

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

DINÂMICA DA ÁGUA E DA TEMPERATURA DE UM PLINTOSSOLO
ARGILÚVICO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES
NÍVEIS DE PALHADA

JOÃO CARLOS ROCHA DOS ANJOS

BOM JESUS – PI

2014

JOÃO CARLOS ROCHA DOS ANJOS

DINÂMICA DA ÁGUA E DA TEMPERATURA DE UM PLINTOSSOLO
ARGILÚVICO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES
NÍVEIS DE PALHADA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, como requisito para obtenção do título de “Mestre” em Agronomia, na área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

BOM JESUS – PI

2014

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial Professora Cinobelina Elvas
Serviço de Processamento Técnico

R672d Rocha dos Anjos, João Carlos.
Dinâmica da água e da temperatura de um plintossolo
argilúvico cultivado com cana de açúcar sob diferentes níveis
de palhada/ João Carlos Rocha dos Anjos. – 2014.
79 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-
Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom Jesus – Pi,
2014.

Orientação: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior.

1. Água e temperatura - Dinâmica. 2. Manejo do solo.
3. Palhada. I. Título.

CDD 631.432




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS
Rodovia BR-135, Planalto Horizonte – 64.900-000 – Bom Jesus – PI.




Ata da Reunião da Comissão Julgadora da Defesa de Dissertação de Mestrado de João Carlos Rocha dos Anjos. Aos trinta e um dias do mês de julho do ano de dois mil e quatorze, às oito horas, no espaço integrado 3 (sala 641) CCA/UFPI, sob a presidência do Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, em sessão pública, reuniu-se a Comissão Julgadora da Defesa de Dissertação de João Carlos Rocha dos Anjos, discente do Curso de Pós-Graduação em **AGRONOMIA – MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**, visando à obtenção do título de **“MESTRE EM AGRONOMIA”**, assim constituída: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior (Orientador); Dr. Edson Alves Bastos (Co-orientador); Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva (Membro Interno) e Prof. Dr. Francisco de Alcântara Neto (Membro Externo). Iniciados os trabalhos, o candidato submeteu-se à defesa de sua dissertação intitulada “Dinâmica da água e da temperatura de um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana de açúcar sob diferentes níveis de palhada”. Terminada a defesa, procedeu-se ao julgamento, cujo resultado foi o seguinte, observada a ordem de arguição: Prof. Dr. Francisco de Alcântara Neto (Membro Externo) – **APROVADO**; Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva (Membro Interno) – **APROVADO**; Dr. Edson Alves Bastos (Co-orientador) – **APROVADO** e Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior (Orientador) – **APROVADO**. Apurados os resultados, verificou-se que o candidato foi habilitado, fazendo jus ao título de **“MESTRE EM AGRONOMIA”**, área de concentração: **“SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS”**. Do que, para constar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos senhores membros da Comissão Julgadora e por mim Ednaldo Ferreira e Silva secretário do PPGSNP.

Teresina - PI, 31 de julho de 2014.


Prof. Dr. Francisco de Alcântara Neto
(Membro Externo-DF/CCA/UFPI)


Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva
(Membro Interno-UFPI)


Dr. Edson Alves Bastos
(Co-orientador)


Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior
(Orientador)


Ednaldo Ferreira e Silva
(Secretário)

BIOGRAFIA

João Carlos Rocha dos Anjos nasceu em 02 de fevereiro de 1983 no Povoado Salina, município de Palmeira do Piauí – PI. Filho de Antônio José dos Anjos e Filomena Almeida Rocha, tendo como irmãos, originados da união da minha amada mãe Filomena e meu eterno pai Antônio José, Salvador, Solon, Alzair, Rejane, Rosânia Maria, Rejanice, Sebastião, Salmeron, Saldiron, Rejanira, José Gil e Denise. Concluiu o ensino Médio em 2003, na Unidade Escolar Martin Pinheiro, no município de Palmeira do Piauí. Com o apoio financeiro de sua irmã Alzair, foi estudar no Cursinho Pré-Vestibular Objetivo em Guarulhos - SP, no primeiro ano. Prestou os vestibulares da USP, UFSCAR e Unicamp, mas não conseguiu ingressar no curso de Agronomia que tanto almejava nesta época. Estudou mais um no Cursinho Etapa São Paulo – SP e, em 2006, ingressou em primeiro lugar no curso de Engenharia Agronomia, da Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Professora Cinobelina Elvas - Bom Jesus - PI, obtendo em 2011 o título de Engenheiro Agrônomo. No ano de 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Piauí, na cidade de Bom Jesus, sendo bolsista da CAPES de 2012 a 2014, concluindo o mestrado em 31 de julho de 2014.

Minha família é minha inspiração para continuar lutando, por isto, nada me faltará....

DEDICATÓRIA

À Deus, pela vida.

À família, concedida pelo altíssimo e acolhida pelo coração, pelo suporte e companheirismo, além dos tantos momentos de alegrias compartilhados e, em especial, aos meus irmãos, primo e pai *in memória* (Salvador, Alzair, Solon, Paulo Gil e Antônio José) e minha Valiosa e amada mamãe Filomena Almeida Rocha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que é incomparável em sua infinita bondade, deu-me forças para conduzir este trabalho, e sorte para encontrar as pessoas certas pelo caminho.

À minha mãe, pelo apoio e amor incondicional e a todos os parentes e amigos, pelo incentivo, em especial, a minha irmã Alzair *in memória*.

Ao Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior e ao Dr. Edson Alves Bastos, pelas orientações por ter acreditado em mim e compartilhado comigo seus conhecimentos.

Ao Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva e ao Prof. Dr. Francisco de Alcântara Neto pela amizade e ajuda durante este estudo.

Ao Dr. Valdenir Queiroz, por ter me auxiliado na parte estatística, ao Dr. Brito e por todas as dicas que muitos contribuíram para a realização dessa pesquisa.

Aos amigos do curso e estagiários da Embrapa Meio-Norte, em especial: Donavan Holanda Noleto, Alzeneide Lopes, Marcus Vinicius, Raimundo Brito, Mirian Portela, Renato, Leonarda, Adriana Guimarães, e, em especial, minha namorada Jaurene Moura Fé Moraes por tudo que representa para mim e meu irmão José Gil dos Anjos Neto.

À equipe da Usina COMVAP, pela concessão da mão de obra e área para instalação do experimento.

À Universidade Federal do Piauí, e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas do Campus Cinobelina Elvas.

À Embrapa Meio-Norte, pelo suporte para a realização da pesquisa.

Ao Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite, pesquisador da Embrapa Meio-Norte, e ao Programa Federal de Bolsa CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio financeiro para realização dessa pesquisa, e pela oportunidade de crescimento intelectual e profissional.

A todos, os meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Cana-de-açúcar.....	4
2.1.1. Taxonomia e morfologia.....	4
2.1.2. Origem e história.....	7
2.1.3. Palhada: produção, importância e efeitos negativos.....	7
2.2. Temperatura do solo.....	10
2.3. Dinâmica da água no solo.....	12
2.4. Perda de água do solo por evapotranspiração.....	12
2.5. Armazenamento de água no solo.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Local do experimento.....	17
3.2. Histórico da área em estudo.....	18
3.3. Monitoramento do conteúdo de água no solo.....	19
3.4. Calibração da TDR 100.....	24
3.5. Monitoramento da temperatura do solo.....	26
3.6. Monitoramento climático.....	29
3.7. Medidas de crescimento das plantas.....	30
3.8. Delineamento experimental e análise estatística.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. Dados climáticos e irrigação.....	31
4.2. Calibração da TDR 100.....	34
4.3. Medidas de crescimento das plantas.....	36

4.4. Dinâmica da água no solo	37
4.4.1. Armazenamento e perda de água no solo	39
4.4.2. Armazenamento e perda de água na profundidade de 0 - 0,30 m.....	39
4.4.3. Armazenamento e perda de água na profundidade de 0,30 - 0,60 m.....	45
4.5. Dinâmica da temperatura do solo.....	51
4.5.1. Temperatura média do solo.....	52
4.5.2. Temperatura máxima do solo	56
4.5.3. Temperatura mínima do solo	60
4.5.4. Amplitude térmica do solo.....	63
4.5.5. Temperatura horária do Solo	65
5. CONCLUSÕES	68
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

RESUMO

Anjos, João Carlos Rocha dos. **Dinâmica da água e da temperatura em um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes níveis de palhada.** 2014. 79p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí- PI.¹

A palhada sobre a superfície do solo promove redução da perda de água, da temperatura do solo, além de aumento no armazenamento de água no solo. A palhada é importante na cogeração de energia nas usinas sucroalcooleiras e para sustentabilidade dos campos de produção agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica da temperatura e da água em um Plintossolo Argilúvico, cultivado com cana-de-açúcar, em resposta aos níveis de palhada sobre sua superfície, visando identificar o nível de palhada que permita a manutenção da melhor dinâmica da água e temperatura do solo para a cultura da cana-de-açúcar. O estudo foi conduzido na Usina COMVAP – Açúcar e Álcool Ltda., em União - PI, durante a safra 2013/2014. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, arranjos em parcelas sub-subdivididas, com os períodos de avaliação da temperatura e umidade do solo dispostos nas parcelas principais; os níveis de palhada (0; 4,19; 9,54; 13,04; e 18,38 Mg ha⁻¹) nas subparcelas e as duas profundidades de medição da umidade (0 a 0,3 e 0,3 a 0,6 m) e as duas profundidades de medição da temperatura do solo (0,05 e 0,10 m) dispostas nas sub-subparcelas. Os dados de umidade do solo foram registrados e armazenados por um equipamento TDR 100, com calibração local. Os dados de temperatura do solo foram obtidos por cabos termopares tipo T (cobre/constantan). Foram avaliados o armazenamento de água no solo (AS), perdas acumuladas de água no solo (PAS), temperatura média (Tmed), máxima (Tmax), mínima (Tmin) e amplitude térmica (ATD) diária do solo. Houve influência significativa ($p < 0,01$) do fator tempo e profundidade de medição sobre o AS, PAS e temperatura do solo, notadamente, Tmax, Tmin e ATD, em todos os períodos avaliados, pelo teste F. A palhada mantém o solo com maior AS e menor PAS do que o sem palhada em todos os períodos avaliados. A manutenção de 13,04 Mg ha⁻¹ de palha sobre a superfície do solo aumenta o intervalo de água facilmente disponível no solo para a cana-de-açúcar em oito (na fase de desenvolvimento vegetativo) e quatro dias (fase de máxima exigência hídrica). Não houve alteração sensível no armazenamento de água no solo, na profundidade de 0,3 – 0,6m, em resposta a adição dos diferentes níveis de palha na superfície do solo. A dinâmica da temperatura do solo, notadamente, na profundidade superficial, é influenciada pelos níveis de palhada dispostos sobre a superfície do solo principalmente, até o limite de 9,54 Mg ha⁻¹. Houve efeito benéfico da palhada sobre a redução da amplitude térmica diária do solo, devido, notadamente, a redução da temperatura máxima do solo, nas horas mais quentes do dia. A palha atua como um isolante térmico mantendo o solo mais frio, durante o dia, e mais quente, à noite.

Palavras chave: uso e manejo do solo e da água, balanço hídrico, amplitude térmica.

¹Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior – Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, Brasil.

ABSTRACT

Anjos, João Carlos Rocha dos. **Soil water and temperature dynamics in a Plinthosol under different straw levels for sugarcane crop. 2014.** 79p. Dissertation (Master in Agronomy: Plant Soil and Nutrition) - Federal University of Piauí- PI.²

The straw on the soil surface reduces heat and water loss and increases water storage on the soil surface. A thick cover of straw on the soil is important in energy cogeneration in the sugarcane mills and sustainability of agricultural production fields. This study aimed at evaluating the dynamics of temperature and water in a Plinthosol, in mixed cropping with sugarcane, in response to straw levels on the surface, to identify which straw level would enable the best soil water/temperature dynamics for sugarcane crops. The study was conducted in COMVAP - Sugar and Ethanol Plant, in União City, Piauí State, Brazil, during the 2013/2014 season. The experimental design was a randomized block design with four replications arranged in split-plots, with periods of temperature and soil moisture evaluation arranged in main plots. Straw levels (0, 4.19, 9.54, 13.04, and 18.38 Mg ha⁻¹) were grouped in subplots, the two moisture measuring layers (0 to 0.3 and 0.3 and 0.6 m) and the two depths of measuring soil temperature (0.05 and 0.10 meters) arranged in the sub-subplots. Soil moisture data was recorded and stored by a TDR, with local calibration. Soil temperature data was obtained by thermocouples type T cables (copper/constantan). The storage of water in the soil (AS), accumulated water losses in the soil (SBP), mean temperature (Tmed), maximum (Tmax) and minimum (Tmin) soil temperatures and daily soil temperature range (ATD) were evaluated. The F-test has shown that there was a significant influence ($p < 0.01$) of time and layer depth measurements on the AS, PAS and soil temperature, especially, Tmax, Tmin and ATD, in all periods. The straw has kept the soil with higher AS and lower SBP than without straw in all periods. The straw level of 13.04 Mg ha⁻¹ on the soil surface increased water intervals easily available in the soil for sugarcane in eight (in the vegetative stage) and four days (maximum requirement phase water). There was no noticeable change in the water storage in soil for the 0.3 - 0.6 m layer, in response to the addition of different amounts of straw on the soil surface. The dynamics of soil temperature, especially in the surface layer, was influenced by straw levels arranged on the soil surface mainly to the limit of 9.54 Mg ha⁻¹. There was a beneficial effect of straw on reducing the daily thermal amplitude of the soil, due mainly to the reduction of maximum soil temperature in the hottest hours of the day. The straw has acted as an insulator maintaining the soil cooler in the daytime and warmer at night.

Keywords: soil and water management, water balance, temperature range.

²Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior – Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, Brasil.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características granulométricas, químicas e físico-hídricas do solo da área experimental antes da instalação do ensaio. Usina COMVAP, União - PI, julho/2013... 18	18
Tabela 2 - Níveis de palhada deixada no solo em cada tratamento	19
Tabela 3 – Duração dos períodos de monitoramento avaliados nas escalas de dias após o corte da cana (DAC), evapotranspiração de referência acumulada (EToac) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac). Usina COMVAP, União - PI, Julho2013/Julho2014.	24
Tabela 4 - Períodos de avaliação da temperatura do solo ao longo do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar (DAC). Usina COMVAP, União - PI, 2013/2014.. 28	28
Tabela 5 - Quadrado médio (QM) da análise de variância para o armazenamento diário de água no solo (AS) e perda de água acumulada do solo (PAS), nas duas profundidades de solo, em resposta a manutenção de cinco níveis de palhada sobre a superfície do solo, nos quatro períodos de monitoramento avaliados. Usina COMVAP, União – PI, 2013/2014	38
Tabela 6 - Equações de regressão para armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0 – 0,3 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014	44
Tabela 7 - Equações de regressão para armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0,3 – 0,6 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014	49
Tabela 8 - Quadrado médio (QM) da análise de variância, da temperatura média (Tmed), máxima (Tmax), mínima (Tmin) e da amplitude térmica diária (ATD) do solo em diferentes períodos de avaliação (Ta), níveis de palhada (Tb) e profundidades de medição (Tc) em um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar, ciclo de 3ª soca. Usina COMVAP, União - PI, safra Julho2013/Julho2014.	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases fenológicas da cana-de-açúcar de ciclo de 12 meses.	5
Figura 2 - Sistema de numeração de folhas em cana-de-açúcar.	6
Figura 3 - Localização da área experimental na Usina COMVAP - Açúcar e Álcool Ltda.	17
Figura 4 - Croquis de distribuição do conjunto TDR 100 no campo.	21
Figura 5 - Conjunto TDR 100 montado no campo para acompanhamento da dinâmica da água no solo. Datalogger CR10X, multiplexador, placa solar e bateria (A); abertura da mini-trincheira (B); instalação das sondas (C) e sondas instaladas nas duas profundidades do solo (D). Usina COMVAP, União - PI, 2013.	22
Figura 6 - Saturação do solo (A) e instalação das sondas da TDR 100 nas duas profundidades do solo (B), para obtenção dos dados para calibração do aparelho as condições locais do solo. Usina COMVAP, União - PI, 2013.	25
Figura 7 - Croquis de distribuição dos cabos termopares no campo	27
Figura 8 - Bateria e datalogger CR10X (A), multiplexador (B), cabos termopar Tipo T encapsulados em terminal de aço inox (C) e detalhe dos cabos inseridos no solo (D). Usina COMVAP, União - PI, 2013.	28
Figura 9 - Estação agrometeorológica automática instalada na Usina COMVAP.	29
Figura 10 - Temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período experimental. Usina COMVAP. União - PI, 2013/2014.	31
Figura 11 - Radiação solar global durante o período experimental. Usina COMVAP. União - PI, 2013/2014.	32
Figura 12 – Precipitação e irrigação registradas durante o período experimental. Usina COMVAP, União-PI, 2013/2014.	32
Figura 13 - Evapotranspiração de referência (ET _{oac}), evapotranspiração da cultura (ET _{cac}) e precipitação mais irrigação, todos acumuladas, durante o ciclo de cultivo da cana-de-açúcar. Usina COMVAP. União - PI, 2013/2014.	33
Figura 14 - Umidade volumétrica padrão em função da constante dielétrica de Ledieu <i>et al.</i> (1986) (TDR 100), em duas profundidades C30 (0 - 0,3) e C60 (0,3 - 0,6 m) um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar, 3ª soca. Usina COMVAP. União - PI, 2013.	35
Figura 15 - Relação entre a umidade estimada pela equação ajustada e a umidade padrão (laboratório) nas duas profundidades C30 (0 - 0,3 m) e C60 (0,3 - 0,60 M) de um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana soca. Usina COMVAP. União - PI, 2013.	36

Figura 16 - Índice de área foliar mensal em diferentes épocas de crescimento e desenvolvimento (DAC - dias após o corte), da cana-de-açúcar de terceira soca. União - PI, safra julho2013/julho2014.	37
Figura 17 - Variação do armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0 – 0,3 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014.	41
Figura 18 - Perdas de água acumulada na profundidade no solo (PAS), na profundidade de 0 – 0,3 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014.	43
Figura 19 - Variação do armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0,3 – 0,6 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014.	46
Figura 20 - Perdas de água acumuladas no solo (PAS), na profundidade de 0,3 – 0,6 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014.	47
Figura 21 - Temperatura média diária de um Plintossolo Argilúvico a 0,05 (P5) e a 0,10 m (P10) de profundidade nos períodos de avaliação 4 (A), 6 (B), 11 (C) e 17 (D) em função dos níveis de palhada. Usina COMVAP, União - PI, 2014.	53
Figura 22 - Temperatura máxima diária de um Plintossolo Argilúvico a 0,05 (P5) e 0,10 m (P10) de profundidade nos períodos de avaliação 4 (A), 6 (B), 11 (C) e 17 (D) em função dos níveis de palhada. Usina COMVAP, União - PI, 2014.	57
Figura 23 - Temperatura mínima diária de um Plintossolo Argilúvico a 0,05 (P5) e 0,10 m (P10) de profundidade nos períodos de avaliação 4 (A), 6 (B), 11 (C) e 17 (D), de avaliação em função dos níveis de palhada. Usina COMVAP, União - PI, 2014.	61
Figura 24 - Amplitude térmica diária de um Plintossolo Argilúvico a 0,05 (P5) e 0,10 m (P10) de profundidade nos períodos de avaliação 4 (A), 6 (B), 11 (C) e 17 (D) em função dos níveis de palhada. Usina COMVAP, União - PI, 2014.	64
Figura 25 - Dinâmica da temperatura horária do solo coberto com diferentes níveis de palhada nas profundidades de A e de B, sob cultivo com cana soca aos 214, 215 e 216 dias após o corte. Usina COMVAP, União - PI, 2014.	66

1. INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto, que tem como princípio a manutenção da cobertura do solo com palhada, tem demonstrado excelentes resultados quanto à manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (SÁ *et al.*, 2001). Um dos principais efeitos positivos do plantio direto diz respeito à manutenção de uma adequada dinâmica da água e da temperatura de solos, proporcionada pela redução da radiação solar global e das perdas por evaporação e o aumento no armazenamento de água pelo acréscimo no conteúdo de matéria orgânica no solo (IFTIKHAR & Ali, 2004; MULUMBA & LAL, 2008).

Iftikhar & Ali (2004) obtiveram 50% de redução na evaporação da água do solo quando mantiveram sobre a superfície do solo palhada de aveia. Mulumba & Lal (2008) observaram que mesmo pequenos níveis de palhada ($2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) sobre o solo promove aumento no armazenamento de água. Allen *et al.* (1998) observaram que quando a planta cresce e desenvolve-se, cobrindo toda a área de produção, a perda de água por evaporação representa menos de 10% da evapotranspiração.

A água é o elemento mais importante no solo, sem a qual não há vida. No entanto, sua dinâmica é influenciada, principalmente, pela energia térmica, e as características físicas do solo (matéria orgânica, textura e estrutura), associado à condição de umidade do solo e ao desenvolvimento das plantas cultivadas (HILLEL, 1998; TAIZ & ZEIGER, 2004; ALLEN *et al.*, 2005; ANDRADE, 2008).

Existem diversos métodos para quantificação da umidade e da temperatura do solo. Dentre eles, destacam-se os que permitem o monitoramento automático da temperatura como o uso de termopares tipo T (cobre/constantan) ligado a um datalogger e da umidade do solo com precisão, rapidez e automação como a reflectometria no domínio do tempo (TDR) e a reflectometria no domínio da frequência (TDF). Sendo os equipamentos que estimam a umidade do solo usam modelos matemáticos ajustados para os solos específicos dos locais onde os mesmos foram desenvolvidos (TOPP *et al.*, 1980; LEDIEU *et al.*, 1986). Por isso, é necessária a calibração dessas equações para as condições edáficas locais (PATTERSON & SMITH, 1981; TOPP *et al.*, 1984; DRUNGIL *et al.*, 1989), tendo em vista, as condições específicas de cada solo (HERKELRATH *et al.*, 1991; PEPIN *et al.*, 1992; MALICKI *et al.*, 1996).

O solo também possui capacidade de armazenar e redistribuir a energia de origem solar e/ou resultante do processo de decomposição interna dos seus

componentes orgânicos. A temperatura do solo também influencia na germinação, rebrota de órgão reprodutivo, no desenvolvimento de plantas, a na interação simbiótica, que poderão ser interrompidos caso o solo não se apresente dentro de uma faixa de temperatura adequada (NÓBREGA *et al.*, 2001; GASPARIM *et al.*, 2005; SILVA, 2006a).

Muitos são os estudos relacionados à dinâmica da temperatura do solo. O uso dos restos vegetais como cobertura do solo tem mostrado ser o meio mais viável de manutenção satisfatória na energia térmica do solo (SALTON & MIELNICZUCK, 1995; GASPARIM *et al.* 2005; FURLANI *et al.*, 2008; MARIN *et al.*, 2008; CHABAT; KNIES, 2010).

Segundo Lal (1974), para a emergência de plântulas de milho, a temperatura ideal na zona radicular situa-se na faixa de 25 a 35 °C. De acordo com Silva *et al.* (2006b), o maior albedo junto com a menor condutibilidade térmica dos resíduos vegetais em relação ao solo, reduz fundamentalmente a temperatura máxima do solo.

Gasparim *et al.* (2005) estudaram o efeito da manutenção de 4 Mg ha⁻¹ de palhada de aveia sobre a superfície do solo na dinâmica da temperatura de um Latossolo Vermelho distrófico apenas coberto com palhada (sem plantas). Observaram valores de temperatura máxima e amplitude térmica de 9 °C e 10 °C, respectivamente, as quais foram inferiores quando comparadas a condição de solo desnudo a 0,02 m de profundidade. Chabat (2010), avaliando também a manutenção de 4 Mg ha⁻¹ de palhada de aveia sobre a superfície de um Argissolo cultivado com soja, observou que houve redução de 6 °C na temperatura máxima do solo, aumento de 2 °C na temperatura mínima e redução de 40% na amplitude térmica diária, nas profundidades de 0,05 m e 0,10 m no solo.

A cana-de-açúcar é uma das culturas que mais produz biomassa gerando relevante quantidade de resíduos que atualmente tem ganhado importância tanto no campo como na indústria como a palhada e o bagaço da cana. Além disso, a cana tem relevante importância na economia do setor primário brasileiro, com 8.799,150 mil hectares cultivados em 2013 (CONAB, 2013). Para essa área cultivada, estima-se que a produção de palhada atinja cerca de 175,98 milhões de toneladas.

A palhada oriunda da colheita da cana sem queima tem diversas aplicações nas usinas sucroalcooleiras. Dentre esses usos destacam-se o aquecimento das caldeiras, a produção de eletricidade e a produção de álcool de segunda geração. Por outro lado, a manutenção da palha no campo sobre a superfície do solo pode trazer inúmeros

benefícios, notadamente, quanto ao aumento dos teores de matéria orgânica (SÁ *et al.*, 2001), melhorando em consequência a sua disponibilidade de água (IFTIKHAR & ALI, 2004). A questão básica a ser respondida é: qual a proporção de palhada deve ser removida do campo com fins energéticos, sem afetar a sustentabilidade do solo a longo prazo?

Em função de sua importância o estudo da dinâmica da água e da temperatura do solo em resposta a manutenção de distintos níveis de palha sobre sua superfície pode ser encontrada na literatura envolvendo as mais diversas culturas, tais como soja (CHABAT, 2010), milho (ANDRADE *et al.*, 2008) e feijão (SILVA *et al.*, 2006a). Entretanto, não há relatos de estudos com essa finalidade quando se trata da cana-de-açúcar, notadamente, nas áreas de cultivo em regiões de expansão da cultura no Nordeste, especialmente, no Estado do Piauí.

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar a dinâmica da água e da temperatura em duas profundidade do solo em resposta à aplicação de diferentes níveis de palhada depositados sobre a superfície de um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar, cultivar SP 813250, ciclo de 3^a soca (4^a folha), com o intuito de definir qual a quantidade de palhada deve ser mantida sobre a superfície do solo, para favorecer uma adequada dinâmica da água e da temperatura do solo para a cultura da cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cana-de-açúcar

2.1.1. Taxonomia e morfologia

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L) é uma planta perene da família das Poaceas, que tem como principal característica a alta produção de biomassa. Porém, vários fatores, principalmente a temperatura e a umidade do solo, interferem na rebrota, no perfilhamento, no crescimento e na maturação, ou seja, em todas as fases fenológicas da cultura (ANDRADE & CARDOSO, 2004). Além disso, é uma espécie de alto valor econômico no Brasil, devido sua elevada capacidade de produção de bioenergia (NOLÊTO *et al.*, 2011) nas condições de clima tropical quente e úmido.

A cana possui potencial de rebrota e perfilho de maneira abundante, na fase inicial desenvolvimento (Figura 1). Quando se estabelece como cultura, o autosombreamento induz inibição do perfilhamento e acelera seu crescimento. Esta fase de crescimento acelerado é responsável pelo fechamento do dossel, entretanto o ideal é que a planta tenha baixo número de perfilhos por área, o que possibilita reduzir a competição entre as plantas (TERAUCHI & MATSUOKA, 2000).

Na quarta fase fenológica da cana, conhecida como maturação, é desejável que a cultura sofra algum tipo de estresse para favorecer a conversão do açúcar que se encontra em forma de amido em sacarose, no qual é responsável pela produção de açúcar e álcool.

A cana-de-açúcar apresenta ciclo de ano e de ano e meio, que varia de acordo com a variedade no primeiro ciclo (1º corte) de cultivo e com as condições ambientais de produção. No segundo ciclo (2º corte) mais conhecido como 1ª soca, assim como na 2ª, 3ª soca e assim por diante, o ciclo passa a ser menor, devido ao sistema radicular já estar estabelecido propiciando emergência mais rápida.

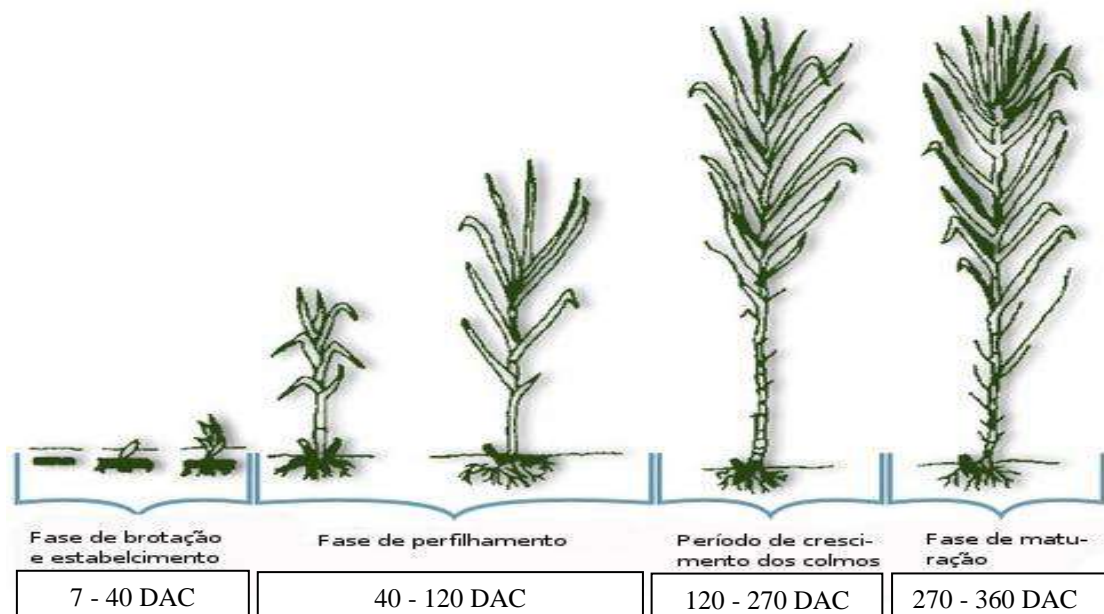


Figura 1 - Fases fenológicas da cana-de-açúcar de ciclo de 12 meses.

DAC - dias após o corte. Fonte: Gascho e Shih (1983).

A cultura da cana-de-açúcar naturalmente vai perdendo produtividade à medida que vai aumentando o número de cortes, sendo normalmente renovada nos canaviais brasileira quando a produtividade se reduz a menos de 50 Mg ha^{-1} de colmos. A redução de crescimento e desenvolvimento da cana pode ser explicada pela perda de vigor das gemas ocasionadas pela redução do volume radicular e pela redução ao acesso aos nutrientes e água, além do desenvolvimento de doenças e pragas.

A parte subterrânea da cana-de-açúcar é composta por raízes do tipo fasciculada e rizomas constituídos por nós e gemas que dão origem aos perfilhos, responsáveis pela formação das touceiras (VASCONCELOS, 2002).

Segundo Vasconcelos (2002), a morte ou renovação do sistema radicular não seria devida ao corte da cana, mas devido à condição hídrica a que a cultura está submetida em determinado período de desenvolvimento.

Portanto, é importante o desenvolvimento de técnicas de manejo que permitam manejar corretamente o solo dos campos de produção, visando melhorar o desenvolvimento das raízes, permitindo assim a exploração de um volume maior de solo em termos de água e nutrientes por parte das plantas.

A cana-de-açúcar possui formato cilíndrico, na qual é formada por nós e entrenós que se formam a cada dez dias e produzem uma nova folha a cada internódio. Sendo um reservatório com potencial genético para acumular grande quantidade de amido que é convertido em sacarose durante o processo de maturação. No entanto, no

período do seu ciclo, o teor de sacarose aumenta da base para seu ápice, podendo no final da maturação os teores se equivalerem (MACHADO, 1987). Isto se deve ao fato da maturação, em cada nó, ser dependente da idade do mesmo.

Já suas folhas são formadas por lâmina e bainha e encontram-se nos entrenós de modo alternado e oposto, sendo responsável pela inflorescência, que é do tipo panícula (MILLER & GILBERT, 2009), além de pelos lignificados e bordas serrilhadas de acordo com a variedade. A folha 3+ é utilizada para cálculo de índice de crescimento vegetativo, devido, apresentar desenvolvimento morfológico e fisiológico mais representativo da planta, sendo numerada e identificada de acordo com Kuijper (Figura 2).

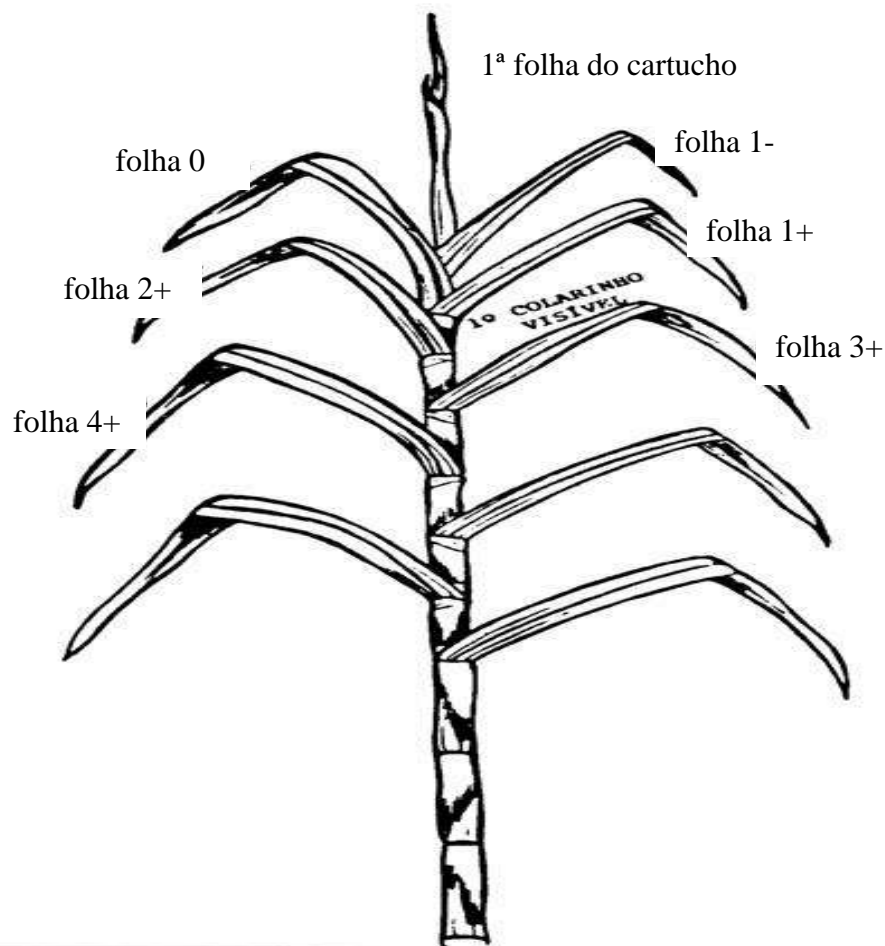


Figura 2 - Sistema de numeração de folhas em cana-de-açúcar.
Fonte: Kuijper (1952).

O número de folhas no colmo de cana-de-açúcar é, em média, de oito a nove no período do auge do perfilhamento, sendo que a interceptação solar necessária à realização da fotossíntese ocorre nas seis folhas mais apicais (GOLINSKI, 2009).

2.1.2. Origem e história

Essa planta, mais conhecida por cana-de-açúcar, tem origem na região do sudeste asiático e parte da Oceania. Chegou ao Brasil no início do período colonial, na região Nordeste. No final do século XVI, os estados de Pernambuco e Bahia contavam com centena de engenhos (FIGUEIREDO, 2008).

Durante a história, a cana-de-açúcar foi expandida pelo mundo, sendo encontrada em regiões situadas entre os paralelos 35°N e 35°S, apresentando ampla escala de adaptação a ambientes diversos (ALFONSI *et al.*, 1987). No Brasil foi introduzida pelos portugueses que trouxeram as primeiras mudas da Ilha da Madeira, ganhando terras brasileiras em 1502, fazendo parte da história nacional, onde a mão de obra escrava movimentava os engenhos da época (FIORAVANTI, 2000).

Como o advento da crise no petróleo em 1970, a busca por reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera, o desenvolvimento de automóveis bicomustíveis e a exportação de açúcar, associado à abundância de terra e clima favorável possibilitou ao Brasil tornar-se o maior produtor e exportador dos derivados desse vegetal no mundo (MOZAMBANI *et al.*, 2006).

2.1.3. Palhada: produção, importância e efeitos negativos

Os números do setor canavieiro impressionam pela grande extensão da área cultivada (MACHADO & HABIB, 2009). Considerando a área de produção de cana-de-açúcar para obtenção de açúcar e álcool, estima-se que na safra 2013/2014 sejam plantados cerca de 8.799,150 mil hectares, representando um crescimento de 3,70%, ou seja, um acréscimo de 314,15 hectares em relação à safra passada. A produtividade média brasileira de colmos na safra 2012/2013, foi de 69,41 Mg ha⁻¹ e estimada em 74,10 Mg ha⁻¹ para a safra de 2013/2014 (CONAB, 2013). Com essa estimativa de produtividade de colmos estima-se que a produção de palhada seca seja da ordem de 175,98 milhões de toneladas, que pode ser utilizada junto com o bagaço no aquecimento das caldeiras, na produção de eletricidade, e na produção de álcool de segunda geração e/ou deixada sobre a superfície do solo nos campos de cultivo, com a finalidade de manter ou melhorar a sustentabilidade a médio e longo prazo dos campos agrícola.

Associado a elevada produção de palhada tem-se o avanço da tecnologia (colheita mecanizada) que tornou possível efetuar o corte das plantas sem queima, removendo do campo apenas os colmos e deixando uma espessa profundidade de restos vegetais triturada e distribuída uniformemente sobre a superfície da área cultivada, entre 10 e 20 Mg ha⁻¹, conforme a variedade, a idade e as condições ambientais em que se cresceu e desenvolveu (TRIVELIN *et al.*, 1996; CHRISTOFFOLETI *et al.*, 2007).

Devido à alta produção de fitomassa seca originados pela cultura da cana e a necessidade de minimizar custo e maximizar a produção das usinas sucroalcooleira, surge a necessidade de estudos que indiquem a quantidade de palhada que poderá ser removida do campo sem prejudicar a sustentabilidade do sistema produtivo. Entretanto, a diversidade edafoclimática dos ambientes de produção no Brasil não permite a indicação de um nível único de remoção de palhada para todas as regiões, o que remete a necessidade de realização de estudos locais em cada ambiente de produção agrícola.

A produção de álcool a partir da palhada de cana, conhecido como álcool de segunda geração, é possível devido ao isolamento de estirpes de microrganismo capazes de converter moléculas de elevada densidade em substâncias menores como o etanol usado como combustível de fonte renovável.

Lima (2010) estima que a utilização simultânea da palhada e do bagaço triplicaria a produção de etanol de segunda geração, sem a necessidade de aumentar a área de plantio, produzindo o equivalente a 15% do total de energia consumida no Brasil até 2020, além de servir como energia complementar à hidroeletricidade.

A cana-de-açúcar possui incrível capacidade de conversão de substâncias inorgânicas em orgânicas, produzindo grandes quantidades de palhada, que ao ser manejado corretamente tem grande importância na proteção das áreas de cultivo contra a erosão e as perdas de produtividade dos solos (GARBIATE *et al.*, 2011).

Tendo em vista que os principais fator limitante ao aumento da produtividade da cana no Brasil a baixa frequência e elevada intensidade das chuvas associada à secas prolongadas, principalmente na região do Nordeste brasileiro (CONAB, 2013), bem como o custo elevado de se irrigar extensas áreas e a baixa capacidade de retenção e armazenamento de água pelos pela quase totalidade dos solos brasileiros, além de apresentar baixo teor de matéria orgânica e de fertilidade (ALCÂNTARA *et al.*, 2009; CAMPOS *et al.*, 2011), o sistema de plantio direto na palhada vem apresentando satisfatórios resultados.

Diante deste cenário surge como opção de baixo custo e ecologicamente correta, evitar a queima dos restos culturais e usá-lo de maneira racional, minimizando os efeitos adversos de perda de solo, fertilidade e matéria orgânica dos campos agrícolas, possibilitando aumento de produtividade, sustentabilidade e lucratividade.

As usinas sucroalcooleiras, devido à elevada produção de palhada e suas múltiplas utilidades, tem desenvolvido pesquisas visando obter modelos de manejo correto da palhada para obtenção de melhorias na capacidade de armazenamento e manutenção da umidade de solos que reflitam na melhoria da produtividade e, conseqüentemente, excedentes para produção de álcool.

Sendo que a palhada mantida sobre a superfície do solo protege-o da radiação solar, dissipa a energia de impacto das gotas de chuva, aumenta a rugosidade superficial e conseqüentemente a infiltração, evita a formação de crosta, reduz a evaporação da água e aumenta a eficiência da ciclagem dos nutrientes (MATEUS *et al.*, 2004), além de diminuir significativamente a infestação de plantas daninhas e modificar a composição da população infestante (MATEUS *et al.*, 2004).

A palhada influencia diretamente na umidade e temperatura que por sua vez é determinante na produtividade de colmos e na qualidade tecnologia do caldo da cana-de-açúcar. Campanhão (2003), estudando o manejo da palhada remanescente em soqueira da cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, verificou que a pureza do caldo, sacarose aparente do caldo, açúcar redutor, e a sacarose aparente foram maiores nos tratamentos quando mantida a palhada no campo, concluindo que a manutenção da palhada sobre a superfície do solo favoreceu a qualidade tecnológica do caldo.

Pesquisas recentes têm demonstrado excelentes resultados na redução de perda de água do solo por evaporação, aumento do armazenamento de água pelo solo, além de redução da amplitude térmica do solo com reflexo em ganho de produtividade a baixo custo, apenas com a manutenção da cobertura do solo com resíduos culturais (palhada) (GASPARIM *et al.*, 2005; HUBERT *et al.*, 2007; Andrade; FURLANI *et al.*; MULUMBA & LAL; RITCHIE & BASSO; MARIN *et al.*, 2008; CHABAT; KNIES, 2010; OLIVEIRA, 2011).

Há elevada produção e a importância da palhada de cana tanto para os campos de produção como para as usinas, no entanto, há alguns efeitos negativos dos restos vegetais na cultura, em função do manejo incorreto do mesmo podendo reduzir o número de perfilhos por área (CAMPOS *et al.*, 2008) devido ao impedimento físico,

além de poder ocasionar problemas de fitossanidade ocasionada pelo aumento da umidade do ambiente promovido pela volume de palhada entre as linhas de cultivo (RAVANELI *et al.*, 2006; GUIMARÃES *et al.*, 2008).

2.2. Temperatura do solo

O fluxo de energia térmica nos solos influencia em todos os processos bioquímicos desse complexo ecossistema, o qual é responsável pela sustentação, nutrição, hidratação, emergência, crescimento e desenvolvimento dos vegetais. Além de agir diretamente no intemperismo das rochas e na transformação dos minerais primários do solo em secundários, alterando assim a textura e fornecendo nutrientes para os seres autótrofos deste sistema. Portanto, a temperatura nestes ambientes está relacionada com os processos biológicos, físicos e químicos (GASPARIM *et al.*, 2005).

O solo possui capacidade de armazenar e distribuir a energia de origem solar e/ou resultante do processo de decomposição interna dos seus componentes orgânicos. Essa energia é responsável pela manutenção dos processos fisiológicos envolvidos como a atividade microbiológica, a germinação e rebrota de órgão reprodutivo e o desenvolvimento de plantas, que poderão ser interrompidos caso o solo não se apresente dentro de uma faixa com pequena oscilação e temperatura adequada (GASPARIM *et al.*, 2005).

A palhada também cria um microclima favorável ao desenvolvimento de microrganismos edáficos, que fazem interação simbióticas com os vegetais, como os fungos micorrízicos arbusculares e as bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, que auxiliam as culturas como a soja, feijão e cana na absorção e obtenção de nutrientes, principalmente, fósforo e nitrogênio (NÓBREGA *et al.*, 2001; GASPARIM, *et al.*, 2005), os quais são os elementos que mais limitam a produção vegetal nas condições de solo evoluídos (Cerrado) (ALCÂNTARA *et al.*, 2009)

No entanto, a dinâmica desta energia no solo depende de fatores internos, tais como textura, estrutura, profundidade da profundidade avaliada, respiração microbiana, teor de matéria orgânica e umidade do solo (STRECK *et al.*, 1994; FABRIZZI *et al.*, 2005; SILVEIRA *et al.*, 2013); e de fatores externos, tais como velocidade do vento, radiação líquida, umidade relativa do ar e níveis de cobertura do solo (SALTON & MIELNICZUCK, 1995; CHABAT, 2010; SEBEN *et al.*, 2011), que quando manejados corretamente podem favorecer os ambientes de produção agrícolas.

Estudos mostram que os sistemas conservacionistas como os sistemas de plantio direto e as integrações lavoura pecuárias, que têm como princípio a manutenção da cobertura vegetal do solo, são os meios mais eficientes na manutenção da sustentabilidade da produtividade de solos de clima tropical (FABRIZZI *et al.*, 2005; SILVEIRA *et al.*, 2013).

SALTON & MIELNICZUCK (1995), estudando sistemas de manejo de um LATOSSOLO Vermelho, observaram menor amplitude térmica e de temperaturas máximas diárias à 0,05 m de profundidade em sistema de plantio direto, comparada ao convencional e ao cultivo mínimo. Portanto, o manejo do solo possui estreita correlação com a dinâmica da temperatura edáfica.

A manutenção de uma proteção superficial das áreas agrícolas altera consideravelmente o fluxo de energia deste ecossistema, que funciona como uma barreira física reduzindo a amplitude da temperatura diária e da máxima, elevando a temperatura mínima e maximizando a temperatura média diárias dos solos cultivados, e, conseqüentemente, diminuindo a evaporação e aumentando a eficiência no uso da água pelas plantas (FURLANI *et al.*, 2008; MARIN *et al.*, 2008; CHABAT; KNIES, 2010).

Chabat (2010), observando o efeito da palhada de aveia no balanço de energia térmica do solo, comprovou que mantendo 4 Mg ha⁻¹ de resíduos sobre a superfície do solo ocorre redução de 6 °C na temperatura máxima, acréscimo de 2 °C na temperatura mínima e redução de 40% da amplitude térmica, nas profundidades de 0,05 m e 0,1 m do solo.

Gasparim *et al.* (2005) estudaram o efeito da palhada deixada sobre a superfície do solo na dinâmica da temperatura edáfica e, observaram que solos cobertos com 4 Mg ha⁻¹ de resíduos de aveia apresentaram temperatura máxima e amplitude térmica de 9 °C e 10 °C, respectivamente, as quais foram inferiores quando comparadas a solos desnudos a 0,02 m de profundidade.

Alves Sobrinho *et al.* (2001), estudaram o efeito da umidade do solo na temperatura nas profundidades de 0,04; 0,08 e 0,12 m. Observaram que a temperatura média e máxima do solo foi inferior em solos irrigados quando comparado a solos sem irrigação. Resultados similares do efeito da umidade e profundidade do solo foram apresentados por Silveira *et al.* (2013), quando utilizaram a Lei de Fourier para estimar o perfil do fluxo de calor no solo nas profundidades entre 0,025; 0,05; 0,10; 0,20 e 0,50 m. Os autores deduziram que a umidade isola o solo das grandes mudanças diárias de temperatura, ou seja, à medida que aumenta a umidade do solo ocorre redução nas

flutuações térmicas (amplitude térmica). Esse comportamento pode ser explicado pelas propriedades caloríficas das moléculas de água (SILVEIRA *et al.*, 2013).

Bergamaschi & Eguadagnin (1993) retrataram que a profundidade do solo influencia a dinâmica da temperatura no solo. Concluíram que à medida que se distancia da superfície do perfil do solo ocorre redução da amplitude térmica e retardamento no período de ocorrência das temperaturas mínima e máximas, notadamente, nos primeiros centímetros do solo. Tendo em vista que a principal fonte de energia do solo é a radiação líquida, e seu fluxo dar-se da superfície para o interior do perfil do solo.

Quando se avalia a dinâmica da temperatura horária do solo durante as 24 horas do dia, é comum observar-se inversão térmica entre o dia e a noite. Esse efeito é reduzido à medida que se aumenta o nível de resíduos vegetais sobre a superfície (GASPARIM *et al.*, 2005; CHABAT; KNIES, 2010). Já CHABAT (2010), observou que a energia térmica do solo é significativamente maior quando comparada ao da atmosfera, com exceção do horário das 09h00min às 14h00min do dia.

2.3. Dinâmica da água no solo

A água é o solvente universal e participa de todas as reações biológicas. Dada versatilidade promovida por sua estrutura física e química, essa molécula é de vital importância para a vida do planeta, e estudada em todos os estados físicos (sólido, líquido e gasoso) que é encontrado nas condições naturais da biosfera terrestre.

A dinâmica da água no solo refere-se não só ao balanço hídrico, que estuda basicamente as entradas e saídas desta substância do perfil do solo. Mas, dentre outros, refere-se à condutividade hídrica, o movimento da água no interior do solo e seus respectivos potenciais, as propriedades das forças de atração da água com os outros componentes do solo (adesão) (LIBARDI, 1995).

A dinâmica da água no solo é extremamente variável, principalmente, com o tempo, influenciada pelas chuvas, irrigações, drenagem ou pela evaporação e demais práticas de manejo da cultura. Desta forma, o conhecimento do teor de água no solo, sua variação temporal e espacial, sob diferentes condições de solo e práticas culturais, torna-se importante para o melhor uso racional da água na agricultura (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2013).

2.4. Perda de água do solo por evapotranspiração

A manutenção da cobertura do solo com resíduos vegetais é um dos fatores que mais influencia a perda de água por evaporação, já que interfere diretamente na temperatura, refletindo e absorvendo parte da radiação solar global incidente; na umidade relativa do ar próximo além de funcionar como uma barreira física a perda de água do perfil do solo.

Entretanto, para que a evaporação de água do solo ocorra é preciso, fornecimento de energia térmica em quantidade suficiente para criar condição de pressão de vapor interno maior que a externo; além de suprimento contínuo de água das profundidades mais profundas para as superiores do perfil (OLIVEIRA, 2011). O fornecimento de água para a evaporação é condicionado pelos atributos físicos dos solos, principalmente a estrutura, porosidade e densidade (HILLEL, 1998).

De acordo com Gardner e Hillel (1962) e Allen *et al.* (2005), a evaporação da água em solos, inicialmente saturados com água, ocorre em três estágios: no primeiro o solo encontra-se saturado e não exerce atração limitante a taxa de evaporação, a qual fica dependendo apenas dos fatores meteorológicos. No segundo estágio, a taxa de evaporação reduz-se rapidamente, porque as perdas de água não dependem apenas da pressão evaporativa externa, mas também dos atributos físicos do solo responsáveis pelas forças de atração. O terceiro estágio ocorre quando a superfície do solo se encontra praticamente seca e a água encontrasse retida com tanta força que a evaporação fica praticamente inibida. Resumidamente, podemos dizer que a medida que o solo vai perdendo água passa a sofrer maior força de atração pela matriz do solo, dificultado assim a movimentação e evaporação da água no solo.

No entanto, a perda de água do solo não ocorre apenas pela evaporação, que é a saída de água do solo em forma de vapor. Para esse processo, a água quando livre e pura necessita de, aproximadamente, 590 calorias para passar do estado líquido para o gasoso. Além da evaporação direta, devem-se considerar também as perdas por transpiração, que é a água extraída do solo pelas plantas. Nesse caso, essa perda é dependente das condições do gradiente de pressão de vapor externo, da morfologia e fisiologia da planta, como altura, índice de área foliar (IAF) e metabolismo (RITCHIE & BASSO, 2008; ANDRADE, 2008; TAIZ & ZEIGER, 2004). Plantas de metabolismo C4 (cana, milho, sorgo) são mais eficientes na utilização de água e na produção de fotoassimilados em condições de clima tropical do que as plantas C3 (feijão, soja) (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Dessa forma, o processo natural de ressecamento do solo pela parte superior do perfil do solo é conhecido como evapotranspiração. A velocidade desse processo pode ser reduzida pela adoção de práticas conservacionistas do solo, tais como o plantio direto, que tem como premissa a manutenção da palhada sobre o solo, que nutri e adiciona matéria orgânica ao mesmo.

Andrade *et al.* (2008), pesquisando o efeito da aplicação de 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia sobre o solo cultivado com milho, em quatro ciclos de secagem, observaram diminuição de 19 a 42% de perda de água, respectivamente, quando comparados a solos sem palhada distribuída uniformemente sobre a superfície do solo. Iftikhar & Ali (2004), utilizando a mesma técnica conservacionista do solo, obtiveram 50% de redução na evaporação quando mantiveram sobre a superfície do solo com palhada de aveia.

Chabat (2010), acompanhando o crescimento da soja cultivada em sistema de plantio direto com o uso de 4 Mg ha⁻¹ de palhada de aveia aplicada sobre a superfície do solo, observou redução de perda de água diária por evaporação em 50% na profundidade de 0 - 0,1 m.

Knies (2010) obteve redução de 50% nas perdas de água do solo na profundidade de 0 - 0,1 m, quando manteve sobre o campo de cultivo 6 Mg ha⁻¹ de palhada de aveia em relação ao solo sem cobertura.

Esses trabalhos mostram que a manutenção de palhada na superfície do solo, entre outros benefícios, reduz significativamente a perda de água do solo, aumentando a eficiência no uso da água pelas plantas, proporcionando maior produção vegetal e reduzindo o estresse hídrico às plantas (LIU *et al.*, 2002).

Quanto à transpiração, esse componente da evapotranspiração é influenciado, principalmente, pela velocidade do vento, umidade relativa do ar, radiação líquida e temperatura do ar. Entretanto, a altura da planta e o IAF, que aumentam com a idade e potencial genético da planta, são os responsáveis direto pela perda de água na forma gasosa neste processo (TAIZ & ZEIGER, 2004).

Na condição de IAF maior que três, a evapotranspiração é controlada pela energia disponível e a evaporação e transpiração possuem a mesma magnitude (CHABAT, 2010). Para valores de IAF maiores que três, o conteúdo de água no solo é quem determinará a maior participação na evapotranspiração (RITCHIE & BASSO, 2008; CHABAT, 2010).

Allen *et al.* (1998) observaram que quando a planta cresce e desenvolve-se, cobrindo toda a área de produção, a perda de água por evaporação representa menos de 10% da evapotranspiração.

A perda de água do solo é um processo vital às plantas e para continuação do ciclo hidrológico. Entretanto, nos campos agrícolas, principalmente nas regiões com baixa precipitação e/ou má distribuição de chuvas, não é desejado perdas de água por evaporação. O ideal é que toda a água seja utilizada pelas plantas. No entanto, nas condições naturais de campo de produção é impossível. Entretanto, é possível reduzir significativamente a evaporação apenas com a manutenção dos restos vegetais e, conseqüentemente, aumento do armazenamento de água e redução da oscilação da temperatura do solo, refletindo em maior eficiência do uso da água e produtividade dos vegetais, além de um ambiente agrícola sustentável.

2.5. Armazenamento de água no solo

O solo é composto por parte sólida, líquida e gasosa. A textura e estrutura da matriz do solo são determinante para a forma, tamanho e quantidade da porosidade do solo, a qual é responsável pelo armazenamento de água, aeração, trocas gasosas com o meio externo e veículo de transporte, além de fornecedor de nutrientes para as plantas. No entanto, esse ecossistema complexo e dinâmico pode ser facilmente alterado pela exploração humana, principalmente no que diz respeito à estrutura e o componente orgânico (vivo e morto) – matéria orgânica, responsável pela nutrição e auxílio no armazenamento e disponibilidade de água no solo para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

A água no solo é responsável pelo transporte, liberação e absorção de nutriente para os organismos que dele vivem, portanto, muitos são os estudos científicos que visam acompanhar sua dinâmica e a influencia do manejo do solo, principalmente dos resíduos vegetais que propiciem redução da evaporação e percolação da água do solo, e a mantenha disponível por mais tempo para as plantas.

Scopel *et al.* (2005), avaliando o efeito da palhada na dinâmica da água no solo, observaram que o armazenamento de água aumentou ao final do ciclo das culturas, quando comparada ao sistema de cultivo convencional, indicando que a adição da matéria orgânica no solo, resultante da decomposição do resíduo vegetal da superfície aumenta a capacidade de armazenamento de água, devido ao aumento da porosidade

total e da própria característica físico-química do componente orgânico (MULUMBA & LAL, 2008).

Knies (2010) avaliou o efeito de diferentes teores de palhada de aveia preta em cobertura do solo no armazenamento de água pelo sistema em clima subtropical quente e úmido. Observou que a manutenção de 3 e 6 Mg ha⁻¹ desse resíduo vegetal promove maior umidade no solo quando comparado a solo sem cobertura morta. O mesmo autor cita que o aumento no armazenamento de água no plantio direto, mesmo que pequeno, tem grande importância para culturas sensíveis ao déficit hídrico, em que um pequeno acréscimo de umidade no solo, principalmente nos períodos críticos, pode garantir rendimentos satisfatórios, reduzindo flutuações na produtividade. Este efeito é mais significativo em regiões com baixas ou irregulares precipitações pluviométricas e elevadas temperaturas.

Mulumba & Lal (2008) estudaram o efeito da palhada na dinâmica de água no solo observaram que a manutenção deste resíduo na superfície do solo abaixo de 2,0 Mg ha⁻¹ promove pequeno aumento no armazenamento de água.

Chabat (2010), na mesma linha de pesquisa, avaliou a adição de palhada de aveia sobre o conteúdo de água no solo cultivado com soja, quanto a época e três profundidades. Concluiu que deixando sobre a superfície do solo 4 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal obteve-se maior armazenamento de água em todas as profundidades estudadas em relação a profundidades sem palhada.

Portanto, uso da palhada em cobertura do solo, em áreas de cultivo irrigado e sequeiro, tem promovido efeitos satisfatórios não só no aumento da fertilidade e matéria orgânica do solo, mas também nas melhorias físico-hídricas como redução da evaporação, aumento na eficiência no uso da água pelas culturas e no armazenamento de água pelos solos, e conseqüentemente, na disponibilidade de água para as plantas refletindo em ganhos de produtividade vegetal (HUBERT *et al.*, 2007).

Esses resultados reforçam a premissa de que a manutenção da palhada sobre a superfície do solo promove melhoria nos atributos, além de proteção física contra o impacto direto das gotas de chuvas, da radiação solar e redução da pressão de vapor próximo à superfície do solo, minimizando a temperatura e auxiliando na manutenção da umidade e fertilidade do solo. No entanto, à medida que a palhada se decompõe, contribui quimicamente melhorando a porosidade e a estrutura do solo. Nessa condição, a superfície do solo passa a ser protegida pelo porte e área foliar da própria cultura estabelecida no campo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido na área da Usina COMVAP - Açúcar e Álcool Ltda., situada no município de União – PI (04°35'09" S; 42°51'51" W e 52 m de altitude) (Figura 3), na microrregião de Teresina, região Centro-Norte do Piauí, entre julho2013/julho2014. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite & Mather (1955) é C1sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão e uma concentração de 32,2% da evapotranspiração potencial no trimestre setembro – outubro – novembro. A precipitação pluviométrica média anual (série histórica de 1980-2013) é de 1343 mm, sendo que os maiores índices registrados nos meses de fevereiro a abril (BASTOS *et al.*, 2014).



Figura 3 - Localização da área experimental na Usina COMVAP - Açúcar e Álcool Ltda.

O solo é classificado como um Plintossolo Argilúvico³, cujas características granulométricas e químicas na profundidade 0 - 0,30 e de 0,30 - 0,60 m estão apresentadas na Tabela 1.

³ Perfil de solo classificado pelo pesquisador Francisco de Brito Melo, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

Tabela 1 - Características granulométricas, químicas e físico-hídricas do solo da área experimental antes da instalação do ensaio. Usina COMVAP, União - PI, julho/2013

Características	Profundidades	
	0 – 0,30 m	0,30 - 0,60 m
Areia grossa (g kg ⁻¹)	428,00	399,00
Areia fina (g kg ⁻¹)	359,33	352,00
Silte (g kg ⁻¹)	131,00	137,00
Argila (g kg ⁻¹)	81,67	112,00
Classe textural	Areia Franca	Franco Arenoso
MO (g/kg)	7,65	3,35
pH (H ₂ O)	6,20	5,8
P (mg/dm ³)	63,34	28,07
K ⁺ (cmol _c /dm ³)	0,50	0,29
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)	1,84	0,9
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	1,00	0,57
Na ⁺ (cmol _c /dm ³)	0,07	0,06
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	0,05	0,06
H+Al (cmol _c /dm ³)	2,69	2,3
S (cmol _c /dm ³)	3,41	1,83
CTC (cmol _c /dm ³)	6,10	4,32
V (%)	55,45	42,26
m (%)	1,72	3,07
Capacidade de campo (% , em volume)	0,24	0,25
Ponto de murcha permanente (% , em volume)	0,04	0,05
Densidade do solo (Mg/m ³)	1,53	1,48

MO: matéria orgânica; S-soma de bases; CTC - capacidade de troca de cátions; V: percentual de saturação por bases; m: percentual de saturação por alumínio.

3.2. Histórico da área em estudo

A área foi desmatada para instalação da lavoura de cana-de-açúcar no ano de 1981. No período de 1982 a 2009 foi adotado o sistema de cultivo convencional e a colheita com queima. Durante todo este período, houve renovação do canavial a cada cinco anos, quando a produtividade de colmos, normalmente, reduz-se a menos de 50 Mg ha⁻¹.

Em cada renovação foi realizado o preparo do solo por meio de aração e gradagem, utilizando arado de disco e grade niveladora, e adubação com 25, 150 e 75 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e 0,5 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico. Anualmente, após a colheita realizou-se uma adubação de cobertura com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N, com o fertilizante sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄).

Entretanto, a partir de 2009, nessa área experimental da Usina passou-se a adotar o sistema de plantio direto, sem a queima da palhada antes da colheita. Mantendo-se as adubações e correções já citadas, além de manter a palhada distribuída de maneira

uniforme sobre o solo. A quantidade de palhada a ser distribuída, em cada ano e cada tratamento, foi dependente da produtividade de palha obtida na área do ensaio na colheita anterior.

Para esse estudo, a palhada em forma de feno foi adicionada sobre o solo em julho de 2013 e conduzido até julho de 2014. Devido ao atraso na aquisição de componentes do sistema de medição da umidade do solo, a equipamento reflectometria no domínio do tempo (TDR 100) foi instalado apenas em outubro de 2013. Para tal, utilizou-se uma área, com a cana de terceira soca, ou seja, quatro anos de cultivo, com a variedade SP 813250, plantada em espaçamento de 1,4 m entre as fileiras e quinze gemas por metro linear. Cada parcela experimental apresentou dimensões de 10 m de largura e 15 m de comprimento, totalizando 150 m².

Após a colheita da cana sem queima, em julho de 2013, pesou-se a palhada produzida em toda a parcela experimental. A partir desse total produzido procedeu-se a redistribuição em cada parcela, conforme as proporções estabelecidas para cada tratamento (Tabela 2). Em seguida, a quantidade de palhada definida para cada tratamento foi distribuída manualmente sobre a superfície do solo das parcelas, com o auxílio de ancinhos.

Tabela 2 - Níveis de palhada deixada no solo em cada tratamento

Níveis de palhada		
Tratamento	%	Mg/ha
1	0	0,00
2	25	4,19
3	50	9,54
4	75	13,04
5	100	18,38

3.3. Monitoramento do conteúdo de água no solo

A dinâmica da água no solo será avaliada em termos dos componentes que afetam a disponibilidade de água no solo em resposta aos níveis de palhada mantidos sobre a superfície do solo, quais sejam o armazenamento e as perdas de água por evaporação e transpiração das plantas.

Para tal, cada nível de cobertura de palhada, foi necessário o monitoramento do conteúdo de água no solo a cada 30 min dia-a-dia nos quatro períodos mais extenso de secagem do solo ocorrido entre outubro de 2013 a julho de 2014. Para tanto, usou-se um

equipamento TDR 100 automatizado, composto por sondas de 0,30 m de comprimento, multiplexadores e datalogger (Figura 5A), programado para efetuar e armazenar as leituras a cada 30 minutos dia-a-dia, permitindo a avaliação da dinâmica da água no solo com elevada precisão. Os valores de umidade do solo, na escala diária, foram obtidos pela média dos 48 registros de cada dia.

Para tanto, foram instaladas, no centro de cada parcela experimental, as sondas de TDR 100, com 0,30 m de comprimento, em duas profundidades do perfil do solo (0 - 0,30 e 0,30 - 0,60 m) (Figura 4). A sonda superficial foi instalada fixando-a diretamente no solo, a cerca de 0,2 m da fileira central de plantas da parcela. Para a instalação da sonda mais interna (0,30 - 0,6m), foi necessária a escavação do solo até a profundidade de 0,30 m (Figura 5B e 5C), para posterior fixação da sonda. As duas sondas foram fixadas o mais próximo possível, cerca de 0,10 m (Figura 5D), de modo a evitar-se o efeito de possíveis variações na estrutura do solo, que pudesse servir de fonte de variação para análise da dinâmica da água no solo. Os registros foram iniciados a partir do dia 5 de novembro de 2013, após uma semana de instalação das sondas, quando a cana de 3ª soca se encontrava com 99 dias após o corte. O período de acompanhamento da dinâmica da água no solo durou nove meses, finalizando a coleta no dia 24 de julho de 2014.

Antes da montagem do equipamento TDR 100 no campo experimental foi determinado os tamanhos figurados dos cabos coaxiais de 50 Ω para cada parcela do experimento, para tal usou-se o programa PC TDR. O referido comprimento de cabo é usado para automatização do aparelho pelo software LoggerNet. Esse software assim como os manuais de instalação, sondas, cabos, multiplexadores, placa solar e caixas de proteção do sistema em campo foram adquiridos junto a Campbell Inc. O sistema foi testado e configurado antes de ser levado para o campo na Embrapa Meio-Norte.

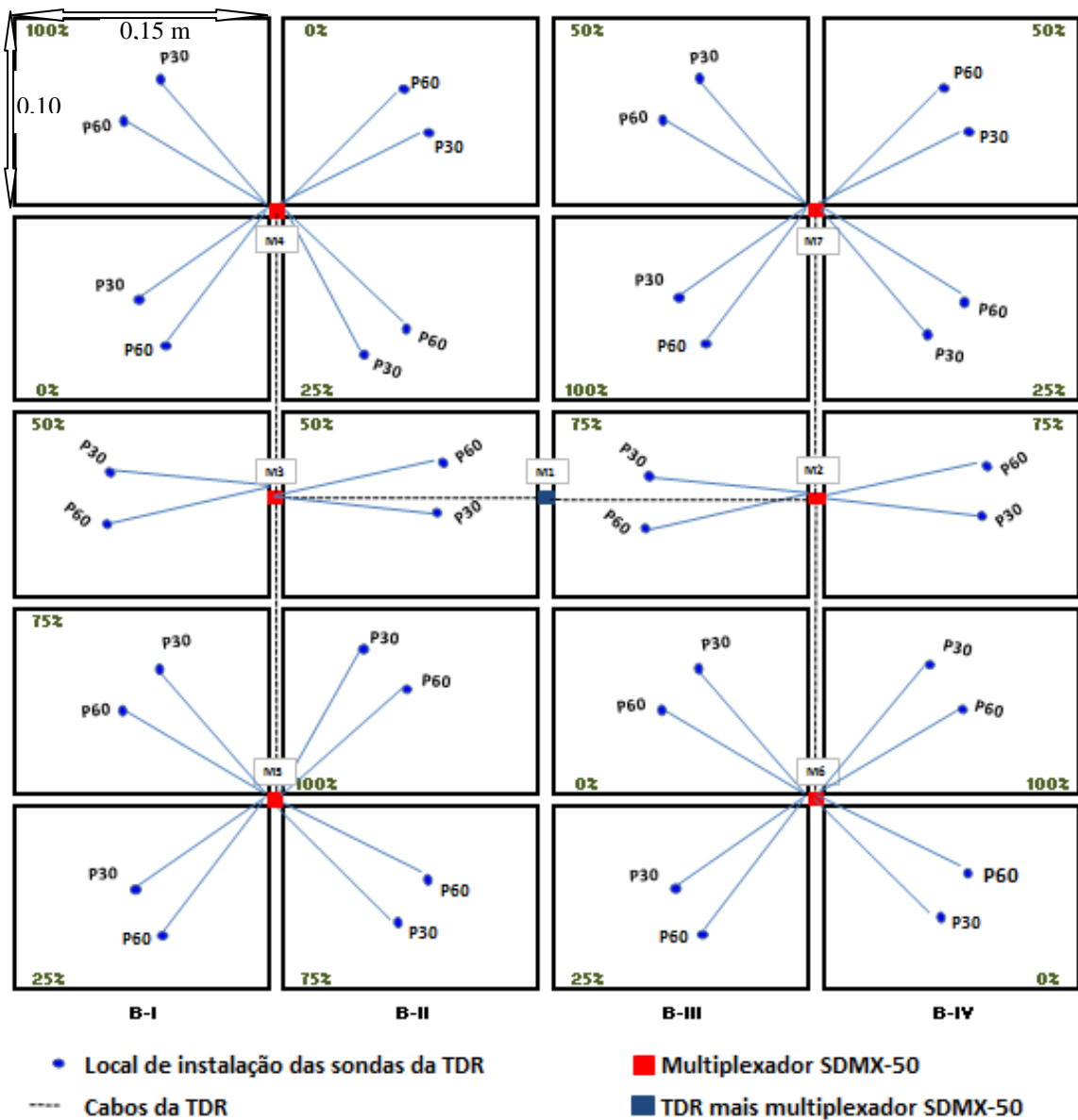


Figura 4 - Croquis de distribuição do conjunto TDR 100 no campo.

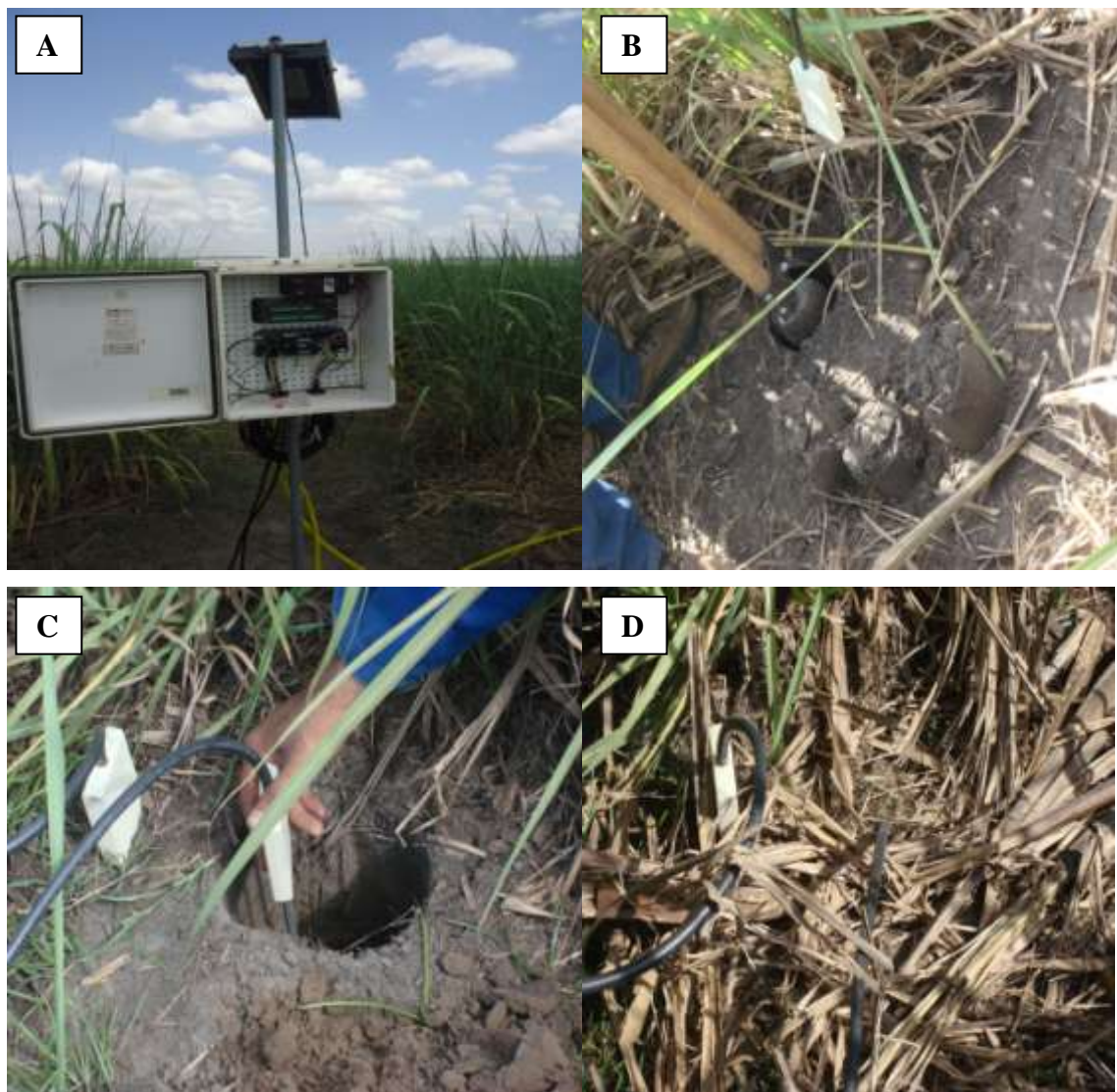


Figura 5 - Conjunto TDR 100 montado no campo para acompanhamento da dinâmica da água no solo. Datalogger CR10X, multiplexador, placa solar e bateria (A); abertura da mini-trincheira (B); instalação das sondas (C) e sondas instaladas nas duas profundidades do solo (D). Usina COMVAP, União - PI, 2013.

Após a obtenção dos dados de umidade do solo, calculou-se o armazenamento diário de água no solo (AS) multiplicando-se o conteúdo volumétrico diário de água (cm^3 água cm^{-3} solo) pela espessura de cada profundidade do perfil do solo avaliada (300 mm) (Equação 1). A lâmina diária de água perdida pelos processos de evaporação e/ou extração de água pelas raízes da cultura, devido à transpiração das plantas, foi estimado pela diferença do armazenamento de água no solo entre dois dias consecutivos (Equação 2). As perdas de água diárias foram acumuladas ao longo de cada período de monitoramento, obtendo-se assim as perdas de água acumuladas em cada período de avaliação (Equação 3). O limite superior (capacidade de campo) e inferior (ponto de murcha permanente) de disponibilidade de água no solo da área experimental foram

determinados em laboratório usando-se o método da membrana de Richards, equivalentes aos pontos de tensão de -10 kPa e -1500 kPa, respectivamente (Tabela 1). É importante ressaltar que foram desprezadas as perdas de água ocorridas por escoamento superficial na superfície do solo e percolação profunda abaixo da profundidade de 0,6 m, de modo a facilitar as estimativas de armazenamento e perdas de água no solo.

$$AS_i = \theta_i \times Es \quad (1)$$

$$PA_i = AS_i - AS_{i+1} \quad (2)$$

$$PAS_j = \sum_{i=1}^n PA_i \quad (3)$$

Em que:

AS_i – armazenamento de água diário no i-ésimo dia (mm);

θ_i – conteúdo de água no solo no i-ésimo dia medido pela TDR 100 ($m^3 m^{-3}$);

Es – espessura da profundidade de solo avaliada (300 mm);

PA_i – perda de água diária no i-ésimo dia (mm);

PAS_j – perda de água no solo acumulada no j-ésimo período (mm).

A dinâmica da água no solo (refletida nas variações ocorridas no armazenamento e perdas de água no solo) foi avaliada em quatro períodos distintos definidos entre eventos consecutivos de umedecimento do solo por chuva e/ou irrigação (Tabela 3), os quais corresponderam às fases fenológicas de final de perfilhamento, crescimento rápido e de maturação da cana-de-açúcar, bem como durante todo o ciclo, para que se pudesse obter uma visão geral da dinâmica da água em resposta aos diferentes níveis de cobertura com palha (Tabela 2). Os valores de ET_c diários foram obtidos multiplicando-se os valores de ET_o diários pelos valores de coeficiente de cultivo (K_c), em cada período de desenvolvimento avaliado, obtidos do Manual FAO-56 (ALLEN *et al.*, 2005).

Tabela 3 – Duração dos períodos de monitoramento avaliados nas escalas de dias após o corte da cana (DAC), evapotranspiração de referência acumulada (EToac) e evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac). Usina COMVAP, União - PI, Julho2013/Julho2014.

Período 1 (Kc = 0,90)			Período 2 (Kc = 1,25)			Período 3 (Kc = 0,80)			Período 4 (Kc = 0,70)		
DAC (dia)	EToac ----- (mm)	ETcac -----	DAC (dia)	EToac ----- (mm)	ETcac -----	DAC (dia)	EToac ----- (mm)	ETcac -----	DAC (dia)	EToac ----- (mm)	ETcac -----
107	6	5	132	3	4	310	3	2	335	4	3
109	19	17	134	12	15	312	12	10	337	13	9
111	26	23	136	23	29	314	20	16	339	21	15
113	34	31	138	35	44	316	29	23	341	31	22
115	46	41	140	46	58	318	34	27	343	40	28
117	58	52	142	55	69	320	44	35	345	50	35
119	67	60	144	67	84	322	52	42	347	59	41
121	76	68	146	77	96	324	61	49	349	67	47
123	83	75	148	89	111	326	69	55	351	75	53
125	93	84	150	103	129	328	79	63	353	84	59
127	106	95	---	---	---	330	89	71	355	94	66
129	113	102	---	---	---	332	99	79	357	104	73
---	---	---	---	---	---	---	---	---	359	111	78
---	---	---	---	---	---	---	---	---	361	120	84
ND	22		ND	17		ND	22		ND	26	
NDA	12		NDA	10		NDA	12		NDA	14	

ND e NDA – número de dias e número de dias avaliados, respectivamente de cada período estudado; Kc – Coeficiente de cultivo.

3.4. Calibração da TDR 100

O funcionamento da TDR para a medida da umidade do solo é baseado na medida da velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas em uma guia de onda metálica (sonda) inserida no solo. O equipamento mede o tempo de trânsito das ondas eletromagnéticas na sonda, o qual é dependente da constante dielétrica do solo (Ka) (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2013).

A constante dielétrica (Ka) medida para um solo é uma média ponderada das constantes dielétricas das frações dos componentes do solo, ou seja, das fases sólida, líquida e gasosa. Como a constante dielétrica da água é de aproximadamente 80, do ar 1 e do material sólido (mineral e orgânico) de 3 a 7, uma pequena variação na umidade volumétrica do solo (θ) causará uma mudança considerável da constante dielétrica (Ka), no entanto, poderá ser influenciada pelos sólidos do solo (COELHO *et al.* 2006). Daí, a necessidade de proceder-se a calibração local, em condições de campo, mantendo-se a estrutura original do solo em questão.

A calibração da TDR 100 foi efetuada em campo na própria área experimental (Figura 6). Foram instaladas oito sondas em quatro pontos nas profundidades de estudo do solo (0 – 0,30 e 0,30 - 0,60m). O local foi saturado e iniciado o procedimento de medida da umidade do solo pelo equipamento TDR utilizando a equação de Lidieu *et al.* (1986). Ao mesmo tempo e próximo às sondas, foram coletadas três amostras de cada ponto do solo, com uso de um trado holandês, totalizando 12 amostras por profundidade em cada dia avaliado, nas mesmas profundidades, para a determinação da umidade pelo método padrão de gravimetria, com as amostras sendo secas em estufa de circulação forçada a 120 °C, durante 24 horas, até peso constante.

O período de coleta dos dados estendeu-se por 30 dias, até que o solo da área amostrada ficasse completamente seco. Para o cálculo da umidade do solo, com base em volume, multiplicou-se os respectivos valores de umidade do solo, com base em massa, obtidos por gravimetria, pela densidade do solo, nas respectivas profundidades. Os valores de densidade do solo, em cada profundidade, foram obtidos pelo método do anel volumétrico.



Figura 6 - Saturação do solo (A) e instalação das sondas da TDR 100 nas duas profundidades do solo (B), para obtenção dos dados para calibração do aparelho as condições locais do solo. Usina COMVAP, União - PI, 2013.

Posteriormente, com os dados de umidade volumétrica do solo estimados com a TDR 100, usando a equação de Lidieu *et al.* (1986), obteve-se a constante dielétrica do solo (K_a) ao longo do período de secagem do solo, nas duas profundidades avaliadas. Em seguida, com os dados de K_a versus umidade volumétrica medida em laboratório, procedeu-se ao ajuste de modelos matemáticos, com o intuito de obter-se coeficientes locais para correção dos valores de umidade medidos com a TDR 100.

3.5. Monitoramento da temperatura do solo

Para avaliar o efeito dos diferentes níveis de palhada sobre a dinâmica da temperatura do solo, foram efetuadas medidas nas profundidades de 0,05 e 0,10 m, usando-se cabos termopares Tipo T (Cobre/Constantan), devidamente encapsulados em terminais de aço inox, em todas as parcelas experimentais (Figura 7). Para tanto, idealizou-se um sistema de aquisição de dados composto por 40 cabos termopares, com comprimentos de 10 e 25 m; dois multiplexadores modelo AM16/32A, que têm a função de interligar os cabos termopares ao datalogger; uma placa solar com bateria de 12 V e 9 Ah, para alimentar todo o sistema e um datalogger CR10X, programado para realizar uma leitura da temperatura instantânea a cada 10 minutos em cada termopar e armazenar médias aritméticas a cada 30 minutos no decorrer das 24 horas do dia, além de registrar a temperatura máxima e mínima em cada dia (Figura 8). Semanalmente, fazia-se a coleta dos dados do datalogger com o auxílio de um notebook.

Esse sistema foi montado apenas no dia 18/02/2014, quando a cultura já se encontrava com 212 dias após o corte das plantas do 3^o ciclo, já que houve atrasos na entrega dos materiais necessários à sua construção. Por isso, infelizmente, não houve como se avaliar a influência dos níveis de palhada sobre a temperatura do solo no início do ciclo, quando há expectativa que essa interferência seja mais perceptível.

O sistema permitiu o registro contínuo de dados de temperatura do solo, em intervalos de 30 minutos, que após a média aritmética obteve-se a temperatura horária do dia durante três dias de coletas (214, 215 e 216 DAC), o que gerou um total de 72 registros. Logicamente, torna-se inviável a análise horária dos dados durante todo o ciclo em estudo. Por essa razão, optou-se pela análise dos dados em intervalos de 12 dias durante o ciclo de cultivo. As estimativas das temperaturas, em cada profundidade de medição, foram efetuadas da seguinte forma: a) temperatura média diária do solo (Tmed) – obtida pela média dos 48 registros diários; b) temperatura máxima diária do solo (Tmax) – definida como o valor máximo registrado dentre os 48 registros diários; c) temperatura mínima diária do solo (Tmin) - definida como o valor mínimo registrado dentre os 48 registros diários e d) amplitude térmica diária do solo – estimada como a diferença entre a temperatura máxima e mínima diárias do solo (Tmax - Tmin).

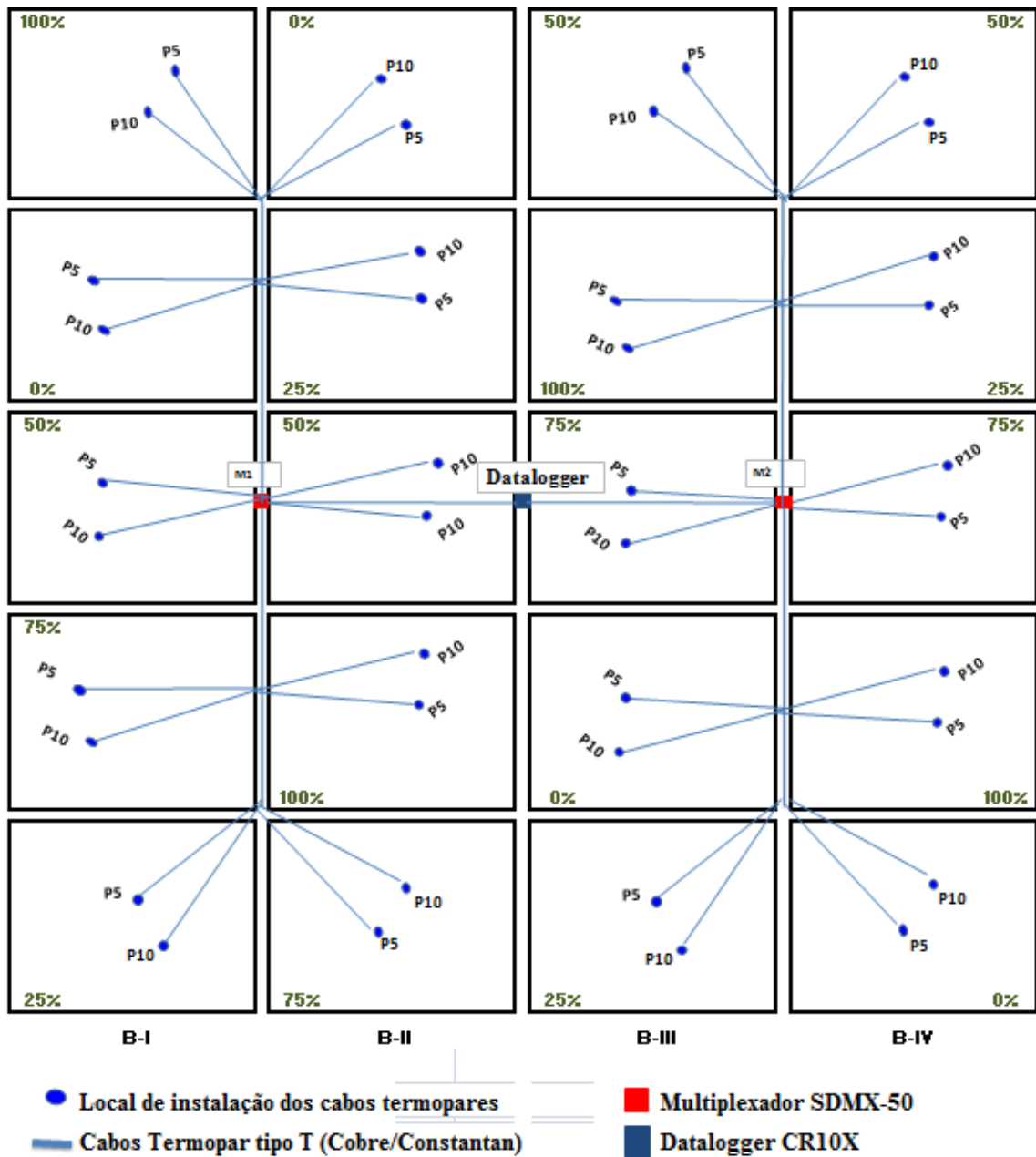


Figura 7 - Croquis de distribuição dos cabos termopares no campo

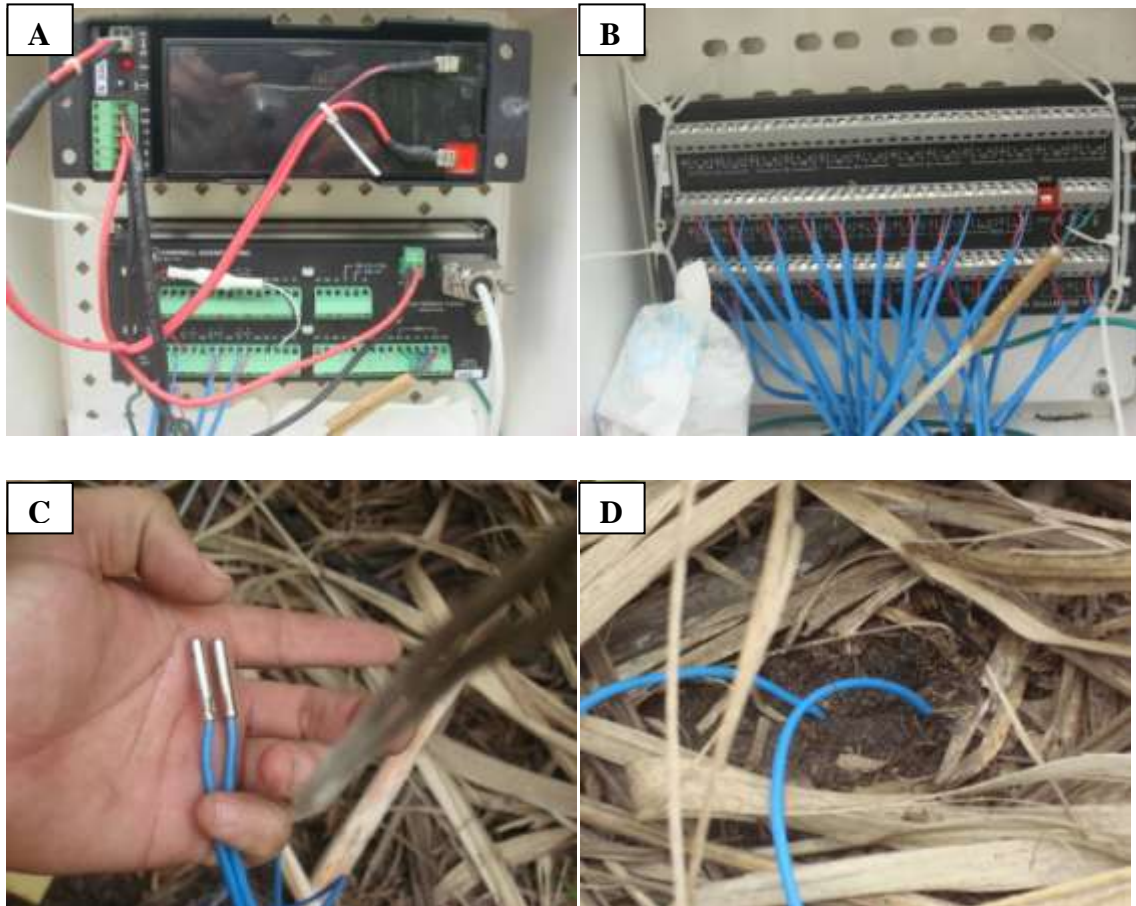


Figura 8 - Bateria e datalogger CR10X (A), multiplexador (B), cabos termopar Tipo T encapsulados em terminal de aço inox (C) e detalhe dos cabos inseridos no solo (D). Usina COMVAP, União - PI, 2013.

A dinâmica da temperatura no solo coberto com diferentes níveis de palhada foi avaliada em dezoito períodos sendo obtidos pela média de oito dias, totalizando 144 dias, buscando-se contemplar todo o ciclo de desenvolvimento da cana soca (Tabela 4).

Tabela 4 - Períodos de avaliação da temperatura do solo e seus respectivos intervalos de dias após o corte da cultura (DAC), ao longo do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar. Usina COMVAP, União - PI, 2013/2014.

Período	DAC	Período	DAC	Período	DAC
1	216 - 224	7	265 - 272	13	313 - 320
2	225 - 232	8	273 - 280	14	321 - 328
3	233 - 240	9	281 - 288	15	329 - 336
4	241 - 248	10	289 - 296	16	337 - 344
5	249 - 256	11	297 - 304	17	445 - 352
6	257 - 264	12	305 - 312	18	353 - 360

3.6. Monitoramento climático

O registro dos dados climáticos ocorridos durante o período de condução do ensaio foi efetuado por uma estação agrometeorológica automática (Figura 9), distante cerca de 500 m da área experimental. Essa estação é constituída por sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica. Para realizar as leituras e armazenar os dados foi utilizado um microprocessador eletrônico (datalogger), programado para fazer médias das leituras dos sensores a cada 12 minutos.



Figura 9 - Estação agrometeorológica automática instalada na Usina COMVAP.

Com esses registros, foi estimada a evapotranspiração de referência (ET_o) diária pelo método de Penman-Monteith, conforme metodologia proposta pelo boletim FAO-56, (ALLEN *et al.*, 2005), e quantificada as chuvas ocorridas durante o período de condução do ensaio.

Com os registros pluviométricos armazenados pela estação agrometeorologia, mais as laminas de irrigação de salvamento aplicada na área experimental durante sua condução, através do sistema de pivô central, foi quantificada a lâmina de água aplicada no ensaio.

3.7. Medidas de crescimento das plantas

Objetivando correlacionar as medidas de umidade e temperatura do solo com o desenvolvimento da cultura, foi quantificado mensalmente, a partir dos 90 dias após o corte da cana soca o índice de área foliar - IAF. Para tal foram selecionadas como amostras as plantas de um metro linear de cada parcela. O IAF foi mensurado a partir do valor da área foliar - AF, dividido pelo espaçamento da cultura ($1,40 \text{ m}^2$). Para o cálculo da área foliar, seguiu a metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999), sendo realizadas medições do comprimento e largura da folha 3+, segundo o sistema de Kuijper (DILLEWIJN, 1952), com auxílio de uma fita métrica e régua, respectivamente.

3.8. Delineamento experimental e análise estatística

O ensaio foi conduzido em um delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos constaram da combinação de cinco níveis de palhada (0; 4,19; 9,54; 13,04; e $18,38 \text{ Mg ha}^{-1}$) versus duas profundidades de medição da umidade do solo (0 a 0,30 e de 0,30 a 0,60 m) e duas profundidades de medição da temperatura do solo (0,05 e 0,10 m). Os tratamentos foram arranjados em parcelas sub-subdivididas, com os períodos de avaliação nas parcelas, os níveis de palhada nas subparcelas e as profundidades de medição nas sub-subparcelas. A umidade do solo foi monitorada durante quatro períodos de secagem com variados números de dias entre os mesmos ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar (Tabela 3). A temperatura do solo foi monitorada durante 18 períodos de avaliação (Tabela 4).

As medidas de armazenamento e perdas acumuladas de água nas duas profundidades do solo, assim como a temperatura média, mínima, máxima e a amplitude térmica do solo nas duas profundidades avaliadas foram submetidas à análise de variância pelo teste F, utilizando-se o programa computacional Assistat (SILVA & AZEVEDO, 2009), seguidos de análise de regressão pelo software TableCurve.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Dados climáticos e irrigação

Os elementos climáticos como a radiação solar global (R_g), temperatura média, máxima e mínima do ar atmosférico ao longo do período de acompanhamento da umidade do solo estão apresentados nas Figuras 10 e 11. A R_g oscilou entre 21 e 11 MJ m^{-2} dia com média diária de 13 MJ m^{-2} .

Quanto aos registros extremos de temperatura máxima e mínima do ar foram de 38°C e 18°C , respectivamente. Os valores de radiação solar global e temperatura máxima e mínima do ar apresentaram-se mais elevados e com maiores oscilações nos meses de outubro a dezembro, tendendo a aumentar em julho após ter sido finalizado o período das chuvas (Figura 12). Os registros de radiação solar global e temperatura do ar oscilaram dentro da faixa considerada normal para essa época do ano na região (BASTOS *et al.*, 2013).

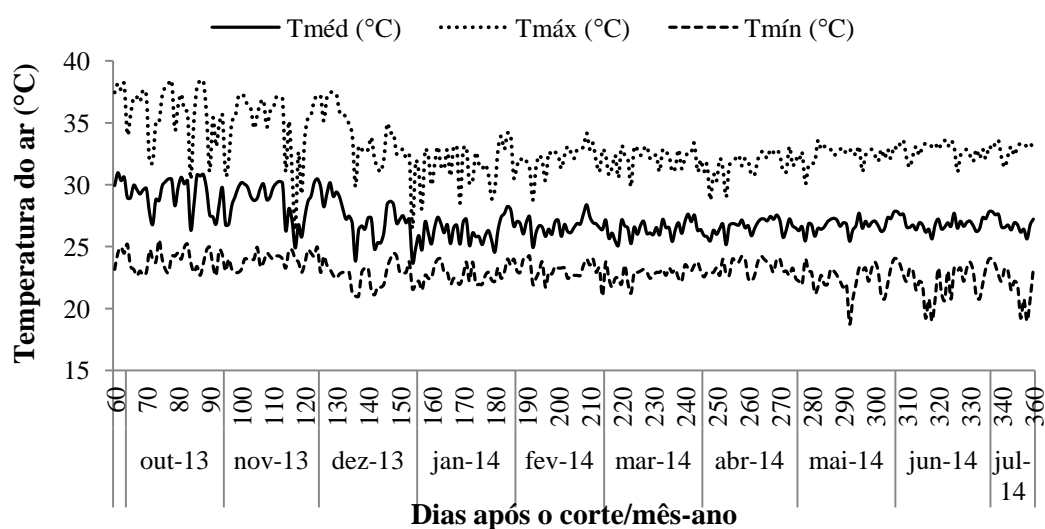


Figura 10 - Temperaturas média, máxima e mínima do ar durante o período experimental. Usina COMVAP. União - PI, 2013/2014.

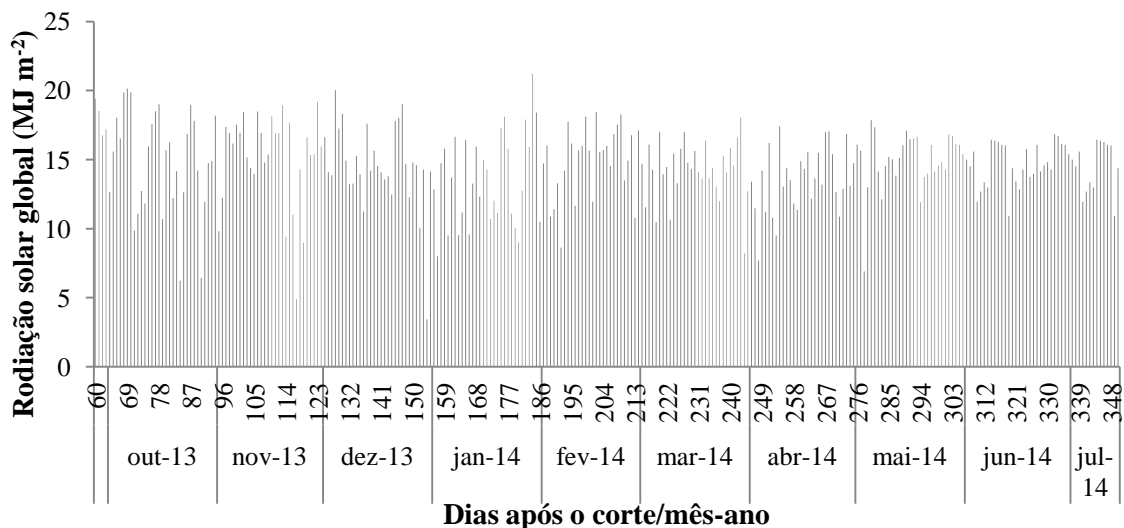


Figura 11 - Radiação solar global durante o período experimental. Usina COMVAP. União - PI, 2013/2014.

Quanto a precipitação, registrou-se um total de 1132 mm durante o período de monitoramento da umidade do solo, cuja distribuição diária das chuvas mais irrigação é apresentada na Figura 11. O período chuvoso concentrou-se nos meses de dezembro a abril, correspondendo ao período dos 171 aos 303 dias de cultivo, considerado normal para essa região (BASTOS *et al.*, 2013). Foram aplicados 101 mm de água via sistema de irrigação pivô central, com uma lâmina média de 25 mm, aplicadas no período de estabelecimento da cultura e para suprir apenas parte da necessidade hídrica das plantas, já que a Usina adota a modalidade de irrigação de salvação.

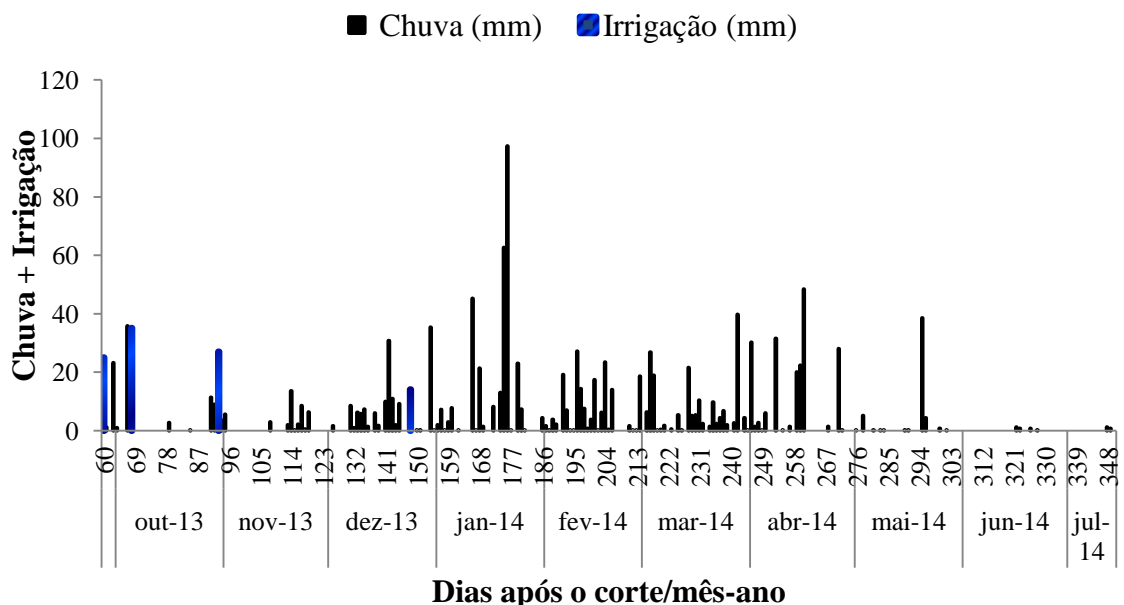


Figura 12 – Precipitação e irrigação registradas durante o período experimental. Usina COMVAP, União-PI, 2013/2014.

Quanto a evapotranspiração de referência (ET_o), os registros diários extremos oscilaram de 7,0 mm, no dia 04/10/2013, a 2,0 mm, em 26/01/2014. Essa variação é considerada normal para essa época do ano na região (BASTOS *et al.*, 2013). Os menores valores de ET_o ocorreram justamente nos meses de janeiro a março, quando há redução nos valores de temperatura do ar (Figura 10) e radiação solar global (Figura 11), que promovem a redução dos valores de ET_o nessa época do ano.

Uma análise comparativa da precipitação mais irrigação e evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c) acumulados ao longo do ciclo de cultivo da cana-açúcar é apresentada na Figura 13. Durante o período de outubro a janeiro, as curvas de ET_o e ET_c acumuladas foram superiores à de precipitação acumulada, indicando a ocorrência de déficit hídrico no solo nessa época do ano, o qual foi apenas amenizado com a aplicação da irrigação de salvação. Por outro lado, no período de fevereiro a maio, com o início e estabelecimento do período chuvoso, as curvas de ET_o, ET_c e precipitação acumuladas se invertem, indicando, a priori que a necessidade hídrica da cultura foi atendida pelas chuvas, já que nesse período do ano não se utiliza irrigação na área.

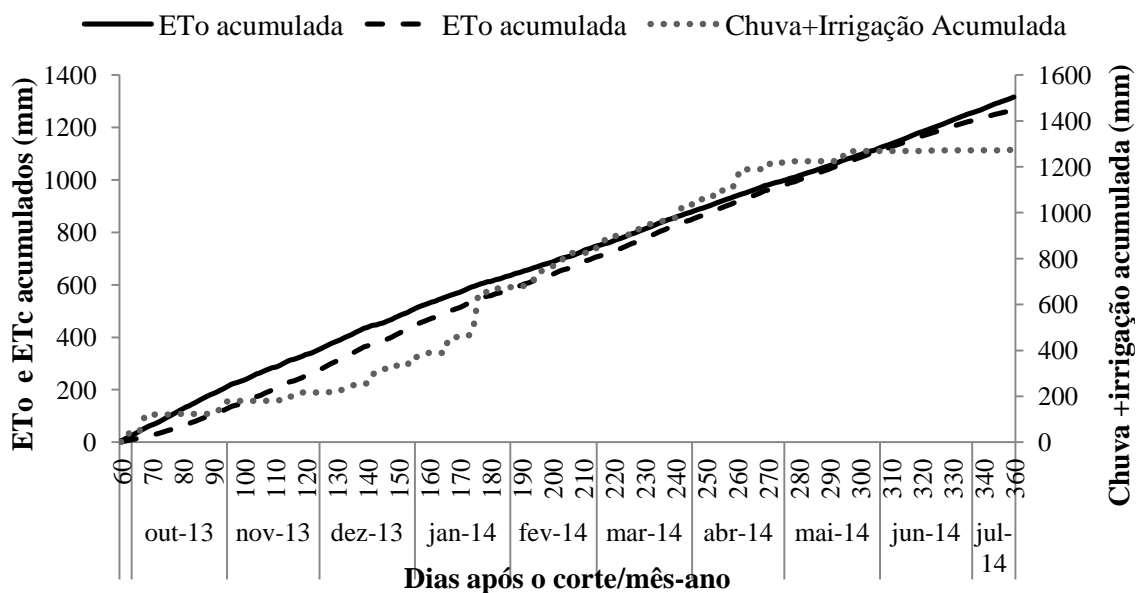


Figura 13 - Evapotranspiração de referência (ET_oac), evapotranspiração da cultura (ET_cac) e precipitação mais irrigação, todos acumuladas, durante o ciclo de cultivo da cana-de-açúcar. Usina COMVAP. União - PI, 2013/2014.

A expectativa é que a manutenção dos diferentes níveis de palhada sobre a superfície do solo venha a promover dinâmicas distintas de água no solo em relação ao solo sem cobertura, quer seja pela promoção de maior retenção de água, devido ao acréscimo no conteúdo de MO (matéria orgânica) no solo, ou pela redução da

evaporação, já que a palha atua como uma barreira física de impedimento à entrada da radiação solar sobre a superfície do solo, conforme será discutido posteriormente. Cabe ressaltar que a manutenção de uma profundidade de palha sobre a superfície do solo pode causar a redução do armazenamento de água, já que funciona como uma barreira física à penetração da água da chuva e/ou irrigação no solo (SILVA *et al.*, 2006a), em maior ou menor grau, dependendo da espessura da profundidade de palha. A mesma tendência, porém, em ordem inversa, se aplica as perdas de água do solo por evaporação (MULUMBA *et al.*, 2008).

4.2. Calibração da TDR 100

A calibração da TDR100 foi obtida pela relação da umidade do solo obtida pelo método padrão (estufa) e a constante dielétrica do solo - K_a obtida pelo equipamento que correlaciona a K_a com o tempo de propagação das ondas eletromagnética nos extremos de umidade do solo, objetivando obter novos coeficiente que melhor ajuste as equações.

A calibração é fundamental para obtenção mais próxima possível da real umidade do solo em cada condição edáfica. Pode ser feita no próprio campo ou em condições controlada, sendo neste caso necessário retirar as amostras da área que se deseja mensurar sua umidade. Neste processo, os riscos de erro aumentam, devido as alterações na estrutura, porosidade e densidade do solo.

O modelo matemático de calibração proposta por Topp *et al.* (1980) tem sido muito citado na literatura, mostrando-se adequada para a determinação da umidade, como por exemplo por Patterson e Smith (1981), Topp *et al.* (1984), Drungil *et al.* (1989), para solos com texturas variando entre argilosa e arenosa. No entanto, os autores têm verificado limitações de sua equação na estimativa do volume de água no solo com o uso da TDR em solos com elevado teor de MOS (HERKELRATH *et al.*, 1991; PEPIN *et al.*, 1992; MALICKI *et al.*, 1996), como os encontrados no sistema de plantio direto.

A Figura 14 retrata a correlaciona (θ versus K_a), a umidade volumétrica (padrão) com a estimada pela TDR 100 utilizando a equação de Ledieu *et al.* (1986), nas profundidades de 0 - 0,30 m (C30) e de 0,30 - 0,60 m (C60) do perfil de um Plintossolo Argilúvico.

Os coeficientes de ajuste da equação de Ledieu, para as condições do solo em estudo foram: -0,1996 e 0,1188 respectivamente para os coeficientes **a** e **b** na

profundidade C30, e nesta mesma ordem os coeficientes -0,1936 e 0,1176 para a C60. Esses coeficientes foram distintos dos obtidos por Ledieu -1758 (a) e 1138 (b) (LEDIEU *et al.*, 1986). Outros pesquisadores ajustaram os modelos de Ledieu para as condições locais (MALICKI *et al.* 1996; TOPP *et al.* 1996)

A partir destes coeficientes os modelos matemáticos obtidos nas profundidades C30 e C60 para estimar a umidade volumétrica (θ) foram:

$$C30 \rightarrow \theta = -0,1996 + 0,1188\sqrt{Ka} \quad 4$$

$$C60 \rightarrow \theta = -0,1936 + 0,1176\sqrt{Ka} \quad 5$$

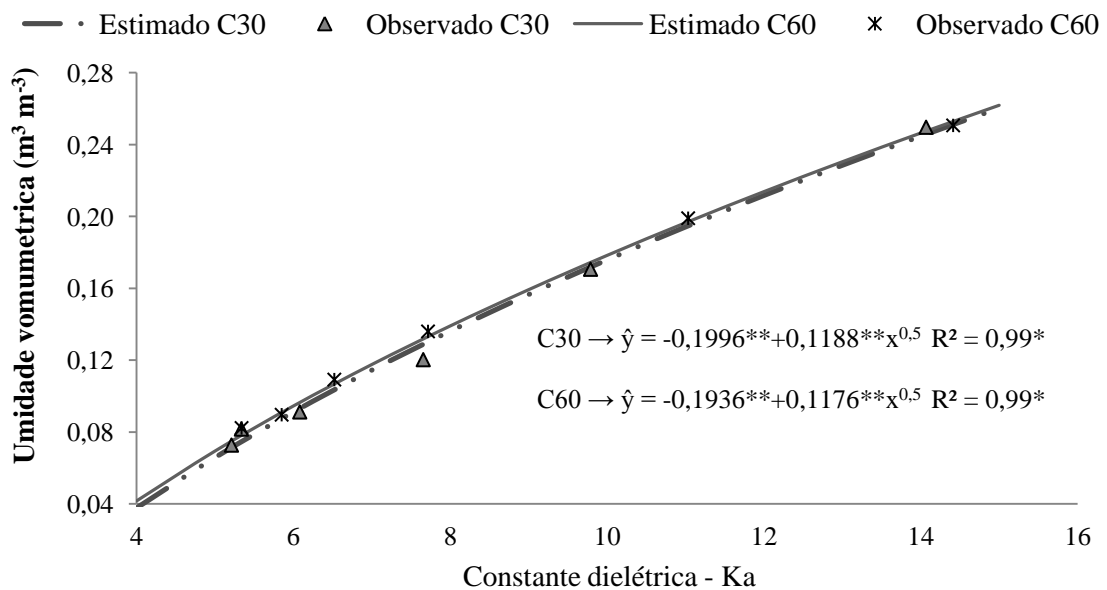


Figura 14 - Umidade volumétrica padrão em função da constante dielétrica de Ledieu *et al.* (1986) (TDR 100), em duas profundidades C30 (0 - 0,3) e C60 (0,3 - 0,6 m) um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar, 3ª soca. Usina COMVAP. União - PI, 2013.

Na Figura 15 pode-se perceber a estreita relação entre a umidade estimada pela equação de ajustada para a condição local de estudo e a umidade determinada em laboratório (em estufa).

Tanto na profundidade superficial C30, como na subsuperficial C60 as equações ajustadas apresentaram-se adequadas para o acompanhamento da dinâmica da água nas condições de solo em estudo.

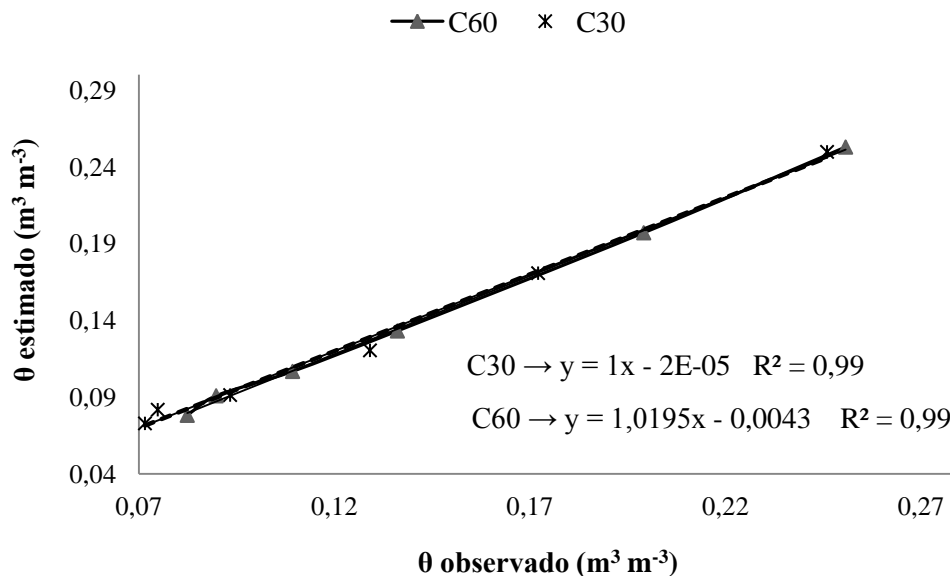


Figura 15 - Relação entre a umidade estimada pela equação ajustada e a umidade padrão (laboratório) nas duas profundidades C30 (0 - 0,3 m) e C60 (0,3 - 0,60 M) de um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana soca. Usina COMVAP. União - PI, 2013.

4.3. Medidas de crescimento das plantas

O índice de área foliar - IAF têm influência direta na dinâmica da umidade do solo (RITCHIE & BASSO, 2008; CHABAT, 2010) e na produtividade final de colmos e palhada (TAIZ & ZEIGER, 2004), os quais são utilizados pelas usinas sucroalcooleiras na produção de álcool de segunda geração, aquecimento das caldeiras e proteção dos campos de produção agrícolas.

Na Figura 16 observa-se evolução mensal do IAF da cana-de-açúcar cultivados em solos com diferentes teores de palhada distribuída uniformemente sobre a superfície do solo após o seu corte. O acréscimo de IAF da cana apresentou-se mais acentuado entre 90 a 270 dias após o corte (DAC). Após essa data observou-se redução do IAF, devido a senescência das folhas e estabilização do crescimento da planta.

A cultura apresentou IAF máxima de 4,62 e 5,5 em solos com 18,39 Mg ha^{-1} e sem palhada no 270 DAC, representando ganho de 0,88 no IAF entre esses níveis de palhada. Os outros níveis de palhada apresentam pequena influência nesta variável.

Índice de área foliar - IAF

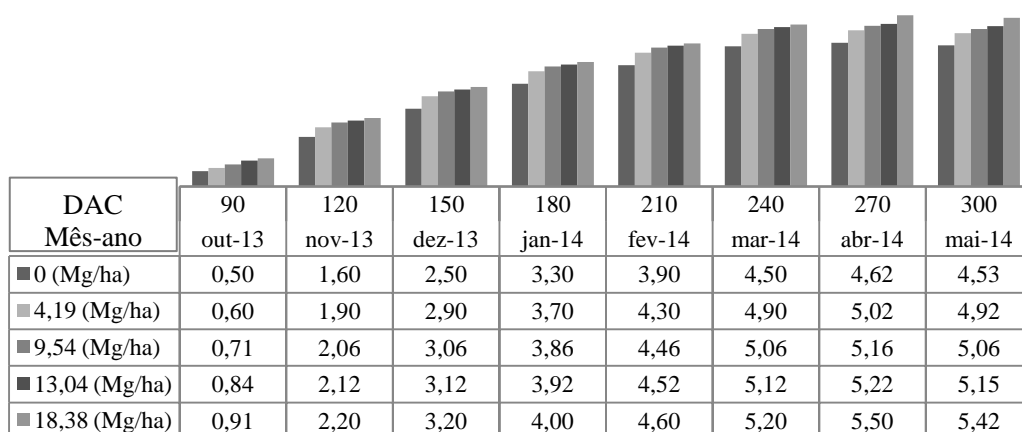


Figura 16 - Índice de área foliar mensal em diferentes épocas de crescimento e desenvolvimento (DAC - dias após o corte), da cana-de-açúcar de terceira soca. União - PI, safra julho2013/julho2014.

4.4. Dinâmica da água no solo

Na Tabela 5 é apresentado o resultado da análise de variância pelo teste F para o variável armazenamento diário de água no solo (AS) e perda de água acumulada do solo (PAS), nas duas profundidades de seu perfil em estudo (0 - 0,3 e 0,3-0,6 m), em resposta a manutenção de cinco níveis de palhada sobre a superfície do solo, nos quatro períodos de monitoramento avaliados.

Quanto ao armazenamento de água no solo, houve efeito significativo ($p < 0,01$) do fator tempo (Trat-a) isoladamente em todos os períodos de monitoramento avaliados, indicando ter ocorrido variação na umidade do solo devido as perdas por evaporação e/ou transpiração das plantas em todos os períodos. A interação do fator tempo (Trat-a) e níveis de palhada (Trat-b) apenas apresentou-se significativa ($p < 0,01$) nos períodos 3 e 4, indicando que o armazenamento de água no solo apenas foi afetado pelos níveis de palhada a partir dos 310 DAC, quando a cultura já se encontrava no seu máximo crescimento foliar, requerendo elevada disponibilidade de água para atender a sua necessidade hídrica. Ressalta-se também que nessa fase do ciclo já havia ocorrido a decomposição total da palhada, contribuindo para a elevação do conteúdo de MO do solo, nos diferentes tratamentos.

Como houve também efeito significativo do fator profundidade de medição (Trat-c), a alteração no armazenamento de água ocorreu de forma distinta entre as duas profundidades de solo avaliadas. Esse comportamento era esperado já que o conteúdo

da MO do solo mostrou-se diferente entre as duas profundidades de solo, promovendo a retenção de água no solo de forma diferenciada (Tabela 1).

Tabela 5 - Quadrado médio (QM) da análise de variância para o armazenamento diário de água (AS) e perda de água acumulada (PAS), nas duas profundidades do solo, em resposta a manutenção de cinco níveis de palhada sobre sua superfície, nos quatro períodos de monitoramento de secagem do solo. Usina COMVAP, União – PI, 2013/2014

FV	GL	QM AS1	GL	QM PAS1	GL	QM AS2	GL	QM PAS2
Blocos	3	246**	3	207**	3	163**	3	500**
Trat-a (Ta)	11	6701**	10	4767**	9	5714**	8	3356**
Resíduo-a	33	19	30	17	27	13	24	9
Trat-b (Tb)	4	3287	4	2815	4	3050	4	746
Int. Ta x Tb	44	38 ^{ns}	40	17*	36	16 ^{ns}	32	8**
Resíduo-b	144	39	132	34	120	21	108	30
Trat-c (Tc)	1	7413**	1	11201**	1	38**	1	93**
Int. Ta x Tc	11	139**	10	70*	9	5 ^{ns}	8	5 ^{ns}
Int. Tb x Tc	4	205**	4	172**	4	51**	4	52**
Int.TaTbTc	44	4**	40	4**	36	4 ^{ns}	32	4**
Resíduo-c	180	20	165	36	150	5	135	12
Média Geral		50		26		38		26
CV%-a		8		16		9		11
CV%-b		12		22		11		21
CV%-c		8		22		5		13
FV	GL	QM AS3	GL	QM PAS3	GL	QM AS4	GL	QM PAS3
Blocos	3	106**	3	20**	3	232**	3	11**
Trat-a (Ta)	11	210**	10	137**	13	258**	12	206**
Resíduo-a	33	1	30	0,9	39	1	36	1
Trat-b (Tb)	4	531	4	165	4	794	4	74
Int. Ta x Tb	44	2**	40	1**	52	2**	48	2 ^{ns}
Resíduo-b	144	15	132	3**	168	32	156	3
Trat-c (Tc)	1	1196**	1	1418**	1	802**	1	725**
Int. Ta x Tc	11	19**	10	9**	13	13*	12	11**
Int. Tb x Tc	4	5 ^{ns}	4	17**	4	27**	4	8**
Int.TaTbTc	44	0,5**	40	0,5	52	1**	48	1**
Resíduo-c	180	4	165	3	210	6	195	2
Média Geral (mm)			24		5	20		5
CV%-a			5		18	6		26
CV%-b			16		37	28		37
CV%-c			8		34	12		32

* e ** indicam significância em nível de probabilidade de erro de $0,05 < p \leq 0,01$ e $p < 0,01$ respectivamente e ^{ns} não significativo pelo teste F; Trat-a = número de dias avaliados em cada período de secagem do solo; Trat-b = níveis de palhada; Trat-c = profundidade de medida de AS e PAS. CV%-a; CV%-b e CV%-c = Coeficiente de variação para Trat-a, Trat-b e trat-c, respectivamente.

Quanto à perda de água acumulada no solo, houve efeito significativo ($p < 0,01$) do fator tempo (Trat-a) isoladamente em todos os períodos de monitoramento avaliados, indicando ter ocorrido perdas de água por evaporação e/ou transpiração das plantas em todos os períodos.

A interação do fator tempo (Trat-a) e níveis de palhada (Trat-b) apresentou-se significativa ($p < 0,01$) nos períodos 1, 2 e 3, indicando que a perda de água no solo foi afetada pelos níveis de palhada apenas até os 310 DAC, quando a cultura já se encontrava no seu máximo crescimento foliar, requerendo alta disponibilidade de água para atender a sua necessidade hídrica. Como houve também efeito significativo do fator profundidade de medição (Trat-c), a perda de água no solo ocorreu de forma distinta entre as duas profundidades de solo avaliadas. Esse comportamento era esperado já que as perdas de água ocorrem mais facilmente na profundidade superficial do solo, onde se concentra mais raízes da cultura, bem como devido à maior exposição do solo à evaporação direta de água, promovendo maior extração de água da profundidade superficial.

Com o intuito de melhor avaliar os efeitos dos fatores estudados (tempo de monitoramento, níveis de palhada e profundidade de medição), de forma isolada e em conjunto, sobre a dinâmica da água no solo, apresentam-se os tópicos a seguir:

4.4.1. Armazenamento e perda de água no solo

O armazenamento de água no solo alterou-se durante o período de monitoramento em resposta aos diferentes níveis de palhada mantidos sobre a superfície do solo, nas duas profundidades, em todos os períodos avaliados. Por essa razão, inicialmente, optou-se por apresentar e discutir os resultados de armazenamento e perda de água no solo por cada profundidade de solo avaliada. Em seguida, serão apresentados e discutidos os resultados das equações de regressão obtidas para o armazenamento de água no solo em função do tempo de secagem, nas duas profundidades de medição, em resposta aos níveis de palhada mantidos sobre a superfície do solo.

4.4.2. Armazenamento e perda de água na profundidade de 0 - 0,30 m

Nas Figuras 17 e 18 é apresentada a variação do armazenamento e das perdas de água no solo, na profundidade 0 - 0,30 m, durante os períodos de tempo de secagem, em resposta aos diferentes níveis de palhada, nos quatro períodos de monitoramento avaliados respectivamente. As equações de regressão ajustadas aos dados observados de armazenamento de água no solo em relação ao tempo de secagem, convertido em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ET_{cac}), são apresentadas na Tabela 6. Essa conversão do tempo de secagem (em dias) para ET_{cac} (em mm) foi necessária

para inserir-se a capacidade de extração de água diferenciada das plantas face ao seu período de desenvolvimento no processo de extração de água do solo, o que não seria possível adotando-se o tempo de secagem em dias, no qual seria assumido como se as plantas tivessem a mesma capacidade de extração de água, embora em fases de desenvolvimento distintas.

De forma a permitir a avaliação do armazenamento de água no solo em relação aos limites crítico superior e inferior de disponibilidade de água no solo, plotou-se na Figura 17 as linhas indicativas do armazenamento de água no solo na condição de capacidade de campo ($CC = 75$ mm) e ponto de murcha permanente do solo ($PMP = 15$ mm), bem como do armazenamento crítico de água para a cultura ($AC = 30$ mm). O armazenamento crítico representa a fração de água facilmente disponível no solo para as plantas, ou seja, o limite até o qual as plantas podem extrair água do solo sem haver redução de sua evapotranspiração. Além desse limite, as plantas passam a extrair água do solo, porém, com comprometimento de suas atividades fisiológicas, entrando em estado de estresse hídrico. Essa fração denomina-se de fração “p”, a qual é variável para cada cultura, dependendo de uma série de fatores. Para a cana-de-açúcar, o Manual FAO-56 (ALLEN *et al.*, 2005) recomendam a adoção da fração “p” igual a 0,5, ou seja, a água facilmente disponível é igual a metade da água armazenada entre a CC e o PMP. Da mesma forma, plotou-se na Figura 18, a linha indicativa da perda de água equivalente a extração de água para atingir-se o armazenamento crítico ($PAS = 30$ mm).

Em todos os períodos avaliados, o armazenamento de água no solo no tratamento sem cobertura de palha, durante todo o período de monitoramento, foi inferior aos valores de armazenamento de água no solo nos tratamentos com cobertura de palha, notadamente, no período 1, reflexo das maiores perdas de água por evaporação direta nesse tratamento (Figura 18), já que o solo encontra-se mais exposto a radiação solar, devido ao menor sombreamento das entrelinhas de plantio, evidenciado pelos reduzidos valores de IAF nessa fase de desenvolvimento da cultura (Figura 16).

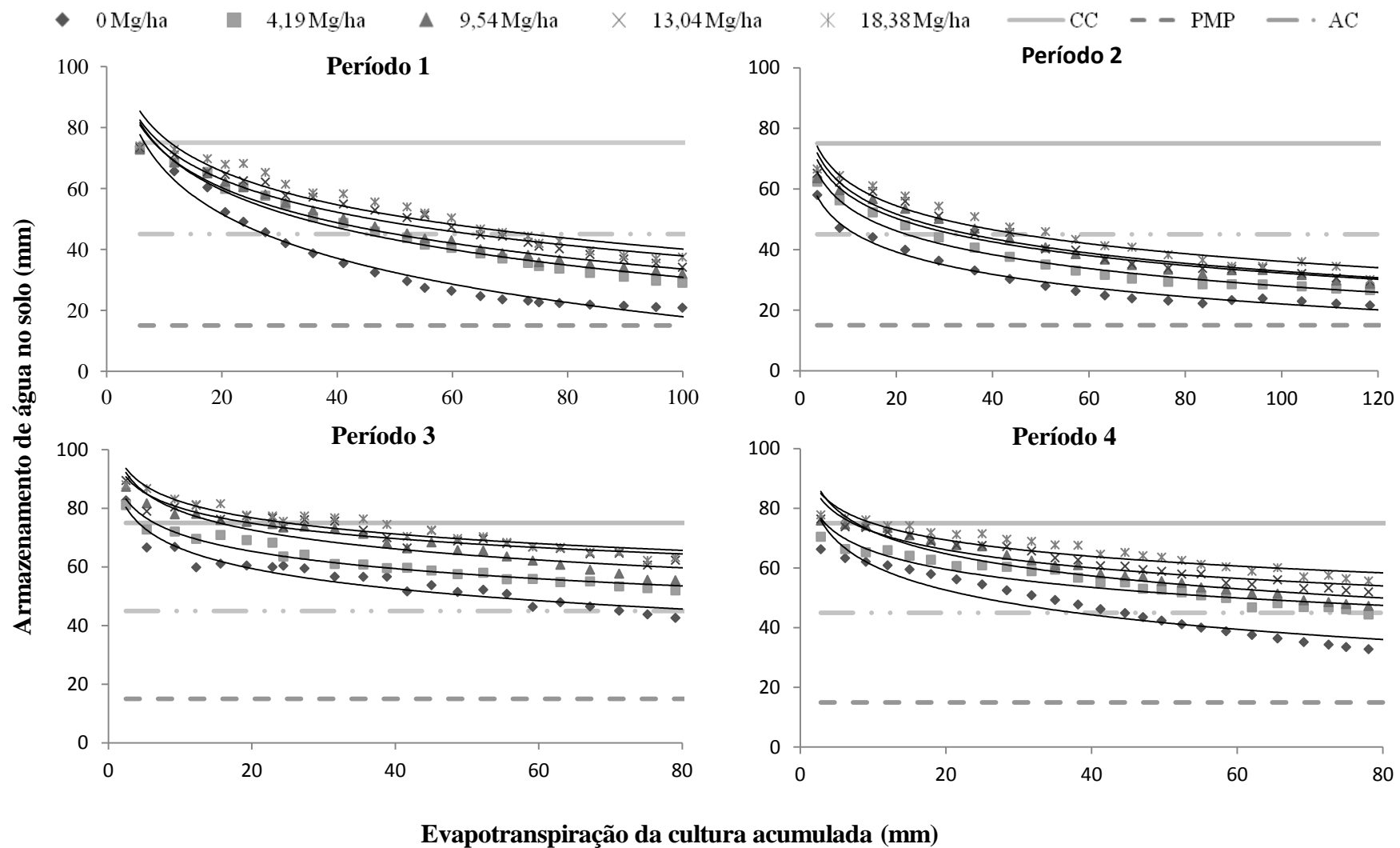


Figura 17 - Variação do armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0 – 0,3 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ET_{cac}), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014.

Para os tratamentos cobertos com palhada, em todos os períodos avaliados, houve uma gradativa redução do armazenamento de água no solo em ordem inversa a quantidade de palha disposta na superfície do solo. Ou seja, houve maior redução no armazenamento de água no solo onde havia menor quantidade de palha disposta na superfície do solo. Nessa condição, há dois componentes atuando nas perdas de água do solo (evaporação direta de água da superfície e extração de água pelas raízes da planta promovida pela transpiração), os quais não são possíveis de serem separados nas condições do presente estudo (Figura 17). Contudo, para os períodos 3 e 4, onde a cultura já cobre plenamente a superfície do solo (valores de IAF variando desde 4,53 a 5,5) (Figura 16), a componente evaporação perde importância enquanto a componente transpiração assume papel relevante na extração de água do solo. Comportamento esse fundamentado nos estudos conduzidos por Ritchie & Basso (2008); Andrade (2008); Taiz & Zeiger (2004).

É importante ressaltar que nos períodos 3 e 4 praticamente já foi finalizado o processo de decomposição da MO do solo em resposta a disposição dos diferentes níveis de palha sobre a superfície do solo. Por isso, nessa fase do ciclo, a dinâmica da água no solo é alterada também pelo conteúdo de MO do solo resultante da decomposição da palhada que havia sobre a superfície do mesmo.

Resultados semelhantes sobre o efeito da palhada na dinâmica da água no solo são descritos por Chabat (2010), que avaliou a adição de palhada sobre o conteúdo de água no solo, quanto a época e três profundidades. Concluiu que se deixando sobre a superfície do solo 4 Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal obtém-se maior armazenamento de água em todas as profundidades estudadas em relação a profundidade sem palhada.

Os dados medidos de armazenamento de água no solo (AS) seguiram um modelo logaritmo (não linear) em relação aos dados estimados de evapotranspiração da cultura acumulada (ET_{cac}), com bons coeficientes de determinação, em todos os períodos avaliados (Tabela 6).

Com a análise matemática dessas equações é possível mensurar-se os benefícios da palhada quanto à manutenção do armazenamento de água no solo, após eventos de chuva e/ou irrigação, traduzido no número de dias ou ET_c acumulada necessário para atingir-se o armazenamento crítico de água no solo (ND-AC e ET_c-AC), sem que a cultura sofra estresse hídrico, que venha a comprometer suas atividades fisiológicas e a produção de colmos. A variável ET_c-AC é extraída matematicamente das equações apresentadas na Tabela 6. A variável ND-AC foi obtida dividindo-se a ET_c-AC pela ET_c média de cada período avaliado.

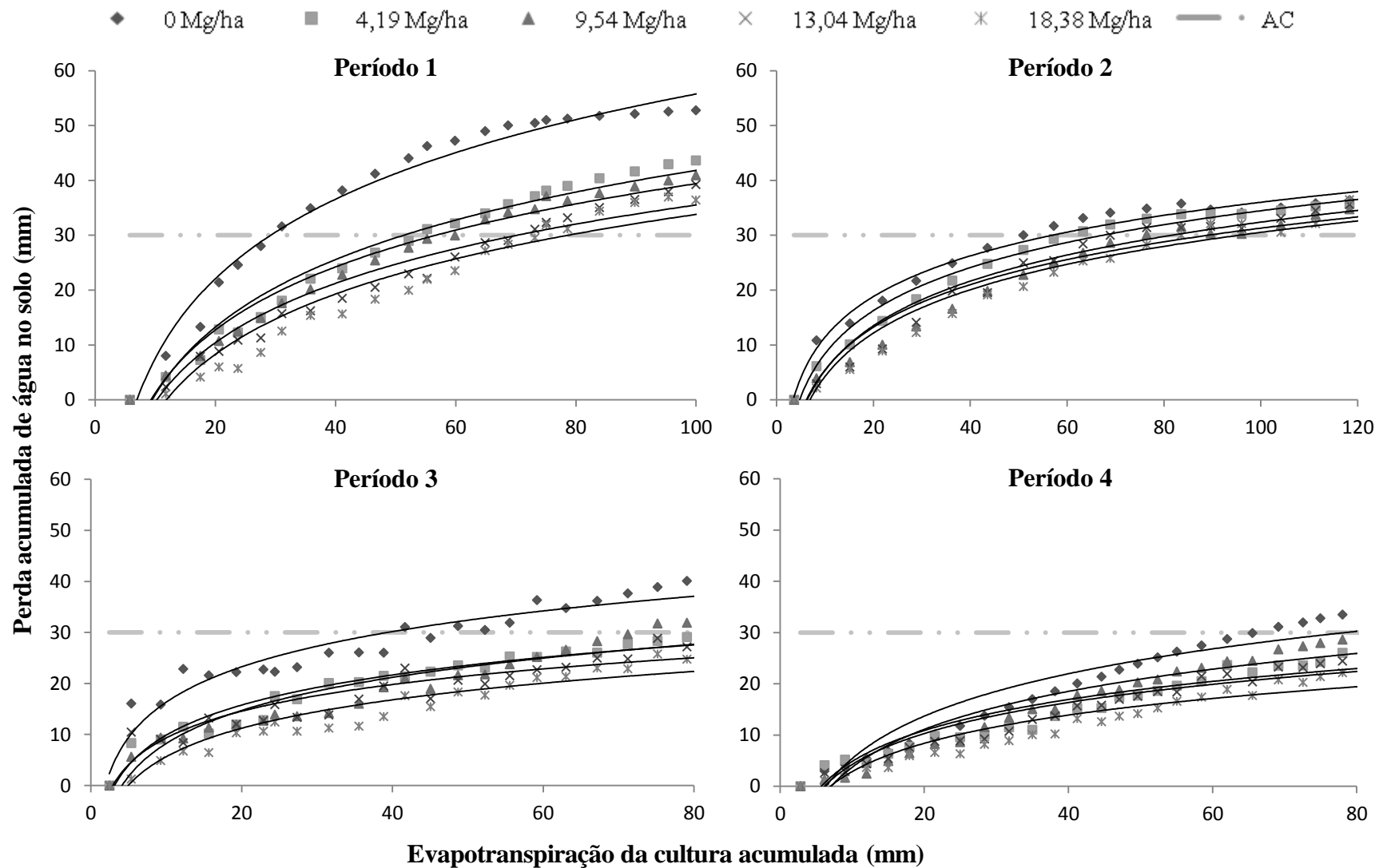


Figura 18 - Perdas de água acumulada na profundidade no solo (PAS), na profundidade de 0 – 0,3 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014.

De fato, no período 2, no qual a cultura apresenta máxima demanda por água ($K_c = 1,25$), os valores de ETc-AC e ND-AC são mais reduzidos, indicando uma rápida redução no armazenamento de água no solo por extração de água das raízes da cultura (Figura 18). Essa velocidade de redução do armazenamento de água é constatada pelos valores elevados do termo Ln (ETcac), notadamente, nos períodos 1 e 2. Nessa fase, se o solo for mantido sem cobertura de palha, o AC é atingido dois dias após evento de umedecimento (chuva e/ou irrigação) que eleve o solo à CC, enquanto que com o solo coberto com palhada esse tempo é aumentado de quatro (4,19 Mg ha⁻¹ de palha) a sete dias (18,38 Mg ha⁻¹), o que é extremamente importante em uma região com oferta pluviométrica irregular.

Tabela 6 - Equações de regressão para armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0 – 0,3 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, nos períodos de monitoramento avaliados. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014

Período	Palhada (Mg ha ⁻¹)	Equação	R ²	ETc-AC* (mm)	ND-AC**
1	0,00	AS = 114,28 – 20,93 Ln(ETcac)	0,9775	27,4	6
	4,19	AS = 112,66 – 17,77 Ln(ETcac)	0,9596	45,0	10
	9,54	AS = 109,86 – 16,57 Ln(ETcac)	0,9629	50,1	11
	13,04	AS = 109,69 – 15,59 Ln(ETcac)	0,9311	63,4	14
	18,38	AS = 113,08 – 15,85 Ln(ETcac)	0,9052	73,4	17
2	0,00	AS = 71,223 – 10,68 Ln(ETcac)	0,9801	11,6	2
	4,19	AS = 80,087 – 11,32 Ln(ETcac)	0,9792	22,2	4
	9,54	AS = 83,968 – 11,23 Ln(ETcac)	0,9481	32,1	5
	13,04	AS = 86,906 – 11,74 Ln(ETcac)	0,9468	35,5	6
	18,38	AS = 88,637 – 11,41 Ln(ETcac)	0,9334	45,8	7
3	0,00	AS = 89,359 – 9,978 Ln(ETcac)	0,9187	----	----
	4,19	AS = 90,838 – 8,513 Ln(ETcac)	0,9470	----	----
	9,54	AS = 100,60 – 9,332 Ln(ETcac)	0,8736	----	----
	13,04	AS = 97,565 – 7,555 Ln(ETcac)	0,8648	----	----
	18,38	AS = 100,89 – 8,037 Ln(ETcac)	0,8905	----	----
4	0,00	AS = 88,377 – 11,94 Ln(ETcac)	0,8956	37,8	12
	4,19	AS = 85,684 – 8,719 Ln(ETcac)	0,8656	----	----
	9,54	AS = 96,784 – 10,69 Ln(ETcac)	0,8866	----	----
	13,04	AS = 92,277 – 8,733 Ln(ETcac)	0,8902	----	----
	18,38	AS = 93,272 – 7,964 Ln(ETcac)	0,8550	----	----

*ETcac para atingir o armazenamento crítico (mm). **Número de dias para o armazenamento crítico. ---- Valores de ETc-AC estimados superiores aos valores experimentais.

Avaliando-se apenas os níveis de palhada entre si, obtêm-se ganhos de ND-AC, em relação ao menor nível de palhada, de um, dois e três dias, com o acréscimo na quantidade de palha disposta na superfície do solo de 5,3; 8,9 e 14,2 Mg ha⁻¹ de palha, resultando em relações de 5,3; 4,4 e 4,7 Mg ha⁻¹ de palha por dia adicional, para os tratamentos 50%, 75% e

100% de palha, respectivamente, em relação ao tratamento com apenas 25% de palha. Ou seja, a menor relação palha por dia adicional ($4,4 \text{ Mg dia}^{-1}$) foi obtida com o tratamento 75% de palha ($13,04 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Nos períodos 3 e 4, à exceção do tratamento sem palha, no período 4, as curvas de armazenamento de água no solo se mantiveram sempre acima da linha de armazenamento crítico (Figura 17), reforçando a importância da palhada para a manutenção de conteúdos adequados de água no solo sempre disponível à cultura, independentemente, da quantidade de palha disposta na superfície do solo. Por isso, não foi possível obter-se as relações ETc-AC e ND-AC, dentro dos limites de valores obtidos nas condições experimentais (Tabela 6).

Nesses períodos constata-se que o armazenamento de água no solo mantém-se favorável, mesmo na condição de solo sem cobertura de palha. Isso porque na fase final de desenvolvimento da cultura reduz-se a evaporação direta de água da superfície do solo, devido ao sombreamento das entrelinhas de cultivo, bem como a necessidade hídrica da cultura. Certamente, a maior retenção de água no solo devido ao acréscimo no conteúdo de MO do solo pela decomposição da palhada é responsável em parte por essa dinâmica da água no solo.

Esse resultado indica que os benefícios da palhada, quanto ao armazenamento de água no solo, se manifestam mais na fase inicial de estabelecimento e de máximo crescimento vegetativo da cana-de-açúcar. Knies (2010) afirma que o aumento no armazenamento de água no plantio direto, mesmo que pequeno, tem grande importância para culturas sensíveis ao déficit hídrico, principalmente, nos períodos críticos, podendo garantir rendimentos satisfatórios, reduzindo flutuações na produtividade. Este efeito é mais significativo em regiões com baixas ou irregulares precipitações pluviométricas e elevadas temperaturas.

4.4.3. Armazenamento e perda de água na profundidade de 0,30 - 0,60 m

Nas Figuras 19 e 20 são apresentadas as curvas de variação do armazenamento e das perdas de água no solo, na profundidade 0,3 - 0,6 m, durante o período de tempo de secagem, em resposta aos diferentes de palhada, nos quatro períodos de monitoramento avaliados, respectivamente. As equações de regressão ajustadas aos dados observados de armazenamento de água no solo em relação ao tempo de secagem, convertido em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), são apresentadas na Tabela 7.

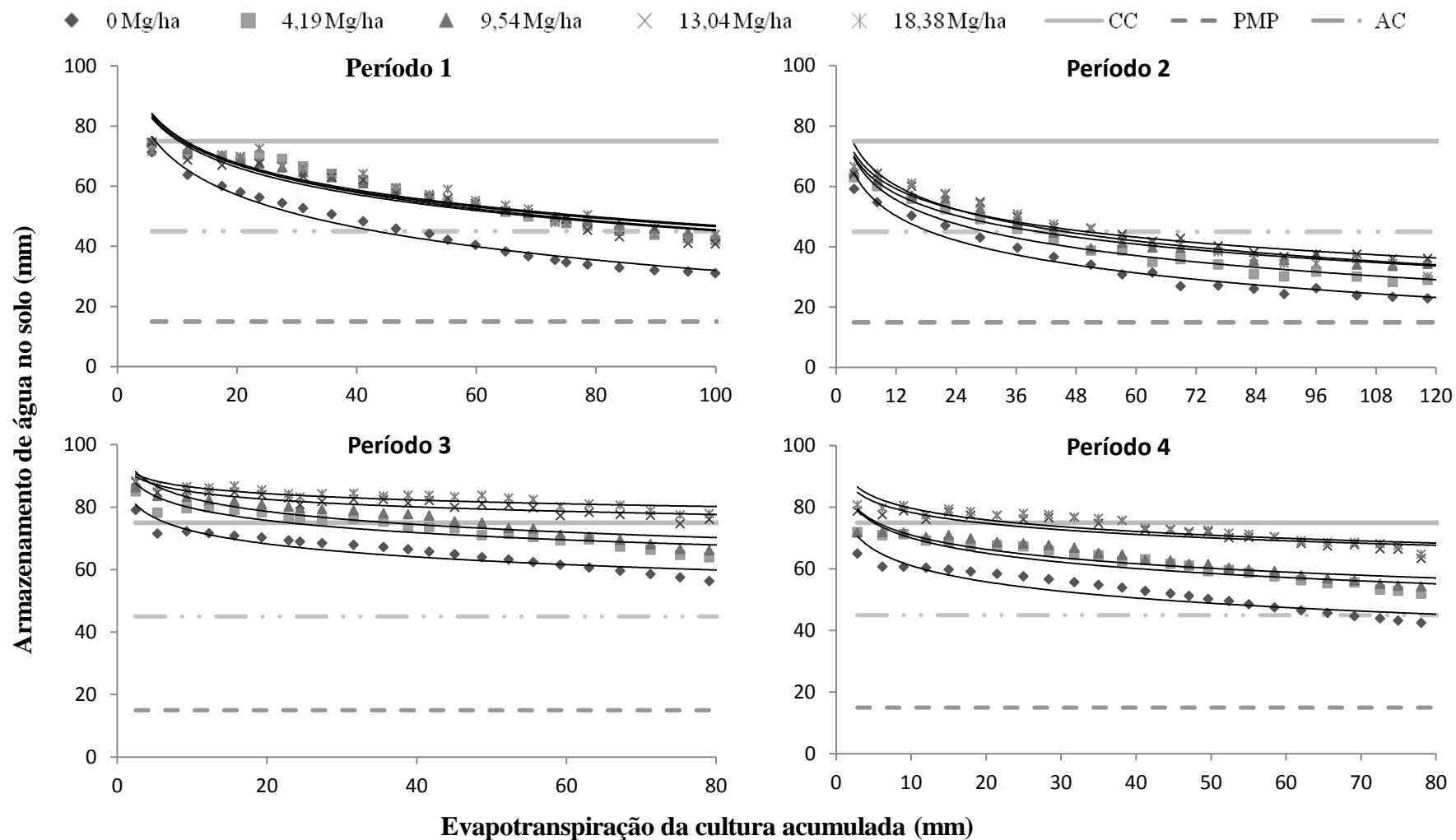


Figura 19 - Variação do armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0,3 – 0,6 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ET_{cac}), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014.

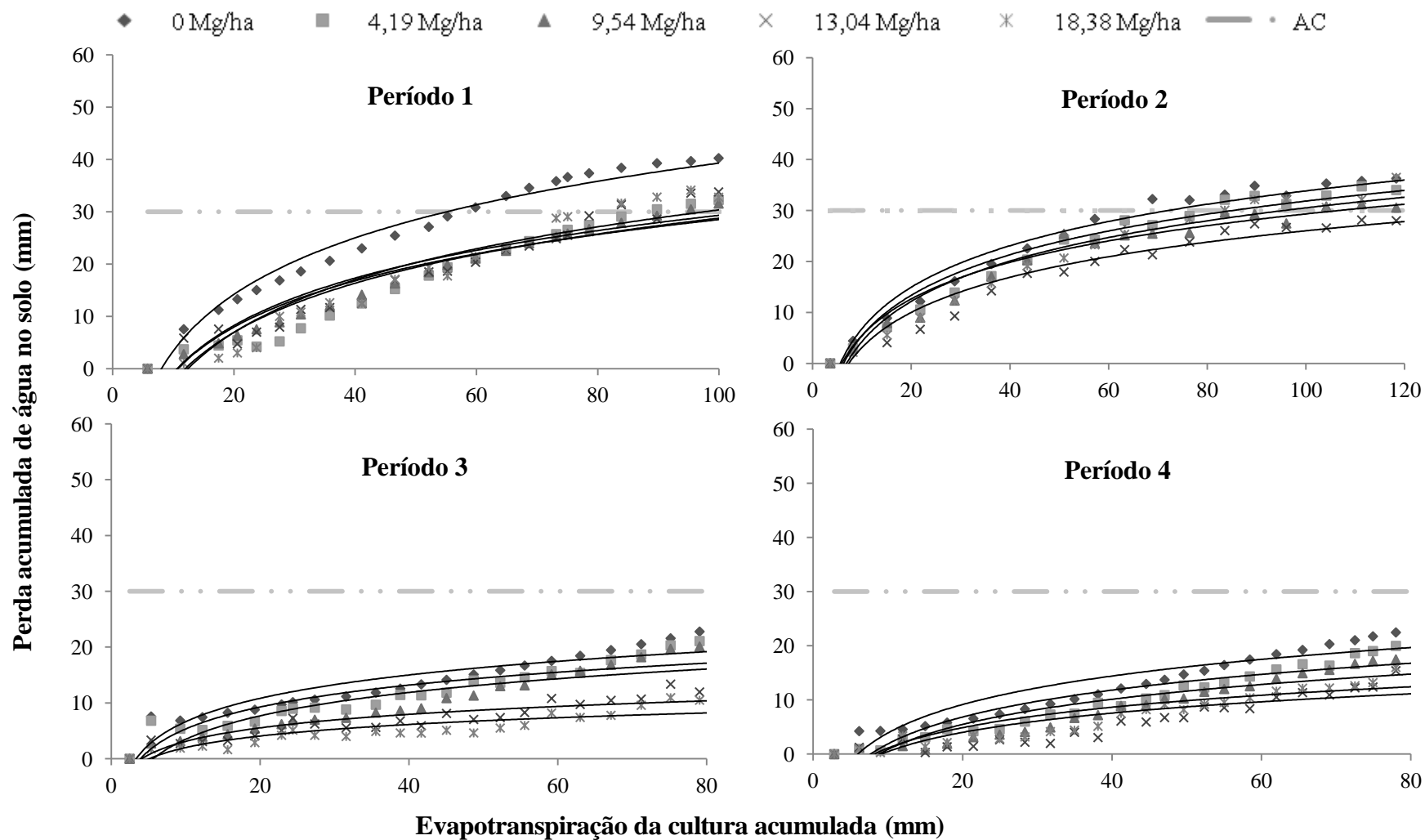


Figura 20 - Perdas de água acumuladas no solo (PAS), na profundidade de 0,3 – 0,6 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, em cada período de monitoramento avaliado. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014.

Em todos os períodos avaliados, da mesma forma como ocorreu com a profundidade de 0 – 0,3m, o armazenamento de água no solo no tratamento sem cobertura de palha, durante todo o período de monitoramento, foi inferior aos valores de armazenamento de água no solo nos tratamentos com cobertura de palha. Porém, com menor intensidade, já que ocorre uma menor contribuição da componente evaporação de água do solo, já que essa profundidade de solo não se encontra exposta diretamente aos raios solares. Há também uma menor contribuição da componente extração de água pelas raízes da cultura, devido a uma menor concentração das raízes da cultura na profundidade de 0,3 – 0,6m, nessa fase de desenvolvimento da cultura (MORELLI *et al.*, 1987).

Para os tratamentos cobertos com palhada, em todos os períodos avaliados, houve uma gradativa redução do armazenamento de água no solo em ordem inversa a quantidade de palha disposta na superfície do solo. Ou seja, houve maior redução no armazenamento de água no solo onde havia menor quantidade de palha disposta na superfície do solo. Porém, percebe-se, notadamente, no período 1, que as curvas de armazenamento de água no solo são muito próximas entre si, reforçando a reduzida contribuição dos componentes evaporação direta de água e extração de água pelas raízes (Figura 19), na dinâmica de água no solo nessa profundidade, durante essa fase de desenvolvimento da cultura. Contudo, para os períodos 3 e 4, onde a cultura já cobre plenamente a superfície do solo (valores de IAF variando desde 4,53 a 4,5) (Figura 16), as curvas de armazenamento de água no solo já se distanciam entre si, resultado da maior extração de água pelas raízes da cana-de-açúcar em maiores profundidades do solo, durante essa desenvolvimento (MORELLI *et al.*, 1987; SINGEL *et al.*, 2005).

É importante ressaltar que, nessa profundidade mais profunda, o armazenamento e as perdas de água no solo são pouco influenciados pelo processo de decomposição da MO do solo pela disposição dos diferentes níveis de palha sobre a superfície do solo. Nesse caso, o armazenamento de água é mais afetado pela composição granulométrica do solo, notadamente, a fração argila, que se apresenta com conteúdo mais elevado (112,0 g kg⁻¹) em relação a profundidade de 0 – 0,3m (81,2 g kg⁻¹) (Tabela 1).

Os dados medidos de armazenamento de água no solo (AS) também seguiram modelo logaritmo (não linear) em relação aos dados estimados de evapotranspiração da cultura acumulada (ET_{cac}), com bons coeficientes de determinação, em todos os períodos avaliados (Tabela 7).

Tabela 7 - Equações de regressão para armazenamento de água no solo (AS), na profundidade de 0,3 – 0,6 m, em função da evapotranspiração da cultura acumulada (ETcac), para cada nível de palhada mantido na superfície do solo, nos períodos de monitoramento avaliados. Usina COMVAP. União, PI, 2013/2014

Período	Palhada (Mg ha ⁻¹)	Equação	R ²	ETc-AC* (mm)	ND-AC**
1	0,00	AS = 103,82 – 15,60 Ln(ETcac)	0,9716	43,4	10
	4,19	AS = 107,97 – 13,56 Ln(ETcac)	0,8741	----	----
	9,54	AS = 105,43 – 12,78 Ln(ETcac)	0,9235	----	----
	13,04	AS = 105,53 – 13,11 Ln(ETcac)	0,8717	----	----
	18,38	AS = 106,34 – 12,90 Ln(ETcac)	0,8315	----	----
2	0,00	AS = 79,448 – 11,75 Ln(ETcac)	0,9632	18,8	3
	4,19	AS = 84,124 – 11,49 Ln(ETcac)	0,9513	30,1	5
	9,54	AS = 83,333 – 10,37 Ln(ETcac)	0,9481	40,3	7
	13,04	AS = 83,973 – 9,959 Ln(ETcac)	0,9313	50,1	8
	18,38	AS = 88,637 – 11,41 Ln(ETcac)	0,9334	45,8	7
3	0,00	AS = 86,278 – 6,028 Ln(ETcac)	0,8562	----	----
	4,19	AS = 92,715 – 5,668 Ln(ETcac)	0,8105	----	----
	9,54	AS = 96,736 – 6,049 Ln(ETcac)	0,7914	----	----
	13,04	AS = 92,926 – 3,489 Ln(ETcac)	0,7960	----	----
	18,38	AS = 93,249 – 2,982 Ln(ETcac)	0,7314	----	----
4	0,00	AS = 78,560 – 7,591 Ln(ETcac)	0,8191	83,2	27
	4,19	AS = 86,571 – 7,169 Ln(ETcac)	0,7980	----	----
	9,54	AS = 86,429 – 6,705 Ln(ETcac)	0,7994	----	----
	13,04	AS = 90,164 – 5,136 Ln(ETcac)	0,6568	----	----
	18,38	AS = 92,238 – 5,443 Ln(ETcac)	0,7313	----	----

*ETcac para atingir o armazenamento crítico (mm). **Número de dias para o armazenamento crítico. --- Valores de ETc-AC estimados superiores aos valores experimentais.

No período 2, no qual a cultura apresenta máxima demanda por água ($K_c = 1,25$), os valores de ETc-AC e ND-AC são mais reduzidos, indicando ter havido rápida redução no armazenamento de água no solo por perdas de água devidas à extração pelas raízes da cultura (Figura 19). Essa velocidade de redução do armazenamento de água é constatada pelos valores elevados do termo Ln (ETcac), notadamente, nos períodos 1 e 2. Nessa fase, se o solo for mantido sem cobertura de palha, o AC é atingido três dias após evento de umedecimento (chuva e/ou irrigação) que eleve o solo à CC, enquanto que com o solo coberto com palhada esse tempo é aumentado em cinco (4,19 Mg ha⁻¹ de palha) a oito dias (13,04 Mg ha⁻¹), o que é extremamente importante em uma região com oferta pluviométrica irregular.

Avaliando-se apenas os níveis de palha entre si, obtêm-se ganhos de ND-AC, em relação ao menor nível de palhada, de dois e três dias, com o acréscimo na quantidade de palha disposta na superfície do solo de 5,3 e 8,9 Mg ha⁻¹ de palha, resultando em

relações de 2,7 e 3,0 Mg ha⁻¹ de palha por dia adicional, para os tratamentos 50% e 75% de palha, respectivamente, em relação ao tratamento com apenas 25% de palha. Ou seja, não há uma diferença sensível no ganho de dias em relação à quantidade de palha adicional, como ocorreu na profundidade de 0 – 0,3 m. Além disso, para nível de palha relativo a 100% da cobertura do solo (18,38 Mg ha⁻¹), a relação ND-AC em relação a quantidade adicional de palha foi extremamente desfavorável, já que houve redução do ND-AC e incremento na quantidade de palhada sobre o solo (Tabela 7).

Nos períodos 3 e 4, à exceção do tratamento sem palha, no período 4, as curvas de armazenamento de água no solo se mantiveram sempre acima da linha de armazenamento crítico (Figura 19), bem como as curvas de perda de água acumulada se mantiveram abaixo desse limite, reforçando a importância da palhada para a manutenção de conteúdos adequados de água no solo sempre disponível à cultura, independentemente, da quantidade de palha disposta na superfície do solo. Por isso, não foi possível obter-se as relações ETc-AC e ND-AC, dentro dos limites de valores obtidos nas condições experimentais (Tabela 7).

Nesses períodos, o armazenamento de água no solo foi sempre favorável, mesmo na condição de solo sem cobertura de palha. De maneira similar a profundidade de 0 - 0,3m, esse comportamento é explicado pela redução das perdas por extração de água pelas raízes das plantas (Figura 20), já que a cana-de-açúcar reduz sua necessidade hídrica nessa fase. Além disso, a perda de água por evaporação direta da superfície do solo pode ser considerada negligenciável nessa profundidade.

Avaliando-se o comportamento conjunto das curvas de armazenamento e de perda de água acumulada no solo, nas duas profundidades monitoradas, pode-se inferir que a manutenção da palhada sobre a superfície do solo permite maior conservação de água em relação à condição sem cobertura de palha, notadamente, na profundidade superficial (0 – 0,3m) e na fase inicial de desenvolvimento vegetativo até a fase de máximo crescimento em área foliar da cana-de-açúcar. Essa maior conservação de água é devida à redução da evaporação direta de água do solo por impedimento físico da profundidade de palha, bem como pelo sombreamento das entrelinhas de cultivo pelas plantas, na fase de máximo crescimento da cana-de-açúcar.

Quanto aos níveis de palhada avaliados, a menor relação quantidade adicional de palha por dia para se alcançar o armazenamento crítico de água no solo (4,4 Mg dia⁻¹) foi obtida com o tratamento 75% de palha (13,04 Mg ha⁻¹). Não houve alteração

sensível no armazenamento de água no solo, na profundidade de 0,3 – 0,6m, em resposta a adição dos diferentes níveis de palha na superfície do solo.

4.5. Dinâmica da temperatura do solo

Os períodos de avaliação (Tabela 8), os níveis de palhada e as profundidades interferiram significativamente ($p>0,01$), pelo Teste F, na temperatura média, máxima, mínima e na amplitude térmica do solo. Esses resultados devem-se ao crescimento e desenvolvimento da planta, a profundidade de solo e a decomposição parcial da palhada distribuída uniformemente após o corte da cana.

Tabela 8 - Quadrado médio (QM) da análise de variância, da temperatura média (Tmed), máxima (Tmax), mínima (Tmin) e da amplitude térmica diária (ATD) do solo nos períodos de avaliação (Ta), níveis de palhada (Tb) e profundidades de medição (Tc) de um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar, ciclo de 3ª soca. Usina COMVAP, União - PI, safra Julho2013/Julho2014.

FV	GL	QM			
		Tmed	Tmax	Tmin	ATD
Blocos	3	0,54**	4,36**	1,81**	8,01**
Trat-a (Ta)	17	9,87**	11,42**	7,16**	2,65**
Resíduo-a	51	0,04	0,18	0,08	0,21
Trat-b (Tb)	4	0,53	27,49	3,67	49,89
Int. Ta x Tb	68	0,08**	0,98**	0,07**	1,20**
Resíduo-b	216	0,12	0,30	0,15	0,38
Trat-c (Tc)	1	0,97 ^{ns}	14,51**	3,15**	31,19**
Int. Ta x Tc	17	0,006 ^{ns}	0,06**	0,011 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Int. Tb x Tc	4	0,03**	0,49**	0,13**	1,01**
Int. TaTbTc	68	0,001**	0,01**	0,003**	0,50**
Resíduo-c	270	0,03	0,02	0,009	0,04
Média Geral (°C)	---	26,81	28,28	25,96	2,32
CV%-a	---	0,75	1,50	1,11	19,94
CV%-b	---	1,30	1,94	1,51	26,64
CV%-c	---	0,21	0,55	0,37	9,45

* e ** indicam significância em nível de probabilidade de erro em $0,05 < p \leq 0,01$ e $p < 0,01$ respectivamente e ^{ns} não significativo pelo teste F; Trat-a = períodos avaliados; Trat-b = níveis de palhada; Trat-c = profundidade de medida da temperatura do solo. CV%-a; CV%-b e CV%-c = Coeficiente de variação para Trat-a, Trat-b e trat-c, respectivamente.

Houve interação significativa ($p>0,01$), pelo Teste F, entre períodos de avaliação (Ta) e níveis de palhada (Tb), ou seja, a cobertura do solo influenciou diferentemente na temperatura média, máxima, mínima e na amplitude térmica do solo à medida que

avançou a decomposição da palhada e o sombreamento do solo no decorrer dos dias pós-colheita da cana.

Houve interação significativa ($p > 0,01$), pelo Teste F, entre períodos de avaliação (Ta) e profundidade de medição (Tc) em todas as variáveis estudadas, exceto na temperatura mínima e amplitude térmica. Este comportamento pode ser explicado pela baixa oscilação da temperatura do ar e radiação solar global durante o período do estudo (Figuras 10 e 11).

Houve interação significativa ($p > 0,01$), pelo Teste F, entre níveis de palhada (Tb) e profundidade de medição (Tc) para temperatura média, máxima, mínima e na amplitude térmica do solo. Indicando que a palhada influenciou diferentemente nas duas profundidades de medida da temperatura do solo. Isto se deve a diferentes teores de MO nas profundidades que antecede cada ponto de medição da energia térmica e (Tabela 1).

Houve interação significativa ($p > 0,01$), pelo Teste F, entre períodos de avaliação (Ta), níveis de palhada (Tb) e profundidade de medição (Tc) para máxima, mínima e na amplitude térmica do solo. Esse comportamento pode estar associado a menor resposta da temperatura média do solo a noite (Figura 25), que reduz o efeito da palhada nas duas profundidades e ao logo do tempo.

4.5.1. Temperatura média do solo

A temperatura média do solo variou em função dos níveis de palhada (Figura 21), sendo mais expressiva nos períodos 4 (28,47 a 27,54°C) e 6 (28 a 27,14°C), a 0,05 m, e menos expressiva nos períodos 11 (27,14 a 26,80°C) e 17 (26,80 a 26,69°C), a 0,10 m. Esse resultado pode ser explicado pelo maior sombreamento das entrelinhas de plantio da cana-de-açúcar nos períodos 11 e 17 em comparação aos períodos 4 e 6, reduzindo a entrada da radiação solar nas entrelinhas de cultivo. De fato, as plantas apresentaram IAF mais elevados nos períodos 11 e 17 em comparação aos períodos 4 e 6 (Figuras 16). Além disso, a radiação solar incidente foi maior justamente nos períodos 4 e 6 (Figura 10).

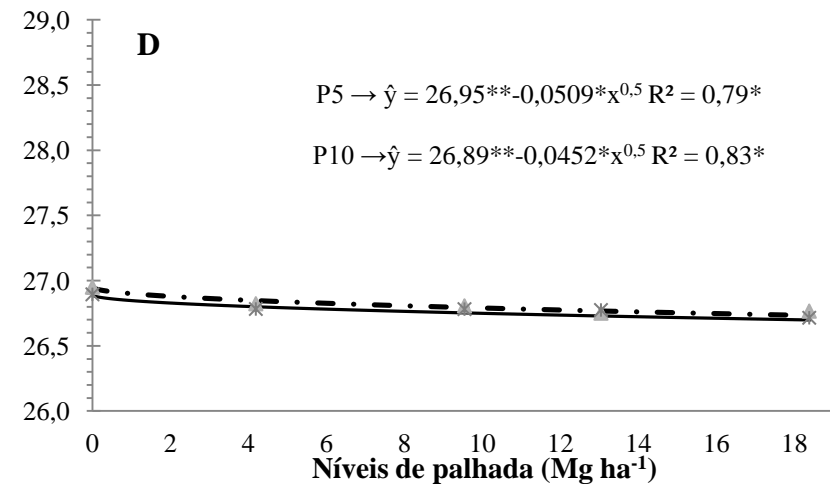
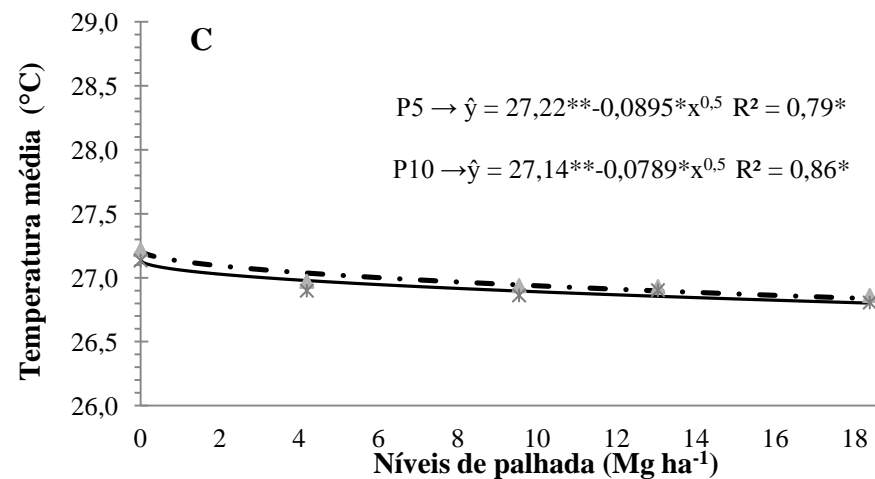
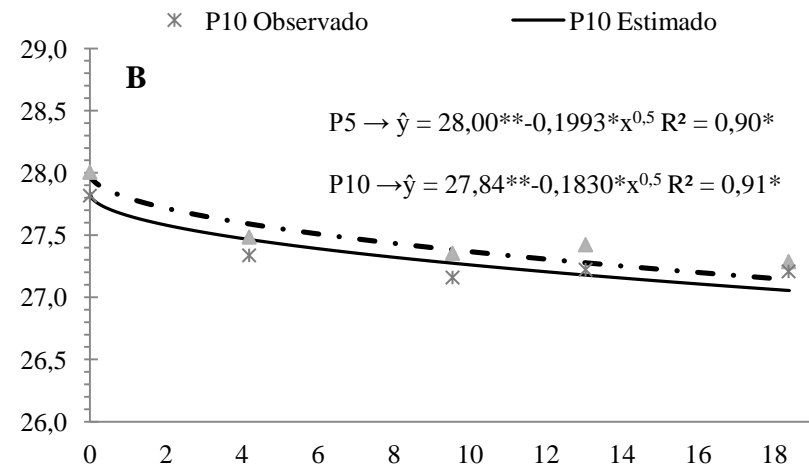
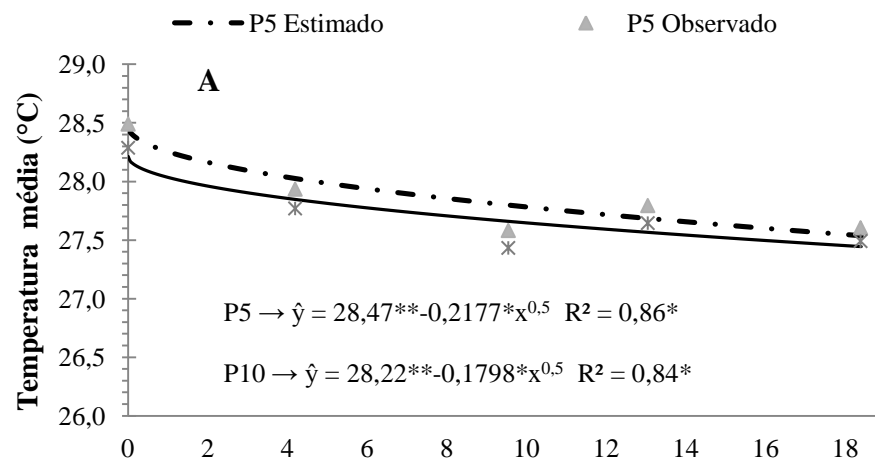


Figura 21 - Temperatura média diária de um Plintossolo Argilúvico a 0,05 (P5) e a 0,10 m (P10) de profundidade nos períodos de avaliação 4 (A), 6 (B), 11 (C) e 17 (D) em função dos níveis de palhada. Usina COMVAP, União - PI, 2014. ^Δ e * e ** indicam significância em nível de probabilidade em $0,10 \geq p > 0,05$; $0,05 \geq p > 0,01$ e $p \leq 0,01$ respectivamente. A 95% de confiabilidade; P5 e P10 = profundidade de medição de 0,05 e 0,10 m respectivamente.

Houve redução contínua da temperatura média do ar no solo (T_{med}) do primeiro para o último período avaliado (Figura 21A a 21D). Nessa condição, a T_{med} variou de 28,47°C (Figura 21A), a 0,05 m, para o solo sem palhada, a 24,77°C (Figura 21D), a 0,10 m, para o solo coberto com 18,38 Mg ha⁻¹. Essa redução de temperatura ao longo do ciclo de cultivo deve-se ao aumento em altura e cobertura vegetal (IAF) das plantas, conforme já mencionado acima. A partir desta tendência é possível deduzir que o efeito dos níveis de palhada sobre a temperatura foi maior na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Alves Sobrinho *et al.* (2001) observaram que a temperatura média do solo foi inferior em solos irrigados quando comparado a solos sem irrigação. Silveira *et al.* (2013) deduziram que a umidade isola o solo das grandes mudanças diárias de temperatura, ou seja, à medida que aumenta a umidade do solo ocorre redução nas flutuações térmicas levando a uma temperatura média do solo mais baixa. Esses mesmo autores atribuíram esse comportamento às propriedades caloríficas das moléculas de água, principalmente sua elevada capacidade térmica, ou seja, necessita de uma grande quantidade de calor para variar sua temperatura em uma unidade. Knies (2010) acrescenta que o incremento no IAF causa também maior sombreamento da superfície do solo e reduz a quantidade de energia que chega até este local, necessária para seu aquecimento.

O modelo matemático que se ajustou melhor aos dados foi o não linear decrescente (modelo raiz), indicando que a redução da temperatura média do solo não ocorre de forma linear e na mesma proporção com a adição de palhada sobre a superfície do solo. Ou seja, se for aplicada duas vezes mais palha sobre a superfície do solo, não significa que a temperatura média do solo seja reduzida em duas vezes. O fator de redução da temperatura média do solo com a adição de palhada sobre a superfície do mesmo é dado pelo coeficiente “**b**” do termo raiz quadrada nas equações apresentadas na Figura 21. Comparando-se os coeficientes **a** e **b** das equações nas profundidades 0,05 (P5) e 0,10 m (P10) na Figura 20, verifica-se que houve menor temperatura média (**a**) e menor resposta aos níveis de palhada (**b**), na profundidade P10. Esse resultado pode ser explicado pela presença na profundidade superficial do perfil do solo (0 a 0,05 m) de maior teor de MOS (Tabela 1) do que na profundidade de 0,05 a 0,10 m, auxiliando na redução da condução da energia térmica à P10. Os compostos orgânicos apresentam baixa condutividade térmica e possui elevada capacidade de armazenamento de água (SILVA *et al.*, 2006a e 2006b). Esse comportamento discorda

dos resultados apresentados por Knies (2010) e Bragagnolo & Mielniczuk (1990), os quais observaram efeito linear decrescente para descrever a dinâmica da temperatura do solo.

Comparando-se as condições extremas de variação de temperatura média do solo, a 0,05 m, apresentadas na Figura 21 (letras A e D), observa-se que o acréscimo em um Mg ha^{-1} de palha na superfície do solo reduz a temperatura média do solo em 0,22 °C, no início do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar, enquanto essa redução é de apenas 0,05 °C, no final de ciclo de desenvolvimento. Porém, esse efeito redutor da temperatura pela adição de palhada é multiplicado pela raiz quadrada da quantidade de palha adicionada. Assim, ao se quadruplicar a quantidade de palha adicionada (4 Mg ha^{-1}) dobra-se a redução da temperatura média do solo (0,44 °C). Seguindo-se o acréscimo em palha na superfície do solo para 9 Mg ha^{-1} , a redução na temperatura média do solo é triplicada (0,66 °C). Ou seja, o efeito redutor da temperatura média do solo pela adição de palha é cada vez menor com a adição sucessiva de palha sobre a superfície do solo. Este comportamento pode ser explicado pela disposição da palhada na superfície do solo em profundidades, fazendo com que as primeiras profundidades de palha, mais próximas ao solo, atuem mais fortemente no bloqueio da radiação solar incidente do que as profundidades superiores.

Bergamaschi & Eguadagnin (1993) afirmam que a profundidade do solo influencia a dinâmica da temperatura no solo. Estes autores verificaram que à medida que se distancia da superfície do perfil do solo ocorre redução e retardamento da energia térmica neste sistema, já que a principal fonte de energia para o solo é a radiação solar e seu fluxo dar-se da superfície para o interior do perfil do solo por condução.

Uma análise comparativa para o mesmo período de desenvolvimento da cana-de-açúcar (período 4) e mesma profundidade de medição (0,05 m) (Figura 21A), houve redução maior na temperatura média do solo (0,67 °C) ao se avaliar a adição de $9,54 \text{ Mg ha}^{-1}$ de palha em relação ao solo sem palha, enquanto que ao se adicionar $18,38 \text{ Mg ha}^{-1}$ essa redução é de apenas 0,26 °C. Comportamento semelhante, mas com menores proporções, são observados a 0,05 e 0,10 m em todos os outros períodos avaliados. Knies (2010), observou diferenças na temperatura média do solo entre diferentes quantidades de resíduos vegetais de aveia na superfície do solo até os 28 dias após a semeadura da cultura do milho, na profundidade de 0,03 m. Este autor afirma que a menor influência dos resíduos vegetais na temperatura média do solo deve-se ao

elevado conteúdo de água no solo na profundidade superficial do perfil do solo (0 a 0,10 m).

Considerando-se a importância da palhada para a geração de energia nas Usinas de cana-de-açúcar e baseando-se no comportamento da temperatura média do solo em resposta à adição de palha no solo (Figura 21), é recomendável que seja mantida sobre a superfície do solo a menor quantidade de palha possível. Nesse sentido, pode-se recomendar a manutenção de 50% de palha ($9,54 \text{ Mg ha}^{-1}$) na superfície do solo, de modo a possibilitar uma melhor dinâmica da temperatura média do solo aliado ao interesse na cogeração de energia na Usina. Obviamente, como a temperatura média do solo é influenciada pela temperatura máxima e mínima observadas durante o dia, essa recomendação deve levar em consideração esse comportamento em conjunto.

4.5.2. Temperatura máxima do solo

A temperatura máxima do solo apresentou maior variação em função dos níveis de palhada adicionado ao solo (Figura 22) comparado ao efeito da temperatura média (Figura 21) no mesmo nível de palha, profundidade de medição e período de avaliação. Essa constatação é comprovada ao se comparar os coeficientes **b** (do termo raiz quadrada das equações) das equações geradas nas duas condições. Os coeficientes **b** das equações da Figura 21 são superiores aos coeficientes **b** das equações da Figura 22. Por exemplo, ao se comparar as equações das Figuras 21A e 22A, observa-se a 0,05 m, que a adição de um Mg ha^{-1} de palha na superfície do solo reduz a sua temperatura média em $0,22 \text{ }^\circ\text{C}$, enquanto a adição da mesma quantidade de palha reduz a temperatura máxima em $0,58 \text{ }^\circ\text{C}$. Esse comportamento se repete para os demais períodos de avaliação e profundidade de medição.

Igualmente à temperatura média do solo, percebe-se redução contínua da temperatura máxima do solo do primeiro para o último período de avaliação (Figura 22A a 22D). A temperatura máxima do solo variou de $30,89^\circ\text{C}$ (Figura 22A) em solo sem palhada na P5, a $24,75 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 22D), em solo coberto com $18,38 \text{ Mg ha}^{-1}$ na P10. Como os registros de temperatura máxima do solo foram, obviamente, obtidos nas horas mais quentes do dia (das 12 às 14 horas), com o sol na posição mais vertical em relação à superfície da terra, a contribuição do sombreamento das entrelinhas de cultivo para a redução da temperatura do solo não foi tão pronunciado, notadamente, na fase inicial de avaliação da dinâmica da temperatura (períodos 4 e 6), quando a cultura apresentou os menores valores de altura de plantas e IAF (Figura 16).

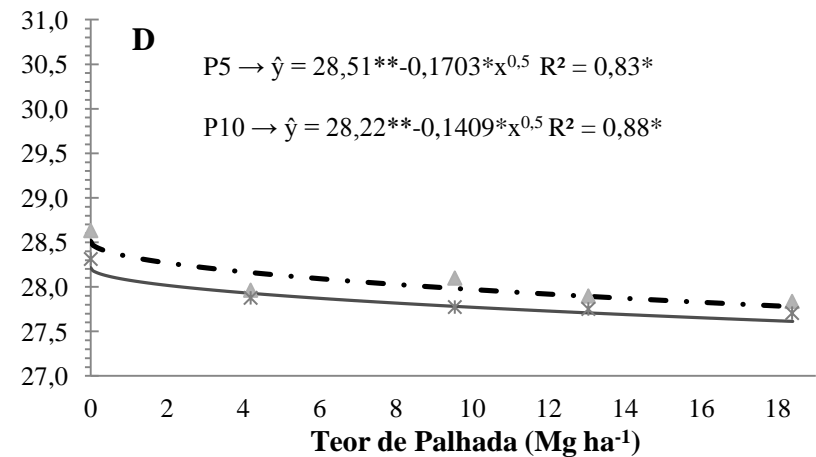
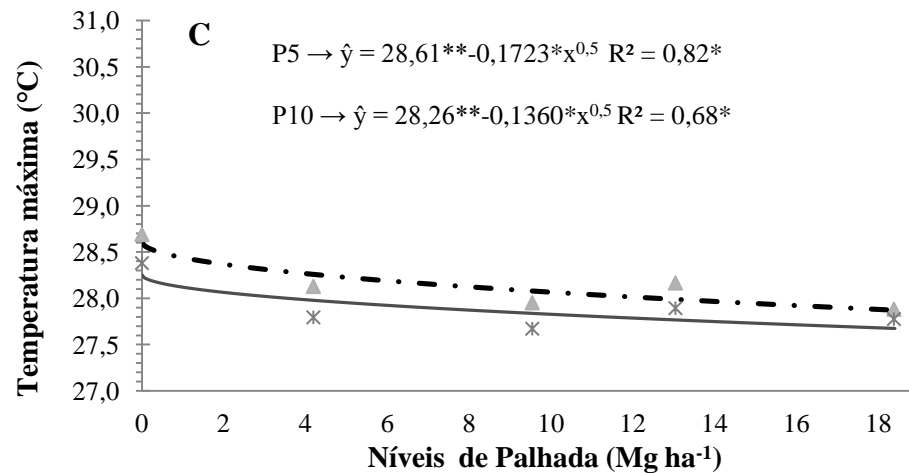
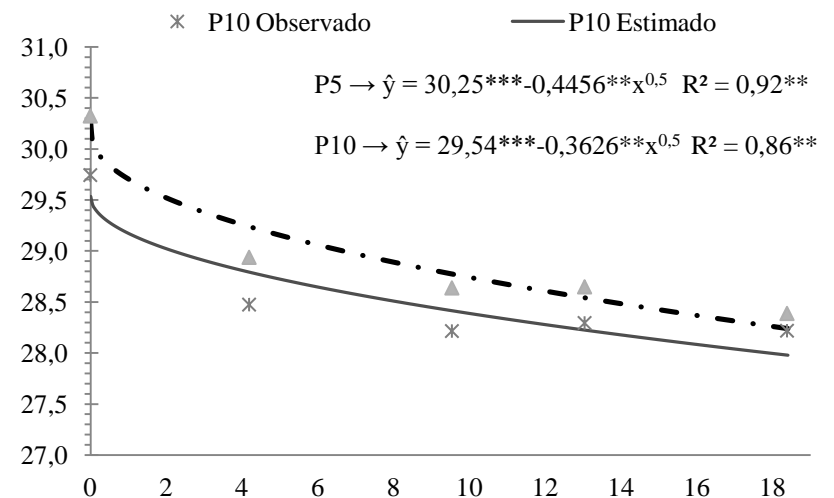
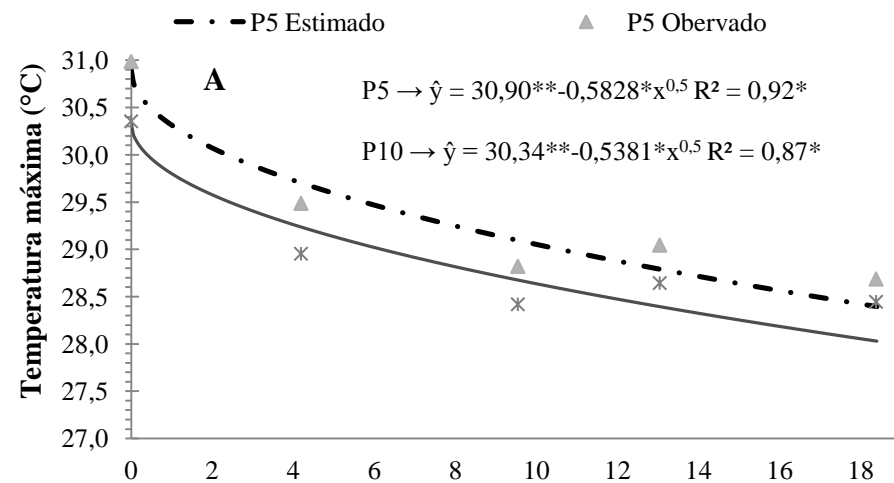


Figura 22 - Temperatura máxima diária de um Plintossolo Argilúvico a 0,05 (P5) e 0,10 m (P10) de profundidade nos períodos de avaliação 4 (A), 6 (B), 11 (C) e 17 (D) em função dos níveis de palhada. Usina COMVAP, União - PI, 2014. ^Δ e* e ** indicam significância em nível de probabilidade em 0,10 ≥ p > 0,05; 0,05 ≥ p > 0,01 e p ≤ 0,01 respectivamente, a 95% de confiabilidade; P5 e P10 = profundidade 0,05 e 0,10 m respectivamente.

Outra contribuição importante para a temperatura máxima do solo diz respeito à umidade do solo. Observou-se que os tratamentos com palhada se mantiveram sempre mais úmido que o tratamento sem palha (Figura 17 e 19), justificando os maiores valores de temperatura máxima no solo descoberto em relação ao solo com diferentes níveis de palhada (Figura 22).

Alves Sobrinho *et al.* (2001) observaram que a temperatura máxima do solo foi inferior em solos irrigados quando comparado a solos sem irrigação. Silveira *et al.* (2013) afirmam que a umidade isola o solo das grandes flutuações diárias de temperatura, ou seja, à medida que aumenta a umidade do solo ocorre redução nas flutuações térmicas. Esse comportamento é explicado pelo calor sensível das moléculas de água, ou seja, a elevada quantidade de calor necessário para variar a temperatura de um grama de água em um grau Celsius, sendo, nas condições normais de pressão, uma atmosfera, cerca de uma caloria (1cal/g °C).

Essa redução de temperatura máxima ao longo do ciclo de cultivo deve-se ao desenvolvimento da cultura que aumenta o sombreamento das entrelinhas de cultivo (Figura 16), tendo em vista que a radiação solar global, nos três últimos períodos, se manteve igual a 14 MJ m⁻² (Figura 11). Esse resultado pode ter sido mais acentuado no início no ciclo da cana (fase de rebrota e perfilhamento), período que a cultura ainda encontrava com menor IAF e com clima com maiores insolação e temperaturas máximas do ar elevadas nessa época do ano na região em estudo (BASTOS *et al.*, 2014).

O modelo matemático que se ajustou aos dados experimentais de temperatura máxima foi o polinomial não linear decrescente (modelo raiz), mostrando que a dinâmica da temperatura máxima do solo não é afetada igualmente com aumentos crescentes dos níveis de palhada sobre a superfície do solo. Esse comportamento discorda dos resultados apresentados por Knies (2010), que utilizando 6 Mg ha⁻¹ de resíduos reduziu a temperatura máxima do solo em 7,5°C, representando em média 1,25 °C de redução por Mg ha⁻¹ de resíduo vegetal adicionado à superfície do solo. Bragagnolo & Mielniczuk (1990), observaram na temperatura máxima do solo, uma redução de 0,6 a 1,1 °C por Mg ha⁻¹ de massa seca depositada na sua superfície.

No caso do presente estudo, observou-se maior redução da temperatura máxima do solo com a adição de 9,54 Mg ha⁻¹ de palhada em relação ao solo sem palhada de 1,8 °C, enquanto entre os níveis de 9,54 Mg ha⁻¹ a 18,38 Mg ha⁻¹ de palhada essa redução foi de apenas 0,97 °C, ou seja, quando se utilizada 50% de palha reduz 72% temperatura

máxima e penas 38% quando dobra esse valor. Pesquisadores que trabalharam com cultura de menor porte que a cana-de-açúcar observaram maiores efeitos da palhada sobre a temperatura do solo.

Chabat (2010), estudando o efeito da aplicação de 4 Mg ha⁻¹ da palhada de aveia sobre a superfície de um Argissolo cultivado com soja, constatou redução de 6 °C na temperatura máxima do solo, nas profundidades de 0,05 e 0,10 m do solo quando comparado ao solo sem cobertura. Gasparim *et al.* (2005), estudaram o efeito de 4 Mg ha⁻¹ de resíduos de aveia deixada sobre a superfície de um Latossolo Vermelho distroférico em comparação ao solo sem cultivo e observaram aumento na temperatura máxima do solo de 9 °C entre as duas formas de cobertura.

Comparando-se os coeficientes **a** e **b** das equações obtidas para as profundidades de medição P5 e P10 na Figura 22, verifica-se que houve menor temperatura máxima (**a**) e menor resposta aos níveis de palhada (**b**), na profundidade P10. Houve tendência de se igualarem as temperaturas máximas nas duas profundidades à medida que aumenta a cobertura do solo e o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Esse resultado pode ser explicado pela presença da profundidade superficial do perfil do solo (0 a 0,05 m) apresentar maior teor de MOS (Tabela 1) do que na profundidade de 0,05 a 0,10 m, auxiliando na redução da condução da energia térmica à P10. Os compostos orgânicos apresentam baixa condutividade térmica e possuem elevada capacidade de armazenamento de água.

Bergamaschi & Eguadagnin (1993) retrataram que a profundidade de medição influencia a dinâmica da temperatura no solo. Concluíram que à medida que se distancia de sua superfície ocorre redução e retardamento da temperatura máxima, notadamente, nos primeiros centímetros do solo. A principal fonte de energia para o solo a radiação solar e seus fluxos ocorrem da superfície para o interior do perfil do solo.

Com base no comportamento da dinâmica da temperatura máxima do solo em resposta a deposição dos níveis de palhada sobre a superfície do solo (Figura 22), pode-se recomendar a manutenção de 50% de palha (9,54 Mg ha⁻¹) na superfície do solo, de modo a possibilitar uma melhor dinâmica da temperatura máxima do solo aliado ao interesse na cogeração de energia na Usina. Essa recomendação coincide com a da temperatura média do solo. Obviamente, necessita-se avaliar ainda o comportamento da dinâmica da temperatura mínima e da amplitude térmica para a definição de uma recomendação única.

4.5.3. Temperatura mínima do solo

A temperatura mínima do solo apresentou baixa variação em função dos níveis de palhada na superfície do solo (Figura 23), sendo mais expressiva no período 4 (26,21 a 26,68°C), a 0,10m de profundidade (P10), e menos no período 17 (25,21 a 25,89°C), a 0,05 m de profundidade (P5). A temperatura mínima do solo elevou-se com a adição de palha na superfície do solo. Com relação ao período de desenvolvimento, as temperaturas mínimas do solo elevaram-se menos nos períodos finais de desenvolvimento (Figura 23C e 23D) em comparação aos períodos iniciais (Figura 23A e 23B). Esse resultado pode ser explicado pelo elevado porte da cultura e cobertura vegetal (IAF) que reduziu parte da radiação solar que chegou à superfície do solo, sendo que no período 17 a cultura apresentou maior IAF (Figura 16), apesar da maior radiação solar incidente no solo (Figura 11). Chabat (2010) observou que a utilização de 4 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia na superfície do solo em comparação ao solo desnudo resultou em temperatura mínima 2 °C maior nas profundidades de 0,05 e 0,10 m do solo.

Percebeu-se redução contínua da temperatura mínima do solo do primeiro para o último período avaliado (Figura 23A a 23D). A temperatura mínima do solo variou de 26,68°C (Figura 23A) em solo sem palhada na P10, a 25,41°C em solo coberto com 18,38 Mg ha⁻¹ na P5 (Figura 23D). Essa redução de temperatura mínima do solo ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar deveu-se a elevação da umidade do solo (Figura 17 e 19) e ao maior desenvolvimento da cultura, que aumenta o sombreamento das entrelinhas de cultivo. A partir deste resultado é possível prescrever que o efeito dos níveis de palhada sobre a temperatura mínima do solo foi maior na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar, da mesma forma que ocorreu com a temperatura máxima e média do solo.

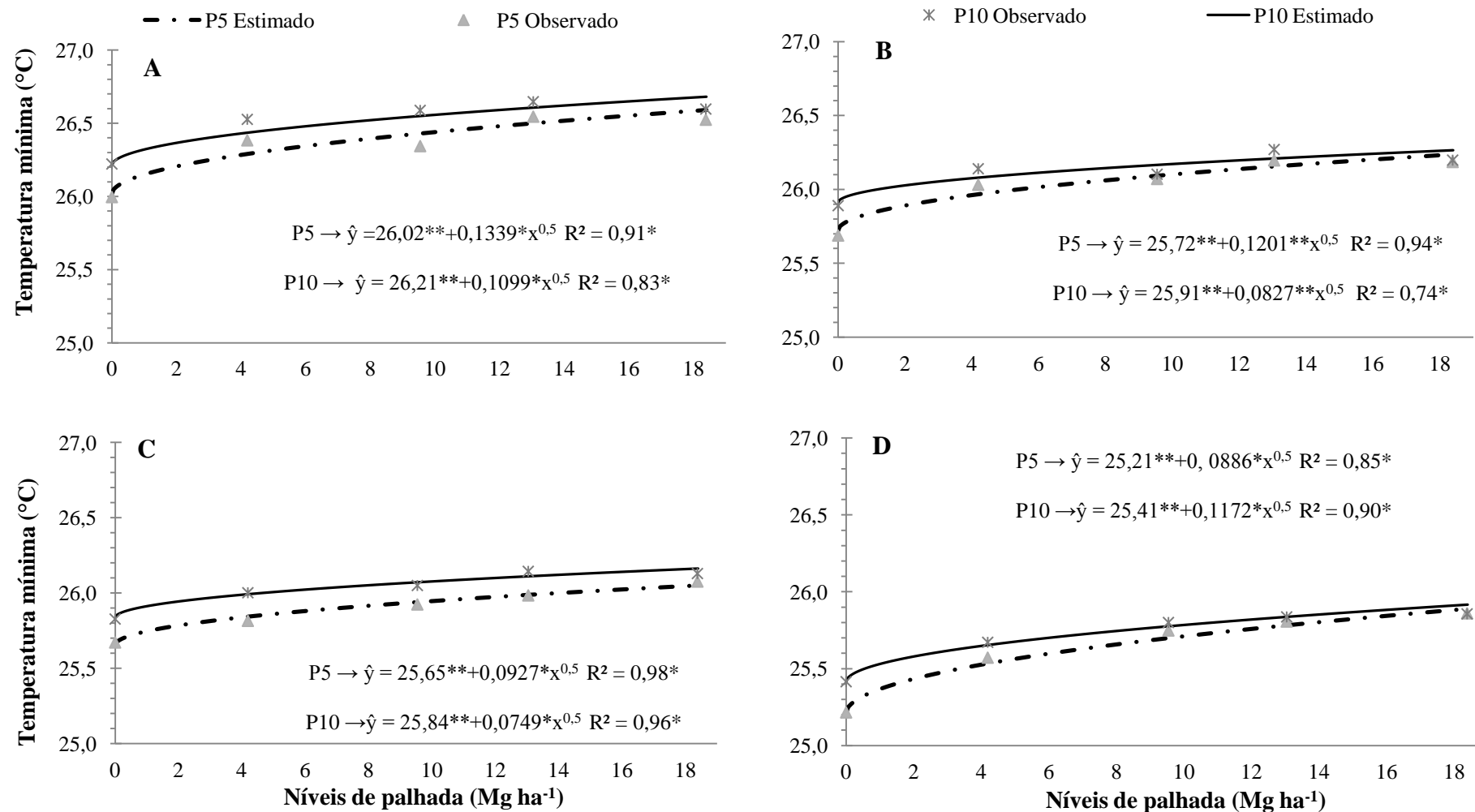


Figura 23 - Temperatura mínima diária de um Plintossolo Argilúvico a 0,05 (P5) e 0,10 m (P10) de profundidade nos períodos de avaliação 4 (A), 6 (B), 11 (C) e 17 (D), de avaliação em função dos níveis de palhada. Usina COMVAP, União - PI, 2014. ^Δ e* e ** indicam significância em nível de probabilidade em $0,10 \geq p > 0,05$; $0,05 \geq p > 0,01$ e $p \leq 0,01$ respectivamente, a 95% de confiabilidade; P5 e P10 = profundidade 0,05 e 0,10 m respectivamente.

Resultados que corroboram os apresentados por Alves Sobrinho *et al.* (2001), que observaram temperatura do solo inferior em solos irrigados quando comparado a solos sem irrigação. Silveira *et al.* (2013) deduziram que a umidade isola o solo das grandes mudanças diárias de temperatura, ou seja, à medida que aumenta a umidade do solo ocorre redução nas flutuações térmicas. Esses mesmos autores afirmam que esse comportamento é explicado pelas propriedades caloríficas das moléculas de água. Knies (2010) acrescenta que o incremento no IAF causa sombreamento da superfície do solo e reduz a quantidade de energia que chega até ao solo, necessária para seu aquecimento.

O modelo matemático que se ajustou melhor aos dados experimentais de temperatura mínima do solo foi o polinomial não linear crescente (modelo raiz), mostrando que a dinâmica da temperatura mínima do solo não é afetada igualmente com aumentos crescentes dos níveis de palhada sobre a superfície do solo. De fato, na fase inicial de desenvolvimento da cultura (23A), observou-se aumento de 0,26 °C na temperatura mínima a 0,05 m de profundidade com a adição de 4,0 Mg ha⁻¹ de palha em relação ao solo sem palha. Já com o acréscimo maior de palha na superfície de 9,0 Mg ha⁻¹ de palha em relação a adição de 4,0 Mg ha⁻¹ de palha o aumento na temperatura mínima do solo foi de 0,39 °C. Ou seja, o acréscimo de 5,0 Mg ha⁻¹ de palha possibilitou o aumento na temperatura mínima de 0,13 °C no solo.

Como os registros de temperatura mínima no solo ocorrem no período noturno, quando a temperatura do ar atmosférico é mais baixa, a profundidade de palha atua como uma barreira física, dificultando as perdas de calor entre o solo e a atmosfera. Por isso, o solo sem cobertura é mais frio que o solo coberto com palha. A palha ajuda a manter o solo mais aquecido, mesmo a noite, impedindo que perca o calor adquirido com a energia solar durante o dia. Esse efeito é mais pronunciado em profundidade maior do que na superfície do solo.

Bergamaschi & Eguadagnin (1993) relatam que a profundidade influencia a dinâmica da temperatura no solo. Concluíram que à medida que se distancia de sua superfície ocorre redução da amplitude térmica e retardamento no período de ocorrência das temperaturas mínimas, notadamente, nos primeiros centímetros do solo. A principal fonte de energia do solo é a radiação solar e seu fluxo dar-se da superfície para o interior do perfil do solo.

Do ponto de vista da temperatura mínima do solo, os resultados indicam que, para manter uma melhor dinâmica, é preferível que seja mantida a maior quantidade de palha possível sobre a superfície do solo. Porém, até certo limite já que o acréscimo sucessivo de palha proporciona pequena variação na temperatura mínima no solo. Mais uma vez o nível de 9,54 Mg ha⁻¹ nos parece mais indicado para permitir essa melhor dinâmica.

4.5.4. Amplitude térmica do solo

A amplitude térmica do solo é uma das variáveis mais relevantes quando se estuda a dinâmica da temperatura no solo, já que externa o efeito combinado da variação diária entre os extremos de temperatura do solo. Ou seja, é o saldo diário da temperatura do solo. Quanto menor for os valores de amplitude térmica significa que o solo foi exposto a menores flutuações nos valores extremos de temperatura no solo e, portanto, mantendo um melhor equilíbrio na dinâmica da temperatura no solo (Figura 24).

A amplitude térmica reduziu-se com o aumento nos níveis de palhada sobre a superfície do solo em comparação ao solo descoberto, notadamente, na profundidade superficial do solo (Figura 24). Com relação ao ciclo de cultivo, observou-se que essa redução foi mais pronunciada nas fases iniciais (Figuras 24A e 24B) do que nas fases finais (Figuras 24C e 24D).

O comportamento da variação da amplitude térmica diária pode ser explicado em função dos efeitos isolados da cobertura do solo sobre a dinâmica da temperatura máxima e mínima do solo. A adição de palhada sobre a superfície do solo até o limite de 9,54 Mg ha⁻¹ promoveu redução na temperatura máxima do solo, notadamente, no período mais quente do dia, enquanto que houve aumento da temperatura mínima, no período noturno. Como o saldo final diário foi de redução (negativo), pode-se afirmar que a dinâmica da temperatura máxima foi determinante para esse comportamento. Quanto ao ciclo de cultivo, a dinâmica foi mais afetada nas fases iniciais de desenvolvimento da cana-de-açúcar, quando o solo ficou mais exposto ao aquecimento pela radiação solar incidente, já que a área ocupada pelas folhas em relação ao solo (IAF) são mínimas nessa fase. Knies (2010) acrescenta que o incremento no IAF causa sombreamento da superfície do solo e reduz a quantidade de energia que chega até este local, necessária para seu aquecimento.

Estes resultados corroboram com os estudos de Knies (2010), que utilizando 3 e 6 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia preta sobre a superfície do solo cultivado com milho, observou diminuição da amplitude térmica no solo em até 6,3°C. Chabat (2010), avaliando condição de solo desnudo em comparação a aplicação de resíduos vegetais de aveia na superfície do solo, concluiu que a adição de 4,0 Mg ha⁻¹ de restos vegetais reduziu a amplitude térmica em até 40%, nas profundidades de 0,05 m e 0,10 m do solo.

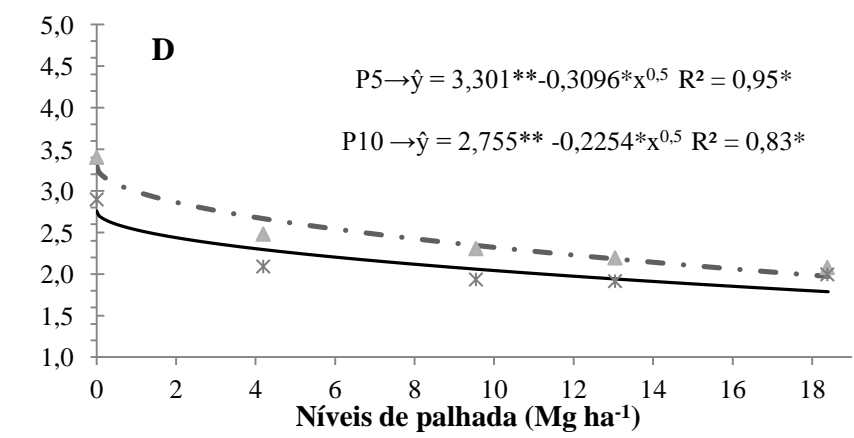
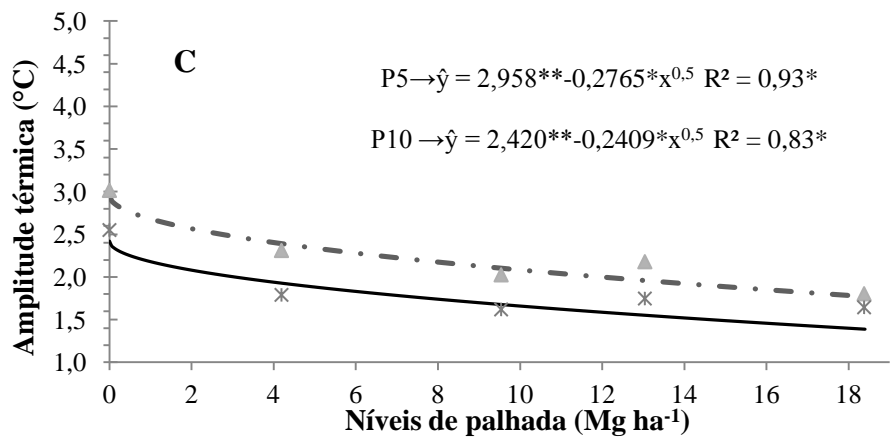
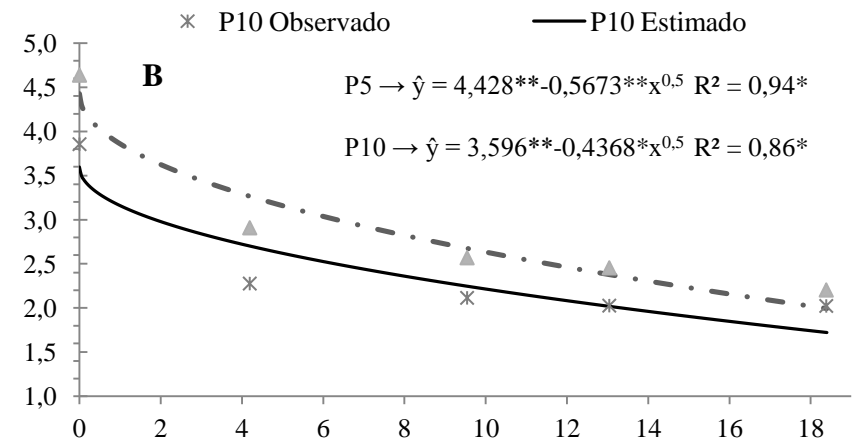
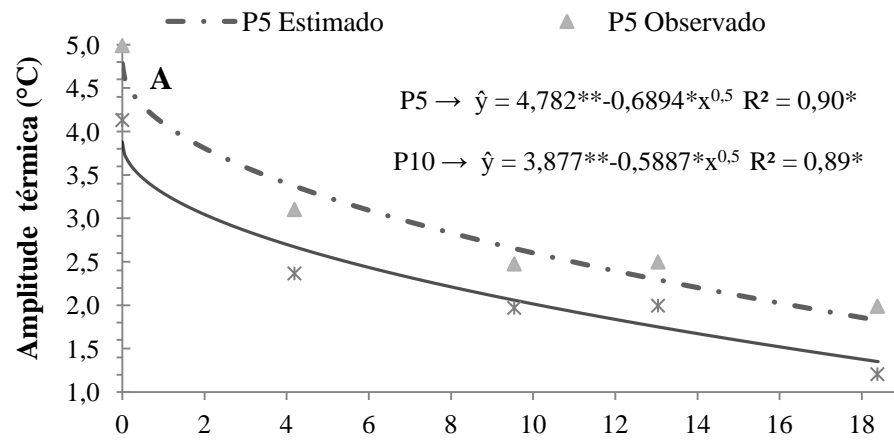


Figura 24 - Amplitude térmica diária de um Plintossolo Argilúvico a 0,05 (P5) e 0,10 m (P10) de profundidade nos períodos de avaliação 4 (A), 6 (B), 11 (C) e 17 (D) em função dos níveis de palhada. Usina COMVAP, União - PI, 2014. ^Δ e * e ** indicam significância em nível de probabilidade em $0,10 \geq p > 0,05$; $0,05 \geq p > 0,01$ e $p \leq 0,01$ respectivamente, a 95% de confiabilidade; P5 e P10 = profundidade 0,05 e 0,10 m respectivamente.

Silveira *et al.* (2013) deduziram que a umidade isola o solo das grandes mudanças diárias de temperatura, ou seja, à medida que aumenta a umidade do solo ocorre redução nas flutuações térmicas. Esses mesmo autores citaram que esse comportamento é explicado pelas propriedades caloríficas das moléculas de água.

O modelo matemático que se ajustou aos dados experimentais foi o polinomial não linear decrescente (modelo raiz). Esses resultados mostram que a amplitude térmica não segue uma resposta linear ao aumento dos níveis de palhada distribuída sobre o solo, discordando dos resultados apresentados por Knies (2010) e Bragagnolo & Mielniczuk (1990), que obtiveram resposta linear da amplitude térmica do solo aos níveis de palhada aplicados.

No presente estudo, a amplitude reduziu-se com a adição de palha em comparação ao solo descoberto em 1,4 °C com a adição de 4,0 Mg ha⁻¹, enquanto que com a adição de 9,54 Mg ha⁻¹ essa redução foi superior em 2,1 °C. Com a aplicação de 13,04 Mg ha⁻¹ de palha, a redução na amplitude térmica foi de 2,5 °C. Ou seja, a amplitude térmica reduz-se muito pouco, apenas 0,4 °C, com a adição de 3,5 Mg ha⁻¹ a mais de palha. Dessa forma, é preferível manter-se o solo apenas com 9,54 Mg ha⁻¹ e retirar-se o restante da palhada para a cogeração de energia.

4.5.5. Temperatura horária do Solo

Com intuito de avaliar mais detalhadamente a dinâmica da temperatura do solo fez-se um estudo horário da temperatura do solo nas profundidades de 0,05 e 0,10 m, em função dos níveis de palhada distribuídas de maneira uniforme sobre a superfície do solo (Figura 25).

Observou-se uma grande oscilação da energia térmica do solo sem palhada, entre o dia e a noite, nas duas profundidades avaliadas, aos dias 214, 215 e 216 DAC (fase de intenso crescimento da cana de 3ª soca). Foram registrados picos de temperatura de 32,4 °C, às 14h00min, e valores mínimos de 25,2 °C, ao amanhecer (06h00min), a 0,05 m de profundidade. Na profundidade de 0,10 m, a oscilação de temperatura horária variou entre 31,20°C e 25,25 °C, respectivamente, as 14h20min e 06h00min. Essa variação da energia térmica do solo deve-se ao fato da radiação solar ser a principal fonte de energia para o solo.

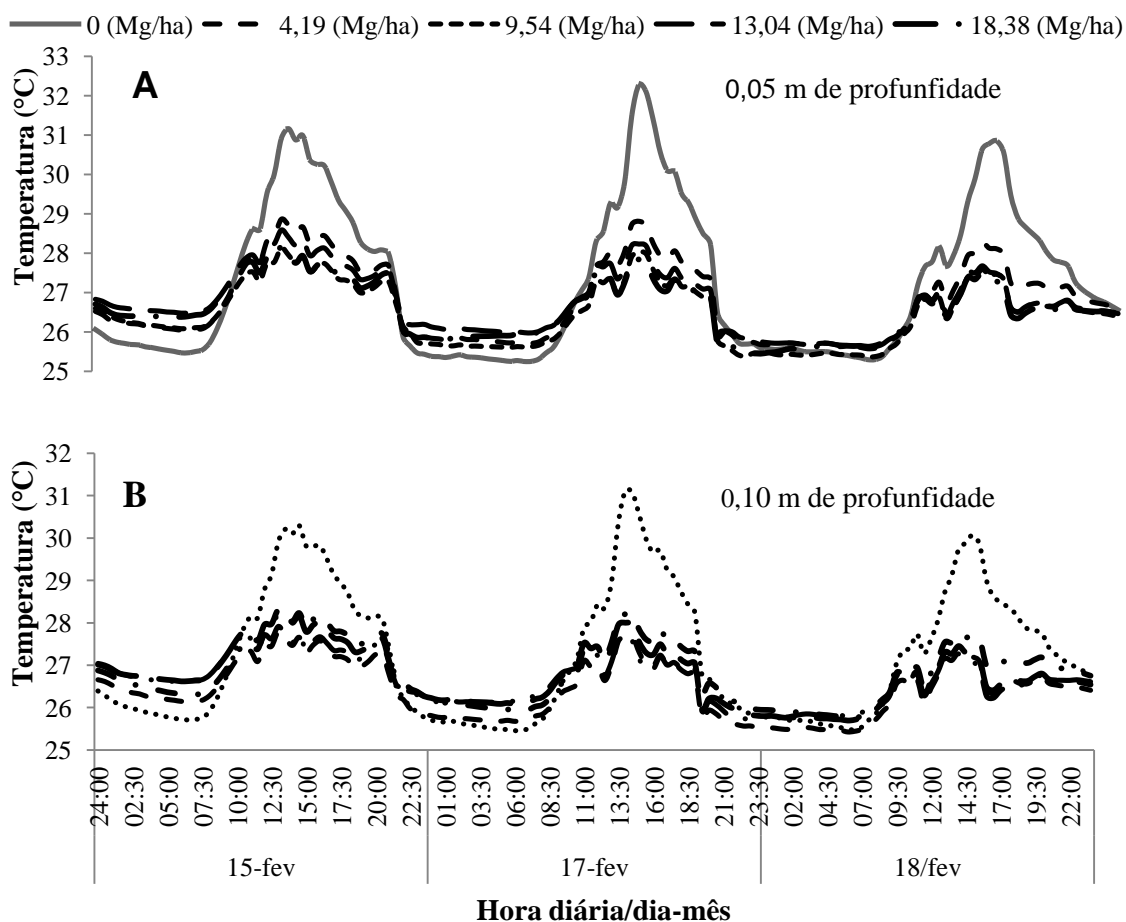


Figura 25 - Dinâmica da temperatura horária do solo coberto com diferentes níveis de palhada nas profundidades de A e de B, sob cultivo com cana soca aos 214, 215 e 216 dias após o corte. Usina COMVAP, União - PI, 2014.

Quanto ao valor máximo da temperatura do solo horário ser as 14h00min, a 0,05 m, e só apenas 20 minutos depois apresentar o pico máximo a 0,10 m de profundidade, pode ser explicado pela condução gradual da energia solar incidente da profundidade superficial para a profundidade mais profunda, por processo de troca de calor entre os constituintes do solo.

Quando se compara a temperatura do solo na condição sem palha com os cobertos com 18,38 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, observa-se redução de até 4,5 °C, a 0,05 m, na hora mais quente do dia. Já na profundidade de 0,10 m, a temperatura do solo apresentou redução de até 3,5 °C na hora mais quente do dia. Ou seja, a palha se comporta como um isolante térmico, evitando a incidência direta dos raios solares na superfície do solo durante o dia e evitando a perda de calor do solo para a atmosfera durante a noite.

Avalia-se ainda que haja uma grande diferença entre a temperatura horária do solo nas profundidades estudadas e que praticamente não há diferença entre os níveis de palhada de 9,54 e 18,38 Mg ha⁻¹ distribuída de maneira uniforme sobre a superfície do solo. Isto indica que as nove primeiras toneladas mantidas sobre o solo já asseguram redução significativa na temperatura do solo em detrimento do incremento adicional de palha.

Percebe-se que, independentemente dos níveis de palhada sobre o solo, ocorre um processo de inversão térmica, ou seja, durante a fase clara do dia a temperatura do solo sem palhada encontra-se mais elevada e durante a noite mais fria, denotando mais uma vez a característica de isolante térmico da palha, ao evitar a incidência direta da energia solar durante o dia ao mesmo tempo em que dificulta o resfriamento do solo durante a noite, já que funciona como um obstáculo às trocas de energia entre o solo e a atmosfera. Isto retrata a importância da palhada na manutenção de um ambiente climaticamente mais propício as atividades microbianas no solo, concordando com os resultados apresentados por Gasparim *et al.* (2005), Chabat (2010) e Knies (2010).

5. CONCLUSÕES

A temperatura média, máxima, mínima e a amplitude térmica do solo sofreram oscilações, notadamente na profundidade de 0,05 m, com a manutenção de 9,54 Mg ha⁻¹ de palhada distribuída sobre o solo.

A manutenção de 13,04 Mg ha⁻¹ de palhada distribuída sobre o solo aumenta o armazenamento e reduz a perda de água acumulada no solo, notadamente na profundidade de 0 a 0,3 m.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F.N.; NÓBREGA, J.C.A.; FERREIRA, M.M. Métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro afetam atributos. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p.749-757, 2009.

ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. **Condições climáticas para a cana-de-açúcar**. In: Paranhos, S. B. (Coord.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 42-55, 1987.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper N. 56. Roma, 1998.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGTH, J.L. FAO-56 dual crop coefficient procedure for predicting evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE**, v. 131, p. 2-13, 2005.

ALVES SOBRINHO, T. Temperatura do solo em sistema de plantio direto irrigado e não irrigado na cultura do algodão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

ANDRADE J.G. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional**. 2008. p.93. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2008.

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; SILVA, C.O.; GOMES, A.A.N.; FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M. **Atlas Climatológico do Estado do Piauí**. Teresina, Piauí, Embrapa Meio-Norte. p.151, 2004. (Embrapa Meio-Norte. Documentos; 101).

ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, C.R.; COELHO, E.F. Monitoramento do teor de água no solo. In: AGUIAR NETTO, A.O.; BASTOS, E.A. **Princípios agronômicos da irrigação**. Brasília: Embrapa, p. 69-99, 2013.

ANDRADE, A.L.B.; CARDOSO, M.B. **Cultura da cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004.

ANDRADE, J.G. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional**. 2008. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2008.

BASTOS, A.B.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Boletim agrometeorológico de 2012 para o município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, P.38. 2013. (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-866X; 225).

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R. Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, p. 95-99, 1993.

BRAGAGNOLO, L.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 369-374, 1990.

CAMPANHÃO, J.L. **Manejo da soqueira da cana-de-açúcar submetida à queima acidental da palhada remanescente da colheita mecanizada**. 2003. 76f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, SP, 2003.

CAMPOS, L.H.F.; CARVALHO, S.J.P.; CHRISTOFFOLETI, P.J.; FORTES, C.; SILVA, J.S. Sistemas de manejo da palhada influenciam acúmulo de biomassa e produtividade da cana-de-açúcar (var. RB855453). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 345-350, 2008.

CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; IWATA, B.F.; NÓBREGA, J.C.A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.12, p.1681-1689, 2011.

CHABAT, M.M. **Influência dos resíduos vegetais na superfície do solo na dinâmica de evaporação da água e temperatura do solo**. 2010. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2010.

COELHO, E.F.; VELLAME, L.M.; COELHO-FILHO, M.A.; Ledo, C.A.S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.30, n.1, p.41-48, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2013** - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2013.

DILLEWIJN, C.V. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, p.371, 1952.

FABRIZZI, K.P.; GARCÍA, F.O.; COSTA, J.L.; PICONE, L.I. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina **Soil e Tillage Research**, v.81, p.57–69, 2005.

FIGUEIREDO, P. **Breve histórico da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil**. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. Cana-de-açúcar. Campinas: IAC, p.882, 2008.

FIORAVANTI, C. Os arquitetos da nova cana. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 59, p.29-35, 2000.

FURLANI, C.E.A.; GAMERO, C.A.; LEVIEN, R.; SILVA, R.P.; CORTEZ, J.W. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 375-380, 2008.

GARBIATE, M.V.; VITORINO, A.C.T.; TOMASINI, B.A.; BERGAMIN, A.C.; PANACHUKI, E. Erosão entre sulco em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2145-2155, 2011.

- GARDNER, W.R.; HILLEL D.I. The relation of external evaporative conditions to the drying of soils. **Journal of Geophysical Research**, v.64, p. 469-475, 1962.
- GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugar cane. In: Teare I.D. and Peet M.M. (Eds.). **Crop-water relations**. 1. ed. New York: Wiley-Interscience, p.445-479, 1983.
- GASPARIM, E.; RICIERI, R.P.; SILVA, S.L.; GNOATTO, R.D.E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**; Maringá, v. 27, n. 1, p.107-115, 2005.
- GOLINSKI, N.G. **Introdução da maturação de dois genótipos de cana-de-açúcar em função da interação entre dose de etefon e Ph da calda de aplicação**. 2009. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2009.
- GUIMARÃES, E.R.; MUTTON, M.A.; MUTTON, M.J.R.; FERRO, M.I.T.; RAVANELI, G.C.; SILVA, J.A. Free proline accumulation in sugarcane under water restriction and spittlebug infestation. **Scientia Agrícola**, v.65, n.6, p.628-633, 2008.
- HERKELRATH, W.N.; HAMBURG, S.P.; MURPHY, F. Automatic real time monitoring of soil moisture in a remote field area with time domain reflectometry. **Water Resources Research**, v.27, p.857-864, 1991.
- HERMANN, E.R.; CÂMARA; G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34. 1999.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. London: Academic Press, 1998.
- HUBERT, F.; HALLAIRE, V.; SARDINI, P.; CANER, L.; HEDDADJ, D. Pore morphology changes under tillage and no-tillage practices. **Geoderma**, v.142, p.226-236, 2007.
- IFTIKHAR, F.; ALI, S. Impact of different types of mulches on soil moisture. **Sarhad Journal of Agriculture** v.20, n.4, p.571-573, 2004.
- KNIES, A.E. **Temperatura e umidade de um solo franco arenoso cultivado com milho**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2010.
- LAL, R. Effect of constant and fluctuating soil temperature on the growth, development and nutrient uptake of maize seedings. **Plant Soil**, Amsterdam, v.40, p.589-606, 1974.
- LEDIEU, J.; RIDDER, P.; CLERCK, P.; DAUTREBANDE, S. A method measuring soil water moisture by time domain reflectometry. **Journal of Hydrology**. v.88, p.319-328, 1986.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba PCLQ/USP, 1995. 497p, ed.1.
- LIMA, M.A.P.; NATALENSE, A.P.P. Necessidade de pesquisa básica para cana e etanol. In: CORTEZ, L.A.B. (Coord.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. **Anais**. São Paulo: Blucher, 2010. p.150-170.

LIU, C.; ZHANG, X.; ZHANG, Y. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.111, p.109–120, 2002.

MACHADO, E.C. Fisiologia da produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: Cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.1. p.56-87, 1987.

MACHADO, L.A.; HABIB, M. **Perspectivas e impactos da cultura de cana-de-açúcar no Brasil**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Cana/index.htm>. Acesso em: 19/12/2011.

MALICKI, M.A.; PLAGGE, R.; ROTH, C.H. Improving the calibration of dielectric TDR soil moisture determination taking into account the solid soil. **European Journal Soil Science**, v.47, p.357-366,1996.

MARIN, F.R.; ASSAD, E.D.; PILAU, F.G. Introdução à climatologia para ciências ambientais. **Clima e Ambiente**. Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 127p., 2008. ISBN: 978-85-86168-01-7.

MATEUS, G.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; NEGRISOLI, E. Palhada do sorgo de guiné gigante no estabelecimento de plantas daninhas em área de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p.539-542, 2004.

MILLER, J.D.; GILBERT, R.A. **Sugarcane botany: A Brief View**. University of Florida IFAS extension. 2009.

MORELLI, J.; NELLI, E.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 6, 1987.

MOZAMBANI, A.E.; PINTO, A.S.; SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. **Anais**. Piracicaba: CP, 415p, 2006.

MULUMBA, L.N.; LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil e Tillage Research**. v. 98, p. 106-111. 2008.

NÓBREGA, J.C.A.; LIMA, J.M.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; MOTTA, P.E.F. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de Latossolos cultivados e não-cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p.1425-1435, 2001.

NOLÊTO, D.H.; ANDRADE JUNIOR, A.S.; BRAGA, D.L.; MOTA, P.R.D.; RIBEIRO, V.Q. **Crescimento de cana-de-açúcar (2ª soca) sob diferentes níveis de fertirrigação nitrogenada**. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, Cuiabá - MT, Brasil, 2011.

OLIVEIRA, Z.B. **Perdas de água e variações na temperatura de um Argissolo vermelho em função de diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície e espaçamentos entre linhas do feijoeiro**. 2011. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2011.

- PEPIN, S.; PLAMONDON, A.P.; STEIN, J. Peat water content measurement using time domain reflectometry. **Canadian Journal of Forest Research**. v.22, p.534-540, 1992.
- RAVANELI, G.C.; MADALENO, L.L.; PRESOTTI, L.E.; MUTTON, M.A.; MUTTON, M.J.R. Spittlebug infestation in sugarcane affects ethanolic fermentation. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 6, p. 534-539, 2006.
- RITCHIE, J.T.; BASSO, B. Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: The role of agronomic management. **European Journal Agronomy**, v.28, p.273–281, 2008.
- SA, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A., LAL, R.; VESNKE-FILHO, S.P.; PICCOLO, M. C., FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, v.65, p.1486–1499, 2001.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.19, p.313-319, 1995.
- SCOPEL, E.; DOUZET, J.M.; SILVA, F.A.M.; CARDOSO, A.; MOREIRA, J.A.A.; FINDELING, A.; BERNOUX, M. Impactos do sistema de plantio direto com cobertura vegetal (SPDCV) sobre a dinâmica da água, do nitrogênio mineral e do carbono do solo do cerrado brasileiro. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 169-183, 2005.
- SEBEN, G.K.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C.; TANABE, C.S.; SILVA, A.D.; MARTINS, I. C. T. **Avaliação da temperatura do solo em três profundidades, sobre diferentes coberturas vegetais em Latossolo amarelo muito argiloso do oeste paraense**. Canoas-Pará, Espaço Científico v.12, n.1/2, 2011.
- SILVA, F.A.M.; PINTO, H.S.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.717-724, 2006a.
- SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: **Anais**. Reno: American Society of Agricultural and Biological Engineers, p.393-396. 2009.
- SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 391-399, 2006b.
- SILVEIRA, M.C.; ZIMMER, T.; MOREIRA, V.S.; ROBERTI, D.R. Estimativa do fluxo de calor no solo para diferentes profundidades. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, p. 239 – 241, 2013. ISSN: 2179-460X
- SINGEL, A.; SMIT, M.A.; REDSHAW, K.A.; DONALDSON, R.A. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, v. 92, p.249-260, 2005.

- STRECK, N.A.; SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A. Modificações físicas causadas pelo mülching. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v.2, p.131-142, 1994.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Artmet, 2004.
- TERAUCHI, T.; MATSUOKA, M. Ideal characteristics for the early growth of sugarcane. **Japanese Journal of Crop Science**, Japan. v. 69: p.286-292. 2000.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. New Jersey: Laboratory of Climatology, **Publication in Climatology**, v. 8, n.1, p.86, 1955.
- TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**. V.16, p. 574-582, 1980.
- TOPP G.C.; DAVIS, J.L.; BAILEY, W.G.; ZEBCHUK, W.D. The measurement of soil water content using a portable TDR hand probe. **Canadian Journal of Soil Science**, v.64, p.313-321, 1984.
- TOPP, G.C.; WATT, M.; HAYHOE, H.N. Point specific measurement and monitoring of soil water content with an emphasis on TDR. **Canadian Journal of Soil Science** v.76, p.307-316, 1996.
- TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUÊS, J.C.S.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia ^{15}N e ureia ^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.89-99, 1996.
- VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2002.