



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**JOBERTA CARDOSO PASTANA YAKUWA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS**  
**TÉRMICO-HÍDRICAS DO SOLO EM CULTIVO DE PALMA DE ÓLEO NO LESTE**  
**DA AMAZÔNIA**

**BELÉM**

**2023**

**JOBERTA CARDOSO PASTANA YAKUWA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS  
TÉRMICO-HÍDRICAS DO SOLO EM CULTIVO DE PALMA DE ÓLEO NO LESTE  
DA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, para a obtenção do título de Mestra.

Área de concentração: Agronomia.

Orientador: Alessandro Carioca de Araújo.

**BELÉM**

**2023**

Dados Internacionais de Catalogação na  
Publicação (CIP) Bibliotecas da Universidade  
Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- Y15v Yakuwa, Joberta Cardoso Pastana  
Variabilidade espacial e temporal das características térmico-hídricas do solo em cultivo da Palma de óleo no leste da Amazônia / Joberta Cardoso Pastana Yakuwa. - 2023.  
71 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2023.  
Orientador: Prof. Dr. Alessandro Carioca de Araújo
1. Palma de óleo. 2. Umidade do solo. 3. Temperatura do solo. 4. Física do solo.  
I. de Araújo, Alessandro Carioca, *orient.* II. Título

---

CDD

630.251509811

**JOBERTA CARDOSO PASTANA YAKUWA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS  
TÉRMICO-HÍDRICAS DO SOLO EM CULTIVO DE PALMA DE ÓLEO NO LESTE  
DA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia para obtenção do título de Mestra.

**Aprovada em 30/11/2020**

**BANCA EXAMINADORA**

*Alessandro C de Araújo*

---

**Pesq. Alessandro Carioca de Araújo, P.h.D.  
Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Orientador**

*A. L. G.*

---

**Pesq. Wenceslau Geraldes Teixeira P.h.D.  
Embrapa Solos**

*Steel Silva Vasconcelos*

---

**Pesq. Steel Silva Vasconcelos, D.Sc  
Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**



---

**Herdjania Veras de Lima, P.h.D.  
Universidade Federal Rural da Amazônia**

Aos meus pais, por todo o amor, dedicação e pelos ensinamentos que são essenciais na minha vida.

Ao Tiago, pelo amor e companheirismo e por estar sempre presente me incentivando a alcançar meus objetivos.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por todas as bênçãos e por estar sempre presente iluminando meu caminho.

Aos meus pais e meus irmãos, por todo o amor e incentivo, vocês são minha força diária.

Ao Tiago Yakuwa por todo amor, companheirismo e pelo incentivo diário para que eu siga em busca do alcance dos meus objetivos.

À minha sogra Angela Yakuwa, minhas tias e primas, por sempre torcerem pelo meu sucesso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado e pela proposta financiada na modalidade APQ – Auxílio a Pesquisa, Processo 480210/2011-0 do edital Universal 14/2011.

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAGRO) por me proporcionar a realização do curso. Em especial, à Coordenadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Gisele Barata e à secretária Neila Ramos, sempre dispostas a ajudar os discentes.

À representante dos estudantes da pós graduação Deborah Pires, por nunca se recusar em me ajudar quando precisei.

Aos meus orientadores Dr. Alessandro Carioca de Araújo e Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira, por todos os ensinamentos, oportunidades que me foram proporcionadas, confiança e orientação.

Ao projeto da Embrapa, sob liderança do Dr. Marcelo C. Murad e Dr. Roberto C. Lisbôa, que disponibilizou recursos para a realização das análises de solo.

Aos amigos que o mestrado me deu, vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. A Julie Andrews, Leila Leal, Emanuely Mendes, Giselle Nerino, Luciana Cirino, Caio Pantoja, Maryellen Souza, Leonardo Oliveira, Aline Noronha, Ewelyn.

Às minhas amigas da graduação, Maeli Trindade, Brenda Pantoja e Natalia Santiago por todo o incentivo e torcida para que eu concluísse o mestrado.

Ao Ivanildo Trindade, Everson Rocha, Neusa Silva, Cléo Marcelo e José Maria por me ajudarem na coleta de solo e atividades de laboratório. Ao professor Jessivaldo Galvão, por sempre me incentivar nos estudos e torcer pelo meu sucesso.

À Embrapa Amazônia Oriental, pela aquisição dos instrumentos, torre de alumínio e suporte logístico. À empresa Marborges Agroindústria S.A pelo apoio técnico e suporte ao experimento. E, ao Programa LBA/INPA/MCTI pelo apoio técnico e suporte instrumental.

Muito obrigada!

## RESUMO

A palma de óleo possui grande importância econômica e ambiental. O estudo térmico e hídrico do solo e a sua variabilidade espacial e temporal, torna-se importante pois os solos participam de todo o processo de troca de água e energia entre superfície, biota e a atmosfera. O objetivo do estudo foi caracterizar a variação espacial e temporal térmico-hídrica do solo, em cultivo de palma de óleo com híbrido interespecífico (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleífera* (H. B. K.) Cortés), em um Latossolo Amarelo no leste da Amazônia. O estudo foi conduzido em um plantio de HIE (01°51'43.2''S, 48°36'52.2''O) no município de Moju, Pará, Brasil. A precipitação foi obtida por um pluviômetro instalado em uma torre de observações micrometeorológicas, e os dados microclimáticos do solo como umidade volumétrica ( $\theta$ ), temperatura ( $T_{\text{solo}}$ ) e fluxo de calor do solo ( $G$ ) foram obtidos por meio de instrumentos instalados próximos à torre. Estes foram instalados verticalmente entre duas plantas (EP), em pontos localizados a distâncias crescentes a partir da estipe da planta: EP1 (0.5 m), EP2 (2 m) e EP3 (4 m). Adicionalmente, também entre duas linhas de plantas (EL). Amostras de solo foram coletadas em EP e EL, para proceder análises físicas como granulometria, densidade, porosidade e retenção de água no solo. A série temporal utilizada nesse estudo compreende o período de 2014 a 2017. Menores valores de  $\theta$  foram observados em EP1, local com maior densidade de raízes que absorvem água e nutrientes. E, os maiores de  $\theta$  em EP2 e EP3. É muito provável que pelo fato em EP3 ocorrer a deposição das folhas que são podadas, isso tenha promovido um efeito isolante, que pode atenuar tanto as trocas de calor com a superfície, quanto a evaporação, mantendo o solo mais úmido e com menores temperaturas. Independente do período, chuvoso (PC) ou menos chuvoso (PMC), a  $\theta$  apresentou menores valores em EL do que em EP. Através da curva de retenção de água no solo (CRA), observou-se que houve menor retenção da água, maior densidade e menor porosidade total em EL do que em EP. A menor variação de  $T_{\text{solo}}$  e  $G$  ocorreu especificamente em EP3, onde ocorreu a deposição das folhas podadas sobre o solo, em comparação com EL, no qual o solo estava descoberto.

**PALAVRAS CHAVE:** Palma de óleo, umidade do solo, temperatura do solo, física do solo.

## ABSTRACT

Oil palm has great economic and environmental importance. The thermal and water study of the soil and its spatial and temporal variability, becomes important because the soils participate in the whole process of water and energy exchange between surface, biota and the atmosphere. The objective of the study was to characterize the spatial and temporal thermal-hydric variation of the soil, in oil palm cultivation with interspecific hybrid (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleifera* (H. B. K.) Cortés), in a Yellow Latosol in eastern Amazonia. The study was conducted in a HIE plantation (01°51'43.2''S, 48°36'52.2''O) in the municipality of Moju, Pará, Brazil. The precipitation was obtained by a rain gauge installed in a tower of micrometeorological observations, and the microclimatic data of the soil such as volumetric moisture ( $\theta$ ), temperature ( $T_{\text{solo}}$ ) and soil heat flow ( $G$ ) were obtained by means of instruments installed near the tower. These were installed vertically between two plants (EP), at points located at increasing distances from the plant stem: EP1 (0.5 m), EP2 (2 m) and EP3 (4 m). Additionally, also between two lines of plants (EL). Soil samples were collected in EP and EL, to perform physical analyzes such as granulometry, density, porosity and water retention in the soil. The time series used in this study covers the period from 2014 to 2017. Lower values of  $\theta$  were observed in EP1, a place with a higher density of roots that absorb water and nutrients. And, the largest of  $\theta$  in EP2 and EP3. It is very likely that due to the fact that EP3 deposits the leaves that are pruned, this has promoted an insulating effect, which can attenuate both heat exchanges with the surface and evaporation, keeping the soil more humid and with lower temperatures. Regardless of the period, rainy (CP) or less rainy (PMC),  $\theta$  showed lower values in EL than in EP. Through the soil water retention curve (CRA), it was observed that there was less water retention, greater density and less total porosity in EL than in EP. The smallest variation of  $T_{\text{solo}}$  and  $G$  occurred specifically in EP3, where there was the deposition of pruned leaves on the soil, in comparison with EL, in which the soil was uncovered.

**KEY WORDS:** Oil palm, soil moisture, soil temperature, soil physical.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Frutos de palma de óleo, classificados da esquerda para a direita, com base na espessura do endocarpo, nos tipos Dura (D), Tenera (T) e Psífera (P).....	21
Figura 2 -	Desenho experimental para coleta de dados em um plantio de palma de óleo, localizado em Moju-PA.....	34
Figura 3 -	Localização dos perfis ao redor da torre, base da planta, terço médio e empilhamento (a); entre linhas (b), em Moju-PA.....	34
Figura 4 -	Coleta de amostras de solo para análises físicas do solo, utilizando castelinho (a); cilindro inserido no solo (b); amostra coletada no solo para limpeza (c); amostra preparada e pronta para ser armazenada (d).....	35
Figura 5 -	Curva de retenção de água do solo entre plantas (EP): modelo unimodal (a); bimodal (b), e nas entre linhas (EL): modelo unimodal (c); bimodal (d), em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.....	40
Figura 6 -	Curva de distribuição do tamanho dos poros entre plantas (a) e nas entre linhas (b), em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.....	41
Figura 7 -	Precipitação mensal no local do estudo no período de 2014 a 2017 e a média da normal climatológica para Belém 1981-2010 (INMET), em Moju-PA. A linha tracejada indica o limiar de 150 mm mês <sup>-1</sup> , abaixo do qual ocorre déficit hídrico para a palma de óleo.....	42
Figura 8 -	Variação da umidade volumétrica do solo e da precipitação durante o período de 2014 a 2017, em um plantio de palma de óleo, em Moju-PA: a) base da planta (EP1); b) terço médio (EP2); c) empilhamento (EP3); e d) entre linhas (EL) e precipitação. Cada ponto representa a média mensal, e para a precipitação o total mensal. As faixas pretas horizontais destacam os períodos menos chuvosos.....	44
Figura 9 -	Variação da umidade do solo, umidade de saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente entre plantas (EP) durante o período de 2014 a 2017, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA: a) 0,10 m; b) 0,20 m; c) 0,30 m; e, d) 0,40 m. Cada ponto representa a média mensal. As faixas pretas horizontais destacam os períodos menos chuvosos.....	46
Figura 10 -	Variação da umidade do solo, umidade de saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente na entre linha (EL) durante o período de 2014 a 2017, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA: a) 0,10 m; b) 0,20 m; c) 0,30 m; e, d) 0,40 m. Cada ponto representa a média mensal. As faixas pretas horizontais destacam os períodos menos chuvosos.....	47
Figura 11 -	Variação sazonal e espacial do perfil vertical de umidade volumétrica do solo no período chuvoso (PC) e período menos chuvoso (PMC) durante o período de 2014 a 2017, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.....	49
Figura 12 -	Variação da temperatura do solo durante o período de 2014 a 2017, na profundidade de 0,10 m, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA. Cada ponto representa a média mensal. As faixas pretas horizontais delimitam os períodos menos chuvosos.....	50
Figura 13 -	Curva média diária sazonal da temperatura do solo a 0,10 m de profundidade, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA. Da esquerda para a direita, e de cima para baixo, para os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 em: EP1 (a, b, c, d); EP3 (e, f, g, h); e, EL (i, j, k, l), respectivamente.....	52
Figura 14 -	Variação do fluxo de calor do solo durante o período de 2014 a 2017, na profundidade de 0,10 m, nas posições empilhamento (EP3) e nas entre linhas (EL), em um plantio de palma de óleo, Moju-PA. Cada ponto representa a média mensal. As faixas pretas horizontais destacam os períodos menos chuvosos. Linha tracejada é uma linha de referência.....	53
Figura 15 -	Curva média diária sazonal do fluxo de calor do solo a 0,10 m de profundidade, em Moju-PA. Da esquerda para a direita, e de cima para baixo, para os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 em: EP3 (a, b, c, d) e EL (e, f, g, h), respectivamente.....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

CTC	Capacidade de troca catiônica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FDR	Reflectometria no Domínio da Frequência
HIE	Híbrido Interespecífico
HL	Hora Local
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LBA	Programa de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
TDR	Reflectometria no Domínio do Tempo
TSM	Temperatura da Superfície do Mar

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$	Parâmetro de ajuste da curva
AD	Água disponível
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CRA	Curva de retenção
D <sub>s</sub>	Densidade do solo
EL	Entre linhas
EP1	Base da planta (5 m de distância em relação ao estipe da planta)
EP2	Terço médio da folha adulta (2 m de distância em relação ao estipe da planta)
EP3	Empilhamento (4 m de distância em relação ao estipe da planta)
EP	Entre plantas
G	Fluxo de calor no solo
Map	Macroporosidade do solo
Min	Minutos
Mip	Microporosidade do solo
PC	Período chuvoso
PMC	Período menos chuvoso
Pt	Porosidade total do solo
$\Psi$	Potencial matricial
T <sub>solo</sub>	Temperatura do solo
RMSE	Erro quadrático médio
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
$\theta$	Conteúdo volumétrico de água do solo
$\theta_r$	Umidade residual
$\theta_s$	Umidade saturada

## SUMÁRIO

<b>1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 Geral.....	15
2.2 Específicos .....	15
<b>3 HIPÓTESES .....</b>	<b>15</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>17</b>
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>21</b>
4.1. Palma de óleo.....	21
4.2. Importância da palma de óleo na Amazônia.....	23
4.3. Híbrido interespecífico BRS Manicoré.....	24
4.4. Dinâmica térmico hídrica do solo .....	25
4.5 Características físicas do solo .....	27
<b>5. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>6. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
6.1. Área de estudo .....	32
6.2. Instrumentação.....	33
6.3. Propriedades físicas do solo.....	35
6.4. Tratamento dos dados e análises estatísticas .....	37
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>37</b>
7.1. Propriedades físicas do solo.....	37
7.2. Precipitação.....	42
7.3. Umidade volumétrica do solo .....	43
7.4. Temperatura do solo .....	50
7.5. Fluxo de calor no solo.....	53
<b>8. DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
8.1. Variabilidade temporal e espacial de $\theta$ .....	55
8.2. Variabilidade temporal e espacial de $T_{\text{solo}}$ e $G$ .....	57
<b>9. CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>61</b>

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O aquecimento global e as conseqüentes mudanças climáticas regionais, incluindo mudanças nos padrões de precipitação e aumentos na magnitude e frequência de eventos extremos, como seca, decorrente de El Niño e incêndios (NEELIN et al., 2006; IPCC, 2013; JIMÉNEZ-MUÑOZ et al., 2016), podem prejudicar severamente as plantações (TANGANG, 2010; ROWLAND et al., 2015). O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de interação oceano-atmosfera acoplada no Oceano Pacífico equatorial e um dos mais distintos impulsionadores da variabilidade climática regional e global sazonal a interanual (WOLTER; TIMLIN, 2011).

Conforme Hong et al. (2014), a se tratar dos 39 eventos El Niño que ocorreram desde 1952, aqueles que ocorreram em 1972-1973, 1982-1983, 1997-1998 e 2015-2016 são categorizados como eventos “super El Niño”. O ENOS 2015-2016 foi o primeiro ENOS forte nos últimos 18 anos, podendo ocorrer um forte aquecimento e seca na Amazônia (JIMÉNEZ-MUÑOZ et al., 2016). Na Amazônia, Liu et al. (2017) constataram que a precipitação média anual durante a seca de 2015/2016 foi a mais baixa em 35 anos.

Mudanças no uso da terra, como a conversão de florestas em terras cultivadas, alteram as características da vegetação, incluindo sua cor, crescimento sazonal e fluxo de carbono (HOUGHTON, 2003; FOLEY et al., 2005). Quando se limpa e queima uma floresta para preparo da área, o armazenamento de carbono na vegetação é reduzido, há a adição de CO<sub>2</sub> à atmosfera e alteração na refletividade da terra (albedo de superfície), nas taxas de evapotranspiração e emissões de ondas longa (IPCC, 2013). O desmatamento gera a emissão de gases de efeito estufa, como por exemplo, o CO<sub>2</sub> que estava armazenado como carbono nas árvores. Parte deste carbono é lançado na atmosfera através do desmatamento e reabsorvido pelas florestas secundárias após o crescimento da mesma (ARTAXO et al., 2005; SILVA DIAS, 2006).

A conversão de florestas na Amazônia, a uma taxa média de 20.000 km<sup>2</sup> por ano, resultou em aproximadamente 72 milhões de hectares desmatados até 2009 (EMBRAPA, 2010; HOMMA, 2010). Essa conversão leva a emissões intensas de material particulado e gases-traço em decorrência de queimadas e decomposição da vegetação morta (FEARNSIDE, 2007). Na floresta amazônica, o desmatamento leva ao empobrecimento da biodiversidade na região. O ciclo hidrológico também é afetado, podendo modificar o transporte de umidade fornecido pela floresta para importantes regiões agrícolas do Brasil localizadas no sul e sudeste (FEARNSIDE, 2005).

Sobre o uso das áreas desmatadas, umas das alternativas para recuperar essas áreas é o uso de culturas perenes (HOMMA, 2012). A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) além de ser uma cultura perene, possui importância econômica e ambiental. A expansão da palma de óleo é uma excelente alternativa para gerar emprego e renda no campo, constitui, também, uma opção de reflorestamento para as áreas desmatadas, proteger o solo contra o efeito da erosão, prevenir a degradação das terras e oferecer alta taxa de sequestro de carbono (RAMALHO-FILHO et al., 2010).

A utilização de áreas alteradas, a maioria, tomadas por pastos em avançado estado de degradação, com ações que dispõem de tecnologias consolidadas, como a cultura da palma de óleo, é uma escolha econômica viável para minimizar a pressão sobre a floresta (BECKER, 2010). A palma de óleo é conhecida no âmbito da pesquisa e da prática, incluindo avanço tecnológico com melhoramento genético apresentando vantagens e potencial ecológico, social e econômico (PHORUM, 2010).

O estado do Pará é o maior produtor nacional de palma de óleo, são vários os fatores que favorecem esse quadro, destacando-se o fato do estado possuir cerca de 10% de seu território, ou seja, cerca de 13,1 milhões de hectares, propícios para o cultivo de palma de óleo (FAPESPA, 2017). O estado do Pará possui condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da palma de óleo, como também uma legislação que incentiva a expansão do plantio (SILVA JUNIOR, 2020).

A palma de óleo tem um ciclo de vida longo, de cerca de 25 anos (WOITTIEZ et al., 2017) e está adaptada ao clima tropical com uma temperatura média ótima de 24–28 °C. Requer precipitação frequente e suficiente de aproximadamente 2000 mm ano<sup>-1</sup> e um alto nível de radiação solar (BAKOUMÉ et al., 2013; CORLEY e TINKER, 2016). A cultura apresenta uma reação distinta às mudanças nos parâmetros atmosféricos e do solo, incluindo sintomas graduais de estresse hídrico e térmico, como crescimento inibido (LEGROS et al., 2009; CAO et al., 2011), quebra dos cachos de frutas (BAKOUMÉ et al., 2013), redução na produção (CALIMAN; SOUTHWORTH, 1998; NOOR et al., 2011) e, em última análise, a morte da planta (MAILLARD et al., 1974).

O estudo térmico e hídrico do solo, assim como, a sua variabilidade espacial e temporal, é importante na medida em que a situação natural dos ecossistemas é perturbada por mudanças feitas pelo ser humano, pois os solos participam de todo o processo de troca de água e energia entre superfície, biota e a atmosfera (SANTOS, 2011). O solo também tem relação com o carbono, pois segundo Guo & Gifford (2002), o solo constitui compartimento chave no

processo de emissão, estoque e seqüestro de carbono, e quando manejado adequadamente, funciona como sumidouro de carbono.

Dada a diversidade dos impactos do ENOS na precipitação, não está claro como a hidrologia da superfície terrestre em escala global pode ser influenciada pelo ENOS e se tal influência pode ser mais específica da região onde o ENOS ocorre (SCHUBERT et al., 2016). Das variáveis hidrológicas da superfície da terra, a umidade do solo ( $\theta$ ) é de particular interesse devido à escassez de observações disponíveis para avaliar adequadamente sua resposta ao ENOS (GRUBER et al., 2018). Compreender as variações de  $\theta$  em eventos de ENOS é importante, por causa de seus fortes controles sobre as trocas de energia e água na interface terra-atmosfera e porque representa a principal fonte de água para a vegetação natural e cultivada (PRIGENT et al., 2005).

Para a cultura da palma de óleo várias práticas de manejo têm sido utilizadas (TAILLIEZ, 1975; QUENCEZ, 1986; CALIMAN; KOCHKO, 1987). Por exemplo, a deposição na superfície do solo das folhas podadas, além de representar uma importante fonte de nutrientes (SOLANO, 1986), constitui uma medida efetiva de conservação do solo (QUENCEZ, 1986; KEE; CHEW, 1996), protege o solo dos raios solares e do vento, reduz a taxa de evaporação, aumenta a infiltração e o armazenamento de água no solo (HECKLER; SALTON, 2002), como também preserva as propriedades físicas do solo e aumenta os teores de matéria orgânica no solo (GUIMARÃES et al., 2013; HUBBARD et al., 2013).

Nos processos de interação solo-atmosfera, os perfis de temperatura e umidade do solo dependem entre outros fatores, das características físicas dos solos e das trocas de calor e vapor d'água com a atmosfera, que por sua vez dependem do clima e da cobertura vegetal local (ALVALÁ et al., 2002). Nelson et al. (2006) observaram maior absorção de água pelas raízes na base da palma de óleo e onde são depositadas as folhas podadas, indicando maior umidade do solo nesses locais, o contrário foi observado onde há o tráfego para colheita dos frutos. Sato et al. (2017) encontraram maior umidade do solo entre as plantas de palma de óleo e menor umidade do solo entre linhas. Hardwick et al. (2015) observaram maior temperatura do solo em plantio de palma de óleo e menor em floresta primária. Essa diferença é devido a maior exposição do solo em uma plantio de palma de óleo, que absorve maior parcela de radiação incidente em comparação com a floresta primária que tem maior número de indivíduos e, geralmente, maior cobertura vegetal (SAMPAIO et al. 2007).

Por outro lado, a compactação do solo decorrente do tráfego da colheita dos frutos de palma de óleo, causa a redução da porosidade total (TEIXEIRA, 2001), aumento da densidade do solo e alta resistência à penetração das raízes (FERREIRA et al., 2019). Esta condição

influencia no armazenamento de água e sua disponibilidade para as plantas, bem como sua condutividade hidráulica, afetando o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (SHAH et al., 2017). Caliman et al. (1990), trabalhando em palmares na Costa do Marfim, observaram que a compactação do solo reduziu entre 20 e 30% a produtividade devido à menor retenção de água nos horizontes superficiais do solo.

Todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo são influenciados pela temperatura do solo e umidade do solo. Processos biológicos como a absorção de nutrientes e água pelas raízes, a decomposição de matéria orgânica por micróbios e a germinação de sementes são fortemente afetados por eles (ALVALÁ, 2002). Processos físicos, como movimento da água e secagem do solo também podem ser influenciados pela temperatura (CAMPBELL, 1985).

O monitoramento em escala espacial e temporal da umidade e temperatura do solo é de grande importância, de forma a fornecer informações sobre o solo de um cultivo de palma de óleo, bem como auxiliar na compreensão da influência do manejo e práticas agrícolas nessas variáveis microclimáticas do solo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Caracterizar a variação espacial e temporal térmico-hídrica do solo, em cultivo de palma de óleo com híbrido interespecífico (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleífera* (H. B. K.) Cortés), em um Latossolo Amarelo no leste da Amazônia.

### **2.2 Específicos**

Descrever a variação temporal do perfil vertical da umidade do solo entre as plantas e entre as linhas de um cultivo de palma de óleo com HIE.

Descrever a variação temporal da temperatura e fluxo de calor do solo entre as plantas e entre as linhas de um cultivo de palma de óleo com HIE.

Avaliar a curva de retenção de água no solo entre as plantas e entre as linhas de um cultivo de palma de óleo com HIE.

## **3 HIPÓTESES**

As menores umidades do solo serão observadas próximo à base do estipe da planta.

As maiores umidades do solo serão observadas entre as plantas, no local onde ocorre a deposição de folhas que são podadas.

As menores umidades do solo serão observadas nas entre linhas do que entre as plantas, independente do período no ano.



A menor variação da temperatura e fluxo de calor no solo ocorre no local onde há a deposição das folhas sobre o solo.

A maior retenção de água do solo será observada entre as plantas do que entre as linhas.

## REFERÊNCIAS

- ALVALÁ, R. C. S. et al. Intradurnal and seasonal variability of soil temperature, heat flux, soil moisture content and thermal properties under forest and pasture in Rondonia. **Journal of Geophysical Research - Atmospheres**, v. 107, p. 10-20, 2002.
- ARTAXO, P.; GATTI, L.V.; CORDOVA, A.M.; LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; LARA, L.L.; PAULIQUEVIS, T.M.; PROCOPIO, A.S.; RIZZO, L.V.. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta amazônica**, v. 35, n. 2, p. 185-196, 2005.
- BAKOUMÉ, C.; SHAHBUDIN, N.; YACOB, S.; SIANG, C. S.; THAMBI, M. N. Improved method for estimating soil moisture deficit in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) areas with limited climatic data, **J. Agr. Sci.**, 5, 57–65, doi.org/10.5539/jas.v5n8p57, 2013.
- BECKER, B. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)? **Confins (Revista Franco-Brasileira de Geografia)**, n. 10, 2010.
- CALIMAN, J. P.; KOCHKO, P. Quelques techniques culturales et aménagements spéciaux réalisables en plantation de palmiers à huile pour limiter l'érosion et le ruissellement. **Oleagineux**, v. 42, n. 3, p 99-106, 1987.
- CALIMAN, J. P.; CONCARET, J.; AUBRY, M. Subsoiling in oil palm plantations: description of an adapted tool and conditions for its use. **Oleagineux**, v. 45, n.8-9, p. 391-392. 1990.
- CALIMAN, J.; SOUTHWORTH, A. **Effect of drought and haze on the performance of oil palm**, 1998 International Oil Palm Conference, Commodity of the past, today, and the future, Sheraton Nusa Indah Hotel, Bali, 23–25 September 1998, 1–40, 1998.
- Campbell, G. S. **Soil Physics With Basic Transport Models for Soil-Plant Systems**, 1st ed., 155 pp., Elsevier Sci., New York, 1985.
- CAO, H.-X.; SUN, C.-X.; SHAO, H.-B.; LEI, X.-T. Effects of low temperature and drought on the physiological and growth changes in oil palm seedlings, **Afr. J. Biotechnol.**, 10, 2630–2637, doi.org/10.5897/AJB10.1272, 2011.
- CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The Oil Palm**. 5<sup>a</sup> ed. Chichester: John & Sons Ltd. 687p. 2016.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Zoneamento agroecológico do dendzeiro para as áreas desmatadas da Amazônia legal (relatório síntese). Rio de Janeiro, 2010. 44p.
- FAPESPA, Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. **Boletim Agropecuário do Estado do Pará 2017**. Belém. 2017.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 114-123, 2005.
- FEARNSIDE, P. M. Uso da terra na Amazônia e as mudanças climáticas globais. **Revista Sociedade Ecológica do Brasil**, v. 10, n. 2, p. 83-100. 2007.
- FERREIRA, R. L. C.; SATO, M. K.; RODRIGUES, S.; LIMA, H. V.; TEIXEIRA, O. M. M.; Tráfegos de máquinas agrícolas em cultivo de palma de óleo: implicações na qualidade física do solo. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 62, dx.doi.org/10.22491/rca.2019.2979, 2019.
- FOLEY, J. A.; DEFRIES, R. S.; ASNER, G. P.; BARFORD, C. C. Global consequences of land use. **Science**, 309, 570–574. 2005.

- GRUBER, A.; CROW, W. T.; DORIGO, W. A. Assimilation of spatially sparse in situ soil moisture networks into a continuous model domain, **Water Resour. Res.**, 54, 1353–1367, 2018.
- GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; SILVA, T. O.; SILVA, T. L.; DIAS, N. S.; MATIAS, M. I. S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, n. 1, p. 177-182, 2013.
- GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**, v.8, p.345–360, 2002.
- HARDWICK, S. R.; TOUMI, R.; PFEIFER, M.; TURNER, E. C.; NILUS, R.; EWERS, R. M. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.201, p. 187-195, doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.010, 2015.
- HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. **Palha: fundamento do sistema plantio direto**. Dourados-MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 26 p. 2002.
- HOMMA, A. K. O. Agroenergia: a entrada de um novo ciclo na Amazônia? In: GOMES JUNIOR, R. A. (Ed.). **Bases técnicas para a cultura da palma de óleo integrado na unidade produtiva da agricultura familiar**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 3-5, 2010.
- HOMMA, A. K. O. Amazônia: criando uma nova natureza. In: SCARLATO, F. C.; ARAÚJO, W. F.; EVANGELISTA, R. A. O. (Org.). **Amazônia: terra e água-degradação e desenvolvimento sustentável**. Boa Vista: UFRR, p. 101-122, 2012.
- HONG, L. C.; LINHO; JIN, F.F. A Southern Hemisphere booster of super El Niño, **Geophys. Res. Lett.**, 41, 2142-2149, 2014.
- HOUGHTON, R. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. **Tellus B**, 55, 378–390. 2003.
- HUBBARD, R. K.; STRICKLAND, T. C.; PHATAK, S. Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the coastal plain of southeastern USA. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 276-283, 2013.
- IPCC. **Climate Change 2013: The physical science basis**. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, UK, doi.org/10.1017/CBO9781107415324, 2013.
- JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARIA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y.; SCHRIER, G. Record breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016, **Sci. Rep.** UK, 6, 33130, 2016.
- KEE K. K.; CHEW P. S. **Nutrient losses through surface runoff and soil erosion: implications for improved fertiliser efficiency in mature oil palms**. In: PORIM INTERNATIONAL PALM OIL CONGRESS, 1996, Kuala Lumpur. Competitiveness for the 21<sup>st</sup> century: proceedings Agriculture Conference, Palm Research. Kuala Lumpur: Institute of Malaysia, p. 153-169. 1996.
- LEGROS, S.; MIALET-SERRA, I.; CALIMAN, J.-P.; SIREGAR, F. A.; CLÉMENT-VIDAL, A.; DINGKUHN, M. Phenology and growth adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to

photoperiod and climate variability, **Ann. Bot.** London, 104, 1171–1182, doi.org/10.1093/aob/mcp214, 2009.

LIU, J.; BOWMAN, K. W.; SCHIMEL, D. S.; PARAZOO, N. C.; JIANG, Z.; LEE, M.; BLOOM, A. A.; WUNCH, D.; FRANKENBERG, C.; SUN, Y.; O'DELL, C. W.; GURNEY, K. R.; MENEMENLIS, D.; GIERACH, M.; CRISP, D.; ELDERING, A. Contrasting carbon cycle responses of the tropical continents to the 2015–2016 El Niño. **Science**, v. 358, eaam5690, doi:10.1126/science. aam5690, 2017.

MAILLARD, G.; OCHS, R.; DANIEL, C. Analysis of the effects of drought on the oil palm, **Oleagineux**, 29, 397–404, 1974.

NEELIN, J. D.; MÜNNICH, M.; SU, H.; MEYERSON, J. E.; HOLLOWAY, C. E. Tropical drying trends in global warming models and observations. **P. Natl. Acad. Sci.**, 103, 6110–6115, 2006.

NELSON, P. N.; BANABAS, M.; SCOTTER, D. R.; WEBB, M. J. Using soil water depletion to measure spatial distribution of root activity in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations. **Plant Soil**, 286:109–121, doi 10.1007/s11104-006-9030-6, 2006.

NOOR, M. R.; HARUN, M. H.; JANTAN, N. M. Physiological plant stress and responses in oil palm, **Oil Palm Bulletin**, 62, 25–32, 2011.

PHORUM. **Relatório Final: Análise dos impactos socioeconômicos do projeto biodiesel de dendê Biopalma sobre a sua área de influência direta e indireta.** Belém, 2010. 338 p.

PRIGENT, C.; AIRES, F.; ROSSOW W. B.; ROBOCK, A. Sensitivity of satellite microwave and infrared observations to soil moisture at a global scale: relationship of satellite observations to in situ soil moisture measurements, **Clim. Dynam.**, 110, 1–15, 2005.

QUENCEZ, P. Utilisation des palmes pour lutter contre l'érosion en plantation de palmiers à huile. **Oleagineux**, Paris, v. 41, n. 7, p. 315-317. 1986.

RAMALHO-FILHO, A; MOTTA, P. E. F.; NAIME, U. J.; GONÇALVES, A. O.; TEIXEIRA, W. G. Zoneamento Agroecológico para a cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia Legal. In: Ramalho Filho, A. **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia.** Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2010.

ROWLAND, L.; DA COSTA, A. C.; GALRAITH, D. R.; OLIVEIRA, R. S.; BINKS, O. J.; OLIVEIRA, A. A.; MEIR, P. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation, **Nature**, 528, 119–124, doi.org/10.1038/nature15539, 2015.

SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M.H.; SATYAMURTY, P.; BRITALDO, S.S.F.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, 34: 1-7, 2007.

SANTOS, S. R. Q.; SILVA, R. B. C.; BARRETO, P. N.; NUNES, H. G. G. C.; RODRIGUES, R. S.; CAMPOS, T. L. O. B. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de el niño e la niña, Caxiuanã-pa: estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3, 367 - 374, 2011.

SATO, M. K.; LIMA, H. V.; FERREIRA, R. L. C.; RODRIGUES, S.; SILVA, A. P. Least limiting water range for oil palm production in Amazon region, Brazil. **Sci. agric. Piracicaba**, v.74, n.2, 2017.

SCHUBERT, S. D.; STEWART, R. E.; WANT, H., BARLOW, M.; BERBERY, E.H.; CAI, W.; HOERLING, M. P.; KANIKICHARLA, K. K.; KOSTER, R. D.; LYON, B.; MARIOTTI, A.; MECHOSO, C.R.; MÜLLER, O. V.; RODRIGUEZ-FONSECA, B.; SEAGER, R.; SENEVIRATNE, S. I.; ZHANG, L.; ZHOU, T. Global meteorological drought: a synthesis of current understanding with a focus on SST drivers of precipitation deficits, **J. Climate**, 29, 3989–4019, 2016.

SHAH, A. N.; TANVEER, M.; SHAHZAD, B.; YANG, G.; FAHAD, S.; ALI, S.; BUKHARI, M. A.; TUNG, S. A.; HAFEEZ, A.; SOULIYANONH, B. Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, Basel, v. 24, n. 11, p. 10056-10067, 2017.

SILVA DIAS, M. A. F. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 21, n. 3a, p. 190-199, 2006.

SILVA JUNIOR, J. R. B. A inserção da matriz produtiva do dendê em áreas antropizadas: aspectos relevantes na perspectiva da dimensão ambiental. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 37- 56, 2020.

SOLANO, G. R. **Principales subproductos de las plantas extractoras de aceite**. In: MESA REDONDA SOBRE PALMA ACEITERA, 4., 1986, Valledupar. Memórias... Valledupar: FAO, p.161-169. 1986.

TAILLEZ, B. Aménagement des terrains vallonnés et accidentés pour la plantation de palmier à huile. **Oléagineux**, v. 30, n. 6, p. 299-302. 1975.

TANGANG, F. Climate change: is Southeast Asia up to the challenge?: the roles of climate variability and climate change on smoke haze occurrences in Southeast Asia region, edited by: Kitchen, N., **London School of Economics and Political Science**, London, UK, 2010.

TEIXEIRA, W.G. Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey Ferralsol in the Central Amazon. **Bayreuther Bodenkundliche Berichte**, v. 72, p. 1-255, 2001.

WOITTIEZ, L. S.; VAN WIJK, M. T.; SLINGERLAND, M.; VAN NOORDWIJK, M.; GILLER, K. E. Yields in oil palm: A quantitative review of contributing factors, **Eur. J. Agron.**, 83, 57–77, doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002, 2017.

WOLTER, K.; TIMLIN, M. S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext), **Int. J. Climatol.**, 31, 1074–1087, 2011.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. Palma de óleo

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma palmeira originária da África Ocidental, no Brasil, foi introduzido no século XVII pelos escravos e adaptou-se bem ao clima tropical úmido (TRINDADE et al., 2005). O centro de origem da cultura é a floresta tropical da África Ocidental, embora não possa suportar inundações permanentes, acredita-se que seu habitat natural esteja nos pântanos e nas margens dos rios (CARR, 2011). É uma planta da família Arecaceae, antiga família Palmae (CORLEY; TINKER, 2016). Pertence ao gênero *Elaeis*, que em grego significa óleo, engloba duas espécies de importância econômica: *E. guineensis* (palma de óleo africana) e *E. oleifera* (palma de óleo americana) (CORLEY; TINKER, 2003).

É comumente classificada de acordo com a espessura do endocarpo, como: Dura, Tenera e Pisífera (Figura 1). O tipo Tenera é um híbrido intraespecífico entre os tipos Dura e Pisífera (VIÉGAS; MULLER, 2000). É uma cultura perene, com metabolismo C<sub>3</sub>, bem adaptada a regiões tropicais, podendo ser encontrada no sudeste da Ásia, centro da África e norte da América do Sul (KASSAM et al., 1993; BARCELOS et al., 2001; CORLEY; TINKER, 2016; PTASINSKI, 2016).

**Figura 1.** Frutos de palma de óleo, classificados da esquerda para a direita, com base na espessura do endocarpo, nos tipos Dura (D), Tenera (T) e Pisífera (P).



**Fonte:** Lopes, 2012.

A palma de óleo é uma palmeira grande com folhas pinadas, tendo um caule colunar solitário, com entrenós curtos. Possui espinhos curtos no pecíolo da folha e nos cachos. A espécie é normalmente monóica com inflorescências femininas e masculinas dispostas separadamente na planta, mas, às vezes mista, as inflorescências se desenvolvem nas axilas das

folhas. O cacho é formado por diversos frutos que são os fornecedores de óleo na planta (CORLEY; TINKER, 2003).

A palma de óleo necessita de elevadas temperaturas. Segundo Bastos et al. (2001), a temperatura do ar tem grande importância para a determinação do crescimento e produção desta cultura. É uma cultura de clima tropical, precisa de alta temperatura e o ideal para seu desenvolvimento ótimo são áreas com temperatura do ar entre 24 e 28 °C (CORLEY; TINKER, 2016). Em baixas temperaturas, podem ocorrer aborto dos cachos, retardamento do crescimento vegetativo e da maturação do cacho (GOH, 2000).

Os principais elementos climáticos que afetam o crescimento e o rendimento da palma de óleo, são a temperatura, intensidade e duração da radiação solar, precipitação, déficit de pressão do vapor atmosférico (DPV), taxa de evaporação e velocidade do vento (GOH, 2000; LIM et al., 2011). Em virtude de sua lenta taxa de crescimento em altura, a palma de óleo é incapaz de competir com as árvores da floresta tropical e não cresce bem na sombra profunda da vegetação subterrânea (CORLEY, 1976). A precipitação, conforme Souza (2010), pode ser considerada um fator importante para uma boa disponibilidade de água no solo, desenvolvimento e produção da palma de óleo. Tendo por base como um regime pluviométrico ideal um volume anual entre 1800 e 2000 mm, com precipitações mensais superiores 100 mm e boa distribuição ao longo do ano.

O desenvolvimento da palma de óleo divide-se em dois períodos: o primeiro envolve a fase jovem ou período imaturo, cuja duração varia de dois a quatro anos. Nesta fase as plantas investem em seu crescimento vegetativo. O segundo período representa a fase de produção, que começa no terceiro ano, estabiliza a partir do sétimo e dura de 25 a 30 anos, conforme as condições ecológicas e o material genético (CORLEY; TINKER, 2003). O sistema radicular da palma de óleo africana é formado por raízes adventícias, com raízes primárias geralmente com cerca de 5-10 mm de diâmetro, provenientes da base do estipe e que se espalham horizontalmente e verticalmente em diferentes ângulos (YAHYA et al., 2010). As raízes da palma de óleo geralmente são encontradas nos primeiros 100 cm de profundidade, com maior concentração (aproximadamente 50%) nos primeiros 40 cm (CARVALHO, 1991).

Os maiores produtores de palma são Indonésia e Malásia que controlam cerca de 85% da produção global de óleo dessa cultura (OBIDZINSKI et al., 2012; TURNER et al., 2011; UNITED STATES, 2014). No Brasil, mais de 165 mil hectares são destinados à cultura da palma de óleo, distribuídos principalmente na Região Norte e uma pequena parcela na região nordeste. O estado do Pará concentra mais de 95% da produção nacional e das áreas cultivadas no país (MONTEIRO, 2013). A produção de óleo de palma no Pará é favorecida por condições

edafoclimáticas adequadas, e incentivos ligados a legislação e a entidades públicas e privadas, que promovem apoio técnico e financeiro. Nesse sentido, destaca-se o município de Tailândia como o maior produtor no estado (38,93%), seguido por Acará (16,82%) e Moju (13,57%), que, juntos, totalizam 62,39% do total da produção dessa cultura no Pará (FAPESPA, 2015).

De acordo com Becker (2010) se corretamente tratado, a palma começa a produzir no final do terceiro ano com uma colheita de seis a oito toneladas  $ha^{-1}$  atinge seu auge produtivo no oitavo ano com 25 toneladas  $ha^{-1}$  permanecendo com esta produção até o 17º ano, quando a produção começa a declinar. Sua vida útil, em geral, é de 25 anos.

#### **4.2. Importância da palma de óleo na Amazônia**

Na Amazônia, a necessidade de se planejar um sistema de gestão territorial, levando em consideração a conservação de seus recursos naturais, e o desenvolvimento social e econômico local, tem sido um dos grandes desafios da ciência (VIEIRA et al., 2005). Para Homma (2010), uma política adequada na Amazônia seria reduzir as áreas de pastagens, manter as áreas de cultivos anuais, dobrar a área com cultivos perenes e multiplicar as áreas de reflorestamento. Estas plantações podem promover o sequestro de carbono não somente em sua biomassa, mas também ao longo do perfil do solo (GÖTTINGEN, 2005).

De forma geral, o uso perene do solo é o mais indicado para modelos de agricultura sustentável, devido aos menores distúrbios causados pelo cultivo. Além disso, proporciona uma cobertura vegetal contínua, como também adiciona uma maior quantidade de biomassa ao sistema, promovendo um reservatório de carbono acima e abaixo do solo, maior do que em cultivos sazonais (LAL, 2007).

A palma de óleo, deve ser estudada na sua ecofisiologia, nas diversas condições em que ela é cultivada. Os principais fatores que afetam a produção dessa cultura são clima e solo, nesse sentido, a importância de estudar esses fatores se dá pela grande diversidade edafoclimática em que a planta se encontra (SANTOS, 2010). Diante disso, a Amazônia brasileira apresenta-se como a área mais importante para o cultivo de palma de óleo no Brasil. O estado do Pará possui situação privilegiada, seja pelos resultados dos plantios em produção ou pela ampla disponibilidade de área já antropizada e, portanto, apta ao cultivo da palma de óleo (MAPA, 2018).

De acordo com Morales (2001), a cultura da palma é uma atividade econômica importante em diversos países tropicais. Pode ser considerada uma excelente opção agroindustrial para ocupação da Amazônia, pois é um sistema agrícola ecologicamente estável, valorizado e com produção sustentada. É nesse contexto que se insere a pertinência ou não de



apoiar a expansão da lavoura da palma de óleo na Amazônia, como uma das possibilidades de recuperar áreas desflorestadas e promover o desenvolvimento regional (BECKER, 2010). A significativa contribuição da cultura da palma de óleo na recuperação de áreas desflorestadas e na inclusão socioeconômica de agricultores familiares, torna esta atividade uma excelente alternativa de investimento e diversificação produtiva na Amazônia (BANCO DA AMAZÔNIA, 2012; MONTEIRO, 2013).

### 4.3. Híbrido interespecífico BRS Manicoré

O interesse nos dendezeiros híbridos interespecíficos, resultado do cruzamento entre *Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*, a partir da década de 1970, decorre da resistência ao amarelecimento fatal e do crescimento mais lento (HOMMA, 2016). Os primeiros cruzamentos entre *E. oleifera* e *E. guineensis* no Brasil com intenção comercial ocorreram no final do ano de 1981, no Município de Manicoré, AM, realizados pela equipe da Embrapa Amazônia Ocidental (HOMMA, 2016).

A cultivar manicoré apresenta resistência ao amarelecimento fatal, alta capacidade produtiva, baixa taxa de crescimento do caule, alto teor de oleína, extração de óleo (polinizado) em torno de 20% a 23% e necessidade de polinização assistida. Esse híbrido interespecífico lançado pela Embrapa está entre os três únicos lançados no mundo, entre a palma de óleo africana e a palma de óleo americana (RIOS et al., 2012).

O híbrido, tem folhas maiores do que as de qualquer um dos pais, mas retém o arranjo de folíolos do *E. oleifera*. As características desta última palma, no que diz respeito a incremento em altura, queda das bases peciolares, brácteas persistentes, partenocarpia e formato e cor do fruto, também são herdadas no híbrido (CORLEY; TINKER, 2016). Nos plantios comerciais de híbridos, a polinização assistida é essencial, em função do pólen do híbrido apresentar baixa viabilidade (HARDON; TAN, 1969) e as inflorescências não serem atrativas ao *Elaeidobius kamerunicus* que é o inseto polinizador (CORLEY; TINKER, 2016).

O crescimento vertical do estipe da cultivar BRS Manicoré (17 a 24 cm/ano) é inferior ao das cultivares tradicionais de dendezeiro (45 a 60 cm/ano), o que deve prolongar a vida útil dos plantios comerciais do HIE quando comparado ao de cultivares de dendezeiro africano (CUNHA; LOPES, 2010). De acordo com Cunha & Lopes (2010), pesquisas indicam que a cultivar BRS Manicoré, dentre os materiais genéticos de origem Manicoré e africanos originados de La Mé, apresenta melhor desempenho em áreas com incidência de Amarelecimento Fatal. Sendo assim, a cultivar BRS Manicoré é indicada para cultivo em áreas de incidência de AF.

#### 4.4. Dinâmica térmico hídrica do solo

As variações das temperaturas do ar e do solo são fundamentais para o desenvolvimento e sobrevivência das espécies vegetais e animais que vivem no interior das florestas, sendo esta uma variável importante que exerce influência direta na evapotranspiração e nos processos de troca de energia (OLIVEIRA et al., 2002). Os comportamentos térmicos e hídricos do solo, apresentam variações devido ao fluxo diário de radiação solar incidente na superfície, dos eventos de chuva e das variações sazonais e anuais dessas variáveis meteorológicas (SOUZA et al., 2002).

A temperatura do solo é uma das componentes mais importantes no estudo do microclima. Devido à variação na temperatura ser resultante do fluxo de calor no solo, torna-se um componente necessário ao balanço de energia oriundo da superfície, sendo este, capaz de justificar o armazenamento e a transferência de calor dentro do solo, como também, as trocas entre o solo e a atmosfera (MOURA; QUERINO, 2010).

A temperatura do solo pode influenciar o crescimento e o desenvolvimento vegetal e, conseqüentemente, afetar três funções importantes no solo: a biológica, a química e a física, podendo controlar o poder produtivo, o desenvolvimento e a distribuição de plantas no solo (MOTA, 1989). A temperatura do solo torna-se mais importante que a temperatura do ar para as plantas, pois ela atua diretamente na fase de germinação das sementes, no processo de crescimento das plantas e, é do solo que as plantas tiram todos os nutrientes necessários para se desenvolver. (BRADY; WEIL, 2013).

Os sistemas de manejo influenciam a temperatura do solo (VEIGA et al., 2010). A superfície do solo, com ou sem cobertura vegetal, exerce importante função sobre sua temperatura, uma vez que a cobertura vegetal é responsável pela troca e armazenamento de energia térmica nos ecossistemas terrestres (CARNEIRO et al., 2013). Os resíduos vegetais deixados na superfície do solo, funcionam como atenuadores da amplitude térmica, pois alteram o balanço de radiação devido à diferença no coeficiente de reflexão e, a conseqüente redução na taxa de aquecimento do solo e na oscilação da temperatura ao longo do tempo (SALTON, 1995; PEZZOPANE, 1996).

A umidade do solo é uma fonte de água para a atmosfera através de processos que levam à evapotranspiração, que incluem a transpiração da planta e a evaporação da água no solo (SENEVIRATNE et al., 2010). A evapotranspiração é um componente importante do ciclo da água continental, uma vez que retorna até 60% de toda a precipitação de volta à atmosfera (OKI; KANAE, 2006). Meijide et al. (2017) obtiveram a evapotranspiração de 2.5 mm dia<sup>-1</sup> no plantio

de palma de óleo com um ano e de 3.3 mm dia<sup>-1</sup> na palma com 12 anos. Antonini, Veloso e Malaquias, observaram valores de evapotranspiração variando de 4.1 mm dia<sup>-1</sup> a 5.7 mm dia<sup>-1</sup>, em um plantio de palma de óleo com 9 anos. Omar (2012) obteve valores de evapotranspiração variando de 0.60 mm dia<sup>-1</sup> a 6.1 mm dia<sup>-1</sup>, em um plantio de palma de óleo com 13 anos.

A umidade do solo está diretamente ligado ao potencial de água do solo, ou seja, com que energia a água está ligada à matriz do solo. Com a diminuição da umidade do solo, o potencial de água do solo aumenta, a umidade restante do solo torna-se menos acessível para absorção pelas raízes das plantas, e a evapotranspiração pode ser reduzida (SENEVIRATNE et al., 2010). O monitoramento da dinâmica de umidade do solo é importante para o planejamento agrícola e uso do solo, uma vez que a mesma constitui-se em uma das variáveis mais importantes nos processos climatológicos e hidrológicos em diferentes escalas espaciais e temporais, bem como para estudos de infiltração, irrigação, drenagem, e para utilização na modelagem hidrológica (ENTIN et al., 2000; ÁVILA et al., 2010).

Lei et al. (2011) reforçam que a variação espaço-temporal da umidade do solo é influenciada pela vegetação, fenômenos meteorológicos (principalmente chuvas), terreno (declividade, orientação de vertentes, altitude e diferenciação geográfica) e atividades agrícolas em diferentes escalas. Em áreas onde a disponibilidade de água no solo se torna restritiva, o monitoramento hídrico do solo adquire maior importância, e a necessidade do uso racional dos recursos hídricos aliados ao avanço da tecnologia, tem contribuído para a intensificação dos estudos do monitoramento da água no solo (ARAÚJO et al., 2001; ELAIUY et al., 2009).

O uso da instrumentação voltada para obtenção de informações sobre o sistema água-solo é muito importante. A umidade do solo tem grande efeito na temperatura da superfície em virtude da sua influência no armazenamento de energia térmica, e sua variação no solo promove mudanças no balanço da energia da superfície. Desta forma, a umidade do solo é um parâmetro essencial na modelagem de processos da superfície e hidrológicos (ZENG et al. 2004; LOPES et al., 2011).

A única técnica que mede o teor de água do solo em si é a técnica gravimétrica (ROBOCK et al., 2000; ROBINSON et al., 2008). As medidas gravimétricas ainda representam as medidas de referência para calibrar outros métodos de medição de umidade do solo, uma vez que todas as outras abordagens são indiretas (SENEVIRATNE et al., 2010). Embora esse método represente a verdade básica, há vários problemas com sua implementação, além disso, é necessária mão de obra significativa para as medições em laboratório.

Existem vários métodos indiretos para medições *in situ* da umidade do solo. Dois métodos têm-se destacado devido a sua precisão, segurança ao operador e rapidez na obtenção

da estimativa do teor de água no solo, os métodos eletromagnéticos: Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e a Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), também conhecido como métodos por capacitância (SOUZA, 2016). Ambos baseiam-se na constante dielétrica do solo. A técnica eletromagnética desses métodos, utiliza a dependência da permissividade dielétrica do solo em relação a umidade do solo, ou seja, a grande diferença entre a constante dielétrica dos componentes do solo e da água (SENEVIRATNE et al., 2010).

Os altos custos envolvidos nas pesquisas de campo e os avanços computacionais têm contribuído para ampliar a utilização dos modelos matemáticos, possibilitando simulação do movimento de água e soluto no solo. Porém, vale ressaltar que as medições de campo são indispensáveis, uma vez que os modelos matemáticos necessitam de calibrações e validações locais (RIVERA et al., 2008).

Diferenças na textura do solo, cobertura, espécies vegetais, quantidade de água recebida (precipitação/ irrigação) exercem influência na dinâmica da água no solo, especialmente em ambientes semiáridos, mas as respostas no armazenamento de água são modificadas pela época do ano e profundidade do perfil (ENGLISH et al., 2005).

#### **4.5 Características físicas do solo**

O solo é um dos mais importantes recursos naturais do planeta, tanto para as necessidades humanas, como para a conservação dos ecossistemas. Além disso, ele sustenta campos, cerrados e florestas, integrando a biodiversidade e acolhendo a água das chuvas que depois emergem nas nascentes e mananciais (LEPSCH, 2010). Sua qualidade pode ser definida como a capacidade de um tipo específico de solo desempenhar suas funções, dentro dos limites dos ecossistemas naturais ou manejados. De forma a sustentar a produtividade vegetal, animal e a saúde humana, proporcionando habitação e mantendo ou melhorando a qualidade da água e do ar (KARLEN et al., 1997).

Os atributos físicos do solo regem a organização de toda matriz do solo, sendo responsável pela movimentação e disponibilização da solução do solo, que fornece água e nutrientes para as plantas (GIMENES, 2012). Quando se estuda dinâmica térmico-hídrica do solo se faz necessário obter o conhecimento básico das propriedades físicas do solo, como densidade, textura, estrutura, porosidade e retenção de água no solo.

A densidade do solo é um dos atributos físicos mais influenciados pela degradação estrutural do solo, sendo afetada por cultivos que alteram a estrutura e, como consequência, o arranjo e volume dos poros (KLEIN; LIBARDI, 2002). As alterações neste atributo influenciam

propriedades físico-hídricas importantes, tais como: porosidade de aeração, retenção de água no solo, disponibilidade de água às plantas e resistência do solo à penetração (TORMENA et al., 1998).

A granulometria é uma das características mais estáveis e representa a distribuição quantitativa das partículas sólidas minerais, quanto ao tamanho: argila, silte e areia, sendo importante para a descrição, identificação e classificação do solo (FERREIRA, 2010). É a propriedade que tem maior influência na retenção de água, não sendo modificada com o tempo, exceto se considerar um longo período (KLEIN; KLEIN, 2015). Segundo Gimenes (2012), o solo é formado por partículas de diferentes tamanhos, que constitui a textura do solo, quando aderidas umas às outras por forças de coesão e adesão formam partículas secundárias, chamadas de agregados ou aglomerados, que em conjunto formam a estrutura do solo.

A granulometria interfere em diversas características do solo, como retenção de água do solo, velocidade de decomposição da matéria orgânica, capacidade de lixiviação, susceptibilidade a erosão hídrica e eólica, susceptibilidade a compactação, capacidade de troca catiônica (CTC) e grau de agregação de suas partículas. Além disso, pode influenciar atributos físicos como porosidade e densidade do solo (BRADY; WEIL, 2008).

A estrutura do solo define a geometria de poros, é expressa pela dimensão, forma e arranjo das partículas sólidas e dos seus poros (BREWER; SLEEMAN, 1960). A alteração deste arranjo afeta as propriedades físicas do solo, como porosidade de aeração e resistência do solo à penetração. As propriedades físico-hídricas também são afetadas, como retenção de água no solo e disponibilidade de água às plantas (TORMENA et al., 1998). As partículas do solo tornam-se agregadas devido a diversas forças, formando unidades estruturais distintas, e as partículas nessas unidades são mais fortemente atraídas umas às outras do que por partículas do solo circunvizinho (BRADY; WEIL, 2008). Um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados do solo é a matéria orgânica, que juntamente com óxidos de ferro e alumínio, conferem estabilidade ao solo (AZEVEDO; BONUMÁ, 2004).

Os poros do solo são representados por cavidades de diferentes tamanhos e formas, determinados pelo arranjo das partículas sólidas (HILLEL, 1972; MARQUES, 2000), e constituem a fração volumétrica do solo ocupada com ar e solução (água e nutrientes). A porosidade do solo interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (TOGNON, 1991). O solo ideal deve apresentar um volume e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas (HILLEL, 1980).

A presença de uma rede ideal de poros no solo, exerce influência sobre a fertilidade do solo, afetando as relações entre drenagem, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura, relacionando-se diretamente com o desenvolvimento e produtividade das culturas (LETEY, 1985). Nos solos, embora não exista uma nítida separação entre poros pequenos e grandes, há muitas classificações de diâmetro de poros citadas na literatura, sendo uma forma mais simplificada que divide os poros em duas classes: micro e macroporos. Os microporos, também denominados poros capilares, representam os poros responsáveis pela retenção da água no solo, enquanto os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo (BRADY, 1979).

A retenção de água no solo ocorre devido a fenômenos de capilaridade e adsorção, sendo que, em altos conteúdos de água, a capilaridade atua na retenção da água nos poros capilares, o qual está sempre associado a uma interface curva água-ar. Em menores conteúdos de água, a adsorção ocorre nas superfícies dos sólidos do solo como filme, predominando esta forma de retenção à medida que os poros esvaziam (REICHARDT; TIMM, 2004).

Um plantio de palma de óleo quando bem manejado e solo bem drenado, mesmo após uma precipitação com grande volume, não ficará saturado por um longo período. Uma boa drenagem do solo pode ser obtida quando há manutenção da estrutura que forma o espaço poroso, o qual regula os processos de aeração e drenagem do solo (TEIXEIRA et al., 2010). Nos Latossolos Amarelos muito argilosos da Amazônia Central, a água acima do ponto de murcha permanente atinge valores de cerca de 20% a 25% da água total do solo (TEIXEIRA, 2001). Nos Latossolos Amarelos de textura média e arenosa da região de cultivo de dendezeiros no Estado do Pará, esses valores são de aproximadamente 15 a 20% (VIEIRA; SANTOS, 1987).

## 5 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são vistas como um dos maiores desafios globais da atualidade (FAO, 2006). Aumentos na frequência, duração e intensidade da seca e estresse térmico como também aumento na gravidade de eventos climáticos extremos (secas e tempestades, por exemplo), associados às mudanças climáticas podem alterar a composição e estrutura das florestas (TOOCHI, 2017). Os eventos climáticos extremos estão ligados às condições do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), que refere-se a mudanças em toda a bacia amazônica na interação ar-mar associadas às mudanças nas temperaturas da superfície do mar (TSM) da região do Pacífico tropical (JIMÉNEZ-MUÑOZ et al., 2016).

Os ecossistemas florestais têm sido afetados pelas mudanças do uso da terra e mudanças climáticas. O aumento da temperatura e a seca têm impactos negativos sobre a diversidade de espécies, bem como sobre os bens e serviços do ecossistema para a humanidade (GNACADJA; LESCH, 2009). A Amazônia é um dos principais biomas do planeta, devido a extensão de suas florestas tropicais úmidas e à sua biodiversidade (KRUSCHE et al., 2005). Esse bioma tem sido submetido a um contínuo desflorestamento e expansão do uso da terra, para a implantação de atividades como pecuária, exploração madeireira, agricultura, mineração e urbanização (ASNER et al., 2004).

O desmatamento é uma das principais causas das mudanças climáticas, que exercem impactos na saúde da floresta levando degradação do solo (KHAINÉ; WOO, 2015). A degradação do solo é vista como a perda das funções e usos do solo, que pode ser um processo natural, causado pela ação do intemperismo, ou pela ação antrópica com o uso excessivo do solo (BLUM, 1997). Uma das alternativas para recuperar áreas degradadas é a substituição dessas áreas por cultivos perenes (HOMMA, 2012), o que inclui a cultura da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.).

O plantio de palma de óleo destaca-se como uma alternativa de uso de áreas degradadas, promovendo o desenvolvimento regional pela produção de biocombustível e participação no mercado de sequestro de carbono (BECKER, 2010), além disso a cultura protege o solo contra lixiviação e erosão (FURLAN JÚNIOR; MÜLLER, 2004). O Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais de palma de óleo, com o estado do Pará sendo responsável por 90% da produção nacional (BORGES; COLLICCHIO; CAMPOS, 2016). Na região amazônica, existem aproximadamente 30 milhões hectares de terras degradadas adequadas para plantações de palma de óleo (FILHO; MOTA, 2010). Devido a ascensão do setor bioenergético, foram criados dois programas governamentais, que incentivam o cultivo da cultura no país, o

Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo (SIMAS; PEREIRA, 2019).

Face às mudanças climáticas e recuperação de áreas degradadas com cultivo de palma de óleo, é importante fornecer informações sobre o solo que é base de sustentação dos cultivos, o que inclui a dinâmica térmico-hídrica do solo. O estudo das variabilidades espacial e temporal das propriedades térmicas e hídricas do solo é importante, pois os solos participam de todo o processo de troca de água e energia entre superfície, biota e a atmosfera (SANTOS, 2011). Além disso, todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo são influenciados pela temperatura ( $T_{\text{solo}}$ ) e umidade do solo ( $\theta$ ) (ALVALÁ, 2002).

Nos plantios de palma de óleo, geralmente as folhas são podadas e amontoadas entre plantas de mesma linha. Conforme Tapia-Coral et al. (2005), a deposição de cobertura vegetal no solo atua na redução da perda de água por evaporação, flutuação da temperatura na superfície do solo, proteção dos solos contra erosão, excesso de luz, compactação e lixiviação funcionando também como reservatório de nutrientes. O processo de retirada dos cachos colhidos até o local onde eles serão transportados, é conhecido como carreamento (PINA, 2010), que leva à compactação do solo devido a pressão exercida sobre o solo. Segundo Teixeira (2001), a compactação do solo causa a redução da porosidade total ou a redução do tamanho médio dos poros do solo.

O híbrido interespecífico (HIE) (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleífera* (H. B. K.) Cortés) tem ganhado importância por apresentar características de interesse agrônomo, que apresentam alto potencial para melhorar a competitividade e sustentabilidade da cultura, como a resistência a praga e doenças (TORRES et al., 2010). Além disso, o híbrido apresenta melhor composição do óleo em termos de concentrações de antioxidantes e índice de iodo (CORLEY; TINKER, 2003; ROCHA et al., 2006) e menor crescimento vertical do estipe (CONCEIÇÃO; MULLER, 2000; CUNHA; LOPES, 2010). A morfologia da parte aérea do HIE difere das outras espécies pois possui comprimento de folha maior (CUNHA; LOPES, 2010). Não há muitos estudos a respeito da morfologia de raízes de HIE, Gloria (2016) estudando raízes de HIE encontrou maior densidade de massa de raízes primárias e secundárias nas profundidades superficiais, e à medida que se distanciava horizontalmente da base da planta ocorria uma diminuição.



## 6 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1. Área de estudo

As medidas foram realizadas na empresa Marborges Agroindústria S.A. (1°59'29" S e 48°36'34" O) com a sede situada na Vila de Bacuriteua no município de Moju (PINA, 2010). A empresa está localizada no km 56, PA-252, que liga os municípios de Moju ao Acará, na microrregião de Tomé-Açu, Pará (PINA, 2010) e distante cerca de 130 km em linha reta da cidade de Belém (JARDINE et al., 2016).

O município de Moju apresenta solos com a classificação de Latossolos e solos Concrecionários Lateríticos (FAPESPA, 2016). Na Marborges, o tipo de solo predominante é Latossolo Amarelo Distrófico franco arenoso (GOMES JÚNIOR et al., 2015). A classificação climática conforme Köppen é do subtipo "Af" (ANDRADE et al., 2017), com ausência de meses com precipitação abaixo de 60 mm (BASTOS, 1982). O clima é tropical quente e úmido com precipitação anual entre 2.000 e 3.000 mm (SILVA et al., 2001). O período chuvoso (PC) para a cidade de Belém, cuja classificação climática é idêntica à do Moju, é influenciado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ocorre no período de janeiro-maio e no mês de dezembro. O período menos chuvoso (PMC) ocorre nos meses de junho a novembro (BASTOS et al., 2002). A variação da temperatura do ar é de 21.3 °C a 32.5 °C (SERRÃO et al., 2003).

A distribuição dos meses para o PC e PMC foi definida conforme Verheye (2010) e Carr (2011). Ou seja, nos meses em que a precipitação total foi inferior a 150 mm, a palma de óleo estava sob déficit hídrico. Logo, os meses com precipitação abaixo desse limiar foram considerados como PMC (Tabela 1).

**Tabela 1.** Distribuição dos meses para o período chuvoso e menos chuvoso, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.

Período	Ano			
	2014	2015	2016	2017
<b>Chuvoso</b>	Janeiro - Julho	Janeiro - Junho Dezembro	Janeiro - Maio Dezembro	Janeiro - Maio Dezembro
<b>Menos chuvoso</b>	Agosto - Dezembro	Julho - Novembro	Junho - Novembro	Junho - Novembro

**Fonte:** Torre micrometeorológica (2014 a 2017).

A empresa possui diversos módulos agrícolas com plantios de palma de óleo. O módulo utilizado foi o número 1, no qual está localizada a parcela C<sub>22</sub>, que foi utilizada nesse estudo. Anteriormente, a parcela C<sub>22</sub> apresentava um plantio de *Elaeis guineensis* Jacq. (palma de óleo africana), que foi dizimado pela anomalia amarelecimento fatal (AF). Em fevereiro de 2007, por meio do Projeto Pró-Dendê, foi feito o plantio de palma de óleo com híbrido interespecífico (HIE) (*Elaeis guineensis* Jacq. x *Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés) onde há a competição de

quarenta e dois híbridos de cruzamentos diferentes. A área total da parcela é de 25 hectares (250 x 1000 m) com os indivíduos espaçados em 9 m x 9 m em um formato de triângulo equilátero, totalizando 3.575 plantas (FONSECA et al., 2018).

Os tratos culturais realizados na parcela C22 foram coroamento, realizada 2 vezes ao ano, poda das folhas, realizada uma vez por ano e polinização assistida, prática necessária em plantios de HIE, realizada a cada dois dias. A colheita foi realizada a cada 12-15 dias, sendo os cachos removidos do plantio por meio de tração animal. A adubação foi mecanizada, com o uso de adubadeiras atreladas a tratores e, quando houve necessidade de colocar baixas dosagens de fertilizantes, a aplicação foi feita de forma manual (PINA, 2010).

## 6.2. Instrumentação

Em dezembro de 2013, foi montada na parcela C<sub>22</sub> uma torre de observações micrometeorológicas (01°58'43,2" S; 048°36'52,8" O), com 23 m de altura, estrutura em alumínio e seção de 1,40 m x 1,0 m e 1,83 m de altura. Os instrumentos utilizados para esse estudo estão descritos na Tabela 2.

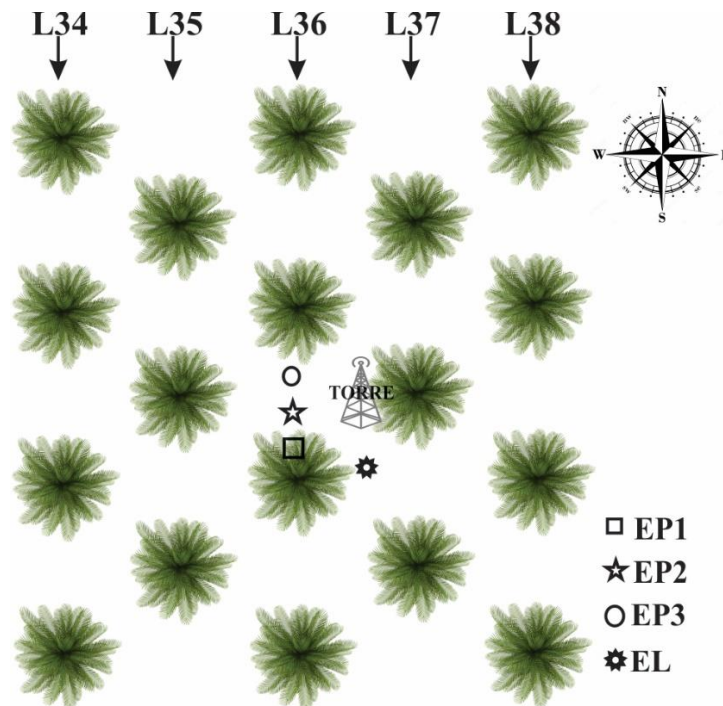
**Tabela 2.** Lista de instrumentação instalada na torre micrometeorológica utilizada no plantio de palma de óleo, Moju, Pará.

Medidas	Unidades	Instrumento	Altura/Profundidade (m)
<b>Precipitação</b>	mm	Pluviômetro (TB4, Hydrological Services Pty. Ltd, Australia)	22,65
<b>Fluxo de calor no solo</b>	W m <sup>-2</sup>	Fluxímetro (HFP01, Hukseflux)	0,10
<b>Umidade do solo</b>	m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup>	Reflectômetro no domínio da frequência (CS615, CS616, CS650, Campbell Scientific, EUA)	0,10; 0,20; 0,30; 0,40
<b>Temperatura do solo</b>	°C	Reflectômetro no domínio da frequência (CS650, Campbell Scientific, EUA)	0,10

Fonte: A autora.

A medições da umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ) ocorreram em quatro perfis verticais (Figura 2). Os perfis 1 (EP1), 2 (EP2) e 3 (EP3) estão localizados a oeste da torre, na linha 36 do plantio, sendo base da planta, terço médio da folha adulta e empilhamento, respectivamente. E, o perfil 4 (EL) está localizado ao sul da torre, entre as linhas 36 e 37 do plantio, denominado carreador. As medições da temperatura do solo ( $T_{\text{solo}}$ ) ocorreram nos perfis EP1, EP3 e EL, e do fluxo de calor no solo ( $G$ ), nos perfis EP3 e EL. Os dados foram coletados como amostras instantâneas de 1 minuto, e registrados como médias de dez minutos.

**Figura 2.** Desenho experimental para coleta de dados em um plantio de palma de óleo, localizado em Moju-PA.

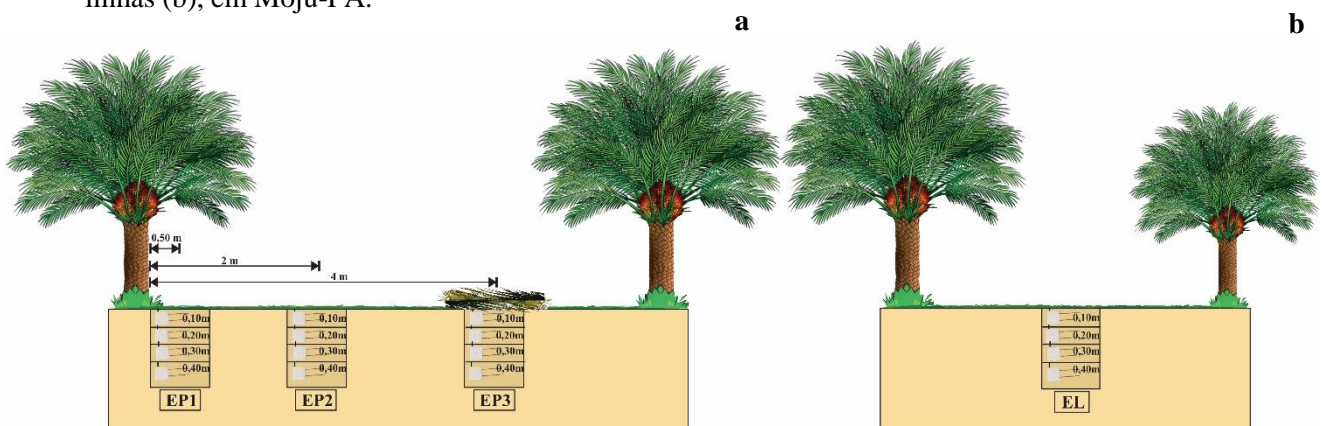


**Fonte:** Tiago Yakuwa (2020).

A precipitação foi a variável utilizada acima do solo (Tabela 2). E, as do solo foram umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ) em quatro profundidades (0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m), temperatura do solo ( $T_{\text{solo}}$ ) a 0,10 m, e fluxo de calor do solo ( $G$ ) a 0,10 m (Tabela 2).

O EP1 foi instalado próximo do estipe da palma, o EP2 a uma distância de cerca de 2 metros (no terço médio da folha adulta), que é o local onde ocorre a adubação. O EP3 no empilhamento, que é onde são depositadas as folhas podadas e o EL, entre linhas conhecido como carreador, que é por onde há o tráfego para a colheita dos frutos da palma de óleo (Figura 3).

**Figura 3.** Localização dos perfis ao redor da torre, base da planta, terço médio e empilhamento (a); entre linhas (b), em Moju-PA.



**Fonte:** Tiago Yakuwa (2020).

As medidas da precipitação e das variáveis do solo foram registradas em microcontroladores eletrônicos (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, EUA), armazenadas em sua memória interna e igualmente salvas em cartões de memória de alta performance (CFM2G, Campbell Scientific Inc., Logan, EUA). Esses dados foram convertidos do formato binário para ASCII, utilizando um programa específico (LoggerNet 4.5, Campbell Scientific Inc., Logan, EUA). Após convertidos, os arquivos tinham tempo de integração de 30 min para a precipitação, e médias de 10 min para as variáveis do solo.

### 6.3. Propriedades físicas do solo

Foram realizadas coletas em outubro de 2019, em dois perfis na parcela C<sub>22</sub>, localizados nas entre linhas (EL) e entre plantas (EP), sendo este último localizado a uma distância próximo ao estipe da planta. Foram coletadas oito amostras deformadas por profundidade sendo (0,5; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,60; 0,80; 1 m), totalizando 16 amostras deformadas. A coleta foi feita ao redor do perfil em cinco pontos, posteriormente o solo foi homogeneizado para retirada de uma amostra simples. As amostras foram analisadas conforme a metodologia da Embrapa (2017) para a obtenção da granulometria do solo.

Também foram coletadas amostras indeformadas em triplicatas, por profundidade (0,5; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,60; 0,80; 1 m) para obtenção da retenção de água do solo, densidade do solo ( $D_s$ ), porosidade total do solo ( $P_t$ ), macroporosidade ( $M_{ap}$ ) e microporosidade do solo ( $M_{ip}$ ), para serem analisadas conforme metodologia da Embrapa (2017). No total foram coletadas 48 amostras indeformadas (3 pontos x 8 camadas x 2 trincheiras) (Figura 4).

**Figura 4.** Coleta de amostras de solo para análises físicas do solo, utilizando castelinho (a); cilindro inserido no solo (b); amostra coletada no solo para limpeza (c); amostra preparada e pronta para ser armazenada (d).



**Fonte:** A autora.

A retenção de água no solo foi analisada pelo método da câmara de Richards, as amostras indeformadas foram inicialmente saturadas e submetidas aos seguintes potenciais

matriciais: 1, 6, 10, 33 e 100 kPa. Para avaliar a retenção em elevados potenciais, foram utilizadas amostras deformadas, submetidas aos potenciais 500 e 1.500 kPa.

Os resultados obtidos foram ajustados pelo modelo unimodal de van Genuchten (1980), como pode ser descrito na equação 1, e o modelo bimodal de Durner (1994), como pode ser descrito na equação 2. Após o ajuste foi obtido a curva de retenção de água no solo (CRA).

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|h|)^n]^m} \quad (1)$$

onde:  $\theta_r$  - umidade residual;  $\theta_s$  - umidade saturada;  $h$  - altura da coluna de água, equivalente à tensão aplicada, em kPa e  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  - parâmetros de ajuste da curva de retenção de água.

$$S = \sum_{i=1}^k w_i [1 + (\alpha|h|)^{n_i}]^{-m} \quad (2)$$

onde:  $k$  - número de subcurvas, definido em dois (para distribuição bimodal);  $w_i$  - fator de ponderação que indica a fração do espaço total dos poros ocupados por cada distribuição;  $h$  - altura da coluna de água, equivalente à tensão aplicada, em kPa e  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  - parâmetros de ajuste da curva de retenção de água.

O programa utilizado para o ajuste dos dados de retenção de água do solo foi RETC 6.02 (VAN GENUCHTEN; NIELSEN, 1985). Foi calculado a água disponível no solo para cada profundidade, que é a subtração de  $\theta$  na CC e no PMP, sendo  $\theta_{10}$  kPa e  $\theta_{1500}$  kPa, respectivamente.

A análise de desempenho dos resultados obtidos na curva de retenção de água no solo foi o erro quadrático médio (RMSE - Root Mean Square Error, em inglês). O erro quadrático médio quantificou as diferenças entre os valores observados e preditos de umidade do solo. RMSE é expresso pela equação 3:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}}{N} \quad (3)$$

onde:  $O_i$  - valores de potencial da água no solo observados;  $P_i$  - valores de potencial da água no solo preditos;  $n$  - número de observações.

A distribuição do tamanho dos poros foi realizada através da equação de capilaridade, que calcula o diâmetro do poro em função do potencial, como poder ser descrito na equação (4):

$$D = (4\sigma \cos\varphi)(g\rho h)^{-1} \quad (4)$$

onde:  $\sigma$  - tensão superficial da água, em  $\text{mJ m}^{-2}$ ;  $\varphi$  - ângulo de contato entre a água e a parede dos poros;  $g$  - aceleração da gravidade, em  $\text{m s}^{-2}$ ;  $\rho$  - densidade da água, em  $\text{Mg m}^{-3}$  e  $h$  - potencial de água, em m.

Para a curva de distribuição dos poros dividiu-se os poros em quatro classes de poros, com base nas classificações de Klein e Libardi (2002) e Prevedello (1996). As classes foram divididas em criptoporos, microporos, mesoporos e macroporos, com diâmetro equivalente do poro  $<0.2 \mu\text{m}$ ,  $0.2$  a  $50 \mu\text{m}$ ,  $50$  a  $300 \mu\text{m}$  e  $>300 \mu\text{m}$ , respectivamente.

#### **6.4. Tratamento dos dados e análises estatísticas**

Os dados de  $\theta$ ,  $T_{\text{solo}}$  e  $G$  foram submetidos a um controle de qualidade para a retirada das medidas espúrias seguindo um protocolo estabelecido para as torres de fluxos do Programa de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA).

As falhas no banco de dados foram ocasionadas por mau funcionamento dos instrumentos e problemas com o sistema de alimentação fotovoltaico da torre. O preenchimento das falhas ocorreu apenas para as medidas da precipitação. Essas foram preenchidas com os valores de precipitação diários fornecidos pela empresa Marborges Agroindústria S.A., que foram coletados em pluviômetro tipo Ville-de-Paris, localizado a cerca de 1 km de distância da torre.

O período de coleta de dados inicia em março de 2014 e se estende até dezembro de 2017. Para as variáveis microclimáticas do solo, foram utilizados os dias que continham pelo menos 75% dos 144 pontos possíveis para um dia (e.g.,  $108 \text{ pontos dia}^{-1}$ ). Para as variáveis de  $T_{\text{solo}}$  e  $G$  não há dados para o PC referente ao ano de 2014, pois os meses de abril a julho foram considerados como período de estabilização das medidas. Para  $\theta$ , o PC do ano de 2014 não está completo pois as medidas iniciaram a partir do mês de março.

Foram realizadas análises estatísticas descritivas como: médias e desvio padrão. A comparação entre as propriedades físicas do solo das posições entre plantas e nas entre linhas foi realizada por meio de uma análise de variância (ANOVA). Para indicar as possíveis diferenças entre as médias das posições, foi conduzido o teste *post hoc* de Tukey com o nível de significância de 5%. Essas análises foram executadas usando um programa computacional (SigmaPlot 11.0, SYSTAT Inc., San Jose, CA, EUA).

## **7. RESULTADOS**

### **7.1. Propriedades físicas do solo**

A análise granulométrica mostrou que o solo possui maior quantidade de areia em relação ao silte e argila, com classificação textural franco argilo arenosa na maioria das profundidades analisadas (Tabela 3). Há maior quantidade de argila com o aumento da profundidade do solo, com exceção das profundidades de 0,40 m e 0,60 m nas entre linhas.



Modelo unimodal - van Genutchen								
$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.13	0.15	0.15	0.17	0.17
$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.46	0.50	0.46	0.45	0.45	0.47	0.46	0.44
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	0.39	6.80	3.17	0.43	0.43	0.87	0.28	0.15
n	1.16	1.12	1.11	1.28	1.27	1.22	1.26	1.33
m	0.14	0.11	0.10	0.22	0.21	0.18	0.21	0.25
R <sup>2</sup>	0.96	0.96	0.96	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
RMSE	0.005	0.005	0.004	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002
Modelo bimodal - Durner								
$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.00	0.00	0.04	0.13	0.15	0.13	0.12	0.14
$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.46	0.50	0.46	0.45	0.45	0.47	0.46	0.44
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	0.16	4.35	2.00	2.20	0.10	0.62	0.03	0.06
n	1.16	1.12	1.13	1.30	1.28	1.34	1.12	2.15
m	0.14	0.11	0.11	0.23	0.22	0.25	0.10	0.53
w <sup>2</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
$\alpha^2$ (cm <sup>-1</sup> )	1.04	10.88	2.00	0.11	2.65	0.71	0.11	0.03
n <sup>2</sup>	1.16	1.12	1.13	1.28	1.30	1.14	1.78	1.16
R <sup>2</sup>	0.96	0.96	0.96	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
RMSE	0.005	0.005	0.004	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002

$\theta_r$  = umidade residual;  $\theta_r$  = umidade saturada;  $\alpha$ ,  $\alpha^2$ , n, n<sup>2</sup> e w<sup>2</sup> = parâmetros que descrevem a forma da curva de retenção de água; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; RMSE = erro quadrático médio.

Os valores de  $\theta_s$  são iguais a porosidade total do solo em todas as profundidades (tabela 5 e 6), o parâmetro  $\alpha$  está relacionado entrada de ar no solo, com isso há o decréscimo da umidade do solo (Figura 5-6).

A CRA do solo unimodal e bimodal da posição EL, apresentaram um bom ajuste dos dados, com RMSE variando de 0.002 a 0.004 e 0.002 a 0.003, respectivamente e R<sup>2</sup> variando de 0.96 a 0.98 e 0.97 a 0.98, respectivamente (Tabela 6). Os parâmetros ajustados para o modelo unimodal e bimodal para a posição EL estão apresentados na tabela 6.

**Tabela 6.** Parâmetros de ajuste da curva de retenção de água do solo para diferentes profundidades nas entre linhas, em Moju-PA.

Parâmetros	Profundidade (m)							
	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80	1
Modelo unimodal - van Genutchen								
$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.45	0.44	0.41	0.41	0.42	0.45	0.47	0.45
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	0.15	0.11	0.08	0.12	0.12	0.13	0.08	0.11
n	1.20	1.19	1.16	1.14	1.14	1.14	1.16	1.14
m	0.17	0.16	0.14	0.12	0.12	0.12	0.14	0.12
R <sup>2</sup>	0.97	0.97	0.97	0.98	0.96	0.98	0.97	0.97
RMSE	0.004	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003	0.004	0.003
Modelo bimodal - Durner								
$\theta_r$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0.45	0.44	0.41	0.41	0.42	0.45	0.47	0.45

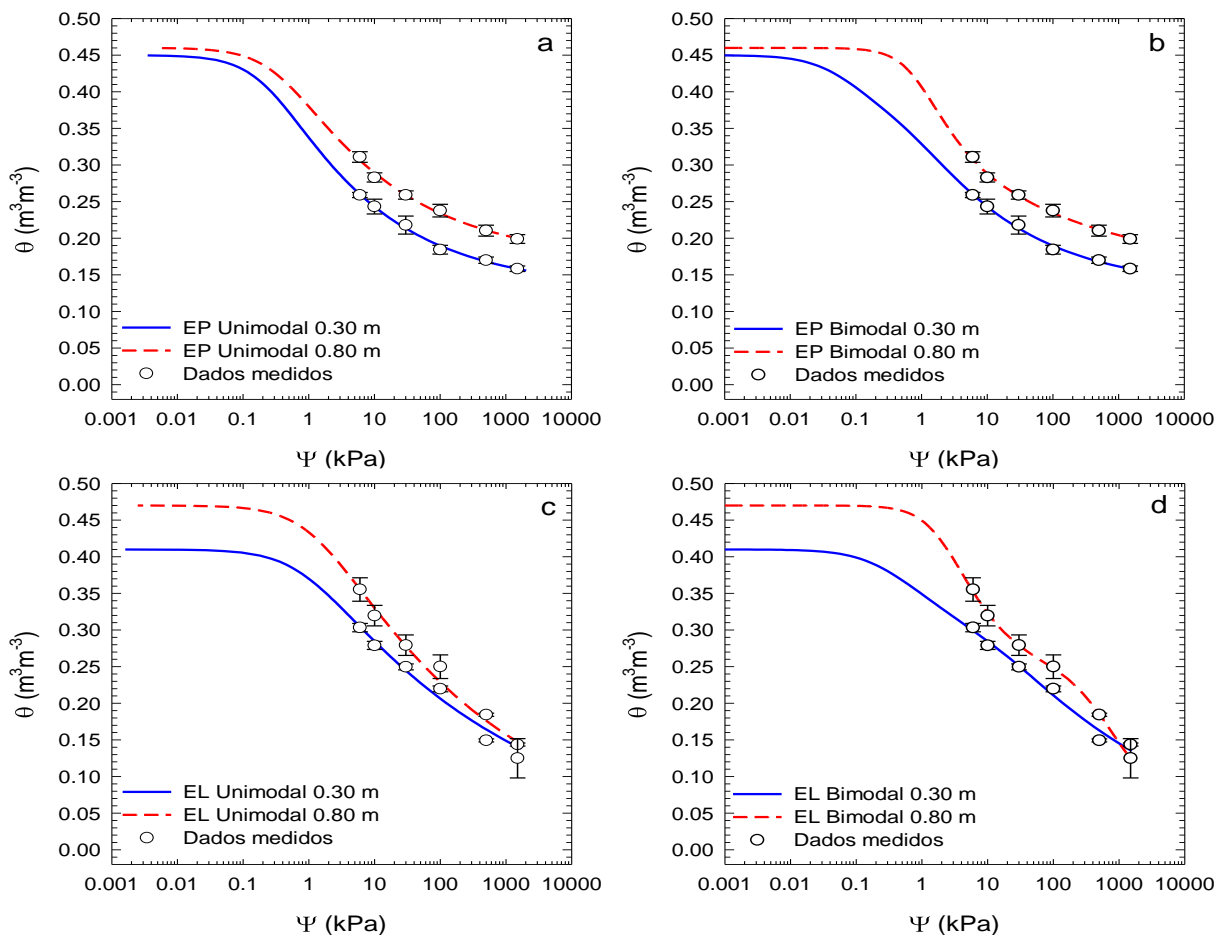


$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.43	0.01	0.41	0.00	0.11
n	1.26	1.29	1.25	1.22	1.15	1.16	1.47	1.14
m	0.21	0.23	0.20	0.18	0.13	0.14	0.32	0.12
w <sup>2</sup>	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
$\alpha^2$ (cm <sup>-1</sup> )	0.52	0.11	0.51	0.01	0.54	0.03	0.04	0.11
n <sup>2</sup>	1.40	1.56	1.21	1.15	1.18	1.13	1.63	1.14
R <sup>2</sup>	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.98	0.97
RMSE	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003

$\theta_r$  = umidade residual;  $\theta_r$  = umidade saturada;  $\alpha$ ,  $\alpha^2$ , n, n<sup>2</sup> e w<sup>2</sup> = parâmetros que descrevem a forma da curva de retenção de água; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; RMSE = erro quadrático médio.

Para a CRA do solo, foram selecionadas duas profundidades sendo uma mais próxima da superfície (0,30 m) e outra mais distante (0,80 m). Os valores de  $\theta$  vão diminuindo conforme aumenta a pressão aplicada (Figura 5), devido à saída de água dos poros. A retenção de água no solo EP é maior em comparação com a posição EL. A comparação do ajuste unimodal e bimodal mostrou que embora o modelo bimodal apresente mais parâmetros, não houve muitos ganhos em relação ao ajuste unimodal (ver valores de RMSE na tabela 5-6), indicando que o solo estudado se ajusta bem a uma CRA com distribuição de poros unimodal, modelo de van Genuchten (Figura 5).

**Figura 5.** Curva de retenção de água do solo entre plantas (EP): modelo unimodal (a); bimodal (b), e nas entre linhas (EL): modelo unimodal (c); bimodal (d), em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.

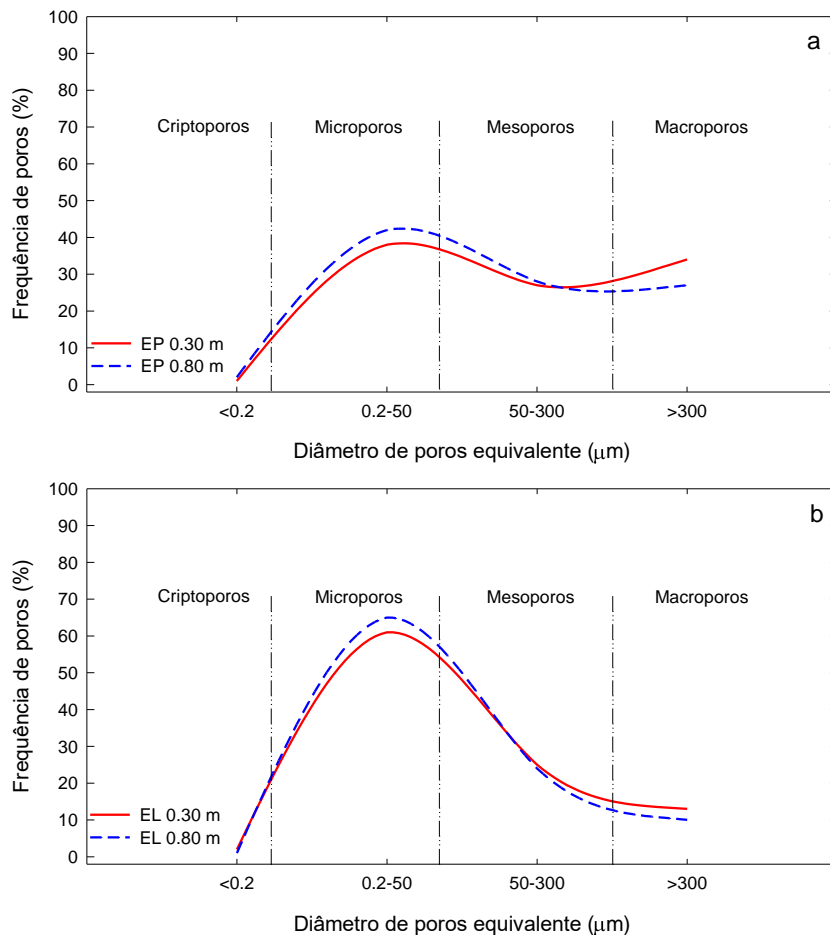


**Nota:** As barras são o desvio padrão.

A figura 6 apresenta a curva de distribuição do tamanho dos poros para a posição EP e EL. O comportamento da curva de distribuição de poros do solo EP em comparação com o solo EL é diferente para as profundidades de 0,30 m e 0,80 m (Figura 6a-b). Os macroporos apresentam uma tendência de diminuição em profundidade e, como consequência, há um aumento de microporos (Figura 6a-b).

Para EP na profundidade de 0,30 m foi observado uma maior frequência de poros nos microporos sendo 38%, em seguida nos macroporos com 34% (Figura 6a). Na profundidade de 0,80 m esse comportamento foi observado para microporos com 42% e mesoporos com 28% (Figura 6a). Na posição EL a profundidade de 0,30 m apresentou uma maior frequência de poros nos microporos com 61%, em seguida nos mesoporos com 25%, o mesmo comportamento foi observado na profundidade de 0,80 m, sendo 65% e 24%, respectivamente (Figura 6b).

**Figura 6.** Curva de distribuição do tamanho dos poros entre plantas (a) e nas entre linhas (b), em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.

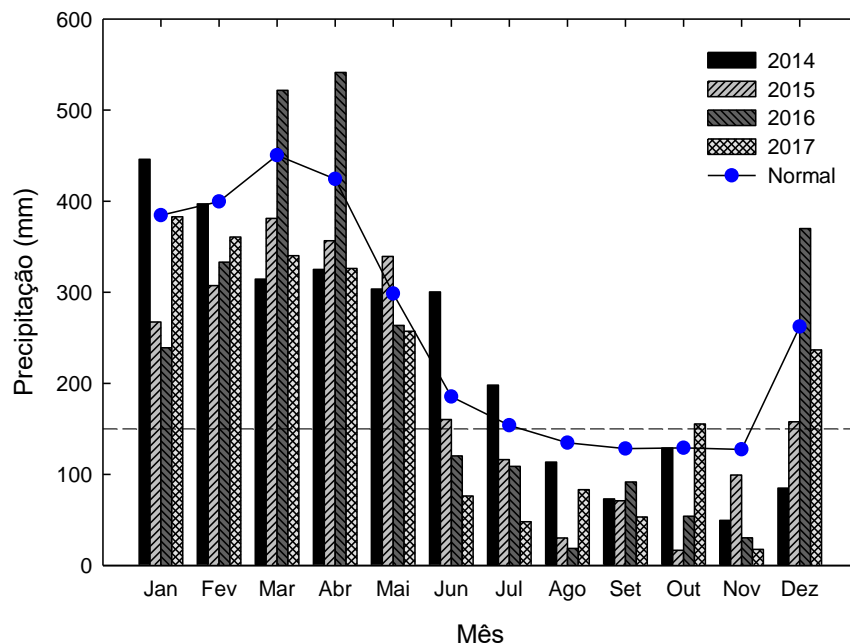


## 7.2. Precipitação

Os dados de precipitação, medidos no local de estudo, foram comparados com os dados de precipitação do município de Belém, que além de possuir condições climáticas semelhantes a área de estudo, também possui normal climatológica (1981-2010). A área de estudo não possui normal climatológica, portanto não sendo possível realizar tal comparação (Figura 7).

Foi observado maior redução de precipitação no PMC, com destaque para os anos de 2015 e 2016 que obtiveram maior percentual de redução de chuva em relação a normal climatológica para Belém (Tabela 7). Esses anos tiveram influência do ENOS, que possui como um dos efeitos a redução da precipitação.

**Figura 7.** Precipitação mensal no local do estudo no período de 2014 a 2017 e a média da normal climatológica para Belém 1981-2010 (INMET), em Moju-PA. A linha tracejada indica o limiar de 150 mm mês<sup>-1</sup>, abaixo do qual ocorre déficit hídrico para a palma de óleo.



**Fonte:** Torre micrometeorológica (2014 a 2017) e Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (1981-2010).

**Tabela 7.** Redução da precipitação em relação a normal climatológica para Belém 1981-2010 (INMET), em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.

Período	Ano			
	2014	2015	2016	2017
<b>Chuvoso</b>	5 %	18 %	5 %	20 %
<b>Menos chuvoso</b>	33 %	50 %	37 %	35 %

A precipitação acumulada anual (janeiro-dezembro) para o ano de 2014 foi 2.734, sendo 2.284 mm no PC e 450 mm no PMC. Para o ano de 2015, a P acumulada anual foi 2.303 mm, sendo 1.969 mm no PC e 333 mm no PMC. No ano de 2016, a P acumulada anual foi 2.692

mm, sendo 2.268 mm no PC e 424 mm no PMC. No ano de 2017, a P acumulada anual foi 2.337 mm, sendo 1.903 mm no PC e 434 mm no PMC (Figura 7).

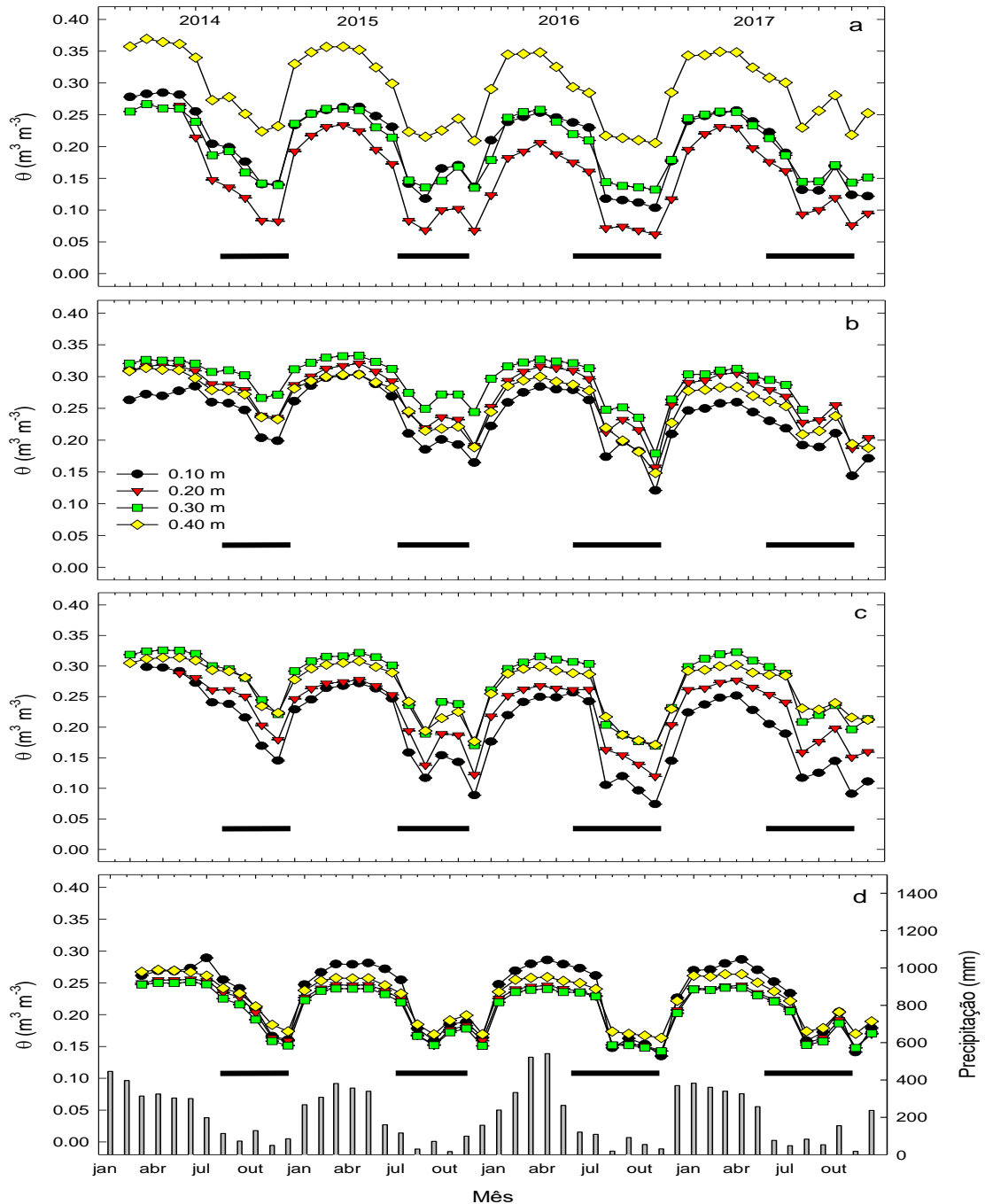
### **7.3. Umidade volumétrica do solo ( $\theta$ )**

As variações anual e interanual da  $\theta$  foram semelhantes. Por exemplo, houve uma redução da  $\theta$  no PMC em função da diminuição de precipitação inerente a este período enquanto que no PC houve um aumento da  $\theta$  em função do aumento de precipitação (Figura 8). Cada posição no dendezal apresentou um comportamento característico, que também está relacionado com o as práticas agrícolas e o sistema de plantio adotado para a palma de óleo.

Na posição EP1 e no período de 2014 a 2017, os menores valores da  $\theta$  foram observados na profundidade de 0,20 m, contrastando com a de 0,40 m que apresentou os maiores valores (Figura 8a). Houve uma variação interanual, para o momento em que os valores de  $\theta$  começaram a diminuir em relação ao máximo valor observado no PC. Em 2014, foi observado em julho, e em 2015 e 2017, em junho. Em 2016, esse momento foi antecipado para abril.

Foram observadas maiores amplitudes da  $\theta$  entre qualquer profundidade durante o PC e PMC (Figura 8a). Em ambos os períodos (PC e PMC), os valores da  $\theta_{0,10m}$  e  $\theta_{0,30m}$  se aproximam. No PMC a diferença entre  $\theta_{0,10m}$ ,  $\theta_{0,20m}$  e  $\theta_{0,30m}$  foi maior do que no PC, com exceção do ano de 2016 no qual essa diferença aumentou. Foi observado maiores valores da  $\theta_{0,40m}$  independente do período (PC e PMC) e ano.

**Figura 8.** Variação da umidade volumétrica do solo e da precipitação durante o período de 2014 a 2017, em um plantio de palma de óleo, em Moju-PA: a) base da planta (EP1); b) terço médio (EP2); c) empilhamento (EP3); e d) entre linhas (EL) e precipitação. Cada ponto representa a média mensal, e para a precipitação o total mensal. As faixas pretas horizontais destacam os períodos menos chuvosos.



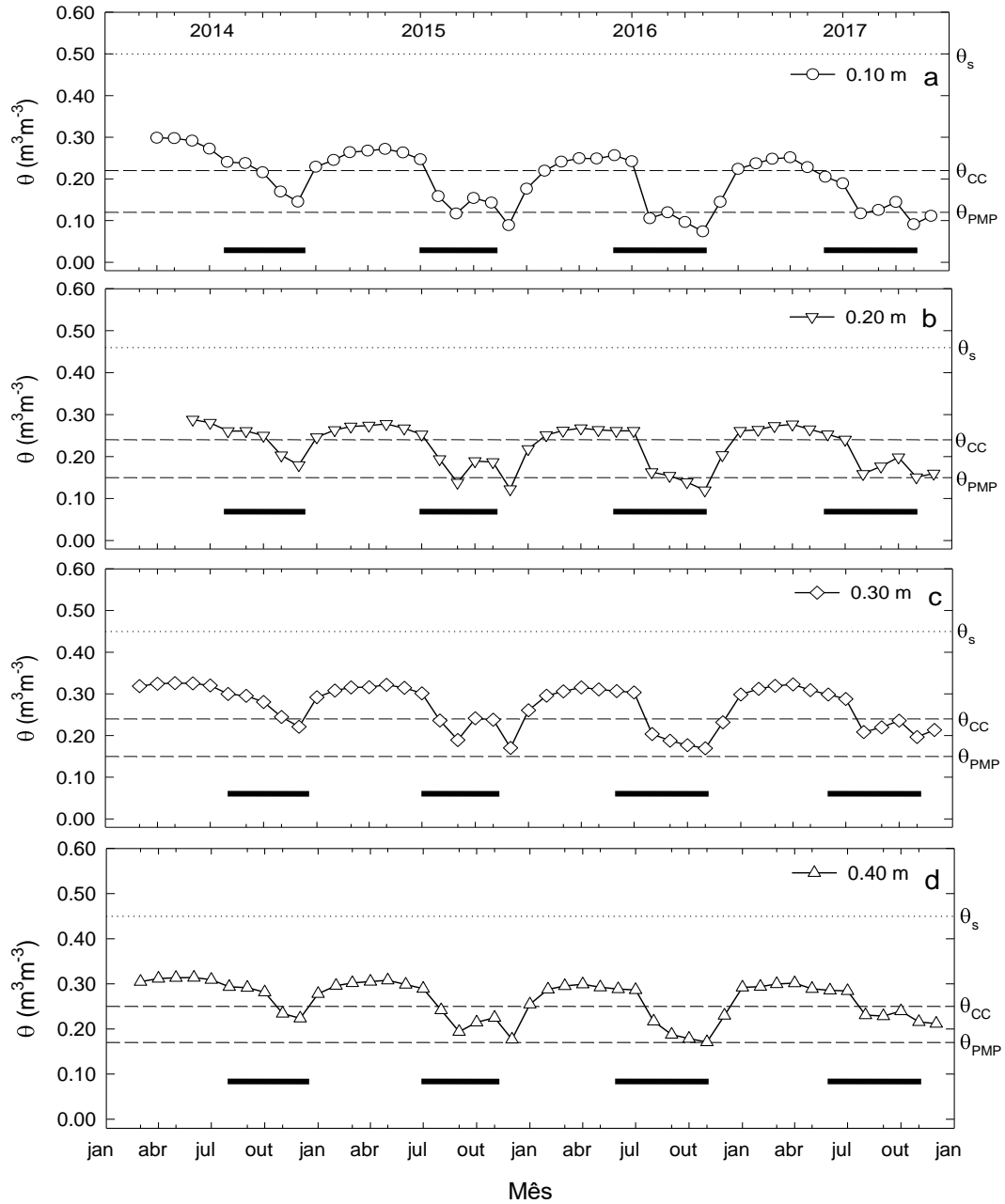
Em EP2, a profundidade de 0,10 m apresentou menor  $\theta$ , e a de 0,30 m maior  $\theta$ , para a profundidade de 0,20 m, foi observado maior  $\theta$  em comparação a 0,40 m (figura 8b). Em 2014, a diminuição da  $\theta$  em relação ao máximo valor observado no PC ocorreu a partir de agosto. E, em 2015, 2016 e 2017, a partir de julho. Em comparação as posições EP1 e EP3, o EP2 apresentou menores variações da  $\theta$ , similar ao que foi observado para EL.

Os valores da  $\theta$  em EP3 foram similares aos em EP2, para as profundidades de 0,10 m e 0,30 m, para 0,20 m foi observado menor  $\theta$  em comparação a 0,40 m (Figura 8c). Durante o período de 2014 a 2017, a diminuição da  $\theta$  em relação ao valor máximo observado no PC ocorreu a partir de julho. Novamente, como em EP1, foi observado maiores amplitudes da  $\theta$  entre qualquer profundidade durante o PC e PMC.

Finalmente, em EL, foi observado que há uma diferença em relação aos pontos em EL. A  $\theta$  foi maior a 0,10 m de profundidade, e menor a 0,30 m (Figura 8d). Durante o período de 2014-2017, a diminuição da  $\theta$  em relação ao valor máximo observado no PC ocorreu a partir de julho. Observou-se menores amplitudes da  $\theta$ .

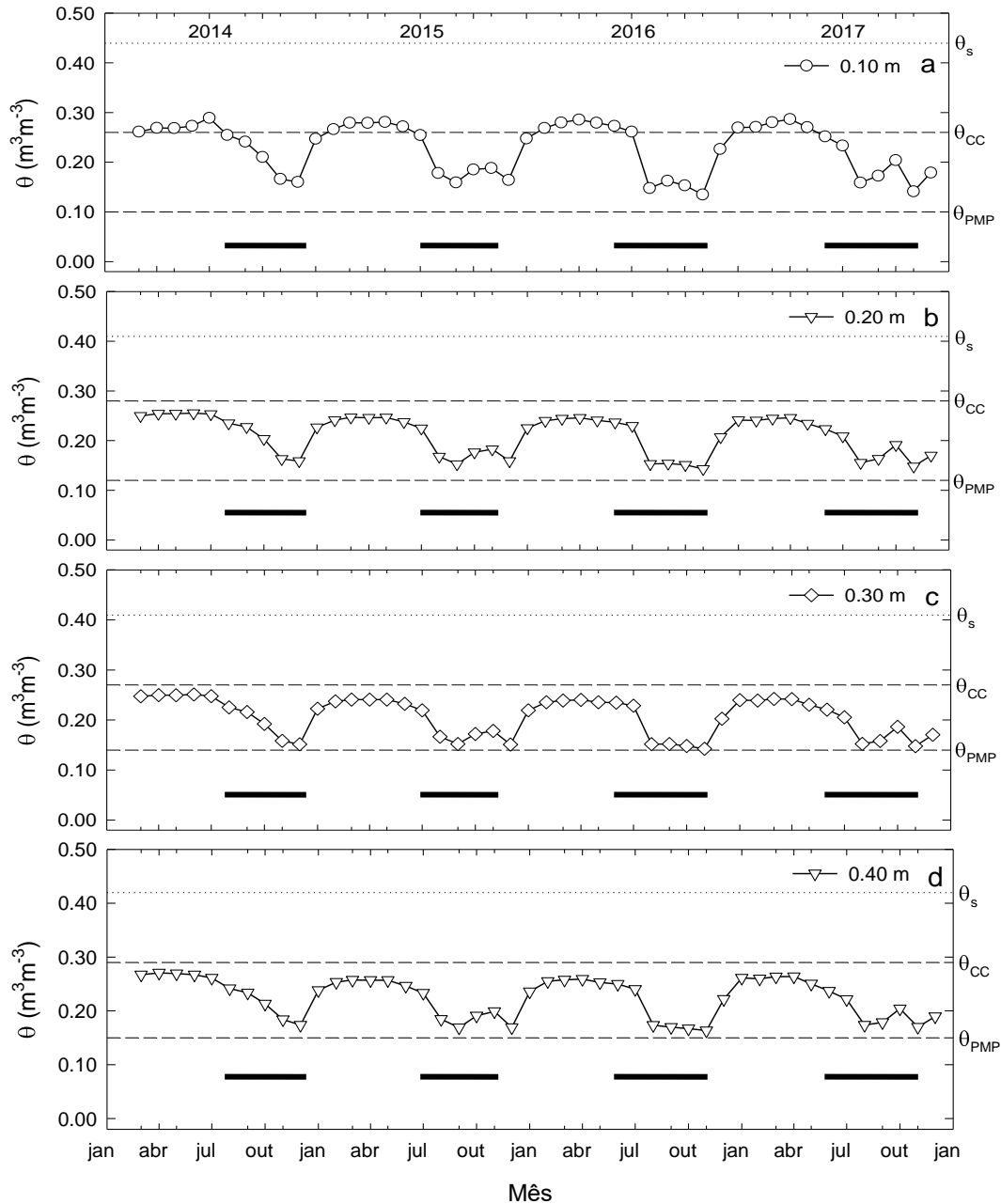
Sazonalmente e em EP,  $\theta_{0,10m}$  apresentou valores acima da capacidade de campo (CC) no PC, com exceção dos meses de dezembro de 2015 a 2017 (Figura 9a). No PMC, a  $\theta$  esteve acima do ponto de murcha permanente (PMP), com exceção dos meses de agosto a novembro de 2016, e agosto e novembro de 2017 (Figura 9a). De modo similar,  $\theta_{0,20m}$  se manteve acima da CC no PC, com exceção dos meses de dezembro de 2015 a 2017. Em relação ao PMC, a  $\theta$  esteve acima do PMP com exceção dos meses de setembro e novembro de 2015, e setembro a novembro de 2016 (Figura 9b). Novamente,  $\theta_{0,30m}$  esteve acima da CC no PC, com exceção dos meses de dezembro de 2015 a 2017. No PMC,  $\theta$  se manteve acima do PMP no período de 2014 a 2017 (Figura 9c). Diferentemente das demais profundidades, os valores da  $\theta_{0,40m}$  variaram acima da CC no PC, assim como também acima do PMP no PMC, no período de 2014 a 2017 (Figura 9d). Os meses em que a  $\theta$  esteve acima da CC, não estiveram próximos a  $\theta_s$  para ambas as profundidades, mas, os poros do solo estavam com água retida acima da sua capacidade máxima (Figura 9).

**Figura 9.** Variação da umidade do solo, umidade de saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente entre plantas (EP) durante o período de 2014 a 2017, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA: a) 0,10 m; b) 0,20 m; c) 0,30 m; e, d) 0,40 m. Cada ponto representa a média mensal. As faixas pretas horizontais destacam os períodos menos chuvosos.



Sazonalmente e em EL,  $\theta_{0,10\text{m}}$  apresentou valores acima da capacidade de campo (CC) no PC, com exceção do mês de dezembro de 2015. No PMC, a  $\theta$  esteve acima do ponto de murcha permanente (PMP). Diferentemente da posição EP, os valores de  $\theta_{0,20\text{m}}$ ,  $\theta_{0,30\text{m}}$  e  $\theta_{0,40\text{m}}$  variaram abaixo da CC no PC, assim como também acima do PMP no PMC, no período de 2014 a 2017 (Figura 10a-d). Em ambas as profundidades, a  $\theta$  não apresentou valores próximos a  $\theta_s$ .

**Figura 10.** Variação da umidade do solo, umidade de saturação, capacidade de campo e ponto de murcha permanente na entre linha (EL) durante o período de 2014 a 2017, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA: a) 0,10 m; b) 0,20 m; c) 0,30 m; e, d) 0,40 m. Cada ponto representa a média mensal. As faixas pretas horizontais destacam os períodos menos chuvosos.



A figura 11 apresenta a média sazonal dos perfis verticais da  $\theta$ . A posição EP1 apresenta menor  $\theta$  entre as profundidades de 0,10 m e 0,20 m, e a partir de 0,30 m há um aumento da  $\theta$ . Na posição EP2 observou-se maior  $\theta$  com o aumento das profundidades e, a partir de 0,30 m há um decréscimo da  $\theta$ . Para o EP3, foi observado maior  $\theta$  conforme aumenta as profundidades, e a partir de 0,30 m há um decréscimo da  $\theta$ . Há uma convergência dos valores de  $\theta_{0,10\text{m}}$  entre EP1 e EP3. Na posição EL a  $\theta$  é intermediária entre EP1, EP2 e EP3.



Em 2014, no PC, a posição EP3 apresentou maior  $\theta$  ( $0.28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) na profundidade de 0,10 m, enquanto que na profundidade de 0,20 m e 0,30 m, a  $\theta$  em EP2 foi maior ( $0.31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (Figura 11a). Para a profundidade de 0,40 m foi observado maior  $\theta$  ( $0.35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) em EP1. A posição EL obteve menor  $\theta$  nas profundidades de 0,10 m ( $0.27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), 0,30 m ( $0.24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e 0,40 m ( $0.26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

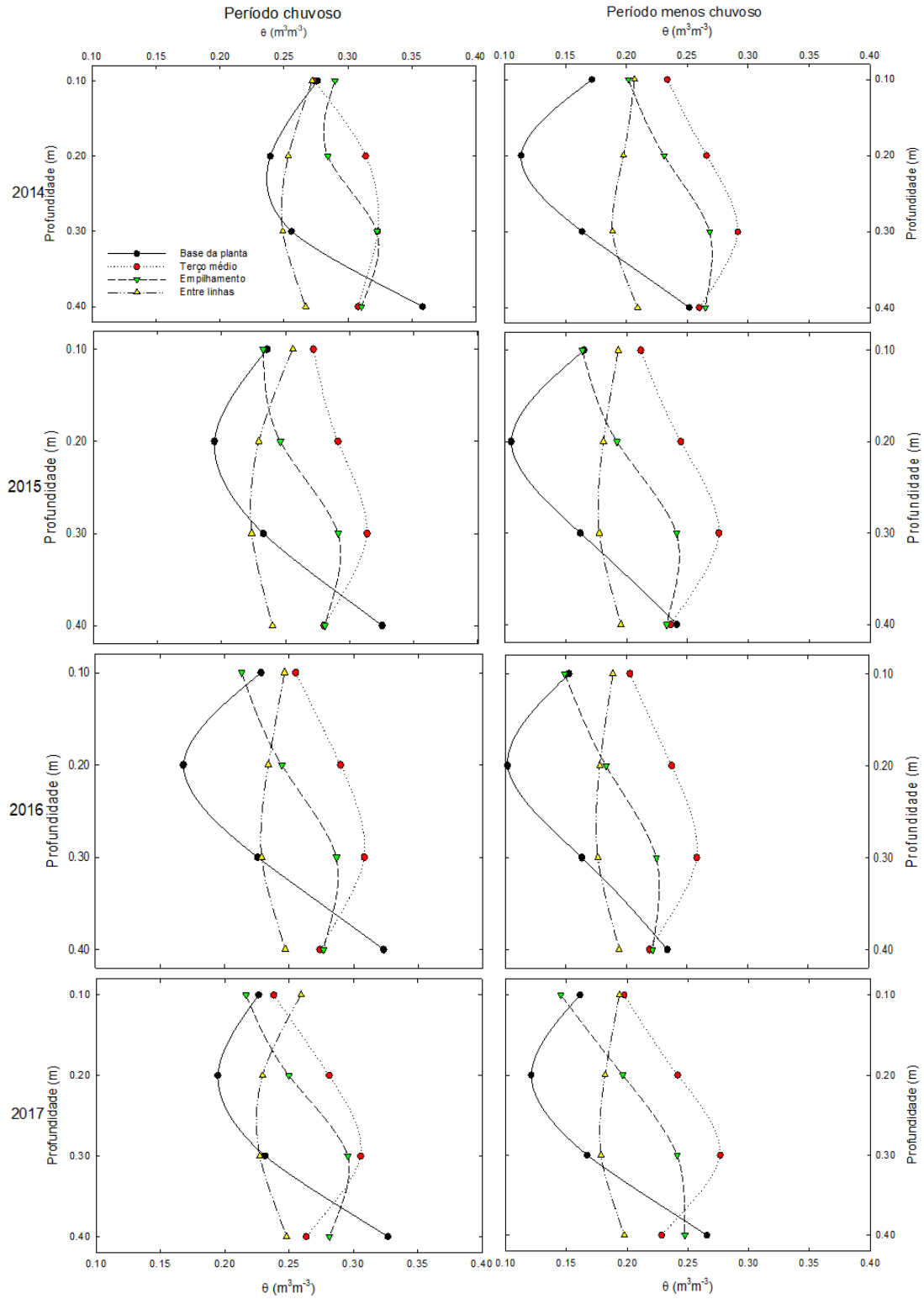
No PMC de 2014 foi observado maior  $\theta$  para EP2, nas profundidades de 0,10 m ( $0.23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), 0,20 m ( $0.26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e 0,30 m ( $0.29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), e em EP1 menor  $\theta$  para as mesmas profundidades, sendo  $0.17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ,  $0.11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $0.16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente (Figura 11b). A posição EP3 possui maior  $\theta$  em comparação ao EL para todas as profundidades estudadas, com exceção da profundidade de 0,10 m no período menos chuvoso (Figura 11a-b).

Durante o PC, o perfil de umidade do solo em EP1 para o ano de 2015 apresentou maior  $\theta$  a 0,40 m ( $0.32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), enquanto que nas profundidades de 0,10 m ( $0.27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), 0,20 m ( $0.29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e 0,30 m ( $0.31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), a  $\theta$  foi maior em EP2 (Figura 11c). Foram observados menores valores de  $\theta$  na profundidade de 0,10 m ( $0.23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para EP3, a 0,20 m ( $0.19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para EP1, 0,30 m ( $0.22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e 0,40 m ( $0.23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para EL.

Durante o PMC, a posição EP2 apresentou maior  $\theta$  nas profundidades de 0,10 m ( $0.21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), 0,20 m ( $0.24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e 0,30 m ( $0.27 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), enquanto que para 0,40 m ( $0.24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), a maior  $\theta$  foi para EP1. Foram observados menores valores de  $\theta$  nas profundidades de 0,10 m ( $0.16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para EP3, 0,20 m ( $0.10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e 0,30 m ( $0.16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para EP1, e 0,40 m ( $0.19 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para EL. A posição EL não varia muito em todos os anos, nos dois períodos analisados (PC e PMC), foi observado que na profundidade de 0,10 m, os valores da  $\theta$  são próximos aos valores da  $\theta$  para EP2.

Foi observado o mesmo comportamento da  $\theta$  para os anos de 2016 e 2017, em ambos os períodos (PC e PMC), com maior  $\theta$  nas profundidades de 0,10 m, 0,20 m e 0,30 m, para EP2, exceto no PC do ano de 2017 na profundidade de 0,10 m. Observou-se menores valores da  $\theta$  na profundidade de 0,10 m para EP3, 0,20 m e 0,30 m para EP1 e 0,40 m para EL (Figura 11e-h).

**Figura 11.** Variação sazonal e espacial do perfil vertical de umidade volumétrica do solo no período chuvoso (PC) e período menos chuvoso (PMC) durante o período de 2014 a 2017, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.

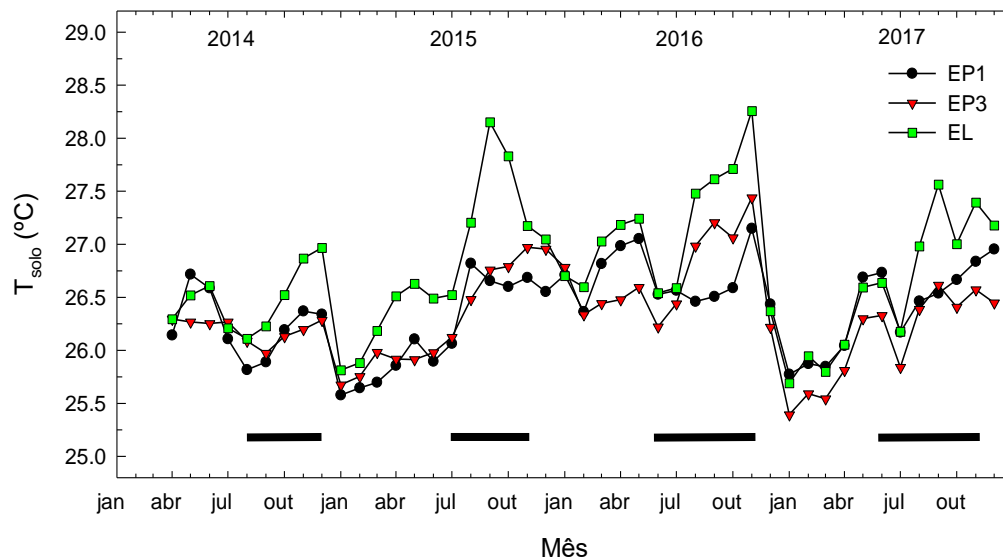


#### 7.4. Temperatura do solo

Em relação a variação anual da  $T_{\text{solo}}$ , foi observado que a posição EL apresentou as maiores temperaturas quando comparado com EP1 e EP3, o mesmo foi observado interanual (Figura 12). Os resultados mostraram maiores  $T_{\text{solo}}$  no PMC do que no PC, na ordem crescente sendo EL, EP1 e EP3. A partir do PMC de 2015, a  $T_{\text{solo}}$  em EP3 é superior a EP1, o mesmo foi observado para o PMC de 2016. Ao final dos PMC de 2015 e 2016 foram registrados os maiores valores de  $T_{\text{solo}}$  da série temporal. No PC de 2016, os valores de  $T_{\text{solo}}$  em EP1 e na EL, apresentaram uma convergência que se desfaz à medida que se avança para o PMC do mesmo ano.

Entre todos os PC, os maiores valores de  $T_{\text{solo}}$  foram observados no ano de 2016, em EP1, EP3 e na EL. Os menores valores de  $T_{\text{solo}}$  foram observados nos PC de 2015 e 2017. Em 2017, é possível observar que os valores de  $T_{\text{solo}}$  em EP3 são menores do que em EP1 e na EL. Houve maior variação de  $T_{\text{solo}}$  no PMC, e menor no PC. Observou-se também maiores temperaturas no PMC dos anos de 2015 e 2016, na EL e EP3.

**Figura 12.** Variação da temperatura do solo durante o período de 2014 a 2017, na profundidade de 0,10 m, na base da planta (EP1), empilhamento (EP3) e nas entre linhas (EL), em um plantio de palma de óleo, Moju-PA. Cada ponto representa a média mensal. As faixas pretas horizontais delimitam os períodos menos chuvosos.



**Nota:** O PC do ano de 2014 não está completo.

Foi observado maior amplitude de  $T_{\text{solo}}$  para EP1 e EP3 no ano de 2015 e na EL no ano de 2016 (Tabela 8). A maior máxima de  $T_{\text{solo}}$  ocorreu em 2015 para EP1, enquanto que para EP3 isso foi observado nos anos de 2015 e 2016, para EL a maior máxima foi no ano de 2016.

**Tabela 8.** Valores diários máximos e mínimos  $\pm$  desvio padrão de temperatura do solo ( $T_{\text{solo}}$ ) nas posições base da planta (EP1), empilhamento (EP3) e nas entre linhas (EL), nos anos de 2014-2017, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.

<b>Temperatura do solo (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
<b>Base da planta</b>				
Máximo	27.3 $\pm$ 0.19	27.8 $\pm$ 1.39	27.7 $\pm$ 0.47	27.7 $\pm$ 0.64
Mínimo	24.8 $\pm$ 1.21	24.6 $\pm$ 0.52	25.3 $\pm$ 0.19	25.1 $\pm$ 0.49
Amplitude	2.5	3.2	2.4	2.6
<b>Empilhamento</b>				
Máximo	26.8 $\pm$ 0.75	28.1 $\pm$ 0.97	28.1 $\pm$ 0.52	27.2 $\pm$ 0.16
Mínimo	24.5 $\pm$ 0.52	24.9 $\pm$ 0.35	25.0 $\pm$ 0.25	24.1 $\pm$ 0.57
Amplitude	2.3	3.2	3.1	3.1
<b>Entre linhas</b>				
Máximo	27.7 $\pm$ 0.93	29.0 $\pm$ 1.45	29.2 $\pm$ 1.39	28.8 $\pm$ 0.95
Mínimo	25.5 $\pm$ 0.32	24.8 $\pm$ 0.46	24.9 $\pm$ 0.36	25.0 $\pm$ 0.87
Amplitude	2.2	4.2	4.3	3.8

**Fonte:** A autora.

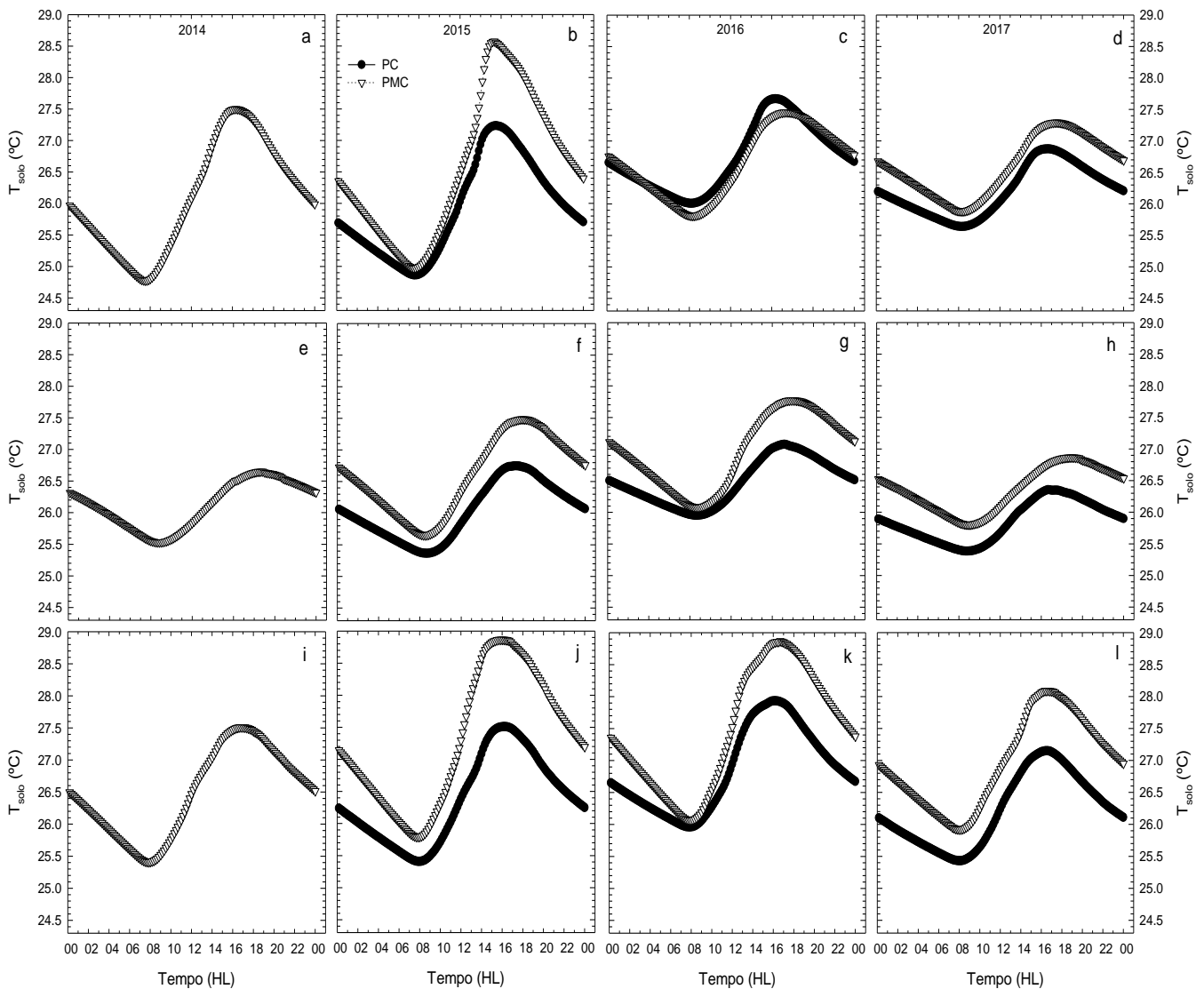
Para curva média diária da  $T_{\text{solo}}$  observou-se que no PMC de 2014, PC de 2015 a 2017 a posição EP1 apresentou menor temperatura durante a noite (entre 18:00 horas e 06:00 horas). Já em EP3, a temperatura foi maior (Figura 13e-h). A posição EL apresentou maiores temperaturas durante o dia em comparação a EP1 e EP3 para o PC e PMC, nos anos de 2014 a 2017. Em EP1, foi observado maiores temperaturas durante o dia para o PC e PMC em comparação ao EP3.

Amplitudes de  $T_{\text{solo}}$  foram maiores no PMC de 2015 em relação aos outros anos, sendo 3.6  $^{\circ}\text{C}$  para EP1, 1.8  $^{\circ}\text{C}$  para EP3 e na EL 3.1  $^{\circ}\text{C}$ . O resfriamento do solo ocorreu a partir do meio da tarde, e dependendo do período, em horários diferentes. No PC resfria mais cedo do que no PMC, para EP1 o horário médio foi 17h30 min no PC e 19h no PMC. Em EP3 o horário médio foi 18h50 min no PC e 19h no PMC. Na EL o horário médio foi 20h10 min no PC e 20h50 min no PMC. Diferentemente do horário em que a mínima de  $T_{\text{solo}}$  ocorreu, no início da manhã, em todas as posições e independente do período.

As máximas de  $T_{\text{solo}}$  foram observadas a tarde, e dependendo da posição no plantio e período, em horários diferentes. Para EP1 o valor médio do horário foi às 15h30 min, 17h para EP3 e 16h para EL no PC. No PMC o valor médio do horário foi às 17h para EP1, 18h para EP3 e 16h40 min na EL.

As amplitudes de  $T_{\text{solo}}$  foram menores em EP3, independente do período entre 2014 e 2015. A partir de 2016, essas são menores em EP1, do que em qualquer posição. Os PC e PMC de 2016, também apresentaram maiores amplitudes e valores absolutos de  $T_{\text{solo}}$  como em 2015.

**Figura 13.** Curva média diária sazonal da temperatura do solo a 0,10 m de profundidade, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA. Da esquerda para a direita, e de cima para baixo, para os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 em: EP1 (a, b, c, d); EP3 (e, f, g, h); e, EL (i, j, k, l), respectivamente.



**Nota:** Sem dados para o PC do ano de 2014.

Os valores médios anuais de  $T_{\text{solo}}$ , para EP1, EP3 e EL no PC e PMC, podem ser observados na tabela 9. Os maiores valores médios de  $T_{\text{solo}}$  foram observados no ano de 2016 para EP1, EP3 e EL.

**Tabela 9.** Valor médio anual  $\pm$  desvio padrão da temperatura do solo ( $T_{\text{solo}}$ ), no período de 2014-2017, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.

Posição	2014	2015	2016	2017
Base da planta	26.19 $\pm$ 0.99	26.15 $\pm$ 1.10	26.69 $\pm$ 0.70	26.38 $\pm$ 0.67
Empilhamento	26.18 $\pm$ 0.59	26.24 $\pm$ 0.78	26.70 $\pm$ 0.74	26.08 $\pm$ 0.64
Entre linhas	26.46 $\pm$ 0.91	26.72 $\pm$ 1.18	27.13 $\pm$ 1.09	26.56 $\pm$ 1.01

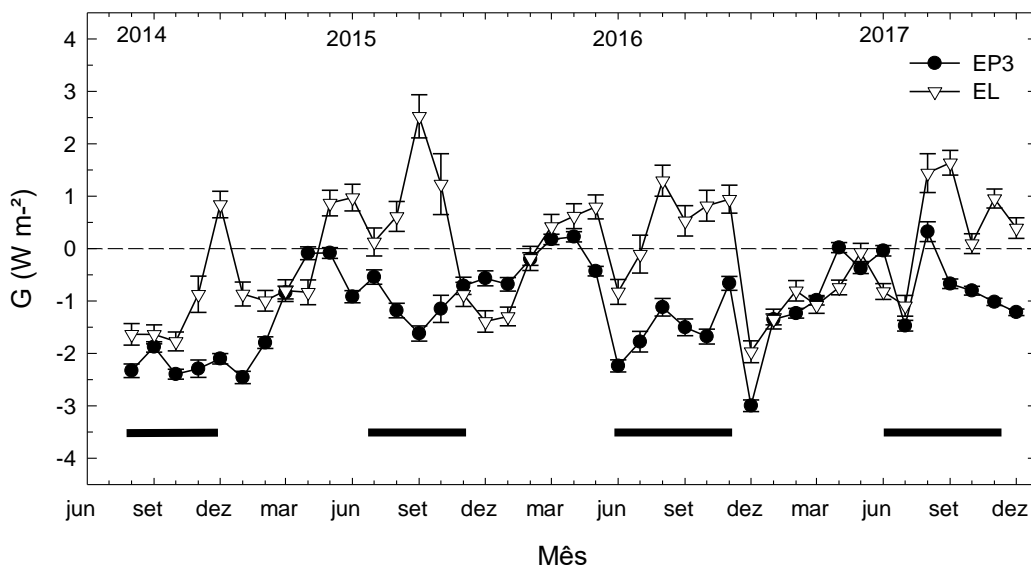
**Fonte:** A autora.

### 7.5. Fluxo de calor no solo

Em relação a variação temporal a posição EP3 possui maior perda energética no PMC, enquanto que no PC há menor perda energética. Em EL há menor perda energética ou ganho de energia no PMC, e maior perda energética no PC (Figura 14). No PC, os valores de G em EP3 e EL convergem, e no PMC se distanciam, evidenciando a particularidade de cada posição e manejo.

Em EL, os valores máximos de G atingiram  $0.84 \text{ W m}^{-2}$  (dezembro/2014),  $2.52 \text{ W m}^{-2}$  (setembro/2015),  $1.29 \text{ W m}^{-2}$  (agosto/2016) e  $1.63 \text{ W m}^{-2}$  (setembro/2017) (Figura 14). Foi observado que o ano de 2015 apresentou o maior valor de G, durante esse ano houve a influência do ENOS. Para EP3 os valores máximos de G foram  $-1.87 \text{ W m}^{-2}$  (Setembro/2014),  $-0.08 \text{ W m}^{-2}$  (Maio/2015),  $0.22 \text{ W m}^{-2}$  (Abril/2016) e  $0.32 \text{ W m}^{-2}$  (Agosto/2017) (Figura 14).

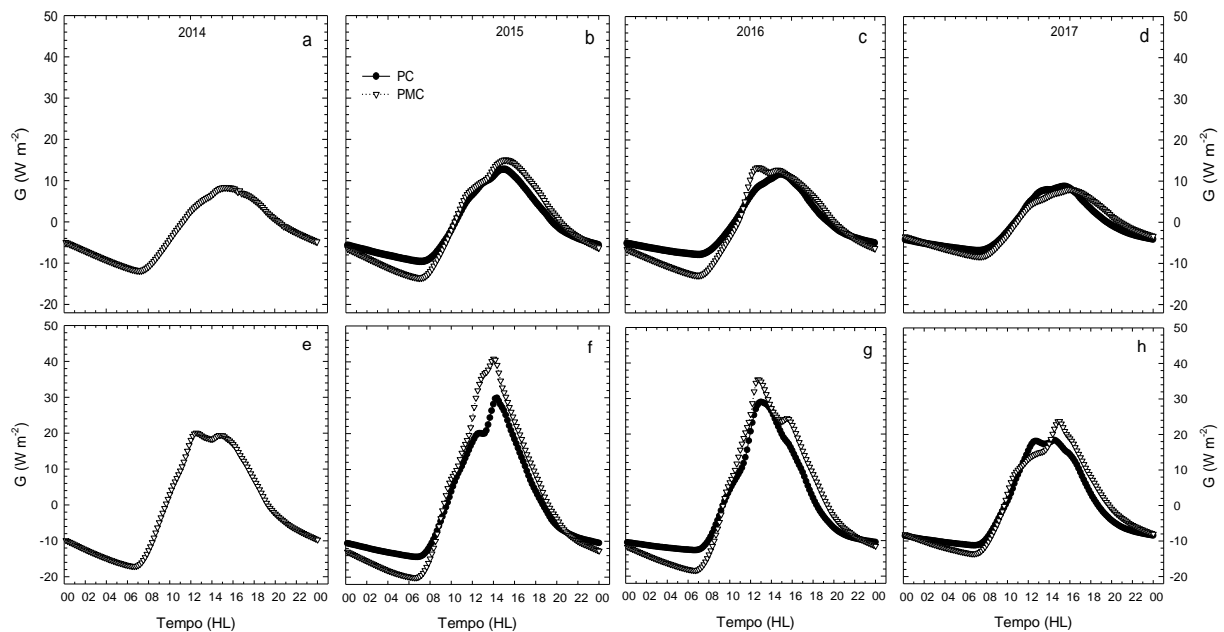
**Figura 14.** Variação do fluxo de calor do solo durante o período de 2014 a 2017, na profundidade de 0,10 m, nas posições empilhamento (EP3) e nas entre linhas (EL), em um plantio de palma de óleo, Moju-PA. Cada ponto representa a média mensal. As faixas pretas horizontais destacam os períodos menos chuvosos. Linha tracejada é uma linha de referência.



**Nota:** Sem dados para o PC do ano de 2014.

A curva média diária de G para EL, apresenta menores valores durante a noite e os maiores valores ao longo do dia, no final do dia (18h00 min) há uma redução dos valores de G, ficando negativos o que indica resfriamento do solo, ou seja, perda de calor para a superfície (Figura 15e-h).

**Figura 15.** Curva média diária sazonal do fluxo de calor do solo a 0,10 m de profundidade, em Moju-PA. Da esquerda para a direita, e de cima para baixo, para os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 em: EP3 (a, b, c, d) e EL (e, f, g, h), respectivamente.



**Nota:** Sem dados para o PC do ano de 2014.

As máximas de  $G$  foram observadas no início da tarde, e dependendo da posição no plantio e período, em horários diferentes. Para EP3 o valor médio horário foi às 15h e 14h20 min para EL, no PC. No PMC o valor médio horário foi às 15h30 min para EP3 e 12h40 min na EL. Nota-se que independente do período, seja chuvoso ou menos chuvoso, em EL o valor máximo ocorre mais cedo que em EP3, isso é decorrente das condições em que se encontra o solo dessas posições.

Foi observado, na posição EP3, menor valor médio de  $G$  no PC em comparação ao PMC, para os anos de 2015 e 2016, em 2017 ocorreu o contrário (Tabela 10). Em EL, os menores valores médios de  $G$  foram observados no PC em relação ao PMC para o ano de 2015 a 2017. O maior média anual de  $G$  foi ano de 2015 para EP3 e no ano de 2016 na EL.

**Tabela 10.** Valor médio para o período chuvoso (PC) e menos chuvoso (PMC) e anual  $\pm$  desvio padrão do fluxo de calor do solo ( $G$ ) em  $W m^{-2}$ , no período de 2014-2017, em um plantio de palma de óleo, Moju-PA.

Período	2014	2015	2016	2017
	Empilhamento			
Chuvoso	-	$-0.9 \pm 7.90$	$-0.6 \pm 7.30$	$-0.8 \pm 6.08$
Menos chuvoso	$-2.1 \pm 7.03$	$-1.0 \pm 9.71$	$-1.4 \pm 9.31$	$-0.7 \pm 5.80$
Anual	$-1.9 \pm 7.90$	$0.9 \pm 8.68$	$-1.0 \pm 8.29$	$-0.7 \pm 5.95$
Entre linhas				
Chuvoso	-	$-0.4 \pm 14.94$	$-0.2 \pm 14.60$	$-0.6 \pm 11.66$
Menos chuvoso	$-1.0 \pm 13.61$	$0.6 \pm 20.36$	$0.5 \pm 17.66$	$0.2 \pm 12.46$

Anual	-0.9±14.20	-0.1±17.23	0.1±16.08	-0.2±12.04
-------	------------	------------	-----------	------------

**Nota:** Sem dados para o PC do ano de 2014.

**Fonte:** A autora.

## 8. DISCUSSÃO

### 8.1. Variabilidade temporal e espacial de $\theta$

A variação espaço-temporal da  $\theta$  é causada por um efeito da vegetação, fenômenos meteorológicos (principalmente chuvas), terreno (declividade, altitude e diferenciação geográfica) e atividades agrícolas em diferentes escalas (LEI et al. 2011). De acordo com os resultados obtidos de precipitação, os meses com maior precipitação proporcionaram maior  $\theta$ , enquanto que nos de menor precipitação houve uma redução gradativa de  $\theta$  (Figuras 7 e 8).

Vale ressaltar que mesmo o ano de 2015 e 2016 apresentando uma redução de chuvas de 50% e 37% no PMC, isso não afetou a  $\theta$ . Pois a  $\theta$  permaneceu com o mesmo comportamento em comparação com o PMC dos outros anos estudados. Resultado diferente foi encontrado por Van Schaik et al. (2018), que estudando a Amazônia, verificaram que em anos de ENOS houve uma redução da  $\theta$ , mais especificamente em outubro de 2015 com um aumento em dezembro de 2015 e janeiro de 2016. Segundo Jiménez-Muñoz (2016), o El Niño do ano de 2015 foi o primeiro ENOS forte nos últimos 18 anos com um forte aquecimento e seca na Amazônia.

A posição EP1 foi o local menos úmido para os anos estudados. Isso pode ser atribuído à maior atividade e absorção de água pelas raízes nessa posição. Segundo Carvalho (1991), as raízes da palma de óleo geralmente possuem maior concentração nos primeiros 0,40 m. Conforme Corley & Tinker (2003), o maior volume de raízes concentra-se entre 0,15 e 0,30 m, diminuindo à medida que as raízes se distanciam da planta. Similar ao encontrado neste estudo, Nelson et al. (2006) observaram maior redução da  $\theta$  na base da planta e menor nas entre linhas. Gloria (2016), estudando morfologia de raízes de HIE, observou que 58% do total das raízes primárias estavam localizadas na região mais próxima da estipe e na camada 0-0,15 m. Essas raízes primárias, além de apresentar função de sustentação, também participam do processo de absorção de água e nutrientes do solo (CARVALHO, 1991).

A maior  $\theta$  na posição EP3 em comparação a EL, pode ser explicada pela deposição de folhas que mantém a umidade do solo (Figura 11). De acordo com Voos e Sidiras (1985), a cobertura vegetal no solo contribui para o fornecimento de matéria orgânica, que se constitui em um reservatório importante de nutrientes para os microrganismos e plantas e também colabora com o aumento do conteúdo de água no solo.

Os resultados encontrados da  $\theta$  acima da CC para as posições EP e EL, podem indicar problemas de aeração no solo, pois o fluxo de gases fica comprometido em função do preenchimento total dos poros por água. Na CC, o solo retém a quantidade máxima de água



para a planta, quantidades adicionais são de uso limitado a planta pois causa restrição à aeração. Para Collares et al. (2006), a  $\theta$  controla a aeração do solo. Na posição EP, a  $\theta$  abaixo do PMP indica que a planta não teve água disponível e, provavelmente a cultura do HIE esteve com estresse hídrico durante o período em que isso ocorreu. Sato et al. (2017), estudando a cultura palma de óleo, observaram que o estresse hídrico forneceu evidências de que a variação temporal do conteúdo de água influencia na produtividade da cultura.

A característica do solo na superfície na posição EL é diferente das demais, pois este local é o compactado da área de plantio. Como consequência da prática agrícola, que adota EL como caminho para realizar as operações de coleta dos frutos, aplicação mecanizada da adubação química, defensivos e roçagem (PINA, 2010). A compactação do solo é caracterizada pela diminuição da porosidade devido a aplicação de forças externas, causando aumento da densidade e alta resistência à penetração das raízes (FERREIRA et al., 2019). Conforme Shah et al. (2017), a compactação reduz o armazenamento de água e sua disponibilidade para as plantas, bem como sua condutividade hidráulica, afetando o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular.

Na CRA do solo foram encontrados baixos valores de  $n$  indicando uma ampla distribuição do tamanho dos poros (VAN GENUCHTEN; NIELSEN, 1985), como também resultaram em uma curva menos inclinada (Figura 5) (RADCLIFFE; SIMUNEK, 2010). Para EP, provavelmente devido a menor  $D_s$  (Tabela 4), possibilitou uma melhor distribuição de poros por tamanho (figura 6a-b) e maior retenção de água no solo (Figura 5a-b). A diferença das curvas de distribuição de poros para as posições EP e EL mostram o efeito da prática agrícola nos poros do solo, o que explica uma maior concentração de microporos nas profundidades de 0,30 m e 0,80 m para a posição EL (Figura 6b).

Em relação as propriedades físicas encontradas para EL (Tabela 4), a menor quantidade de macroporos e maior quantidade de microporos é consequência da compactação do solo. Segundo Secco et al. (2004), a compactação causada pela utilização agrícola ocasiona uma grande diminuição da quantidade de macroporos podendo haver, maior volume de microporos, o que aumentaria a capacidade de armazenamento de água. Observou-se maior conteúdo de água disponível na posição EL em comparação com a posição EP, de acordo com Sanchez (1981), a compactação, causa aumento do conteúdo de água disponível para as plantas, mas existem casos em que isto não acontece. Fernandes et al. (2018), ao avaliar o grau de compactação e sua relação com a água disponível em um solo arenoso, encontraram menor conteúdo de água disponível no solo em função do aumento do grau de compactação do solo.

A porosidade total do solo é inversamente proporcional à densidade (TORMENA et al., 2002), corroborando com os achados no presente estudo para EP e EL. Para a variável Map, a posição EP apresentou condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas, devido o valor ser acima de  $10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , o qual é definido como limitante ao crescimento radicular (DEXTER, 1988). A redução dos macroporos abaixo deste valor pode restringir a transmissão de água e nutrientes através da zona radicular (BEVAN, 1980). Por essas razões, o solo na posição EL apresentou valor crítico para esta variável, o que pode comprometer a drenagem e a difusão de oxigênio, limitando a respiração radicular e gerando menor exploração do solo pelas raízes das plantas (DREWRY et al., 1999).

O menor valor de Pt e maior valor de Ds para a posição EL são similares aos resultados encontrados em outros estudos relacionados a solos compactados. Ribeiro et al. (2007), avaliando as propriedades físicas de diferentes tipos de solo, encontraram valor de Pt sendo  $0.42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e Ds de  $1.48 \text{ g cm}^{-3}$  em uma pastagem. A porosidade total foi menor e a densidade do solo foi maior quando comparada com ao de floresta, que apresentou valores de  $0.67 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para Pt e  $0.87 \text{ g.cm}^{-3}$  para Ds.

Os valores de Pt, Map e Mip do solo sob cultivo de HIE, são menores em comparação com resultados encontrados para solos de floresta e sistema silvipastoril, com exceção da variável Map no sistema silvipastoril, que apresentou resultados semelhantes aos encontrados neste estudo. Cunha et al. (2010), encontraram valores de Pt e Map no solo de mata nativa, sendo  $0.66 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $0.36 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente. Esses autores atribuíram o resultado ao fato do solo não ter sido cultivado e não ter sofrido os efeitos do trânsito de máquinas e equipamentos. Martinkoski et al. (2017), estudando solo sob sistema silvipastoril e floresta secundária, obtiveram valores de Pt de  $0.61\text{-}0.63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para floresta, e  $0.60\text{-}0.63 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para sistema silvipastoril. Para Map, entre  $0.10\text{-}0.11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $0.16\text{-}0.18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente. E, para Mip, entre  $0.50\text{-}0.53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e  $0.44\text{-}0.45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente.

## **8.2. Variabilidade temporal e espacial de $T_{\text{solo}}$ e G.**

Em relação a variação temporal de  $T_{\text{solo}}$  e G, os anos de 2015 e 2016 foram impactados pelo evento climático extremo ENOS. Conforme Santoso et al. (2017), os anos de 2015 e 2016 tiveram influência do El Niño (ENOS), quase duas décadas após o grande El Niño de 1997/1998. Este evento foi considerado o evento climático do século XX pela sua magnitude, com consequências em escala global (SANTOSO et al., 2015). Segundo Erfanian (2017), o ano de 2016 permaneceu anormalmente quente.

Houve meses em que  $T_{\text{solo}}$  em EP1 foi maior quando comparada àquela em EP3. Mesmo ambos estando próximos (cerca de 4 m de distância), apresentaram diferenças nos valores da

$T_{\text{solo}}$  (Figura 12). Segundo Hillel (1998), o empilhamento possui cobertura vegetal que protege o solo do aquecimento e da perda de água. Diferentemente da base da planta, que mesmo estando sombreada, não possui cobertura vegetal acima da superfície. As práticas de manejo das culturas podem alterar o regime de temperatura do solo, visto que, os resíduos vegetais deixados na superfície agem como atenuadores da temperatura (WILLIS; AMEMIYA, 1973).

As coberturas são capazes de modificar o regime térmico dos solos, tanto para aumentarem quanto para diminuir a temperatura, e essas coberturas podem ser constituídas de materiais de diferentes espessuras e propriedades térmicas (GASPARIM, 2005). Isso pode explicar as máximas na posição EP3 no ano de 2015 e 2016, quando comparada a EP1 (Figura 12).

As condições de  $T_{\text{solo}}$  estão em constantes mudanças visto que o solo é influenciado pela entrada de calor mediante incidência de radiação solar como também pela saída através de processos como evaporação (LAL; SHUKLA, 2004). A  $T_{\text{solo}}$  nas posições EP1, EP3 e EL apresentam diferentes comportamentos (Figura 13), embora uma mesma quantidade de energia esteja disponível para alguns solos, o processo de aquecimento e resfriamento pode ser bastante variável em virtude de suas propriedades térmicas específicas (MOTA, 1983).

Estudar a variação da  $T_{\text{solo}}$  em diferentes ecossistemas possibilita compreender sobre o comportamento dela em diferentes ambientes, o que é de grande importância pois sua variação interfere na absorção de água e nutrientes, crescimento radicular e na atividade microbiana do solo (HILLEL, 1998). Os resultados de  $T_{\text{solo}}$ , obtidos neste estudo, estão próximos aos encontrados em outros estudos com plantio de palma de óleo. Hardwick et al. (2015), encontrou média de  $T_{\text{solo}}$  maior em dendezeiros e menores em floresta primária. Mejide et al. (2018), ao estudar o microclima em diferentes ecossistemas, encontraram valores médios diários para  $T_s$  de 26.1 °C em plantio de palma de óleo, 25 °C em floresta e 26.1 °C em plantio de seringueira.

A  $T_{\text{solo}}$  e  $G$  são altamente correlacionados, e isso foi observado nos resultados obtidos (Figuras 12 e 14). No PC houve menor variação dessas variáveis, enquanto no PMC ela foi maior. De acordo com Farouki (1986), há um aumento da condutividade térmica com uma elevação da  $\theta$ , pois os espaços vazios presentes na estrutura dos solos são preenchidos pela água, que possui maior condutividade térmica do que o ar que está presente no solo. Quanto maior a condutividade térmica menor será a variação de temperatura da superfície e maior será o armazenamento de calor (NOVAIS, 2011).

As maiores  $T_{\text{solo}}$  e  $G$  foram observadas na posição EL, isso também está relacionado com as propriedades físicas do solo. A redução da  $P_t$  promoveu o aumento da  $D_s$  e menor espaço vazio no solo. Com isso, ocorreu o aumento do contato entre as partículas do solo,

promovendo maior condução de calor. De acordo com Baver et al. (1972), a densidade, umidade e a cobertura do solo são os principais fatores que influenciam a variação da  $T_{\text{solo}}$ .

Os menores valores de  $G$  na posição EL durante a noite e maiores durante o dia são similares com os resultados de Carneiro et al. (2014), que observaram o mesmo comportamento de  $G$  ao comparar uma área com cobertura vegetal do solo e sem cobertura vegetal do solo. Ou seja, uma área com solo exposto absorve e perde calor mais facilmente, isso explica as máximas de  $G$  para EL ocorrerem mais cedo do que em EP3 (Figura 15). Na posição EL, os valores de  $G$  ficam mais negativos em comparação a posição EP3 (Figura 15), valores negativos de  $G$  indicam o resfriamento do solo, enquanto os valores positivos o aquecimento. Conforme Carvalho et al. (2013), quando há transferência de calor das camadas mais profundas para as mais superficiais, o fluxo de calor no solo é negativo, mas quando há transferência de calor da superfície para as camadas mais profundas do solo o fluxo de calor do solo é positivo.

Alvalá et al. (2002), encontraram valores médios mensais de  $G$  de  $-2.04 \text{ W m}^{-2}$  em área de floresta e  $0.41 \text{ W m}^{-2}$  em pastagem, no PC. Enquanto que no PMC, de  $-0.34 \text{ W m}^{-2}$  e  $7.87 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente. Os valores médios de  $G$  observados durante o PC neste estudo, são maiores em relação aos encontrados para floresta e menores em relação aos de pastagem. O mesmo foi observado no PMC. Carneiro et al. (2014), ao estudar  $G$  em floresta, observaram que as médias horárias no PC obtiveram valor máximo de  $2.0 \text{ W m}^{-2}$  e mínimo de  $-5.0 \text{ W m}^{-2}$ , enquanto que no PMC máximo de  $4.0 \text{ W m}^{-2}$  e mínimo de  $-3.5 \text{ W m}^{-2}$ . Os valores mais baixos de  $G$  no PC são atribuídos ao menor nível de radiação disponível e, conseqüentemente, menor fluxo de energia para os níveis inferiores do solo (CARNEIRO et al., 2014).

Os valores médios horários de  $G$ , obtidos neste estudo, estão acima dos medidos para floresta em estudos de Alvalá et al. (2002) e Carneiro et al. (2014). Neste estudo, para o PC, o valor de  $G$  encontrado foi superior em média  $1.34 \text{ W m}^{-2}$ . No PMC esse valor foi superior em média  $0.16 \text{ W m}^{-2}$ , comparado com  $G$  em floresta. No PMC,  $G$  tende a ser maior, isso é decorrente de menor nebulosidade proporcionando maior incidência de radiação solar, já no PC os valores são menores pois além da nebulosidade ser maior, há maior precipitação inerente a este período (Figura 14).

## 9. CONCLUSÃO

Este estudo pode auxiliar na mudança de práticas agrícolas adotadas em plantio de palma de óleo. Como também, compreender sobre as características térmico-hídricas do solo para um cenário de eventos climáticos extremos.

Na posição próximo ao estipe da planta, a umidade do solo foi menor, enquanto que nas posições terço médio da folha adulta e empilhamento a umidade do solo foi maior. A umidade do solo nas entre linhas foi menor em comparação ao empilhamento.

A maior retenção de água no solo ocorreu na posição entre plantas e a umidade do solo nesta posição, esteve acima da capacidade de campo no período chuvoso e acima do ponto de murcha permanente no período menos chuvoso, com exceção de alguns meses nos anos de 2015 e 2016. Nas entre linhas a umidade do solo se manteve dentro da faixa de água disponível, no período de 2014 a 2017.

Na posição do empilhamento ocorreu menor variação da temperatura e fluxo de calor do solo. Sendo esta, uma informação que pode auxiliar na mudança de manejo em plantio de palma de óleo. A maior variação da temperatura e fluxo de calor do solo ocorreu nas entre linhas.

## REFERÊNCIAS

ALVALÁ, R. C. S. et al. Intradaily and seasonal variability of soil temperature, heat flux, soil moisture content and thermal properties under forest and pasture in Rondonia. **Journal of Geophysical Research - Atmospheres**, v. 107, p. 10-20, 2002.

ANDRADE, V. M. S.; CORDEIRO, I. M. C. C.; SCHWARTZ, G.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; OLIVEIRA, F. A. Capítulo II: Considerações sobre clima e aspectos edafoclimáticos da Mesorregião Nordeste Paraense. In: CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. A. (Org.). **Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017. 323p.

ANTONINI, J. C. A.; VELOSO, R. F.; MALAQUIAS, J. V. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo na fase produtiva da palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.) nas condições de clima tropical de savana. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, Embrapa Cerrados, 21p., 325, ISSN online 2176-509X, 2015.

ARAÚJO, E. C. B. de; AGUIAR, A. V. de; COSTA, R. N. T. Calibração de um modelo de umidade para um solo aluvial sem cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.444-449, doi.org/10.1590/S1415-43662001000300013, 2001.

ASNER, G. P.; KELLER, M.; PEREIRA, R. JR.; ZWEEDE, J. C.; SILVA, J. N. M. Canopy damage and recovery after selective logging in Amazonia: field and satellite studies. **Ecological Applications**, v.14, p. 280-298. 2004.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. DE; SILVA, A. M. da. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1257-1266, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010001200002>.

AZEVEDO, A.C.; BONUMÁ, A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.2, p.609-617, 2004.

BAKOUMÉ, C.; SHAHBUDIN, N.; YACOB, S.; SIANG, C. S.; THAMBI, M. N. Improved method for estimating soil moisture deficit in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) areas with limited climatic data, **J. Agr. Sci.**, 5, 57–65, 2013. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n8p57>.

BANCO DA AMAZÔNIA. Balanço do número de contratos PRONAF ECO no período de 2002 a 2012 no estado do Pará. **Diretoria de Crédito e Fomento, Gerência de Agricultura Familiar**. Relatório Técnico. Belém, 2012 p.10.

BARCELOS, E.; RODRIGUES, M. do R. L.; SANTOS, J. de A. dos; CUNHA, R. N. V. Produção de Mudanças de Dendzeiro na Amazônia. **Circular técnica**, n. 8. Manaus. p 1-12, 2001.

BASTOS, T. X. **O clima da Amazônia Brasileira segundo Koppen**, Belém, PA. EMBRAPA-CPATU, 4 pp., 1982.

BASTOS, T. X.; MULLER, A. A.; PACHECO, N. A.; SAMPAIO, M. N.; ASSAD, E. D.; MARQUES, A. F. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendzeiro no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Sete Lagoas, v. 9, n.3, p. 564-570, 2001.

- BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A.; NECHET, D.; SÁ, T. D. A. **Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos**. Documentos 128, Belém, PA. Embrapa Amazônia Oriental, 31 pp., 2002.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil Physics**, 498p. 1972.
- BECKER, B. K. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)? **Confins** [Online], n.10, 2010.
- BEVAN, K. The grandon underwood field drainage experiment. **Institute of Hidrology Report**, 65: 30, 1980.
- BLUM, W. E. H. **Basics concepts: Degradation, resilience and rehabilitation**. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C. STEWART, B. A. Methods for assessment of soil degradation. CRC Press, Coca Raton, p 1-16, 1997.
- BORGES, A. J.; COLLICCHIO, E.; CAMPOS, G. A. A cultura da palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.) no Brasil e no mundo: aspectos agronômicos e tecnológicos – uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 17, n. 27, p. 01-118, 2016.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 5. ed. São Paulo: F. Bastos, 1979. 647 p.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of Soils**. 14 ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson-Prentice Hall, p.990, 2008.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. PortoAlegre: Bookman, 2013. 704p.
- BREWER, R.; SLEEMAN, J.R. Soil structure: attempts at its quantitative characterization. **Soil Science**, Baltimore, v.11, p.172-185, 1960.
- CALIMAN, J.; SOUTHWORTH, A. **Effect of drought and haze on the performance of oil palm**. 1998 International Oil Palm Conference, Commodity of the past, today, and the future, Sheraton Nusa Indah Hotel, Bali, 23–25 September 1998, 1–40, 1998.
- CAO, H. X.; SUN, C. X.; SHAO, H. B.; LEI, X. T. Effects of low temperature and drought on the physiological and growth changes in oil palm seedlings, *Afr. J. Biotechnol.*, 10, 2630–2637, 2011. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1272>.
- CARNEIRO, R.G.; MOURA, M.A.L.; SILVA, V.P.R.; SILVA JÚNIOR, R.S.; ANDRADE, A.M.D.; SANTOS, A.B. Estudo da temperatura do solo em dois biomas florestais nos períodos, chuvoso e seco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, p. 1009-1022, 2013.
- CARNEIRO, R. G.; MOURA, M. A. L.; SILVA, V. P. R.; JUNIOR, R. S. S.; ANDRADE, A. M. D.; SANTOS, A. B. **Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina grande/PB, v.18, n.1, p.99-108, 2014.
- CARR, M. K. V. The Water Relations and Irrigation Requirements of Oil Palm (*Elaeis Guineensis*): A Review. **Expl Agric.**, volume 47 (4), pp. 629–652. Cambridge University Press, 2011. doi:10.1017/S0014479711000494.

CARVALHO, C.J.R. - **Mècanismes de resistance a la sècheresse chez des plantes jeunes et adultes de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.)**. Thèse Doct., Univesité de Paris-Sud, Orsay, 203p,1991.

CARVALHO, S. P.; SOUZA, J. R. S.; MAKINO, M. Observações e estimativas de propriedades térmicas do solo sob floresta e pastagem no leste da Amazônia. **Rev. bras. meteorol.** vol.28. n.3, São Paulo. 2013.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesq. agropec. bras.** v.41 n.11, Brasília. 2006.

CONCEIÇÃO, E. O.; MULLER, A. A. Botânica e morfologia do dendezeiro. In: VIEGAS, I. de J.M.; MULLER, A.A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p.31-44. 2000.

CORLEY, R. H. V.; GRAY, B. S. Growth and morphology. In **Oil Palm Research**, 77–86 (Eds. R. H. V. Corley, J. J. Hardon and B. J. Wood). Amsterdam: Elsevier. 1976.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The Oil Palm**. 4<sup>a</sup> ed. Oxford: Blackwell Science. 608 p. 2003.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The Oil Palm**. 5<sup>a</sup> ed. Chichester: John & Sons Ltd. 687p. 2016.

CUNHA, R. N. V; LOPES, R. **BRS Manicoré: Híbrido interespecífico entre Caiuá e o Dendezeiro Africano recomendado para áreas de incidência do amarelecimento fatal**. Embrapa: Comunicado Técnico, v. 85, p. 1-3. 2010.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D. Atributos físicos do solo sob diferentes preparos e coberturas influenciados pela distribuição de poros. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.11, p.1160–1169, 2010.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, 11(3-4): 199-238. 1988. [http:// dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(88\)90002-5](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(88)90002-5).

DREWRY, J. J.; LOWE, J. A.; PATON, R. J. Effect of sheep stocking intensity on soil physical properties and dry matter production on a Pallic Soil in southland. New Zealand **Journal of Agricultural Research**, 42(4): 493-499., 1999. <http://dx.doi.org/10.1080/00288233.1999.9513399>.

DURNER, W. Hydraulic conductiveness estimation for solos com estrutura de poros heterogênea, **Water Resour. Res.** , 30 , 211 - 223 , 1994 .

ELAIUY, M. L. C.; SATO, L. M.; VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F. Desenvolvimento e avaliação de sonda TDR para o manejo racional de água em substratos utilizados na produção de mudas florestais. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.4, n.1, 2009. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.77>.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF. 3 ed. 574 p. 2017.

ENGLISH, N. B.; WELTZIN, J.F.; FRAVOLINI, A.; THOMAS, L.; WILLIAMS, D. G. The influence of soil texture and vegetation on soil moisture under rainout shelters in a semi-desert grassland. **Journal of Arid Environments**, v. 63, n. 1, p. 324–343, 2005.



ENTIN, J. K.; ROBOCK, A.; VINNIKOV, K. Y.; HOLLINGER, S. E.; LIU, S.; NAMKHAI, A. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. **Journal of Geophysical Research**, v.105, n.D9, p.11865-11877, 2000. <http://dx.doi.org/10.1029/2000JD900051>.

ERFANIAN, A.; WANG, G.; FOMENKO, L. Unprecedented drought over tropical South America in 2016: significantly under -predicted by tropical SST. **Scientific Reports**, 7: 5811, 2017. Doi: 10.1038 / s41598-017-05373-2.

FAO. **Fire management voluntary guidelines. Principles and strategic actions.** Fire Management Working Paper FM17E, Rome, Italy, 2006.

FAPESPA – Fundação Amazônia de Amparo a estudos e pesquisas do Pará. **Boletim Agropecuário do estado do Pará 2015.** 2015.

FAPESPA - Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. **Estatísticas Municipais Paraenses: Moju, Belém**, 61 pp., 2016.

FAROUKI, O.T. **Thermal Properties of Soils, Series on Rock and Soil Mechanics.** Vol. 11, 136p. 1986.

FERNANDES, F. P. S.; ALMEIDA, L. B.; GOMES, D. O.; COSTA, A. N.; SATO, M. K.; PEDROSO, A. J. S.; RODRIGUES, C. A.; LIMA, H. V.; VIEIRA, D. C. **Disponibilidade de água do solo em função do grau de compactação.** In: ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. Solos nos biomas brasileiros. Atena editora, v.2, Ponta Grossa – PR, 2018.

FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo.** In: Física do Solo. Ed. LIER, Q. J. Viçosa, MG: SBCS, p. 1-27, 2010.

FERREIRA, R. L. C.; SATO, M. K.; RODRIGUES, S.; LIMA, H. V.; TEIXEIRA, O. M. M. Tráfego de máquinas agrícolas em cultivo de palma de óleo: implicações na qualidade física do solo. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 62, 2019.

FILHO, A. R.; MOTTA, P. E. F. **Zoneamento agroecológico do dendezeiro para as áreas desmatadas da Amazônia legal.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, p. 44. 2010.

FONSECA, L. C. N. da; ARAÚJO, A. C.; MANZI, A. O.; CARVALHO, C. J. R. de; OLIVEIRA, L. R. de. Fluxos de CO<sub>2</sub> em Plantio de Palma de Óleo no Leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, n.1, p.181-192, 2018.

FURLAN JÚNIOR, J.; MÜLLER, A. A. A Agricultura Familiar e a Dendeicultura na Amazônia. **Comunicado Técnico 107.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2004, 3p.

GASPARIM, E.; PRANDINI, R. R.; LIMA SILVA, S. DE; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, vol. 27, n. 1, pp. 107-114, 2005.

GIMENES, F. H. S. **Curva de retenção na avaliação da qualidade física do solo.** Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 69 p. Piracicaba. 2012.

GLORIA, G. C. P. **Biomassa de raízes em plantio de híbrido interespecífico de palma de óleo no leste da Amazônia.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. 56 f. Belém-PA. 2016.

GNACADJA, L.; LESCH, A. K. **Running dry? Climate change in drylands and how to cope with it.** Germany: München, 2009.

GOH, K. **Climatic requirements of the oil palm for high yields.** In: K. Goh (Editor), *Managing Oil Palm for High Yields: Agronomic Principles.* Malaysian Society of Soil Science and Param Agricultural Surveys and Kuala Lumpur, pp. 1–17. 2000.

GOMES JÚNIOR, R. A.; LOPES, R.; CUNHA, R. N. V.; PINA, A. J. A.; SILVA, M. P.; RESENDE, M. D. V. Características vegetativas na fase juvenil de híbridos interespecíficos de caiaué com dendezeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.1, p.27-35, 2015.

GÖTTINGEN, C. V. **The potential of oil palm and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia.** Ecology and Development Series. Syahrudin nº. 28, p.112. 2005.

HARDON, J.J.; TAN, G. Y. Interspecific Hybrids in the genus *Elaeis* I. crossability, cytogenetics and fertility of F1 hybrids of *E. guineensis* x *E. oleifera*. **Euphytica** v.18, p.372-379. <https://doi.org/10.1007/BF00397784>. ISSN:1573-5060. 1969.

HARDWICK, S. R.; TOUMI, R.; PFEIFER, M.; TURNER, E. C.; NILUS, R.; EWERS, R. M. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.201, p. 187-195, [doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.010](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.010), 2015

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes.** 3. ed. New York: Academic, 1972. 288 p.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics.** New York: Academic, 1980. 413 p.

HILLEL, D. **Environmental soil physics.** New York, Academic Press, 1998. 771p.

HOMMA, A. K. O. Agroenergia: a entrada de um novo ciclo na Amazônia? In: GOMES JUNIOR, R. A. (Ed.). **Bases técnicas para a cultura da palma de óleo integrado na unidade produtiva da agricultura familiar.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. p. 3-5.

HOMMA, A.K.O. Amazônia: criando uma nova natureza. IN: Scarlato, F.C.; Araújo, W.F.; Evangelista, R.A.O. (Org.). **Amazônia: terra e água-degradação e desenvolvimento sustentável.** Boa Vista: UFRR, p. 101- 122, 2012.

HOMMA, A. K. O. **Histórico do desenvolvimento de híbridos interespecíficos entre caiaué e dendezeiro.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 34. 2016.

JARDINE, K. J.; GIMENEZ, B. O.; ARAÚJO, A. C.; CUNHA, R. L.; FELIZZOLA, J. F.; PIVA, L. R.; CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N. Diurnal Pattern of Leaf, Flower and Fruit Specific Ambient Volatiles above an Oil Palm Plantation in Pará State, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.27, n.8, 2016.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y.; SOBRINO, J. A.; SCHRIER, G. V. D. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. **Sci Rep.** v. 6, n. 33130, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep33130>

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, WI, v.61, p.4–10, 1997.

KASSAM, A. H.; VAN VELTHUIZEN, H. T.; FISHER, G. W.; SHAH, M. M. **Agro-Ecological land resources assessment for agricultural development planning**. Rome: International Institute for Applied Systems Analysis. 224 p. 1993.

KHAINE, I.; WOO, S. Y. An overview of interrelationship between climate change and forests, **Forest Science and Technology**, 11:1, 11-18, 2015.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 857-867, 2002.

KLEIN, C.; KLEIN, V. A. Estratégias para potencializar a retenção e disponibilidade de água no solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. UFSM, Santa Maria. v. 19, n. 1, 2015, p.21-29. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117014990>.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.26, n.4, p. 857-867, 2002.

KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. C.; LEITE, N. K.; HANADA, L.; VICTORIA, D. C.; TOLEDO, A. M.; OMETTO, J. P.; MOREIRA, M. Z.; GOMES, B. M.; BOLSON, M. A.; NETO, S. G.; BONELLI, N.; DEEGAN, L.; NEILL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPE, K.; RICHEY, J. E. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p.197-205. 2005.

LAL, R. Carbon management in Agricultural Soils. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.12, p.303-322. 2007.

LEI, Y.; LUBO, G.; HUAXING, B.; QINGKE, Z.; XIAOYAN, W. Spatio-temporal dynamics of soil moisture in silvopastoral system in the Loess Plateau of west Shanxi province. **Procedia Environmental Sciences**, v.8, p.153-160, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.10.025>.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of soil physics**. New York: Marcel Dekker, 2004;

LEGROS, S.; MIALET-SERRA, I.; CALIMAN, J. P.; SIREGAR, F. A.; CLÉMENT-VIDAL, A.; DINGKUHN, M. Phenology and growth adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to photoperiod and climate variability, **Ann. Bot.** London, 104, 1171–1182, 2009. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp214>.

LEI, Y.; LUBO, G.; HUAXING, B.; QINGKE, Z.; XIAOYAN, W. Spatio-temporal dynamics of soil moisture in silvopastoral system in the Loess Plateau of west Shanxi province. **Procedia Environmental Sciences**, v.8, p.153-160, 2011. [dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.10.025](http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.10.025).

LEPSCH, I.F. **Formação e conservação dos solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advision Soil Science**, v. 1, p. 277-294, 1985.

LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. C. M.; ARAÚJO FILHO, J. D. DE; CANDEIAS, A. L. B. Espacialização da umidade do solo por meio a temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.9, p.973-980, <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000900014>, 2011.

- MAILLARD, G.; OCHS, R.; DANIEL, C. Analysis of the effects of drought on the oil palm, **Oleagineux**, 29, 397–404, 1974.
- MARQUES, J. D. de O. **Horizontes pedogenéticos e sua relação com camadas hidráulicas do solo**. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 86 f. 2000.
- MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade física do solo sob manejo silvipastoril e floresta secundária. **Floresta e Ambiente**, 24: e20160282, 2017.
- MEJIDE, A.; BADU, C. S.; MOYANO, F.; TIRALLA, N.; GUNAWAN, D. Impact of forest conversion to oil palm and rubber plantations on microclimate and the role of the 2015 ENSO event. **Agricultural and Forest Meteorology**, 252, 208–219, 2018.
- MÉNDEZ, Y. D. R.; CHACÓN, L. M.; BAYONA, C. J.; ROMERO, H. M. Physiological response of oil palm interspecific hybrids (*Elaeis oleifera* H. N. K. Cortes versus *Elaeis guineensis* Jacq.) to water deficit, **Brazilian Society of Plant Physiology**, 24, 273–280, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202012000400006>.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Diagnóstico da Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil. Brasília: Mapa/ACE. ISBN 978-85-7991-098-2. 2018.
- MONTEIRO, K. F. G. **Análise de indicadores de sustentabilidade socioambiental em diferentes sistemas produtivos com palma de óleo no Estado do Pará**. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia). Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 205 p. 2013.
- MORALES, E. A. “**Relatório Gestão 1996-2000**”. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 50p. 2001.
- MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo, Nobel 376p. 1983.
- MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo, Nobel. 201p. 1989.
- MOURA, M.A.L; QUERINO, C.A.S. Variação sazonal do fluxo de calor no solo dentro de um manguezal tropical. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.296-302, 2010.
- NELSON, P. N.; BANABAS, M.; SCOTTER, D. R.; WEBB, M. J. Using soil water depletion to measure spatial distribution of root activity in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations. **Plant Soil**, 286:109–121. 2006. DOI 10.1007/s11104-006-9030-6
- NOOR, M. R.; HARUN, M. H.; JANTAN, N. M. Physiological plant stress and responses in oil palm, **Oil Palm Bulletin**, 62, 25–32, 2011.
- NOVAIS, J. W. Z. **Dinâmica geotérmica do solo de uma floresta de cambarás no pantanal mato-grossense**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, 2011.
- OBIDZINSKI, K. *et al.* Environmental and social impacts of oil palm plantations and their implications for biofuel production in Indonesia. **Ecology and Society**, v. 17, n. 1, p. 1-19, 2012.

- OKI, T.; KANAE, S. Ciclos hidrológicos globais e recursos hídricos mundiais. **Ciência**, v. 313, pp. 1068 – 1072. 2006.
- OLIVEIRA, M. C. F.; PEREIRA, M. G. P.; OLIVEIRA, J. B.; SOUZA, P. F. S.; COSTA, A. C. L; COSTA, J. P. R. Condições Ambientais e Micrometeorológicas do Ecossistema de Caxiuanã- PA. **In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Foz do Iguaçu-PR, 2002.
- OMAR, C. E. **Dinâmica da água e nutrientes na solução do solo em um dendezal (*Elaeis guineensis* Jacq.) na Amazônia Central**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical. 143p. Manaus-AM. 2016.
- PEZZOPANE, J. E. M.; CUNHA, G. M.; ARNSHOLZ, E. & COSTALONGA, M. J. Temperatura do solo em função da cobertura morta por palha de café. **R. Bras. Agrometeorologia**, v.4, n.2:7-10, 1996.
- PINA, A. J. de A. Experiências na produção para a cultura de palma de óleo na Amazônia: relato de experiências da Marborges Agroindústria S.A. (Moju-Pará). **In: Ramalho Filho, A. Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2010.
- PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. 1.ed. Curitiba: Salesward-Discovery, 1996. 446 p.
- PTASINSKI, K. J. **Efficiency of biomass energy**. 1 ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 761 p. 2016.
- RADCLIFFE, D. E.; SIMUNEK, J. **Soil Physics with HYDRUS: Modeling and Applications**. CRC Press, 373p. 2010.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole, 478p., 2004.
- RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.
- RIOS, S. A; CUNHA, R. N. V; LOPES, R.; BARCELOS, E. **Recursos genéticos de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jaq.) e caiaué (*Elaeis oleifera* (H.B.K) Cortés)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2012. 39 p.
- RIVERA, R. N. C.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; BOTREL, T. A. Modelo aplicado à dinâmica da água e do potássio no solo sob irrigação por gotejamento - análise de sensibilidade. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.28, n.3, p.448-459, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000300006>.
- ROBINSON, D.A.; CAMPBELL, C.S.; HOPMANS, J.W.; HORNBUCKLE, B.K.; JONES, S.B.; KNIGHT, R.; OGDEN, F.; SELKER, J.; WENDROTH, O. Soil moisture measurements for ecological and hydrological watershed scale observatories: a review. **Vadose Zone J.** 7, 358–389. doi:10.2136/vzj2007.0143. 2008.
- ROBOCK, A.; VINNIKOV, K.YA.; SRINIVASAN, G.; ENTIN, J.K.; HOLLINGER, S.E.; SPERANSKAYA, N.A.; LIU, S.; NAMKHAI, A. The global soil moisture data bank. **B. Am. Meteorol. Soc.** 81 (6), 1281–1299. 2000.

- ROCHA, P.; PRADA, F.; REY, L.; AYALA, I. Caracterización bioquímica parcial de la colección de *Elaeis oleifera* de Cenipalma proveniente de la Amazonía colombiana. **Palmas** 27: 35-44. 2006.
- RODRIGUES, M. F.; KAISER, D. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; KUNZ, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variação da temperatura do solo em diferentes sistemas de manejo e níveis de compactação durante o ciclo do milho. In: VII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo. **Anais... VII RSBCS**. Santa Maria – RS, 2008.
- SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **R. Bras. Ci. Solo**, v.19, p.313-319, 1995.
- SANCHEZ, P.A. **Suelos dei trópico: características y manejo**. San José, Inst. Interam. Coop. Agric. 633p. 1981.
- SANTOS, E. A. **Caracterização de dendezeiros subespontâneos com base na produção de frutos e cachos**. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2010.
- SANTOS, S. R. Q.; SILVA, R. B. C.; BARRETO, P. N.; NUNES, H. G. G. C.; RODRIGUES, R. S.; CAMPOS, T. L. O. B. Regime térmico e hídrico do solo para área de floresta tropical em anos de el niño e la niña, Caxiuanã-pa: estudo de caso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.3, 367 - 374, 2011.
- SANTOSO, A.; CAI, W.; COLLINS, M.; MCPHADEN, M.; JIN, F. F.; GUILYARDI, E.; VECCHI, G.; DOMMENGET, D.; WANG, G. ENSO extremes and diversity. Dynamics, Teleconnections, and Impacts. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** p. 1969–1972, 2015.
- SANTOSO, A.; MCPHADEN, M. J.; CAI, W. The defining characteristics of ENSO extremes and the strong 2015/2016 El Niño. **Reviews of Geophysics**, 55, p. 1079–1129, 2017. <https://doi.org/10.1002/2017RG000560>
- SATO, M. K.; LIMA, H. V.; FERREIRA, R. L. C.; RODRIGUES, S.; SILVA, A. P. Least limiting water range for oil palm production in Amazon region, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 74, n. 2, p. 148-156, 2017.
- SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ROS, C. O. da. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.797-804, 2004.
- SENEVIRATNE, S. I.; CORTI, T.; DAVIN, E. L.; HIRSCHI, M.; JAEGER, E. B.; LEHNER, I.; ORLOWSKY, B.; TEULING, A. J. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. **Earth-Science Reviews**, 99, 125–161. 2010.
- SERRÃO, D. R.; JARDIM, F. C. S.; NEMER, T. C. Sobrevivência de seis espécies florestais em uma área explorada seletivamente no município de Moju, Pará. **Cerne**, v.9, n.2, p.153-163, 2003.
- SHAH, A. N.; TANVEER, M.; SHAHZAD, B.; YANG, G.; FAHAD, S.; ALI, S.; BUKHARI, M. A.; TUNG, S. A.; HAFEEZ, A.; SOULIYANONH, B. Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, Basel, v. 24, n. 11, p. 10056-10067, 2017.

- SILVA, L. G. T., SILVA, J. F. A., SILVA, H. M. **Diagnóstico da Agricultura Familiar no Município de Moju, Pará, Belém**. Embrapa Amazônia Oriental, Documentos 104, 49 pp., 2001.
- SIMAS, J. P.; PEREIRA, C. L. C. Energia e sustentabilidade: análise da viabilidade do cultivo do dendê para o desenvolvimento regional endógeno da Amazônia. **Bol. geogr.**, Maringá, v. 37, n. 1, p. 184-198, 2019.
- SOUZA, J. R. S.; LOPES, Z. F.; COHEN, J. C. P.; COSTA, A. C. L. Variabilidade da temperatura e umidade em solos sob floresta, pastagem e manguezal, no leste da Amazônia. **In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Foz do Iguaçu-PR, 2002.
- SOUZA, C. F.; SILVA, C. R.; JUNIOR, A. S. A.; COELHO, E. F. Monitoramento e teor de água no solo em tempo real com as técnicas TDR e FDR. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Irrigação, p. 26-42, 2016.
- SOUZA, J. Dendê. 2010. Disponível em: < <http://www.ceplac.gov.br/radar/dende.htm>>. Acesso em: 28 novembro 2019.
- TAPIA-CORAL, S. C.; LUIZÃO, F. J.; WANDELI, E.; FERNANDES, E. C. M. Carbon and nutrients stock in the litter layer of agroforestry systems in central Amazônia, Brazil. **Agroforestry Systems**. v.65, p.33-42, 2005.
- TEIXEIRA, W.G. Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey Ferralsol in the Central Amazon. **Bayreuther Bodenkundliche Berichte**, v. 72, p. 1-255, 2001.
- TEIXEIRA, W.G.; CUBAS, O.E.; MARTINS, G.C.; FREITAS, P.L.; RODRIGUES, M.R.L.; FILHO, A.R. **Características físicas do solo adequadas para implantação e manutenção da cultura de palma de óleo na Amazônia**. In: RAMALHO FILHO; MOTTA, P.E.F.; FREITAS, P.L. DE; TEIXEIRA W.G. (1 Ed.) Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p.137- 144, 2010.
- TOGNON, A. A. **Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo**. 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.
- TOOCHI, E. C.; Forest and Environment: Developments in Global Change Ecology. **Forestry Research Engineering: International Journal**, v.3, n.00016, 2017.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, p.301-309, 1998.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Scientia Agricola**, 59(4): 795-801. 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000400026>.
- TORRES, G.; SARRIA, G.; VARON, F.; COFFEY, M.; ELLIOT, M.; MARTINEZ, G. Primeiro relato de podridão de *botões* causada por *Phytophthora palmivora* em dendê africano na Colômbia. **Plant Dis**. 94: 1163. 2010.
- TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, L. S.; FURLAN JÚNIOR, J. **Abordagem sobre o estado atual das pesquisas para a identificação do agente causal do amarelecimento fatal do**

**dendezeiro.** In: POLTRONIERI, L. S.; TRINDADE, D. R.; SANTOS, I. P. (Ed.). *Pragas e doenças de cultivos amazônicos*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, p. 439-450. 2005.

TURNER, E. C.; SNADDON, J. L.; EWERS, R. M.; FAYLE, T. M.; FOSTER, W. A. The impact of oil palm expansion on environmental change: putting conservation researching context. In: BERNARDES, M. A. S. (Ed.). **Environmental impact of biofuels tech**. Rijeka: InTech, p. 19-40. 2011.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. **Oilseeds: world market and trade**. 2014.

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

VAN GENUCHTEN, M. T.; NIELSEN, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Annales Geophysicae**, v.3, p. 615-618, 1985.

VAN SCHAIK, E.; KILLARS, L.; SMITH, N. E.; KOREN, G.; VAN BEEK, L. P. H.; PETERS, W.; VAN DER LAAN-LUIJKX, I. T. Changes in surface hydrology, soil moisture, and gross primary production in the Amazon during the 2015/2016 El Niño, **Philos. T. R. Soc. B**, 373, 1–9, 2018.

VEIGA, M.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Tillage systems and nutrient sources affecting soil cover, temperature and moisture in clayey Oxisol under corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 2011-2020, 2010.

VERHEYE, W. Growth and Production of Oil Palm. In: Verhey, W. (ed.). **Land Use, Land Cover and Soil Sciences**. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), UNESCO-EOLSS Publishers, Oxford, UK, 2010.

VIÉGAS, I. J. M.; MÜLLER, A. A. **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 44 p. 2000.

VIEIRA, I. C. G.; SILVA, J. M.; TOLEDO, P. M. **Estratégias para Evitar a Perda da Biodiversidade na Amazônia**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 19, n. 54, p.153-164. 2005.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. D. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 417p. 1987.

VOOS, M; SIDIRAS, N. Nodulação da Soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. **Pesq. Agropecu. Bras.**, Brasília. v.20, p.775-778, 1985.

WILLIS, W. O.; AMEMIYA, M. **Tillage management principles: Soil temperature effects**. In: Conservation Tillage. National Convention Conference, Des Moines, 1973.

YAHYA, Z.; HUSIN, A.; TALIB, J.; OTHMAN, J.; AHMED, O, H.; JALLOH, M. B. Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Roots Response to Mechanization in Bernam Series Soil. *American Journal of Applied Sciences* 7 (3): p.343-348, 2010.

ZENG, Y.; FENG, Z.; XIANGA, N. Assessment of soil moisture using Landsat ETM+ temperature/vegetation index in semiarid environment. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v.6, p.4036-4039. Doi:10.1109/IGARSS.2004.1370089. 2004.