

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**

**CALIBRAÇÃO DE SONDA TDR, IMPLICAÇÕES NA VARIAÇÃO DO  
CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO EM CACAUEIRO IRRIGADO**

**ELLEN PAULA MENEZES DOS SANTOS**

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA**

**NOVEMBRO – 2022**

# **CALIBRAÇÃO DE SONDA TDR, IMPLICAÇÕES NA VARIAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO EM CACAUEIRO IRRIGADO**

**ELLEN PAULA MENEZES DOS SANTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Colegiado de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

**Orientador:** Francisco Adriano de Carvalho Pereira

**Co-Orientador 1:** Igor Leonardo Nascimento Santos

**Co-Orientador 2:** Lucas dos Santos Batista

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA**

**NOVEMBRO – 2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE TRABALHO DE  
CONCLUSÃO DE CURSO DE ELLEN PAULA MENEZES DOS  
SANTOS**



---

Ms. Igor Leonardo Nascimento Santos  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
(Co-orientador)



---

Dr. Francisco Airdesson Lima do Nascimento  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
(Examinador)



---

Ms. Danívio Batista Carvalho de Vasconcellos  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
(Examinador)

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA**

**NOVEMBRO – 2022**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e aos espíritos de luz que se fizeram e fazem presentes em todas as minhas vidas.

Aos meus pais, Paulo César Silva dos Santos e Silvana Menezes Crispim por serem símbolo de força e resiliência, e por apoiar e fazer parte da construção do meu sonho. A minha irmã, Ana Luiza Menezes dos Santos pelas palavras de incentivo e carinho.

Aos mestres formadores do NEAS, em especial, ao meu orientador, Francisco Adriano de Carvalho Pereira, por todo o conhecimento ensinado em sala e pela orientação para a realização deste trabalho. Ao Igor Santos, o meu agradecimento especial pelo auxílio dado durante o período de orientação.

Aos colegas e amigos que fiz durante a trajetória deste trabalho e que contribuíram para a realização dele: Neilon Duarte, Lucas Batista, Magali Mota, Samuel Cardoso e Edilson Bastos (Mestre Boi). A minha amiga, Luiza de J. P. Cardoso pelas palavras de encorajamento e cuidado.

Ao meu namorado, Leonam das Mercês Silveira, por todo o carinho, compreensão, paciência, força e estímulo.

E o meu sincero obrigada a todos e todas que contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

## **CALIBRAÇÃO DE SONDA TDR, IMPLICAÇÕES NA VARIAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO EM CACAUEIRO IRRIGADO**

**RESUMO:** O cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) é uma planta oriunda das Américas do Sul e Central, e suas amêndoas possuem grande valor agregado para a indústria alimentícia no mundo. Seu cultivo tradicional é realizado em cabruca, onde parte da mata nativa é raleada e a cultura é implantada, protegida pela sombra de árvores de grande porte. Com a necessidade de expansão cacaueteira, atualmente o seu cultivo está sendo implantado em regiões semiáridas, onde o cultivo é feito sempre com o auxílio de irrigação, pois a cultura tem grande demanda hídrica. Neste contexto, foi realizado o experimento do cacaueteiro submetido em duas formas de cultivo, em pleno sol solteiro e em consórcio com bananeira e paricá. As duas condições foram irrigadas com o turno de rega de três dias e diariamente foram coletados os dados de conteúdo de água no solo em campo com o auxílio das sondas TDR. Estas sondas foram inseridas próximas as plantas, e, com o leitor TDR100, foi possível obter os valores de  $K_a$  e em seguida estimar os valores de conteúdo volumétrico de água no solo. A equação de estimativa foi fruto da calibração das sondas TDR no solo coletado em campo em três profundidades (0-15; 15-30 e 30-45 cm), que posteriormente deram origem a três equações polinomiais de terceira ordem. Ao fim do período de um mês do experimento, os dados diários coletados foram transformados em milímetro de armazenamento do solo para as diferentes condições. Pode-se concluir que a melhor condição do solo em mm foi a condição de sombra, isto se deve a menor presença de radiação solar e a presença da serapilheira, ambos proporcionando a maior durabilidade do conteúdo de água no solo.

**Palavras-chave:** cacau, manejo da irrigação, TDR

## **TDR PROBE CALIBRATION, IMPLICATIONS ON SOIL WATER CONTENT VARIATION IN IRRIGATED COCOA TREE**

**ABSTRACT:** The cocoa tree (*Theobroma cacao L.*) is a plant native to South and Central America, and its almonds have great added value for the food industry in the world. Its traditional cultivation is carried out in cabruca, where part of the native forest is thinned and the culture is implanted, protected by the shade of large trees. With the need for cocoa expansion, its cultivation is currently being implemented in semi-arid regions, where cultivation is always done with the aid of irrigation, as the crop has a high water demand. In this context, an experiment was carried out with the cocoa tree subjected to two forms of cultivation, in single sun plan and intercropped with banana and paricá. The two conditions were irrigated with the three-day irrigation shift and daily soil moisture data were collected in the field with the aid of TDR probes. These probes were inserted close to the plants and, with the TDR100 reader, it was possible to obtain the  $K_a$  values and then estimate the volumetric water content values in the soil. The estimation equation was the result of the calibration of the TDR probes in the soil collected in the field at three depths (0-15; 15-30 and 30-45 cm), which later gave rise to three cubic polynomial equations. At the end of the one month period of the experiment, the daily data collected were transformed into millimeters of soil storage for the different conditions. It can be concluded that the best soil storage in mm was the shade condition, this is due to the lower presence of solar radiation and the presence of litter, both providing greater durability of moisture in the soil.

**Key-words:** cocoa, irrigation management TDR

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sonda Artesanal de TDR. ....	12
Figura 2. Coleta indeformada da amostra de solo em profundidades de 0-15 (A), 15-35 (B), e 35-45 (C) cm.....	13
Figura 3. Instalação das sondas TDR em campo em cinco diferentes profundidades. ....	13
Figura 4. Amostras de solo no momento da saturação por água com as sondas TDR inseridas.....	14
Figura 5. Curvas de calibração do conteúdo volumétrico de água estimado em função da constante dielétrica com a TDR 100 para as diferentes profundidades: 0-15 (A); 15-30 (B) e 30-45 cm (C).....	19
Figura 6. Gráfico de temperatura e umidade relativa do ar (máximas e mínimas) no período do experimento.....	22
Figura 7. Eventos de precipitação, irrigação e conteúdo de água no solo do solo no período experimental (06/nov a 06/dez de 2019) com a cultura do cacau consorciados com bananeira e paricá.....	23
Figura 8. Eventos de precipitação, irrigação e conteúdo de água no solo em período no experimental (06/nov -06/dez de 2019) com a cultura do cacau a pleno sol solteiro.....	24
Figura 9. Gráfico com dados de armazenamento do solo em milímetros em cacauzeiros em condições de sombra e a pleno sol no período de 06/11 a 06/12. ....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição granulométrica e densidade do solo para as diferentes profundidades em Latossolo Amarelo Distrocoeso. ....	11
Tabela 2. Valores dos R <sup>2</sup> e RMSE resultantes da aplicação dos seguintes modelos para o Latossolo Amarelo Distrocoeso nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-45 cm, realizadas com sondas inseridas ao solo e conectadas ao TDR100.....	20



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Cultura do cacau.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1.2. Sistema não tradicional de cultivo .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Manejo de irrigação.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Monitoramento do conteúdo de água no solo .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.1. Conteúdo de água no solo .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.2. Sonda TDR.....</b>	<b>9</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Caracterização da área experimental .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Informações da área .....</b>	<b>10</b>
<b>3.4. Reflectometria no Domínio do Tempo - TDR .....</b>	<b>11</b>
<b>3.5. Calibração das sondas em laboratório .....</b>	<b>12</b>
<b>3.6. Experimento em campo.....</b>	<b>16</b>
<b>4. RESULTADO E DISCUSSÕES.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1. Calibração das sondas TDR.....</b>	<b>18</b>
<b>4.2. Acompanhamento em campo .....</b>	<b>21</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>27</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Considerada uma cultura ombrófila, a cultura do cacauero foi inicialmente implantada na Bahia sob a sombra da mata nativa, o chamado “cacau cabruca”, sistema onde ocorria apenas o raleamento da floresta e o plantio sem alinhamento, e este foi o sistema de cultivo mais propagado durante décadas (PIASENTIN & SAITO, 2014).

Após a chegada da “vassoura-de-bruxa” no Sul da Bahia, houve perdas de muitas lavouras cacaueras e, conseqüentemente, ocorreu uma recessão gravíssima no sul baiano, onde sua atividade econômica centralizava-se no plantio e comercialização das amêndoas de cacau.

Anos após de pesquisas relacionadas à “vassoura-de-bruxa”, desenvolvidas pela CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira), verificou-se a facilidade de propagação da doença em ambientes com alta umidade (PEREIRA *et al.*, 1996) e, ocorreu também, o desenvolvimento de clones melhorados geneticamente (LUZ *et al.*, 2006).

A partir do surgimento destes clones, a cultura do cacauero reestruturou-se e fortaleceu-se, aumentando a visibilidade da cultura. Com o nível de interesse econômico ascendendo e com o desenvolvimento de novas tecnologias de cultivo, a cultura passou a ser implantada em áreas totalmente diferente das tidas como tradicionais.

Nos últimos anos, houve a ocorrência do plantio da cultura em regiões semiáridas do nordeste brasileiro. Isto foi possível através da disponibilidade de água para a realização da irrigação (LEITE *et al.*, 2007). Nesta condição, em que não há sistema Cabruca, a cultura seria implantada a pleno sol, com sombreamento apenas na fase inicial. Neste novo sistema de plantio vislumbram-se algumas vantagens, tais como: uso de mecanização agrícola, baixa probabilidade do surgimento de doenças (devido às temperaturas elevadas), facilidade para a secagem da amêndoa, alta produtividade e o manejo da água através da irrigação (LEITE *et al.*, 2012).

O uso da irrigação no Brasil tem-se considerado de grande valia devido a momentos de privação do conteúdo de água no solo através dos períodos de escassez. Com a necessidade do aumento da produção de alimentos, e na falta da

chuva, a irrigação é de extrema importância para suprir a necessidade de água no desenvolvimento das plantações no país (TESTEZLAF *et al.*, 2002).

O conteúdo de água no solo e sua determinação é tema primordial para a produção agrícola, principalmente ao se tratar de cultivo irrigado. Para uma produção irrigada eficiente, é importante que seja feito o manejo adequado, e, conseqüentemente, uma produção apresentando alto desempenho e assim preservando o meio ambiente (PEREIRA *et al.*, 2006).

É notável a utilização da sonda TDR para auxiliar a determinação do conteúdo de água no solo nas pesquisas voltadas ao manejo de irrigação e monitoramento do solo (COELHO *et al.*, 2005). Este equipamento realiza a determinação indireta dos dados, através de pulsos eletromagnéticos, determinando a constante dielétrica aparente do solo ( $k_a$ ) e posteriormente convertidos em conteúdo de água no solo através de modelos matemáticos (OR & WRAITH, 1997).

A perspectiva de avanço da lavoura cacauera fora da zona da mata e, principalmente em regiões semiáridas com potencial de irrigação, levou ao desenvolvimento dessa pesquisa. É necessário entender como a redistribuição de água no solo é influenciada pelo consórcio de duas ou mais culturas, especialmente no cultivo do cacauero.

Neste contexto, o presente trabalho objetiva avaliar a variação do conteúdo de água no solo sob duas condições de cultivo de plantas de cacauero: cacauero em pleno sol solteiro e em consorcio com bananeira e paricá. Observar onde há a maior variação do conteúdo em comparação entre as duas modalidades, e chegar a uma resposta de qual seria a maior viabilidade para técnicos, esperando-se que seja possível inferir qual condição será a mais indicada para a localização do Recôncavo Baiano.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Cultura do cacau**

O Brasil é o sétimo maior produtor de cacau do mundo, correspondendo cerca de 4,6% (FAOSTAT, 2020), e são encontrados tradicionalmente nas regiões Nordeste e Norte do país (ETENE, 2021).

Segundo o IBGE (2022), o total da safra cacaueteira de 2021 das grandes regiões e unidades da federação, obteve a produção de 310.537 t do fruto, gerando o rendimento médio de 520 kg.ha<sup>-1</sup> dentro da área plantada de 617.529 ha.

Nativo da América do Sul e Central, o cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) tem sua origem de florestas pluviais da América, localizada entre as bacias dos rios Orinoco, Amazônia e as Guianas, caracterizando-se como uma planta perene, arbustiva, umbrófila, pertencente à família Malvaceae e a subfamília Sterculiaceae, podendo ser cultivado em diversas altitudes, locais úmidos e em bosques escuros sob proteção de árvores grandes. A espécie pertence ao gênero *Theobroma* está situada dentre as 22 espécies existentes, e a sua importância econômica é devido à exploração comercial do seu fruto em diversas regiões do mundo (SINDONI, 2006; SÁNCHEZ, 2011).

Quando proveniente da semente, o cacaueteiro pode atingir 4 a 6 m de diâmetro de copa e 5 a 8 m de altura, e quando a pleno sol, tem-se a possibilidade de redução de tamanho; seu sistema radicular é classificado como pivotante, podendo alcançar 2 m (SENAR, 2018).

A folha é classificada como peciolada, apresentando dois intumescimentos (um no limbo foliar e outro no caule), nas folhas novas a coloração varia do verde-esbranquiçado ao roxo ou vermelho. Nas folhas mais velhas, sua coloração é verde-escuro, com bordas lisas e o seu tamanho pode variar de acordo com a luz incidida na planta (SILVA NETO *et al.*, 2001; AGUILAR *et al.*, 2016).

A cultura possui um caule ereto e é caracterizada por ser uma espécie cauliflora, isto é, ao longo do caule e ramos são distribuídas as almofadas florais, nas axilas folheares antigas em gemas já desenvolvidas. Hermafroditas, as flores da cultura apresentam um pistilo com ovário que tem cinco lojas, cinco pétalas, cinco sépalas, cinco estames e cinco estaminoides (BRASIL, 2014).

O fruto tem como característica a sua forma ovalada com comprimento de 15 a 20 cm, apresentando a coloração amarela ao atingir a maturidade. A semente possui um pequeno cotilédone, coberta por uma polpa branca adocicada e a coloração da semente é rosada (MARTINI, 2004; BATALHA, 2009; BECKETT, 1994).

As exigências agroclimáticas do cacaueteiro podem ser divididas de acordo com cada estágio de vida no qual a planta se encontra e a disponibilidade de água. Para o favorecimento de uma boa floração e frutificação, a temperatura média é de acima

de 22°C, e para a formação de frutos e abertura das gemas, tem-se 9°C como mínimo e 28°C como a temperatura máxima permitida (SENAR, 2018).

No que diz respeito à quantidade de água disponível para a cultura, o cacaueteiro é exigente em água e as precipitações necessitam ser bem distribuídas durante o ano, promovendo chuvas com média anual de 1.500 mm ao ano, podendo se desenvolver com até 5.000 mm (SENAR, 2018).

Na região sul da Bahia, Brasil, tida como área tradicional de plantio, o cultivo predominante do *Theobroma cacao* é feito em sistema 'Cabruca', que consiste em sombreamento de árvores da Mata Atlântica raleada ou com sombra de outras espécies arbóreas, ou intercultivos com o intuito de explorar novas culturas implantadas (ALMEIDA; VALLE, 2007).

O emprego do consórcio entre culturas vem com o intuito de aproveitar recursos disponíveis pelo ambiente, que vem por diminuir a erosão do solo e o não sucesso da cultura empregada (TREZZI & SILVA, 1992).

Quando em ambiente sombreado, o cacaueteiro sofre de vários fatores ambientais. Pois, além de reduzir a luminosidade, as condições de sombra também aumentam o efeito da velocidade do vento, alterações na temperatura e umidade relativa do ar e conteúdo de água no solo. (DIAS, 2001).

Por década o plantio do cacaueteiro recomendado foi sob a sombra de árvores. Contudo, vários estudos mais recentes têm demonstrado que ocorre crescimento da produção de frutos com o aumento da luminosidade na área de cultivo (ZUIDEMA *et al.*, 2004). Localidades como parte da Costa do Marfim, Malásia, Indonésia e oeste de Gana, encontram-se o cacaueteiro plantado a pleno sol ou pouca sombra (SCHROTH *et al.*, 2004).

A expansão da lavoura cacaueteira em locais cujo clima se difere das tradicionais zonas de cultivo, a exemplo da Cabruca, pode contribuir para redução da importação da amêndoa, aquecendo a economia local e também o aumento da cadeia produtiva dos seus derivados, conseqüentemente gerando novos empregos e renda local. Pesquisas relacionadas ao comportamento do cacaueteiro (para fins agrônômicos) no semiárido brasileiro condicionado a irrigação, apontam resultados positivos no que se refere à adaptação da planta às condições edafoclimáticas (LEITE, *et al.*, 2012).

### 2.1.2. Sistema não tradicional de cultivo

Em regiões não tradicionais voltadas para a produção do cacau, como o semiárido, é preciso que a área seja irrigada. O conhecimento dos termos que estão atrelados às relações hídricas da planta, é de extrema importância que o potencial agrícola da mesma seja estimado (PAMPONET, 2013).

A radiação solar é uma variável climática de grande importância que afeta diretamente no desenvolvimento de espécies vegetais (SOUZA & VÁLIO, 2003; DUZ *et al.*, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2005; WALTER, 2008). Geralmente, as plantas apresentam um potencial de aclimação que difere do menor ao maior grau, às variantes sucedidas em condições diversas de fotoperíodo, umidade relativa do ar e, principalmente, em função da distribuição das chuvas (KITAJIMA, 1994).

As plantas oferecerem respostas adaptativas de funcionamento diante as condições de ambiente através da flexibilização de fenótipos denominado como plasticidade fenotípica (VALLADARES *et al.*, 2006). Quando se trata de possíveis respostas dentro do mesmo genótipo, estas podem ser representadas através do processo de aclimação (CHAMBEL *et al.*, 2005). Cardoso & Lomônaco (2003) afirma que espécies que apresentam maiores graus de plasticidade ligados a características de sobrevivência, exibem vantagens para adaptar-se em ambientes heterogêneos, de transição ou instáveis.

O cacau é muito exigente em água e o seu cultivo, sem irrigação, depende das condições edafoclimáticas locais, são necessários altos índices de temperatura e de umidade relativa do ar para obtenção de produção satisfatória (ALVIM, 1975). Além de precipitação pluviométrica superior a 1800 mm anuais e temperaturas médias mensais de 24 °C, o cultivo de cacau requer, especialmente em regiões semiáridas, irrigação e uma faixa de plantas que funcionem como quebra-vento, pois o vento é fator limitante para o crescimento, produção e qualidade dos frutos, principalmente quando ocorre déficit hídrico (SODRÉ *et al.*, 2012).

Em um contexto de estudo de demanda hídrica do cacau, cultivado em um sistema não convencional, áreas sombreadas apresentam uma atividade fotossintética menor e, conseqüentemente uma redução na produtividade da cultura do cacau devido à redução da intensidade da radiação solar, aumentando a possibilidade do surgimento de doenças e a disputa por área sombreada com outras

plantas presentes e, também por água, luz e nutrientes com os próprios cacauzeiros (BEER *et al.*, 1998; ZUIDEMA *et al.*, 2005). Apesar do alto nível de sombreamento, a baixa produtividade do cacau está atrelada a outros elementos como material genético que apresenta deficiências (clones autoincompatíveis, de baixa produção e com predisposições a doenças), déficit hídrico, solo de baixa fertilidade e ausência de aplicação dos tratamentos culturais.

O excesso do sombreamento é o responsável pelo surgimento de doenças como a vassoura-de-bruxa e a podridão parda (*Phytophthora palmivora*) e promovendo um grande desenvolvimento longitudinal da cultura. Dessa forma tornando-as plantas mais altas, gerando dificuldades no processo de colheita. Por outro lado, traz consigo o benefício da maior disponibilidade da água devido à contribuição de um maior número de árvores presentes no sistema Cabruca (PIASENTIN *et al.*, 2014).

## 2.2. Manejo de irrigação

Na atualidade o manejo de irrigação tem-se demonstrado um recurso importante para agricultura, com relação direta aos aspectos do sistema solo, clima, água e planta; sendo assim, é necessário conhecer os aspectos que auxiliam com base no conhecimento ao irrigar determinada cultura, almejando alta qualidade e produtividade (BISPO *et al.*, 2017).

Quando se trata de indicadores para manejo de irrigação com base na planta, têm-se métodos que auxiliam o irrigante na tomada de decisões em campo como: potencial de água na folha, temperatura foliar e fluxo de seiva, grau de turgescência, resistência estomática, entre outros, e, mesmo sendo considerados métodos promissores, há uma grande ausência de informações específicas (MARTINS *et al.*, 2007).

O uso eficiente da aplicação da água em áreas irrigadas proporciona no aumento da produção, criando metodologias eficazes para as reparações requeridas no sistema solo-água-planta-atmosfera. Para uma maior compreensão deste sistema, necessita que sejam medidos com precisão e de forma isolada os fenômenos de: evapotranspiração, evaporação, extração de água pelas culturas, percolação, armazenamento de água no solo e evaporação (NASCIMENTO, 2017).

Existem três maneiras de manejar a irrigação, são elas: via solo, atmosfera e planta.

Via planta tem-se a possibilidade do monitoramento temperatura foliar (PAZZETI *et al.*, 1933), pela relação entre esgotamento do solo e a temperatura da copa e pelo fluxo de seiva com medições lisimétricas (DELGADO – ROJAS *et al.*, 2007).

Com a via atmosfera, existe o seu monitoramento pelo balanço hídrico e pelo coeficiente do cultivo ( $K_c$ ). O balanço hídrico quantifica a entrada e saída de água no sistema solo e planta e o déficit hídrico para a cultura (CINTRA *et al.*, 2000) e o coeficiente da cultura surge variando conforme as condições climáticas (temperatura, radiação, umidade, etc.) e o estágio e características da cultura (ciclo perene ou anual) (POSSE, 2008). São encontrados facilmente na literatura os coeficientes das culturas de forma isolada, mas dificilmente são encontrados informações de coeficientes em consórcio nas condições de campo (DOOREMBOS & PRUIT, 1975; SBA, 2001).

Já com o manejo via solo, a utilização do balanço de água no solo é uma das alternativas para calcular o consumo da água em diversas culturas. Para realizar este balanço é preciso conhecer a variação do armazenamento da água no solo. Entretanto quantificar este parâmetro é difícil devido à variação do espaço-tempo na extração da água na zona radicular das plantas (SILVA *et al.*, 2015).

A variação de armazenamento de água no solo encontra-se diretamente relacionada com o fluxo vertical de água no solo (sob condições não saturadas), sendo utilizada para determinação do armazenamento a equação de Darcy-Buckingham (JI *et al.*, 2007; SKAGGS *et al.*, 2006). O uso da metodologia no campo apresenta dificuldade a ser aplicada por exigir a utilização da condutividade hidráulica do solo não saturado  $K(\theta)$  na forma exponencial, levando a erros grandes em variações pequenas se tratando em valores de conteúdo de água no solo (MUBARAK *et al.*, 2010; GHIBERTO & MORAES, 2011; SELLE *et al.*, 2011; WILLIS *et al.*, 1997).

Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), são limites superiores e inferiores, com potenciais em -6 a -33 e -1.500 kPa, que representam a água retida no solo e disponível para as plantas. Referem-se como capacidade de campo as condições hídricas, como potencial matricial ( $\Psi_m$ , cc) ou



conteúdo de água ( $\theta_{cc}$ ), onde é desprezível a drenagem (SILVA, 2006; BERNARDO *et al.*, 2006; COELHO *et al.*, 2014).

## **2.3. Monitoramento do conteúdo de água no solo**

### **2.3.1. Conteúdo de água no solo**

Ao implantar o cacau, a área não deve apresentar fator que limite a disponibilidade do conteúdo de água no solo, pois a água é um dos fatores que tem relação direta com o crescimento e produção da cultura (ORCHARD, 1984). O conteúdo de água no solo influencia diretamente na taxa de difusão do oxigênio, taxa do consumo da água, sobre o crescimento do potencial matricial e osmótico cultura e a temperatura (GAVADE, 1969). A presente deficiência de água no solo ocasiona a redução na produção total, influenciando na floração e renovação das folhas (ALVIM, 1977), prejudicando ainda mais a produção do que o pegamento das flores e causando mumificação de jovens frutos que surgem em plantas adultas do cacau (MACHADO & ALVIM, 1981). Recomenda-se o cultivo em regiões com precipitação pluviométrica bem distribuída durante o ano. A média deve ser superior a 1200 mm (AMORIM & VALLE, 1993). Locais onde a precipitação média anual varia cerca de 600 a 800 mm, são necessárias práticas de irrigação para que haja uma produção regular (CARR & LOCKWOOD, 2011).

Define-se como porosidade uma fração volumétrica do solo que venha ser ocupado por água ou ar, local este que é representado como o espaço de circulação da solução do solo (HILLEL, 1970). Os poros e sua distribuição irão caracterizar o solo no que diz respeito ao comportamento físico-hídrico (GUERIF, 1987).

Os diâmetros dos poros distribuídos no solo são de extrema importância para caracterizar o solo, podendo classificar como macroporos, com diâmetro maior que 0,06 mm, e microporos, com diâmetro menor que 0,06 mm (KIEHL, 1979). Enquanto outros autores classificam como diâmetro maior que 0,05 mm os macroporos e menos que 0,05 mm os microporos (RICHARDS, 1965; USDA, 1972).

Para determinar indiretamente a conteúdo de água no solo, uma das alternativas é através do uso de sondas de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) (SANT'ANA *et al.*, 2012), que se caracterizam por seus sensores obterem

rápida resposta por meio de manuseio simples (TOPP *et al.*, 1980; SKIERUCHA *et al.*, 2012). Ao se tratar de métodos indiretos de medição de teor de água, as sondas TDR se sobressaem devido a sua excelente eficiência e vem sendo o mais usado com o intuito da obtenção do conteúdo de água presente no solo (BAZARI *et al.*, 2011; GNATOWSKI, *et al.*, 2018).

### 2.3.2. Sonda TDR

A sonda TDR vem sendo bem utilizada para medir o conteúdo de água no solo, pois é uma determinação em tempo real, direta e não destrutiva, permitindo uma coleta automática (COELHO, *et al.*, 2005). O uso da sonda TDR promove, simultaneamente, a medição e coleta de dados da condutividade elétrica (CE) e do conteúdo de água volumétrica do solo (WRAITH & DAS, 1998).

Muitos tipos de TDR estão disponíveis no mercado e sua maioria necessita de guias que possibilite a transmissão de pulsos eletromagnéticos, ponto onde é determinada a constante dielétrica do solo (OR & WRAITH, 1997).

Os altos custos de importação se tornaram um fator que limita a sua aquisição e uso do equipamento. Muitas guias artesanais vêm sendo confeccionadas ao longo do tempo, que apresentam bons resultados (CONCIANI *et al.*, 1997; SOUZA *et al.*, 2001; COELHO *et al.*, 2001) e muitas delas são utilizadas no Brasil como TDR do tipo analisadores do conteúdo de água no solo, por exemplo, a TDR 100 (Campbell Scientific) que atuam através de multiplexadores de leitura ou leituras diretas, podendo ser eletrônicos ou eletromecânicos (COELHO, *et al.*, 2005). As utilizações desses multiplexadores estão norteadas para serem usados como ferramentas de aumento dos pontos de medição simultânea de conteúdo de água no solo em sistemas de leitura automáticos (BAKER & ALMARRAS, 1990; COELHO & OR, 1996).

Na produção agrícola é de extrema importância determinar o conteúdo de água no solo para realização do manejo adequado de água e principalmente para manejo de sistemas de irrigação; com a lida deste manejo torna-se favorável o melhor desenvolvimento das culturas e conseqüentemente uma maior produção e preservação do meio ambiente (PEREIRA *et al.*, 2006).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental localizada ao fundo da sede do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no município de Cruz das Almas (12° 48' S; 39° 06' O; com altitude de 225 m). De acordo com a classificação de Köppen, e com a modificação de Alvares *et al.* (2013), o clima local é classificado como quente e úmido (Af), não apresentando estações secas definidas. A média da precipitação é de aproximadamente 1.224 mm ao ano, apresentando a média da umidade relativa do ar maior que 82%.

#### 3.2. Informações da área

As mudas de cacau do genótipo CCN 51 foram transplantadas em outubro de 2016, de forma que a avaliação foi feita no seu terceiro ano de cultivo, outubro a novembro de 2019. Inicialmente foram sombreadas com bananeira sendo retirada após sete meses de cultivo, passando para o cultivo a pleno sol, tem como bordadura plantas de paricá (*Schizolobium amazonicum*), e algumas plantas estão sob o seu sombreamento.

O espaçamento de plantio seguiu o arranjo quincôncio, com plantas espaçadas de 2,4 m x 2,4 m x 3,0 m, com o plantio de forma alternada entre as culturas na linha de plantio. A área total do experimento é de 4.868,9 m<sup>2</sup> e o pomar foi formado com aproximadamente 530 plantas de cacau. No entanto, a área estava desuniforme, dado a necessidade de replantio, assim, tinha-se na área plantas com 3 anos e outras de 3 meses de transplantio.

Desde o transplantio, as adubações foram realizadas com base nas recomendações do Centro de Pesquisas do Cacau (CHEPOTE *et al.*, 2005) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura e de acordo com as análises químicas do solo. A irrigação na área foi realizada com microaspersores com capacidade de 35 L/Hora, sendo o manejo realizado a cada três dias baseada na ETo.

### 3.3. Solo

A classificação do solo da área experimental é Latossolo Amarelo Distrocoeso, apresentando textura franco-arenosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SANTOS *et al.*, 2018), Typic Haplustox, a Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAF, 2014) e a WRB/FAO (2015) Ferralsol. Situado na região dos Tabuleiros Costeiros, apresentando como características típicas, horizontes coesos e relevo suave ondulado.

Segundo Batista (2021), o solo da área foi caracterizado quanto a composição granulométrica e a densidade do solo em três profundidades correspondente ao Latossolo Amarelo Distrocoeso, como pode ser visto na Tabela 1. Através da tabela pôde-se observar a variação das frações de acordo com cada profundidade.

**Tabela 1.** Composição granulométrica e densidade do solo para as diferentes profundidades em Latossolo Amarelo Distrocoeso.

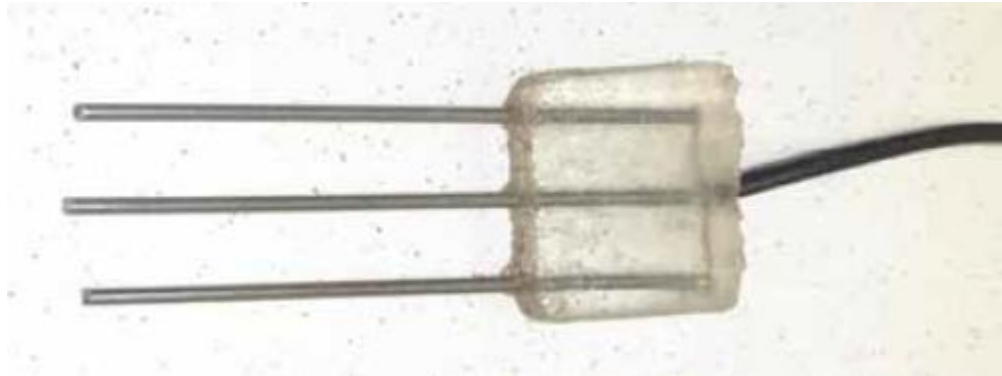
Prof. (m)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	p (g cm <sup>-3</sup> )
0,00-0,20	73,50	2,84	23,66	1,42
0,20-0,40	63,74	6,30	29,96	1,69
0,40-0,60	69,46	2,06	28,48	1,40

Fonte: Batista (2021).

### 3.4. Reflectometria no Domínio do Tempo - TDR

As sondas de TDR foram confeccionadas artesanalmente no laboratório de Instrumentação Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Para sua confecção em formato padrão foram utilizadas três hastes de aço inoxidável com comprimento de 10 cm, Figura 1, com cabos de 180 cm de comprimento e uma camada de resina de poliéster na ponta das hastes (SILVA & COELHO, 2014) 0,15 e 0,10 m, com 0,022 m de espaçamento entre elas, semelhantes com as confeccionadas voltadas para aos equipamentos Trase System ou Tektroniks (COELHO *et al.*, 2001; SOUZA *et al.*, 2001).

Estas foram utilizadas para aquisição dos dados de constante dielétrica do solo, através de um reflectômetro (TDR100 Campbell Scientific). Os valores de constante dielétrica foram transformados em conteúdo volumétrico de água com base na equação de calibração gerada em laboratório por meio da umidade gravimétrica.



**Figura 1.** Sonda Artesanal de TDR.

A guia de onda artesanal tem a funcionalidade e desempenho semelhante quando acopladas diretamente em um equipamento TDR 100. Podem apresentar limitações quando estão acoplados a canais multiplexadores eletromecânicos conectados à TDR 100. Como consequência desta limitação, se fazem necessários ajustes nas sondas artesanais para o uso voltado a TDR 100 (COELHO *et al*, 2005).

### **3.5. Calibração das sondas em laboratório**

A cada planta escolhida, foi aberta uma trincheira ao lado onde se coletou-se três amostras de solo em tubos de PVC, nas profundidades de 0-15 cm, 15-30 cm e 30-45 cm (Figura 2), em seguida as amostras foram destinadas ao laboratório de drenagem do PPGEA - UFRB para a realização da calibração. Nesta mesma trincheira, o solo foi dividido em cinco profundidades: 0-5 cm, 5-15 cm, 15-25 cm, 25-35 cm e 35-45 cm, onde a cada profundidade foi inserida uma sonda TDR artesanal em uma profundidade media do intervalo (Figura 3).



**Figura 2.** Coleta indeformada da amostra de solo em profundidades de 0-15 (A), 15-35 (B), e 35-45 (C) cm.



**Figura 3.** Instalação das sondas TDR em campo em cinco diferentes profundidades.

No laboratório houve o beneficiamento da amostra, extraindo o excesso, nivelando-o e colocando-se um tecido na parte inferior da amostra (com o intuito de evitar perdas de solo).

Coelho *et al.* (2006) recomendaram que estas amostras repousassem numa bandeja com água para que elas ficassem totalmente saturadas durante 48 horas e em cada amostra foi inserida uma sonda, como pode ser visto na Figura 4.



**Figura 4.** Amostras de solo no momento da saturação por água com as sondas TDR inseridas.

Após o término do prazo das 48 horas e a saturação das amostras, descartou-se a água da bandeja e iniciou-se a leitura dos dados. Foram realizadas leituras dos dados da constante dielétrica e do conteúdo de água do solo (com o equipamento da TDR) e a massa (com a balança de precisão analítica). Houve a primeira leitura do conteúdo de água no solo das amostras, realizadas da mesma maneira que é feita no campo. Todas as amostras devem ser aferidas pelo equipamento TDR no espaço de tempo determinado por cada etapa do dia. No dia 06 de Novembro de 2019, às 09h37min deu início a primeira etapa. Inicialmente, esta leitura ocorreu à medida da redução da percolação num intervalo curto de

tempo e posteriormente num intervalo maior. A primeira leitura em 10 minutos; segunda leitura em 30 minutos; terceira leitura em 60 minutos. Todas as amostras devem ser aferidas nos intervalos determinados. Concomitantemente, foram pesadas numa balança de precisão as massas das amostras.

Com a conclusão dessa primeira série de coleta dos dados, elas foram postas a secar ao ar condições. Segundo a recomendação de Coelho, *et al.* (2006), as leituras dos dados de conteúdo de água no solo, realizadas pelos equipamentos, foram concluídas somente quando o nível do conteúdo de água alcançou valores inferiores ao limite da disponibilidade de água.

Durante sete dias foram realizadas somente duas leituras diárias ocorrendo em turnos diferentes, pela manhã e à tarde. A primeira leitura do dia foi realizada às 09h37min da manhã e a segunda às 16h00min da tarde. Após o sétimo dia foi realizado somente uma leitura diária dos dados pelo turno da manhã, totalizando doze leituras. A última leitura realizada foi no dia 19 de Novembro.

Quando os dados de conteúdo de água das amostras apresentaram pouca variação, seguindo a recomendação de Coelho *et al.* (2006), com o término das leituras diárias, as amostras foram colocadas na estufa à 108°C por 24 horas com o intuito de alcançar o peso constante (PS). Após as 24 horas, as amostras foram retiradas da estufa e, com a ajuda da balança de precisão analítica, pesou-se massa da sonda TDR e do solo. Também se mediu a altura do cilindro e a altura do solo ocupada no cilindro. Novamente as amostras foram depositadas na estufa à 108°C por mais 24 horas.

Ao completar às 24 horas na estufa (totalizando às 48 horas recomendadas), as amostras foram retiradas e pesou-se a massa do solo seco com o conjunto (que consiste no cilindro de PVC, tecido e elástico) e a massa do conjunto.

Para a determinação da massa de água presente no solo, foi calculada através da diferença entre a massa de todo o conjunto (sonda, tubo, pano e elástico) e as leituras diárias realizadas na balança (Equação 1). Para realização da leitura do conteúdo volumétrico de água no solo, foi possível através relação do volume do solo para cada recipiente e o volume da água em diferentes pesagens (a densidade da água a ser considerada foi de 1000 kg.m<sup>-3</sup>) (Equação 2).

$$M_a = M_{su} - M_{ss} \quad (1)$$



em que,  $M_a$  é igual a massa de água presente no solo (g),  $M_{su}$  é referente a massa do solo úmida (g) e  $M_{ss}$  (g) é a massa do solo seco.

$$\theta_{vol} = \theta_m \times D \quad (2)$$

onde  $\theta_{vol}$  é igual a umidade em base de volume ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ),  $\theta_m$  refere-se a umidade em base de massa e  $D$  é a densidade.

Após realizar o processo acima citado, os valores obtidos geraram os gráficos e a equação de calibração. Para gerar a equação foi realizado uma relação entre os valores de  $K_a$  (constante dielétrica) e os valores de conteúdo de água no solo coletados durante o processo de secamento do solo para cada amostra. Com os valores da constante dielétrica e do conteúdo de água volumétrica, foram realizados os ajustes necessários e obtiveram-se as equações de modelo polinomial de terceira ordem (Equação 1) e o valor a ser encontrado representa o conteúdo de água em solo em unidade volumétrica ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ).

$$\theta(K_a) = a + b(K_a) + c(K_a)^2 + d(K_a)^3 \quad (3)$$

em que,  $\theta$  é igual ao conteúdo volumétrico de água no solo representado por  $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ,  $K_a$  é referente ao valor da constante dielétrica do solo e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  as constantes calibradas.

Além do modelo polinomial cubico, foram feitos ajuste com os modelos de Topp *et al.* (1980) (Equação 4), Ledieu *et al.* (1986) (Equação 5) para comparação. Os modelos de Topp *et al.*(1980) e Ledieu *et al.* (1986) são baseadas em cálculos onde tem como objetivo estimar teores de água através da função  $\epsilon$ .

$$\theta = -0,053 + 0,0292 \times e - 0,00055 \times e^2 + 0,0000043 \times e^3 \quad (4)$$

$$\theta = 0,1138\sqrt{\epsilon} - 0,1758 \quad (5)$$

### 3.6. Experimento em campo

Os cacauzeiros escolhidos para o experimento apresentam o mesmo porte e estão situados em locais distantes uns dos outros. Dos seis cacauzeiros selecionados três eram da condição a pleno sol solteiro e outros três da condição sombreada em consorcio.

Para determinar o conteúdo de água no solo foi utilizado o aparelho TDR da Campbell Scientific (modelo TDR 100) que este foi conectado ao Datalogger CR1000. Este método baseia-se no princípio da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR).

As leituras das sondas de TDR foram realizadas sempre no mesmo horário, para evitar alterações causadas por variações de temperatura que influenciasses a determinação dos conteúdos hídricos.

A leitura do conteúdo de água do solo era feita uma vez ao dia com a frequência diária. Esta leitura ocorria todos os dias pelo turno da manhã. No momento da leitura. No momento da coleta, o fio da sonda inserida ao solo era conectado ao aparelho TDR, e assim as leituras de dados de conteúdo de água e condutividade dielétrica aparente eram realizadas a cada profundidade.

A partir da estação automática da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, situada nas proximidades do experimento, foram obtidos os dados de velocidade do vento, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, radiação solar global e temperatura. Através dos dados meteorológicos, foi possível estimar a ETo (evapotranspiração de referência) com a utilização da equação de Penman-Monteith modificada (ALLEN *et al.*, 1998) (Equação 2):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900T + 273}{U_2} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (6)$$

Para atender o objetivo do trabalho, foi necessária a realização do cálculo para obtenção de armazenamento de água no solo para as duas condições na qual os cacauzeiros estavam confinados. Na realização deste cálculo, foi necessário utilizar a equação a seguir (Equação 3), que foi resumida como o somatório das conteúdos de água no solo obtido nas sondas multiplicado pela camada de solo efetiva das mesmas (Equação 4).

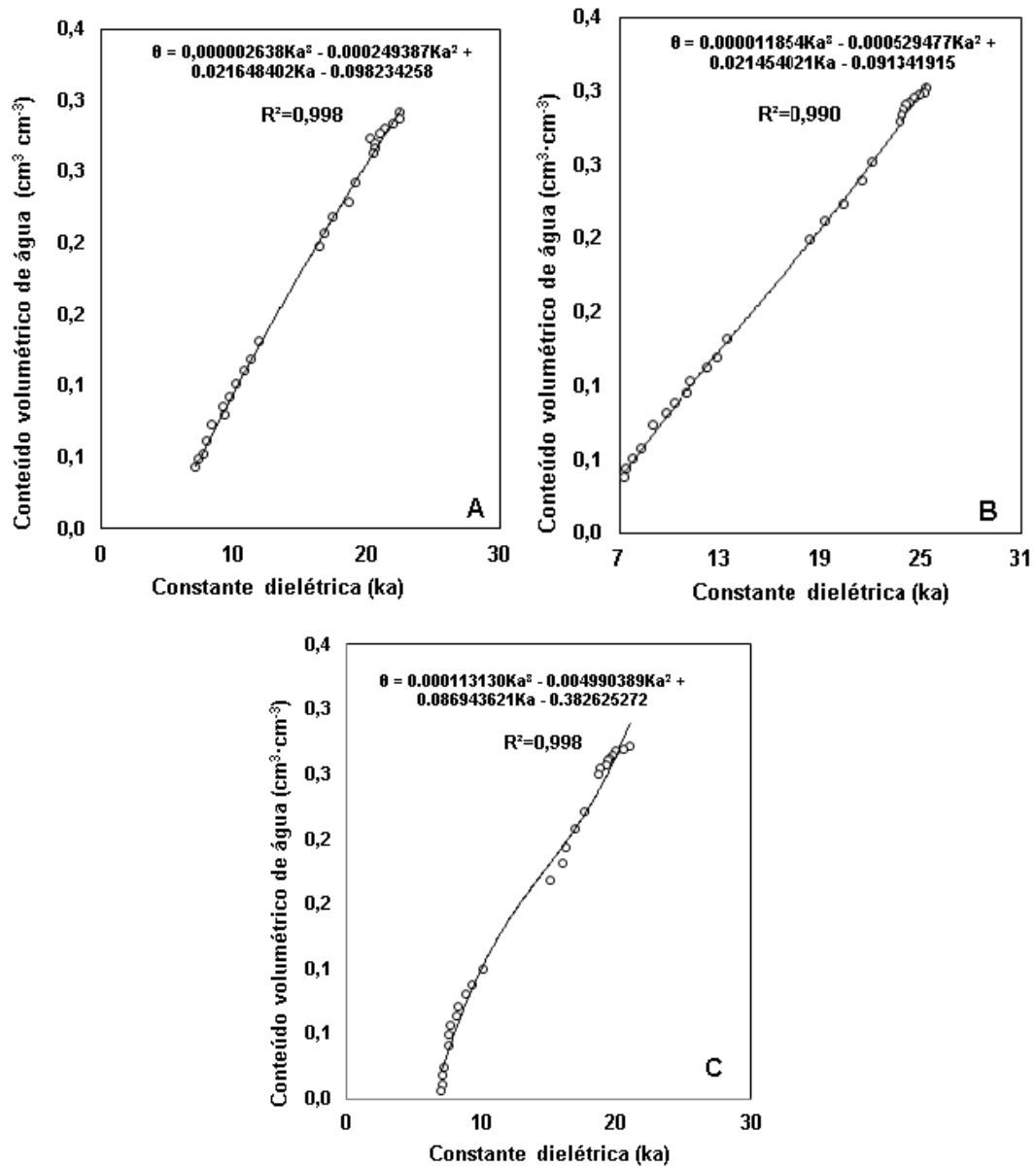
$$A = \sum_{z=0}^{450} (\theta_z \times \Delta Z) \quad (7)$$

em que,  $A$  é o armazenamento de água no solo em mm da camada de 0 a 450 mm,  $\theta_z$  é a umidade na profundidade em  $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$  e  $dZ$  é o intervalo da profundidade do solo em mm.

## **4. RESULTADO E DISCUSSÕES**

### **4.1. Calibração das sondas TDR**

Na Figura 5, foi possível verificar o comportamento do modelo polinomial cúbico, na determinação do conteúdo volumétrico de água em relação a constante dielétrica relativa com o uso de sondas TDR artesanais para as diferentes profundidades de um Latossolo Amarelo Distrocoeso.



**Figura 5.** Curvas de calibração do conteúdo volumétrico de água estimado em função da constante dielétrica com a TDR 100 para as diferentes profundidades: 0-15 (A); 15-30 (B) e 30-45 cm (C).

Comparando os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) nota-se que nas camadas de 0-15 cm (A) e de 30-45 cm (C) obtiveram os maiores valores do coeficiente. As figuras 1a e 1c apresentam valores de 0,9989 e 0,9981 respectivamente, caracterizando nestas profundidades, a maior presença de areia. Na figura 1b nota-se que foi expresso o menor valor de  $R^2$ , isto é possível pela maior presença de argila nesta profundidade. As curvas de calibração presentes possuem o coeficiente de determinação muito próximos ao valor de 1.

Ao estudar calibração do TDR, com intuito de avaliar a conteúdo de água no solo em solos tropicais, Zanetti *et al.* (2015) concluiu que os solos argilosos apresentaram índices estatísticos piores quando comparado aos arenosos. Vaz *et al.* (2013) justifica a afirmativa de acordo com os efeitos mineralógicos da argila, no que diz respeito a partícula e superfície que altera a constante dielétrica.

Com a obtenção dos valores de  $K_a$  e conteúdo de água no solo em base de volume, ambos foram inseridos aos modelos de Topp *et al.* (1980), Ledieu *et al.* (1986) e o cúbico e foram calculados os valores de  $R^2$  e o RMSE para as profundidades de 0-15, 15-30 e 30-45 cm. Os valores gerados através dos três modelos estão apresentados na Tabela 2, onde foi possível realizar a comparação entre os dados gerados de RMSE (raiz do erro médio ao quadrado) e  $R^2$  (coeficiente de determinação).

**Tabela 2.** Valores dos  $R^2$  e RMSE resultantes da aplicação dos modelos de Topp *et al.* (1980), Ledieu *et al.* (1986) e Cúbico para o Latossolo Amarelo Distrocoeso nas profundidades de 0-15, 15-30 e 30-45 cm, realizadas com sondas inseridas ao solo e conectadas ao TDR100.

Prof. (cm)	Modelos					
	Topp <i>et al.</i> (1980)		Ledieu <i>et al.</i> (1986)		Cúbico	
	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE
0-15	0,98922	0,10912	0,99330	0,10199	0,99897	0,00312
15-30	0,98659	0,09315	0,98774	0,08663	0,9876	0,03106
30-45	0,99615	0,08944	0,9972	0,08190	0,99737	0,02688

Referente ao  $R^2$ , o melhor desempenho dos modelos matemáticos apresentados foi o cúbico. Ainda sobre a modelagem cúbica, foi possível observar na profundidade de 15-30 cm valores muito próximos, principalmente entre os

valores de Ledieu *et al.* (1986) e o modelo cúbico, respectivamente, com 0,98774 e 0,9876.

Ao tratar-se dos valores de RMSE, nota-se a diferença expressiva entre os modelos distintos. Sem dúvida os valores correspondentes à equação cúbica são os mais baixos quando comparados aos demais.

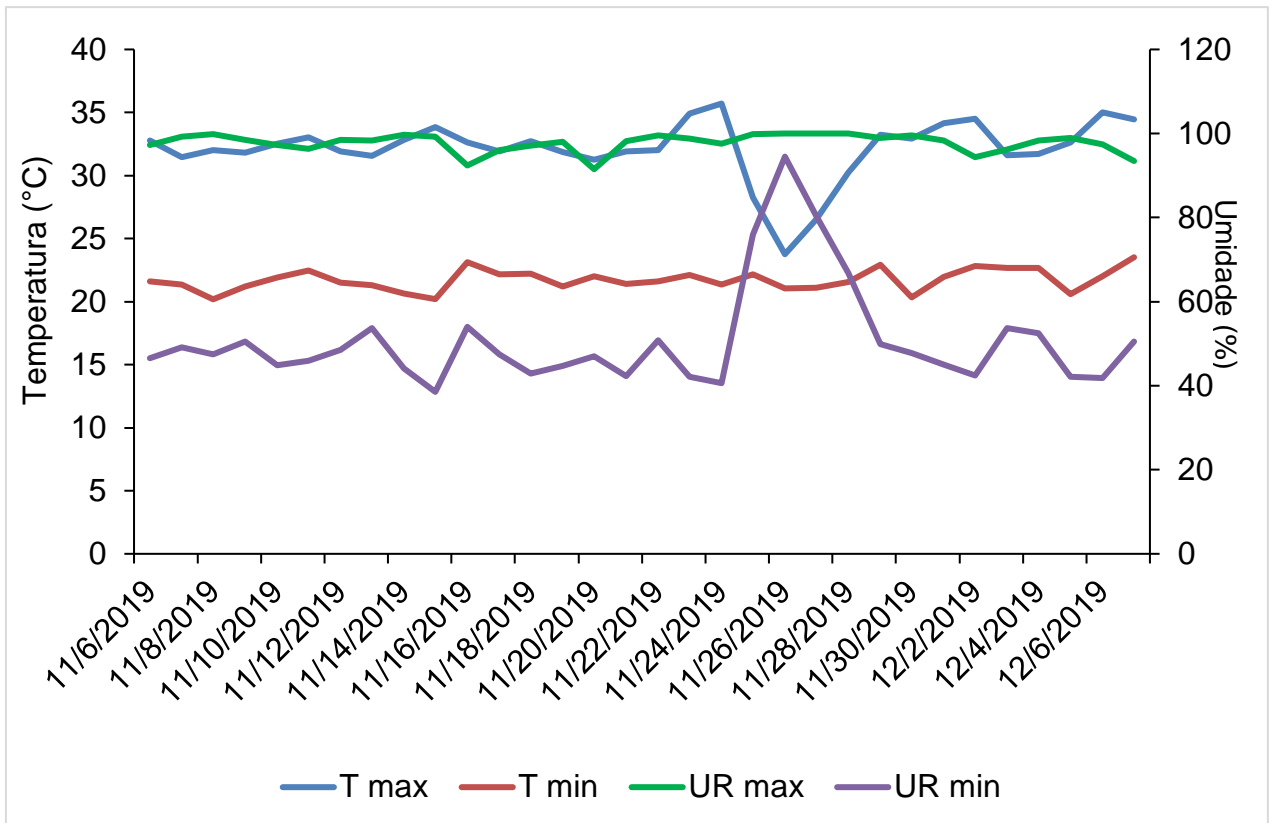
Atribuiu-se à modelagem cúbica os melhores dados, pois justifica-se ser o modelo desenvolvido para o solo em questão. Vale salientar que os modelos de Topp *et al.* (1980) e Ledieu *et al.* (1986) foram criados a partir de dados de diferentes classificações de solos, sendo assim, são considerados modelos universais.

Estudando a calibração das sondas TDR em Latossolo Vermelho-Escuro eutrófico, Neossolo flúvico e Latossolo Amarelo coeso, Coelho *et al.* (2006) observaram o melhor ajuste para equação cúbica ao confrontar com modelos de Topp *et al.* (1980) e Ledieu *et al.* (1986). O mesmo comportamento foi atribuído por Lima (2017) ao analisar Argissolo Amarelo em diferentes profundidades.

Com a equação de calibração obtida, iniciou-se o processo do uso da equação para a transformação dos dados em campo para valores de conteúdo volumétrico de água no solo ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ ).

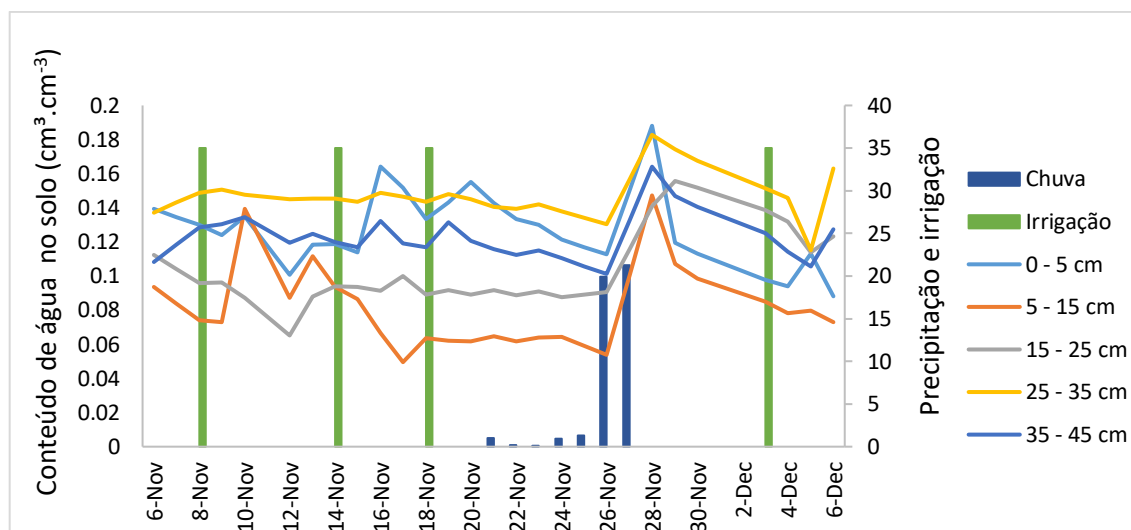
#### **4.2. Armazenamento de água no solo**

Na Figura 6 encontram-se as variações de temperatura e umidade do ar durante o período experimental. A média da temperatura neste período foi da ordem de 25,7°C e a média da umidade relativa do ar foi de 79,9%.



**Figura 6.** Gráfico de temperatura e umidade relativa do ar (máximas e mínimas) no período do experimento.

Nos dias 24/11 e 15/11 foram atingidos os extremos das temperaturas máximas e mínimas, 35,7°C e 20,2°C, respectivamente. Já a umidade relativa do ar atingiu 100% do seu valor, nos dias 26 a 28/11 e a mínima alcançada de 38,5% para o dia 15/11. Conforme a Figura 7 nos dias 26 a 28/11 registrou-se precipitação pluviométrica, caracterizando a saturação do ar, o que é corroborado pelos picos de umidade relativa alcançada.



**Figura 7.** Eventos de precipitação, irrigação e conteúdo de água no solo do solo no período experimental com a cultura do cacau consorciados com bananeira e paricá.

Com base na Figura 7, as sondas TDR, apresentaram boas respostas aos eventos de irrigações e precipitação.

Nas profundidades de 0-5 e de 5-15 cm foram atingidos altos valores e posteriormente o rápido decréscimo, isto se justifica pela localização da camada que está mais próxima da superfície e como consequência receberam a maior quantidade de água, por outro lado, essas camadas sofrem forte influência da demanda atmosférica. Além disso, a constituição granulométrica dessas camadas, apresentam areia em maior percentagem. Solos que apresentam em sua constituição uma maior fração de areia logo tem-se como característica a maior presença de macroporos e menor de microporos, ocasionando a menor retenção da conteúdo de água no solo.

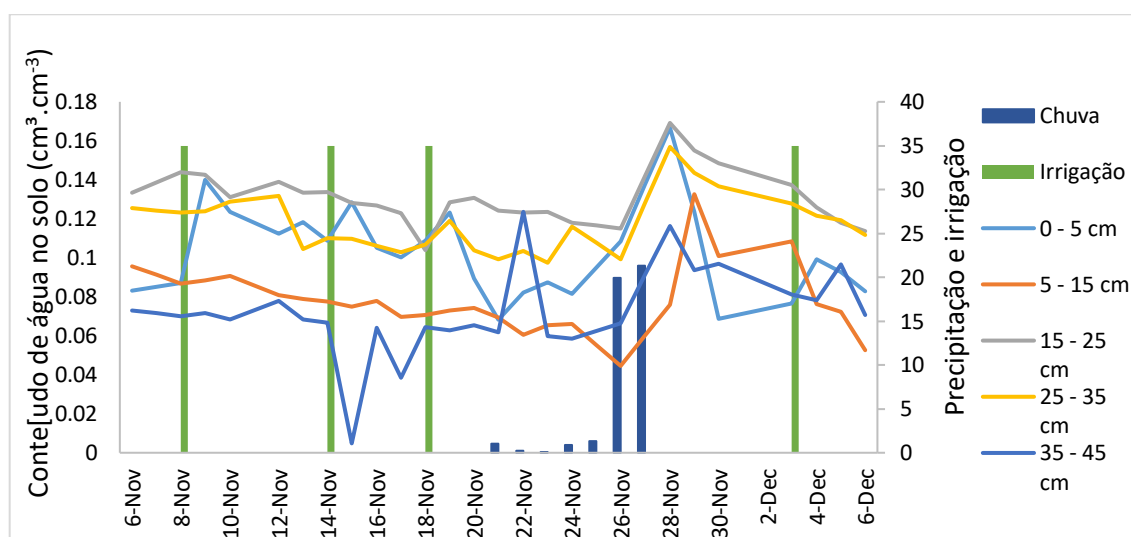
Os valores de conteúdo de água no solo das camadas de 15-25 e 25-35 cm mantiveram-se mais estáveis, pois receberam as frentes de umedecimento mais tardiamente, ocasionando menores acréscimos e ou decréscimos de seus valores. Estas variações ocorrem de forma mais lenta quando comparados às profundidades de 0-5 e 5-15 cm. Isto se deve, pelo aumento do percentual de argila presente na camada (Tabela 1) e a menor exposição à atmosfera.

Nas profundidades de 35-45 cm observa-se à transição entre camadas, conforme Tabela 1 (0,20-0,40 e 0,40-0,60 m), é possível verificar claramente a mudança da composição granulométrica. Nessas camadas, observa-se a mudança



com o aumento da porcentagem de areia e a diminuição da porcentagem de argila, e a presença de um adensamento característicos dos latossolos dos tabuleiros costeiros, com pequenas variações da conteúdo de água no solo nessas camadas.

Com a ocorrência de elevadas precipitações, observou-se imediata elevação dos valores de conteúdo de água no solo em todas as camadas. A ocorrência deste fenômeno foi datada em 26 e 27/11 e a alta conteúdo de água no solo foi mantida até o dia 28/11. A partir do dia 29/11 é possível observar uma redução progressiva diminuição da conteúdo de água no solo.



**Figura 8.** Eventos de precipitação, irrigação e conteúdo de água no solo em período no experimental com a cultura do cacau a pleno sol solteiro.

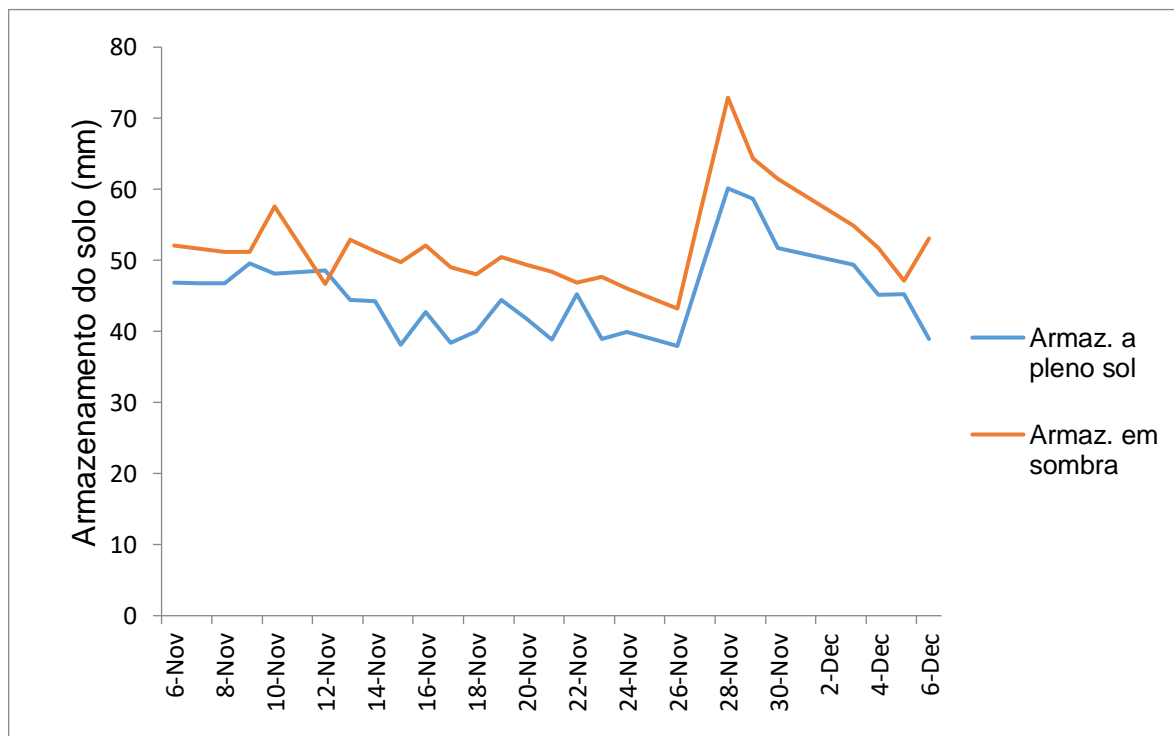
De acordo com a Figura 8, é possível observar a elevação do conteúdo de água na profundidade de 0-5 cm com posterior decréscimo, e o mesmo observa-se na área consorciada (sombreada). Esse comportamento é justificado por meio da constituição granulométrica da camada, expressando o maior percentual da fração arenosa, o que via de regra, possibilita a rápida perda de conteúdo de água no solo devido a maior presença de macroporos.

Já na profundidade de 5-15 cm, verificou-se uma tendência de conteúdo de água no solo em sua maioria constantes, com crescimento após as precipitações nos dias 26 e 27/11, onde o conteúdo de água no solo se mantém na camada estável até o dia 29/11 e posterior declínio.

Comparando as Figuras 7 e 8, as profundidades de 15-25 e de 25-35 cm apresentaram tendências semelhantes, quanto às variações de conteúdo de água no solo, podendo este comportamento estar associado à presença do maior percentual de argila e a maior retenção de conteúdo de água no solo, devido a um maior percentual de microporos e da presença de colóides minerais.

Comparando-se as condições (pleno sol e sombra), em profundidades de 15-25 e de 25-35 cm, os dados de conteúdo de água no solo são considerados constantes, com um lento decréscimo quando comparado às profundidades de 0-5 e de 5-15 cm. Vale salientar que tanto no cacaueteiro solteiro a pleno sol quanto em consócio, verificaram-se os maiores valores de conteúdo de água no solo no dia 28/11, com uma lenta redução de conteúdo de água no solo.

É possível verificar também, o mesmo comportamento na camada de 35-45 cm, com maior conteúdo de água no solo no dia 28/11, devido às precipitações ocorridas. No dia posterior, observou-se um decréscimo acentuado, provavelmente, associado às características do solo nesta profundidade.



**Figura 9.** Gráfico com dados de armazenamento do solo em milímetros em cacaueteiros em condições de sombra e a pleno sol no período experimental.

Ao realizar a comparação do armazenamento de água no solo das duas áreas (Figura 9), é possível observar que o solo das plantas em pleno sol mantém um armazenamento inferior ao da área sombreada, como também, uma maior variação do armazenamento. Tal ocorrência deve estar associada a uma maior exposição do solo e das plantas a radiação solar, bem como ao maior espaçamento entre plantas.

No cacaueteiro consorciado, com maior sombreamento, verificou-se um maior armazenamento de água, condição essa proporcionada pelo consórcio, que além de proporcionar sombra, igualmente oferece proteção contra os ventos. Essa cobertura vegetal deu-se por meio da deposição de restos vegetais das três culturas presentes na área, que formaram a serapilheira, que possibilitou uma maior retenção da conteúdo de água no solo.

## 5. CONCLUSÃO

As sondas TDR funcionaram adequadamente, entretanto, necessitam de calibração local.

O modelo polinomial cúbico foi o que apresentou os melhores ajustes quando comparados aos modelos de Topp *et al.* (1980) e Ledieu *et al.* (1986).

Os cacauzeiros em condição de sombra, proporcionada pelo consórcio, apresentou um maior armazenamento de água no solo quando comparado às plantas na condição de pleno sol.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, M. A. G.; SOUZA, C. A. S.; DIAS, L. A. S.; MARINATO, C. S. Botânica e Morfologia. In: SOUZA, C. A. S.; DIAS, L. A. S.; AGUILAR, M. A. G.; BORÉM, A. (Eds.) **Cacau: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 11-122, 2016.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56)**, p. 300, 1998.

ALMEIDA, A. A. F.; VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 425-448, 2007.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

Alvim, P. de T. (1975). A new dendrometer for monitoring cambium activity and changes in the internal water status of plants. *Turrialba* 25, 445-447.

ALVIM, P. de T. 1977. Cacao. In: *Ecophysiology of Tropical Crops*. Ed. P. de T. Alvim & T. T. Kozlowski. **Academic Press**, Inc. 279-310 pp.

AMORIM, S. M. C.; VALLE, R. R. Absorção e resistência ao movimento da água no cacauzeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, p.907-913, 1993.

BAKER, J. M.; ALLMARRAS, R. R. System for automating and multiplexing soil moisture measurement by Time Domain Reflectometry. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 54, p. 1-6, 1990.

BATALHA, P. G. **Caracterização do cacau catongo de São Tomé e Príncipe**. 2009. 10f. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos – Tecnologia de Produtos

vegetais) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal, 2009. 10f.

BATISTA, L. DOS. **Processos hidrodinâmicos no solo como preditores da eficiência de aplicação da água no cultivo da soja irrigada.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos) – Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Brasil, p. 69. 2021. 105f.

BECKETT, S. T. **Fabricación y utilización industrial del chocolate.** Zaragoza: Editora Acribica, p. 432, 1994.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; SOMARRIBA, E.; KASS, D. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v. 38, p.139-164, 1998.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** Editora UFV, Viçosa, ed. 8, p. 611, 2006.

BISPO, R. C.; FLORES, D. S.; SANTOS, V. N. H. B.; VENTURA, K. M.; QUEIROZ, S. O. P. Manejo de irrigação para cultivo de pimentão em ambiente protegido, **IV INOVAGRI International Meeting**, Botucatu, SP. 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/320116065\\_MANEJO\\_DE\\_IRRIGACAO\\_PARA\\_CULTIVO\\_DE\\_PIMENTAO\\_EM\\_AMBIENTE\\_PROTEGIDO](https://www.researchgate.net/publication/320116065_MANEJO_DE_IRRIGACAO_PARA_CULTIVO_DE_PIMENTAO_EM_AMBIENTE_PROTEGIDO)>. Acesso em: 09 ago. 2022.

BRASIL. Implantação do cacauero em sistemas agroflorestais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira.** Brasília: MAPA/ACS, p. 76, 2014.

CARDOSO, G.L. e LOMÔNACO, C. Variações fenotípicas de potencial plástico de *Eugenia calycina* Cambess. (Myrtaceae) em uma área de transpiração cerrado-vereda. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, 2003.

CARR, M. K. V.; LOCKWOODTHE, G. Water relations and irrigation requirements of cocoa (theobroma cacao l.): a review. **Experimental Agriculture. Bedford**, v.47, n.4, p.653–676, maio, 2011.

CHAMBEL, M. R.; CLIMENT, J.; VALLADARES, F. Phenotypic plasticity a useful framework for understanding adaptation in forest species. **Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales**, v. 14, n. 3, p. 334-344, 2005.

CHEPOTE, R. E. et al. 2005. **Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no Sul da Bahia - 2ª aproximação**. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. 36p.

CINTRA, F. D. L.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxerto de citros em ecossistemas de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 23-28, 2000.

COELHO, E. F.; ANDRADE, C. L. T.; OR, D.; LOPES, L. C.; SOUZA, C. F. Desempenho de diferentes guias de ondas para uso com o analisador de umidade Trase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 81-87. 2001.

COELHO, E. F.; OR, D. A parametric model for two-dimensional water uptake by com roots under drip irrigation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, n. 4, p. 1039-1049. 1996.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A. Sonda TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, DEAg, UFCG, v. 9, n. 4, p. 475, 476, 2005.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; LEDO, C. A. S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 23-30, 2006.

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; BEZERRA NETO, E.; SOUZA, E. R. Ponto de murcha permanente fisiológico e potencial osmótico de feijão caupi cultivado em solos salinos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 708-713, 2014.

CONCIANI, W.; CARNEIRO, B. J.; SOARES, M. M.; HERMANN, P. S. P.; CRESTANA, S. Emprego de TDR com sondas multi-hastes segmentadas para medida de umidade de um perfil de solo. In: **Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária**, 1, 1997, São Carlos, Anais... São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, p. 169-173, 1997.

DANTAS, R. T.; RAO, T. V. R. Monitoramento de deficiência hídrica na cultura do milho com termômetro infravermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, p. 1743-1749, 1994.

DELGADO-ROJAS, J.S.; ANGELOCCI, L. R.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO FILHO, M. A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de Lima Ácida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.

DIAS, L. A. S. **Melhoramento genético do cacaueteiro**. Viçosa, MG, FUNAPE, UFG, 501 p. 2001.

DOORENBOS, J. ;, PRUITT, W. Crop water requirement. Rome: Food Agriculture Organization. FAO, 179p. 1975. (Irrigation and drainage paper, 45).

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage, 33).

DUZ, S. R.; SIMINSKI, A.; SANTOS, M.; PAULILO, M. T. S. Crescimento inicial de três espécies de arbóreas da Floresta Atlântica em resposta a variação na quantidade de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 3, p. 587-596, 2004.



ETENE – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. Produção de cacau. **Caderno Setorial ETENE**. Ano 6, n. 149, jan. 2021. Disponível em: <[https://www.bnb.gov.br/s482dspace/bitstream/123456789/650/3/2021\\_CDS\\_149.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482dspace/bitstream/123456789/650/3/2021_CDS_149.pdf)> Acesso em: 15 ago. 2022.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Data Production and Trade. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/>>. Acesso em: 31 dez. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome, 2015. 192p.

GAVADE, S. A. Influence of soil moisture regimes on oxygen diffusion and water use by cacao. In **Conferencia Internacional de Pesquisa em Cacau, 2º**. Salvador, BA. Anais. Salvador, BA, CEPLAC. p. 431-435, 1969.

GHIBERTO, P. J.; MORAES, S. O. Comparação de métodos de determinação da condutividade hidráulica em um Latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1177-1188, 2011.

GONÇALVES, J. F. C.; BARRETO, D. C. S.; SANTOS Jr., U. M.; FERNANDES, A. V.; SAMPAIO, P. T. B.; BUCKERIDGE, M. S.; Growth, photosynthesis and stress indicators in Young rosewood plants (*Aniba rosaeodora* Ducke) under different light intensities. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, p. 325-334, 2005.

GUERIF, J. L'analyse de la porosité: Application à l'étude du compactage des sols. In: MONIER, G. & GROSS, M. J., eds. Soil compaction and regeneration. Rotterdam, CEE, p. 122-131, 1987.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L) à seca. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.1, p. 70-75, jan./mar. 2006.

GUIMARÃES, M. J. M. et al. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Ciências Agrárias** (Belém), v. 59, p. 252-258, 2016.

HILLEL, D. Introduction to environmental soil physics. Academic press, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Julho, 2022. Disponível em:

<[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag\\_2022\\_jul.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2022_jul.pdf)>

Acesso em: 13 ago. 2022.

JI, X.B.; KANG, E. S.; CHEN, R. S.; ZHAO, W. Z.; ZHANG, Z. H.; JIN, B. W. A. Mathematical model for simulating water balances in cropped sandy soil with conventional flood irrigation applied. **Agricultural Water Management.** v. 87, n. 3, p. 337-346, 2007.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia. Relações solo-planta.** São Paulo, Ceres, 262p, 1979.

KITAJIMA, K. Relative importance of photosynthetic traits and allocation patterns as correlates of seedling shade tolerance of 13 tropical trees. **Oecologia**, v. 98, p. 419-428, 1994.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, p. 259-263, 2006.

LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P. & DAUTREBANDE, S. A method for measuring soil water moisture by time-domain reflectometry. **J. Hydrol.**, 88:319-328, 1986.

LEITE, J. B. V.; FONSECA, E. V.; SODRÉ, G. A.; VALLE, R. R.; NASCIMENTO, M. N.; MARROCOS, P. C. L. Comportamento produtivo de cacau no semi-árido do Brasil. **Agrotropica**, v. 24 (2), p. 85-90, 2012.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 329 p, 2005.

LIMA, J. G. A. **Evapotranspiração de pastagem degradada de capim braquiária na região de Cruz das Almas, Bahia**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos) – Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Brasil, p. 6-16, 2017. 130f.

LOBO, F. D. A.; OLIVIA, M. A.; RESENDE, M.; LOPES, N. F.; MAESTRI, M. Infrared thermometry to schedule irrigation of common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 113-121, 2004.

LUZ, E. D. M. N., SOUZA, J. T., OLIVEIRA, M. L.; ALBUQUERQUE, P. S. B. Vassoura de bruxa do cacauero: novos enfoques sobre uma velha doença. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. v. 14, p. 59-111, 2006.

MACHADO, R. C. R. & ALVIM, P. DE T. 1981. Efeito da deficiência hídrica do solo sobre a renovação de folhas, floração e estado de água no cacauero. **Revista Theobroma**, v. 11, n. 3, p. 183-191.

MARTINI, M. H. Caracterização das sementes de seis espécies de *Theobroma* em relação ao *Theobroma cacao* L. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2004.

MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. DOS. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*coffea arábica* L.). **Bioscience Journal**. v. 23, n. 2, p. 61-69, Abril/Junho 2007.

MUBARAK, I.; ANGULO-JARMILLO, R.; MAILHOL, J. C.; RUELLE, P.; KHALEDIAN, M. & VAUCLIN, M. Spatial analysis of soil surface hydraulic properties: Is infiltration method dependente?. **Agricultural Water Management**. v. 97, n. 10, p. 1517-1526, 2010.

NASCIMENTO, F. A. L. Hidrodinâmica tridimensional na zona radicular do meloeiro em condições semiáridas. 59f. Tese (Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos) – Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, p. 9. 2017.

OR, D.; WRAITH, J. M. Agricultural and environmental soil physics. Utah State University. Logan. Utah State University, p. 218, 1997.

ORCHARD, J. The effect of the dry season on the water status of T. cacao in Ecuador. In: **INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE**, 9, 1982, Lomé. Proceedings... Lagos: Cocoa Producers Alliance, p.103-9, 1984.

PAMPONET, B. M. Relações físico-hídricas em um perfil de cambissolo com cacaueteiro não sombreado no semiárido da Bahia. 82f. Tese (Mestrado em Ciências Agrárias) – Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, p. 2. 2013.

PAZZETI, G. A.; OLIVA, M. A.; LOPES, N. F. Aplicação da termometria ao infravermelho à irrigação do feijoeiro: crescimento e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, p. 1371-1377, 1993.

PEREIRA, J. L. A., ALMEIDA, L. C. C.; SANTOS, S. M. Witches' broom disease of cocoa in Bahia: Attempts at eradication and containment. *Crop Protection*, v. 15, p; 743-752, 1996.

PEREIRA, S.; OLIVEIRA FILHO, D.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M.; MARTINS, J. H. Reflectometria no domínio do tempo na determinação do conteúdo de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 306-314, 2006.

PIASENTIN, F. B.; SAITO, C. H. Os diferentes métodos de cultivo de cacau no sudeste da Bahia, Brasil: aspectos históricos e percepções. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 9, n. 1, p. 61-78, jan-abril. 2014.

PIASENTIN, F. B.; SAITO, C. H.; SAMBUICHI, R. H. R. Preferências locais quanto às árvores do sistema cacau-cabruca no sudoeste da Bahia. **Ambiente & Sociedade**. v. 17, n. 3, p. 59, jul.-set. 2014.

POSSE, R. P. **Determinação dos coeficientes da cultura (KC), de produtividade (KY), da área foliar e efeito da lâmina de irrigação, do turno de rega e da adubação potássica na produtividade do mamoeiro nas regiões norte e nordeste fluminense**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal – Centro de Ciências Agrárias e Tecnológicas Agropecuárias), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, p. 2. 2008. 182-197f.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK C. A., ed. *Methods of soil analysis*. Part. 1. Madison, American Society for Testing and Materials, p. 770, 1965. (Agronomy 9).

SÁNCHEZ, S. E. M. **Cacau e graviola: Descrição e danos das principais pragas-de-insetos**. EDITUS: Ilhéus, 147 p, 2011.

SANTOS, H. G. DOS. *et al.* (Ed.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Ed. 5. Ver. Ampl. Brasília, DF: Embrapa, p. 353, 2018.

SCHROTH, Goetz; FONSECA, Gustavo A. B.; HARVEY, Celia A.; GASCON, Claude; VASCONCELOS, Heraldo L.; IZAC, Anne Marie N. (Eds.). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Washington: Island Press, 2004.

SELLE, B.; MINASNY, B.; BETHUNE, M.; THAYALAKUMARAN, T.; SUBHASH, C. Applicability of Richards' equation models to predict deep percolation under surface irrigation. **Geoderma**, v. 160, n. 3, p. 569-578, 2011.

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. *Cacau: produção, manejo e colheita*. **Serviço Nacional de Aprendizagem Rural**, Brasília: Senar, p. 19. 2018.

SILVA NETO, P. J.; MATOS, P. G. G.; MARTINS, A. C. S.; SILVA, A. P. Sistema de produção de cacau para a Amazônia Brasileira. **Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira**. Belém, PA, p. 125, 2001.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M.A. Water extraction in banana root zone affects the reliability of water balance, **Scientia Agricola**, v. 72, n. 1, p. 1-10, 2015.

SILVA, A. P. **Física do Solo**. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, p. 109, 2006.

SILVA, G. S. DA. **Demanda hídrica de cacau irrigado e conduzido a pleno sol em tabuleiro costeiro do recôncavo da Bahia**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola - Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos) – Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, p. 82. 2020. 106f.

SINDONI, N. R. **Beneficiodel cacao** (*Theobroma cacao* L.). Venezuela: Facultad de Agronomía de La Universidad Central de Venezuela. Caracas, 2006. 32p.

SKAGGS, T. H.; SHOUSE, P. J. ; POSS, J. A. Irrigating forage crops with saline waters. **Vadose Zone Journal**, v. 5, n. 3, p. 815-823, 2006.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE AGROMETEOROLOGIA. Zoneamento agrícola. Número especial. .9(3):377588. 2001.

SOIL SURVEY STAFF. Keys to Soil Taxonomy. Ed. 12. USDA – Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. p. 372. 2014.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Experiência de laboratório de hidráulica, irrigação e drenagem da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP no uso de técnica da TDR. In: MATSURA, E. E.; JAVAREZ JUNIOR, A.; GOMES, E. P.; SOUZA, C. F. (eds.). Aplicações técnicas de TDR na agricultura. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, p. 147-176, 2001

SOUZA, R. P.; VÁLIO, I. F. M. Seedling growth of fifteen Brazilian tropical tree species differing in successional status. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 1, p. 35-47, 2003.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio. ABIMAQ/CSEI/UNICAMP. Campinas, 2002.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L. & ANNAN, A. Electromagnetic determination of soil water content: Measurement in co-axial transmission lines. **Water Res. Res**, 16:576-583, 1980.

TREZZI, M. M., SILVA, P.R. F. da. Sistemas de cultivo de milho em consócio de substituição e em sucessão a girassol. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 1992, Porto Alegre, RS. Resumos ... Porto Alegre, SEAGRI-RS, p. 112. 175, 1992.

VALLADARES, F.; SANCHES-GOMEZ, D.; ZAVALA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 1103-1116, 2006.

VAZ, C. M. P.; JONES, S., MEDING, M.; TULLER, M. Evaluation of standard calibration functions for eight electromagnetic soil moisture sensors. **Vadose Zone Journal**, v. 12, p. 1-16, 2013.

WALTER, A. Plant Growth Dynamics: Analysis of Basic and Temporal Growth Patterns on the Background of Photosynthetic Energy Gain and Interactions with the Environment. **Plant Cell Monographs**, v. 10, p. 63-88, 2008.

WILLIS, T. M.; SCOTT BLACK, A.; MEYER, S. W. Estimates of deep percolation beneath cotton in the Macquarie Valley. **Irrigation Science**. v. 17, n. 4, p. 141-150, 1997.

WRAITH, J.; DAS, B. S. Monitoring soil water and ionic solute distributions using time domain reflectometry. **Soil and Tillage Research**, Watkinsville, v. 47, p. 145-150, 1998.

ZANETTI, S. S.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, V. H.; ALVES, E. G. General calibration of TDR to assess the moisture of tropical soils using artificial neural networks. **Journal of Hydrology**, v. 530, p. 657-666, 2015.

ZUIDEMA, P. A. et al. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. **Agricultural Systems**, p. 195-225, 2004.

ZUIDEMA, P. A. et al. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao* L.): model presentation, validation and application. **Agricultural Systems** 84: 195-225, 2005.