



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO  
CURSO DE AGRONOMIA**

**SHARON GOMES RIBEIRO**

**AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE HORIZONTES COM E SEM  
CARÁTER COESO DE UM ARGISSOLO AMARELO**

**FORTALEZA**

**2018**

SHARON GOMES RIBEIRO

AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE HORIZONTES COM E SEM CARÁTER  
COESO DE UM ARGISSOLO AMARELO

Monografia apresentada à Coordenação do  
Curso de Agronomia do Centro de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola  
Romero.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- R372a Ribeiro, Sharon Gomes.  
Avaliação dos atributos físicos de horizontes com e sem caráter coeso de um Argissolo Amarelo / Sharon Gomes Ribeiro. – 2018.  
44 f.: il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.
1. Adensamento. 2. Porosidade. 3. Atributos físicos. I. Título.

CDD 630

---

SHARON GOMES RIBEIRO

AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE HORIZONTES COM E SEM CARÁTER  
COESO DE UM ARGISSOLO AMARELO

Monografia apresentada à Coordenação do  
Curso de Agronomia do Centro de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do Ceará,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Engenheira Agrônoma.

Aprovada em: 23/11/2018

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jaedson Claudio Anunciato Mota  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Agrônoma Ms. Francisca Gleiciane da Silva  
Doutoranda em Ciências do Solo (UFC)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pelo dom da vida, pela saúde, proteção e por conceder-me a força e entusiasmo para continuar e vencer mesmo nos momentos mais difíceis;

Aos meus pais, Valdivino Miguel e Raimunda Gomes Ribeiro, ao zelo e dedicação por minha educação, pelo amor e apoio incondicional para que eu alcançasse os meus objetivos.

À minha avó de coração, Joana Maria de Jesus, por toda a ajuda e incentivo em cada fase de minha trajetória, pelo amor dedicado a mim sempre.

À minha prima, Melissa Gomes, pelo carinho a mim dedicado, por me incentivar e me apoiar a ser uma engenheira agrônoma desde os primeiros passos pela vida acadêmica.

À Universidade Federal do Ceará, ao Programa de Iniciação à Docência e ao Programa de Iniciação Científica, pela significativa contribuição na minha formação acadêmica e profissional.

Ao Professor Ricardo Espíndola Romero, por todo apoio, ensinamento, confiança e orientação conferida a mim desde o início até a finalização da minha graduação.

Aos membros da banca examinadora: Professor Dr. Jaedson Claudio Anunciato Mota e Ms. Francisca Gleiciane da Silva, pelo tempo disponibilizado, pelas valiosas colaborações e sugestões.

A todos os professores do Departamento de Ciências do Solo, pelo profissionalismo, dedicação e ensinamentos que influenciaram de maneira grandiosa na minha formação e realização deste trabalho.

A todos os membros do Laboratório de Pedologia que contribuíram no meu cotidiano: Edilaine, Leonardo, Luíza, Sabrina e Luis Felipe, pelos os momentos de descontração que aliviaram as tensões e ensinamentos durante o período em que fiz parte da equipe.

Aos melhores amigos que a Universidade me proporcionou: Matheus Carlos, Júlia Quieros, Jesimiel Viana, Idayane Souza, Maria Fgenia, Leonardo Quirino e Rubens Zimmermann, pelos momentos de alegria proporcionados mesmo nos momentos difíceis e por me acompanharem durante toda a trajetória sendo amigos inesquecíveis.

Agradeço imensamente a Elizabete, Juliana, Brenda, Sabrina e Karícia, pelo apoio, e pela longa amizade compartilhada.

## RESUMO

Os solos de Tabuleiros Costeiros representam uma parcela significativa no Nordeste brasileiro, sendo os Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos mais frequentemente encontrados nesta unidade geoambiental, estes solos comumente apresentam um atributo diagnóstico denominado de caráter coeso em um ou mais horizontes subsuperficiais e apresentam consistência muito dura a extremamente dura quando secos e, quando umedecidos, exibem uma consistência friável ou firme. Com base na hipótese de que horizontes com caráter coeso apresentam características que influenciam em seu adensamento, o presente trabalho teve como objetivo realizar a avaliação física de um horizonte Bt morfologicamente caracterizado como coeso, analisando um horizonte sem caráter coeso como comparativo. Utilizou-se neste trabalho amostras coletadas em duplicata do horizonte A que não apresenta caráter coeso e horizonte Bt com caráter coeso de um Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico, localizado no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará para a avaliação da densidade do solo e de partículas, porosidade total, macro e microporosidade e confecção da curva característica de retenção de água no solo utilizando o modelo de Van Genuchten para o ajuste de umidade, sendo aplicadas tensões de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 33, 100, 700 e 1500 kPa, já para avaliações granulométricas as amostras foram analisadas em triplicata. No que diz respeito à granulometria, o horizonte Bt com caráter coeso apresentou textura franco argiloarenosa, enquanto o horizonte A foi classificado como areia franca, observou-se que, na fração areia, ambos horizontes apresentavam predominância de areia média e fina, havendo uma redução de areia total e um acúmulo de argila em profundidade. O horizonte Bt com caráter coeso também apresentou densidade de solo de  $1,52 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo superior àquela verificada no horizonte A, de  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ , mas apresentou densidade de partículas relativamente menor. A porosidade total também foi reduzida em profundidade, ou seja, o horizonte A apresentou um maior volume de poros totais, bem como volume de macroporos, enquanto o horizonte Bt com caráter coeso apresentou uma dominância de microporosidade. A curva característica de retenção de água mostrou que o horizonte coeso possui capacidade de reter mais umidade em relação ao horizonte A, mesmo se submetido a elevadas tensões. Com isso, as análises realizadas nesta pesquisa confirmaram a caracterização do horizonte Bt com caráter coeso quanto seu aspecto físico.

**Palavras chaves:** Adensamento; Porosidade; Atributos físicos.

## ABSTRACT

Soils of Coastal Boards represent a significant portion in the Brazilian Northeast, with Latossolos Amarelos and Argissolos Amarelos most frequently found in this geoenvironmental unit, these soils commonly have a diagnostic attribute called cohesive in one or more subsurface horizons and have a very hard to extremely hard consistency when dried, and when moistened they exhibit friable or firm consistency. Based on the hypothesis that cohesive horizons present features that influence its densification, the present work aimed to perform the physical evaluation of a Bt horizon morphologically characterized as cohesive, making a comparison with a horizon without cohesive character. Samples were collected in duplicate of the A horizon that does not have a cohesive character and Bt horizon with a cohesive character of a Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico, located in Campus do Pici of the Universidade Federal do Ceará for the evaluation of soil and particle density, total porosity, macro and microporosity, and preparation of the water retention characteristic curve in the soil using the Van Genuchten model for moisture adjustment, applying stresses of 0, 2, 4, 6, 8, 10, 33, 100, 700 and 1500 kPa, while for the granulometry, the samples were analyzed in triplicate. As far as the granulometry is concerned, the cohesive horizon presented a clay-sandy loam texture, while the non-cohesive horizon was classified as free sand, it was observed that, in the sand fraction, both horizons presented predominance of medium and fine sand, with a reduction of total sand and a clay accumulation in depth. The Bt horizon with cohesive character also presented a soil density of  $1.52 \text{ g cm}^{-3}$ , being higher than that verified in horizon A, of  $1.40 \text{ g cm}^{-3}$ , but presented a relatively lower density of particles. The total porosity was also reduced in depth, that is, the horizon A presented a higher total pore volume as well as macropore volume, while the Bt horizon with cohesive character showed a dominance of microporosity. The characteristic water retention curve showed that the cohesive horizon has the capacity to retain more moisture in relation to the A horizon even under high stress. With this, the analyzes carried out in this research confirmed the characterization of the Bt horizon with cohesive character regarding its physical aspect.

**Key words:** Density, Porosity, Physical Attributes

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Trado tipo Uhland para coleta de material indeformado .....	23
Figura 2	– Amostras dos horizontes A e Bt com caráter coeso e prova em branco, respectivamente, em solução para análise granulométrica .....	24
Figura 3	– Mesa de tensão.....	26
Figura 4	– Placa porosa de Richard.....	26



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Médias referentes à densidade do solo ( $D_s$ ) e densidade de partículas ( $D_p$ ) dos horizontes com e sem caráter coeso .....	31
Gráfico 2 – Valores médios de porosidade total, macro e microporosidade nos horizontes A e Bt com caráter coeso .....	33
Gráfico 3 – Curva característica de retenção de água no solo para os horizontes A e Bt com caráter coeso.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Características granulométricas e classe textural dos dois horizontes avaliados.....	29
Tabela 2	– Valores médios dos parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten utilizados para confecção da curva dos dois horizontes estudados, expressos pelo Table Curve 2D.....	37

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1	<b>Coesão entre partículas de solo.....</b>	<b>14</b>
2.2	<b>Caráter coeso.....</b>	<b>15</b>
2.3	<b>Atributos de caracterização física do horizonte com caráter coeso.....</b>	<b>16</b>
2.3.1	<i>Textura.....</i>	<b>16</b>
2.3.2	<i>Porosidade total.....</i>	<b>17</b>
2.3.3	<i>Macro e microporosidade.....</i>	<b>19</b>
2.3.4	<i>Densidade.....</i>	<b>20</b>
2.3.5	<i>Retenção de Água no Solo.....</i>	<b>20</b>
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3.1	<b>Amostragem.....</b>	<b>23</b>
3.2	<b>Análise granulométrica.....</b>	<b>24</b>
3.3	<b>Curva característica de retenção de água no solo (CCRAS).....</b>	<b>25</b>
3.4	<b>Densidade do solo e densidade de partículas.....</b>	<b>27</b>
3.5	<b>Porosidade total, macro e microporosidade.....</b>	<b>28</b>
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
4.1	<b>Análise granulométrica.....</b>	<b>29</b>
4.2	<b>Densidade do solo e de partículas.....</b>	<b>31</b>
4.3	<b>Porosidade total, macro e microporosidade.....</b>	<b>33</b>
4.4	<b>Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS).....</b>	<b>34</b>
5	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>
	<b>ANEXO 1 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO SOLO UTILIZADO</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro apresenta ao longo de toda sua extensão litorânea, uma unidade geomorfológica denominada de Tabuleiros Costeiros onde se desenvolveram solos provenientes de sedimentos da Formação Barreiras, segundo relatório da Embrapa (2014) esta área corresponde a cerca de 8,4 milhões de hectares na região.

Por serem em sua maioria profundos, de textura leve e devido à grande extensão e boa localização em relevo plano a ondulado, os solos dos Tabuleiros Costeiros têm sido de grande importância para a exploração agrícola, entretanto tais solos também se caracterizam comumente pela baixa fertilidade natural e por apresentarem características físicas que podem interferir no potencial produtivo devido a presença de horizontes com caráter coeso.

O caráter coeso é descrito pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018) como um atributo diagnóstico que caracteriza horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados muito resistentes à penetração quando secos, possuindo consistência dura a extremamente dura e, quando úmidos, passam a ser friáveis a firmes. Na área dos Tabuleiros Costeiros há a predominância de solos das classes dos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos, podendo haver ocorrência também de Argissolos Acinzentados, Argissolos Vermelho-Amarelos, Plintossolos e Latossolos Vermelho-Amarelos em proporções menores, tais solos geralmente apresentam horizontes com caráter coeso a partir de 0,30m de profundidade, o que pode dificultar o aprofundamento do sistema radicular, bem como a absorção de nutrientes e água pelas plantas.

A diferença marcante entre as consistências seca e úmida de um horizonte que apresenta caráter coeso pode ser considerada limitante para o manejo na região Nordeste, onde as chuvas ocorrem de maneira irregular, pois no período de estiagem há a limitação do crescimento radicular em profundidade e no período chuvoso, apesar da resistência reduzir, pode haver a limitação da aeração em solos com horizontes com caráter coeso mais argilosos.

Para fins de manejo, faz-se necessário o conhecimento das características do solo o qual se deseja cultivar e para isso, deve-se levar em consideração não apenas suas análises químicas e morfológicas, mas também os atributos físicos que podem influenciar em seu desempenho.

Alguns atributos físicos têm sido utilizados para monitorar a funcionalidade de um horizonte com caráter coeso, tais como a porosidade total, macro e microporosidade, densidade, textura e capacidade de retenção de água.

Tendo como base a hipótese de que horizontes com caráter coeso apresentam características que influenciam em seu adensamento, objetivou-se com este trabalho a análise dos atributos físicos de um horizonte morfologicamente classificado como coeso de um Argissolo Amarelo presente no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará, ao se avaliar o desempenho de retenção de água, bem como espaço poroso, densidade e textura em comparação a um horizonte que não apresenta caráter coeso do mesmo solo em estudo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Coesão entre partículas de solo

A coesão é definida como uma força eletrostática responsável pela atração entre superfícies de partículas de mesma natureza. No solo, a coesão juntamente com o atrito entre as partículas sólidas são atributos essenciais responsáveis por sua resistência ao cisalhamento. Pinto (2000) define resistência ao cisalhamento como a máxima tensão suportada pelo solo sem que haja ruptura, e esta pode ser influenciada por fatores como teor de água, densidade, estrutura e conformação das partículas do solo.

A coesão acontece por diversos fatores, podendo ser classificada como real e aparente, onde a primeira acontece devido à aproximação das partículas sólidas do solo e/ou pela ação de agentes cimentantes como os óxidos e as argilas, enquanto a segunda ocorre pelo resultado da tensão superficial da água que forma meniscos nos capilares do solo, sendo responsável pela aproximação de suas partículas (SILVA e CABEDA, 2005; SILVA e CARVALHO, 2007)

A coesão aparente constitui uma parcela da resistência à ruptura em solos úmidos e é um fenômeno de atrito entre as suas partículas sólidas, no qual a tensão que a determina é proveniente da pressão capilar e, com a saturação do solo, esta parcela de resistência desaparece, o que justifica esta classificação. Pode-se afirmar que há uma relação inversamente proporcional entre a resistência ao cisalhamento e o teor de água no solo devido a diminuição da curvatura do menisco da água entre as partículas quando o solo é submetido à saturação. Logo, a medida que o teor de água aumenta, a coesão aparente diminui gradativamente (PINTO, 2000; BRAIDA et al., 2007; SILVA E CARVALHO, 2007).

É importante salientar que, em solos onde há uma quantidade significativa de agentes cimentantes, a coesão real apresenta parcelas igualmente significativas na resistência à penetração em solos mais secos, devido ao aumento da densidade e microporosidade, reduzindo assim sua porosidade total (SILVA e CARVALHO, 2007).

Vale ressaltar que a coesão no solo pode se intensificar devido ao adensamento e/ou compactação do solo, sendo o primeiro um processo natural de redução do espaço poroso e aumento da densidade ocasionado por iluviação, precipitação química ou dessecação, já a compactação é uma ação antrópica a qual reduz o volume do solo por compressão, o que causa

um rearranjo mais denso das partículas de solo e subsequente redução da porosidade (CURI, 1993 apud RIBEIRO, 2001).

## **2.2 Caráter coeso**

O aumento da coesão natural nos solos leva à formação de horizontes com caráter coeso e, tendo em vista a sua definição e de como pode ser formado, torna-se possível a sua identificação como atributo morfológico do solo.

O caráter coeso é um termo usado para designar solos com horizontes subsuperficiais adensados e muito resistentes à penetração de faca ou martelo pedológico. Horizontes que apresentam esse atributo diagnóstico, quando secos, são de difícil penetração, sendo muito duros a extremamente duros, já quando úmidos se tornam friáveis a firmes, ou seja, uma amostra úmida se deforma lentamente quando submetida à compressão, no entanto, quando imersa em água, desmancha-se. O caráter coeso é comumente observado em horizontes transicionais AB e/ou BA, de textura média, argilosa ou muito argilosa, podendo ser encontrado entre 30cm e 70cm de profundidade (EMBRAPA, 2018).

Em termos geográficos, os solos com caráter coeso são de significativa importância para o Brasil, pois estão dispostos na faixa dos Tabuleiros Costeiros, sendo distribuídos por quase toda a faixa litorânea brasileira, desde o Amapá até o Estado do Rio de Janeiro.

A unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros possui um relevo que pode variar de plano a suave ondulado, formando uma superfície tabular de solos profundos que podem estar próximos a encostas com forte declividade. Os solos classificados como Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos são aqueles que apresentam uma maior extensão sobre os tabuleiros, porém em alguns levantamentos já realizados foi encontrada, com menor frequência, alguns Plintossolos (JACOMINE, 2001) bem como Argissolos Acinzentados, Argissolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Vermelho-Amarelo.

No Nordeste, cerca de 9 milhões de hectares são ocupados por solos de Tabuleiros Costeiros, o que pode gerar limitações para agricultura da região, pois a presença de solos com caráter coeso juntamente com a irregularidade pluvial na região reduz a produtividade das culturas, a presença de seções coesas e longos períodos de seca auxiliam no aumento da resistência do solo à penetração de raízes, impedindo as culturas de manifestarem todo o seu potencial genético de produção (SILVA E GIAROLA, 2001; DOMPIERI et al., 2015).

Além de limitar o crescimento radicular, os horizontes com caráter coeso reduzem a infiltração da água no solo, o que pode levar ao aumento no escoamento superficial da água proveniente da chuva ou da irrigação. Os solos que apresentam alto teor de argila em seus horizontes com caráter coeso são os que geram mais limitações na produtividade, pois em caso de déficit hídrico, o sistema radicular é limitado pela alta resistência à penetração de raízes e, por outro lado, em épocas chuvosas a falta de aeração é o fator limitante do crescimento (RIBEIRO, 2001).

### **2.3 Atributos de caracterização física do horizonte com caráter coeso**

#### **2.3.1 Textura**

Centeno et al. (2017) conceitua textura como a característica do solo referente às partículas de areia, silte e argila e a sensação proporcionada por estas ao tato, sendo diferenciada da granulometria pelo fato de a primeira está relacionada à análise quantitativa destas partículas presentes na massa de solo. Para Santos et al. (2013), a textura é referente à proporção das frações granulométricas das partículas primárias que compõe um determinado volume de solo podendo ser avaliada pelo tato. Pode-se inferir então que para se realizar uma análise de textura mais completa, faz-se necessário que esta seja avaliada com auxílio do tato, procedendo à avaliação das proporções das frações de areia, silte e argila da massa de solo por meio de análises granulométricas tornando possível a classificação textural do solo ou horizonte de interesse.

A textura é um atributo físico muito importante para a avaliação da qualidade do horizonte devido sua influência nos fenômenos de adesão e coesão entre suas partículas, sendo também imprescindível para que possa ter entendimento sobre a retenção de água no solo (MENEZES, 2016; CENTENO et al., 2017). Lima Neto et al. (2009) afirmam que os solos com horizontes coesos apresentam textura média a argilosa, estando relacionados aos sedimentos bastante intemperizados da Formação Barreiras.

Horizontes com caráter coeso normalmente apresentam classe textural que varia de franco argiloarenosa a argiloarenosa, não sendo observada a ocorrência deste caráter em horizontes de textura arenosa. Jacomine (1996) observou que o incremento de argila em um Argissolo Amarelo influenciou na ocorrência do caráter coeso em profundidades próximas a 1,0m, porém vale ressaltar que o incremento de argila não está necessariamente relacionado com a ocorrência do caráter coeso e é um atributo que, se observado individualmente, é insuficiente para justificar sua gênese, pois o caráter coeso pode também ser encontrado na



classe dos Latossolos, os quais não apresentam diferenciação significativa no teor de argila em profundidade, havendo também aqueles que possuem incremento de argila, porém não há a ocorrência do caráter coeso.

Alguns autores observaram uma faixa de variação muito ampla nos teores de argila em horizontes com caráter coeso distribuídos pelo Nordeste, correspondendo entre 280 a 450 g kg<sup>-1</sup> e teores de silte pouco significativos (GIAROLA et al., 2009; DANTAS et al., 2014). Baixos valores de silte e da relação silte/argila em Argissolos Amarelos com caráter coeso se dá devido ao material de origem, por estes solos serem produtos da alteração de sedimentos pré-intemperizados. A movimentação das partículas de silte para os horizontes com caráter coeso é dificultada devido a organização estrutural e redução dos poros destes (MOREAU et al., 2006a; ARAÚJO, 2017).

A iluviação das partículas finas e sua conseqüente deposição nos espaços porosos do horizonte pode ser considerada um dos fatores que provocam a gênese do caráter coeso, bem como a deposição destas sobre grãos de quartzo ocasionando um arranjo compacto entre as partículas sólidas, influenciando no adensamento das camadas mais subsuperficiais. Estudos a respeito da mineralogia dos solos de Tabuleiros Costeiros afirmam que a fração argila destes é composta predominantemente por caulinita e a fração areia tem o quartzo como material dominante (SILVA et al., 2005; LIMA NETO et al., 2010; DANTAS et al., 2014).

A presença significativa das partículas cauliníticas na fração argila pode ser um fator importante para a gênese do caráter coeso, devido ao seu ajuste face a face que com o passar do tempo, é responsável pelo desenvolvimento de um plasma caulinítico denso que influencia na estrutura e aumenta a densidade do solo (MOREAU et al., 2006b; CENTURION et al., 2007; DANTAS et al., 2014).

### **2.3.2 Porosidade total**

Em um dado volume de solo, além do espaço ocupado pelos seus agregados e/ou partículas sólidas, há uma fração de espaços vazios a qual denomina-se poros, estes poros são ocupados por ar e/ou água e isso se dá, em grande parte, em função da estrutura e arranjo das partículas. A geometria e o arranjo das partículas sólidas estão diretamente relacionados à continuidade, ao tamanho e à quantidade de poros em um perfil de solo e estes são de suma importância para a percolação e armazenamento de água no interior do perfil (WHITE, 2009).

É importante salientar que o espaço poroso está relacionado à densidade total do solo, ou seja, a porosidade de um solo pode ser definida a partir da densidade de seus agregados ou do volume de solo determinado. Quanto menos poros houver em um dado volume de solo, maior será a densidade deste volume, sendo o inverso verdadeiro (SCHAEFER et al., 2001; LIMA et al., 2005). Com a quantificação da porosidade total do solo é possível fazer a caracterização estrutural deste, o que permite avaliar as modificações na estrutura causadas por possíveis práticas de manejo.

Os tipos de poros mais comumente encontrados no solo são aqueles de origem biológica, formados pelo caminhar de pequenos organismos e/ou pelo crescimento de raízes e sua posterior decomposição, geralmente esses poros tendem a ser contínuos e arredondados, porém há também os poros que podem ser formados a partir do processo de umedecimento e secagem do solo, estes apresentam-se mais descontínuos e de formato irregular (REINERT E REICHERT, 2006).

Um horizonte que apresenta caráter coeso possui porosidade total reduzida quando comparado àqueles que não têm este atributo diagnóstico, tal característica gera efeitos sobre a permeabilidade do ar e da água bem como sobre a resistência à penetração quando seco (MENEZES, 2016).

A dispersão de partículas finas e sua conseguinte deposição nos poros, pode aumentar a coesão e assim afetar a porosidade a longo prazo, obstruindo-a e reduzindo a continuidade de poros de aeração, esta continuidade é uma característica muito importante para o movimento de água e ar no solo pois a aeração não acontece de forma adequada quando os poros estão obstruídos (CORREA et al., 2008).

De modo geral, o espaço poroso influencia na estrutura do solo pois esta pode ser definida pelo arranjo dos poros de diferentes dimensões no horizonte, logo, a redução do volume poroso nos horizontes com caráter coeso pode refletir em uma estrutura maciça podendo levar à formação de blocos angulares ou subangulares, devido a iluviação da argila no espaço poroso nestes horizontes, por outro lado, é mais comum observar a formação de alguns agregados em horizontes que apresentam uma porosidade mais elevada (REINERT E REICHERT, 2006; LIMA NETO et al., 2010; VIEIRA et al., 2012).

### 2.3.3 Macro e microporosidade

No solo, apesar de não haver uma nítida diferenciação entre as dimensões dos poros, estes podem ser classificados em macroporos e microporos, para Klein e Libardi (2002), os primeiros são os poros com diâmetro superior a 0,05 mm e que perdem a água com facilidade em tensões menores que 6 kPa, em contrapartida, os microporos são aqueles que apresentam um diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm e a água presente é retirada destes apenas com tensões maiores que 6 kPa e menores que 1500 kPa.

Os macroporos, por serem maiores, são responsáveis pela circulação de ar e água entre as partículas sólidas do solo, bem como facilitar a penetração de raízes no perfil de solo. Os macroporos podem ser formados tanto através da própria estrutura e arranjo das partículas sólidas como também pela penetração de raízes de plantas já cultivadas no local e pela movimentação da macrobiota, estes últimos podem ser chamados de bioporos e apresentam formato contínuo e tubular. Já os microporos, por terem o tamanho reduzido, são responsáveis pela retenção da água no perfil de solo (BRADY, 2013).

Solos adensados apresentam maior volume de microporos, logo, a movimentação da água e do ar se dá de forma mais lenta, acontecendo apenas por capilaridade, pois estes podem não serem capazes de auxiliar na aeração devido ao fator diâmetro, porém, levando em consideração o fator continuidade de poros, os microporos podem auxiliar na aeração mesmo de maneira reduzida. Apesar de não serem vantajosos quando encontrados em grandes proporções no solo, os microporos são eficazes como abrigo da microbiota do solo e na penetração de raízes mais finas (BRADY, 2013). Os microporos, por sua vez, são conhecidos também como poros capilares.

Nos horizontes com caráter coeso, a macroporosidade é reduzida e há um predomínio da microporosidade, se comparados a horizontes “não coesos”, isto se dá provavelmente devido aos processos de adensamento das partículas finas nos poros de maiores dimensões. Menezes (2016) afirma que os macroporos são um dos indicadores físicos importantes para se verificar a coesão no solo e a qualidade da continuidade de poros de horizontes com esse caráter.

Em estudos a respeito do volume poroso, Ribeiro et al. (2007) observaram que os solos com horizontes de estrutura mais adensada, a microporosidade apresentava-se superior à macroporosidade nos mesmos horizontes, 0,5820 e 0,0423  $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$  respectivamente, como também em relação a microporosidade de horizontes que não apresentavam adensamento,

0,5820 e 0,2009  $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$  respectivamente. Silva e Carvalho (2007) observaram um volume de microporos referente a 0,264  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$  em um horizonte coeso, sendo 42% superior à microporosidade do horizonte adjacente sem caráter coeso.

#### **2.3.4 Densidade**

Para Brady (2013), a densidade de um solo é o atributo referente ao arranjo das partículas sólidas presentes no perfil, como mencionando anteriormente, esta característica está relacionada de maneira direta ao índice de porosidade do solo, altas densidades podem ocorrer de forma natural ou serem resultados de compactação ocasionando o aumento na coesão entre as partículas sólidas e diminuindo o volume de espaço poroso do solo, principalmente naqueles que apresentam horizontes com caráter coeso em seu perfil.

Uma das características dos horizontes coesos é que estes possuem uma elevada densidade, que pode ser justificada pela redução de macroporos associada a forte coesão entre as partículas sólidas quando o solo está seco. Altos valores de densidade em horizontes próximos à superfície do solo são limitantes para a produção de algumas culturas, pois reduzem a condutividade hidráulica no solo, bem como dificulta a absorção de nutrientes pelas raízes além de afetar o seu crescimento (RAMOS et al., 2015).

Solos com cerca de 50% do seu volume ocupado por espaços porosos podem ser considerados solos de baixa densidade, apresentando uma infiltração e percolação de água facilitada com aeração adequada, bem como o transporte de nutrientes para as plantas e penetração do sistema radicular, podendo ser classificado como solo “ideal” para se obter melhores produtividades (FAGERIA E STONE, 2010).

#### **2.3.5 Retenção de Água no Solo**

Para que seja possível ter boa produtividade em um determinado solo, faz-se necessário conhecer a dinâmica da água e solutos no interior do perfil a ser trabalhado. A fim de se ter melhor conhecimento a respeito da qualidade da retenção de água utiliza-se a Curva Característica da Retenção de Água no Solo (CCRAS), que é de significativa importância para o conhecimento das propriedades hidráulicas deste (CORREIA et al., 2008).

Com a CCRAS se torna possível avaliar a porosidade do solo a partir dos valores de umidades obtidos em tensões previamente estabelecidas. Assim tem-se informações sobre a retenção da água e densidade do solo, podendo adequar práticas de manejo de irrigação viáveis. A partir da confecção da CCRAS sabe-se a relação entre o potencial matricial e o volume de

água presente no solo, sendo capaz de definir as condições em que fluxos de água são gerados em meio poroso não saturado, favorecendo a avaliação adequada da disponibilidade hídrica no solo para produção vegetal (MENEZES, 2013).

A retenção de água no interior do perfil pode acontecer por meio de dois mecanismos, o primeiro acontecendo nos microporos, ou poros de capilaridade, onde a retenção se dá pelo fenômeno da capilaridade que está associado à interface do menisco da água com o ar. Já no segundo mecanismo, a retenção ocorre como filmes de água na superfície das partículas sólidas, sendo mantida por adsorção nos colóides do solo (SILVA, 2013).

Os dois processos podem acontecer juntos num mesmo perfil de solo, a primeiro momento, quando os poros possuem uma determinada quantidade de água e o solo se encontra em uma faixa de umidade elevada, a capilaridade atua como fenômeno de retenção nos poros capilares, porém quando esta umidade começa a ser reduzida, os filmes de água são adsorvidos para a superfície dos sólidos, neste caso a adsorção passa a ser o mecanismo principal de retenção da água (SILVA, 2013).

O fenômeno da adsorção é mais atuante no solo após se aplicar tensões maiores que 10 kPa ou quando este está seco, nestas condições a energia de retenção é elevada e a retirada de água dos poros se torna mais difícil, tal fenômeno pode ser influenciado pela textura e superfície específica das partículas sólidas, logo, em solos argilosos há uma maior adsorção da água pela textura mais fina e superfície específica maior quando comparados com solos mais arenosos. Em contrapartida, o fenômeno de capilaridade está presente em solo úmido ou quando baixas tensões são aplicadas, e a retenção da água é influenciada pelo arranjo estrutural do solo e/ou pelos teores de areia (ASSAD et al., 2001; SILVA, 2013).

A quantidade de água retida pelo solo após o excesso ser drenado é conhecida como capacidade de campo, além disso, pode-se dizer que o solo está na sua capacidade de campo quando o movimento de percolação da água em seu interior não for significativo, este momento normalmente é relacionado a uma determinada tensão e a um tempo de redistribuição da água (BRITO et al., 2011). Andrade e Stone (2011) afirmam que é possível estimar a umidade na capacidade de campo utilizando-se da CCRAS, tanto a partir da equação baseada na curva quanto pelo ponto de inflexão desta, sendo ajustada pelo modelo de Van Genuchten.

Vale ressaltar que diferentes potenciais mátricos podem ser relacionados ao ponto de capacidade de campo quando este é verificado *in situ* ou em laboratório com amostras indeformadas e deformadas. Vários trabalhos designam que as tensões de 10 kPa e 33 kPa são

capazes de manter a umidade da capacidade de campo, sendo a primeira aplicada em solos que apresentam textura arenosa e a segunda correlaciona-se melhor com solos de textura argilosa (FABIAN e OTTONI FILHO, 2000; ANDRADE e STONE, 2011; BRITO et al., 2011).

A retenção de água em um solo com caráter coeso aumenta à medida em que a tensão aplicada sobre ele também se eleva, isso é justificado pelo fato que as argilas presentes nos horizontes aderem as moléculas de água, retendo-a fortemente mesmo em altas tensões (CORREIA et al., 2008).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade Federal do Ceará (UFC), no município de Fortaleza – CE, utilizando amostras do horizonte A sem caráter coeso, incluindo Ap1 e Ap2 localizados de 0 a 17 cm de profundidade, e do horizonte Bt com caráter coeso localizado entre 79 e 152cm de profundidade de um solo classificado como Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (ANEXO 1), localizado no Departamento de Zootecnia, do Centro de Ciências Agrárias, foram obtidas amostras deformadas e indeformadas de ambos horizontes. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, pertencente ao Departamento de Ciências do Solo, sendo constituídas em duplicata, as amostras do horizonte A e do horizonte Bt com caráter coeso para a construção da curva de retenção de água no solo, determinações da densidade do solo e densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade. A análise de granulometria foi realizada com amostras em triplicata de ambos horizontes.

#### 3.1 Amostragem

Para a confecção da curva de retenção, as amostras do horizonte A foram coletadas com estrutura deformada, permitindo, portanto, a utilização desta curva em futuros experimentos nas mesmas condições de coleta, sendo esta realizada aos 10 cm de profundidade em uma trincheira previamente preparada, sendo obtida, posteriormente, a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). O solo foi coletado em anéis volumétricos de Policloreto de Vinil (PVC) com aproximadamente 87 cm<sup>3</sup>. As amostras do horizonte Bt com caráter coeso foram coletadas em anéis volumétricos de aço, utilizando um trado tipo Uhland (Figura 1).

Figura 1 – Trado tipo Uhland para coleta do material indeformado.



Fonte: Edilaine Marques

Os anéis, com aproximadamente  $95\text{cm}^3$ , foram inseridos cuidadosamente no solo a partir de 79 cm de profundidade para se obter amostra indeformada, a fim de manter sua estrutura preservada. Para a análise granulométrica e de densidade de partículas, as amostras foram coletadas de maneira deformada nas mesmas profundidades descritas anteriormente para cada horizonte e preparada a TFSA, em laboratório, para ambos. Já para a avaliação da densidade do solo, foi realizada a coleta amostral apenas do horizonte A, mantendo sua estrutura indeformada, para o horizonte Bt com caráter coeso foi utilizada a mesma amostra coletada para a confecção da curva de retenção.

### 3.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada seguindo-se o método da pipeta, descrito por Amaro Filho et al. (2008), em que foram pesados 20 g de TFSA das amostras e adicionados 100 mL de água destilada e 10 mL de hidróxido de sódio 1 N. Após agitação com bastão e 12h de repouso, as amostras foram submetidas à agitação por meio de um agitador elétrico, onde as amostras do horizonte A, por serem arenosas, foram agitadas durante 5 minutos e as do horizonte Bt com caráter coeso, mais argiloso, por 10 minutos. Tal diferença de tempo na agitação se dá devido a maior quantidade de microagregados em amostras argilosas, os quais estão fortemente unidos pelo maior número de cargas e superfície específica, demandando mais tempo para que estes sejam dispersos fisicamente.

Após o período de agitação, o conteúdo das amostras foi passado em uma peneira de malha de 0,053 mm e lavado até que fosse retida apenas a fração areia. O conteúdo passado pela peneira foi coletado e aferido em um cilindro de 1000 mL, agitado com um agitador manual e deixado em repouso por aproximadamente 3 horas (Figura 2).

Figura 2 – Amostras dos horizontes A e Bt com caráter coeso e prova em branco, respectivamente, em solução para análise granulométrica.



Fonte: Edilaine Marques



O conteúdo da suspensão foi coletado com uma proveta de 25 mL, colocado em um Becker de peso conhecido e submetido a secagem em estufa por 24 horas a 105°C. O material seco foi posto em dessecador para atingir temperatura ambiente, foi pesado e obteve-se a massa da argila, descontado o peso do dispersante obtido com a prova em branco.

O material retido na peneira foi transferido para latas de alumínio de peso conhecido e submetido a secagem em estufa por 24 horas a 105°C. Posteriormente, o material seco foi pesado e obteve-se a massa da areia. Os valores de areia e argila foram obtidos através do cálculo de porcentagem de cada fração (equações 1 e 2), a quantidade de silte foi determinada pela equação (3).

$$\% \text{ areia} = \text{peso da areia} \times 5 \times "f" \quad (1)$$

$$\% \text{ argila} = [(\text{peso da argila} + \text{dispersante}) - \text{dispersante}] \times 200 \times "f" \quad (2)$$

$$\% \text{ silte} = 100 - (\% \text{ argila} + \% \text{ areia}) \quad (3)$$

Em que, "f " representa o fator de correção para solo seco em estufa com temperatura entre 105° C e 110° C determinado pela razão entre TFSA e Terra Fina Seca em Estufa (TFSE).

Todos os valores foram posteriormente convertidos para a unidade de massa. Após a pesagem, a fração areia foi transferida para um jogo de peneiras para a separação a seco das suas cinco classes (muito grossa, grossa, média, fina e muito fina), conforme a classificação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

### 3.3 Curva característica de retenção de água no solo (CCRAS)

Para a confecção das curvas característica de retenção de água no solo (CCRAS), as amostras do horizonte A (deformada) foram preparadas em laboratório, com TFSA, e fixando valor da densidade de 1,4 g cm<sup>-3</sup>, valor obtido no cálculo de densidade do horizonte A, calculou-se então a massa necessária para o preenchimento do cilindro de acordo com a equação (4).

$$d = \frac{m}{v} \quad (4)$$

Em que: d= densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>); m= massa do solo (g); v= volume do cilindro (cm<sup>-3</sup>).

As amostras para o preparo da curva do horizonte Bt com caráter coeso, como citado anteriormente, foram coletadas diretamente no campo mantendo sua estrutura preservada.

Foram utilizadas as tensões de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 33, 100, 700 e 1500 kPa na confecção da curva característica de retenção de água no solo, para se obter a umidade e sua respectiva tensão, as amostras coletadas foram submetidas à saturação por capilaridade durante um período de 24 horas para determinação de cada ponto da curva.

Depois de saturadas, as amostras foram levadas à Mesa de tensão (Figura 3) para ser estabelecido o equilíbrio entre a tensão aplicada e o conteúdo de água nos poros nos pontos de baixas tensões (0, 2, 4, 6, 8 e 10 kPa), já para os pontos de tensões mais elevadas (33, 100, 700 e 1500 kPa) o equilíbrio foi obtido com o auxílio do extrator de placa porosa de Richard (Figura 4). Vale ressaltar que o valor da umidade encontrada no ponto de 0 kPa, ou seja, na saturação, foi considerado igual à porosidade total do solo, já que todos os poros presentes no volume da amostra estavam ocupados por água.

Figura 3 – Mesa de tensão.



Fonte: Edilaine Marques

Figura 4 – Placa porosa de Richard



Fonte: Edilaine Marques

Após a obtenção de todas as umidades e suas respectivas tensões, o ajuste da curva foi realizado através da equação (5) proposta por Van Genuchten.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\phi_m|)^n]^m} \quad (5)$$

Em que,  $\theta$  corresponde ao conteúdo de água presente nos poros do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ),  $\theta_r$  e  $\theta_s$  são, respectivamente, os teores de umidade residual (1500kPa) e de saturação ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ),  $\phi_m$  representa o potencial mátrico da água no solo ou a tensão aplicada (kPa), por fim,  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros adimensionais de ajuste do modelo matemático. Para o ajuste dos dados, foi utilizado o programa TableCurve2D, versão 5.01.

### 3.4 Densidade do solo e densidade de partículas

A determinação da densidade do solo foi realizada a partir do método descrito por Amaro Filho et al. (2008), no qual as amostras de ambos horizontes foram coletadas de maneira indeformada em cilindros de volume conhecido, o excesso de solo no cilindro foi retirado de modo que o volume de solo obtido fosse igual ao do cilindro e secas em estufa a  $105^\circ\text{C}$  até obter uma massa constante. A partir da equação (6) obteve-se então o valor referente à densidade do solo.

$$\rho_{\text{solo}} = \frac{\text{massa do solo seco a } 105^\circ\text{C}}{\text{volume total}} \quad (6)$$

Em que  $\rho_{\text{solo}}$  representa a densidade do solo correspondente a cada horizonte analisado ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

Para se avaliar a densidade de partículas foi utilizado o método do balão volumétrico, em que se pesaram 20g de TFSA em uma lata de alumínio de peso conhecido e posteriormente seco em estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 6 horas, após este período, obteve-se a massa da amostra seca e a transferiu para um balão volumétrico de 50mL. Adicionou-se álcool etílico, agitando o balão constantemente a fim de eliminar bolhas de ar que se formavam, o processo deu continuidade até a ausência total de bolhas e o volume de álcool utilizado foi anotado. O valor de densidade de partículas se deu a partir da equação (7) (AMARO FILHO et al., 2008).

$$\rho_{\text{partículas}} = \frac{\text{massa do solo seco a } 105^\circ\text{C}}{(50 - \text{volume de álcool gasto})} \quad (7)$$

Em que  $\rho_{\text{partículas}}$  representa a densidade de partículas dos horizontes analisados ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

### 3.5 Porosidade total, macro e microporosidade

A porosidade total do solo foi determinada a partir do método indireto descrito por Amaro Filho *et al.* (2008), a partir da seguinte equação (8):

$$\alpha = \left( 1 - \frac{\rho_{solo}}{\rho_{particula}} \right) \quad (8)$$

em que  $\alpha$  representa a porosidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e  $\rho_{solo}$  e  $\rho_{particulas}$  são, respectivamente, a densidade do solo e a densidade de partículas ( $\text{g cm}^{-3}$ ) mencionadas anteriormente.

A microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão no momento da confecção da CCRAS, em que ao aplicar uma tensão de 6 kPa na amostra saturada na Mesa de tensão, a água que ocupa os macroporos é drenada e a umidade obtida em  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  é referente ao volume de microporos na amostra. A macroporosidade, por sua vez, foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise granulométrica

A partir das análises físicas, foram observadas as características granulométricas de ambos horizontes e as respectivas classes texturais, expostas na Tabela 01. Observa-se que a textura do horizonte A, que não apresenta caráter coeso, foi classificada como areia franca, enquanto para o horizonte Bt com caráter coeso foi franco argiloarenosa, estando de acordo com a pesquisa de Araújo (2017), que obteve mesma classe textural em horizonte com caráter coeso de um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Lima et al. (2004) afirmam que os solos de Tabuleiros Costeiros apresentam textura mais arenosa no Ceará, o qual foi observado também por Jacomine et al. (1973) em levantamentos exploratórios realizados no estado onde horizontes com caráter coeso apresentam texturas que variam de franco argiloarenosa a argiloarenosa, o que corrobora com as classes texturais dos horizontes estudados no presente trabalho. Corrêa et al. (2008) também encontraram resultados semelhantes em solos da Bahia e Espírito Santo, nos quais mostraram que horizontes com caráter coeso podem apresentar classe textural argiloarenosa, franco argiloarenosa e franco-arenosa. Em solos do Ceará, Bezerra et al. (2015) também encontraram textura franco-arenosa em horizontes que apresentam o caráter coeso.

Tabela 01. Características granulométricas e classe textural dos dois horizontes avaliados.

Granulometria									
Horizonte	Areia						Silte	Argila	Classe textural
	MG	G	M	F	MF	Total			
----- g kg <sup>-1</sup> -----									
A	14,0	91,0	220,0	414,0	77,0	816,0	93,0	91,0	Areia franca
Bt com caráter coeso	7,0	48,0	151,0	288,0	62,0	556,0	77,0	367,0	Franco Argiloarenosa

Horizonte A: 0 a 17 cm; Horizonte Bt com caráter coeso: 79 a 152 cm.; MG: muito grossa (2 – 1 mm); G: grossa (1 – 0,50 mm); M: média (0,50 – 0,25 mm); F: fina (0,25 – 0,10 mm) e MF: muito fina (<0,10 – 0,05 mm).

Fonte: Elaborado pela autora

No horizonte A nota-se um maior teor de fração areia ( $816 \text{ g kg}^{-1}$ ), tanto em totalidade quanto em todas as suas classes (Tabela 01). Embora o horizonte subsuperficial (Bt com caráter coeso) apresente um menor teor de areia ( $556 \text{ g kg}^{-1}$ ), em ambos horizontes há a predominância de areia média e fina, que juntas atingem, aproximadamente, 80% da fração areia. Tal característica foi também observada por Lima et al. (2004) e Bezerra et al. (2015) em horizontes com caráter coeso de Argissolos do Ceará. No horizonte coeso de um Latossolo Amarelo de Alagoas, Silva e Carvalho (2007) encontraram teores de areia média e fina superiores aos de areia grossa. Mais recentemente, Dantas et al. (2014) observaram que a presença de areia fina em quantidades elevadas pode influenciar na vedação dos poros e consequentemente aumentar a densidade do solo reduzindo o volume poroso, sendo responsável assim pela gênese do horizonte coeso.

A menor proporção da fração areia em profundidade está relacionada ao acúmulo de argila no horizonte Bt com caráter coeso que apresenta  $367 \text{ g kg}^{-1}$  desta fração em sua composição granulométrica enquanto o horizonte superficial A apresenta um teor de  $91 \text{ g kg}^{-1}$ , o transporte dessas partículas mais finas em profundidade pode ser considerado um fator importante para o adensamento dos constituintes do solo devido a deposição nos poros. Corrêa et al. (2008) também observaram a predominância de argila em profundidade nos horizontes que apresentam caráter coeso e afirma que a gênese destes horizontes se dá pela iluviação de partículas de argila muito finas em profundidade.

Por meio de análises micromorfológicas, Bezerra et al. (2015) não encontraram feições de iluviação de argila na maioria dos horizontes com caráter coeso estudados, entretanto, em um desses horizontes, a ocorrência de revestimentos de argila iluvial obstruindo poros no horizonte estava associada aos valores máximos de densidade do solo e de resistência à penetração, podendo indicar a contribuição da argila iluviada na gênese de horizontes coesos, como proposto por Lima Neto et al. (2010).

Deve-se destacar que o incremento de argila em subsuperfície é típico dos Argissolos (EMBRAPA, 2018), no entanto, o maior teor de argila não está diretamente relacionado com a maior expressão do caráter coeso, pois, em uma topossequência dos Tabuleiros Costeiros, os valores de densidade do solo e resistência à penetração foram maiores no horizonte Bt com caráter coeso que apresentava menor teor de argila (BEZERRA et al., 2015).

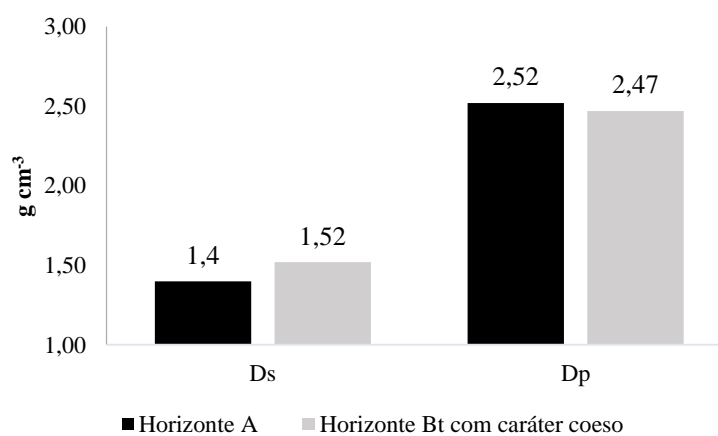
Para o silte, nota-se que não há o acúmulo em profundidade desta fração, tal fato é justificado por Araújo (2017) que também não observou diferença significativa entre os teores de silte nos horizontes coeso e não-coeso de Argissolos, devido ao maior adensamento no horizonte coeso, pois as partículas de silte não são eluviadas com facilidade.

Alguns autores citam que um dos fatores que mais influenciam no adensamento dos constituintes do solo e na gênese de um horizonte com caráter coeso é a desuniformidade granulométrica, com presença da fração areia mal selecionada juntamente com o acúmulo de argila em profundidade. Horizontes superficiais e/ou sem caráter coeso possuem partículas de areia mais grosseiras, logo, partículas finas são eluviadas com maior facilidade possibilitando sua disposição entre grãos maiores e facilitando a retenção de argilas, que por apresentarem maior superfície específica, aumentam a atração por forças eletrostática entre partículas sólidas contribuindo com a coesão nestes horizontes (ABRAHÃO et al., 1998; SILVA e CARVALHO, 2007). Na avaliação do grau de seleção do material grosseiro, Bezerra et al. (2015) concluíram que a presença de areias pobremente selecionadas foi determinante na manifestação do caráter coeso dos solos estudados por eles.

#### 4.2 Densidade do solo e de partículas

Ao analisar o Gráfico 1, pode-se observar que o horizonte com caráter coeso apresenta uma densidade do solo ( $D_s$ ) superior àquela encontrada no horizonte não-coeso, sendo estas  $1,52 \text{ g cm}^{-3}$  e  $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente.

Gráfico 1. Médias referentes à densidade do solo ( $D_s$ ) e densidade de partículas ( $D_p$ ) dos horizontes com e sem caráter coeso.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados estão de acordo com Lima Neto et al. (2010), os quais afirmam que horizontes com caráter coeso apresentam  $D_s$  mais elevada quando comparados a horizontes

sem caráter coeso, podendo ser justificada pelo arranjo das partículas de argila em profundidade nos espaços porosos que favorecem o aumento da densidade e reduzem a porosidade total, refletindo em uma estrutura coesa, assertiva também confirmada por Dantas et al. (2014). Silva e Carvalho (2007) encontraram resultados similares em um Latossolo Amarelo de Alagoas, tal resultado foi descrito também por Lima et al. (2005), em que o horizonte com caráter coeso de um Argissolo Acinzentado apresentou  $D_s$  15% maior que a do horizonte que não apresenta este atributo, presente no mesmo solo.

Cintra et al. (2000) observaram que, em três horizontes coesos de um Argissolo Acinzentado situado em Sergipe, a  $D_s$  variou entre 1,5 e 1,7  $\text{kg dm}^{-3}$ , corroborando com os resultados obtidos por Corrêa et al. (2008) em que os horizontes com caráter coeso observados obtiveram  $D_s$  entre 1,45 e 1,60  $\text{g cm}^{-3}$ , estando de acordo com a  $D_s$  encontrada no horizonte Bt com caráter coeso do presente estudo.

Segundo Reichert et al. (2003), para um solo mais adensado ou com um elevado grau de compactação é esperado que haja um aumento na densidade, bem como uma redução na porosidade total e na macroporosidade quando comparado a um solo em que não há a ocorrência do caráter coeso. Logo, é seguro dizer que a densidade do solo é o atributo mais estritamente relacionado ao adensamento do horizonte com caráter coeso.

Observa-se que há pouca diferença entre a densidade de partículas ( $D_p$ ) dos dois horizontes estudados (Gráfico 1), porém, ao contrário do que foi visto na densidade do solo, o horizonte Bt com caráter coeso apresenta uma  $D_p$  de 2,47  $\text{g cm}^{-3}$ , inferior àquela apresentada pelo horizonte A de 2,52  $\text{g cm}^{-3}$ , ambos valores entram no intervalo citado por Amaro Filho et al. (2008), os quais afirmam que a densidade de partículas esperada para argilominerais é de 2,00 a 2,65  $\text{g cm}^{-3}$  enquanto que para o quartzo espera-se  $D_p$  em torno de 2,5 a 2,6  $\text{g cm}^{-3}$ .

Por ser de superfície e conter uma maior quantidade de matéria orgânica em relação ao horizonte subsuperficial, poderia haver uma expectativa de que o horizonte A apresentasse uma  $D_p$  inferior à do horizonte Bt com caráter coeso, pois segundo Reinert e Reichert (2006), a matéria orgânica apresenta densidade específica de 0,9 a 1,3  $\text{g cm}^{-3}$  e sua presença reduz a  $D_p$ , porém o resultado pode ser explicado pela profundidade de coleta das amostras do horizonte A, realizada a partir de 10cm, onde a presença de material orgânico seria pouco significativo para o resultado esperado na análise. Outro fator determinante para essa menor  $D_p$  em subsuperfície é o acúmulo de argila do Bt e, conseqüentemente, uma menor proporção de areia.



Resultados semelhantes foram encontrados por Paiva et al. (2000) em um Argissolo Amarelo de Tabuleiros Costeiros no Estado da Bahia, sendo observada uma  $D_p$  de  $2,41 \text{ g cm}^{-3}$  e  $2,38 \text{ g cm}^{-3}$  em um horizonte coeso e um não coeso, respectivamente.

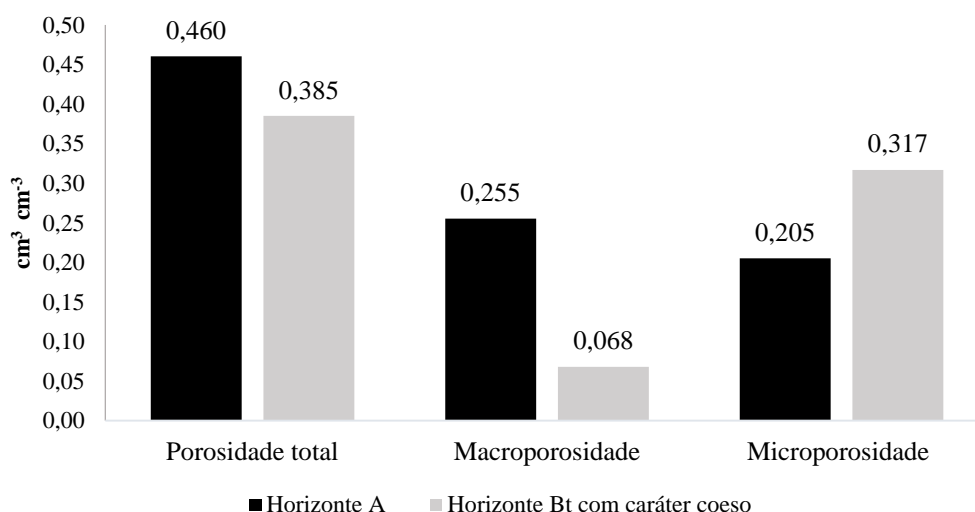
A densidade de partículas é uma característica puramente relacionada à natureza dos componentes mineralógicos presentes nos horizontes do solo, logo, este atributo tende a ser pouco mutável ao longo do tempo, segundo Amaro Filho et al. (2008), a densidade de partículas pode ser considerada constante para um mesmo solo sendo necessário um período de tempo bastante considerável para que possa perceber grandes mudanças.

### 4.3 Porosidade total, macro e microporosidade

Os horizontes com caráter coeso apresentam porosidade total e macroporosidade reduzidas, como pode ser observado no Gráfico 2. Este comportamento é semelhante ao descrito por outros autores (LIMA et al., 2005; SILVA; CARVALHO, 2007; DANTAS et al., 2014; MENEZES, 2016).

Os trabalhos com análises microscópicas corroboram com o observado, que horizontes coesos apresentam menores volumes de poros quando comparados com horizontes não coesos (LIMA et al., 2005; MOREAU et al., 2006a; LIMA NETO et al., 2010).

Gráfico 2. Valores médios de porosidade total, macro e microporosidade nos horizontes A e Bt com caráter coeso.



Fonte: Elaborado pela autora.

Menezes (2016) também observou a redução da porosidade total em horizontes com caráter coeso ao serem comparados com horizontes que não apresentam este atributo, e justifica

tal resultado à distribuição das partículas mais grosseiras e ao acúmulo de argila em profundidade, no horizonte com caráter coeso, influenciando na limitação do volume de poros e também no aumento da sua densidade.

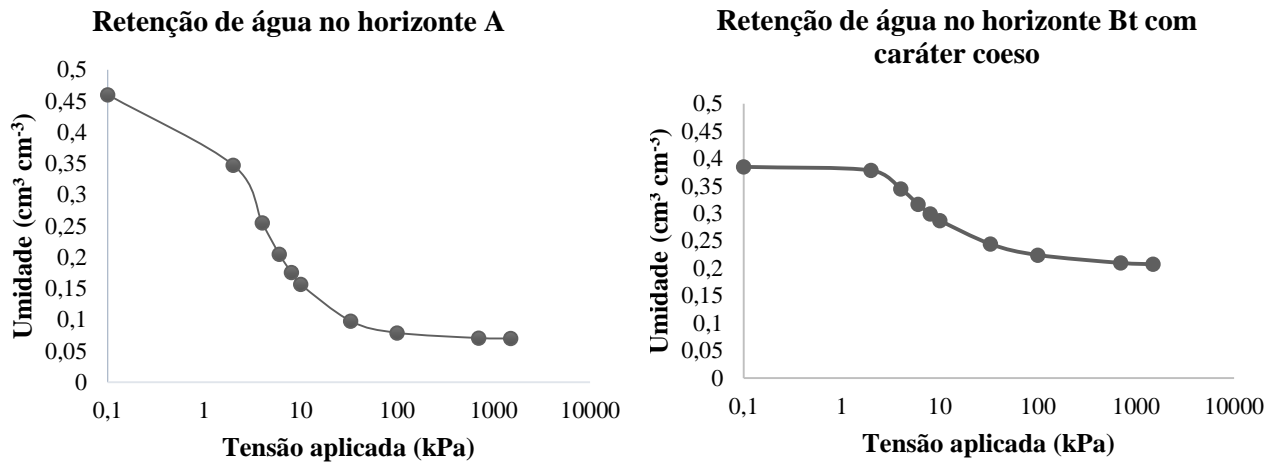
O contraste do volume poroso entre os dois horizontes estudados é melhor observado ao verificar a macro e a microporosidade de cada um, no horizonte A a macroporosidade é de  $0,255 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  representando cerca de 55% de sua porosidade total, enquanto o horizonte Bt com caráter coeso apresenta uma macroporosidade de  $0,068 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , ou 18% do volume poroso do horizonte. Entretanto, o quadro é revertido ao se observar a microporosidade de  $0,205 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  no horizonte A e no horizonte Bt com caráter coeso de  $0,317 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , o que corresponde cerca de 45% e 82% da porosidade total de cada horizonte, respectivamente.

Os resultados do presente estudo corroboram com aqueles encontrados por Dantas et al. (2014), em que observaram valores de microporosidade mais elevados em horizontes coesos de Argissolos Amarelos sob diferentes paisagens do cerrado maranhense, indo de acordo com Paiva et al. (2000) que verificaram a redução da macroporisidade juntamente com o aumento da microporosidade nos horizontes coesos de um Latossolo Amarelo e um Argissolo Amarelo presentes em uma topossequência nos Tabuleiros Costeiros da Bahia. Os microporos no interior dos agregados parecem não ser alterados, porém ocorre um acréscimo com o adensamento, promovendo um aumento no volume total de poros muito pequenos nos horizontes com caráter coeso (CINTRA; LIBARDI, 1998).

#### **4.4 Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS)**

No Gráfico 3 são mostradas, comparativamente, as curvas dos dois horizontes estudados neste trabalho, relacionando a umidade em base volume com a respectiva tensão, ou potencial matricial, aplicado às amostras. Observa-se, a partir do gráfico, que a umidade de saturação no horizonte A, encontra-se em torno de  $0,460 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e esta é reduzida de maneira significativa para  $0,347 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  ao se aplicar uma tensão de 2 kPa, nota-se então que tal redução se torna considerável a medida em que há o aumento da tensão ou redução no potencial mátrico, chegando a apresentar uma umidade residual de  $0,069 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  na tensão de 1500 kPa, ponto de mínimo potencial matricial.

Gráfico 3. Curva característica de retenção de água no solo para os horizontes A e Bt com caráter coeso



Fonte: Elaborado pela autora

Tal comportamento é explicado por Amaro Filho et al. (2008), em que relacionam o efeito da textura do solo e sua capacidade de retenção de água, mostrando que em solos ou horizontes mais arenosos, pequenos incrementos na tensão aplicada gera uma redução significativa no teor de água por este possuir uma maior quantidade de poros, o que pode facilitar a saída do fluido.

Aguiar Netto et al. (1999) também observaram que, em horizontes superficiais não-coesos com classes texturais de areia franca e franco-arenosa de um Latossolo Amarelo, houve uma redução na retenção de água de forma abrupta quando comparado a horizontes com caráter coesos em um mesmo horizonte, confirmando que a textura tem grande influência na quantidade de água retida pelo horizonte.

Já o comportamento da curva de retenção de água no horizonte Bt com caráter coeso, por sua vez, se dá de maneira mais uniforme não apresentando variação significativa entre a umidade na saturação, de  $0,384 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , e a umidade ao se aplicar uma tensão de 2 kPa, de  $0,378 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Mesmo que haja um aumento na tensão aplicada, o horizonte Bt com caráter coeso apresenta uma maior capacidade de retenção de água quando comparado ao horizonte A, tal fato pode ser observado no ponto de máxima tensão aplicada, em 1500 kPa, onde a umidade residual se encontra em torno de  $0,207 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

Apesar de conter um volume de água retida maior, pode-se inferir que esta umidade presente no horizonte Bt com caráter coeso não está disponível devido à elevada força de retenção que este apresenta, logo é correto afirmar que essa característica de forte retenção de

água pelo horizonte com caráter coeso pode ser considerada uma limitação para o cultivo em solos que apresentam horizontes com este atributo.

Ao se comparar a umidade no ponto de saturação dos dois horizontes, observa-se claramente que no horizonte não-coeso o teor de água retida é superior ao horizonte coeso, pode-se inferir com isso que a menor quantidade do volume de poros, a predominância de microporos, juntamente com o consequente adensamento do horizonte coeso influencia também no volume de água necessário para a saturação do mesmo, sendo esta inferior ao que seria necessário para saturar um horizonte com maior quantidade de macroporos, como o horizonte A.

Apesar dos dois horizontes em estudo apresentarem diferença expressiva no que diz respeito à capacidade de retenção de água, é correto afirmar que em ambos horizontes ocorre uma redução de maior variação na retenção entre as tensões de 4 e 100 kPa, demonstrada pela maior inclinação da curva, enquanto que para as tensões de 700 e 1500 kPa, o teor de umidade pouco variou. Segundo Siueia Júnior et al. (2016), a menor variação no teor de umidade em altas tensões aplicadas, normalmente superiores a 33 kPa, é devido à água prontamente disponível ser reduzida nestas condições, sendo mais dificilmente retirada do solo devido está apenas a água adsorvida na superfície dos coloides do solo.

Na Tabela 02 estão dispostos os valores gerados como parâmetros de ajuste na confecção da CCRAS dos horizontes não-coeso e coeso em laboratório. Mota et al. (2017) afirmam que o parâmetro  $\alpha$  pode ser considerado o mais instável no modelo de ajuste de Van Genuchten, devido sua forte dependência com a estrutura do solo, ou seja, qualquer modificação nesta pode alterar os valores deste parâmetro bem como o formato da curva de retenção.

Segundo Coelho et al. (1999), o parâmetro  $\alpha$  tem relação inversa à porosidade de aeração do solo, ou seja, quanto mais poros livres de água menor será o valor deste parâmetro, logo, à medida em que o potencial matricial é reduzido e a água começa a ser tirada dos poros, o valor de  $\alpha$  se eleva. Entretanto, tal afirmação não é confirmada para os valores de  $\alpha$  no presente trabalho. Ao observar os parâmetros  $m$  e  $n$ , nota-se uma variabilidade entre seus valores médios, para Castro et al. (2002) tais parâmetros não possuem significado segundo ponto de vista físico, quando ajustados de maneira independente, sendo utilizados apenas para se avaliar a condutividade hidráulica do solo.

Tabela 02. Valores médios dos parâmetros de ajuste do modelo de Van Genuchten utilizados para confecção da curva dos dois horizontes estudados, expressos pelo Table Curve 2D.

	<b>Parâmetros utilizados na curva de retenção</b>		
	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>m</math></b>	<b><math>n</math></b>
<b>Horizonte A</b>	0,4562	0,5525	1,7406
<b>Horizonte Bt com caráter coeso</b>	0,3580	0,1531	3,9466

Fonte: Elaborado pela autora.

Alguns autores afirmam que o parâmetro  $n$  está relacionado à declividade da curva característica de retenção de água no solo em uma determinada faixa de tensão e que a alteração de seus valores pode acarretar na modificação do ponto de inflexão da CCRAS e, conseqüentemente, no ponto de umidade na capacidade de campo do solo (ALENCAR, 2017; MOTA et al., 2017). Pode-se afirmar que os parâmetros  $\alpha$  e  $n$  estão relacionados com a umidade no ponto de capacidade de campo, sendo portanto, imprescindíveis para a avaliação da dinâmica da água no solo.

## **5 CONCLUSÃO**

Os atributos analisados nesta pesquisa correspondem às particularidades de um horizonte com caráter coeso, portanto o horizonte Bt avaliado pode ser caracterizado em seus aspectos físicos (textura, retenção de água, densidade, porosidade total, macro e microporosidade), como de caráter coeso, confirmando sua avaliação morfológica.

## REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W.A.P.; COSTA, L.M.; MELLO, J.W.V.; NEVES, J.C.L. Distribuição de frequência de tamanho da fração areia e compactidade relativa de solos desenvolvidos de sedimentos do grupo geológico Barreiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.1-9, 1998.
- ALENCAR, T.L. **Uma abordagem teórico-metodológica da capacidade de campo**. (Tese de doutorado). Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias. 75f. Fortaleza, 2017.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. **Física do solo: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária. 2008, 290p.
- ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.111–116, 2011.
- ARAÚJO, A.M.S.S. **Granulometria de solos: horizontes com caráter coeso e sua resistência tênsil**. (Dissertação e mestrado). Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias. 60f. Fortaleza, 2017.
- ASSAD, M.L.L.; SANS, L.M.A. ASSAD, E.D.; ZULLO Jr. J. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.588-596, 2001.
- BEZERRA, C. E. E. ; FERREIRA, T. O. ; ROMERO, R. E. ; MOTA, J. C. A. ; VIEIRA, J. M. ; DUARTE, L. R. S. ; COOPER, M. . Genesis of cohesive soil horizons from north-east Brazil: role of argilluviation and sorting of sand. **Soil Research**, v. 53, p. 43-55, 2015.
- BRADY, N.C. **Elementos da natureza e propriedade dos solos**. Traduzido por Igor Fernando Lepsch. Porto Alegre: Buckman 3.ed. 2013, 686p.
- BRAIDA, J. A; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SOARES, J. M. D. Coesão e atrito interno associados aos teores de carbono orgânico e de água de um solo franco arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.1646-1653, 2007.
- 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**, v.35, p. 1939-1948, 2011.
- CASTRO, L. G.; MAIA, A. de H. N.; LIER, Q. de J. van. Erros na estimativa de umidades pelo modelo de Van Genuchten. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14. 2002, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Agrisus, 2002.
- CENTENO, L.N., GUEVARA, M.D.F., CECCONELLO, S.T., SOUSA, R.O.D., TIMM, L.C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.4, p.31-37, 2017.
- CENTURION, J.F.; FREDDI, O.S.; ARATANI, R.G.; METZNER, A.F.M.; BEUTLER, A.N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos Vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31, p. 199-209, 2007.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agricola**.v.55, p.367-378, 1998.

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, p.23-28, 2000.

COELHO, E.F. OR, D. SOUSA, V.F. Avaliação de parâmetros hidráulicos para modelos de distribuição de água no solo sob gotejamento. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.651-657, 1999.

CORREA, M.M.; KER, J.C.; BARRON, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.297-313, 2008.

CORREIA, G.G.; MOURA, R.F.; RODRIGUES, J.J.V.; BARROS, M.F.C.; CORREIA, K.G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de Tabuleiro Costeiro paraibanos. **Revista Caatinga** (Mossoró, Brasil), v.21, p.156-162, 2008.

DANTAS, J.S.; MARQUES JÚNIOR, J. MARTINS FILHO, M.V.; RESENDE, J.M.A.; CAMARGO, L.A.; BARBOSA, R.S. Gênese de solos coesos do leste maranhense: Relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1039-1050, 2014.

DOMPIERI, M. H. G.; RESENDE, R.S.; BARRETO, A.C.; CRUZ, M.A.S.; SILVA, A.A.G.; NOGUEIRA JUNIOR, L.R.; IVO, W.M.P.M.; SILVA, M.A.S.; CUENCA, M.A.G.; FERNANDES, M.F. **Delimitação da área foco de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros e principais aspectos fisiográficos**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos 194, 2015, 41p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Delimitação da área de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Relatório Final. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju, SE. 2014, 28p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos. E-book. 5.ed, 2018.

FABIAN, A.J.; OTTONI FILHO, T.B. Determinação de capacidade de campo in situ ou através de equações de regressão. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p. 1029-1036, 2000.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. **Qualidade do solo e meio ambiente**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2006, 35p.

GIAROLA, N.F.B.; LIMA, H.V.; ROMERO, R.E.; BRINATTI, A.M.; SILVA, A.P. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.33-40, 2009.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. **Anais...** Cruz das Almas, EMBRAPA/UFBA. 1996, p. 13-26.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, p.19-46.



JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C.; MEDEIROS, L.A.R. Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do Estado do Ceará (Descrição de perfis de solos e análises). Recife. **Boletim Técnico**. nº 28, v.2. 1973, 502 p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p.945-953, 2002.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.T.K.; ROMERO, R.E.; LIBARDI, P.L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 467-476, 2004.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; ROMERO, R.E.; JACOMINE, P.K.T. Comportamento físico de um Argissolo Acinzentado coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.33-40, 2005.

LIMA NETO, J.A.L.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA-JÚNIOR, V.S.; ARAÚJO FILHO, J.C.; LIMA, J.F.W.F. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 473-486, 2010.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORREA, M.M.; SOUZA JUNIOR, V.S.; LIMA, J.F.W.F.; FERREIRA, R.F.A.L. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33 p.1001-1011, 2009.

MENEZES, A.F.; **Morfologia e funcionalidade da rede porosa de horizontes com e sem caráter coeso em solos de Tabuleiro Costeiro**. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, 76f. Fortaleza, 2016.

MENEZES, L.P. **Determinação da curva de retenção de água em solos utilizando bomba de fluxo**. (Dissertação de mestrado). Departamento de engenharia de minas. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 85f. Ouro Preto, 2013.

MOREAU, A.N.S.S.; KER, J.C.; COSTA, L.M.; GOMES, F.H. Caracterização de solos de duas toposseqüências em Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.1007-1019, 2006a.

MOREAU, A.M.S.S.; COSTA, L.M.; KER, J.C.; GOMES, F.H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.1021-1030, 2006b.

MOTA, J.C.A. LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; MORAES, S.O.; NASCIMENTO, I.V.; ALENCAR, T.L. Variabilidade espacial dos parâmetros da equação de van Genuchten em um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, p. 92-100, 2017.

PAIVA, A.Q.; SOUZA, L.S.; RIBEIRO A.C.; COSTA, L.M. Propriedades físico-hídricas de solos de uma toposseqüência de Tabuleiro do estado da Bahia. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.2295-2302, 2000.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo, Oficina de Textos, 2000,247p.

RAMOS, M.R.; UHLMANN, A.; MELO, V.F.; CURCIO, G.R.; CAGLIONI, E. Atributos de solos coesos e não coesos no complexo petroquímico do Rio de Janeiro, Itaboraí-RJ. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, p. 360-375, 2015.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. **Apostila**. Santa Maria, 2006, 17p.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 1167-1175, 2007.

RIBEIRO, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001, p.161-168.

SANTOS, R.D; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**, 6ª ed. 2013, 100p.

SCHAEFER, C. E. G. R., SOUZA, C. M., VALLEJOS M., F. J., VIANA, J. H. M., GALVÃO, J. C. C., RIBEIRO, L. M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.25, p.765-769, 2001.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de Tabuleiro Costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 447-457, 2005.

SILVA, A.J.N.S.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.833-842, 2005.

SILVA, A. J. N.; CARVALHO, F. G. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p. 853-862, 2007.

SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B. Estabelecimento de índice de resistência dos solos para quantificação do grau de coesão. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.145-160.

SILVA, E. **Funções de pedotransferência para a retenção de água dos principais solos dos tabuleiros costeiros brasileiros**. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Lavras, 36f. Lavras, 2013.

SIUEIA JÚNIOR, M.; CIPRIANO, P.E.; MARS, G.; SILVA, R.F.; SOARES, L.S.; ASSIS, E.S.; OLIVEIRA, J.M.; TASSINARI, D.; DIAS JÚNIOR, M.S.D. **Determinação da Curva de Retenção de Água e da distribuição de poros por tamanho em solos de Lavras-MG**. 2016. Disponível em

<[http://www.convibra.com.br/upload/paper/2016/82/2016\\_82\\_12509.pdf](http://www.convibra.com.br/upload/paper/2016/82/2016_82_12509.pdf)> Acesso em 16 de outubro de 2018.

SOUZA, J.M. ; BONOMO, R.; PIRES, F.R.; BONOMO, D.Z. Curva de retenção de água e condutividade hidráulica do solo em lavoura de café conilon submetida à subsolagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, p. 226-236, 2014.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A.Q.; RODRIGUES, A.C.V.; RIBEIRO, L.S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de Tabuleiro Costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.503-513, 2008.

VIEIRA, J.M.; ROMERO, R.E.; FERREIRA, T.O.; ASSIS JÚNIOR, R.N. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 623-632, 2012.

WHITE, R.E. **Princípios e práticas da Ciência do Solo** - O solo como um recurso natural. Tradução por Iara Fino Silva e Durval Dourado Neto. São Paulo: Andrei. 4.ed. 2009, 426p.

## ANEXO 1 – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO SOLO UTILIZADO

### CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap1 0-10cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmida), bruno acinzentado escuro (10YR 5/2 , seca); fraca média granular e fraca pequena blocos subangulares ; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- Ap2 10-17 cm; bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmida), bruno claro acinzentado (10YR 6/2 seca); moderada média a grande blocos subangulares; dura a muito dura; friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e ondulada.
- E 17-39 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/3, úmida), bruno-amarelado (10YR 5/4, seca); maciça; muito dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- BE 39-63 cm; bruno (7,5 YR 5/4 úmida), bruno forte (7,5YR 5/6 seca); moderada média blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Bt1 63-79 cm, bruno (7,5 YR 5/4 úmida), amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6); moderada média a grande blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- Bt2 79- 112 cm; bruno forte (7,5 YR 5/6 úmida), amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6 seca); maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.
- Bt3 112-152cm; bruno forte (7,5 YR 5/6 úmida), amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6 seca), maciça com tendência a formação de blocos subangulares; muito dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa.
- Bt4 152-187cm+; bruno forte (7,5 YR 5/6 úmida), amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/8 seca), moderada a forte média a grande blocos subangulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas no horizonte Ap1; comuns finas em Ap2; poucas médias em E e BE; raras finas, médias e grossas em BE e raras médias em Bt1,Bt2, Bt3 e Bt4

OBSERVAÇÕES – Horizontes Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>3</sub> apresentam o caráter coeso