do conteúdo de água no solo e da resistência da planta à perda de água para a atmosfera (PEREIRA et al., 1997).

Essa é afetada pelas características da cultura, manejo, fatores ambientais e variáveis meteorológicas. Dentre os principais elementos meteorológicos, pode-se citar a radiação, a temperatura e a umidade relativa do ar e a velocidade do vento. Os principais fatores relacionados à cultura são o tipo, a variedade e a fase de desenvolvimento. Os elementos da cultura como rugosidade, a altura do dossel, a reflexão, a cobertura do solo e a profundidade do sistema radicular

determinam diferentes valores de evapotranspiração para culturas distintas, sob as mesmas condições ambientais (MEDEIROS, 2009).

A evapotranspiração é um processo importante para o ciclo hidrológico, por meio do balanço hídrico, é possível estimar a recarga hídrica dos aquíferos (VALDIVIA, 2005). Existem diversas maneiras de se determinar a evapotranspiração de uma cultura (Método de Hargreaves-Samani; Método de Jensen-Haise; Método aerodinâmico, entre outros). No entanto, a multiplicidade de termos, existentes na literatura, relacionados à evapotranspiração, e que são, muitas vezes, bagos e dúbios, tem dificultado a sua utilização e, especialmente, a transposição e comparação de resultados. (PEREIRA et al., 1997).

Um dos métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência é o método de Penman-Monteith que foi definido como padrão internacional de estimativas de ETo porque ele fornece estimativas mais confiáveis em diversos tipos de clima (ALLEN et al., 1998), onde correlaciona dados de pressão, temperatura do ar, radiação, declinação solar, para a determinação final da ETo.

2.3 Balanço Hídrico

O alto índice de produção pelas culturas está ligado as condições climáticas e edáficas do local, a disponibilidade hídrica e os nutrientes presentes no solo têm que estar presentes na época correta e nas quantidades apropriadas. Essa disponibilidade hídrica é um fator determinante na obtenção de elevadas produtividades da cultura do milho que é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, dois dias de “stress” hídrico no florescimento diminuem o rendimento em mais de 20%, quatro a oito dias diminuem em mais de 50% (ALDRICH et al., 1982). O melhor entendimento do sistema solo-água-planta-atmosfera pode fornecer informações de manejo mais eficientes e também fazendo com que tenha uma exploração mais sustentável das áreas.

Tem-se como conceito de balanço hídrico a contabilização de água no solo, resultante da aplicação do *Princípio de Conservação de Massa* num volume de solo vegetado (PEREIRA, 2007), ou seja, a contabilização da entrada e saída de água no solo, em um dado período de tempo. Balanço hídrico é o conjunto de variáveis climatológicas: evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar e escoamento superficial, mas também ao conhecimento das

características da planta, principalmente, da sua fenologia que representa o ponto de partida para a coerência dos resultados do balanço (MEDEIROS, 2009). Existem algumas maneiras de se calcular o balanço hídrico, o método desenvolvido por Thornthwaite & Mather (1955) nos permite calcular o balanço hídrico climatológico onde se tem o objetivo de se determinar a variação do armazenamento de água no solo, sem irrigação. A variação do armazenamento, num intervalo de tempo, representa o balanço entre entrada e saída de água. São basicamente seis possíveis entradas, são elas: chuva, orvalho, escoamento superficial, drenagem lateral, ascensão capilar, irrigação; e quatro possíveis saídas, são elas: evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda.

O uso da tecnologia de reflectometria no domínio do tempo (TDR) tornou possível estimativas do conteúdo de água no solo em tempo real e em pequenos intervalos de tempo, sem a necessidade de desenvolver processos laboriosos e invasivos do solo. Esse método tem sido mais utilizado na pesquisa devido a sua precisão, facilidade de acoplamento a um sistema de coleta de dados, rapidez e segurança ao operador (SILVA et al., 2007).

O conhecimento do conteúdo de água no solo é fundamental tendo em vista os fatores que contribuem para a baixa produtividade nas regiões semiáridas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local e descrição geral da área de estudo

O estudo foi conduzido ao longo do perímetro irrigado do Canal do Sertão Alagoano, onde os solos foram coletados com base no seu tipo de uso atual e o potencial para a agricultura irrigada. Coletaram-se amostras de solo nos municípios de Inhapi (Argissolo Vermelho Amarelo), Delmiro Gouveira (Neossolo Quartzarênico) e Pariconha (Neossolo Regolítico). O solo foi dividido em camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, onde foram determinadas as suas características físico-hídricas. A área escolhida do município de Inhapi é uma área de cultivo de milho e feijão, em sequeiro há 30 anos (I30), no município de Delmiro Gouveira o solo coletado é de uma área de cultivo de milho, feijão e mandioca, em sequeiro há 15 anos (D15) e para o município de Pariconha foi escolhida uma área de cultivo de pastagem há 10 anos (PP).

3.2 Características físico-química

4.2.1 Textura

A textura do solo foi realizada pelo método da pipeta, como descrito por EMBRAPA (1997), que se baseia na velocidade de queda das partículas que compõem o solo, onde a caracterização da textura está representada na tabela 1 e os tipos de solo na tabela 2.

%	I30	D15		PP
		Profundidade 0 - 10 cm		
Argila	20.70	11.70	2.60	
Silte	16.56	0.14	10.40	
Areia	62.74	88.16	87.00	
Profundidade 10 - 20 cm				
Argila	20.70	5.15	3.50	
Silte	16.56	9.90	12.84	
Areia	62.74	84.95	83.66	
Profundidade 20 - 30 cm				
Argila	32.17	4.00	4.60	
Silte	14.98	12.10	13.53	
Areia	52.86	83.90	81.87	

Tabela 1. Caracterização das texturas do solo nas regiões Inhapi (I30), Delmiro Gouveia (D15) e Pariconha (PP).

I30	Textura	D15	Textura	PP	Textura
0 - 10 cm	Franco Argiloso Arenoso	0 - 10 cm	Areia Branca	0 - 10 cm	Areia Branca
10 - 20 cm	Franco Argiloso Arenoso	10 - 20 cm	Areia Branca	10 - 20 cm	Areia Branca
20 - 30 cm	Franco Argiloso Arenoso	20 - 30 cm	Areia Branca	20 - 30 cm	Areia Branca

Tabela 2. Classificação dos diferentes tipos de solo nas regiões Inhapi (I30), Delmiro Gouveia (D15) e Pariconha (PP).

4.2.2 Densidade

A densidade do solo foi calculada pelo método do anel volumétrico proposto por EMBRAPA (1997), onde amostras de solos indeformadas foram colocadas em anéis de aço de bordas cortantes e volume interno de 50cm³, através da equação 1

$$D_s = \frac{a}{b} \quad (1)$$

Onde “a” é o peso da amostra de solo seca a 105°C (g) e “b” é o volume do anel ou cilindro (cm³).

As densidades foram realizadas nas três profundidades estudadas para os três diferentes tipos de solo (Tabela 3).

Densidade (g.cm ⁻³)	I30	D15	PP
0 - 10 cm	1,44	1,49	1,60
10 - 20 cm	1,44	1,49	1,60
20 - 30 cm	1,44	1,49	1,60

Tabela 3. Densidade dos solos nas regiões de Inhapi (I30), Delmiro Gouveia (D15) e Pariconha (PP).

3.3 Umidade do solo

Para determinar a umidade do solo em cada profundidade foram separadas três repetições, com total de 18 amostras de terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras foram submetidas às pressões (potenciais matriciais) de 33 (CC – capacidade de campo), e 1500 (PM – ponto de murcha) kPa, pela seguinte fórmula:

$$\text{Umidade (kPa)} = 100 \frac{(a - b)}{b} \quad (2)$$

em que: a é a massa da amostra após ser submetida à pressão utilizada: 33 e 1500 kPa; e b é a massa da amostra seca a 105 °C.

3.4 Variáveis meteorológicas

As variáveis meteorológicas (precipitação pluvial, radiação extraterrestre, temperatura máxima e mínima do ar,) foram cedidas pelo Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar da Universidade Federal de Alagoas (LARAS-UFAL) que possuía dados obtidos através da estação meteorológica de Pão de Açúcar para os anos de: 1998; 1999; 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007 e 2009.

Para a realização do balanço hídrico móvel para a cultura do milho foi estabelecido uma média com os dados de todos os 9 anos.

O Kc para a cultura do milho foi determinado com base no estudo de Souza et al., (2010) sob condições de semiárido brasileiro. Os valores de Kc foram obtidos pelo método do balanço hídrico e foram 0,86, 1,23, e 0,52, respectivamente para as fases I, II, III e IV. Na fase intermediária (35 dias) o kc foi interpolado para que determinasse o período de crescimento. Foram determinadas 3 épocas de plantio para o milho (Tabela 4).

Época 1 – E1	Época 2 – E2	Época 3 – E3
1/mar a 23/jun	17/mai a 8/set	10/jul a 1/nov

Tabela 4. Épocas de plantio simuladas para a cultura do milho.

3.5 Evapotranspiração de referência – método Hargreaves-Samani

A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Hargreaves-Samani na forma descrita por Pereira et al (1997):

$$ET_o = a \cdot 0,408 \cdot Q_o \left((\sqrt{T_x - T_n} \cdot (17,8 + \frac{T_x + T_n}{2})) \right) \quad (3)$$

em que, a é a constante do local a ser ajustada, Q_o é a radiação solar extraterrestre [$\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$], T_x e T_n são as temperaturas do ar máxima e mínima diária, respectivamente [$^{\circ}\text{C}$].

3.6 Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura diária (ETc, mm d-1) foi determinada em função da ETo e do Kc em cada fase de desenvolvimento da cultura do milho proposto pelo boletim da FAO-56 (ALLEN et al., 1998) através da equação 4:

$$ETc = ETo Kc \quad (4)$$

3.7 Balanço de água na zona radicular

No balanço de água na zona radicular a estimativa da CAD é proporcional a profundidade efetiva do sistema radicular (z) (PEREIRA et al., 1997):

$$CAD = 1000(\theta_{cc} - \theta_{pm}) z \quad (5)$$

em que, θ_{cc} é a umidade do solo a capacidade de campo [m^3m^{-3}]; θ_{pm} é a umidade do solo ao ponto de murcha permanente [m^3m^{-3}]; z variando de 0,10 a 0,60 m, entre a emergência e a fase de senescência, respectivamente (RITCHIE et al., 2003).

A capacidade de água disponível [$CAD = 1000 (\theta_{cc} - \theta_{pm}) z$] foi determinada para cada fase de desenvolvimento do milho (inicial – 20 dias, crescimento – 35 dias, intermediária – 40 dias e final – 30 dias), em função da profundidade efetiva do sistema radicular.

Os valores de CAD calculados para as três regiões está apresentado na Tabela 5.

CAD (mm)	Início	Final
I30	11.08	66.48
D15	18.30	109.80
PP	8.75	52.50

Tabela 5. Valores iniciais e finais da capacidade de água disponível no solo para as regiões de Inhapi (I30), Delmiro Gouveia (D15) e Pariconha (PP)

A água facilmente disponível (AFD) foi calculada através da equação 6, em que f é o fator de disponibilidade de água, considerado igual a 0,55. A profundidade do sistema radicular foi interpolada para todo o ciclo da cultura em função da variação dos Kc nas fases inicial e de crescimento como sugerido por Allen et al. (1998).

$$AFD = f \cdot CAD \quad (6)$$

Através do balanço foi possível estimar também o armazenamento de água no solo (ARM) equação 7:

$$ARM = CAD * \exp\left(\frac{NEG \ ACUM}{CAD}\right) \quad (7)$$

Toda vez em que o armazenamento de água no solo estiver abaixo da água facilmente disponível, a planta se encontra em estresse hídrico. Nesse período, somente chuva ou o uso de irrigação são capazes de mudar esta condição (ALLEN et al., 1998).

3.8 Irrigação

As lâminas de irrigação foram feitas com base na precipitação pluvial e evapotranspiração da cultura (ETc). Foi considerada uma irrigação de gotejamento com 90% de eficiência no uso da água feita a cada 2 dias, começando com uma lâmina de 20mm, para permanecer na capacidade de campo. Irrigação durou 83 dias, num ciclo de 115, foi interrompida na época representada como o grão pastoso, porque a partir daí o ARM deve ser inferior a AFD, necessário para a secagem dos grãos na fase grãos secos.

4. RESULTADOS E DISSCUSSÃO

Para o período selecionado de 1/mar a 1/nov as temperaturas máxima, mínima e média do ar variaram de 27,91 a 36,74°C; 19,17 a 25,12°C e 24,12 a 30,66°C, respectivamente, e estão representados na Figura 3. A temperatura média da região durante os 9 anos e durante o período selecionado para cultivo foi de aproximadamente 27,19 °C em todas as épocas de plantio. A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24°C e 30°C (EMBRAPA, 2010), portanto a região apresentou temperaturas média do ar próxima ao nível de tolerância para que a cultura venha a ter um desenvolvimento adequado.

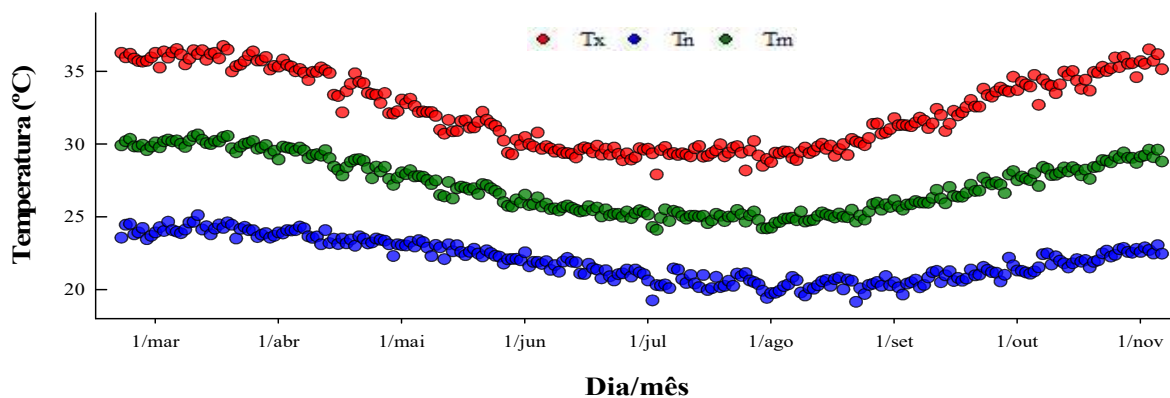


Figura 3. Variação da temperatura do ar máxima ($T_x^{\circ}\text{C}$), mínima ($T_n^{\circ}\text{C}$) e média diária ($T_m^{\circ}\text{C}$).

A figura 4 está representando a precipitação pluvial para os 3 períodos de plantio. Foi observado um valor total de chuva de 426,96mm, com 231 dias chuvosos. A precipitação total para a época 1 (E1)(A) foi de 247.70 mm com média de 2.2 mm.dia⁻¹. A precipitação total para a época 2 (E2)(B) foi de 242.70 mm com média de 2.1 mm.dia⁻¹ e a precipitação total para a época 3 (E2)(C) foi de 151.50 mm com média de 1.3 mm.dia⁻¹. O evento máximo de chuva observado durante o período de 1 março a 1 de novembro foi de 13,53 mm.dia⁻¹. Durante 107 dias foram observados valores que variam de 0,0 a 0,97 mm.dia⁻¹ o que corresponde a 43,49% do período total selecionado para simulação. Valores considerados baixos para a cultura, já que ela necessita de pelo menos 400 mm de água, bem distribuídos durante o seu ciclo, segundo Bergamaschi et al (2006). A ETc acumulada foi de 658,66 mm (E1, A); 588,92 mm (E2, B) e 665,40 mm (E3, C) para o primeiro, segundo e terceiro plantio, respectivamente.

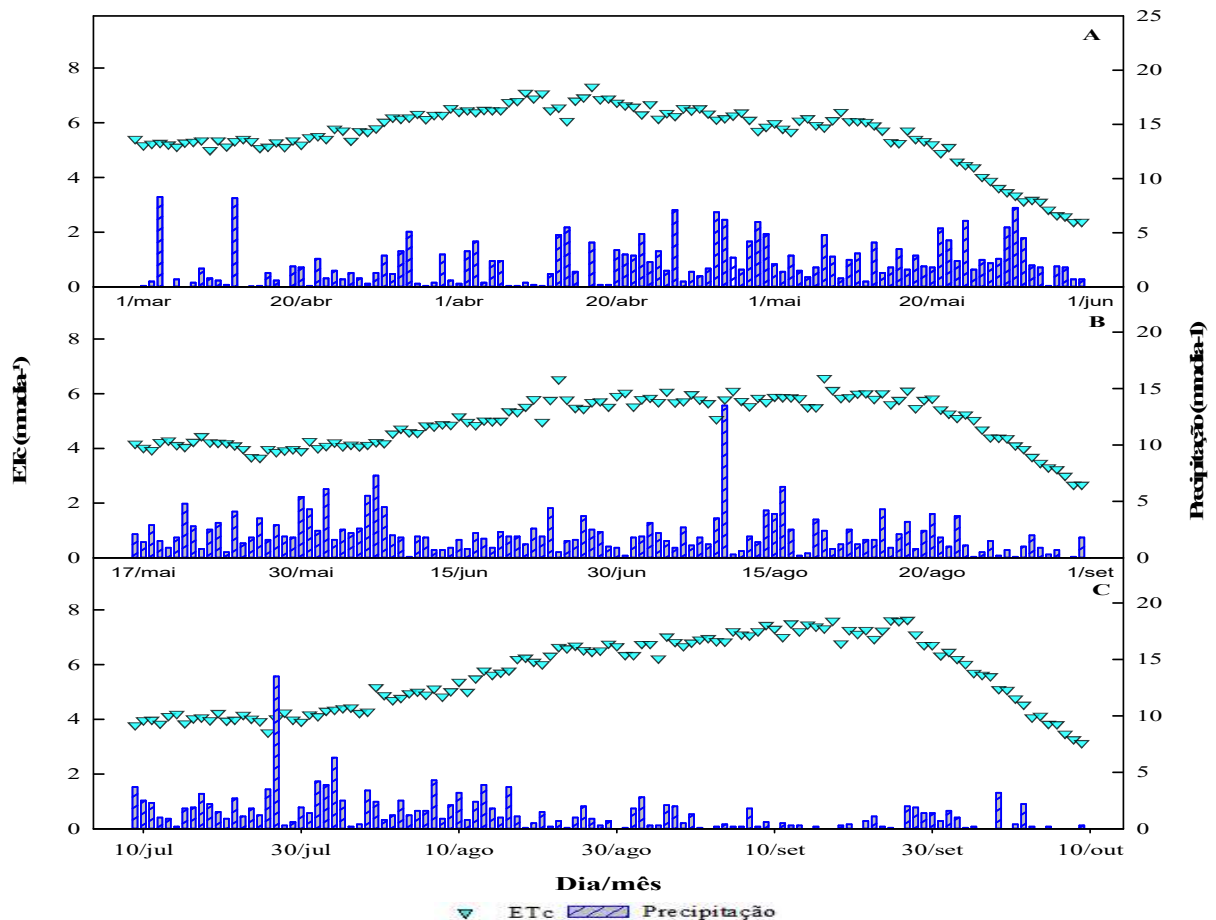


Figura 4. Evapotranspiração da cultura (ETc) para as três épocas de plantio do milho e precipitação (P), E1, E2 e E3, A, B e C, respectivamente.

Os dados de capacidade de campo e ponto de murcha permanente para as três regiões estão apresentados na Tabela 6. Observou-se que a profundidade que teve menor retenção de água no solo para o município de Inhapi (I30) foi a camada de 10 – 20cm com valores de 23% na CC e 14% no PMP, essa baixa capacidade de retenção de água nas camadas mais próximas da superfície pode ser explicada através do teor de areia que vai diminuindo com a profundidade, sendo esta uma das características dos Argissolos, que apresentam diferenças acentuadas de textura entre o horizonte superficial (A) e o horizonte subjacente (B textural) (IPA, 2008). Tal comportamento também foi observado por Santana et al. (2006), em Argissolos do Estado da Bahia. A camada com maior retenção de água no solo foi a de 20 – 30cm, com valores de 26,42 CC e 13,60 PMP, reforçando a hipótese que quanto mais profundo, menor o nível de areia e maior a capacidade de retenção de água para esse tipo de solo. Resultado semelhante foi observado em um Argissolo do semiárido

brasileiro, com umidade de aproximadamente 30% a uma tensão de 33 kPa que foi atribuído essa variação na retenção de água pela estrutura do solo, além da distribuição e tamanho das partículas desse tipo de solo segundo Silva Neto et al. (2012).

Para a amostra do município de Delmiro Gouveia (D15) a camada que obteve a menor capacidade de retenção foi a de 10 – 20cm com valores de 19%CC e 3% PMP. Nascimento et al. (2010) ao realizarem estudos para Neossolo Quartzarênico na região semiárida de Pernambuco, NEB, observaram tendência de maior retenção de água em camadas mais profundas. Pedron et al. (2011) ao estudar a capacidade de retenção de água em perfis de Neossolos, apresentaram resultados de capacidade de campo entre 42 e 51 % e ponto de murcha variando entre 10 e 24 %. A maior capacidade de retenção foi para a camada de 20 – 30cm com valores de 26% CC e 3% PMP, reforçando a tendência de maior retenção de água em camadas mais profundas, mas com valores muito abaixo do que encontrado em estudos tanto para a capacidade de campo quanto para o ponto de murcha. Silva et al. (2006) mostram a diferença na retenção de água em solos argilosos, comparado com arenosos, que evidenciou o mesmo padrão em nosso estudo.

No município de Pariconha (PP) a menor capacidade de retenção de água no solo foi na camada de 10 – 20cm com valores de 9% CC e 2% PMP. Isso pode ser explicado pela densidade do solo elevada, baixa macroporosidade, alta microporosidade, o que resulta em baixa condutividade saturada e baixa taxa de infiltração de água no solo segundo (PEDRON et al., 2011).

Profundidade (cm)	CC (%)	PMP (%)	CC (%)	PMP (%)	CC (%)	PMP (%)
	0 - 10		10 - 20.		20 - 30	
I30	21,86	11,17	23,31	13,58	26,42	13,6
D15	20,23	2,27	18,55	2,91	24,8	3,48
PP	11,45	1,71	8,89	1,69	11,2	1,86
Média	17,84	5,05	16,92	6,06	20,81	6,31

Tabela 6. Capacidade de campo (33 kPa) e ponto de murcha permanente (1500 kPa) para as 3 localidades do semiárido alagoano.

Tendo em base os resultados obtidos pela capacidade de campo e ponto de murcha, foi realizado o balanço de água no solo em três épocas de plantio. Na Figura 5 o balanço de água no solo para a cultura do milho, na região de Inhapi – I30, Delmiro Gouveia – D15 e Pariconha – PP na primeira época de plantio (E1) que vai de 1 março a 23 de junho, a região que teve a maior

capacidade de água disponível (CAD) foi a região de Delmiro Gouveia com um Neossolo Quartzarenico, isso pode ser explicado pela diferença entre a capacidade de campo e ponto de murcha que mostrou que o solo possui um valor de aproximadamente 18% de umidade retida em comparação com Inhapi que teve 10.69% e de Pariconha com 9.74%. No final do ciclo, onde a cultura menos necessita de água por estar no processo de secagem dos grãos, foi onde houve um pico de armazenamento. Essa pequena capacidade de retenção de água, associada as chuvas que possui uma irregularidade sazonal, com um período úmido de três ou quatro meses, enquanto no restante do ano observa-se um período de seca (ANTONINO et al., 2000) pode ser explicada pela classificação textural e pela classificação dos solos dessas regiões. A região de Inhapi, que possui o solo com maior quantidade de argila, obteve uma menor retenção de água no solo. Essa mesma observação foi feita por Silva Neto et al., (2012) para a região semiárida de Mossoró em um Argissolo, com umidade de aproximadamente 30%.

Alguns trabalhos mostram que a época em que o rendimento de grãos são maiores e mais estáveis são aquelas em que os estádios de desenvolvimento de quatro folhas totalmente desenvolvidas e a floração, ocorrem sob boas condições de água no solo e nas condições tropicais, devido a menor variação da temperatura e do comprimento do dia, a distribuição de chuvas é que geralmente determina a melhor época de semeadura (CRUZ et al., 2010).

O balanço de água no solo médio dos nove anos selecionados para as três regiões na EI demonstrou como o semiárido tem suas dificuldades para aumentar a produtividade, fator acentuado pela limitação de diversos fatores, como, práticas rudimentares de cultivo, escassez de cultivares adaptadas as condições edafoclimáticas do local, cultivo em áreas sem aptidão agrícola e elevada variabilidade climática (ALVES et al., 1998).

Existe também uma perda de água por causa do processo de enxurrada, que além de causar problemas para as terras cultiváveis com a perda de nutrientes do solo, limita a agricultura de sequeiro. Essas perdas por erosão continuam sendo elevadas, uma vez que a maioria dos agricultores não utilizam técnicas de manejo e conservação de solo adequadas (OLIVEIRA et al., 2010). Como todos os locais onde o solo foi coletado já havia alguma cultura implantada a pelo menos 10 anos faz com que o solo esteja em um processo de baixo teor de matéria orgânica, o que também prejudica na absorção de água.

Em estudos feitos por Lyra et al., (2010) para eventos de chuva moderada a forte (>7mm d⁻¹) a cobertura aumenta a capacidade de infiltração da água no solo e dessa forma o seu conteúdo

de água. Contudo, para eventos fracos, a água não chega ao solo, sendo perdida diretamente para a atmosfera.

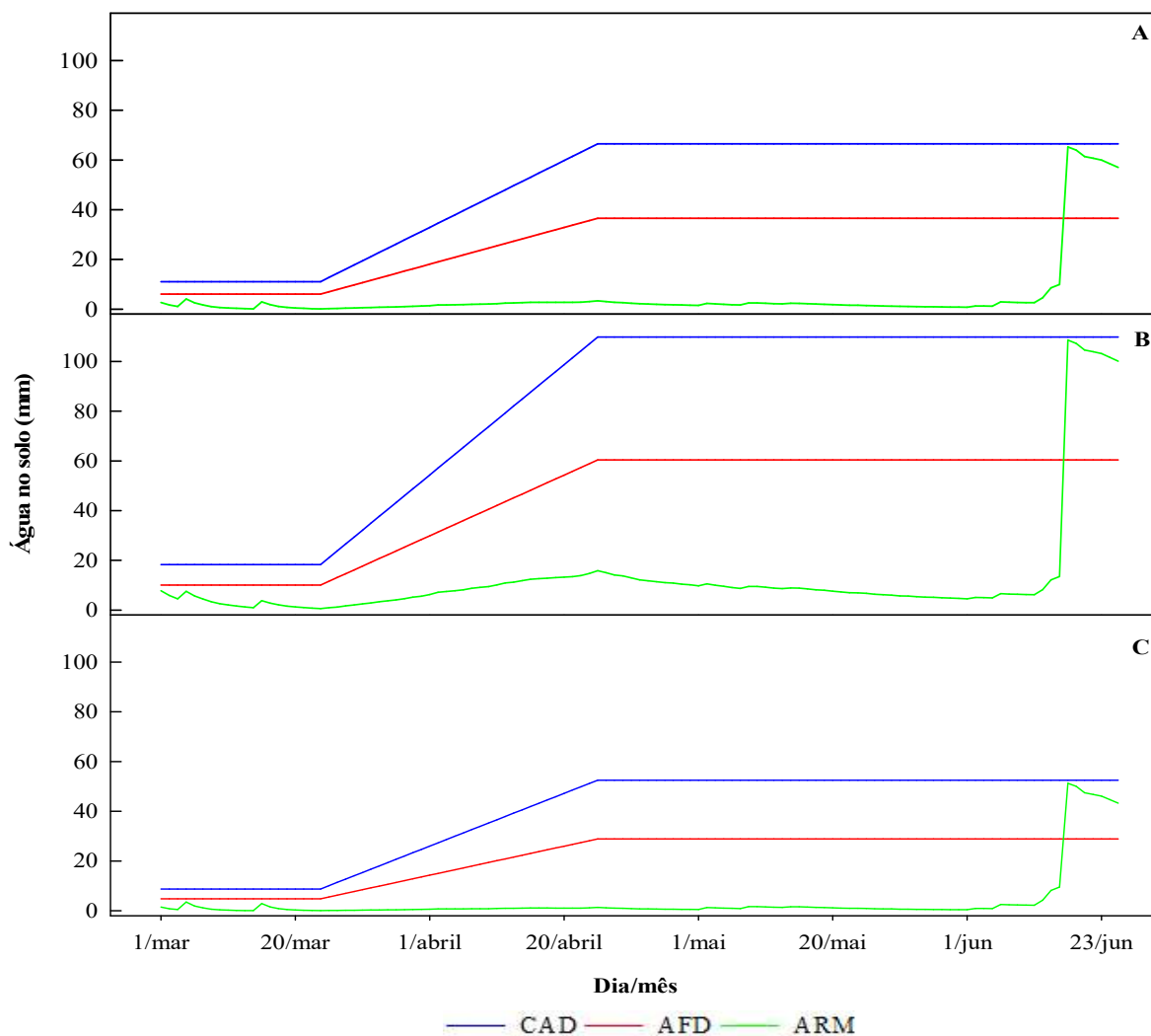


Figura 5. Balanço de água no solo estimado para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E1.

Na segunda época de plantio (Figura 6), as três regiões tiveram um resultado semelhante a E1, onde o armazenamento de água permaneceu abaixo da água facilmente disponível durante todo o período, tendo um pico de armazenamento da metade para o final do ciclo. A região que obteve a maior capacidade de água disponível para a segunda época foi, também, a de Delmiro Gouveia com valores 2 vezes maior que os das outras regiões. O aumento no armazenamento observado não

foi suficiente para que a cultura conseguisse ter um bom desempenho, já que acontece no meio para o final do ciclo da cultura.

O balanço hídrico para os municípios de Inhapi, Delmiro Gouveia e Pariconha se mostra como um padrão, durante os nove anos de dados considerados. Onde a diferença encontrada é na capacidade de água disponível, tipo de solo e na absorção de umidade em cada um. Pariconha que foi a região onde se obteve o menor índice de umidade no solo, se demonstra similar a região de Inhapi, que possui um Argissolo Vermelho Amarelo e, conseqüentemente, maior índice de argila e a região que teve a maior absorção de água no solo foi Delmiro Gouveia demonstrando resultados diferentes do que encontrado na literatura em relação aos Neossolos Quartzarênicos.

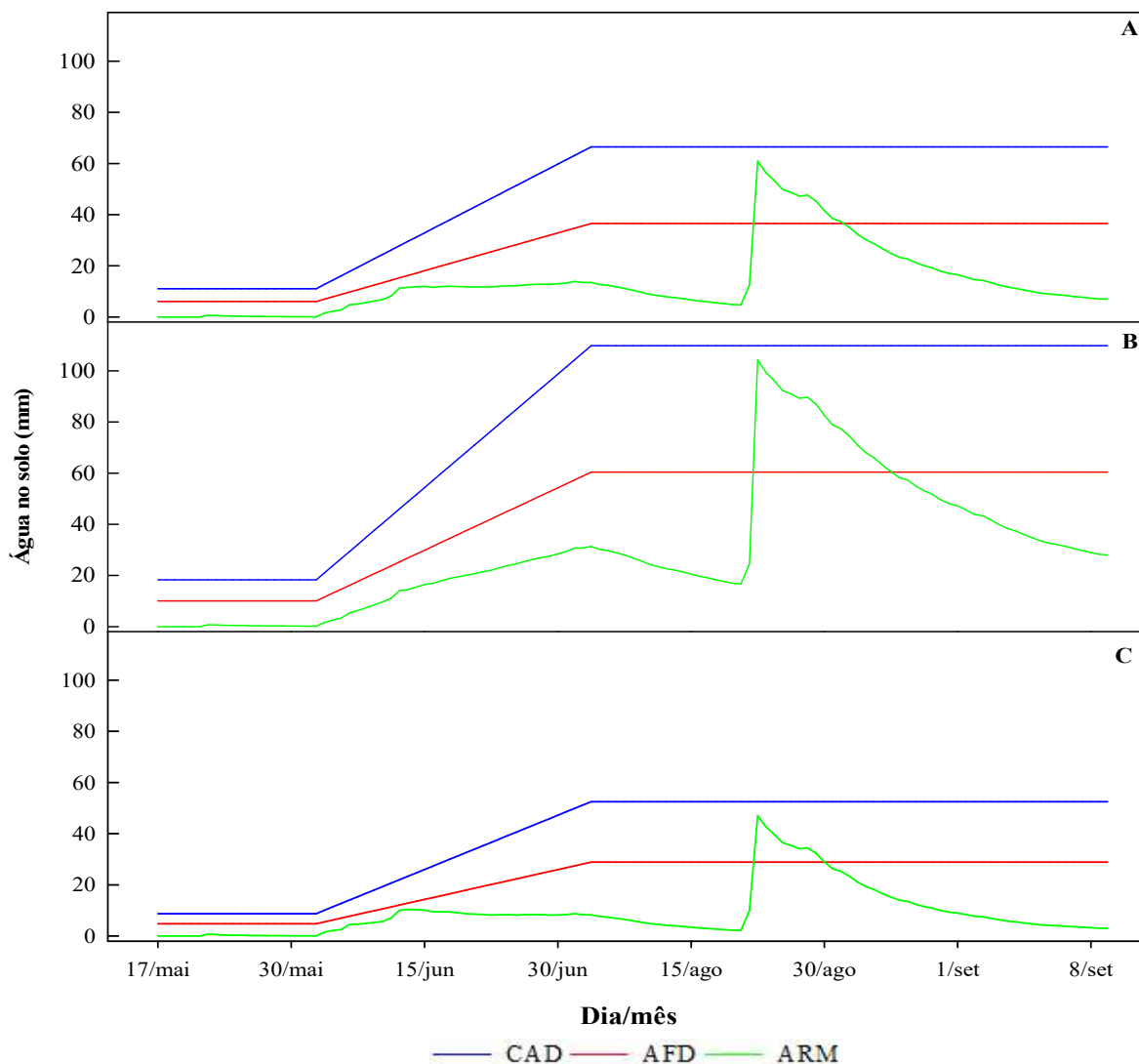


Figura 6. Balanço de água no solo estimado para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E2.

A terceira época de plantio (E3) está representada na Figura 7. Vai do período de 10 de julho a 1 de novembro também se mostrando semelhante aos outros dois períodos estudados, com o armazenamento sempre abaixo da água facilmente disponível. Reforçando a dificuldade que os agricultores dessa região têm para a produção de qualquer tipo de cultura.

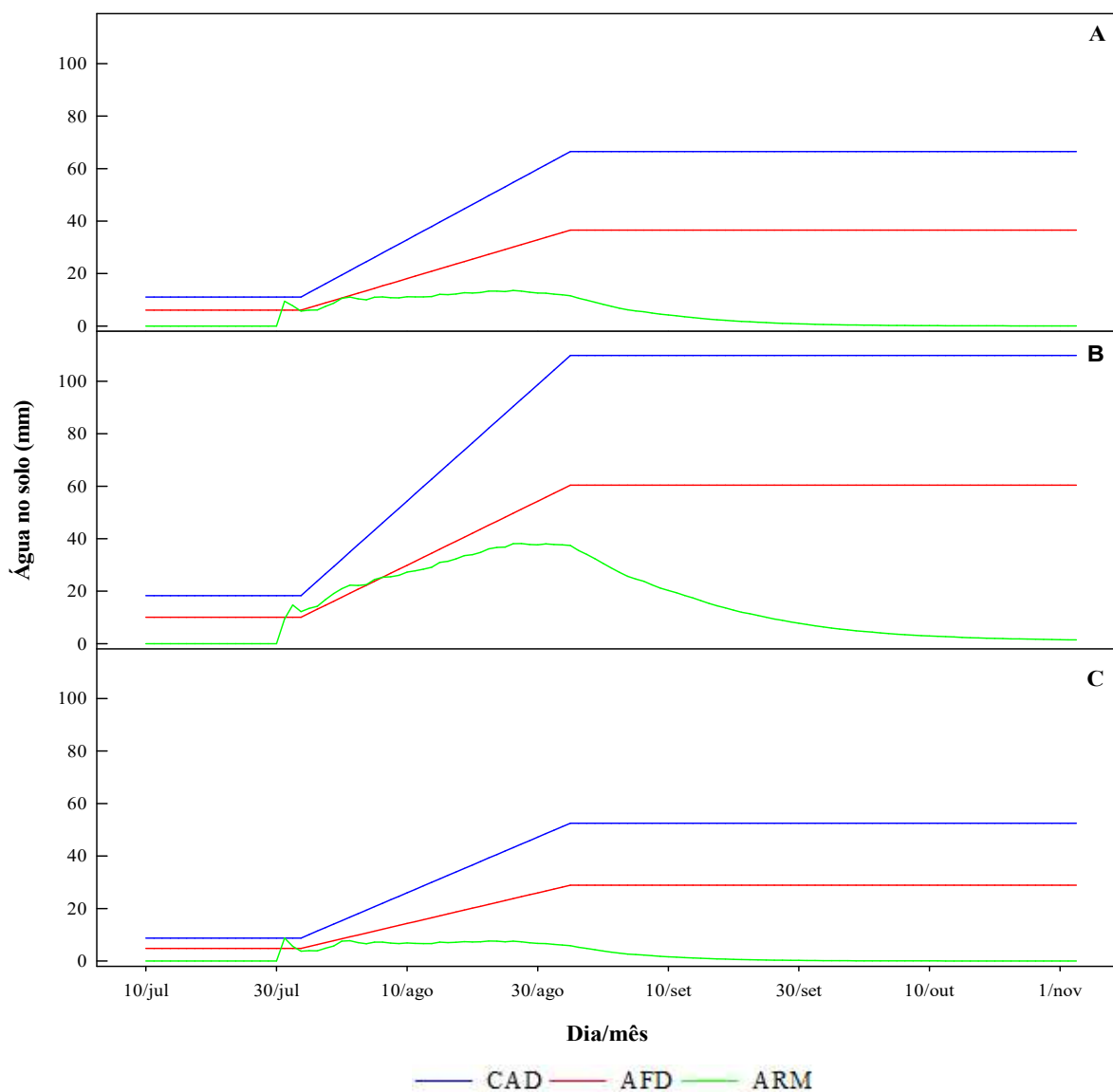


Figura 7. Balanço de água no solo estimado para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E3.

As figuras 8, 9 e 10 representam as simulações feitas para as três regiões estudadas para as três épocas de plantio sob condição irrigada. Na figura 6 as lâminas de irrigação a cada dois dias foram mais do que suficiente para fazer com que o ARM ficasse sempre acima da AFD e próximo do limite da CAD. Na região de Inhapi (A) a primeira lâmina de 20mm aplicada foi necessária para fazer com que o ARM pudesse chegar em um nível ótimo de aproveitamento, a lâmina média (Lmed) foi de 9 mm de água, a lâmina máxima (Lmax) aplicada foi de 11,4mm e a lâmina mínima (Lmin) de 8,2mm, a cada dois dias.

As regiões de Delmiro Gouveia (B) e Pariconha (C) tiveram a mesma lâmina de irrigação a aplicada durante o seu período e apresentaram resultados semelhantes à região de Inhapi, com o ARM sempre acima da AFD. Somente no período de grãos pastosos que ambas as regiões tiveram estresse hídrico, necessário para entrar na fase de grãos secos.

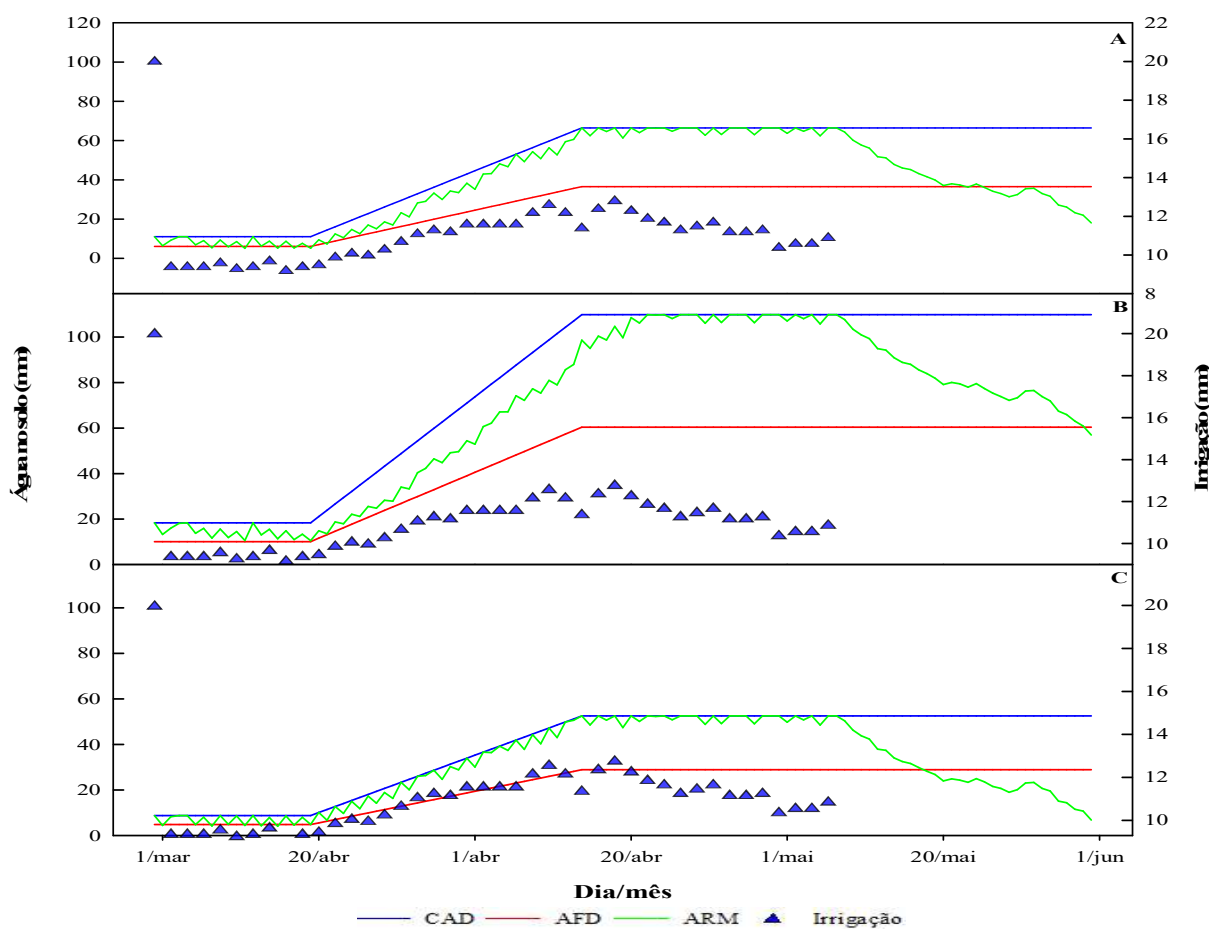


Figura 8. Balanço de água no solo com irrigação estimada para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E1.

A segunda época de plantio (Figura 9) apresentou resultados semelhantes a E1. A primeira lâmina de água foi a mesma que foi necessitada na E1 e a Lmed a cada dois dias foi de 8,3 mm, com Lmax de 9,89 mm e Limn de 6,15 mm a cada dois dias. Em comparação com a E1 foi uma redução de 15% na aplicação da lâmina máxima e 25% na de lâmina mínima.

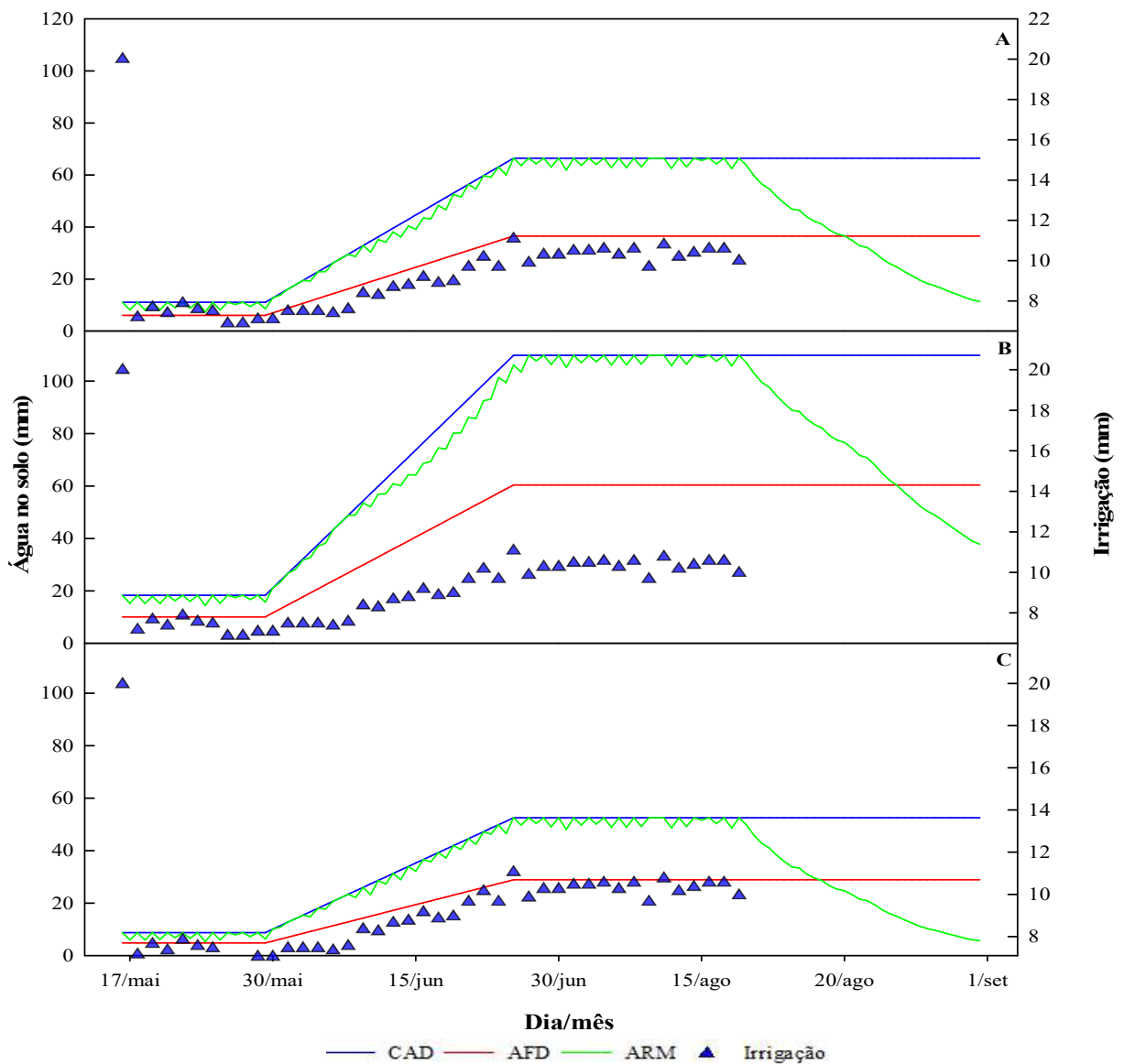


Figura 9. Balanço de água no solo com irrigação estimada para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E2.

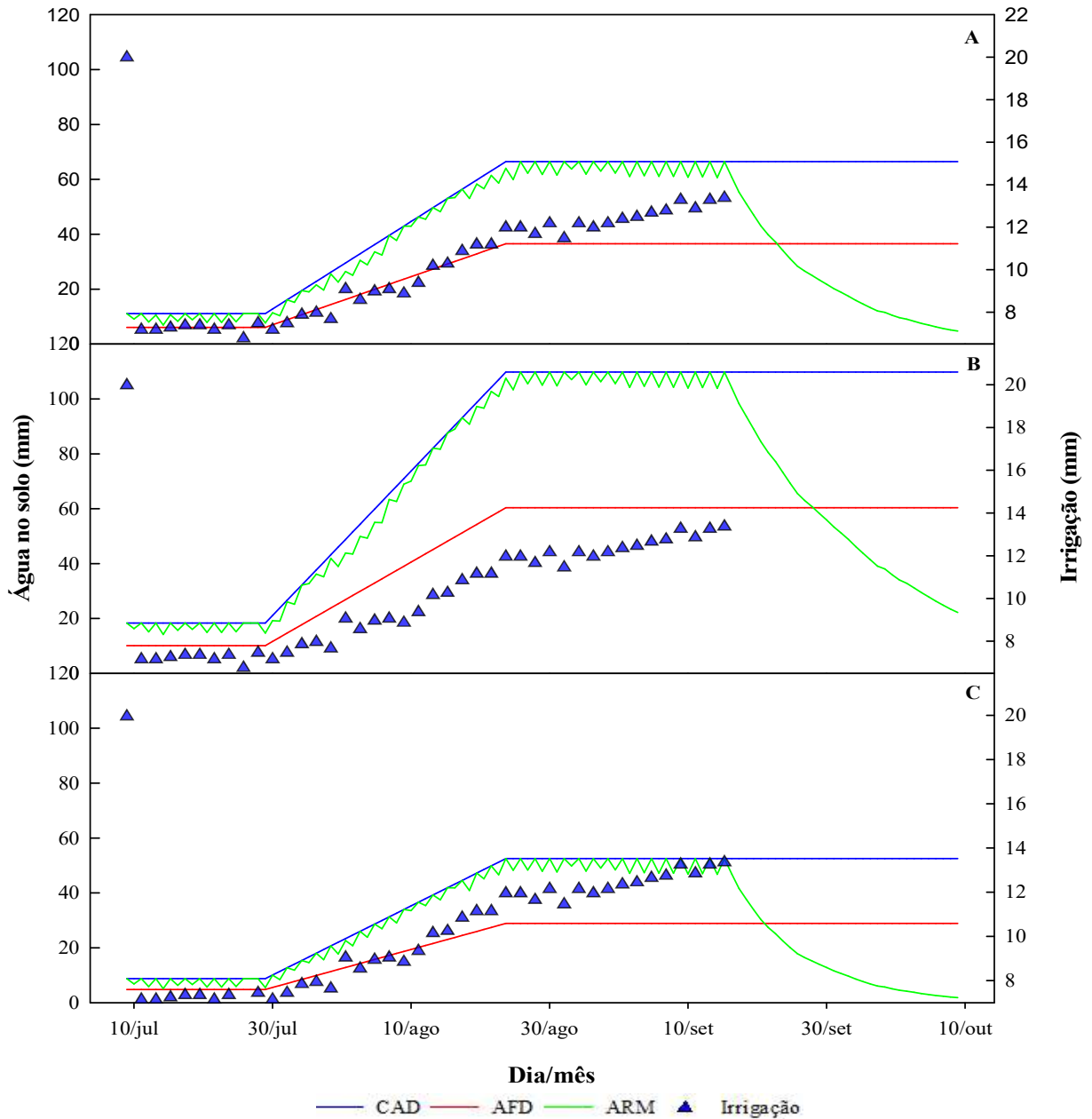


Figura 10. Balanço de água no solo com irrigação estimada para os municípios de Inhapi – I30 (A), Delmiro Gouveia -D15 (B) e Pariconha - PP (C) durante a E3.

A terceira época de plantio (Figura 10) teve uma lâmina média de 9,2mm, lâmina máxima de 11,9mm e lâmina mínima de 6,0mm. Essa época de plantio foi a que mais necessitou de água proveniente de irrigação, tendo um resultado muito semelhante com a E1.

A lâmina total aplicada na E1 foi de 416.10 mm, para a E2 foi de 347.60 e para a E3 o total foi de 385.20 mm. A precipitação pluvial mais a simulação de irrigação foi capaz de atingir valores de 663.80 mm para a E1, 590.30 mm para a E2 e 536.70 mm para a E3, valores que se adequam ao consumo média da cultura que chega a ser de 400 mm em todo o ciclo (Tabela 7).

(mm)	Lmax	Lmin	Lmed	Ltotal	Precipitação	I + P
E1	11.40	8.20	9.90	416.10	247.70	663.80
E2	9.89	6.15	8.30	347.60	242.70	590.30
E3	11.90	9.20	6.00	385.20	151.50	536.70

Tabela 7. Lâminas de irrigação + precipitação para as três épocas de plantio.

A cultura do milho tem um alto potencial produtivo, alcançando 10 t ha⁻¹ de grãos, no Brasil, em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas. No semiárido, se for feito o manejo adequado da época de plantio e se houver a disponibilidade hídrica através de irrigação, é possível obter resultados positivos e um possível aumento na produção e produtividade local.

5. CONCLUSÃO

As três regiões estudadas sob manejo de irrigação adequado têm capacidade aumentar os baixos índices de produção e produtividade.

A segunda época de plantio foi a que menos utilizou água de irrigação, sendo considerada a melhor época para iniciar o plantio da cultura de milho.

Os balanços de água no solo em diferentes épocas de plantio, gerou uma série de dados que pode ajudar para uma prática de manejo hídrico na região próxima ao canal do sertão alagoano.

6. REFERÊNCIAS

- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. Modern corn production. 2.ed. Champaign: **A & L Publication**, p.371. 2012.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMUTH, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998, 301p. **Irrigation and Drainage Paper 56**.
- ALVES, A.S. **Necessidades hídricas da cultura do milho sob irrigação suplementar nas condições edafoclimáticas da chapada do apodi**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Mossoró-RN, Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, p.69, 2013.
- ALVES, J. M. B. et al. Produção agrícola de subsistência no estado do Ceará com ênfase aos anos de ocorrência de El niño e La nina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 249-256, 1998.
- ANTONINO, A.C.D et al. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semiárido do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.1, p.29-34, 2000.
- BERGAMASCHI, H et al. Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.2, p. 243-249. 2006.
- BERGAMASCHI, H. MATZENAUER, R.). Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola: cap 4. 1. ed. Brasília, **DF: INMET**, 2009.
- BERGAMASCHI, H. et al. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, Córdoba, v.1, n.1, p. 23-27, 2001.
- BERGAMASCHI, H. et al. Solar radiation intercepted by maize crops as function of soil tillage systems and water availabilities. In: International Soil Conservation Organization Conference, 13., 2004, Brisbane. Proceedings... Brisbane: **International Erosion Control Association**, p.1-4, 2004.

- BANCO DO NORDESTE. **Produção de Milho do Nordeste**. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE), n.172, p.2, 2018.
- CARMO, W.S. **Território e Desenvolvimento: um estudo a partir do Canal do Sertão em Inhapi** Alagoas. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Maceió-AL, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, p.117, 2018.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do milho: análise dos custos de produção e da rentabilidade nos anos-safra 2007 a 2017**. Compêndio de Estudos Conab, v.14, p.50. 2018.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Irrigação da videira em regiões tropicais do Brasil. Bento Gonçalves: **Embrapa Uva e Vinho**, 14 p. 2003 (Embrapa Uva e Vinho. Circular técnica, 43).
- COELHO, A. M; FRANÇA. G. E. Seja doutor do seu milho: Nutrição e Adubação. **Potafos**, Piracicaba, p.25, 1995. (Potafos. Arquivo do Agrônomo, n.2).
- CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; SANTOS, J.R.; ALBUQUERQUE, A.W.; PEREIRA, R.G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p.62-68, 2008.
- 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**, Viçosa, v.29, p.1-10, 2005.
- CRUZ, J. C.; FILHO, I.A.P.; ALVARENGA, R.C.; NETO, M.M.C.; VIANA, J.H.M.; OLIVEIRA, M.F.; MATRANGOLO, W.J.R.; FILHO, M.R.A. Cultivo do milho. 6. ed. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, versão eletrônica, set. 4 p. 2010. (Sistema de Produção, 2).
- CUENCA, M.A.G; NAZÁRIO, C.C.; MANDARIDO, D.C. Características e evolução da cultura do milho no Estado de Alagoas entre 1990 e 2003. Aracaju: **EMBRAPA - Tabuleiros Costeiros**, 12p. (Embrapa - Tabuleiros Costeiros. Documentos, 83), 2005.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Roma: FAO, 212p. 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, **Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS**, p.212. 1997.

- HUSSAIN, M. Z *et AL.* Summer drought influence on CO₂ and water fluxes of extensively managed grassland in Germany. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.141, p.67-76, 2011.
- IPA - Instituto Agronômico de Pernambuco. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**: 2ª aproximação. 3.ed. Revisada, 212p. 2008.
- IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **A agricultura no nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. César Nunes de Castro, p.48, 2012.
- LYRA, G.B.; SOUZA, J.L.; LYRA, G.B.; TEODORO, I.; MOURA FILHO, G. Modelo de crescimento logístico e exponencial para o milho BR 106, em três épocas de plantio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.7, n.3, p.211-230, 2008.
- LYRA, G.B.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; LYRA, G.B.; MOURA FILHO, G.; ARAÚJO JÚNIOR, R.F.; Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, Botucatu, v.15, n.2, p.173-183, 2010.
- MAGALHÃES, P. C et al. **Fisiologia do milho**. Sete Alagoas: EMBRAPA-CNPMS, p.23. 2012 (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 22).
- MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigência agroclimática da cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.03, p.13- 23, 2014.
- MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as formulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.1207-1214, 1983.
- MEDEIROS, R.P. **Componentes do balanço de água e de radiação solar no desenvolvimento do milho, em quatro épocas de semeadura, no agreste de alagoas**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Rio Largo-AL, Universidade Federal de Alagoas – UFAL, p.90, 2009.
- MONTENEGRO, S.; Ragab, R. Impact of possible climate and land use changes in the semiarid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v.434-435, p.55-68, 2012.
- OLIVEIRA, M. B. L et al. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, p.378-386, 2006.

- OLIVEIRA, J.R.; PINTO, M.F.; SOUZA, W.J.; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, D.F. Erosão hídrica em um argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Bra. Eng. Agríc. Amb.**, 14:140-147, 2010.
- PEDRON, F.A.; FINK, J.R.; RODRIGUES, M.F.; AZEVEDO, A.C. Condutividade e retenção de água em Neossolos e Saprólitos derivados de arenito. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.35, p.1253-1262, 2011.
- PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N., SEDIYAMA, C. G., **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, p.183. 1997.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba, SP. p.202. 2007.
- PINTO, L.C.T. **Estudo sobre o Canal do Sertão**. Secretaria de Planejamento do Estado de Alagoas, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas. Editora NEPSEPLAG. p.38. 2007.
- NASCIMENTO, P.S et al. Estudo comparativo de métodos para a determinação da curva de retenção de água no solo. **Irriga**, Botucatu, v.15, n.2, p.193-207, 2010.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Como a planta do milho se desenvolve. **POTAFOS**, Piracicaba, p.20. 2003.
- ROSEMBERG, N.J; BLADE, B.L.; VERGMA, S.B. **Microclimate: the biological environment**. 2ª ed. New York: John Wiley, p.495. 1983.
- SALISBURY, F.B. & ROSS, C.W. Fisiologia vegetal. Tradução de V.G. Velázquez. México: Grupo Editorial Iberoamérica, p.759. 1994.
- SAMAN, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.126, n.4, p.265-267, 2000.
- SANTANA, M. B; SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.1-12, 2006.
- SANTOS, M.A.; LYRA, G.B.; LYRA, G.B.; SEDIYAMA, G.C.; SOUZA, J.L. Coeficiente da cultura no estágio inicial de desenvolvimento para cana-de-açúcar em diferentes datas de plantio na região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **STAB**, v.27, p.30-33, 2009.

- SHEN, J.Y.; ZHAO, DD.; HAN, H.F.; ZHOU, X.B.; LI, Q.Q. Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. **Plant Soil Environ**, 4:161-166, 2012.
- SILVA, E. C.; BUZETTI, S.; LAZARINI, E. Aspectos econômicos da adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.3, p.286-297, 2005.
- SILVA NETO, S. J.; BARRETO, H. B. F.; AMARAL JUNIOR, V. P.; MAIA, P. M. E. Caracterização físico-hídrica de solos representativos da região do agropolo assu-Mossoró. **Revista Verde**, v.7, n.4, p.81-84, 2012.
- SILVA, C.R; SOUZA, C.F; JUNIOR, A.S.A.; **Uso da reflectometria no domínio da frequência para monitoramento de água no solo**. In: Workshop sobre sistemas de aquisição e armazenamento de dados para avaliação das relações hídricas das plantas, Cruz das almas. Anais...Cruz das almas: EMBRAPA, 2007.
- SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da; BRANDÃO, E. O. **Determinação do coeficiente de cultura do milho (Zea mays L.) sob condições de semiárido brasileiro**. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. p.5. 2010.
- VALDIVIA, P.G. **Monitoramento hidrogeológico da bacia-piloto do ribeirão da Onça em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani determinação da evapotranspiração**. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. p.43. 2005.