



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DIMITRI MATOS SILVA**

**RELAÇÃO DOS COMPOSTOS DE BAIXA CRISTALINIDADE COM O CARÁTER  
COESO EM SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2016**

DIMITRI MATOS SILVA

RELAÇÃO DOS COMPOSTOS DE BAIXA CRISTALINIDADE COM O CARÁTER  
COESO EM SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.

FORTALEZA

2016

---

Página reservada para ficha catalográfica que deve ser confeccionada após apresentação e alterações sugeridas pela banca examinadora.

Para solicitar a ficha catalográfica de seu trabalho, acesse o site: [www.biblioteca.ufc.br](http://www.biblioteca.ufc.br), clique no banner Catalogação na Publicação (Solicitação de ficha catalográfica)

---

DIMITRI MATOS SILVA

RELAÇÃO DOS COMPOSTOS DE BAIXA CRISTALINIDADE COM O CARÁTER  
COESO EM SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

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

---

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira  
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ)

A Deus.

Dedico este trabalho a vocês que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e trabalharam muito para que eu pudesse realizá-los, meus pais, Lais e Deusomar (in memoriam).

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus Por ter me concedido saúde e força para superar as dificuldades, que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida e ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo pelo apoio à minha participação no mestrado.

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de fazer o curso e ao Departamento de Ciências do Solo pela infraestrutura disponibilizada para que fosse possível realizar a presente pesquisa.

Ao meu orientador, Professor Dr. Ricardo Espíndola, por seu apoio e amizade, além de sua dedicação e competência, fatores fundamentais para a conclusão deste trabalho.

A todos os professores do mestrado que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Agradeço aos membros da banca pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas de turma de mestrado pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo, pelo aprendizado e companheirismo. Foi maravilhoso conviver com vocês e obrigado pelo apoio que recebi para realização dessa dissertação.

Aos familiares, em especial à minha heroína, minha querida mãe. Aos amigos, em especial a Carla Danielle, Gabriela Pricila (Gabi), Fabiana, Tássia e Crisanto que sempre me apoiaram e não me deixaram desistir nos momentos difíceis.

Ao meus amigos pelo apoio e ajudar Leilson, Juliana (Jú), Camila, Kezia, Ana Leônia, Rodrigo Girão e Yully.

Uma palavra nova é como uma semente fresca  
que se joga no terreno da discussão.

Ludwig Wittgenstein.

## RESUMO

A área dos Tabuleiros Costeiros pode apresentar horizontes de solos com caráter coeso, o qual é definido como um adensamento que ocorre nas classes dos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos e Acinzentados. Entretanto, o caráter coeso ainda não tem a gênese completamente esclarecida, dessa forma, esse trabalho foi desenvolvido tendo-se a hipótese de que a presença de material de baixa cristalinidade é necessária para a formação de horizontes com caráter coeso, pois esses horizontes apresentam cimentação temporária quando estão secos e tornam-se friáveis quando úmidos. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial  $(3 \times 5) + 2$ , com quatro repetições. O primeiro fator corresponde à extração dos compostos de baixa cristalinidade, utilizando-se o oxalato ácido de amônio, nos níveis: (1) SE: sem a extração dos compostos de baixa cristalinidade e saturação com água destilada, (2) CE: com extração dos compostos de baixa cristalinidade e saturação com água destilada e (3) CERS: com extração dos compostos de baixa cristalinidade associada à saturação com solução contendo sílica. O segundo fator corresponde a cinco horizontes de Argissolos com caráter coeso: P1, P2, P3, P4 e P5. Foram acrescentados ao fatorial o controle e o tratamento adicional, utilizando-se material do horizonte sem caráter coeso (P6). O tratamento adicional-TA foi sem a extração dos compostos de baixa cristalinidade associada à saturação com solução contendo sílica ( $\text{SiO}_2$ ). O tratamento controle-TC foi sem a extração dos compostos de baixa cristalinidade e saturação com água destilada. As amostras foram acondicionadas em tubos de PVC e passaram por 6 ciclos de umedecimento e secagem com água destilada ou solução com silício, dependendo dos níveis em questão. Em seguida foram analisadas as variáveis: densidade do solo, condutividade hidráulica em solo saturado e resistência à penetração. Para todas as variáveis estudadas observou-se a diferença estatística do tratamento Sem Extração (SE) em relação aos demais. Assim, pode-se concluir que os compostos de baixa cristalinidade estão associados ao caráter coeso, pois a extração por oxalato de amônio causou alteração nos atributos físicos analisados. A saturação com solução de sílica, nas condições desse trabalho, não conseguiu reproduzir o processo natural de formação do horizonte com caráter coeso.

**Palavras-chave:** Tabuleiro Costeiro. Adensamento. Sílica Amorfa..

## ABSTRACT

The cohesive character occurs in the Coastal Tablelands and is defined as a pedogenetic densification identified due to changes in the consistence, being very hard to extremely hard when is dry and friable to firm when moisted. It occurs in Latossolos Amarelos and Argissolos Amarelos e Acinzentados. This work intended to test the hypothesis that the cohesive character occurs due to the presence of low crystalline material, presenting temporary cementation only when is in the process of drying and returning to a friable condition when is moisted. The experimental design utilized was completely randomized in factorial schema  $(3 \times 5) + 2$ , with four repetitions, being the main factor the extraction of low crystallinity compounds in the levels: SE (without the extraction of low cristallinity compounds and saturation with distilled water), CE (with the extraction of low cristallinity compounds and saturation with distilled water) and CERS (extraction of low cristallinity compounds and saturation in a solution with Silicon). The second factor corresponds to five soil horizons with cohesive character: P1, P2, P3, P4, P5. The additional treatment TA: without extraction of low cristalline compounds associated to saturation of silicon solution ( $\text{SiO}_2$ ) in the horizon with no cohesive character P6. In the control treatment TC: without the extraction of low cristallinity compounds and saturation with distilled water was used the horizon with no cohesive character P6, summing 68 experimental unities. The variables analysed were: density, hydraulic conductivity and penetration resistance. All the variables studied differed to the treatment without extraction. It is possible to conclude that the low cristallinity compounds should be associated to the cohesive character.

**Keywords:** Coastal Tableland. Densification. Amorphous Silicon.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Fotos dos perfis destacando-se os horizontes utilizados no experimento: A-  
perfil (sj 02) com Bt1 coeso da amostra P4 e B- perfil (sj 06) com Bt1 coeso  
da amostra P5, localizados no município de Aquiraz. .... 19
- Figura 2 – Fotos dos perfis destacando-se os horizontes utilizados no experimento: A –  
perfil (2 noni) com Bt sendo amostra P1 = Bt1 coeso e amostra P6 = Bt2 não  
coeso e B – perfil (3 coco) com Bt coeso sendo amostra P2 = Bt1 e P3 = Bt2,  
localizado no município de Trairi. .... 19
- Figura 3 – Fase de umedecimento das amostras. .... 23

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Desdobramentos da interação significativa da variável densidade do solo. ...	27
Gráfico 2 – Correlação de Pearson entre as variáveis argila x densidade. ....	27
Gráfico 3 – Desdobramentos da interação significativa da variável Resistência à Penetração. ....	29
Gráfico 4 – Correlação de Pearson entre as variáveis umidade x resistência a penetração .....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Informações sobre as amostras que foram utilizadas no trabalho. ....	18
Tabela 2	– Descrição dos tratamentos. ....	21
Tabela 3	– Descrição da quantidade de amostras submetidas ao procedimento de extração por oxalato. ....	21
Tabela 4	– Descrição da quantidade de amostras que não passou pelo procedimento de extração por oxalato. ....	22
Tabela 5	– Resumo da ANOVA para as variáveis: densidade ( $\rho$ ) e Resistência à Penetração (RP). ....	25
Tabela 6	– Valores médios e resultados do teste Dunnet para as variáveis: Densidade ( $\rho$ ) e Resistência à Penetração (R. P.). ....	26
Tabela 7	– Comparação de médias para as variáveis: densidade, condutividade hidráulica e resistência à penetração para o fator extração. ....	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
<b>2.1</b>	<b>Grupo Barreiras</b> .....	14
<b>2.2</b>	<b>Tabuleiros Costeiros</b> .....	14
<b>2.3</b>	<b>Caráter coeso</b> .....	15
<b>2.3.1</b>	<i>Identificação, gênese e limitação</i> .....	15
<b>2.3.2</b>	<i>Parâmetros físicos indicadores da coesão do solo</i> .....	16
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	18
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	18
<b>3.2</b>	<b>Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos</b> .....	20
<b>3.2.1</b>	<i>Extração por oxalato de amônio</i> .....	21
<b>3.2.2</b>	<i>Preparação da Solução com Sílica (SiO<sub>2</sub>)</i> .....	22
<b>3.2.3</b>	<i>Ensaio experimental</i> .....	22
<b>3.3</b>	<b>Variáveis resposta</b> .....	23
<b>3.3.1</b>	<i>Umidade do solo</i> .....	23
<b>3.3.2</b>	<i>Resistência à Penetração</i> .....	24
<b>3.3.3</b>	<i>Densidade do solo</i> .....	24
<b>3.4</b>	<b>Análise estatística</b> .....	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	31
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

Solos com caráter coeso são comumente associados aos Tabuleiros Costeiros (LIMA et al., 2004; MOREAU et al., 2006; CORRÊA et al., 2008), que ocupam extensas áreas do litoral brasileiro, chegando a ordem de 200.000 km<sup>2</sup> (DANTAS et al., 2014). Estas áreas apresentam elevadas densidades demográficas, bem como intensa atividade agrícola (SOUZA et al., 2008).

O caráter coeso é definido como um adensamento no horizonte subsuperficial dos solos, cuja consistência seca é muito dura a extremamente dura, e quando úmido torna-se friável a firme, além de, quando seco, desmanchar-se ao ser imerso em água (EMBRAPA, 2013). Um adensamento semelhante é descrito nos mapeamentos realizados na Austrália, cuja denominação é *hardsetting soils* (GIAROLA; SILVA, 2002).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos prevê a ocorrência de solos com caráter coeso nas classes dos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos e Acinzentados (EMBRAPA, 2013). Algumas características comuns observadas nos solos com caráter coeso são a textura, que varia de média a mais fina (EMBRAPA, 2013), baixo teor de matéria orgânica, pH baixo, baixos valores de capacidade de troca de cátions (CTC) e reduzida capacidade de retenção de água (ARAÚJO et al., 2004).

A presença de um horizonte com caráter coeso, dependendo da profundidade onde ocorre, pode constituir benefício ou empecilho para o desenvolvimento de plantas cultivadas. Sua ocorrência próxima à superfície pode prejudicar o desenvolvimento radicular das plantas, principalmente quando o solo está seco e encontrar-se altamente adensado (SOUZA et al., 2008). Diferentemente, quando o caráter coeso ocorre em maiores profundidades no solo, pode favorecer a manutenção do lençol freático próximo à superfície, deixando a água mais acessível para as raízes das plantas (SOUZA, 1997).

Existem várias tentativas para explicar a formação do horizonte com caráter coeso, no entanto, muitas explicações são complementares (MOREAU et al., 2006). Além disso, a coesão é um processo natural e associado a diversos processos, tais como; presença e acúmulo de sílica secundária, deposição de argila dispersa nos microporos e adensamento por dessecação, resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem (LIMA NETO et al., 2009). Recentemente, VIEIRA et al. (2012) comprovaram que compostos químicos (de baixa cristalinidade) extraídos por oxalato de amônio são importantes no comportamento do caráter coeso.

Dessa forma, esse trabalho foi desenvolvido tendo-se a hipótese de que a presença de material de baixa cristalinidade é necessária para a formação de horizontes com caráter coeso, pois esses horizontes apresentam cimentação temporária quando estão secos e tornam-se friáveis quando úmidos.

Ante as informações supracitadas, supõe-se que compostos de silício pouco cristalinos influenciam na ocorrência do caráter coeso e, dessa forma, objetiva-se avaliar, por meio de atributos físicos, a presença de materiais pouco cristalinos no solo e seus efeitos sobre a formação dos horizontes com caráter coesos de alguns ARGISSOLOS encontrados no Estado do Ceará.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Grupo Barreiras

O Grupo Barreiras ocupa uma ampla faixa costeira do Brasil e se estende do Estado do Amapá até o Estado do Rio de Janeiro, destacando-se pela significativa continuidade e regularidade geomorfológica (ARAI, 2006). Segundo Ferraz e Valadão (2005) e Arai (2006) este grupo divide-se em duas formações, uma inferior depositada no Mio-Plioceno (5 a 23 Ma) e uma superior do Pleistoceno (2,6 Ma). Os sedimentos que constituem o Grupo Barreiras relacionam-se principalmente a sedimentos continentais (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999). Entretanto, alguns pesquisadores relacionam estes sedimentos à contribuição fluvial, que se originaram de desmontes de grandes áreas continentais soerguidas (BIGARELLA; ANDRADE, 1964; MABESOONE; ROLIN, 1982).

Os sedimentos do Grupo Barreiras favorecem a formação de solos com mineralogia da fração argila predominantemente caulinítica (DANTAS *et al.*, 2014), com pequena participação de óxidos e hidróxidos de ferro, tais como hematita e goethita. Esta condição foi caracterizada por Carvalho *et al.* (2013) estudando mineralogia da fração argila, em solos desenvolvidos dos sedimentos do Grupo Barreiras no Estado do Espírito Santo. Lima Neto *et al.* (2009) encontraram a predominância da mesma mineralogia caulinítica, em solos desenvolvidos do Grupo Barreiras no Estado do Alagoas. Estudos mineralógicos, como estes, evidenciam o elevado grau de intemperização desses solos que compõem a unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros.

### 2.2 Tabuleiros Costeiros

Os Tabuleiros Costeiros estendem-se por uma longa faixa do litoral Brasileiro entre os estados do Amapá e do Rio de Janeiro, ocupando uma área de aproximadamente 20 milhões de hectares. Na região Nordeste são 10 milhões de hectares, que correspondem a 16% da área total dos seguintes Estados: Bahia, Sergipe, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (DANTAS *et al.*, 2014; LIMA NETO *et al.* 2009), sendo umas das 20 unidades da paisagem que ocorrem no Nordeste (CARVALHO *et al.*, 2013).

No aspecto socioeconômico, os Tabuleiros Costeiros são importantes porque abrangem grandes centros urbanos e favorecem o agronegócio, com geração de emprego e renda no meio rural, (CINTRA *et al.*, 2009; LIMA NETO *et al.*, 2009).

Os solos que ocorrem com frequência nos Tabuleiros Costeiros são os Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos (CINTRA *et al.*, 2009), sob uma ampla faixa de condições climáticas de úmida a semiárida (CORRÊA *et al.*, 2015).

Os Tabuleiros Costeiros apresentam relevo variando de plano a ondulado, dissecados por vales profundos com fortes declives, originados por sedimentos do Grupo Barreiras do período Terciário, com classe textural: argilosa, argilo-arenosa ou arenosa, muito intemperizados, pobre em ferro e argila do tipo caulinita (VIEIRA *et al.*, 2012, CORRÊA *et al.*, 2015, DANTAS *et al.*, 2014).

Os Tabuleiros Costeiros apresentam solos ácidos a fortemente ácidos com pH entre 4,0 e 5,0, CTC baixa, mineralogia da fração areia com predomínio de quartzo e na fração argila predomínio de caulinita (CINTRA *et al.*, 2009).

No entanto, destaca-se que a principal problemática que ocorre nos solos dos Tabuleiros Costeiros é em relação ao movimento e armazenamento de água, em função da presença de horizontes com caráter coeso que ocorrem com frequência nessa unidade da paisagem (CINTRA *et al.*, 2009, RAMOS *et al.*, 2013).

## **2.3 Caráter coeso**

### **2.3.1 Identificação, gênese e limitação**

O caráter coeso se caracteriza por apresentar um adensamento em horizonte pedogenético subsuperficial, com consistência seca muito dura e/ou extremamente dura e consistência úmida friável e/ou firme. O caráter coeso pode ocorrer nos horizontes AB, BA, Bw ou Bt, geralmente entre as profundidades de 30 a 70 cm (EMBRAPA, 2013), embora já tenham sido descritos horizontes caráter coeso em profundidades superiores a 100 cm (VIEIRA *et al.*, 2012).

O reconhecimento do caráter coeso é feito por descrição morfológica de perfil em campo, sendo qualitativa. Entretanto, pode-se indicar a resistência à penetração junto com outros parâmetros como a densidade e porosidade para apoiar a caracterização desse caráter como um atributo quantitativo (GIAROLA *et al.*, 2003).

A ocorrência de solos com caráter coeso tem sido relacionada às áreas dos Tabuleiros Costeiros. Conforme EMBRAPA (2013), este atributo do solo só se aplica até o quarto nível categórico aos Latossolos e Argissolos. A sua ocorrência foi registrada por Corrêa *et al.* (2015) na Bahia, Ramos *et al.* (2013) no Rio de Janeiro, Dantas *et al.* (2014) no

Maranhão, Vieira *et al.* (2012) no Ceará, Lima Neto *et al.* (2010) no Alagoas, Cintra *et al.* (2009) no Sergipe e Giarola *et al.* (2009) no Espírito Santo.

A formação dos horizontes com caráter coeso não está completamente esclarecida (LIMA NETO *et al.*, 2009), tendo sido relacionada à obstrução dos poros por argila iluvial (CORRÊA *et al.*, 2008), presença de compostos de baixa cristalinidade (VIEIRA *et al.*, 2012), acúmulo de sílica secundária e adensamento por dessecação resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclo de umedecimento e secagem também são citados por Lima Neto *et al.* (2009). O caráter coeso está associado a múltiplos fatores de ordem química e física inte-relacionados (Franzmeier *et al.*, 1996; Mullins, 1999; Giarola *et al.*, 2003).

Em relação aos horizontes com caráter coeso se comparado com outro horizonte adjacente, mas sem o caráter coeso, temos como principais características que o caráter coeso impõe são: alta densidade, elevada resistência à penetração, redução da porosidade total, diminuição da aeração e baixa adsorção de nutrientes, manifestado essa características principalmente quando o perfil se encontra com baixa umidade. (RAMOS *et al.*, 2013; SILVEIRA *et al.*, 2010).

Devido a essas características, o horizonte com esse caráter proporciona fortes limitações agrícolas, tais como: redução da profundidade efetiva de explorada das raízes no perfil do solo, dificuldade de emergência de plântulas, restrição à movimentação da água e do ar, com origem a lençol d'água suspenso (DANTAS *et al.*, 2014, RAMOS *et al.*, 2013).

O caráter coeso afetar a movimentação hídrica no perfil de solo com isso formar um lençol suspenso que limita a respiração radicular e altera a produtividade das culturas, gerando alterações morfológicas e fisiológicas que dependem da espécie ou cultivar (SILVEIRA *et al.*, 2010, , LIMA NETO *et al.*, 2010).

### **2.3.2 Parâmetros físicos indicadores da coesão do solo**

As condições físicas do solo alteram direta e indiretamente o desenvolvimento vegetal, por esse motivo, solos com boa qualidade física funcionam adequadamente para manter o balanço equilibrado de ar e água, a ciclagem de nutrientes e o crescimento do sistema radicular das plantas (REYNOLDS *et al.*, 2002).

Santana *et al.* (2006) relata que atributos relacionados ao horizontes adensados são: porosidade, distribuição do tamanho de poros e a estrutura do solo. A resistência à penetração indica a resistência física que o solo oferece a algo que tente se mover através dele

e tem sido considerada a propriedade mais adequada para expressar o grau de compactação do solo (PEDROTTI *et al.*, 2001; SILVEIRA *et al.*, 2010). A resistência à penetração pode ser influenciada pela coesão do solo e também está correlacionada com vários outros atributos e condição do solo, como textura, densidade, matéria orgânica e, principalmente, a umidade ( $\theta$ ) no momento da determinação (Silveira *et al.*, 2010).

Segundo Mullins *et al.* (1987), resistência à penetração acima de 3 MPa antes de atingir a tensão de -1,5 MPa de potencial mátrico é considerada limitante para o crescimento radicular. Têm sido considerados valores entre 2 e 2,5 MPa como limites críticos de resistência para a maioria dos vegetais. Segundo Lima Neto *et al.* (2009), horizontes com caráter coeso apresentam significativa redução na quantidade e no diâmetro das raízes, variando de poucas a raras. Nos estudos de Silveira *et al.* (2010), a resistência à penetração de um Argissolo Amarelo distrocoeso apresentou distribuição diferente da normal, elevado coeficiente de variação e elevada correlação negativa com a umidade do solo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado utilizando amostras da classe dos ARGISSOLOS localizados nos municípios de Aquiraz e Trairi, em áreas onde a ocorrência do caráter coeso foi identificada em estudos anteriores (Tabela1) por Vieira (2012) e Silva (2013). Com base na descrição morfológica (SANTOS *et al.*, 2013), as amostras foram coletadas nos horizontes Bt com caráter coeso (P1 a P5), bem como no horizonte Bt de um solo sem caráter coeso (P6).

Tabela 1 – Informações sobre as amostras que foram utilizadas no trabalho.

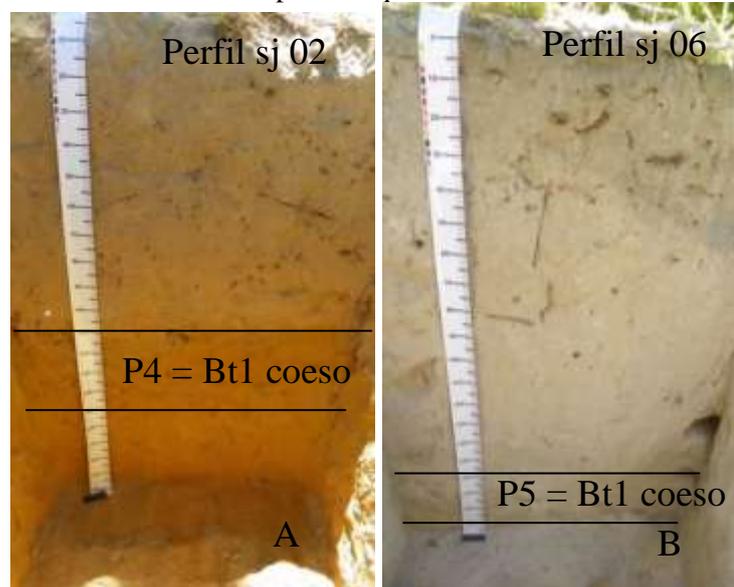
Amostra	Horizonte	Prof. (cm)	Classe textural	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Perfil <sup>#</sup>	Município	Classificação	Fonte
P1	Bt1 Coeso	92-125	Franco-arenosa	146	Perfil 2 noni	Trairi	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso arênico	Vieira, 2012
P2	Bt1 Coeso	91-142	Franco-argilo-arenosa	256	Perfil 3 coco	Trairi	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico	Vieira, 2012
P3	Bt2 Coeso	142-170+	Franco-argilo-arenosa	308	Perfil 3 coco	Trairi	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico	Vieira, 2012
P4	Bt1 Coeso	107-153	Franco-arenosa	195	Perfil sj 02	Aquiraz	ARGISSOLO AMARELO	Silva, 2013
P5	Bt1 Coeso	161-200+	Franco-arenosa	113	Perfil sj 06	Aquiraz	ARGISSOLO ACINZENTADO	Silva, 2013
P6	Bt2 não coeso	125-155	Franco-arenosa	184	Perfil 2 noni	Trairi	ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso arênico	Vieira, 2012

Prof. = profundidade; <sup>#</sup> Identificação da amostra na literatura.

Fonte: Autor.

O município de Aquiraz apresenta clima do tipo tropical quente e subúmido, com pluviosidade média de 1.379,9 mm, temperatura média de 26 a 28° C e período chuvoso de janeiro a maio (IPECE, 2012). No município de Aquiraz foram coletadas as amostras P4 e P5 apresentadas na Figura 1.

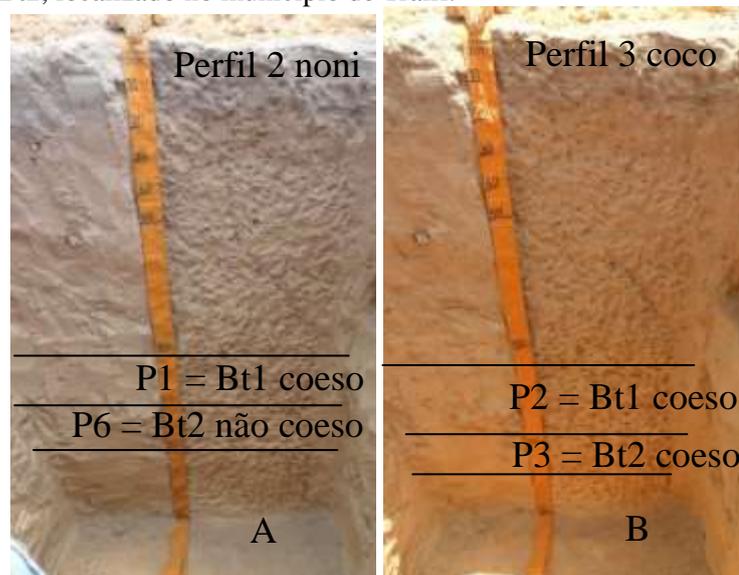
Figura 1 – Fotos dos perfis destacando-se os horizontes utilizados no experimento: A- perfil (sj 02) com Bt1 coeso da amostra P4 e B- perfil (sj 06) com Bt1 coeso da amostra P5, localizados no município de Aquiraz.



Fonte: Ricardo Espíndola Romero.

O município de Trairi tem clima tropical quente, semiárido brando, com pluviosidade média de 1.588,8 mm, temperatura média de 26 a 28° C e período chuvoso de janeiro a abril (IPECE, 2012). Os Horizontes do município de Trairi são representados por P1, P2, P3 e P6 de acordo com a Figura 2.

Figura 2 – Fotos dos perfis destacando-se os horizontes utilizados no experimento: A – perfil (2 noni) com Bt sendo amostra P1 = Bt1 coeso e amostra P6 = Bt2 não coeso e B – perfil (3 coco) com Bt coeso sendo amostra P2 = Bt1 e P3 = Bt2, localizado no município de Trairi.



Fonte: Ricardo Espíndola Romero.

As amostras de solos coletadas dos horizontes Bt, com e sem caráter coeso, foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para secar ao ar. Após secas, foram destorroadas e separadas das impurezas e cascalho por tamisação (malha de 2 mm), recebendo a denominação de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), a qual foi usada nos procedimentos experimentais.

### **3.2 Delineamento experimental e aplicação dos tratamentos**

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial  $(3 \times 5) + 1 + 1$ , com quatro repetições. O primeiro fator corresponde à extração dos compostos de baixa cristalinidade, utilizando-se o oxalato ácido de amônio 0,2M, em três níveis (Tabela 2): SE - sem a extração dos compostos de baixa cristalinidade e saturação com água destilada; CE - com extração dos compostos de baixa cristalinidade e saturação com água destilada e CERS – com extração dos compostos de baixa cristalinidade associada à saturação com solução contendo sílica.

O segundo fator corresponde a cinco horizontes de Argissolos com caráter coeso, identificados como P1 - Bt1: 92-127 cm; P2 – Bt1: 91-144 cm; P3 – Bt2: 142-170cm+; P4 – Bt1: 107-155 cm e P5 – Bt1: 161-200 cm+ (Tabela 1).

Em acréscimo aos fatores foi adotado um tratamento adicional (TA) e um tratamento controle (TC), utilizando-se material do horizonte sem caráter coeso (P6 – Bt2: 125-155 cm) (Tabela 1), sendo TA: sem a extração dos compostos de baixa cristalinidade associada à saturação com solução contendo sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e TC: sem a extração dos compostos de baixa cristalinidade e saturação com água destilada (Tabela 2).

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos.

Fator	Níveis	Descrição dos Tratamentos
Extração	SE: Sem extração	Coloca-se a amostra de TFSA nos tubos de PVC e iniciam-se os ciclos de umedecimento e secagem em saturação com água destilada.
	CE: Com extração	Amostra de TFSA passa pelo processo de extração com solução de oxalato de amônio e depois coloca-se nos tubos de PVC e iniciam-se os ciclos de umedecimento e secagem com água destilada.
	CERS: Com extração e saturação com SiO <sub>2</sub>	Amostra de TFSA passa pelo processo de extração com solução de oxalato de amônio e depois coloca-se nos tubos de PVC e iniciam-se os ciclos de umedecimento e secagem com SiO <sub>2</sub> .
Tratamento Adicional	TA: Horizonte não coeso	Coloca-se a amostra de TFSA nos tubos de PVC e iniciam-se os ciclos de umedecimento e secagem com solução de SiO <sub>2</sub> .
Tratamento Controle	TC: Horizonte não coeso	Coloca-se a amostra de TFSA nos tubos de PVC e iniciam-se os ciclos de umedecimento e secagem em saturação com água destilada.

Fonte: Autor

### 3.2.1 Extração por oxalato de amônio

A solução de oxalato ácido de amônio 0,2M foi preparada utilizando-se 16,15 g de oxalato de amônio e 10,90 g de ácido oxálico para 1000 mL de solução com ajuste do pH para 3,0. A extração foi realizada nas amostras inseridas nos níveis com extração (CE) e com extração e saturação com SiO<sub>2</sub> (CERS) em cinco horizontes com quatro repetições, totalizando 40 amostras submetidas ao processo (Tabela 3). A relação para extração foi de 1:50 sendo 15 g de TFSA para 750 mL de solução de oxalato de amônio, colocou-se o extrato em frasco escuro e foi submetido a agitação por 4 horas com rotação de 150 rpm e posterior separação da solução das partículas de solo da solução por centrifugação de 10 minutos a 1000 g (PANSU; GAUTHEYROU, 2003).

Tabela 3 – Descrição da quantidade de amostras submetidas ao procedimento de extração por oxalato.

Fator	Níveis	Horizontes	Número de amostras
Extração	Com extração e saturação com Água	P1	4
		P2	4
		P3	4
		P4	4
		P5	4
	Com extração e saturação com SiO <sub>2</sub>	P1	4
		P2	4
		P3	4
		P4	4
		P5	4
Total de amostras com extração com oxalato			40

Fonte: Autor.

O sobrenadante foi descartado, o solo lavado com água destilada e colocado para secar na estufa a 60° C até atingir peso constante. As demais amostras (28) foram utilizadas sem realizar esse pré-tratamento, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição da quantidade de amostras que não passou pelo procedimento de extração por oxalato.

Fator	Níveis	Horizontes	Número de amostras
Extração	Sem extração e saturação com Água	P1	4
		P2	4
		P3	4
		P4	4
		P5	4
Tratamento adicional	Sem extração e saturação com Água	P6	4
Tratamento controle	Sem extração e saturação com SiO <sub>2</sub>	P6	4
Total de amostras sem extração com oxalato			28

Fonte: Autor.

### 3.2.2 Preparação da Solução com Sílica (SiO<sub>2</sub>)

A solução de sílica foi preparada utilizando-se Sílica gel Azul saturada. O preparo da solução procedeu da seguinte forma adicionava 200 g de sílica gel no Becker de 1 L com agitação por 2 horas depois diluía a solução com água destilada na relação de 1 para 1, a mesma foi colocada nas bandejas com as amostras correspondentes ao fator extração no nível com extração e saturação com óxido de sílica e no tratamento adicional. Com uma concentração de sílica de 70 mg L<sup>-1</sup>.

### 3.2.3 Ensaio experimental

Os materiais (TFSA) com e sem extração foram acondicionados em tubos PVC de dimensões de 5 cm de altura por 2,5 cm de diâmetro, com um tecido no fundo de cada tubo para evitar a perda de solo.

Todas as amostras contidas nos tubos passaram por 6 ciclos de umedecimento e secagem. O umedecimento consistiu em colocar os tubos em uma bandeja com água destilada ou solução contendo silício, dependendo dos níveis do fator em questão. Inicialmente colocou-se o líquido até um terço da altura das amostras e, depois de um dia saturando, foi acrescentado até dois terços da altura (Figura 3). Este procedimento foi adotado para que houvesse o preenchimento dos poros do solo por capilaridade.

Após a saturação, as amostras foram deixadas em repouso pelo período de dois dias e, então, levadas para a estufa a temperatura de 60° C até peso constante.

Figura 3 – Fase de umedecimento das amostras.



Fonte: Autor.

### 3.3 Variáveis resposta

As amostras submetidas aos ciclos de umedecimento e secagem foram utilizadas na análise das seguintes variáveis: condutividade hidráulica do solo saturado, resistência à penetração e densidade do solo, seguindo-se essa sequência de análise.

A umidade do solo também foi determinada nas amostras submetidas ao teste de resistência à penetração, para avaliar se a umidade influenciou os resultados obtidos.

#### 3.3.1 Umidade do solo

Após a estabilização das amostras na tensão de - 500 kPa na câmara de Richards, as amostras foram pesada úmida e posteriormente determinada a resistência à penetração. A umidade determinada pela seguinte fórmula:

$$\phi(g \cdot g^{-1}) = \frac{(MU - MS)}{MS} \quad 1$$

em que:

$\phi(g \cdot g^{-1})$  = Umidade em base massa;

MU(g) = Massa do solo úmido;

MS (g) = Massa do solo seco.

### 3.3.2 Resistência à Penetração

Após a determinação da massa úmida, realizados os testes de resistência à penetração. Procedendo da seguinte forma: foi determinada com o auxílio de um penetrômetro eletrônico estático de laboratório com velocidade constante de penetração de  $0,01 \text{ m.min}^{-1}$ , equipado com atuador linear de célula de carga de 20 kgf, acoplado a um microcomputador para aquisição dos dados, conforme descrito por Tormena; Silva; Libardi (1998).

### 3.3.3 Densidade do solo

Após a determinação da resistência à penetração, as amostras foram levadas para estufa a  $105^\circ \text{ C}$  até peso constante e, posteriormente, pesadas conforme EMBRAPA (1997). A densidade do solo foi determinada utilizando-se a fórmula a seguir:

$$\rho_s (\text{gcm}^{-3}) = \frac{MS}{VS} \quad 2$$

em que:

$\rho_s (\text{gcm}^{-3})$  = Densidade do solo;

MS (g) = Massa do solo seco;

VS ( $\text{cm}^{-3}$ ) = Volume total do solo.

### 3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F e posteriormente, quando significativos, submetidos ao teste de comparação de médias de Scott-Knott (5%) utilizando software ASSISTAT versão 7.7 beta (pt).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística (tabela 5) mostra que, todas as variáveis apresentaram significância para o fator perfil e o fator extração ( $p$ -valor $>0,05$ ). As variáveis densidade e resistência à penetração apresentaram interação entre os fatores extração e perfil ( $p$ -valor $>0,05$ ), sendo realizados os desdobramentos dos fatores.

A comparação entre o fatorial e o tratamento controle (tabela 5) foi significativa ( $p$ -valor  $>0,05$ ) para as variáveis analisadas. Em relação ao tratamento controle e o tratamento adicional, não houve diferença significativa ( $p$ -valor  $<0,05$ ) para as variáveis estudadas.

Tabela 5 – Resumo da ANOVA para as variáveis: densidade ( $\rho$ ) e Resistência à Penetração (RP).

Fontes Variação	$\rho$	R. P.
	Valor F	
Extração (E)	74,6701**	67,0616**
Perfil (P)	38,6094**	3,1034*
Int. ExP	3,6457**	3,6553**
Fat (ExP)x T.A.+T.C.	12,2420**	37,1390**
T.A.xT.C.	0,7726ns	1,8074ns
CV (%)	3,83	36,38

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo ( $p \geq 0,05$ );

Fonte: Autor.

Na Tabela 6, os resultados do teste Dunnet para a variável densidade do solo ( $\rho$ ) mostram diferença entre o controle e os tratamentos: sem extração - SE (P1, P2, P4 e P5) e com extração e saturação com SiO<sub>2</sub> - CERS (P3, P4 e P5). A densidade não apresentou diferença entre o controle e o tratamento CE em todos os horizontes estudados. Em relação a variável densidade no nível SE, as amostras apresentaram um aumento de 10,6 % (P2) a 19,8% (P5) em relação ao controle, enquanto no nível CERS, os valores apresentaram aumento 12,1% (P5) e 8,4% (P4), entretanto, a densidade do P3 teve uma redução de 8,2% em relação ao controle.

Para a variável resistência à penetração (R.P.), o tratamento SE (P1, P2, P3, P4 e P5) e o P4 do CERS apresentaram diferença em relação ao controle (Tabela 6). A resistência à penetração no nível SE apresentou um aumento em relação ao controle oscilando de 69,4% (P1) a 81,5% (P2). No tratamento P4 do CERS, houve um aumento de 72,1% em relação ao controle. O tratamento adicional não apresentou diferença significativa em relação ao controle. A inexistência de diferença significativa nos tratamentos CERS e adicional (T.A.) pode estar associada à baixa solubilidade de solução (sílica gel) usada para os ciclos de

umedecimento e secagem e pelo fato quando iniciava os ciclos de umedecimento e secagem parte do óxido de sílica se depositava no fundo da bandeja.

Tabela 6 – Valores médios e resultados do teste Dunnet para as variáveis: Densidade ( $\rho$ ) e Resistência à Penetração (R. P.).

Tratamento	$\rho$	R. P.
	$\text{g cm}^{-3}$	MPa
SE;P1	1,35±0,04 *	3,82±0,58 *
SE;P2	1,22±0,04 *	6,33±1,81 *
SE;P3	1,10±0,05	3,90±0,57 *
SE;P4	1,29±0,02 *	5,16±1,04 *
SE;P5	1,36±0,09 *	5,49±2,12 *
CE;P1	1,15±0,03	1,88±0,33
CE;P2	1,13±0,05	1,86±0,72
CE;P3	1,01±0,04	1,33±0,61
CE;P4	1,07±0,01	1,00±0,22
CE;P5	1,13±0,03	1,47±0,47
CERS;P1	1,16±0,05	2,43±1,22
CERS;P2	1,10±0,06	1,75±1,24
CERS;P3	1,00±0,03 *	1,42±1,07
CERS;P4	1,19±0,05 *	4,20±0,57 *
CERS;P5	1,24±0,04 *	2,10±0,89
T.A.	1,12±0,05	0,38±0,21
T.C.	1,09±0,05	1,17±0,24

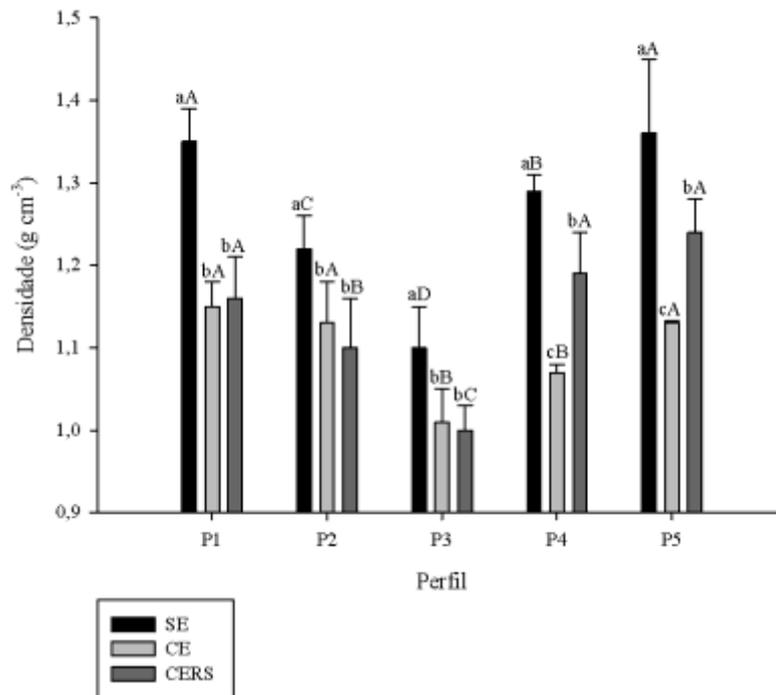
\* Diferem do tratamento controle (TC) pelo teste Dunnet 5% (bilateral). SE = Sem extração e saturação com água destilada; CE = Com extração e saturação com água destilada; CERS = Com extração e saturação com  $\text{SiO}_2$ . TA = Sem extração e saturação com  $\text{SiO}_2$  no horizonte não coeso; TC = Sem extração e saturação com água destilada no horizonte não coeso.

Fonte: Autor.

A densidade do solo no tratamento sem extração por oxalato (SE) foi superior a dos tratamentos com extração (CE e CERS) em todas as amostras estudadas (Gráfico 1). Este resultado é semelhante ao encontrado por Vieira (2013), confirmando que os compostos de baixa cristalinidade, extraídos por oxalato, têm influência nos atributos dos horizontes com caráter coeso.

Os resultados no tratamento SE mostram ainda que os maiores valores médios de densidade (Gráfico 1) ocorreram nas amostras com menores teores de argila (P1 e P5) e, à medida que o teor de argila aumentou (Tabela 1), houve redução da densidade, tendência que é confirmada pela análise de correlação (Gráfico 2).

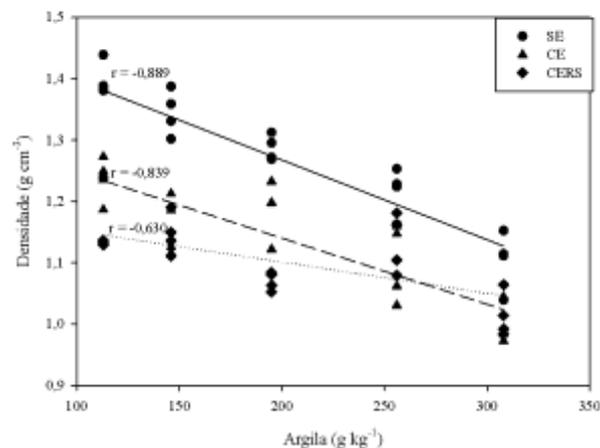
Gráfico 1 – Desdobramentos da interação significativa da variável densidade do solo.



Médias seguidas da mesma letra minúsculas entre tratamentos de extração e maiúsculas entre horizontes não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott. SE = Sem extração e saturação com água destilada; CE = Com extração e saturação com água destilada; CERS = Com extração e saturação com SiO<sub>2</sub>.

Fonte: Autor.

Gráfico 2 – Correlação de Pearson entre as variáveis argila x densidade.



SE = Sem extração e saturação com água destilada;  
CE = Com extração e saturação com água destilada; CERS =  
Com extração e saturação com SiO<sub>2</sub>.

Fonte: Autor.

No Gráfico 2 apresentada a correlação entre densidade e a argila estudadas separadas pelos níveis do fator extração entre SE, CE e CERS. As correlações entre o teor de argila e a densidade do solo apresentaram-se boas nos níveis SE e CE, com valores maiores de - 0,889e - 0,839, respectivamente. O mesmo padrão de resposta (relação inversa) ocorreu em CERS, com um r de - 0,630.

Analisando-se os resultados de Vieira (2013), também se pode observar que, após os ciclos de umedecimento e secagem, os solos menos argilosos tendem a apresentar densidade mais elevada. Este fato está relacionado com a maior proporção da fração areia, a qual é constituída predominantemente por quartzo (CINTRA *et al.*, 2009), mineral que tem alta densidade específica e proporciona densidade mais elevada em solos de textura mais arenosa (AMARO FILHO, ASSIS JR.; MOTA, 2008) .

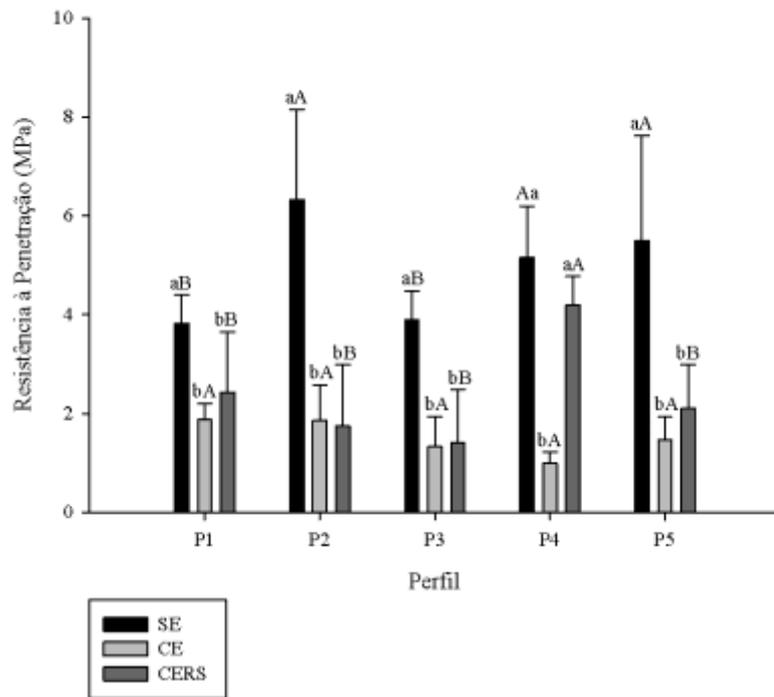
Os valores de densidade no tratamento SE oscilaram entre 1,10 e 1,36 g cm<sup>-3</sup>, portanto, inferiores aos encontrados em solos do Ceará (Viera *et al.*, 2012) e do Maranhão (DANTAS *et al.*, 2014), porém estes trabalhos usaram amostra indeformadas. No entanto, as médias aqui encontradas são ligeiramente inferiores às determinadas por Vieira (2013), em condições semelhantes.

Os dados de resistência à penetração (Gráfico 3) mostram que o tratamento sem extração (SE) apresentou valores maiores que os tratamentos com extração por oxalato (CE e CERS), entretanto, na amostra do horizonte P4 não houve diferença significativa entre SE e CERS. Os aumentos significativos nos valores do tratamento SE em relação ao CE (somente com extração por oxalato) oscilaram, em termos relativos, de 50,8 a 80,6%.

Dantas et al. (2014), usando amostras indeformadas de três perfis com caráter coeso do Estado do Maranhão, encontraram valores inferiores ao deste estudo. Entretanto, embora os tratamentos tenham usado terra fina, a resistência à penetração foi determinada com o solo seco, após as amostra terem sido submetidas a uma tensão de 500 kPa . Assim, deve-se ressaltar que a resistência à penetração é influenciada pela coesão do solo, mas também está correlacionada com a umidade ( $\theta$ ) no momento da determinação (SILVEIRA et. al., 2010).

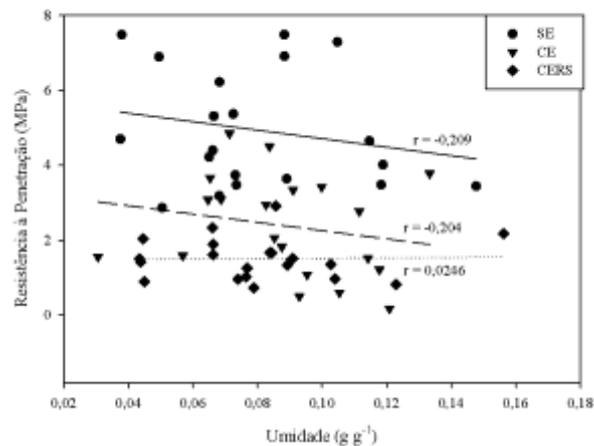
Um padrão de resposta semelhante ao deste trabalho foi encontrado por Vieira (2013), que fez testes de resistência à penetração com amostras submetidas à tensão de 6 atm. Nesse trabalho, o material de horizontes com caráter coeso sem extração por oxalato apresentou valores mais elevados de resistência à penetração, variando de 3,70 a 5,14 MPa, do que aquele submetido à extração por oxalato, que variou de 2 a 4 MPa.

Gráfico 3 – Desdobramentos da interação significativa da variável Resistência à Penetração.



Médias seguidas da mesma letra minúsculas entre tratamentos de extração e maiúsculas entre horizontes não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott SE = Sem extração e saturação com água destilada; CE = Com extração e saturação com água destilada; CERS = Com extração e saturação com SiO<sub>2</sub>; Fonte: Autor..

Gráfico 4 – Correlação de Pearson entre as variáveis umidade x resistência a penetração.



SE = Sem extração e saturação com água destilada;  
 CE = Com extração e saturação com água destilada; CERS =  
 Com extração e saturação com SiO<sub>2</sub>.  
 Fonte: Autor.

Para destacar a importância do fator extração, desmembrou-se o fatorial juntando-se as médias do fator solo (horizonte). A análise isolada do fator extração demonstrou, para todas as variáveis, a diferença estatística do tratamento sem extração por oxalato SE em relação aos demais tratamentos (Tabela 7), que passaram por extração (CE e CERS).

Alguns autores concluíram que os compostos químicos extraídos por oxalato de amônio não têm relação com a gênese dos horizontes com caráter coeso (MOREAU *et al.*, 2006; LIMA NETO *et al.*, 2010; CORRÊA *et al.*, 2015). Entretanto, isso vai de encontro aos resultados do fator extração (Tabela 7), que mostram que há uma influência dos compostos de baixa cristalinidade (extraídos por oxalato de amônio) nos atributos típicos do caráter coeso, semelhante ao que foi encontrados nos estudos de Vieira *et al.* (2012) e Vieira (2013).

Deve-se destacar que aqueles trabalhos, que não encontraram influência dos compostos químicos (MOREAU *et al.*, 2006; LIMA NETO *et al.*, 2010; CORRÊA *et al.*, 2015), basearam-se na inexistência de diferenças estatísticas entre os horizontes com caráter coeso e sem esse caráter. No entanto, o caráter coeso ocorre em horizontes adensados (EMBRAPA, 2013), que apresentam menor porosidade (LIMA *et al.*, 2005; LIMA NETO *et al.*, 2010) e, assim, permitem que a ação cimentante dos compostos químicos seja mais atuante.

Ressalta-se que a influência dos compostos químicos na gênese do caráter coeso não descarta as conclusões obtidas por outros autores, porque pode haver a interação de diferentes fatores e processos. Alguns trabalhos mostram que a iluviação de argilas muito finas no horizonte com caráter coeso (CORREA *et al.*, 2008), entupindo os poros do solo (LIMA NETO *et al.*, 2010) em um material com a fração areia pobremente selecionada (BEZERRA *et al.*, 2015), promovem o adensamento das partículas do solo e, assim, favorecem a ação dos compostos químicos de baixa cristalinidade (extraídos por oxalato ácido de amônio). Dessa forma, esses fatores e processos proporcionam aos horizontes com caráter coesos os seguintes atributos: densidade do solo mais elevada, baixa condutividade hidráulica e alta resistência à penetração.

Tabela 7 – Comparação de médias para as variáveis: densidade e resistência à penetração para o fator extração.

Extração	Densidade	Resistência à Penetração
	g cm <sup>-3</sup>	MPa
SE	1,26±0,09 a	4,94±1,09 a
CE	1,10±0,11 b	1,51±1,07 b
CERS	1,14±0,06 b	2,38±0,37 b

Médias seguidas da mesma letra minúsculas não diferem dentre entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott. SE = Sem extração e saturação com água destilada; CE = Com extração e saturação com água destilada; CERS = Com extração e saturação com SiO<sub>2</sub>. Fonte: Autor.

## **5 CONCLUSÃO**

Os compostos de baixa cristalinidade estão relacionados ao processo de coesão dos horizontes com caráter coeso dos solos estudados, pois a extração por oxalato de amônio causou alteração nos atributos físicos analisados;

A saturação com solução de sílica, nas condições desse trabalho, não conseguiu reproduzir o processo natural de formação do horizonte com caráter coeso.

## REFERÊNCIAS

- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. **Física do Solo - Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290p.
- ARAI, M. A. Grande Elevação Eustática do Mioceno e Sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. **Geologia**. USP Série. Científica. São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, out. 2006.
- ARAÚJO, Q.R. *et al.* Soil carbon and physical property changes in Brazilian Coastal tableland soils with land use following deforestation. **Agroforestry systems**, 63, p. 193-198, 2004.
- BEZERRA A. 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.
- BIGARELLA, J.J.; ANDRADE, G.O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). Universidade Recife Arq. Instituto Ciências da Terra, 2:1- 14, 1964.
- CARVALHO V. S. *et. al.* Caracterização de espodosolos dos estados da Paraíba e do Pernambuco, Nordeste do Brasil, **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, p.1454-1463, 2013.
- CINTRA, L. F. D, *et. al.* Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro, **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p.1041-1051, 2009.
- CORRÊA, M. M. KER J. C., ARAÚJO FILHO J. C. CAMÊLO D. L., .Formas de Ferro, Silício e, ou, Alumínio na Gênese de Fragipãs e Horizontes Coesos dos Tabuleiros Costeiros, **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, p. :940-949, 2015.
- CORRÊA, M. M. *etal.* Caracterização Física, Química, Mineralógica e Micromorfológica de Horizontes Coesos e Fragipãs de Solos Vermelhos e Amarelos do Ambiente Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 297-313, jan./fev. 2008.
- DANTAS, J. S., MARQUES JÚNIOR J., MARTINS FILHO M. V., RESENDE J. M. A., CAMARGO L. A., BARBOSA R. S. B. . Gênese de solos coesos do leste maranhense: relação solo-paisagem, **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. :1039-1050, 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3, ed. Brasília, 2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C. Barreiras: formação ou grupo? (contribuições da análise geomorfológica do litoral sul da Bahia e das “chapadas” do Jequitinhonha). In:

**CONGRESSO ABEQUA**, 10., 2005, Guarapari. Resumos Expandidos... Guarapari: ABEQUA, 2005. (1 CD-ROM).

FRANZMEIER, D.P.; CHARTRES, C.J. & WOOD, J.T. Hardsetting soils in Southeast Australia: Landscape and profile processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1178-1187, 1996.

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 Ciências do Solo**, v. 33, p.33-40, 2009

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S. & DEXTER, A.R. Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior. *Geoderma*, 113:95-108, 2003.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia Agricola** , v.59, p. 613-620, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE), **PERFIL BÁSICO MUNICIPAL 2012 TRAIRI**, Disponível em [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/pbm-2012/Trairi.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Trairi.pdf)

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE), **PERFIL BÁSICO MUNICIPAL 2012 AQUIRAZ**, 2006 Disponível em [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/pbm-2012/Aquiraz.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/pbm-2012/Aquiraz.pdf)

LIMA H.V., SILVA A.P., SANTOS M.C., COOPER M., ROMERO R.E. Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceara' (Brazil). **Geoderma**, v 132, p 416–426, 2006

LIMA NETO, J. A., 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., CORRÊA M. M., SOUZA JÚNIOR V. S., LIMA J. F. W. F., ABREU R. F., FERREIRA 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.

MABESOONE, J.M.; ROLIM, J.L. **Problemas estratigráficos e sedimentológicos do cenozóico nordestino**. Estudos Pesquisa, 5:7-18, 1982.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. S. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 31:1599-1608, 2007

MELO FILHO, V.F. et al. Propriedades químicas e cristalográficas da caulinita e dos óxidos de ferro em sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p.53 64, 2002.

MOREAU, A. M. S. S *et al.* 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, 2006.

MULLINS, C.E. *et al.* Hardsetting soils. **Soil Use and Management**, v.3, p. 79-83, 1987.

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

PAIVA A. Q., SOUZA L. S. Variação do potencial total da água em uma topossequência de solos de tabuleiro, durante dois anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 349-355, 2001.

PANSU; GAUTHEYROU, **Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods**, springer, 2003, 995p.

RAMOS M. R., CURCIO G. R., DEDECEK R. A., MELO V. F., UHLMANN A. Influência da posição na encosta na manifestação do caráter coeso em solos da formação macacu, no Estado do Rio de Janeiro, **Revista Brasileira de Ciência Solo**; v. 37; p.837-845, 2013.

SANTANA M. B., SOUZA L. da S., SOUZA L. D., FONTES L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. . **Revista Brasileira de Ciência Solo**; v.30; p.1-12, 2006.

SILVA A. J. N. da; RIBEIRO M. R.. Caracterização de latossolo amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de alagoas: atributos morfológicos e físicos; **Revista Brasileira de Ciência Solo**; v.21; p.677-684, 1997.

SILVA, D. M. **Parâmetros físicos de horizontes com caráter coeso em uma topossequência em aquiraz-ce.** 2013, 39 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

SILVEIRA D. C., MELO FILHO J. F., SACRAMENTO J. A. A. S., SILVEIRA E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia, **Brasileira de Ciência Solo**; v. 34; p. 659-667, 2010.

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

VIEIRA, J. M. **Contribuição de compostos amorfos e ciclos de umedecimento e secagem na gênese de solos com caráter coeso do Estado do Ceará**, 2013,105f,Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.