



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Thomaz da Silva Felisberto**

**EFEITO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR SOBRE A  
CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM DIFERENTES SOLOS.**

JUAZEIRO - BA  
2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Thomaz da Silva Felisberto

**EFEITO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR SOBRE A  
CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM DIFERENTES SOLOS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, como requisito da obtenção de título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Pedro R. F. Medeiros.  
Co-orientador: Dr. Miguel J. M. Guimarães.

JUAZEIRO – BA  
2020

Felisberto, Thomaz da Silva.  
F315e Efeito de resíduos da agroindústria de cana-de-açúcar sobre a capacidade de retenção de água em diferentes solos / Thomaz da Silva Felisberto. – Juazeiro - BA, 2020.

x, 44 f.: il.; 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus, Juazeiro-BA, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Pedro R. F. Medeiros.

1. Solo. 2. Armazenamento de água no solo. 3. Agroindustriais - Resíduos. I. Título. II. Medeiros, Pedro Robson Fernandes. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.4

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

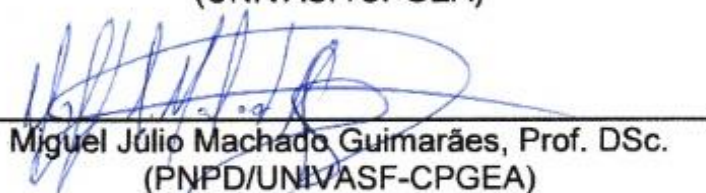
Thomaz da Silva Felisberto

**EFEITO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR SOBRE A  
CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA EM DIFERENTES SOLOS.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.



Pedro Robinson Fernandes de Medeiros, Prof. DSc.  
(UNIVASF/CPGEA)



Miguel Júlio Machado Guimarães, Prof. DSc.  
(PNPD/UNIVASF-CPGEA)



Welson Lima Simões, DSc.  
(Embrapa Semiárido)

Juazeiro, 09 de setembro de 2020

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal do Vale do São Francisco;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola;

A Embrapa Semi-Árido;

A toda a Minha Família em especial a minha esposa Damiana Oliveira por todo apoio;

A empresa Agrovale em especial a Daniel Lima e Deninho Acioli por todo apoio prestado na execução do experimento.

FELISBERTO, T. S. Efeito de resíduos da agroindústria de cana-de-açúcar sobre a capacidade de retenção de água em diferentes solos. 2020.44p Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro-BA.

## RESUMO

O uso inadequado dos solos e dos recursos hídricos pela agricultura pode alterar a estrutura física do solo e comprometer todo ecossistema produtivo, levando à degradação e esgotamento dos solos agricultáveis, além de gerar perdas de produtividade, nutrientes e água. A capacidade do solo em reter água é função de vários parâmetros bem conhecidos pela física do solo, com por exemplo, densidade do solo e de partículas, porosidade, capilaridade, etc. Aspecto importante a ser relatado é que existe alguns materiais utilizados na agricultura que podem modificar estes parâmetros, que na maioria dos casos para melhor (aumentando a capacidade de retenção de água no solo) como é o caso da matéria orgânica. A presente pesquisa teve como objetivo estudar a dinâmica da água no solo em relação ao seu movimento (perdas por depleção) e a sua capacidade de retenção, para o Cambissolo, Planossolo e Vertissolo, sob condições não saturadas presentes na Região Integrada de Desenvolvimento Econômico do Vale do São Francisco. O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação da UNIVASF Campus Juazeiro/BA, utilizando minilímetros para determinação da variação de umidade dos respectivos solos expostos ao ar. Os tratamentos foram compostos pela aplicação de duas fontes de matéria orgânica (Composto de resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar e Bagaço de Cana-de-açúcar) incorporados ao solo em quatro doses diferentes (15, 20, 25 e 30 ton/ha). O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado - DIC com três repetições. Os resultados permitiram concluir que os minilímetros foram eficientes em relação ao monitoramento da umidade dos solos condicionados em vasos e incorporados os compostos orgânicos. Em relação as matérias orgânicas utilizadas, o composto de resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar foi mais eficiente na melhoria da capacidade de retenção de água nos solos Planossolo e Cambissolo. O bagaço de cana-de-açúcar não apresentou bons resultados devido principalmente a sua granulometria, porém no vertissolo o mesmo se equiparou ao composto.

**Palavras-Chave:** umidade do solo, compostos orgânicos, Cambissolo, Planossolo, vertissolo.

FELISBERTO, T. S. Effect of residues from the sugar cane agribusiness on the water retention capacity in different soils. 2020.44p Dissertation (Master in Agricultural Engineering). Federal University of the São Francisco Valley. Juazeiro-BA.

## ABSTRACT

The inadequate use of soils and water resources by agriculture can alter the physical structure of the soil and compromise the entire productive ecosystem, leading to the degradation and depletion of agricultural land, in addition to generating losses in productivity, nutrients and water. The soil's ability to retain water is a function of several parameters well known to soil physics, such as soil and particle density, porosity, capillarity, etc. An important aspect to be reported is that there are some materials used in agriculture that can modify these parameters, which in most cases for the better (increasing the water retention capacity in the soil) as is the case with organic matter. This research aimed to study the dynamics of water in the soil in relation to its movement (depletion losses) and its retention capacity, for Cambisol, Planossolo and Vertisol, under unsaturated conditions present in the Integrated Economic Development Region of the São Francisco Valley. The experiment was carried out at the Irrigation Laboratory of the UNIVASF Campus Juazeiro / BA, using mini-meters to determine the humidity variation of the respective soils exposed to air. The treatments consisted of the application of two sources of organic matter (Compound of agro-industrial residues from sugar cane and sugarcane bagasse) incorporated into the soil in four different doses (15, 20, 25 and 30 ton/ha). The experiment was conducted in a completely randomized design - DIC with three replications. The results allowed us to conclude that the mini meters were efficient in terms of monitoring the humidity of the conditioned soil in pots and incorporating the organic compounds. Regarding the organic materials used, the compound of agro-industrial residues from sugar cane was more effective in improving the water retention capacity in the Planossolo and Cambisol soils. The sugarcane bagasse did not present good results due mainly to its granulometry, however in the vertisol it was equivalent to the compost.

**Keywords:** soil moisture, organic compounds, Cambissolo, Planossolo, vertissolo.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Pag.
Figura 1. Máxima retenção de água no CAMBISSOLO em função do tipo de matéria orgânica e dose (t ha <sup>-1</sup> )	32



## LISTA DE TABELAS

TABELAS	Pag.
Tabela1. Caracterização físico-hídrica dos solos	28
Tabela 2. Caracterização Física dos Materiais Orgânicos	28
Tabela 3. Análise de regressão e erro absoluto dos lisímetros calibrados.	30
Tabela 4. Resumo da análise de variância e médias para as variáveis tipos de solos e tipos de Matéria Orgânica.	31
Tabela 5. Dados de depleção da umidade do solo em função do tempo e das doses de composto orgânico e de bagaço de cana para o CAMBISSOLO	35
Tabela 6. Dados de depleção da umidade do solo em função do tempo e das doses de composto orgânico e de bagaço de cana para o PLANOSSOLO	36
Tabela 7. Dados de depleção da umidade do solo em função do tempo e das doses de composto orgânico e de bagaço de cana para o VERTISSOLO	37

## SUMÁRIO

<u>TÓPICO</u>	Pág.
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	14
<b>2. DESENVOLVIMENTO</b>	16
<b>2.1. Revisão Bibliográfica</b>	16
<b>2.1.1. Retenção de água no solo</b>	16
<b>2.2.1. Matéria orgânica no solo</b>	20
<b>2.2.2 Bagaço da Cana-de-Açúcar</b>	21
<b>2.2.3 Composto de resíduos da produção sucroalcooleira (vinhaça, torta de filtro e bagaço)</b>	22
<b>2.3.1. Depleção de água no solo</b>	22
<b>2.3.2. Evaporação da água no solo</b>	25
<b>2.3.3 Lisimetria</b>	26
<b>3.MATERIAL E MÉTODOS</b>	26
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	29
<b>4.1. Dinâmica da água no solo em função da aplicação de matéria orgânica em diferentes tipos de solos</b>	30
<b>5. CONCLUSÕES</b>	37
<b>6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	38

## 1. INTRODUÇÃO

O uso inadequado dos solos e dos recursos hídricos pela agricultura pode alterar a estrutura física do solo e comprometer todo ecossistema produtivo, levando à degradação e esgotamento dos solos agricultáveis, além de gerar perdas de produtividade, nutrientes e água. Em conjunto a esses fatores vem se desenvolvendo variedades cada vez mais produtivas e com elevado consumo hídrico sendo necessário o desenvolvimento de técnicas que venham promover o favorecimento da capacidade de retenção e disponibilidade de água do solo.

A retenção de água é a capacidade do solo em manter a água fornecida por precipitação ou irrigação. Já a disponibilidade de água às plantas é o volume contido entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (Klein, 2014).

A capacidade do solo em reter água é função de vários parâmetros bem conhecidos pela física do solo, com por exemplo, densidade do solo e de partículas, porosidade, capilaridade, etc. Aspecto importante a ser relatado é que existe alguns materiais utilizados na agricultura que podem modificar estes parâmetros, que na maioria dos casos para melhor (aumentando a capacidade de retenção de água no solo) como é o caso da matéria orgânica.

A matéria orgânica no solo altera o seu comportamento físico hídrico basicamente pela elevada área superficial e grande quantidade de cargas superficiais (Braida et al. 2011).

A interação da água com as características físico químicas dos solos manifestam propriedades como o limite superior de umidade, também denominado capacidade de campo, de grande importância nos processos de armazenagem e disponibilidade de água para as plantas (Andrade e Stone, 2010).

Diversos autores têm discutido as imprecisões do conceito pioneiro de capacidade de campo dado por Veihmeyer & Hendrickson (1949), em que definem capacidade de campo como “a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente o que ocorre, geralmente, dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de estrutura e textura uniforme”.

Um dos aspectos mais importantes para o sucesso da agricultura irrigada é o manejo da água aplicada pela irrigação, uma vez que o desperdício do recurso hídrico é uma das maiores preocupações relacionadas ao sistema agrícola (Brito et al., 2015).

Em cultivos irrigados, definir a quantidade ideal de água para a planta é o ponto chave para o sucesso do empreendimento e muitos são os métodos utilizados para a determinação dessa quantidade ideal, capaz de atender às demandas hídricas das culturas sem desperdício hídrico (Brito et al., 2015).

Reichardt (1988) questiona este conceito, quanto à subjetividade, em algumas de suas expressões, excesso de água, tempo ideal de drenagem, solos permeáveis e homogêneos etc., mas o considera importante para os que estiverem interessados apenas no manejo de culturas irrigadas, quando a definição de capacidade de campo se torna útil e prática. Segundo o autor, a capacidade de campo é um processo dinâmico, não uma característica da matriz do solo, que depende de interesses específicos de cada situação. Por exemplo, ele recomenda que, para os irrigantes, a capacidade de campo deve ser determinada depois de dois a três dias pós-chuva ou irrigação, em obediência a um turno de rega menor que dez dias e, para os interessados em lixiviação de nutrientes e pesticidas e recarga de aquíferos subterrâneos, que este tempo seja mais longo.

A presente pesquisa teve como objetivo estudar a dinâmica da água no solo em relação ao seu movimento (perdas por depleção) e a sua capacidade de retenção, para o Cambissolo, Planossolo e Vertissolo, sob condições não saturadas presentes na Região Integrada de Desenvolvimento Econômico do Vale do São Francisco.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1.1 Retenção de água no solo

Em campo, a determinação da capacidade de campo requer gasto de tempo e tem custos. Sua estimativa, no entanto, por intermédio de modelos matemáticos pode ser uma alternativa econômica, em curto espaço de tempo e de reconhecida viabilidade técnica (Andrade e Stone, 2010). As funções de pedotransferência são equações que facilitam a estimativa de características edáficas, de difícil determinação, a partir de outros atributos mais facilmente obtidos (Oliveira et al., 2002).

A determinação da tensão que governa a capacidade de campo é, igualmente, motivo de inúmeros trabalhos, sobremaneira daqueles realizados em laboratório, com amostras deformadas e indeformadas (Andrade e Stone, 2010). A definição da tensão matricial de água no solo entre 10 kPa e 33 kPa como correspondente à capacidade de campo, tem encontrado resistência entre pesquisadores (Andrade e Stone, 2010). Reichardt (1988) notou que a tensão matricial não alcançou o valor clássico de 33 kPa, mesmo depois de 45 dias, apesar de reconhecer a não existência da relação direta entre fluxo e tensão da água do solo. Vários autores têm postulado que a capacidade de campo para solos tropicais corresponderia a tensões variando de 6 a 10 kPa (Mello et al., 2002). A adoção de certa tensão representativa da capacidade de campo é de interesse geral, dado à praticidade de se caracterizar rapidamente a sua umidade correspondente, por meio de curvas características de retenção de água (Andrade e Stone, 2010).

A capacidade de campo depende do fluxo de drenagem e este por sua vez se acha mais à mercê da condutividade hidráulica do que do potencial total da água no solo (Andrade e Stone, 2010). Reduções drásticas do fluxo de água de drenagem foram observadas por Reichardt (1988) em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, ao verificar que em apenas um dia esse fluxo reduziu para 0,3% de seu valor original, devido à redução também significativa da condutividade hidráulica, quando praticamente não houve alteração do gradiente de potencial total de água no solo.

A capacidade de campo representa o conteúdo de água retida no solo após o excesso de água ter sido drenado e o movimento da água tornar-se desprezível (Meyer & Gee, 1999). Pela equação de Darcy-Buckingham, a condutividade hidráulica é o principal fator de redução da densidade de fluxo da água no solo e torna-se nula apenas quando o conteúdo de água no solo for zero – situação praticamente impossível (Reichardt, 1988).

Durante os processos de infiltração e drenagem, as principais forças que alteram o movimento da água são a da gravidade e a da capilaridade (Brito et al., 2011). O excesso de água refere-se ao volume de água que ocupa a macroporosidade e que é redistribuído no perfil do solo pela força da gravidade, podendo atingir grande magnitude. A partir desse momento, a capilaridade passa a atuar predominantemente e, dependendo das características físico-hídricas do solo, o movimento de água para baixo ainda pode ter um valor expressivo (Brito et al., 2011).

A diminuição desse movimento é mais rápida para um solo com textura arenosa, em comparação ao de textura média ou argilosa (Nachabe, 1998). Pela própria definição, observa-se que a capacidade de campo é um estado hídrico específico para cada tipo de solo e observado durante o processo de redistribuição da água (Brito et al., 2011).

A capacidade de campo se trata de um conteúdo de água atingido durante os primeiros dias de um processo dinâmico, a influência da estrutura do solo é muito grande, ao contrário do que ocorre para o ponto de murcha permanente, no qual a influência da distribuição do tamanho das partículas passa a ser preponderante (Brito et al., 2011).

O termo “capacidade de campo” foi criado por Veihmeyer & Hendricson (1931), numa tentativa de oferecer maior aplicabilidade ao conceito “equivalente de umidade” introduzido por Briggs & McLane (1910), como descrevem Brito et al. (2011). O equivalente de umidade foi definido como a percentagem de água que um solo pode reter contra uma “força centrífuga” de 1.000 vezes a “força da gravidade” por 30 minutos. Por outro lado, a capacidade de campo representa o conteúdo de água retida no solo após o excesso de água ter sido drenado e o movimento da água tornar-se desprezível (Meyer & Gee, 1999).

Segundo Bernardo et al. (2008), o termo capacidade de campo pode ser entendido como um solo que esteja saturado numa condição de lençol freático profundo, a água terá um movimento vertical para baixo, que somente diminuirá

significativamente quando o teor de umidade do solo for suficiente para que a sua condutividade hidráulica se torne muito baixa. Quando isso acontece, diz-se que o solo está em condição de capacidade de campo. Deve ser entendido que em muitos solos não há nítida transição de movimento significativa para negligenciável e que o termo capacidade de campo descreverá a condição de movimento vertical para baixo com uma taxa muito lenta, em geral, atingido poucos dias após a irrigação (Souza et al., 2013).

A determinação da capacidade de campo *in situ* é realizada numa bacia de dois metros de diâmetro, onde se aplica uma lâmina d'água suficiente para saturar o perfil até a profundidade desejada (Embrapa, 1997). Esta lâmina é obtida pela diferença entre a porosidade e o teor de água inicial, integrada ao longo do perfil, acrescentando-se uma porcentagem relativa às perdas laterais causadas pelo fluxo horizontal (Sampaio et al., 2010).

O comportamento da água no solo depende fundamentalmente de suas propriedades físicas (Aguiar Netto et al., 1999). O solo funciona como um reservatório de água para as plantas (Reichardt, 1988), porque, apesar de ser aberto para a atmosfera e para os horizontes mais profundos do perfil, ele retém água por meio de sua interação com a matriz. Com o propósito de quantificar o limite superior desse reservatório, Veihmeyer & Hendrickson (1931, 1949) introduziram o conceito de capacidade de campo para caracterizar a quantidade de água retida pelo solo após o excesso ter sido drenado e a taxa de movimento descendente ter decrescido acentuadamente, o que, geralmente, ocorre dois ou três dias após uma chuva ou irrigação, em solos permeáveis e de estrutura e textura uniformes (Aguiar Netto et al., 1999).

Pesquisadores contestam o estabelecimento de relações entre a capacidade de campo determinada "*in situ*" e os métodos de laboratório, porque ocorrem discrepâncias entre eles (Reichardt, 1975) e não há fundamento teórico (Reichardt, 1988).

Apesar dessas críticas à capacidade de campo, autores como o próprio Reichardt (1988) reconhecem o valor desse conceito para fins práticos, desde que se compreenda o seu caráter dinâmico, variável no tempo e no espaço, dependente das propriedades hidráulicas de cada solo e dos limites da determinação, não se constituindo, portanto, em uma característica universal dos solos.

A umidade do solo é um dos fatores limitantes da produtividade agrícola. Assim, o solo constitui-se no principal reservatório de água para as plantas (Dardengo et al., 2010). Nos projetos de irrigação é considerada como água disponível às plantas aquela do intervalo de umidade entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. A capacidade de campo representa o máximo conteúdo de água retido pelo solo depois que o excesso tenha sido drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente (Veihmeyer & Hendrickson, 1931); ou seja, o limite superior desse intervalo. Já o limite inferior é representado pelo ponto de murcha permanente, que se refere ao teor de água no solo caracterizado pela forte retenção matricial, abaixo do qual a planta não consegue absorver água (Mello et al., 2002).

A determinação da curva de retenção ou curva característica de água do solo é de suma importância na área de irrigação e nos estudos de movimento de água no solo, pois fornece o teor de água do solo ( $\theta$ ) em diferentes tensões ( $\Psi$ ), e vice-versa. Assim, propicia condições necessárias para a determinação do teor de água disponível no solo, do teor de água atual e de outras variáveis básicas à execução do manejo adequado da água de irrigação e à quantificação dos processos dinâmicos envolvendo o sistema solo-planta-atmosfera (Dardengo et al., 2010). A curva de retenção pode ser obtida pelo processo de secagem da amostra previamente saturada ou por umedecimento gradual da amostra de terra fina seca ao ar (TFSA). Entretanto, para o manejo da irrigação prefere-se o processo de secagem (Costa et al., 2008).

As menores taxas de crescimento da cultura são observadas quando a tensão de 0,033 MPa é utilizada na determinação da capacidade de campo do Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo, o que inviabiliza a sua adoção na estimativa da lâmina de irrigação utilizando-se a câmara de pressão de Richards (Dardengo et al., 2010).

A determinação da curva de retenção de água do solo, que representa a relação entre o teor de água e a energia com a qual ela está retida, é essencial no estudo das relações solo-água (Silva et al., 2006). Sua determinação, efetuada por meio de técnicas tradicionais de laboratório, tais como a da câmara de pressão (Richards, 1965) e da centrífuga (Silva & Azevedo, 2002), baseia-se no levantamento de certo número de pontos, normalmente selecionados de forma arbitrária. Com base nesses pontos, é traçada uma curva para representar as características de retenção da água do solo (Silva et al., 2006).



No ajuste da curva de retenção, é previsível que, quanto maior o número de pontos, mais representativa será a curva de retenção; no entanto, mais oneroso será seu levantamento (Silva et al., 2006). Na seleção dos pontos para o traçado da curva de retenção, observa-se que não existe critério padronizado, sendo comum o uso de seis a oito pontos, incluindo o conteúdo de água do solo na saturação, para o ajuste do modelo matemático adotado, como pode ser constatado em vários trabalhos (Cintra et al., 2004).

A utilização arbitrária de um determinado conjunto de pontos, sem um critério de seleção estatístico definido, pode resultar em curvas de retenção de água não representativas do solo, por isso, é fundamental o estudo que leve à definição do número mínimo e à melhor combinação de pontos, em bases estatísticas, que resulte na descrição adequada da curva de retenção da água do solo, em que a combinação de oito pontos de tensão, definida pelos valores de 1, 3, 6, 10, 35, 84, 611 e 1.515 kPa, é a recomendada para o levantamento das curvas de retenção de água de solos do Cerrado (Silva et al., 2006).

### **2.2.1 Matéria orgânica no solo**

A matéria orgânica do solo em sua grande maioria é derivada de organismos vegetais cuja composição varia entre as espécies vegetais e os organismos existentes no solo. A matéria orgânica é definida como qualquer fragmento orgânico de origem vegetal ou animal (fragmentos de resíduos, biomassa microbiana, compostos solúveis, restos de alimentos etc.) (CUNHA et al, 2015).

Desde 1936 a matéria orgânica é dividida em seis grandes grupos sendo eles celulose, Hemicelulose, Lignina, Fração solúvel em água incluindo açúcares, aminoácidos e ácidos alifáticos, fração solúvel em éter ou em álcool e proteínas, tendo a sua maioria sendo constituídas por celulose (WAKSMAN 1936, CUNHA et al, 2015).

Estudos desenvolvidos por AGNE & KLEIN (2014) relata que a aplicação matéria orgânica no solo melhora a qualidade física do solo através da estabilização dos agregados e outras características físicas como densidade do solo, Porosidade do solo, aeração, drenagem e retenção de água no solo.

A adição de matéria orgânica no solo contribui para a retenção de água no solo, podendo reter até vinte vezes a sua massa em água, no entanto parte dessa água ficará retida na estrutura interna com baixa disponibilidade para as plantas (KLEIN & KLEIN 2015).

A interação da matéria orgânica na retenção de água do solo é diretamente afetada pela textura do solo, possuindo maior representatividade em solos de textura arenosa quando comparados a solos de textura argilosa, a matéria orgânica permite maior agregação e coesão entre as partículas tornando o solo mais poroso e com melhor equilíbrio entre a macro e micro porosidade (SANTOS; PEREIRA, 2013; KLEIN & KLEIN 2015).

Em estudos realizados por Beutler et al (2002) mostraram que a matéria orgânica não apresenta participação efetiva na retenção de água no solo quando aplicado em Latossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho eutroférico sob diferentes sistemas de uso e Manejo.

O uso do solo na agricultura, após retirada da vegetação natural, tem frequentemente mostrado alterações nas propriedades químicas e biológicas do solo, as quais são dependentes das condições do solo, do clima, do tipo de cultura e das práticas culturais adotadas. A interação destas condições estabelece uma nova condição de equilíbrio no sistema solo (Marchiori Júnior & Melo, 2000).

O acúmulo de matéria orgânica, que pode ser obtido a partir de um manejo adequado do solo e dos resíduos culturais, geralmente está associado a uma melhora das condições físicas do solo (Arvidsson, 1998), especialmente pelos benefícios que a matéria orgânica pode trazer à sua estrutura (Baumgartl & Horn, 1991).

A curva de compactação dos solos depende de vários fatores, tais como: energia de compactação, textura e matéria orgânica do solo (Ekwue & Stone, 1997).

Além da textura do solo, a capacidade de campo também pode ser influenciada pela estrutura do solo, teor de matéria orgânica, sequência dos horizontes pedogenéticos e gradiente textural entre os horizontes, bem como pelo teor inicial de água do solo e lâmina de água aplicada (Fabian & Ottoni Filho, 2000).

Macedo (1991) desenvolveu funções de pedotransferência a partir de uma classificação textural, teor de matéria orgânica e microporosidade (tensão igual a 6 kPa), para estimar a capacidade de campo à base de volume.

Para a escala do perfil de solo explorado pelas culturas agrícolas, existe uma dependência muito forte entre as características físicas, físico-hídricas e químicas, ligadas principalmente às distribuições de tamanho de partículas e de poros e à quantidade de matéria orgânica dos horizontes pedológicos (Brito et al., 2011).

### **2.2.2 Bagaço da Cana-de-Açúcar**

O bagaço da cana-de-açúcar constitui o maior resíduo da agroindústria brasileira. Estima-se que na Safra 2018-2019 será processado 404,95 milhões de toneladas de cana-de-açúcar gerando cerca de 121,48 milhões de toneladas de bagaço (CONAB, 2018).

As próprias usinas utilizam de 60% a 90% deste bagaço como fonte energética (substitui o óleo combustível no processo de aquecimento das caldeiras) e para a geração de energia elétrica. O bagaço como combustível veio substituir a lenha, que era a fonte energética usada há alguns anos na evaporação do caldo. No entanto estima-se que, a cada ano, sobrem de 5 a 12 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar que necessitam de alternativas de destinação evitando assim problemas ambientais (FAPESB 2019).

### **2.2.3 Composto de resíduos da produção sucroalcooleira (vinhaça, torta de filtro e bagaço)**

O composto é a mistura de resíduos orgânicos sem valor imediato produzido na própria fazenda ou derivados de processamentos industriais, com a finalidade de estruturação físico-química do solo (MARQUES 2016).

A vinhaça é um resíduo gerado na produção do álcool. Para cada litro de álcool são produzidos cerca de dez a 13 litros de vinhaça, com diferentes concentrações de potássio, de acordo com o material de origem (mosto). A vinhaça originária da fermentação do melaço, resíduo da fabricação do açúcar, possui uma maior concentração em relação à vinhaça gerada na fermentação do caldo de cana.

A torta de filtro é um importante resíduo da indústria sucroalcooleira proveniente da filtração do caldo extraído das moendas no filtro rotativo. Antigamente, era um resíduo obtido apenas na produção do açúcar, mas, atualmente, as novas unidades alcooleiras introduziram o filtro rotativo e, assim, também obtém o resíduo torta de filtro (Embrapa 2019).

### **2.3.1 Depleção de água no solo**

Muitos autores considera o fator  $f$  como o coeficiente de depleção da água no solo, adimensional em que seu valor pode variar de  $0 < f < 1$ . Este coeficiente  $f$  estabelece o ponto da água no solo em que não haverá perda de rendimento da cultura proveniente da demanda evaporativa. Assim, maior demanda evaporativa

normalmente exigirá menores valores de  $f$  e vice-versa. Os valores de  $f$  podem ser de 0,75; 0,60; 0,50 e 0,40 para baixa, moderada, alta e muito alta demanda, respectivamente.

Método de acompanhamento do nível de água no solo, na zona de maior atividade das raízes por meio de lisimetria permite identificar se o solo está suficientemente seco para o reinício das irrigações ou suficientemente úmido para interromper sua aplicação (Azevedo & Silva, 1999).

Métodos de controle da água no solo possibilita a indicação do momento de irrigar com base no potencial matricial ou com base na depleção de água no solo (Brito et al., 2015). Para a cultura do feijão recomenda-se proceder à irrigação quando a depleção atingir o valor recomendado de 0,45, ou seja, irrigar quando tiver sido consumido 45% do intervalo superior de água disponível (Allen et al., 1998).

Uma questão prática importante é que dois métodos de manejo da irrigação, o primeiro baseado no potencial matricial e o segundo baseado na depleção de água no solo, não resultam no mesmo teor de água (Brito et al., 2015). Consequentemente sobrestimam ou subestimam a lâmina irrigada para diferentes tipos de solos, climas e culturas, principalmente as culturas perenes que demandam um volume maior de água por evento de irrigação.

Não se conhecendo a umidade ideal para manejo da irrigação pode-se calcular, aproximadamente, a água facilmente disponível do solo para as plantas utilizando um fator de depleção ( $f$ ) que representa a fração máxima da capacidade de água disponível que pode ser utilizada pela cultura sem que se configure um déficit hídrico (Frizzone, 2017). Esta fração define a água facilmente disponível do solo para as plantas, ou também chamada déficit máximo permitido de manejo, e geralmente está compreendida entre 30% e 70%.

Uma regra geral para culturas de campo em muitas regiões áridas e semiáridas é que o déficit de umidade na zona radicular não seja superior a 50%, isto é,  $(f) \leq 0,5$  (Frizzone, 2017). Mantendo-se a fração de esgotamento ( $f$ ) ao longo do ciclo vegetativo e manejando-se a irrigação para a umidade atingir a capacidade de campo na profundidade após cada aplicação, a lâmina de água aplicada, calculada para, será constante em cada evento de irrigação. Isto significa que a duração da irrigação também será constante, embora a frequência de aplicação varie em função de variações da evapotranspiração durante o período de crescimento. Em regiões úmidas é necessário aproveitar as chuvas durante o período de irrigação. Entretanto,

a fração máxima de esgotamento da umidade disponível do solo de 50% deve servir como um guia geral para as culturas de campo (Frizzone, 2017).

O valor do coeficiente de depleção ( $f$ ) difere de acordo com a cultura e com a demanda atmosférica. Como o potencial de água no solo possui relação específica com a umidade nos diferentes tipos de solos, o valor do respectivo coeficiente também varia com o tipo de solo (Frizzone, 2017).

A definição de limites críticos de disponibilidade de água no solo levava em consideração a demanda atmosférica local, o tipo de solo (permeabilidade), além do posicionamento ideal para monitoramento dos potenciais da água no solo (Silva et al., 2018). Estudos têm demonstrado que o déficit hídrico controlado de irrigação pode proporcionar aumento da eficiência do uso da água no solo (Kuslu et al., 2014). Sousa et al. (2004) recomendam que a irrigação seja realizada após o fator de depleção atingir 35% da água disponível.

Freitas (2019) afirma que a manutenção de potenciais da água no solo correspondendo depleção máxima de água de 52%, é uma estratégia de manejo de irrigação com déficit, que deve ser recomendado com cautela mesmo se trabalhando com uma frequência de irrigação elevada.

Para um manejo eficiente da irrigação deve-se definir a quantidade de água e o momento adequado, isso está relacionado ao conhecimento da água facilmente disponível, que proporciona à cultura um desenvolvimento apropriado e sem redução da sua evapotranspiração (Brito et al., 2015).

O fator de depleção (%AD) representa a porcentagem da água disponível no solo que pode ser utilizada sem que promovam prejuízos ao desenvolvimento e produção das plantas e este fator tem um valor genérico recomendado de 0,45, ou seja, irrigar quando tiver sido consumido 45% do intervalo superior de água disponível (ALLEN et al. 1998). Segundo Brito et al. (2015) os valores do fator de depleção em torno de 30% e 40% apresentam excelentes resultados para a cultura do feijão.

A depleção (ou esgotamento) de água no perfil do solo pode ser medida, mas normalmente só pode ser determinada em pontos discretos no campo (Frizzone et al., 2012). Valores de depleção de água ( $f$ ) no solo foram sugeridos por Allen et al. (1998) para irrigações sem estresse hídrico e  $ET_c$  de aproximadamente  $5 \text{ mm dia}^{-1}$ . Para condições de clima quente e seco, com elevada  $ET_c$ , os valores de  $f$  são 10 a 25 % menores. Já quando ocorrem baixos valores de  $ET_c$ , podem ser acrescidos em 20 %.

Para solos argilosos, devem ser reduzidos de 5 a 10 % e, para solos arenosos, devem ser acrescidos em 5 a 10%.

O monitoramento das irrigações via solo (lisimetria) considera a disponibilidade de água no solo em que se desenvolvem as culturas. Para o manejo das irrigações, neste caso, são necessárias informações como: profundidade efetiva das raízes, capacidade de água disponível do solo, fator de depleção de água no solo ( $f$ ), teor de água crítico ou potencial mátrico crítico para a cultura. O objetivo é irrigar quando o teor de água ou o potencial mátrico atingir um valor crítico, aplicando uma quantidade de água suficiente para elevar o armazenamento de água no solo até a capacidade de campo ((Frizzone et al., 2012).

### **2.3.2 Evaporação da água no solo**

Os fatores de solo que interferem na evaporação a água dos solos como, a estrutura, a densidade, a porosidade e a condutividade hidráulica não saturada são os mais importantes (Yang & Yanful, 2002), e afetam o teor de umidade e o fluxo de água no perfil do solo (Yang & Yanful, 2002).

Para avaliar a evaporação da água do solo, poucos estudos foram baseados em medições diretas da perda de água por evaporação (Dalmago et al., 2010). Aase & Tanaka (1987) mediram o processo em função da quantidade de resíduos na superfície do solo, com uso de lisímetros de pesagem, e não encontraram diferença significativa entre a evaporação em solo desnudo e com diferentes formas de manejo da palha. Segundo esses autores, após dez dias de secagem do solo, todos os tratamentos apresentaram perdas acumuladas muito próximas, o que sugere que o maior efeito da palha ocorra no início da secagem do solo.

Em ambiente controlado, Sauer et al. (1996) observaram menor evaporação em colunas de solo coberto com palha, em comparação ao solo desnudo, e encontraram similaridade com estimativas feitas no campo. Esses autores observaram redução da evaporação com o aumento da quantidade de palha na superfície, o que também foi verificado por Ji & Unger (2001), em laboratório, e por Bragagnolo & Mielniczuk (1990), com base em medições da umidade volumétrica do solo no campo.

A técnica de microlisímetros é adequada para a medição de valores absolutos e relativos de evaporação da água do solo (Dalmago et al., 2010). Assim, temos infraestruturas bastantes dedicadas na determinação dos balanços hídricos como os lisímetros e por outro lado não temos resultados científicos em relação as perdas de

águas nos solos que receberam incremento de matéria orgânica incorporada a diferentes níveis de concentração, que possa auxiliar a agricultura irrigada em regiões semiáridas.

### **2.3.3 Lisimetria**

Lisímetros de Pesagem são equipamentos com a finalidade de medição da variação da massa da água em um sistema solo-planta-atmosfera por meio de células de carga ALLEN et al. (2011).

Os lisímetros de pesagem estão sendo utilizados por mais de três séculos para estudo das relações entre solo água e planta servindo como ferramenta padrão na calibração de equipamentos indiretos de medição do teor de água no solo e demanda evapotranspirométrica das culturas, devidos ao seu alto teor de precisão que se expressa quando são bem projetados, calibrados e manejados (CARVALHO et al., 2007).

Os lisímetros equipados com células de cargas são os mais modernos permitindo a realização de medidas automatizadas através do acoplamento das células de cargas a um sistema de aquisição de dados, fornecendo informações mais confiáveis, e possibilitando o acompanhamento da variação de umidade em escala horária (CARVALHO et al., 2007).

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação, do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Campus Juazeiro – BA nas seguintes etapas, Etapa I – Construção das curvas de calibração dos mini lisímetros utilizados para aferir a depleção da umidade dos solos estudados; Etapa II – Montagem dos vasos com os solos analisados (amostras de solos secas ao ar e peneiradas) e com os tratamentos propostos a partir da incorporação dos compostos orgânicos, saturados por ascensão capilar por 48h.

## **Etapa I - Construção das curvas de calibração dos minis lisímetros**

Foram utilizados mini lisímetros equipados com células de carga (modelo TSD, AEPH, capacidade de 50 kg) instaladas sob uma base metálica com dispositivo de coleta do excesso de água drenado. As células de carga foram conectadas a dois multiplexadores (AM16/32B) ligados a um datalogger (CR1000), o qual realizava leitura a cada 15 segundos, registrando-as a cada 15 minutos.

Os mini-lisímetros foram calibrados através da metodologia proposta por Wheeler e Ganji (1996) citados por Vilela, et al (2015) onde massas padrões foram adicionadas de forma crescente e decrescente. Essas massas padrões foram confeccionadas com sacos plásticos e brita nº 1 em um total de 10 unidades de 4 kg, aferidas em balança analítica de precisão. Ao todo se procedeu 2 ciclos de carregamento e descarregamento em cada sistema de medição.

De posse dos dados de calibração foram determinadas as curvas de calibração o erro máximo absoluto (EMA), erro de repetitividade, não-linearidade e histerese do instrumento (Vellame et al., 2011).

## **Etapa II – Experimentação dos tratamentos**

O estudo foi realizado com amostras de solo da camada superficial (0-30 cm) do Cambissolo, Planossolo e Vertissolo. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas (Tabela 1).

A caracterização dos solos é, CAMBISSOLO FLÚVICO Ta Eutrófico vertissólico, A moderado, textura argilosa, fase caatinga, relevo plano, PLANOSSOLO NÁTRICO Sálco típico A fraco textura arenosa/média fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado, VERTISSOLO HÁPLICO Órtico típico A moderado textura argilosa fase caatinga hiperxerófila relevo plano (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - Embrapa, 2006).



**Tabela 1.** Caracterização físico-hídrica dos solos

Parâmetro	CAMBISSOLO	PLANOSSOLO	VERTISSOLO
CC	15,5	15,8	27,6
PMP	8,5	7,3	16,8
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	1,34	1,43	1,27
Densidade de partículas (kg dm <sup>-3</sup> )	2,31	2,46	2,39
Areia (%)	62	79	36
Silte (%)	19	10	25
Argila (%)	19	11	39

Os tratamentos foram compostos pela aplicação de duas fontes de matéria orgânica (Composto de resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar e Bagaço de Cana-de-açúcar) incorporados ao solo em quatro doses diferentes (0,15, 20, 25 e 30 ton/ha). O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições.

**Tabela 2.** Caracterização física dos Materiais orgânicos

Abertura da malha da peneira						
0,000	0,223	0,444	0,890	2,010	4,245	5,660
Bagaço de cana de açúcar						
2%	5%	10%	31%	33%	10%	8%
Composto de resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar						
5%	14%	26%	31%	13%	6%	5%

O solo juntamente com os compostos orgânicos foi misturado manualmente em piso liso com o auxílio de uma enxada e acondicionado em baldes de 20 litros perfurados no fundo com uma camada de brita para facilitação da drenagem da água acima da capacidade máxima de retenção. Após preenchimento dos baldes foi realizado a saturação por acessão capilar em um período de 24 horas, logo após a saturação foi realizado a cobertura individual dos baldes, a fim de se evitar a atuação da atmosfera na evaporação da água.

Os baldes já montados, saturados e drenados a umidade acima da capacidade máxima de retenção de água foram acondicionados nos mini-lisímetros para dar início a coleta de dados de depleção da umidade dos solos estudados. Após a identificação da estabilização da massa dos tratamentos em um período superior a 48 horas foi

definido o ponto de capacidade de retenção máxima de água no solo, e em seguida foi realizada a retirada da cobertura dos baldes para avaliação dos níveis de depleção de cada tratamento.

Os baldes foram monitorados até se obter uma estabilização do peso final, admitindo-se esse ponto como o ponto de mínima retenção de água do vaso. De posse dos dados foi determinado a influência das diferentes fontes de matéria orgânica na capacidade máxima de retenção de água no solo e na dinâmica de depleção dos diferentes solos que consistiu na avaliação de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% do período de depleção.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Tabela 3 encontra-se os dados referentes a calibração dos lisímetros. Com alto coeficiente de determinação (0,99), o modelo linear descreveu adequadamente a relação entre os valores de saída das células de carga em mV de excitação e o equivalente em massa (kg) durante o processo de calibração dos 30 lisímetros. Faria et al. (2006), analisando o funcionamento de lisímetros de pesagem em condições de campo, obtiveram correlações de 0,99 e baixa histerese entre as variações de massa e a resposta de voltagem.

Santos et al. (2008) também observaram leituras da evapotranspiração de referência consistentes em todos os ensaios de calibração de lisímetro, com respostas lineares e histerese desprezível em área de assentamento rural no semiárido nordestino.

**Tabela 3.** Análise de regressão e erro absoluto dos lisímetros calibrados.

Lisímetro	Equação	R <sup>2</sup>	Significância (Teste F)	Erro absoluto		
				Médio	Máximo	Mínimo
1	$y = 24,856x - 3,7142$	0,9999	P<0,01	-22,80	65,96	-94,63
2	$y = 25,906x - 2,3948$	0,9997	P<0,01	-2,61	255,72	-308,34
3	$y = 24,937x - 2,7063$	0,9999	P<0,01	-20,46	65,50	-91,63
4	$y = 24,617x - 2,922$	0,9999	P<0,01	-21,15	142,54	-96,30
5	$y = 24,958x - 3,7057$	0,9999	P<0,01	-20,76	66,55	-77,58
6	$y = 24,965x - 2,7136$	0,9999	P<0,01	-21,17	111,30	-140,44
7	$y = 25,036x - 3,4711$	0,9999	P<0,01	-31,87	63,93	-213,44
8	$y = 25,036x - 3,7189$	0,9999	P<0,01	-2,72	90,06	-52,89
9	$y = 25,036x - 2,6515$	0,9999	P<0,01	6,37	147,11	-109,94
10	$y = 25,036x - 2,3429$	0,9999	P<0,01	-20,89	63,92	-109,93
11	$y = 25,036x - 2,4795$	0,9999	P<0,01	0,00	244,41	-109,94
12	$y = 25,036x - 2,3278$	0,9999	P<0,01	-30,06	63,85	-148,79
13	$y = 24,379x - 2,2641$	0,9998	P<0,01	-42,77	260,62	-229,14
14	$y = 24,326x - 2,4807$	0,9997	P<0,01	-35,00	164,99	-251,08
15	$y = 24,875x - 2,6965$	0,9999	P<0,01	-21,34	147,21	-189,62
16	$y = 24,948x - 2,98$	0,9999	P<0,01	-29,58	171,66	-116,64
17	$y = 24,859x - 3,8371$	0,9998	P<0,01	-54,02	124,19	-186,72
18	$y = 24,859x - 2,6474$	0,9998	P<0,01	-30,10	187,72	-135,70
19	$y = 24,859x - 2,4677$	0,9998	P<0,01	-90,98	17,72	-186,72
20	$y = 24,888x - 2,5473$	0,9998	P<0,01	-16,06	100,09	-102,02
21	$y = 24,859x - 2,4281$	0,9998	P<0,01	8,40	164,53	-512,31
22	$y = 24,695x - 3,0229$	0,9996	P<0,01	-90,50	230,87	-140,61
23	$y = 25,111x - 1,9551$	0,9995	P<0,01	-10,44	323,32	-343,78
24	$y = 24,708x - 2,9767$	0,9996	P<0,01	-54,40	201,21	-136,72
25	$y = 24,91x - 2,682$	0,9998	P<0,01	-24,17	132,99	-129,42
26	$y = 24,8x - 3,1052$	0,9998	P<0,01	-17,00	185,66	-167,29
27	$y = 25,117x - 1,5316$	0,9995	P<0,01	25,54	171,03	-136,14
28	$y = 24,821x - 2,1428$	0,9998	P<0,01	-65,88	137,02	-173,97
29	$y = 24,871x - 2,8483$	0,9998	P<0,01	-104,29	75,37	-205,26
30	$y = 25,012x - 2,1867$	0,9997	P<0,01	1,84	167,25	-148,57

#### 4.1. Dinâmica da água no solo em função da aplicação de matéria orgânica em diferentes tipos de solos

Na Tabela 4 encontra-se o resumo da análise de variância e as médias para as variáveis tipos de solos para o respectivo estudo. Verifica-se que só houve efeito linear significativo ( $p < 0,05$  e  $p < 0,01$ ) da matéria orgânica para o tipo de solo Cambissolo.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância e médias para as variáveis tipos de solos e tipos de Matéria Orgânica.

Fator	Estatística F		
	CAMBISSOLO	PLANOSSOLO	VERTISSOLO
- M.O. (M)	23,06*	4,17 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
Linear	0,68 <sup>ns</sup>	0,59*	0,43 <sup>ns</sup>
- Dose (D)	1,04 <sup>ns</sup>	5,18*	0,44 <sup>ns</sup>
M x D	2,15 <sup>ns</sup>	10,41*	3,27**
CV (%)	4,71	5,95	6,56
M. O. (M)			
Composto	0,17b	0,16a	0,28a
Bagaço	0,18 <sup>a</sup>	0,17a	0,27a

<sup>ns</sup> Não significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

\* Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F

\*\* Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

Medias seguidas da mesma letra é não significativo pelo teste de Tukey

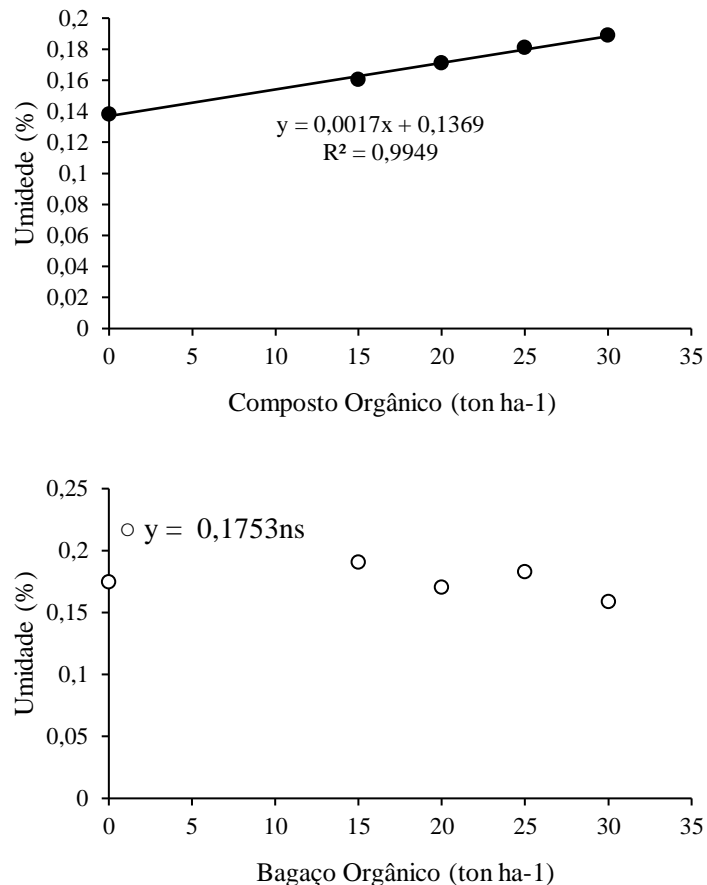
A partir dos dados observa-se que houve análise de regressão significativa no Planossolo, quando submetido a diferentes doses de composto, no Cambissolo e Vertissolo não foi observado efeito de linearidade significativo entre os tratamentos aplicados. Os resultados observados se devem a organização granulométrica dos solos e matéria orgânica estudada. O alto teor de areia encontrado no Planossolo em torno de 79% possibilitou uma interação positiva entre as partículas do composto orgânico e as partículas de areia, favorecendo o processo de agregação das partículas e elevação da capacidade máxima de retenção da água no solo. Siva e Kay (1997), trabalhando com a capacidade máxima de água disponível para as plantas em diferentes solos relata que a matéria orgânica do solo está inteiramente ligada a formação de agregados, que por sua vez desenvolve um papel importante na distribuição e tamanho dos poros que influencia diretamente na capacidade máxima de retenção da água no solo.

Estudos desenvolvidos por Machado et al. (2008) encontrou interação significativa entre a capacidade máxima de retenção da água no solo e os teores de Areia, Silte, Argila e Carbono Orgânico.

As variações no teor de carbono orgânico influenciam na retenção de água do solo a depender da proporção dos componentes texturais e da quantidade de Matéria orgânica presente no solo. Em solos com baixos teores de carbono, o incremento deste induz a elevação da retenção de água no solo, especialmente em solos com frações granulométricas maiores (areia) diminuindo em solos de textura fina. Se o solo já possui alto teor de carbono, qualquer aumento de carbono resulta em aumento na retenção de água no solo, independente da textura (RAWLS et al., 2003).

A importância da matéria orgânica na capacidade máxima de retenção da água no solo depende da sua textura. Em solos de Textura Arenosa elevada a retenção de água no solo é mais sensível a aplicação de matéria orgânica do que comparado a solo de textura fina Silva e Mendonça. (2007).

A interação da água com as características físico químicas dos solos manifestam propriedades como o limite superior de umidade, também denominado capacidade de campo, de grande importância nos processos de armazenagem e disponibilidade de água para as plantas (Andrade e Stone, 2010).



**Figura 1.** Máxima retenção de água no Planossolo em função do tipo de matéria orgânica e dose ( $t\ ha^{-1}$ )

A umidade do solo é um dos fatores limitantes da produtividade agrícola. Assim, o solo constitui-se no principal reservatório de água para as plantas. Nos projetos de irrigação é considerada como água disponível às plantas aquela do intervalo de umidade entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (Dardengo et. al., 2010).

A adição de matéria orgânica no solo contribui para a retenção de água no solo, podendo reter até vinte vezes a sua massa em água, no entanto parte dessa água ficará retida na estrutura interna com baixa disponibilidade para as plantas (Klein & Klein, 2015).

A matéria orgânica interage no solo alterando o seu comportamento físico hídrico basicamente pela elevada área superficial e grande quantidade de cargas superficiais (Braidá et al., 2011).

O conhecimento do limite máximo de retenção de água no solo é essencial para o bom desempenho da irrigação tendo em vista que essa é uma característica intrínseca de cada solo sendo afetada por diversos fatores como o teor de matéria orgânica, microestrutura e relação mineralógica. Cabe salientar que retenção de água é a capacidade do solo em manter a água fornecida por precipitação ou irrigação (Klein, 2014).

A resistência dos solos ao processo de depleção da água que consiste na variação de umidade do solo e o fator de depleção ( $p$ ) é a porcentagem de água disponível no solo que pode ser consumida antes das irrigações, sem prejuízos ao desenvolvimento da cultura (Amaral, et al., 2014).

Durante os processos de infiltração e drenagem, as principais forças que alteram o movimento da água são a da gravidade e a da capilaridade. O excesso de água refere-se ao volume de água que ocupa a macroporosidade e que é redistribuído no perfil do solo pela força da gravidade, podendo atingir grande magnitude. A partir desse momento, a capilaridade passa a atuar predominantemente e, dependendo das características físico-hídricas do solo, o movimento de água para baixo ainda pode ter um valor expressivo (Brito et al., 2011).

A matéria orgânica pode trazer benefícios à estrutura dos solos se incorporada corretamente e se esta estiver em uma granulometria bem próxima a granulometria do solo, influenciando assim diretamente nas condições físico-hídricas. Porém se este composto orgânico tiver uma granulometria muito superior a granulometria do solo,

que foi o caso do composto orgânico e bagaço de cana no vertissolo, cambissolo e bagaço de cana no planossolo o resultado como demonstrado pela Tabela 4 foi um efeito não significativo na capacidade de retenção de água no solo devido ao aumento dos macroporos dos respectivos solos.

Encontra-se na literatura resultados controversos contraditórios relatados por (Silva & Mendonça, 2007) e (Beutler et al., 2002) sobre a influência da matéria orgânica na capacidade de retenção da água no solo, assunto este que requer estudos mais aprofundados.

As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam os dados de depleção da umidade dos solos estudados considerando o tempo necessário para estabilização da umidade em função das doses de matéria orgânica. Pode-se observar três situações distintas de depleção da umidade devido a diferenciação do material de solo utilizado, o que referencia este solo para tempo de secagem a sombra em ambiente aberto e com matéria orgânica incorporada.

Para o CAMBISSOLO, teve-se a menor taxa de depleção da umidade do solo, em torno de 10% para todo o período avaliado. Já para os demais solos a taxa de depleção da umidade foram semelhantes e em torno de 17% em media. O que registra um resultado interessante pois a menor taxa de depleção foi para o solo mais arenoso.

A variação da umidade do solo é uma variável de suma importância no estudo e modelagem nos diferentes processos hidrológicos, ambientais e agronômicos (Tsegaye et al., 2004).

Para o CAMBISSOLO, temos um fator de depleção de 0,4 no intervalo de 17 dias. Para o PLANOSSOLO, temos um fator de depleção de 0,4 no intervalo de 13 dias. Para o VERTISSOLO, temos um fator de depleção de 0,4 no intervalo de 23 dias.

**Tabela 5.** Dados de depleção da umidade do solo em função do tempo e das doses de composto orgânico e de bagaço de cana para o CAMBISSOLO

M.O. (Doses)	CC (%)	Dias após a saturação					
		6	11	17	22	28	
Depleção da umidade do solo							
COMPOSTO	0	0,164	0,157	0,124	0,093	0,071	0,058
	15	0,173	0,165	0,131	0,099	0,075	0,060
	20	0,149	0,142	0,111	0,080	0,058	0,045
	25	0,185	0,178	0,144	0,111	0,088	0,073
	30	0,172	0,166	0,132	0,100	0,076	0,062
BAGAÇO	0	0,189	0,180	0,142	0,106	0,078	0,063
	15	0,164	0,157	0,124	0,093	0,071	0,056
	20	0,196	0,190	0,153	0,118	0,092	0,076
	25	0,180	0,174	0,138	0,103	0,074	0,058
	30	0,184	0,177	0,141	0,106	0,078	0,058

M.O. – matéria orgânica; CC – capacidade de campo; Doses – t ha<sup>-1</sup>

Segundo Consoli et al. (2015), estimativas mais precisas da dinâmica e/ou o movimento de água no solo podem ser estratégias para melhorar o gerenciamento do uso da água. As formas de entrada de água no sistema é a partir de precipitação pluvial e irrigação; já a saída de água do sistema solo/planta pode ocorrer pela drenagem interna (percolação profunda), evapotranspiração da cultura (**perda de água por evaporação** e transpiração) e deflúvio superficial (Cintra et al., 2000).



**Tabela 6.** Dados de depleção da umidade do solo em função do tempo e das doses de composto orgânico e de bagaço de cana para o PLANOSSOLO

M.O. (Doses)	CC (%)	Dias após a saturação					
		6	13	19	25	31	
Depleção da umidade do solo							
COMPOSTO	0	0,176	0,162	0,109	0,055	0,028	0,016
	15	0,163	0,139	0,093	0,048	0,030	0,019
	20	0,165	0,142	0,099	0,058	0,040	0,031
	25	0,175	0,159	0,115	0,070	0,045	0,033
	30	0,162	0,144	0,099	0,055	0,035	0,027
BAGAÇO	0	0,155	0,132	0,088	0,044	0,035	0,026
	15	0,188	0,171	0,126	0,079	0,056	0,047
	20	0,172	0,152	0,108	0,064	0,045	0,034
	25	0,171	0,153	0,111	0,069	0,045	0,032
	30	0,175	0,162	0,116	0,070	0,050	0,040

M.O. – matéria orgânica; CC – capacidade de campo; Doses – t ha<sup>-1</sup>

O balanço hídrico de água no solo é determinado a partir dos dados de oscilação do teor de água no perfil do solo, precipitação pluviométrica, volume de água via irrigação, drenagem e ascensão capilar e evapotranspiração (Silva et al., 2015).

O manejo da água via solo é baseado no acompanhamento da oscilação do conteúdo de água no solo, a partir de instrumentos que medem diretamente e indiretamente a umidade do solo (Freitas, 2019). Sendo necessário o conhecimento da umidade do solo na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente e no ponto de umidade crítica para a cultura (Frizzone et al., 2012).

A capacidade de armazenamento da água no solo varia em função do tempo e da região observada (Hu et al., 2010; Rocha et al., 2005), sendo de fundamental importância o seu conhecimento para a produção agrícola (Vieira et al., 2010). A variabilidade espacial, quando comparada com a variabilidade temporal, apresenta maior estabilidade ao longo do tempo (Li e Shao, 2014).

**Tabela 7.** Dados de depleção da umidade do solo em função do tempo e das doses de composto orgânico e de bagaço de cana para o VERTISSOLO

M.O. (Doses)	CC (%)	Dias após a saturação					
		8	15	23	30	38	
Depleção da umidade do solo							
COMPOSTO	0	0,374	0,336	0,271	0,214	0,172	0,148
	15	0,310	0,283	0,236	0,193	0,157	0,139
	20	0,311	0,284	0,238	0,196	0,160	0,141
	25	0,298	0,271	0,225	0,184	0,152	0,134
	30	0,285	0,257	0,210	0,167	0,130	0,110
BAGAÇO	0	0,298	0,269	0,219	0,188	0,138	0,119
	15	0,312	0,282	0,231	0,174	0,147	0,127
	20	0,302	0,274	0,226	0,184	0,146	0,121
	25	0,325	0,298	0,251	0,182	0,171	0,149
	30	0,307	0,278	0,231	0,207	0,148	0,126

M.O. – matéria orgânica; CC – capacidade de campo; Doses – t ha<sup>-1</sup>

O conhecimento da estabilidade temporal do conteúdo de água no solo é importante para a determinação da umidade média do solo, em determinado espaço físico (Hu et al., 2010). Sendo necessário o acompanhamento do conteúdo de água no solo, por um intervalo de tempo, possibilitando a identificação das posições espaciais no solo que representem o conteúdo médio de água no solo (Guber et al., 2008).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados permitiram concluir que os minilímetros foram eficientes em relação ao monitoramento da umidade dos solos condicionados em vasos e incorporados os compostos orgânicos. Em relação as matérias orgânicas utilizadas, o composto de resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar foi eficiente na melhoria da capacidade de retenção de água no Planossolo. O bagaço de cana-de-açúcar não apresentou bons resultados devido principalmente a sua granulometria elevada.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aase, J. K.; tanaka, D. L. Soil water evaporation comparisons among tillage practices in the northern great plains. Soil Science Society of American Journal, Madison, v. 51, n. 2, p. 436-440, 1987.

Aguiar Netto, A. O.; Nacif, P. G. S.; Rezende, J. O. Avaliação do conceito de capacidade de campo para um Latossolo amarelo coeso do estado da Bahia. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23. p. 661-667, 1999.

Albuquerque, P. E. P. Estratégias de manejo de irrigação. In: Albuquerque, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. Uso e manejo de irrigação. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 449-486.

Allen, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998, 297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. Agricultural Water Management. v.98, p.899 – 920, 2011.

Amaral, M. A. C. M; Mendonça, F. C.; Motta, C. S. M., Silva, B. C. P., Marques, P. A. A.; Santos, P. M. Fator de Depleção de água no solo Para condições de estabelecimento de Cynodon spp. cv. TIFTON 85. II INOVAGRI International Meeting, 2014.

Andrade, L. F.; Stone, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.15, n.2, p.111-116, 2011.

Arvidsson, J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory experiments. Soil Till. Res., 49:159-170, 1998.

Azevedo, J. A. de; Silva, E. M. da. Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 33p.

Baumgartl, T.; Horn, R. Effect of aggregate stability on soil compaction. *Soil Till. Res.*, 19:203-213, 1991.

Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.

Beutler, A. N. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 829-834, 2002.

Bragagnolo, N.; Mielniczuk, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de cultura e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, p.91-98, 1990.

Braida, A. J.; Reichert, J. M.; Veiga, M.; Reinert, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.605-614, 2006.

Briggs, L. J.; McLane, J. W. Moisture equivalent determinations and their application. *Proceedings of the American Society of Agronomy*, Washington, v.2, n.1, p.138-147, 1910.

Brito, A. S.; Libardi, P. L.; Mota, J. C. A.; Moraes, S. O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, v. 35, p. 1939-1948, 2011.

Brito, A. S.; Libardi, P. L.; Mota, J. C. A.; Moraes, S. O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.35, n.6, p.1939-1948, 2011.

Brito, R. R.; Grassi Filho, H.; Saad, J. C. C.; Oliveira, S. R. M. Produtividade do feijoeiro sob diferentes potenciais matriciais e fatores de depleção da água no solo. *Nativa*, Sinop, v. 03, n. 02, p. 109-114. 2015.

CARVALHO, D. F. et al. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 363-372, 2007.

Cintra, F. L. D.; Libardi, P. L.; Saad, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 23-28, 2000.

Cintra, F. L. D.; Portela, J. C.; Nogueira, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no distrito de irrigação Platô de Neópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.45-50, 2004.

Consoli, S.; Licciardello, F.; Vanella, D.; Pasotti, L.; Villani, G.; Tomei, F. Testing the water balance model criteria using TDR measurements, micrometeorological data and satellite-based information. *Agricultural Water Management*, v. 170, p. 68-80, 2015.

Costa, W. A.; Oliveira, C. A. S.; Kato, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, v. 32, p. 515-523. 2008.

Dalmago, G. A.; bergamaschi, h.; krüger, C. A. M. B.; bergonci, J. I.; comiran, F.; heckler, B. M. M. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, n. 8, p. 780-790, 2010.

Dardengo, M. C. J. D.; Reis, E. F.; Passos, R. R. Influência da capacidade de campo na taxa de crescimento do cafeeiro conilon. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 57, n.1, p. 042-047, 2010.

Ekwue, E. I. & Stone, R. J. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, v. 40. P. 317-323, 1997.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília: Embrapa SPI, p.306, 2006.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Solos, 1997. 412p.

Fabian, A. J.; Ottoni Filho, T. B. Determinação da capacidade de campo in situ ou através de equações de regressão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, p. 1029-1036. 2000.

Freitas, F. T. O. (2019). Critérios para o manejo da irrigação via solo no cultivo de maracujazeiro. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. P. 73. 2019.

Frizzone, J. A. – ESALQ/USP. 2017. Departamento de Engenharia de Biosistemas. Notas de Aula da disciplina LEB 1571 – Irrigação. Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica. Piracicaba – SP.

Frizzone, J. A.; Freitas, P. S. L.; Rezende, R.; Faria, M. A. Microirrigação: gotejamento e microaspersão. 1 ed. Maringá: Editora Eduem, 2012. 356 p.

Guber, A. K.; Gish, T. J.; Pachepsky, Y. A.; Van Genuchten, M. T.; Daughtry, C. S. T.; Nicholson, T. J.; Cady, R. E. Temporal stability in soil water content patterns across agricultural fields. Catena, v. 73, n. 1, p. 125-133, 2008.

Hu, W.; Shao, M.; Han, F.; Reichardt, K.; Tan, J. Watershed scale temporal stability of soil water content. Geoderma, v. 158, n. 3-4, p. 181-198, 2010.

Ji, S. N.; Unger, P. W. Soil water accumulation under diferente precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions. Soil Science Society of American Journal, Madison, v. 65, n. 2; p. 442-448, 2001.

Klein C.; Klein A. V. Estratégias para Potencializar a Retenção e Disponibilidade de Água no Solo. REGET - V. 19, n. 1, jan.- abr. p.21-29, 2015.

Klein, V. A. Física do solo. Ed. Universidade de Passo Fundo. 3<sup>o</sup> edição, 2014.

Kuslu, Y.; Sahin, U.; Kiziloglu, F. M.; Memis, S. Fruit yield and quality, and irrigation water use efficiency of summer squash drip-irrigated with different irrigation quantities in a semi-arid agricultural area. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 13, n. 11, p. 2518 - 2526, 2014.

Li, D.; Shao, M. Temporal stability of soil water storage in three landscapes in the middle reaches of the Heihe River, northwestern China. *Environmental Earth Sciences*, v. 73, n. 7, p. 3095-3107, 2014.

MACHADO, J. L. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 495-502, 2008.

Marchiori Júnior, M.; Melo, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.6, p.1177-1182, 2000.

Mello, C. R.; Oliveira, G. C.; Resck, D. V. S.; Lima, J. M.; Dias Júnior, M. S. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. *Ciência e Agrotecnologia*, v.26, p.835-841, 2002.

Meyer, P.D.; Gee, G.W. Flux-based estimation of field capacity. *J. Geotechn. Geoenviron. Eng.*, 125:595-599, 1999.

Nachabe, M.H. Refining the definition of field capacity in the literature. *J. Irrig. Drainage Eng-ASCE*, 124:230–232, 1998.

Oliveira, P. M. O.; Silva, A. M.; Coelho, G.; Silva, R. A. Análise comparativa da caracterização físico-hídrica de um Latossolo Vermelho distrófico in situ e em laboratório. Irriga, Botucatu, v.10, n.1, p.1-19, 2002.

RAWLS, W. J. et al., Effect of soil organic carbon on soil water retention. Geoderma, v. 116, n. 1-2, p. 61-76, 2003.

Reichardt, K. Capacidade de campo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 12:211-216, 1988.

Reichardt, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 3.ed. Piracicaba, USP/Cargill, 1975. 286p.

Rocha, G. C.; Libardi, P. L.; Alves De Carvalho, L.; Rodrigues Cruz, A. C. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citros. Revista Brasileira de Ciência do solo, v. 29, n. 1, 2005.

Sampaio, F. M. T.; Ferreira, M. M.; Oliveira, M. S.; Almeida, A. C.; José, M. R. Variabilidade espacial da umidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob plantio direto. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.5, p.854-861, 2010.

Santos, F. X.; Rodrigues, J. J. V.; Montenegro, A. A. A.; Moura, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. Engenharia Agrícola, v.28, p.115-124, 2008.

Sauer, T. J.; Hatfield, J. L.; Prueger, J. H. Corn residue and placement effects on evaporation and soil thermal regime. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 60, n. 5, p. 1558-1564, 1996.

Shen, Q.; Gao, G.; Hu, W.; Fu, B. Spatial-temporal variability of soil water content in a cropland-shelterbelt-desert site in an arid inland river basin of Northwest China. Journal of Hydrology, v. 540, p. 873-885, 2016.



SILVA, A .P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society Journal*, v. 61, p. 877-883, 1997.

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

Silva, E. M. da; Azevedo, J. A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1487-1494, 2002.

Silva, E. M.; Lima, J. E. F. W.; Azevedo, J. A.; Rodrigues, L. N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.2, p.323-330, 2006.

Silva, I. R.; Mendonça, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS et al., *Fertilidade do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS et al., *Fertilidade do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

Soares, F. C.; Peiter, M. X.; Robaina, A. D.; Parizi, A. R. C.; Ramão, C. J.; Vivan, G. A. Resposta da produtividade de híbridos de milho cultivado em diferentes estratégias de irrigação. *Irriga, Botucatu*, v. 15, n. 1, p. 36-50, 2010.

Souza, E. J.; Cunha, F. F.; Magalhães, F. F.; Silva, T. R.; Borge, M. C. R. Z.; Roque, C. G. Métodos para estimativa da umidade do solo na capacidade de campo. *R Ci Agro-Amb*, v. 11. P. 43-50. 2013.

Veimehyer, F.J.; Hendrickson, A.H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. *Soil Sci.*, 68:75-94, 1949.

Veimehyer, F.J.; Hendrickson, A.H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. *Soil Sci.*, 32:181-193, 1931.

Vellame, L. M.; Coelho Filho, M. A.; Coelho, E. F.; Fraga Júnior, E. F. Lisímetro de pesagem e de lençol freático de nível constante para o uso em ambiente protegido. Revista Caatinga, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 153-159, janeiro/março, 2012.

Vieira, S. R.; González Garcia, M. A.; González, A. P.; Machado Siqueira, G. M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. Bragantia, v. 69, n. 1, p.181-190, 2010.

Wheeler, A. J.; Ganji, A. R. Introduction to engineering experimentation. New Jersey: Prentice Hall. 1996. 415p.

Yang, M.; Yanful, E. K. Water balance during evaporation and drainage in cover soils under different water table conditions. Advances in Environmental Research, Berkeley, v. 6, n. 4, p. 505-521, 2002.

ANEXOS

Figura A1. Distribuição do erro absoluto dos lisímetros calibrados.

