



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

ELTON DANNILO CARVALHO BRAGA

AVALIAÇÃO DA ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO UTILIZANDO DIFERENTES
PONTOS DE TENSÃO NA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA

MOSSORÓ – RN

2020

ELTON DANNILO CARVALHO BRAGA

AVALIAÇÃO DA ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO UTILIZANDO DIFERENTES
PONTOS DE TENSÃO NA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semiárido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Celsemy Eleutério Maia, Prof. Dr.

MOSSORÓ – RN

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B813a Braga, Elton Dannilo Carvalho.
AVALIAÇÃO DA ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO
UTILIZANDO DIFERENTES PONTOS DE TENSÃO NA CURVA
DE RETENÇÃO DE ÁGUA / Elton Dannilo Carvalho
Braga. - 2020.
38 f. : il.

Orientador: Celsemy Eleutério Maia Maia.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental, 2020.

1. Agricultura. 2. Irrigação. 3. Curva de
retenção. 4. Água disponível. I. Maia, Celsemy
Eleutério Maia, orient. II. Título.

ELTON DANNILO CARVALHO BRAGA

AVALIAÇÃO DA ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO UTILIZANDO DIFERENTES PONTOS DE TENSÃO NA CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA

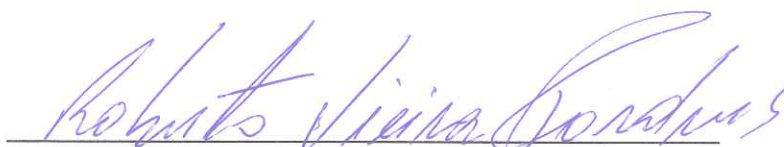
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido, como
requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Agrícola e
Ambiental.

Mossoró-RN, 06 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Celsemy Eleutério Maia
UFERSA



Prof. Dr. Roberto Vieira Pordeus
UFERSA



Me. Dayanne Tâmara Soares Nogueira

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cristovam Crispim Braga e Eliane Carvalho Braga, pelo apoio e incentivos em todos os momentos.

Aos meus irmãos, Cristiano e Anderson e as minhas irmãs, Ana Quézia e Laís, pela força.

Ao corpo docente do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, pelo conhecimento repassado ao longo desse período que contribuíram para minha formação profissional.

Ao meu orientador, professor Celsemy Eleutério Maia, pelo conhecimento transmitido durante o período de iniciação científica, por todo o tempo que esteve disposto a ceder em virtude das dúvidas surgidas e pela valiosa ajuda necessária a conclusão deste trabalho.

Aos amigos do Núcleo de Estudos Ambientais, pela boa receptividade.

Aos amigos da Casa 09 da Vila Acadêmica Vingt-Un Rosado da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), que de maneira indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho através do companheirismo e amizade.

A Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis da UFERSA, pela assistência estudantil durante todo o período de curso.

RESUMO

Nos últimos anos, a agricultura brasileira passou por profundas transformações, essas mudanças ocorreram através do melhoramento vegetal, do controle químico e biológico de pragas, da modernização do maquinário agrícola e principalmente na utilização de sistemas de irrigação. Essas modificações possibilitaram a expansão das áreas agrícolas e trouxeram maiores ganhos de produtividade as lavouras. É indispensável para um correto dimensionamento e planejamento da irrigação o conhecimento da curva de retenção de água no solo. Essa curva relaciona a umidade do solo com a tensão com a qual a água está retida. Este trabalho tem por objetivo avaliar a água disponível do solo usando diferentes pontos de tensão na curva de retenção de água. Foram analisados grupos de tensões de tamanho igual a cinco para os horizontes Ap e B₂₂ para amostras de solos com estrutura deformadas e indeformadas, em que foram estimados os parâmetros θ_r , θ_s , α , n e m da curva de van Genuchten (1980) com o auxílio da ferramenta Solver um suplemento do Microsoft Excel que permite calcular equações não lineares através do cálculo de interações. As tensões que melhor se ajustaram ao modelo foram avaliadas pelo quadrado médio dos desvios (MSD). Verificou-se que: (a) a escolha das tensões influenciou a quantidade de água disponível no solo, aumentando ou diminuindo seu valor. (b) a ausência da tensão de 1,5 MPa na obtenção da curva de retenção de água alterou a quantidade de água disponível nos horizontes estudados. (c) as tensões de 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033 e 1,5 MPa foram as que apresentaram melhor ajuste para o horizonte Ap de estrutura deformada; (d) as tensões de 0,0005; 0,006; 0,01; 0,07 e 1,5 MPa foram as que apresentaram melhor ajuste para o horizonte Ap de estrutura indeformada; (e) as tensões de 0,0005; 0,01; 0,033; 0,07 e 1,5 Mpa foram as que apresentaram melhor ajuste para o horizonte B₂₂ de estrutura deformada; (f) as tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01 e 1,5 Mpa foram as que apresentaram melhor ajuste para o horizonte B₂₂ de estrutura indeformada. Os resultados mostram que há possibilidade de construção da curva de retenção de água com uma quantidade reduzida de valores de tensões.

Palavras-chave: Agricultura. Irrigação. Curva de retenção. Água disponível.

ABSTRACT

In recent years, Brazilian agriculture has undergone profound changes, these changes occurred through plant breeding, chemical and biological pest control, modernization of agricultural machinery and especially in the use of irrigation systems. These changes enabled the expansion of agricultural areas and brought major productivity gains crops. It is essential for correct sizing and planning of irrigation knowledge of water retention characteristic curve in the soil. This curve is related to the soil moisture tension with which the water is retained. This study aims to evaluate the achievement of the water retention curve through the mathematical model proposed by van Genuchten (1980). Thirty were analyzed and five groups size tension equal to five for Ap and B₂₂ horizons for soil samples with deformed and undeformed structure, where θ_r parameters were estimated θ_s , α or with the aid of the Solver tool a supplement Microsoft Excel for calculating nonlinear equations through interactions calculation. The tensions that best fit the model were evaluated by the mean square deviations (MSD). It was found that: (a) the choice of tensions influenced the amount of water available in the soil, increasing or decreasing its value. (b) the absence of tension of 1.5 MPa to obtain the water retention curve changes the amount of water available in the studied horizons. (b) tension 0.0005; 0.001; 0.006; 0.033 and 1.5 MPa showed the best fit to the horizon Ap the deformed structure; (c) tension 0.0005; 0.006; 0.01; 0.07 and 1.5 MPa showed the best fit to the horizon Ap the undeformed structure; (d) tension 0.0005; 0.01; 0.033; 0.07 and 1.5 MPa showed the best fit to the horizon B₂₂ deformed structure; (e) tension 0.001; 0.003; 0.006; 0.01 and 1.5 MPa showed the best fit to the horizon B₂₂ undeformed structure. The results show that there is possibility of constructing the water retention curve with a reduced amount of stress values.

Keywords: Agriculture. Irrigation. Retention curve. Available water.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Regressões lineares entre a umidade observada e a umidade estimada obtida através do modelo de van Genuchten. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de: 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 0,5 MPa (b) Horizonte Ap com estrutura indeformada, tensões de 0,0005; 0,006; 0,01; 0,07; 0,5 MPa (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,01; 0,033; 0,07; 0,5 MPa (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 0,5 MPa.....30
- Figura 2 – Regressões lineares entre a umidade observada e a umidade estimada obtida através do modelo de van Genuchten. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de: 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 1,0 MPa (b) Horizonte Ap com estrutura indeformada, tensões de 0,0005; 0,006; 0,01; 0,07; 1,0 MPa (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,01; 0,033; 0,07; 1,0 MPa (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 1,0 MPa.....31
- Figura 3 – Regressões lineares entre a umidade observada e a umidade estimada obtida através do modelo de van Genuchten. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de: 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 1,5 MPa (b) Horizonte Ap com estrutura indeformada, tensões de 0,0005; 0,006; 0,01; 0,07; 1,5 MPa (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,01; 0,033; 0,07; 1,5 MPa (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 1,5 MPa.....32
- Figura 4 – Curvas de retenção de água, obtidas para os dados observados e para o modelo estimado. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 0,5 MPa. (b) Horizonte Ap, com estrutura indeformada, tensões de 0,005; 0,006; 0,01; 0,07; 0,5 MPa. (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,005; 0,01; 0,033; 0,07; 0,5 MPa. (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 0,5 MPa.....33
- Figura 5 – Curvas de retenção de água, obtidas para os dados observados e para o modelo estimado. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 1,0 MPa. (b) Horizonte Ap, com estrutura indeformada, tensões de 0,005; 0,006; 0,01; 0,07; 1,0 MPa. (c) Horizonte B₂₂, com estrutura

deformada, tensões de 0,005; 0,01; 0,033; 0,07; 1,0 MPa. (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 1,0 MPa..... 34

Figura 6 – Curvas de retenção de água, obtidas para os dados observados e para o modelo estimado. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 1,5 MPa. (b) Horizonte Ap, com estrutura indeformada, tensões de 0,005; 0,006; 0,01; 0,07; 1,5 MPa. (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,005; 0,01; 0,033; 0,07; 1,5 MPa. (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 1,5 MPa35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Valores médios da distribuição granulométrica percentual e classificação textural do material de solo dos diversos valores horizontes.....	20
Tabela 2	– Valores médios de carbono orgânico, densidade global, densidade de partículas, microporosidade, porosidade total e superfície específica (St), dos horizontes amostrados.....	21
Tabela 3	– Valores médios do conteúdo de água, em porcentagem por volume obtido por secagem, de amostras com estrutura deformada (TFSA) e indeformada, de diversos horizontes do solo, nas tensões estudadas.....	22
Tabela 4	– Grupo de tensões analisadas, obtidas mediante combinação no Excel 2013.....	24
Tabela 5	– Parâmetros da equação de retenção de água no solo, umidade na capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente e água disponível estimadas para as tensões da tabela 3.....	26
Tabela 6	– Parâmetros da equação de retenção de água no solo, umidade na capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente e água disponível estimadas para as tensões que melhor se ajustaram ao modelo.....	27
Tabela 7	– Valores de MSD, RMSD e seus componentes SB, NU, LC e coeficiente de determinação (R^2) dos valores estimados para o modelo de van Genuchten (1980).....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Água Disponível no Solo
CC	Capacidade de Campo
Dr	Doutor
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Me	Mestre
Mha	Milhões de Hectares
MSD	Quadrado Médio dos Desvios
RMSD	Raíz Quadrada do MSD
SB	Quadrado das Bias
NU	Quadrado Médio para Declividade não Unitária
LC	Quadrado Médio para Falta de Correlação
PMP	Ponto de Murcha Permanente
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Alfa
Ψ	Psi
θ	Teta
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Água no Solo	17
3.2	Curva de Retenção de Água no Solo	18
3.3	Umidade do Solo	18
3.4	Capacidade de Campo	18
3.4	Ponto de Murcha Permanente	19
3.4	Água Disponível	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1	Atributos Físicos do Solo	20
4.2	Granulometria do Solo	20
4.3	Densidade e Porosidade Total	20
4.4	Conteúdo de Água no Solo nas Tensões Estudadas	21
4.5	Ajuste da Curva de Retenção de Água no Solo	21
4.6	Microsoft Office Excel 2013	22
4.7	Tensões Analisadas	22
4.8	Análise Estatística	23
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6	CONCLUSÃO	36
7	REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a agricultura brasileira passou por profundas transformações, essas mudanças ocorreram através do melhoramento vegetal, do controle químico e biológico de pragas, da modernização do maquinário agrícola e principalmente na utilização de sistemas de irrigação. Essas modificações possibilitaram a expansão das áreas agrícolas e trouxeram maiores ganhos de produtividade as lavouras.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o Brasil possui uma superfície territorial de 851 milhões de hectares (Mha), sendo que 7,8% de seu território é utilizado com lavouras, ou seja, uma área plantada de 66.378 Mha. De acordo com o levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), a safra de grãos de 2017/2018 foi de aproximadamente 229,75 milhões de toneladas, evidenciando desta forma o destaque do Brasil na produção agrícola.

Estima-se que 72% de toda a água consumida no Brasil é gasta na atividade de irrigação. Essa fração representa um consumo médio de 986 mil litros de água por segundo, visto que grande parte dessa água consumida é perdida através processo de evapotranspiração. O Brasil possui cerca de 6,95 Mha irrigados e que o potencial de expansão da agricultura irrigada seja de aproximadamente 30 Mha (ANA 2017). Desse modo, torna-se de grande importância para o meio ambiente e também para o bolso do produtor a utilização otimizada de água na agricultura.

O uso de sistemas de irrigação está condicionado a diversos fatores, tais como: disponibilidade de recursos financeiros, tipo de solo, clima da região, cultura a ser explorada, à disponibilidade de energia (sistemas pressurizados) e de água em quantidade e qualidade. Em regiões onde as chuvas são escassas e mal distribuídas, como as que ocorrem no Semiárido brasileiro, mais especificamente no Nordeste, onde as precipitações concentram-se entre os meses de fevereiro a junho (INPE, 2019), o que acaba tornando a agricultura um desafio para os agricultores dessa região, sendo portanto, a utilização de algum sistema de irrigação como a única saída que viabiliza a produção agrícola de diversas culturas durante todo o ano.

É indispensável para um correto dimensionamento e planejamento da irrigação o conhecimento da curva característica de retenção de água no solo. Essa curva relaciona a umidade do solo com a tensão com a qual a água está retida no solo. Há várias maneiras de determinar a umidade do solo. Dentre elas destacam-se, o uso de tensiômetros, sensores de reflectometria no domínio do tempo (TDR), sensores de resistência elétrica que tem com vantagem a rapidez e facilidade na obtenção dos dados em campo. A outra forma de

determinação da umidade é através do método gravimétrico, no qual é preciso coletar amostras de solo e levá-las ao laboratório. A principal vantagem deste método está na precisão e exatidão dos dados, entretanto, tem como desvantagens o custo e também é um procedimento que requer um maior tempo para determinação dos dados.

A modelagem matemática é uma ferramenta poderosa que tem permitido dentro das ciências agrárias a observação de comportamentos na água, nos solos e nas plantas de forma rápida e precisa. O uso desta ferramenta pode auxiliar os produtores rurais e técnicos agrícolas em suas tomadas de decisões diante de eventuais dúvidas, evitando-se, por exemplo que o agricultor aplique durante a irrigação uma quantidade de água superior à do qual o solo é capaz de armazenar, otimizando desta forma o consumo de água e reduzindo o risco de lixiviar os nutrientes necessários as plantas. Logo, a modelagem pode contribuir para melhores práticas de manejo e conservação da água e do solo, sendo efetiva não somente em pesquisas de laboratório, mas igualmente bem-sucedida fora dele.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

Avaliar a água disponível do solo usando diferentes pontos de tensão na curva de retenção de água.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimar a umidade na capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente e água disponível no solo para dois horizontes;
- Avaliar qual grupo de tensões melhor se ajusta ao modelo estudado;
- Avaliar a ausência da tensão de 1,5 MPa na quantidade de água disponível no solo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Água no Solo

A água cobre aproximadamente 3/4 da superfície da Terra, é elemento de extrema importância para manutenção da vida dos seres humanos, dos animais e das plantas (ONU, 1992). O solo é composto basicamente por: elementos minerais que corresponde a matriz do solo, por água que nesse caso recebe o nome de solução do solo, pois existe substâncias dissolvidas, e por ar. A distribuição de cada um desses elementos varia de solo para solo (BRAGA, 2005) e dependem de variáveis como o tempo, o clima, a vegetação, a biota, e ao material de origem deste solo (BRADY, 2013).

As plantas retiram os nutrientes de que elas precisam através das raízes que extraem no solo os elementos necessários para o seu crescimento e desenvolvimento, isso só é possível devido a presença de água em estado líquido. A água assim como qualquer corpo presente na biosfera está sujeita a influência de forças que governam a natureza. O estado energético da água no solo recebe o nome de potencial total da água, representada pela letra grega Ψ .

O potencial total da água no solo é formado pelo somatório dos componentes do potencial gravitacional (Ψ_g), potencial matricial (Ψ_m), potencial hidrostático (Ψ_h) e potencial osmótico (Ψ_o). Cada um desses componentes age em conjunto, interferindo no comportamento da água nos solos (BRADY, 2013). O potencial total da água no solo é representado pela seguinte equação:

$$\Psi = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_h + \Psi_o$$

O Ψ_g ocorre devido a presença da força do campo gravitacional terrestre que atua puxando os corpos na direção do centro da Terra. A força gravitacional é uma das responsáveis por remover o excesso de água nas camadas mais superficiais do solo para camadas mais profundas (BRADY, 2013). O Ψ_m corresponde a pressão negativa produzida pelas forças de adsorção e capilar devido o contato da água com a matriz do solo. O Ψ_m pode ser determinado em campo com o auxílio de sensores e em laboratório através da câmara de pressão de Richard. O Ψ_h ocorre quando a pressão da água é superior a pressão em um determinado ponto de referência. Por exemplo, zonas saturadas abaixo do lençol freático (BRADY, 2013). Ψ_o ocorre devido à presença de solutos inorgânicos e orgânicos na solução do solo.

3.2 Curva de Retenção de Água no Solo

A curva de retenção de água no solo representa a relação entre o conteúdo de água, em base de volume ou massa e o potencial matricial da água no solo (EMPRAPA, 2007). Através dessa curva é possível obter informações necessárias que orientam os produtores rurais e técnicos agrícolas no manejo da irrigação, possibilitando assim, reduzir o consumo de água e abater os gastos de energia com a redução nas horas de trabalho do conjunto motor-bomba sem comprometer a produção.

Segundo Junior (1995), o tipo de estrutura altera o formato geral da curva de retenção de água. De acordo com este autor, em solos argilosos a inclinação da curva de retenção de água é mais suave em virtude da distribuição dos poros serem mais uniforme, permitindo assim uma maior quantidade de água retida por adsorção. Já em solos arenosos, o autor afirma que a inclinação da curva é mais acentuada devido a predominância de poros de tamanhos maiores.

Vários modelos matemáticos foram concebidos para estimar a maneira como a água é retida no solo. Dentre eles, destacam-se os modelos de Burdine (1953), Brooks e Corey (1964), Mualem (1976), van Genuchten (1980), entre outros.

3.3 Umidade do Solo

É a quantidade de água retida nos poros de um determinado solo. Existem diversos métodos para determinação da umidade do solo, sendo o principal o gravimétrico, considerado o método direto padrão. O procedimento gravimétrico para determinar o teor de água do solo pode ser expresso de duas maneiras, a primeira forma é à base de massa (θ_m) determinada por $\theta_m = \frac{m_t - m_s}{m_t}$ em que θ_m , m_t , m_s são, respectivamente, umidade a base de massa do solo (g.g^{-1}), massa total (g), massa das partículas sólidas (g), massa úmida do solo. A segunda forma é à base de volume (θ_v) determinada por $\theta_v = \frac{m_u - m_s}{v_t}$ em que θ_v , m_u , m_s , v_t são, respectivamente, umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), massa úmida do solo (g), massa das partículas sólidas (g), e volume total da amostra (cm^3) (BRADY, 2013).

3.4 Capacidade de Campo

O solo pode ser idealizado como uma caixa de água formada pelo excedente das águas de chuva e ou de irrigação que adentram as suas camadas preenchendo os espaços vazios,

quando todos os microporos estão preenchidos com água dar-se o nome de capacidade de campo, ou seja, é a quantidade máxima de água que um solo é capaz de armazenar sem que ocorra perda por percolação ou escoamento superficial. Segundo Guerra (2004), a capacidade de campo deve ser determinada no local devido o dinamismo dos processos de remoção por drenagem, evapotranspiração serem fatores intrínseco de cada solo.

3.5 Ponto de Murcha Permanente

De acordo com Guerra (2004), o ponto de murcha permanente corresponde ao teor de umidade do solo, no qual os vegetais não conseguem mais extrair água e que se a deficiência de água da planta não for resolvida, levará a planta à morte.

O ponto de murcha permanente é definido por Brady (2013), como sendo a quantidade de água retida no solo quando o potencial de água é menor que -1,5 MPa. Segundo este autor, o solo nessa condição parecerá seco, apesar de armazenar um pouco de água ainda nos microporos na forma de películas, tendo as plantas grande dificuldade para extrair alguma água do solo.

Há vários trabalhos, analisando a retenção de água no solo que utilizaram a tensão de 1,5 MPa como padrão para determinar o ponto de murcha permanente. Dentre eles podemos citar: Beutler et al. (2002) Carducci et al (2011), Filgueiras et al (2016).

3.6 Água Disponível

É a quantidade de água armazenada no solo entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente que estará disponível para o crescimento das plantas. Sendo determinada pela equação $AD = \theta_{cc} - \theta_{pmp}$ em que AD, θ_{cc} , θ_{pmp} são, respectivamente, água disponível, umidade na capacidade de campo e umidade no ponto de murcha permanente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados para o presente trabalho foram oriundos da pesquisa realizada por Moreira e Silva (1987) na Unidade de Execução de Pesquisa (UEP) pertencente à Empresa Pernambucana de Pesquisas Agropecuárias (IPA), localizada no município de Goiana, PE. Foram selecionados os horizontes Ap e B₂₂ para amostras de solos com estrutura deformadas e indeformadas, utilizando-se 12 pontos de tensão.

4.1 Atributos Físicos do Solo

4.1.1 Granulometria do Solo

Os valores granulométricos utilizados neste trabalho foram determinados por Moreira e Silva (1987), seguindo uma metodologia similar a proposta por Genrich e Bremner (1974). Os resultados encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios da distribuição granulométrica percentual e classificação textural do material de solo dos diversos valores horizontes.

Horizonte	Profundidade (cm)	Areia			Silte	Argila	Classificação Textural
		Grossa	Fina %	Total			
Ap	0 - 25	52,8	36,7	89,5	4,7	5,8	Areia-Franca
B ₂₂	110 - 115	39,9	26,1	66	5,5	28,5	Franc. arg. arenoso

Fonte: Moreira e Silva (1987).

4.1.2 Densidade e Porosidade Total

A determinação da densidade global, densidade de partículas e porosidade total dos horizontes estudados foram realizados por Moreira e Silva (1987), seguindo a metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (1979). Os resultados encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 – Valores médios de carbono orgânico, densidade global, densidade de partículas, microporosidade, porosidade total e superfície específica (St), dos horizontes amostrados.

Horizonte	Profundidade (cm)	Carbono Orgânico	Densidade		Porosidade			St
			Global	Partículas	Micro	Macro	Total	
		%	g/cm ³			%		m ² /g
Ap	0 - 25	0,91	1,56	2,59	15,2	24,6	39,8	17,5
B22	110 - 115	0,44	1,48	2,60	21,1	22,0	43,1	50,5

Fonte: Moreira e Silva (1987).

4.1.3 Conteúdo de Água no Solo, nas Tensões Estudadas

Os dados do conteúdo de água no solo, em todos os pontos de tensões utilizados foram retirados do trabalho de Moreira e Silva (1987). Os resultados encontram-se na tabela 3.

Tabela 3 – Valores médios do conteúdo de água, em percentagem por volume obtido por secagem, de amostras com estrutura deformada (TFSA) e indeformada, de diversos horizontes do solo, nas tensões estudadas.

H	E	Tensão (MPa)											
		0,0005	0,001	0,003	0,006	0,01	0,033	0,07	0,1	0,3	0,5	1,0	1,5
		----- % -----											
Ap	1	50,40	47,00	31,84	14,40	11,92	8,10	7,07	6,88	6,57	6,33	6,04	5,63
	2	35,74	33,76	24,63	15,18	12,79	9,63	8,50	8,47	8,17	6,72	6,18	6,16
B ₂₂	1	57,42	56,18	36,20	24,98	19,65	18,99	16,78	16,32	14,80	14,03	13,94	13,82
	2	39,99	37,75	28,54	21,07	16,47	13,66	12,43	12,28	12,30	11,94	11,80	11,66

Fonte: Moreira e Silva (1987).

Onde:

H = Horizonte, Ap e B₂₂, com profundidade variando de 0 a 25 e 110 a 155 cm, respectivamente.

E = Estrutura, 1 deformada (TFSA) e 2 indeformada.

Ajuste da Curva de Retenção de Água no Solo

A partir do conjunto de dados de pontos de tensão versus conteúdo de água no solo, obtidos por Moreira e Silva (1987), foram ajustados com base no modelo proposto por van Genuchten (1980) que é dada por:

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

Em que:

θ	=	Umidade do solo, (% volume)
θ_r	=	Umidade residual do solo, (% volume)
θ_s	=	Umidade de saturação do solo, (% volume)
h	=	Tensão de água no solo, (MPa)
α, n e m	=	Parâmetros de ajuste do modelo, sendo $m = 1 - \frac{1}{n}$ e com $n > 0$

4.3 Microsoft Office Excel 2013

O Microsoft Office Excel possui uma ferramenta que pode ser utilizada para estimar os parâmetros da curva característica de retenção de água no solo. Esta ferramenta se chama Solver. O Solver é um suplemento que pode ser habilitado dentro do Microsoft Excel e permite resolver qualquer equação não-linear como é o caso do modelo proposto van Genuchten (1980).

Então, para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado a ferramenta descrita anteriormente para estimar os parâmetros θ_r , θ_s , α e n da equação 1.

4.4 Tensões Analisadas

Primeiramente, foram determinados os parâmetros θ_r , θ_s , α , n e m para os dois horizontes estudados. Isto é, para as doze tensões da tabela 3. Logo em seguida, foi calculado a quantidade de água disponível (AD) que foi obtida pela diferença entre a umidade do solo na capacidade de campo (θ_{cc}) e no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}). Admitiu-se como θ_{cc} e θ_{pmp} as umidades retidas nas tensões de 0,01 MPa e 1,5 MPa, respectivamente, de acordo com White (2005).

Calculou-se o valor da tensão (h) que foi obtida pela igualdade da derivada da equação da curva de retenção de água igual a um. Sendo calculado pela equação:

$$\frac{d\theta}{dh} = \frac{-m n \alpha^n (\theta_s - \theta_r) h^{n-1}}{[1 + (\alpha h)^n]^{m+1}} \quad (2)$$

O valor obtido para tensão (h), servirá como linha que dividirá ao meio os valores de tensão e umidade da tabela 3. Com isso, foram selecionadas quatro tensões acima do valor obtido para a tensão (h) mediante combinação e uma tensão abaixo, neste caso fixa em 1,5 MPa, ponto de murcha permanente. Foi analisado para o grupo de tensão que melhor estimou o modelo a substituição do valor de 1,5 MPa por 0,5 e 1,0 MPa respectivamente. Abaixo segue a sequência das etapas realizadas no Microsoft Excel para estimar os parâmetros (θ_r , θ_s , α e n) da equação 1 e para calcular o valor da tensão (h) na equação 4.

Para determinação dos parâmetros da equação 1 para todas as tensões e para cada grupo de combinação de tensões para os diferentes horizontes:

Na guia dados no Microsoft Excel, clicou-se em Solver, na janela que foi aberta procedeu-se da seguinte forma:

Definir objetivo: selecionou a célula que contém a SQD (Soma de Quadrado dos Desvios);

Para: Mínimo

Alterando células variáveis: θ_r , θ_s , α e n

Para o cálculo do valor da tensão (h) na equação 2:

Na guia dados no Microsoft Excel, clicou-se em Solver, na janela que foi aberta procedeu-se com o seguinte preenchimento:

Definir objetivo: selecionou a célula que contém a equação 2;

Valor de: 1

Alterando células variáveis: θ_r , θ_s , α , n e m

4.3 Análise Estatística

O desempenho do modelo foi avaliado pelo valor estimado em função do observado através da metodologia proposta por Gauch et al. (2003) e utilizada por Maia (2005). Segundo este pesquisador, essa metodologia consiste na decomposição do Quadrado Médio dos Desvios (MSD) em três partes: Quadrado da Bias (SB), Declividade Unitária (NU), Falta de Correlação (LC) e a raiz quadrada do MSD (RMSD), definidos pelas equações:

$$MSD = \frac{\sum (X_n - Y_n)^2}{N} \quad (3)$$

$$SB = (\bar{x} - \bar{y})^2 \quad (4)$$

$$NU = (1 - b)^2 \left(\frac{\sum (Xn - \bar{x})^2}{N} \right) \quad (5)$$

$$LC = (1 - r^2) \left(\frac{\sum (Yn - \bar{Y})^2}{N} \right) \quad (6)$$

$$MSD = SB + NU + LC \quad (7)$$

Onde:

X e $\bar{X}$ = Valores observados e médios, respectivamente

Y e $\bar{Y}$ = Valores observados e médios, respectivamente

N = Número de pares do modelo

r = Coeficiente de correlação

O valor obtido para tensão (h) calculado através da equação 2 foi de aproximadamente 0,1 para os dois horizontes analisados. Com isso, foram realizadas combinações de tamanho igual a quatro para os seguintes valores de tensões: 0,0005; 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 0,033 e 0,07 MPa.

Tabela 4 – Grupo de tensões (MPa) analisadas, obtidas mediante combinação no Excel 2013.

Tensões					Tensões				
0,0005	0,001	0,003	0,006	1,5	0,0005	0,006	0,033	0,07	1,5
0,0005	0,001	0,003	0,01	1,5	0,0005	0,01	0,033	0,07	1,5
0,0005	0,001	0,003	0,033	1,5	0,001	0,003	0,006	0,01	1,5
0,0005	0,001	0,003	0,07	1,5	0,001	0,003	0,006	0,033	1,5
0,0005	0,001	0,006	0,01	1,5	0,001	0,003	0,006	0,07	1,5
0,0005	0,001	0,006	0,033	1,5	0,001	0,003	0,01	0,033	1,5
0,0005	0,001	0,006	0,07	1,5	0,001	0,003	0,01	0,07	1,5
0,0005	0,001	0,01	0,033	1,5	0,001	0,003	0,033	0,07	1,5
0,0005	0,001	0,01	0,07	1,5	0,001	0,006	0,01	0,033	1,5
0,0005	0,001	0,033	0,07	1,5	0,001	0,006	0,01	0,07	1,5
0,0005	0,003	0,006	0,01	1,5	0,001	0,006	0,033	0,07	1,5
0,0005	0,003	0,006	0,033	1,5	0,001	0,01	0,033	0,07	1,5
0,0005	0,003	0,006	0,07	1,5	0,003	0,006	0,01	0,033	1,5
0,0005	0,003	0,01	0,033	1,5	0,003	0,006	0,01	0,07	1,5
0,0005	0,003	0,01	0,07	1,5	0,003	0,006	0,033	0,07	1,5

Tabela 4 – Grupo de tensões (MPa) analisadas, obtidas mediante combinação no Excel 2013.

Tensões					Tensões				
0,0005	0,003	0,033	0,07	1,5	0,003	0,01	0,033	0,07	1,5
0,0005	0,006	0,01	0,033	1,5	0,006	0,01	0,033	0,07	1,5
0,0005	0,006	0,01	0,07	1,5	-	-	-	-	-

Fonte: Autor, (2020).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A determinação da capacidade de campo pode ser feita através da curva de retenção de água, sendo possível obter a informação da água disponível (AD), informação importante utilizada no planejamento das irrigações. A AD corresponde à diferença entre o conteúdo de água retido na capacidade de campo 0,01 MPa e no ponto de murcha permanente de 1,5 MPa White (2005). Na tabela 5, é apresentada a AD estimada para os dois horizontes analisados.

Observa-se que independentemente do tipo de estrutura analisada o horizonte Ap foi o que reteve menos água em comparação com o horizonte B₂₂. Isso se deve ao fato do horizonte B₂₂ apresentar quase cinco vezes mais argila que o horizonte Ap (Tabela 1). Segundo Guerra (2004), solos de textura mais fina conseguem reter maior quantidade de água que solos de textura grosseira, isso acontece devido a argila possuir maior superfície específica e a apresentar maior porosidade. Beutler et al. (2002), verificou que a profundidade influenciava o conteúdo de água retido nas diferentes tensões

Tabela 5 – Parâmetros da equação de retenção de água no solo, umidade na capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente e água disponível, em porcentagem de volume estimadas para as tensões da tabela 3.

H	Prof. (cm)	E	Parâmetros					θ_{cc}	θ_{pmp}	AD
			θ_r	θ_s	α	n	m			
Ap	0 - 25	1	6,58	49,88	381,11	2,76	0,64	10,63	6,58	4,06
		2	7,14	36,55	467,20	2,13	0,73	9,71	7,14	2,57
B22	110 - 115	1	15,14	59,32	500,33	2,32	0,57	20,35	15,14	5,21
		2	11,90	40,31	433,59	2,15	0,53	17,07	11,91	5,15

Fonte: Autor (2019).

Onde:

H = Horizonte, Ap e B₂₂, com profundidade variando de 0 a 25 e 110 a 115 cm, respectivamente.

E = Estrutura, 1 deformada (TFSA) e 2 indeformada.

Tabela 6 – Parâmetros da equação de retenção de água no solo, umidade na capacidade de campo, umidade no ponto de murcha permanente e água disponível, em porcentagem de volume estimadas para as tensões que melhor se ajustaram ao modelo.

H	E	Parâmetros					Tensões (MPa)					θ_{cc}	θ_{pmp}	AD
		θ_r	θ_s	α	n	m								
Ap	1	6,87	51,33	517,15	2,53	0,60	0,0005	0,001	0,006	0,033	0,5	10,46	6,87	3,59
		6,69	51,38	518,33	2,50	0,60	0,0005	0,001	0,006	0,033	1,0	10,43	6,69	3,74
		6,44	51,46	520,28	2,47	0,60	0,0005	0,001	0,006	0,033	1,5	10,39	6,44	3,95
Ap	2	7,37	37,27	413,17	1,70	0,73	0,0005	0,006	0,01	0,07	0,5	12,16	7,38	4,78
		7,07	37,11	424,83	1,58	0,73	0,0005	0,006	0,01	0,07	1,0	12,27	7,09	5,19
		8,00	35,74	273,35	3,18	0,69	0,0005	0,006	0,01	0,07	1,5	10,58	8,00	2,58
B ₂₂	1	16,19	57,82	419,69	2,63	0,62	0,0005	0,01	0,033	0,07	0,5	20,15	16,19	3,95
		16,20	57,80	417,82	2,63	0,62	0,0005	0,01	0,033	0,07	1,0	20,17	16,20	3,97
		15,41	60,61	804,98	2,02	0,51	0,0005	0,01	0,033	0,07	1,5	20,72	15,44	5,28
B ₂₂	2	11,80	39,10	421,44	2,49	0,47	0,001	0,003	0,006	0,01	0,5	16,85	11,82	5,03
		11,69	39,13	421,63	2,47	0,47	0,001	0,003	0,006	0,01	1,0	16,83	11,71	5,12
		11,59	39,51	394,71	2,21	0,55	0,001	0,003	0,006	0,01	1,5	16,77	11,60	5,17

Fonte: Autor (2019).

Onde:

H = Horizonte, Ap e B₂₂, com profundidade variando de 0 a 25 e 110 a 115 cm, respectivamente.

E = Estrutura, 1 deformada (TFSA) e 2 indeformada.

Verifica-se que, quando foi substituída a tensão de 1,5 MPa pelas tensões de 0,5 e 1,0 MPa para o grupo de tensões que melhor se ajustaram ao modelo do horizonte Ap de estrutura deformada que houve uma variação pra menos na água disponível em 11,4 e 7,9%, respectivamente.

Constatar-se que, quando foi substituída a tensão de 1,5 MPa pelas tensões de 0,5 e 1,0 MPa para o grupo de tensões que melhor se ajustaram ao modelo do horizonte Ap de estrutura indeformada que houve uma variação muito elevada na água disponível em 85,9 e 101,7%, respectivamente.

Observa-se que, quando foi substituída a tensão de 1,5 MPa pelas tensões de 0,5 e 1,0 MPa para o grupo de tensões que melhor se ajustaram ao modelo do horizonte B₂₂ de estrutura deformada que houve uma variação alta na água disponível em 24,1 e 23,8%, respectivamente.

Perceber-se que, quando foi substituída a tensão de 1,5 MPa pelas tensões de 0,5 e 1,0 MPa para o grupo de tensões que melhor se ajustaram ao modelo do horizonte B₂₂ de estrutura indeformada que houve uma variação muito pequena na água disponível em 2,5 e 0,6%, respectivamente.

Notar-se, portanto, que a menor variação na quantidade de água disponível para todos os horizontes e estruturas analisadas ocorreram quando a tensão de 1,5 MPa esteve presente.

Tabela 7 – Valores de MSD, RMSD e seus componentes SB, NU, LC e coeficiente de determinação (R^2) para avaliação dos valores estimados e observados pelo modelo de van Genuchten (1980).

H	E	Tensões					MSD	RMSD	SB	NU	LC	R^2
Ap	1	0,0005	0,001	0,006	0,033	0,5	0,148	0,385	0,000	0,000	0,148	1,000
	2	0,0005	0,006	0,01	0,07	0,5	16,122	4,015	10,239	0,345	6,092	0,997
B ₂₂	1	0,0005	0,01	0,033	0,07	0,5	2,017	1,420	0,000	0,016	2,001	0,992
	2	0,001	0,003	0,006	0,01	0,5	2,803	1,674	1,833	0,000	0,991	1,000
Ap	1	0,0005	0,001	0,006	0,033	1,0	0,216	0,465	0,000	0,000	0,216	1,000
	2	0,0005	0,006	0,01	0,07	1,0	0,468	0,684	0,003	0,031	0,434	0,996
B ₂₂	1	0,0005	0,01	0,033	0,07	1,0	2,095	1,447	0,001	0,022	2,072	0,992
	2	0,001	0,003	0,006	0,01	1,0	0,063	0,251	0,000	0,000	0,063	1,000
Ap	1	0,0005	0,001	0,006	0,033	1,5	0,336	0,580	0,000	0,000	0,336	0,999
	2	0,0005	0,006	0,01	0,07	1,5	1,595	1,263	0,021	0,038	1,536	0,990
B ₂₂	1	0,0005	0,01	0,033	0,07	1,5	1,641	1,281	0,000	0,010	1,631	0,994
	2	0,001	0,003	0,006	0,01	1,5	0,047	0,217	0,000	0,000	0,047	0,999

Fonte: Autor (2019).

De acordo com Maia (2005), quanto menor o valor do MSD melhor será o ajuste pelo modelo. Então, o grupo de tensão que melhor descreve a curva de retenção será aquele que apresentar menor valor de MSD.

Comparando-se os horizontes estudados (tabela 6) perceber-se que os valores de MSD foram baixos, sendo que para o horizonte Ap de estrutura indeformada observou-se o maior valor (16,122) e que isso se deve principalmente ao intercepto da reta ajustada que foi de 61,40% e também em parte a falta de correlação 35,53%, entretanto, o coeficiente de determinação foi 0,997. Observa-se para as tensões estudadas que os valores de MSD foram

baixos, e que o coeficiente de determinação foi próximo de 1 para os dois horizontes analisados. Percebe-se que os valores unitários de SB, NU e LC foram extremamente baixos, indicando que o modelo estimou bem as tensões.

Os valores estimados em função dos observados, figura 3, para os dois horizontes analisados, mostram que esses grupos de tensões estimaram bem a água disponível, apresentando altos coeficientes de determinação, além disso, os coeficientes angulares e os interceptos da reta ajustada foram estatisticamente iguais a 1 e 0, respectivamente.

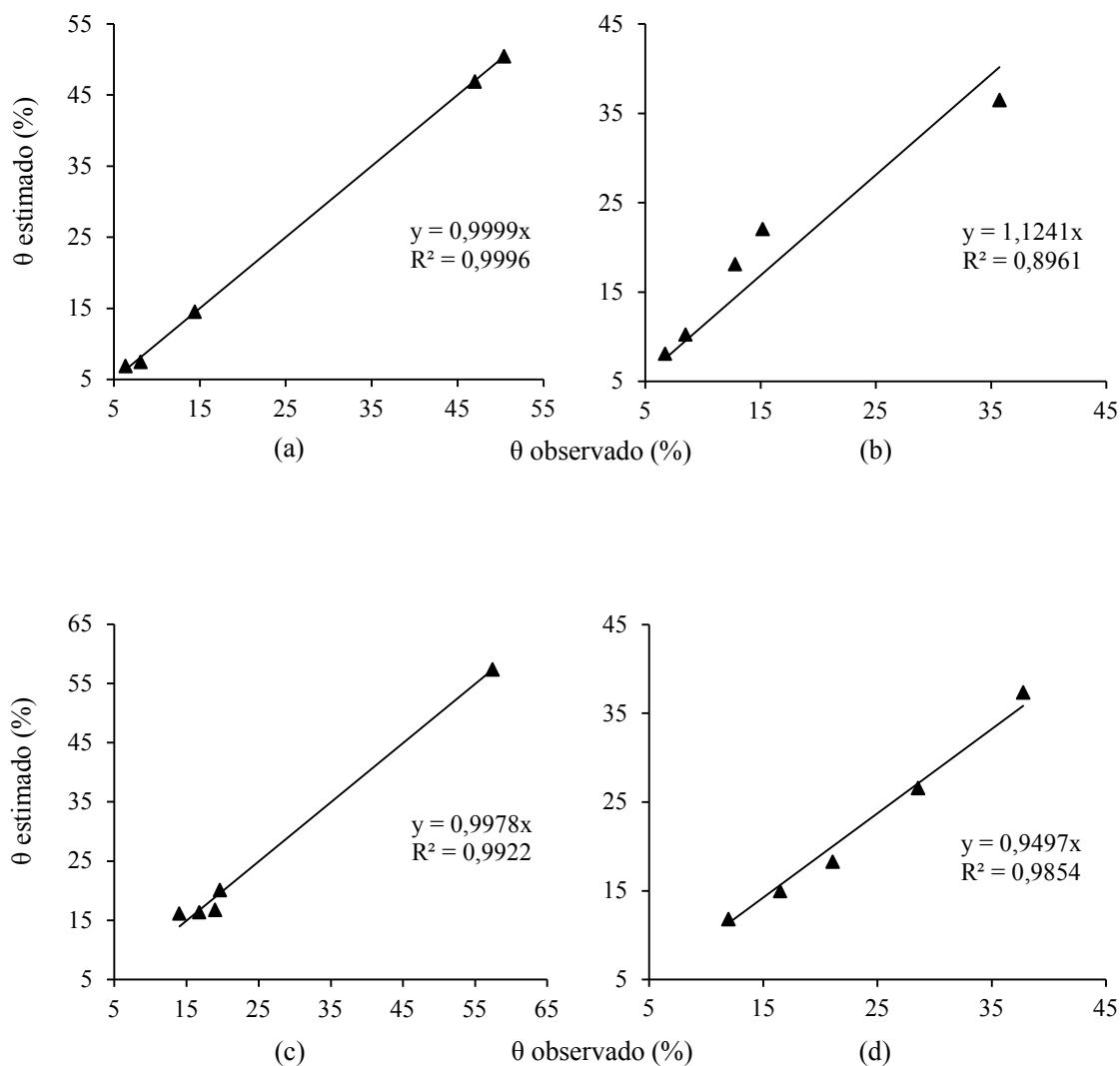


Figura 1 – Regressões lineares entre a umidade observada e a umidade estimada obtida através do modelo de van Genuchten. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de: 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 0,5 MPa (b) Horizonte Ap com estrutura indeformada, tensões de 0,0005; 0,006; 0,01; 0,07; 0,5 MPa (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,01; 0,033; 0,07; 0,5 MPa (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 0,5 MPa.

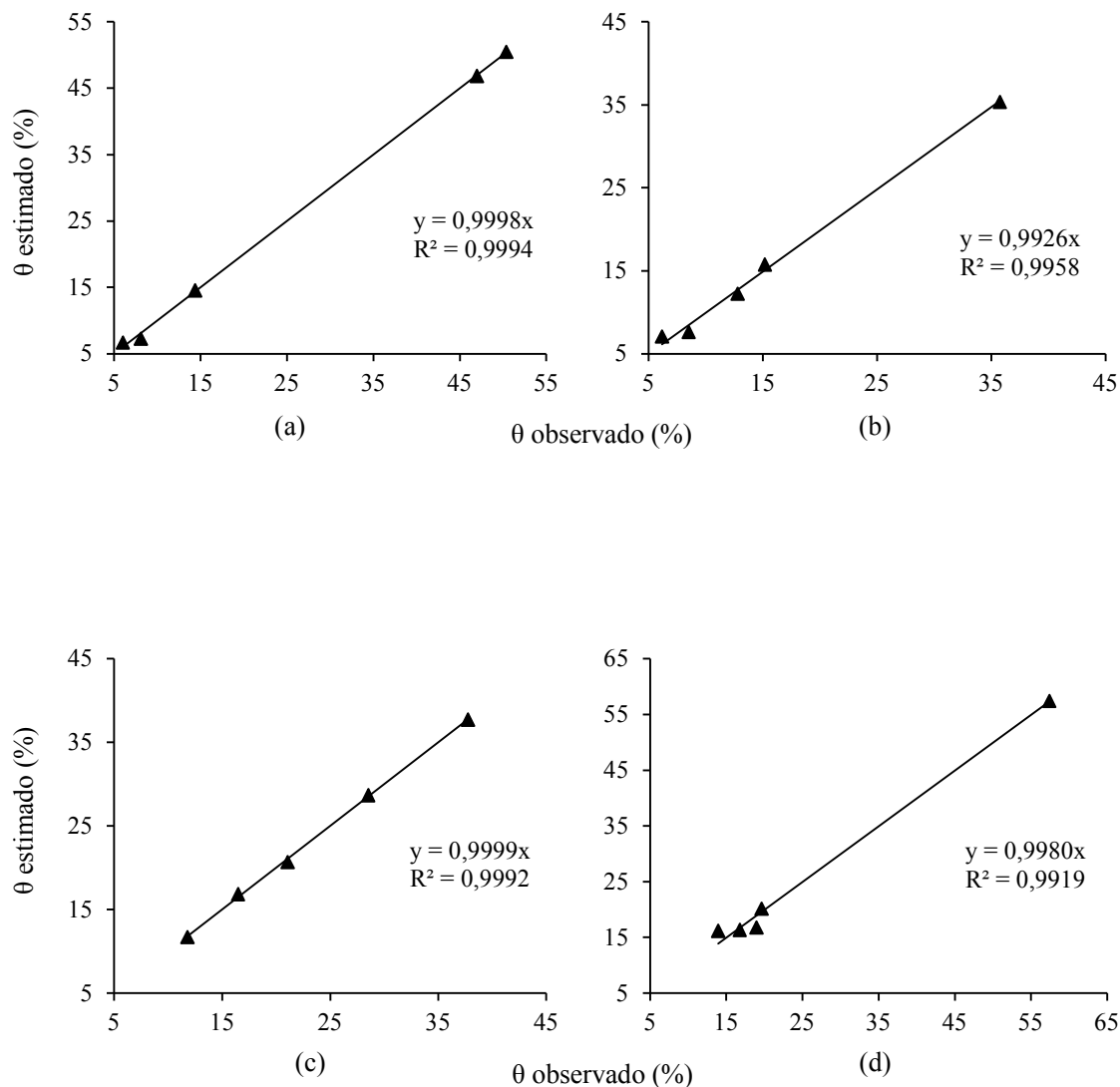


Figura 2 – Regressões lineares entre a umidade observada e a umidade estimada obtida através do modelo de van Genuchten. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de: 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 1,0 MPa. (b) Horizonte Ap com estrutura indeformada, tensões de 0,0005; 0,006; 0,01; 0,07; 1,0 MPa. (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,01; 0,033; 0,07; 1,0 MPa. (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 1,0 MPa.

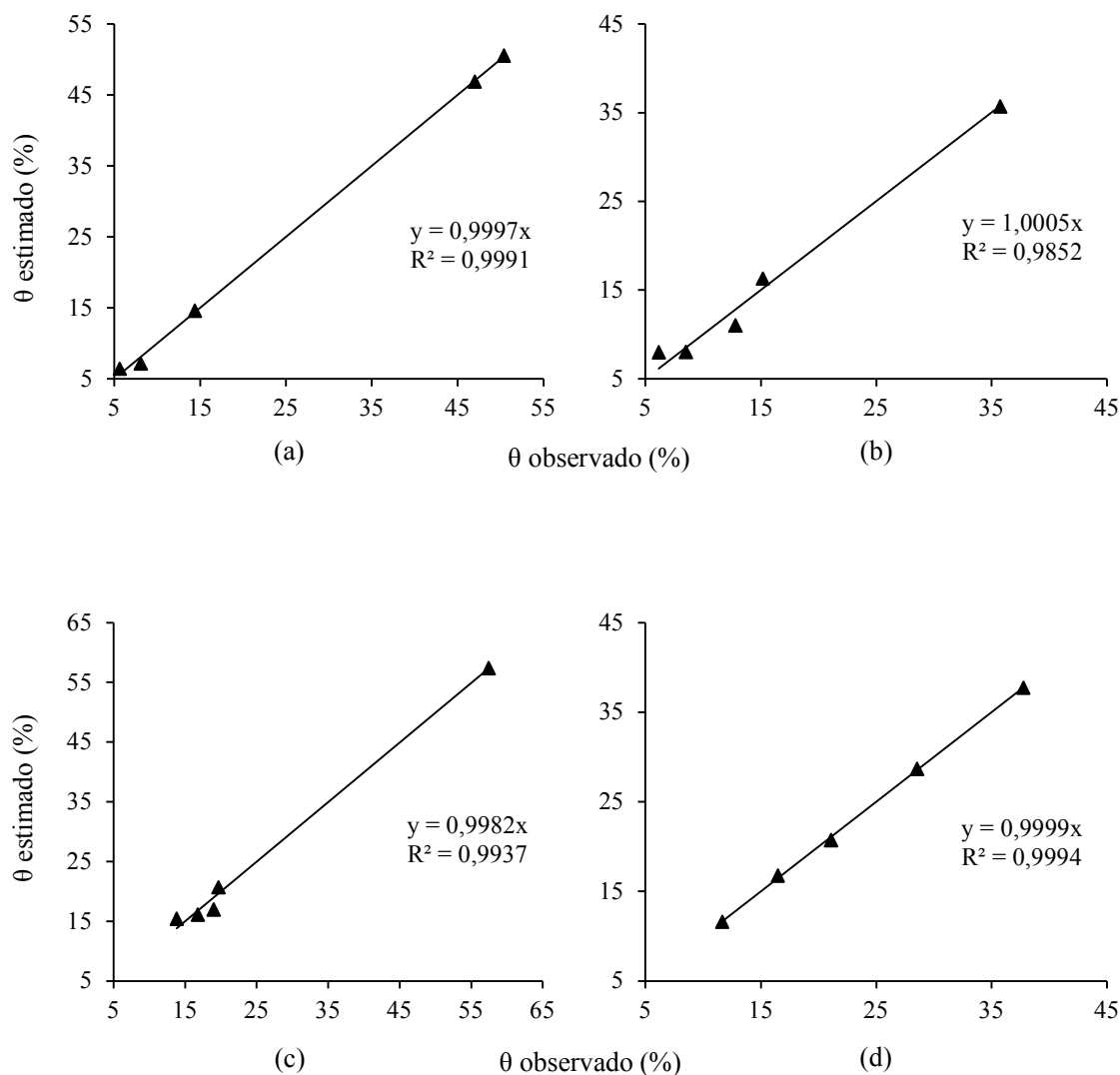


Figura 3 – Regressões lineares entre a umidade observada e a umidade estimada obtida através do modelo de van Genuchten. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de: 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 1,5 MPa. (b) Horizonte Ap com estrutura indeformada, tensões de 0,0005; 0,006; 0,01; 0,07; 1,5 MPa. (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,01; 0,033; 0,07; 1,5 MPa. (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 1,5 MPa.

As figuras 4, 5 e 6 apresentam as curvas de água que foram obtidas empregando-se as relações entre o teor de água do solo e a tensão em dois horizontes de estruturas diferentes.

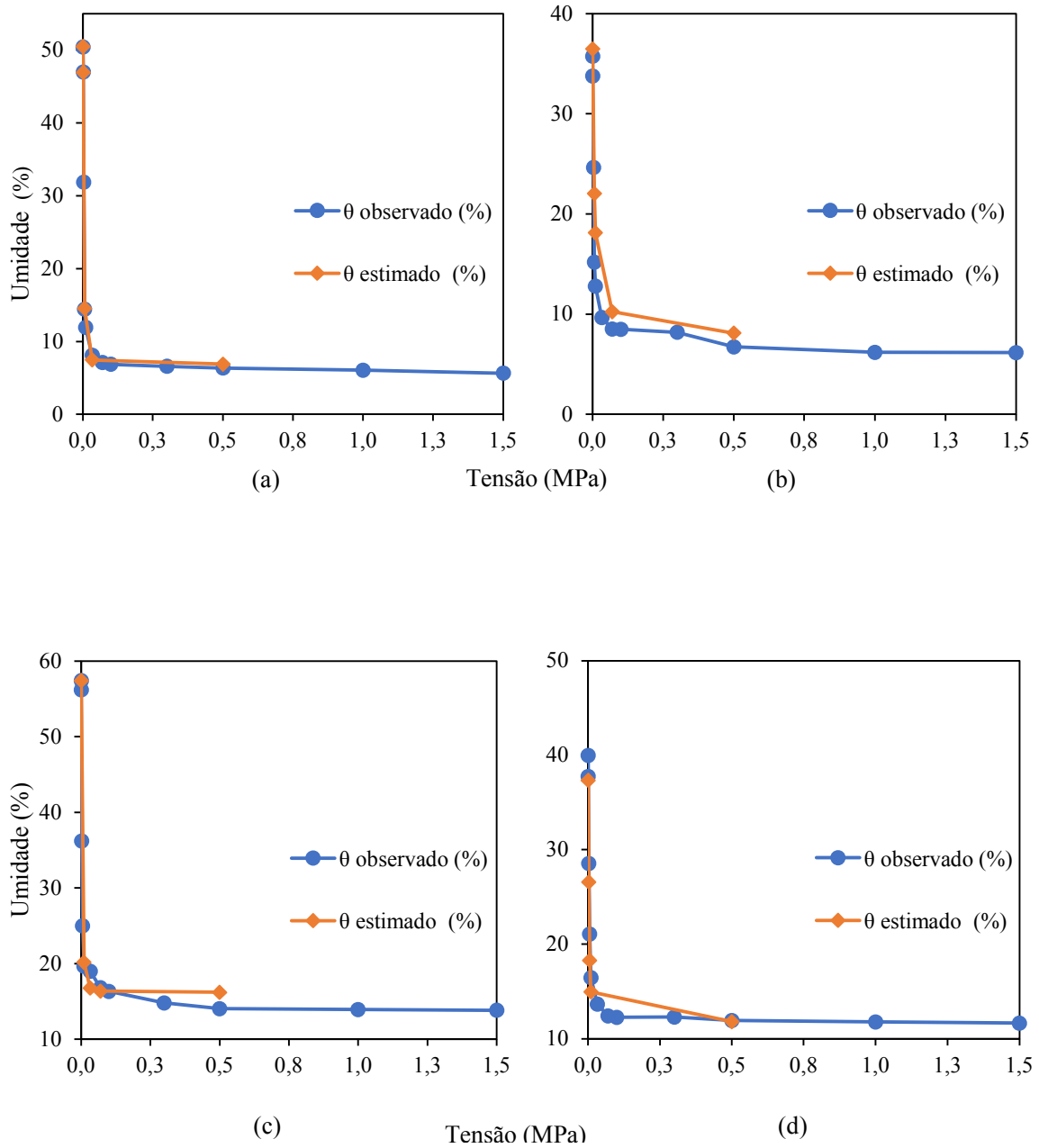


Figura 4 – Curvas de retenção de água, obtidas para os dados observados e para o modelo estimado. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 0,5 MPa. (b) Horizonte Ap, com estrutura indeformada, tensões de 0,005; 0,006; 0,01; 0,07; 0,5 MPa. (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,005; 0,01; 0,033; 0,07; 0,5 MPa. (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 0,5 MPa

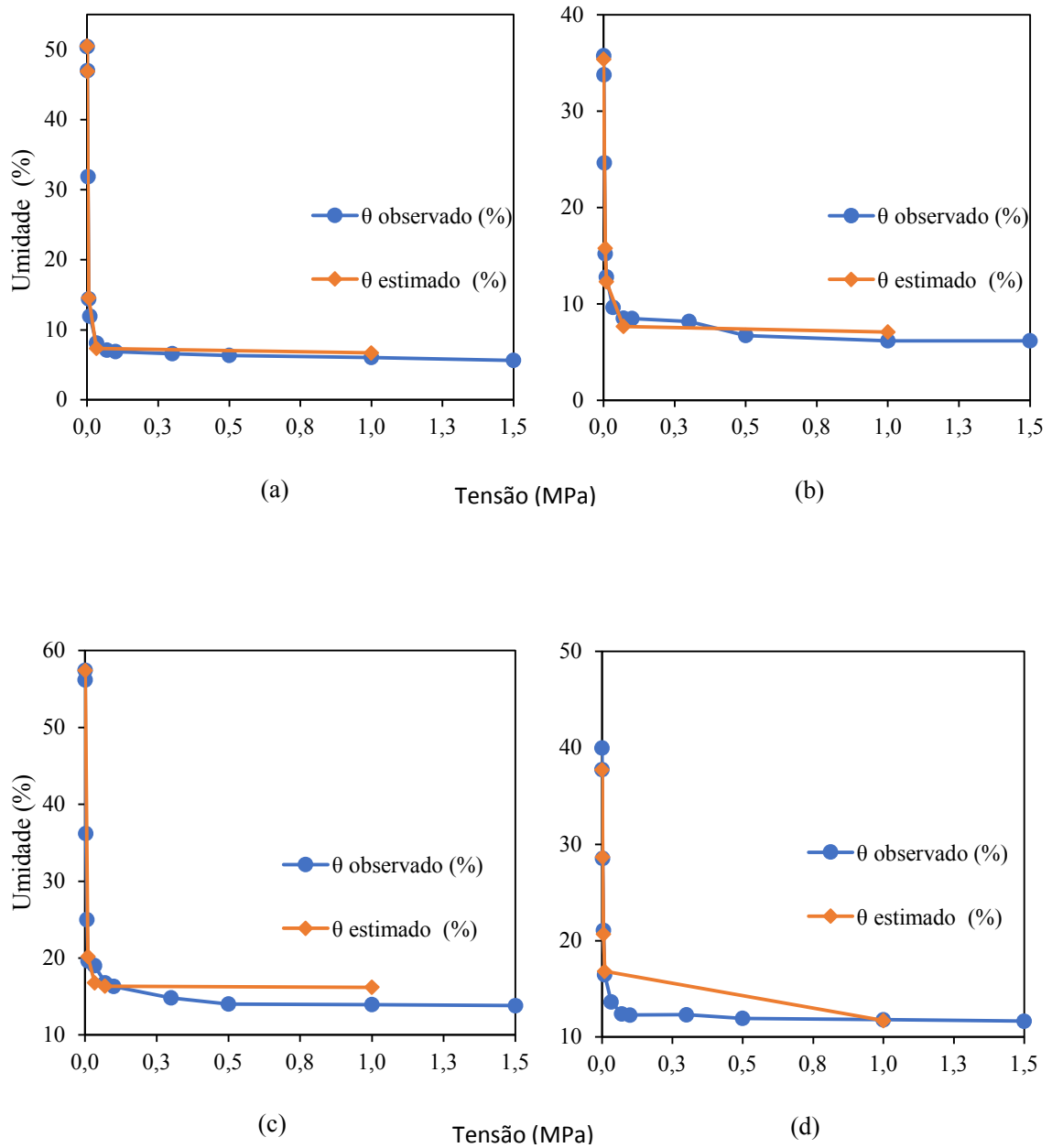


Figura 5 – Curvas de retenção de água, obtidas para os dados observados e para o modelo estimado. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 1,0 MPa. (b) Horizonte Ap, com estrutura indeformada, tensões de 0,005; 0,006; 0,01; 0,07; 1,0 MPa. (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,005; 0,01; 0,033; 0,07; 1,0 MPa. (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 1,0 MPa.

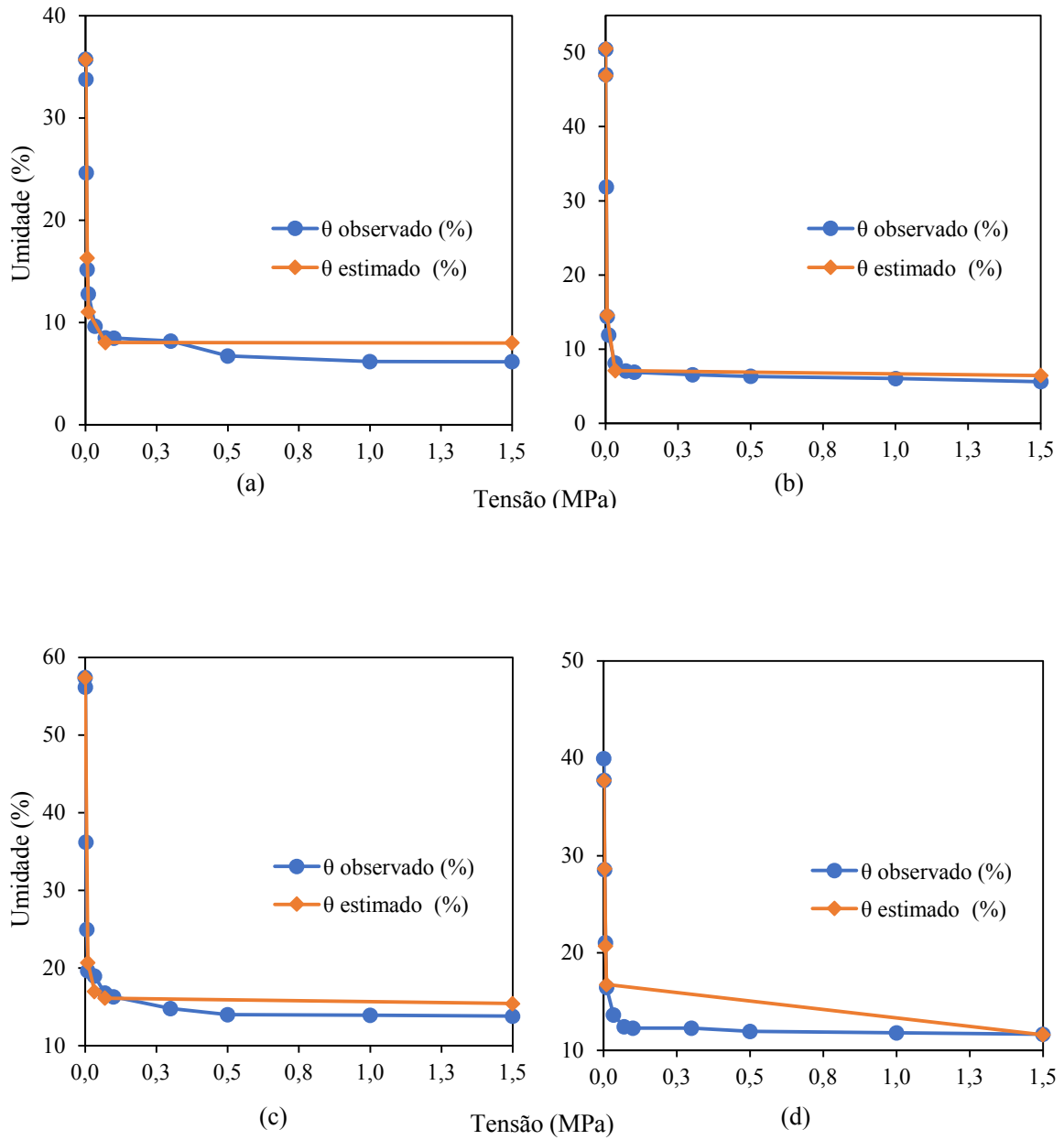


Figura 6 – Curvas de retenção de água, obtidas para os dados observados e para o modelo estimado. (a) Horizonte Ap, com estrutura deformada, tensões de 0,0005; 0,001; 0,006; 0,033; 1,5 MPa. (b) Horizonte Ap, com estrutura indeformada, tensões de 0,005; 0,006; 0,01; 0,07; 1,5 MPa. (c) Horizonte B₂₂, com estrutura deformada, tensões de 0,005; 0,01; 0,033; 0,07; 1,5 MPa. (d) Horizonte B₂₂, com estrutura indeformada, tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 1,5 MPa.

6. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que:

1. A escolha das tensões influecia a quantidade de água disponível no solo, aumentando ou diminuindo seu valor.
2. A ausência da tensão de 1,5 MPa na obtenção da curva de retenção de água altera a quantidade de água disponível nos horizontes estudados.
3. A metodologia aplicada neste trabalho mostrou-se eficiente e de fácil aplicação com os resultados indicando a possibilidade de construção da curva característica de retenção de água com uma quantidade reduzida de valores de tensões.

7. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação: Uso da água na agricultura irrigada**, Brasília: ANA, 2017. 86p.
- BEUTLER, A.N. et al. **Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos**. Revista. Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p. 829-834, 2002.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**, 3ª ed. Porto Alegre. Bookman. 2013. 667p.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.
- BROOKS, R.H. AND COREY, A.T. (1964) **Hydraulic Properties of Porous Media**. Hydrology Papers 3, Colorado State University, Fort Collins, 27 p.
- BURDINE, N.T. **Relative permeability calculation from size distribution data**. Trans. AIME, 198:71-78, 1953.
- CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. de; SEVERIANO, E. da C.; ZEVIANI, W. M. **Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 77-86, 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.9 Brasília, CONAB, 2018. 178p.
- EMBRAPA. **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório**. Teresina, PI, 2007.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1979.
- FILGUEIRAS, ROBERTO ET AL. **Modelos de curva de retenção de água no solo**. Irriga, v. 1, n. 1Special Issue irriga and inovagri, p. 115-120, 2016.
- GAUCH, G.H., HWANG, J.T.G., FICK, G.W. **Model evaluation by comparison of model-based predictions and measured values**. Agronomy Journal, v.95, p.1442-1446, 2003.
- GENRICH, D. A. & BREMNER, J. M. **Isolation of particles size fractions**. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 38:222-5, 1974.
- GUERRA, H. O. C. **Física dos Solos**, 2ª ed. Campina Grande, PB, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Estações**. INPE, 2019. Disponível em: <https://clima1.cptec.inpe.br/estacoes/>. Acesso em: 12 de dezembro de 2019.

JUNIOR, J. A. D. **Determinação do ponto de murchamento permanente, em três diferentes tipos de solos, utilizando-se os métodos fisiológico e da membrana**. Mossoró, RN, 1995.

MAIA, C. E. **Modelos matemáticos para estimativa da geometria do volume de bulbo molhado por irrigação por gotejamento superficial no agropolo Assu-Mossoró**. Campina Grande, PB, 2005.

MOREIRA, J.A.A. & SILVA, C.J.C.G. **Característica de retenção de água de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo de Goiana, Pernambuco**. Pesq. Agropec. Bras., 22:411- 418, 1987.

MUALEM, Y. **A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media**. Water Resources Research, Washington, v. 12, p. 513-522, 1976.

ONU. **Declaração Universal dos Direitos da Água, 1992**

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

VIEIRA B. D. **Noções de irrigação e drenagem**. Campinas: Faculdade de Engenharia de Limeira. 1986.

WHITE, R.E. **Principles and Practice of Soil Science**, 4th edition. Wiley-Blackwell. 2005. 384p.