

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

JULIANA MATOS VIEIRA

**CONTRIBUIÇÃO DE COMPOSTOS DE BAIXA CRISTALINIDADE E CICLOS DE
UMEDECIMENTO E SECAGEM NA GÊNESE DO CARÁTER COESO EM SOLOS
DO CEARÁ**

**FORTALEZA
2013**

JULIANA MATOS VIEIRA

CONTRIBUIÇÃO DE COMPOSTOS DE BAIXA CRISTALINIDADE E CICLOS DE
UMEDECIMENTO E SECAGEM NA GÊNESE DO CARÁTER COESO EM SOLOS
DO CEARÁ

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, Área de
Concentração em Solos e Nutrição
de Plantas, da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo
Espíndola Romero.

FORTALEZA
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- V715c Vieira, Juliana Matos.
 Contribuição de compostos de baixa cristalinidade e ciclos de umedecimento e secagem na gênese do caráter coeso em solos do Ceará / Juliana Matos Vieira.– 2013.
 113f. : il. color. enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, Fortaleza, 2013.
 Área de Concentração: Caracterização, gênese e pedologia aplicada.
 Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.
 Coorientação: Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira.
1. Solos - Composição. 2. Solos - Densidade. 3. Física do solo. I. Título.
- CDD 631.4
-

JULIANA MATOS VIEIRA

CONTRIBUIÇÃO DE COMPOSTOS DE BAIXA CRISTALINIDADE E CICLOS DE
UMEDECIMENTO E SECAGEM NA GÊNESE DO CARÁTER COESO EM SOLOS
DO CEARÁ

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, Área de
Concentração em Solos e Nutrição
de Plantas, da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo
Espíndola Romero.

Aprovada em: 28/06/2013.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Dr. José Coelho de Araújo Filho
EMBRAPA SOLOS / UEP Recife

Aos meus pais José Vieira e Raimunda Matos pelo amor, dedicação, educação e por tudo que me proporcionaram para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu amado esposo Emanuel Dias, pela amizade, amor, paciência e incentivo que tenho recebido durante todos esses anos juntos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pela força e coragem durante toda esta caminhada e por me proporcionar tantas oportunidades.

A minha querida avó Terezinha, companheira de todas as horas. Ao meu irmão Júnior, pelos momentos de descontração. Aos meus tios, tias e primas, em especial, Tia Socorro, Maria e Andréa que sempre estiveram presentes, ainda que à distância.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pelo conhecimento e qualificação que tanto contribuiu para minha formação profissional e pessoal.

Ao Professor Dr. Ricardo Espíndola Romero pela paciência, orientação, amizade, confiança e pela contribuição na minha vida acadêmica.

Ao professor Dr. Tiago Osório Ferreira pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho, sugestões e constante incentivo.

Ao professor Dr. Jaedson Mota pela grande ajuda e sugestões na etapa de laboratório.

Ao Dr. José Coelho pela atenção e por ter aceitado prontamente o convite de participar da banca examinadora.

Ao Professor Dr. Assis Júnior, pela disponibilização do Laboratório de Física do solo.

Ao Professor Dr. Paulo Mendes pela disponibilidade do uso do Laboratório de Microbiologia.

Ao Professor Dr. Marcelo Metri, pela atenção e disponibilização de amostras de solos.

Aos funcionários do Departamento de solos, em especial, ao Franzé, Antônio José, Tavares, Geórgia, Edilson, Marilena, Vilalba e Helena.

Aos amigos Leilson (Lenilsoon), Natiely, Hermano e Levi pela ajuda no laboratório e pela convivência agradável. Agradeço também ao meu amigo Dimitri, que muito me ajudou no desenvolvimento desse trabalho, também pela paciência e amizade.

Aos Amigos Rodrigo, Lêonia, Leo Jakson, Camila, Kézia, Germânia, Deivielison, Viviane e Gislaine pela atenção, amizade e palavras de conforto dirigidas a minha pessoa.

Aos colegas e amigos Régis, Ronaldo, Izabel, Tiago, Gabriel, Adriana, Eudes, Bruna, Daniel, Girlaine, Rafa, Carol, Isabel Cristina, Talles, Fabi, Mirela, Irlene, Wilson, Maia, Tiago Moura, Dionis, Neyson, Adriana Guirado e a todos que fizeram parte desta caminhada.

Obrigada a todos que, mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa e para a pessoa que sou hoje.

RESUMO

Os Tabuleiros Costeiros apresentam solos com caráter coeso, os quais podem ocasionar impedimento físico à penetração das raízes e à dinâmica da água. No entanto, a gênese desses horizontes não está completamente esclarecida. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a influência de compostos amorfos na gênese de horizontes com caráter coeso em solos de diferentes texturas dos Tabuleiros Costeiros do Ceará, bem como verificar, através de análises físicas o comportamento desses solos na presença e na ausência desses compostos. Objetivou-se também, avaliar a influência de ciclos de umedecimento e secagem no adensamento desses solos. Para avaliação do efeito dos compostos amorfos na coesão dos solos, foram utilizadas amostras de TFSA de horizontes com caráter coeso de 9 perfis de solo do estado do Ceará, sendo estas, submetidas a 2 tratamentos: com e sem extração de compostos amorfos. As amostras (com e sem extração) foram submetidas a 3 ciclos de umedecimento e secagem e, posteriormente, a resistência à penetração (RP), condutividade hidráulica e densidade do solo foram determinadas. Para avaliação da influência dos ciclos de umedecimento e secagem no adensamento desses solos, foram aplicados 3 diferentes números de ciclos de umedecimento e secagem (3, 6, 9 ciclos). Após esses ciclos, a resistência do solo à penetração e densidade foram avaliadas. Os acréscimos de sílica e de alumínio de baixa cristalinidade (amorfos) nos horizontes coesos evidenciam que esses compostos contribuem conjuntamente na gênese destes horizontes. Independente da textura, os solos que passaram pelo processo de extração de compostos amorfos apresentaram uma redução significativa na resistência do solo à penetração e na densidade. Verificou-se que nesses solos, a condutividade hidráulica foi superior àquela observada nos solos sem a extração dos compostos amorfos. Desse modo, fica clara a contribuição desses compostos no endurecimento dos solos coesos. No que se refere aos efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem nas características avaliadas do solo (RP e densidade), observou-se que de um modo geral, o aumento do número de ciclos provocou um sutil aumento na densidade do solo. Os solos que passaram pelos 9 ciclos de umedecimento e secagem apresentaram um aumento significativo na RP em relação aos solos que passaram por 3 e 6 ciclos.

Palavras-chave: Pedogênese. Horizonte coeso. Cimentação temporária.

ABSTRACT

The Coastal Plains exhibit cohesive soils, which can cause physical impediments to root penetration and water dynamics. However, in the genesis of these horizons are not completely understood. Thus, the aim of the present study was to evaluate the influence of amorphous compounds in the genesis of cohesive horizons in soils of different textures of the Coastal Plains of Ceará, as well as verify, through physical behavior of these soils in the presence and absence of these compounds. This study also aimed to evaluate the influence of wetting and drying cycles in the density of these soils. To evaluate the effect of amorphous compounds in soil cohesion, we used samples from the air-dried cohesive horizons 9 soil profiles of the state of Ceará, these being subjected to two treatments: with and without extraction of amorphous compounds. The samples (with and without extraction) were subjected to 3 cycles of wetting and drying, and subsequently, the penetration resistance (PR), hydraulic conductivity and bulk density were determined. To assess the influence of wetting and drying cycles in the density of these soils were performed 3 different levels of wetting and drying cycles (3, 6, 9 cycles). After these cycles, penetration resistance resistance and density were evaluated. The additions of silica and aluminum low crystalline (amorphous) in cohesive soils show that these compounds contribute jointly in the genesis of these horizons. Regardless of texture, soil that passed through the extraction process of amorphous compounds showed a significant reduction in soil resistance to penetration and density. It was found that these soils, the hydraulic conductivity was higher than that observed in soil without extraction of amorphous compounds. Thus, it is clear the contribution of these compounds in the hardening in cohesive soils. With regard to the effects of wetting and drying cycles assessed characteristics of the soil (RP and density), it was observed that in general, increasing the number of cycles caused a subtle increase in bulk density. Soils that have gone by 9 cycles of wetting and drying showed a remarkable increase in RP in relation to soils soils that have undergone 3 and 6 cycles.

Keywords: Pedogenesis. Cohesive soils. Temporary cementation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa da região nordeste e, em destaque, área ocupada pelos Tabuleiros Costeiros.....	18
Figura 2 -	Sistema radicular de laranja pêra em solo com caráter coeso.....	24
Figura 3 -	Resistência à penetração sendo determinada em amostra que passou por ciclos de umedecimento e secagem.....	40
Figura 4 -	Teste de condutividade hidráulica do solo em amostras que passaram pelos ciclos de umedecimento e secagem.....	41
Figura 5 -	Correlação entre os teores de Al_2O_3 e SiO_2	54
Figura 6 -	Correlação entre condutividade hidráulica e teor de argila.....	55
Figura 7 -	Valores médios de condutividade hidráulica (K_0) nos horizontes coesos e não coesos. (A) Médias de K_0 em horizontes menos argilosos; (B) Médias de K_0 em horizontes mais argilosos.....	59
Figura 8 -	(A) Valores de resistência à penetração nos horizontes em que os compostos amorfos não foram retirados; (B) Teores de compostos amorfos ou de baixa cristalinidade.....	62
Figura 9 -	Valores médios de resistência do solo à penetração (RP) entre os tratamentos (com e sem extração de compostos de baixa cristalinidade) nos horizontes com caráter coeso (A). Valores médios de densidade do solo nas amostras sem e com extração dos compostos amorfos (B).....	65
Figura 10 -	Valores médios de RP e densidade nos horizontes coesos e não coesos. (A) Horizontes mais argilosos; (B) Horizontes menos argilosos.....	67
Figura 11 -	Valores de densidade do solo referentes às diferentes quantidades de ciclos de umedecimento e secagem.....	71
Figura 12 -	Valores de resistência do solo à penetração (RP) após diferentes números de ciclos de umedecimento e secagem.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Solos com caráter coeso dos Tabuleiros Costeiros do Ceará estudados.....	32
Tabela 2 -	Horizontes sem caráter coeso utilizados para comparação da coesão.....	33
Tabela 3 -	Classificação dos solos estudados.....	33
Tabela 4 -	Características gerais das áreas de estudo nos Tabuleiros Costeiros.....	34
Tabela 5 -	Teores de Si (expressos na forma de óxido) obtidos por extrações com cloreto de cálcio (CaCl_2) e ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$).....	46
Tabela 6 -	Valores de pH em H_2O referentes aos solos estudados.....	48
Tabela 7 -	Teores de Si (expressos na forma de óxidos) nos horizontes coesos e não coesos obtidos por extrações com CaCl_2 , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ e Oxalato de amônio (O A).....	50
Tabela 8 -	Teores de Fe_2O_3 , Al_2O_3 e SiO_2 nos horizontes coeso e não coeso obtidos através de extrações com oxalato de amônio.....	53
Tabela 9 -	Valores médios de condutividade hidráulica e densidade dos horizontes coesos sem extração de compostos amorfos.....	56
Tabela 10 -	Valores médios de condutividade hidráulica e densidade dos horizontes coesos com e sem extração pelo oxalato de amônio.....	58
Tabela 11 -	Valores médios de umidade determinados nas amostras no momento da determinação da RP.....	63
Tabela 12 -	Teores de SiO_2 e Al_2O_3 (extraídos por oxalato de amônio) nos horizontes coesos e não coesos utilizados para comparação de RP e densidade.....	68
Tabela 13 -	Médias de densidade e RP referentes aos solos submetidos a 3, 6 e 9 ciclos de umedecimento e secagem.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Formação Barreiras.....	15
2.2	Tabuleiros Costeiros.....	17
2.2.1	<i>Características.....</i>	17
2.2.2	<i>Solos.....</i>	19
2.3	Horizontes com caráter coeso.....	20
2.4	Identificação do caráter coeso.....	22
2.5	Limitações relacionadas ao uso de solos com caráter coeso.....	23
2.6	Gênese de horizontes com caráter coeso.....	25
2.6.1	<i>Papel da sílica em horizontes endurecidos.....</i>	27
2.6.2	<i>Influência de Ciclos de umedecimento e secagem na gênese de horizontes endurecidos.....</i>	30
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1	Seleção e características gerais das áreas de estudo	34
3.2	Análises para caracterização e classificação dos solos.....	34
3.2.1	<i>Análises físicas.....</i>	35
3.2.2	<i>Análises químicas.....</i>	35
3.3	Sílica extraível.....	37
3.3.1	<i>Sílica extraível por ácido acético.....</i>	37
3.3.2	<i>Sílica solúvel por cloreto de cálcio.....</i>	37
3.3.3	<i>Sílica amorfa extraída por oxalato de amônio.....</i>	38

3.4	Ensaio experimental para avaliação do comportamento dos horizontes com caráter coeso sem extração e após extração de compostos amorfos.....	38
3.4.1	<i>Quantificação de compostos de baixa cristalinidade (Fe, Si e Al).....</i>	39
3.4.2	<i>Resistência do solo à penetração.....</i>	39
3.4.3	<i>Condutividade hidráulica do solo saturado.....</i>	41
3.4.4	<i>Densidade do solo.....</i>	42
3.5	Avaliação dos efeitos de diferentes números de ciclos de umedecimento e secagem na manifestação da coesão.....	43
3.6	Análise estatística.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1	Sílica extraída por cloreto de cálcio (CaCl ₂), ácido acético (C ₂ H ₄ O ₂) e oxalato de amônio.....	45
4.2	Ferro, alumínio e silício amorfos extraídos pelo oxalato de amônio.....	52
4.3	Ensaio experimental para avaliação do comportamento de horizontes com caráter coeso antes e após extração de compostos amorfos.....	55
4.3.1	<i>Condutividade hidráulica e densidade do solo.....</i>	55
4.3.2	<i>Resistência do solo à penetração.....</i>	61
4.4	Influência de ciclos de umedecimento e secagem no adensamento dos solos coesos.....	70
5	CONCLUSÕES.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75
	ANEXOS.....	84
	Anexos I - Descrição morfológica dos perfis.....	85
	Anexos II - Fotos dos perfis.....	101
	Anexos III- Dados analíticos.....	107

1 INTRODUÇÃO

Os solos dos Tabuleiros Costeiros, distribuídos por quase toda faixa costeira do Brasil, são normalmente profundos e ocorrem em áreas de relevo plano à suave ondulado, o que favorece o desenvolvimento da agricultura intensiva.

A presença de horizontes com caráter coeso nesses solos pode atuar como um contraponto às suas potencialidades agrícolas, pois acarreta sérias restrições ao aprofundamento do sistema radicular. Os horizontes coesos são definidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2006) como horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração da faca, com consistência seca muito dura a extremamente dura, passando a friável ou firme quando úmido.

Solos com caráter coeso têm sido constatados nas áreas de ocorrência da Formação Barreiras, que se distribui desde o estado do Rio de Janeiro ao Amapá. Devido às variações climáticas e morfopedológicas existentes nas diferentes unidades geoambientais que compõem os Tabuleiros Costeiros, os solos originados dos sedimentos da Formação Barreiras são os mais diversos.

A origem de horizontes com caráter coeso não está bem esclarecida, podendo estar associada a diferentes processos, tais como: argiluviação; agrupamento de partículas de argila face a face e presença de compostos orgânicos pouco polimerizados (RIBEIRO, 1986).

Estudos também indicam que a gênese dos horizontes com caráter coeso pode estar relacionada à cimentação fraca e temporária promovida por compostos amorfos envolvendo material sílico-aluminoso (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001) que, no período seco passaria por processo de polimerização e precipitação e, no período úmido, a despolimerização contribuiria para a condição de friabilidade do solo.

Contudo, estudos realizados em solos argilosos dos Tabuleiros Costeiros (MOREAU 2001; CORREA *et al.*, 2008) mostram que estes compostos não são atuantes na gênese do caráter coeso, indicando dessa forma, inconsistência na hipótese de cimentação e reforçando a gênese por meio de processos físicos. Por outro lado, em estudo mais recente, Vieira *et al.* (2012) mostram indícios de uma

cimentação química temporária na gênese de horizontes coesos arenosos do estado do Ceará.

Outro possível processo responsável pela gênese dos horizontes coesos seria a alternância de ciclos de umedecimento e secagem, resultando alteração da estrutura do solo. De acordo com essa hipótese, no período seco, os agentes cimentantes seriam desidratados e a matriz argilosa consolidada, provocando o adensamento; já no período úmido, os agregados seriam destruídos devido o aumento da pressão do ar e seu interior (GIAROLA; SILVA, 2002).

Diante disso, propõem-se com o presente trabalho, testar as seguintes hipóteses: (1) Os compostos amorfos (Si e Al de baixa cristalinidade) podem contribuir na manifestação do caráter coeso nos solos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará, independente de sua composição granulométrica ou classe de solo; (2) Os ciclos alternados de umedecimento e secagem podem provocar o adensamento dos solos com caráter coeso.

Desse modo, objetiva-se com este trabalho avaliar a influência de compostos amorfos na pedogênese de horizontes coesos em solos com diferentes texturas dos Tabuleiros Costeiros do Ceará, bem como verificar, por meio de análises físicas, o comportamento desses solos na presença e na ausência desses materiais amorfos. Objetiva-se também avaliar a influência de ciclos alternados de umedecimento e secagem no adensamento desses solos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Formação Barreiras

A Formação Barreiras constitui a unidade geológica de ocorrência mais expressiva da costa brasileira com uma extensa faixa de largura variável, aflorando desde Estado do Rio de Janeiro até o Amapá, constituindo-se de um pacote de sedimentos continentais (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999).

Os sedimentos dessa unidade geológica são pouco consolidados, geralmente afossilíferos, que variam de argilas a sedimentos conglomeráticos (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999). Esses sedimentos formavam antigas superfícies de aplainamento que sofreram desmonte desde o Oligoceno até o Holoceno. Processos tectônicos, oscilações climáticas e glaciações foram as principais causas desse desmonte (BIGARELLA; ANDRADE, 1964). Para Alheiros *et al.* (1988), a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras representa a evolução de um sistema fluvial, desenvolvido em fortes gradientes e sob clima predominantemente árido e sujeito a oscilações.

O processo de sedimentação da Formação Barreiras ocorreu, principalmente, em períodos que o nível relativo do mar chegou a ficar situado bem abaixo do atual (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999). De acordo com Suguio *et al.* (1985), a deposição desses sedimentos se deu no período Terciário, sob um clima árido ou semiárido e terminou durante o Pleistoceno, com uma mudança para um clima quente e úmido. Nas regiões Sudeste e Nordeste, esta fase foi marcada por uma grande transgressão marinha que erodiu a parte externa do pacote sedimentar, construindo falésias que podem hoje ser encontradas em alguns locais próximos à linha da costa (DUARTE *et al.*, 2000).

Durante a fase regressiva posterior, o clima voltou a adquirir características de aridez, favorecendo retrabalhamento superficial dos sedimentos (AMADOR, 1982; SUGUIO *et al.*, 1985). O clima seco, sujeito a chuvas concentradas e torrenciais, e a escassez de vegetação, permitiram, a escavação dos vales, dando forma ao relevo de tabuleiros atualmente encontrado e fornecendo material para a

sedimentação da planície costeira (SUGUIO *et al.*, 1982, 1985; VILAS BOAS *et al.*, 1996).

A sedimentação da Formação Barreiras não está, porém, unicamente relacionada a oscilações climáticas, pois, como cita Bigarella (1975) e Costa *et al.* (1993), um soerguimento epirogênico favoreceu a deposição (a jusante) dos sedimentos carregados pelos processos erosivos atuantes no interior.

Nas áreas onde afloram os sedimentos da Formação Barreiras, existem variações de espessura deste complexo sedimentar. Este fato pode ser resultante, em parte, do substrato ondulado sobre o qual repousam esses sedimentos (SOUZA, 1988), ou seja, a superfície resultante de erosão das rochas Pré-Cambrianas do embasamento cristalino.

No que se refere à granulometria, o material da Formação Barreiras é bastante heterogêneo, sendo mais argiloso no Estado de Alagoas e tendendo a mais arenoso no Rio Grande do Norte (LIMA, 2004). Essa diferenciação se dá devido a grande variação dos ambientais deposicionais dos sedimentos que originaram a Formação Barreiras (BIGARELLA, 1975).

Devido ao seu pobre conteúdo fossilífero, a idade da Formação Barreiras tem sido motivo de muita controvérsia. Contudo, de uma forma geral, a Formação Barreiras pode ser considerada como de idade Terciária-Quaternária (TQb) e, quando exposta à superfície, seus sedimentos podem originar os solos dos Tabuleiros Costeiros (ROMERO, 2003).

Após passar por ações de intemperismo, erosão, transporte e deposição, observa-se que a mineralogia da Formação Barreiras não é complexa. A fração grosseira dos sedimentos é predominantemente constituída por quartzo, podendo ocorrer a presença de concreções ferruginosas, enquanto que, na fração argila, a caulinita é o mineral dominante (DUARTE *et al.*, 2000; MELO *et al.*, 2002a; ROMERO, 2003).

2.2 Tabuleiros Costeiros

2.2.1 Características

Os Tabuleiros Costeiros constituem uma extensa faixa sedimentar costeira, com poucas interrupções, sendo representadas geologicamente pelos sedimentos da Formação Barreiras de natureza granulométrica variada (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999).

Os estratos mais superficiais correlacionados com o ambiente pedogenético compreendem materiais argilosos, argilo-arenosos, areno-argilosos e, em áreas mais restritas, sedimentos arenosos. No lado do Oceano, os Tabuleiros limitam-se com sedimentos quaternários da planície costeira e, do lado continental, em grandes extensões, com rochas do Pré-Cambriano (BRASIL, 1973; DANTAS, 1980).

O relevo dos Tabuleiros Costeiros apresenta, geralmente, topografia plana. Algumas áreas apresentam relevo suave ondulado, enquanto outras, relevo ondulado ou até fortemente ondulado (REZENDE, 2000).

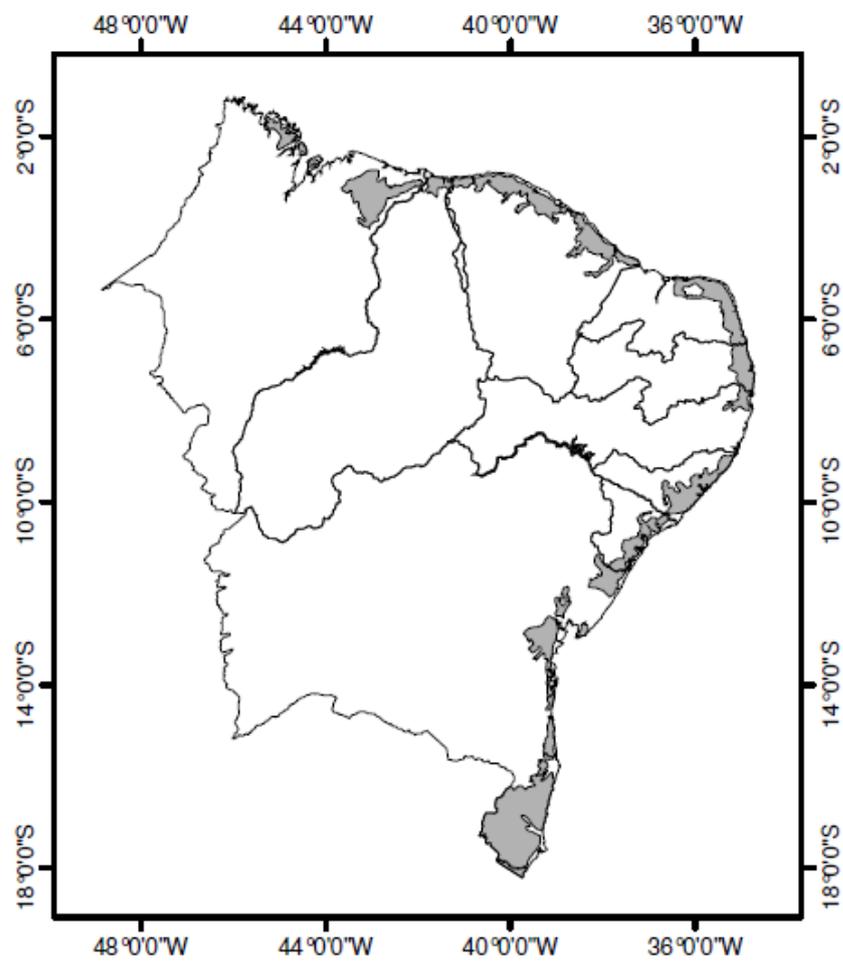
Os Tabuleiros Costeiros ocupam, apenas na Região Nordeste do Brasil, uma área de 10.000.000 ha, correspondendo a aproximadamente 16% da área total dos estados da Bahia, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Alagoas, Sergipe e Ceará (SOUZA, *et al.*, 2001) (Figura 1).

A importância social e econômica dos Tabuleiros Costeiros é justificada pelas grandes concentrações urbanas (centros consumidores), pela diversidade de exploração agrícola, ampla infra-estrutura de transporte rodoviário e marítimo (REZENDE, 2000), como também devido ao fato de estarem situados em áreas do Nordeste com precipitações pluviais mais uniformes, com solos normalmente profundos (JACOMINE, 1996).

Souza e Souza (2008) ressaltam a importância da produção agrícola dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste que, segundo os autores, detêm 88 % da produção de coco, 68 % de caju, 73 % de mamão, 65 % de abacaxi, 90 % de dendê, 48 % de cacau, 33 % da mandioca e 65 % da cana-de-açúcar. De acordo com a

Embrapa Tabuleiros Costeiros (2002), 26% da pecuária regional costeira estão concentrados nestas áreas.

Figura 1- Mapa da região nordeste, em destaque, área ocupada pelos tabuleiros costeiros.



Fonte: Lima Neto *et al.* 2009

2.2.2 Solos

Os solos dos Tabuleiros Costeiros estão distribuídos por quase toda faixa costeira do Brasil, desde o Estado do Amapá até o do Rio de Janeiro. Ocupam ainda, grande extensão de terras no médio e baixo vale do rio Amazonas e afluentes, nos Estados do Maranhão e Piauí e nas zonas semiáridas da Bahia, estendendo-se para o sul e para região do médio Jequitinhonha, em Minas Gerais. Estima-se que, no Brasil, as áreas de Tabuleiros abrangem uma extensão de até 200.000 km² (JACOMINE, 1996).

As classes de solos que prevalecem nos Tabuleiros Costeiros são os Latossolos e Argissolos Amarelos, porém também são encontrados Neossolos Quartzarênicos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Acinzentados, Latossolos Vermelho-Amarelos, e Plintossolos (JACOMINE, 1996; RIBEIRO, 1998; ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001). Também são encontrados, em pequenas proporções, Espodossolos (NASCIMENTO, 2001).

A maior expressão, continuidade e área dos Latossolos Amarelos encontram-se nos platôs litorâneos, onde se desenvolveram a partir de sedimentos da Formação Barreiras (OLIVEIRA *et al.*, 1992; KER, 1997). Esses Latossolos englobam cores tipicamente amareladas, nos quais o horizonte B apresenta matizes 10YR e 7,5YR, com valores e cromas iguais ou maiores que 5. A textura varia de muito argilosa a média, com o predomínio de solos argilosos (OLIVEIRA *et al.*, 1992 ; RODRIGUES, 1996).

Nos Tabuleiros Costeiros, os Argissolos Amarelos apresentam propriedades químicas e mineralógicas similares às dos Latossolos Amarelos, dos quais são distintos pelo gradiente textural mais alto. Nos Argissolos, o caráter coeso além de estar presente logo abaixo do A, atinge maior profundidade que nos Latossolos (FONSECA, 1986; EMBRAPA - CNPS, 1995).

Os Argissolos Acinzentados ocorrem predominantemente em áreas abaciadas ou onde o relevo é plano e o escoamento superficial das águas é mais limitado. Apresentam coloração acinzentada, com valor maior ou igual a 5 e cromas menores que 4, a textura é média ou mais argilosa no B e arenosa ou média em A.

São ácidos e normalmente, apresentam baixa saturação por bases (EMBRAPA, 2006).

Os Neossolos Quartzarênicos caracterizam-se pela textura areia ou areia franca e são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) (EMBRAPA, 2006). Os Neossolos Quartzarênicos dos Tabuleiros Costeiros são mais consistentes que os Neossolos Quartzarênicos desenvolvidos a partir de outros materiais de origem, porém sua coesão é pequena (comparando-se com outras classes de solo dos Tabuleiros Costeiros, como os Argissolos) em consequência dos baixos teores de argila (JACOMINE, 1996).

A classe menos expressiva nos Tabuleiros Costeiros é constituída pelos Plintossolos, restringindo-se a algumas depressões, com drenagem imperfeita (ANJOS *et al.*, 1995). Geralmente, são solos fortemente ácidos, com saturação por bases baixa e atividade da fração argila baixa. Todavia, verifica-se a existência de solos com saturação por bases média e solos com caráter solódico e sódico. (EMBRAPA, 2006).

Essas classes de solos dos Tabuleiros, geralmente, caracterizam-se como solos profundos, com baixa capacidade de troca catiônica e presença de horizontes com caráter coeso (JACOMINE, 1996; CINTRA, *et al.*, 2009).

2.3 Horizontes com caráter coeso

De acordo com Jacomine (2001), horizonte com caráter coeso é um horizonte pedogenético, adensado, muito duro a extremamente duro quando seco e normalmente friável quando úmido. Os horizontes com caráter coeso são definidos pelo SiBCS como horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração da faca e muito duros a extremamente duros quando

secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos. Estes horizontes apresentam uma estrutura maciça ou com tendência a formação de blocos (EMBRAPA, 2006).

Segundo Ribeiro (2001a), este horizonte é típico dos solos predominantemente caulíníticos, desenvolvidos de sedimentos terciários da Formação Barreiras e formações correlatas e não devem ser confundidos com fragipãs nem duripãs, os quais também têm forte coesão, mas têm pedogênese diferente dos horizontes com caráter coeso.

A caracterização morfológica dos fragipãs e duripãs também é diferenciada, pois segundo Jacomine (2001), uma amostra de um horizonte coeso, quando seca, desmancha-se ao ser imersa em água e, quando úmida, deforma-se lentamente ao ser pressionada. Comportamento diferente do fragipã que, ao invés de passar por uma lenta deformação, rompe-se subitamente em fragmentos menores. No duripã, os fragmentos secos não se esboroam, mesmo depois de prolongado período de umedecimento.

O horizonte com caráter coeso encontra-se, normalmente, abaixo do A, podendo encontrar-se à superfície por erosão do horizonte subjacente. Este horizonte é típico dos Argissolos e Latossolos dos Tabuleiros Costeiros, normalmente, é encontrada entre 30 e 70 cm de profundidade, podendo atingir até 1 metro ou pouco mais, sobretudo nos solos com horizonte B textural (Bt). O caráter coeso é encontrado principalmente nos horizontes transicionais AB e, ou, BA, podendo atingir o Bw ou Bt (JACOMINE, 2001,1996; RIBEIRO, 1986). Estudos realizados por Lima *et al.* (2004) e corroborados por Vieira *et al.* (2012), mostram que os horizontes coesos encontrados no estado do Ceará, ocorrem geralmente em maiores profundidades, comumente associados ao horizonte Bt de Argissolos.

O horizonte com caráter coeso comporta-se como uma zona do perfil com maior densidade e com maior dureza em relação aos demais horizontes, no entanto, quando úmido, apresenta-se friável. A expressão máxima da coesão, portanto, é observada no material seco (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001).

Os horizontes com caráter coeso apresentam, geralmente, textura franco-arenosa ou mais fina. Em função do material de origem, os teores de Fe₂O₃ (ataque com H₂SO₄) são inferiores a 80 g kg⁻¹, com predomínio de goethita, o que confere uma coloração geralmente bruno-amarelada, podendo ocorrer cores mais pálidas,

bruno-amarelada claro, bruno claro acinzentado ou bruno com matiz 10YR, valores 5 e 6 e cromas variando de 3 a 6.

Com as variações climáticas e morfopedológicas existentes entre os ambientes que compõe os Tabuleiros Costeiros, há a ocorrência de solos coesos bem diferentes quanto à granulometria, grau de coesão e drenagem. Esta heterogeneidade é talvez, o que torne difícil maiores esclarecimentos acerca da gênese dos horizontes com caráter coeso. Contudo, apesar da mudança textural entre esses solos, trabalhos realizados em horizontes coesos mostram que não há diferenciação quanto ao comprometimento físico, ou seja, solos mais arenosos são tão duros e maciços quanto os solos argilosos (LIMA *et al.*, 2004).

Segundo Giarola *et al.* (2001), solos com caráter semelhante ao coeso têm sido reconhecidos em diversos países (Nigéria, Tanzânia e África do Sul), principalmente na Austrália, e são identificados como “hardsetting” (MULLINS *et al.*, 1987; MULLINS *et al.*, 1990). Estes ocorrem comumente em regiões com alternância de condições secas e úmidas (CHARTRES *et al.*, 1990). Quando úmidos, apresentam-se friáveis, e duros a extremamente duros, quando secos (McDONALD *et al.*, 1990; MULLINS, 1999).

2.4 Identificação do caráter coeso

Os primeiros estudos a observarem o caráter coeso em solos brasileiros foram realizados na década de 1950, intensificando-se a partir de 1980 (JACOMINE, 1996). Nesse período, o caráter coeso não era inserido na classificação do solo, era apenas citado na caracterização da consistência observada em campo.

A caracterização mais detalhada do adensamento subsuperficial em áreas de Tabuleiros iniciou-se com estudos realizados por Oliveira *et al.* (1968). Posteriormente, Oliveira e Melo (1970) concluíram que a utilização agrícola destes solos estava limitada pelas condições físicas do subsolo e destacaram a diminuição da aeração e a baixa permeabilidade, em decorrência do adensamento que limitava a penetração das raízes das plantas. Jacomine *et al.* (1975), Fonseca (1986) e

Embrapa (1995) deram continuidade a identificação e caracterização dos solos com caráter coeso em várias regiões do Brasil, sem no entanto, estabelecer critérios quantitativos para a identificação dos mesmos.

Recentemente, alguns parâmetros vêm sendo utilizados para identificar o caráter coeso, pode-se citar: alta resistência ao martelo pedológico ou trado; resistência à penetração; ausência de uma organização estrutural visível; densidade do solo mais elevada que os horizontes subjacentes (EMBRAPA, 1999).

Deve-se destacar que, no Brasil, a identificação dos solos com caráter coeso tem sido feita de forma qualitativa, em campo, por análise morfológica do perfil. Contudo, para alguns autores (GIAROLA; SILVA, 2002), o estabelecimento de índices que permitam quantificar o atributo coeso é importante e necessário para identificar e definir horizontes com graus variáveis de coesão.

A utilização da resistência à penetração como um atributo quantitativo para a identificação de horizontes com caráter coeso foi sugerida por Giarola *et al.* (2001) e Souza *et al.* (2001), tendo em vista que, aliada a outros parâmetros, (densidade e porosidade), consiste em uma medida útil na caracterização do comportamento coeso. Mais recentemente, Lima Neto *et al.* (2009) destacaram a importância da morfologia e da densidade do solo, usadas em associação à determinação da superfície específica, como ferramentas eficientes na identificação de horizontes com caráter coeso em solos de Alagoas.

2.5 Limitações relacionadas ao uso de solos com caráter coeso

Segundo Cintra (2001), a topografia predominantemente plana dos solos dos Tabuleiros Costeiros e as amplas possibilidades para o escoamento da produção agrícola são um grande atrativo para implantação de grandes explorações agrícolas nesses locais. No entanto, a presença de horizontes com caráter coeso nesses solos, podem ocasionar impedimentos físicos à penetração das raízes e à dinâmica da água.

Para o crescimento das raízes, o incremento da resistência é particularmente importante durante o secamento dos solos coesos. Nessa situação, as raízes não encontram caminhos para se desenvolverem, devido à ausência de fendas estruturais (GIAROLA; SILVA, 2002). De fato, Mullins *et al.* (1987; 1990) indicaram vários problemas agrônômicos associados aos solos com estes comportamentos, incluindo o tempo restrito para o preparo do solo seco e o incremento dos impedimentos físicos para o adequado desenvolvimento radicular.

Estudos realizados por Giarola *et al.* (2001), mostram que a resistência à penetração aumenta com a redução da umidade do solo de forma exponencial nos horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros e de forma linear nos horizontes não coesos. A elevada resistência destes solos, quando secos, provoca sérias restrições ao crescimento das raízes. Isso ocorre porque a RP de solos com caráter coeso normalmente excede 3 MPa. O valor de 3 MPa é indicado como suficiente para prejudicar o crescimento radicular (MULLINS *et al.*, 1987). Rezende (2000) salientou o efeito negativo do aumento da resistência dos horizontes com caráter coeso no desenvolvimento do sistema radicular de laranja pêra, sobretudo o das raízes pivotantes (Figura 2).

Figura 2- Sistema radicular de laranja pêra em solo com caráter coeso



Fonte: Rezende, 2000.

Geralmente, os solos que apresentam horizontes com caráter coeso não são considerados bons reservatórios de nutrientes, particularmente, os horizontes subsuperficiais, devido à sua baixa CTC e acidez (ácidos a fortemente ácidos) (JACOMINE, 1996). Além disso, apresentam baixos teores de matéria orgânica, horizontes superficiais arenosos, dificuldade na retenção de água e nutrientes, bem como, na circulação de água e ar no solo (RIBEIRO, 1996).

Na presença desses horizontes, os solos ficam vulneráveis ao regime climático, passando do estágio excessivamente úmido, no período chuvoso, para excessivamente seco quando as chuvas escasseiam, submetendo as raízes das plantas a condições de má aeração ou de completa ausência de umidade (CINTRA, 2004).

De acordo com Souza (1997), os altos valores densidade encontrados nos solos coesos, associados à baixa macroporosidade e ao alto grau de argila dispersa em água, causam obstrução dos poros, restringindo a condutividade e a taxa de infiltração da água no solo.

Se os solos são profundos, mas apresentam camadas de impedimento, o “estoque” de água no solo vai depender da posição que essa camada ocupa no perfil, da sua espessura e do manejo utilizado na propriedade. Se o horizonte coeso ocorre em maiores profundidades no perfil, o mesmo pode funcionar como um reservatório de água durante período de déficit hídrico (CINTRA *et al.*, 2000).

2.6 Gênese de horizontes com caráter coeso

A origem dos horizontes com caráter coeso ainda não foi completamente esclarecida, porém sabe-se que sua natureza é pedogenética (RIBEIRO, 1998), podendo estar associada a diferentes processos, tais como: perda do plasma argiloso das camadas superficiais do solo para as camadas subjacentes; forte instabilidade estrutural; presença de agentes químicos e adensamento por dessecação, proveniente da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem (RIBEIRO, 1986; PONTE; RIBEIRO, 2001).

Alguns autores atribuem a gênese da coesão ao preenchimento de microporos por migração de argila das partes superiores obstruindo-os, ocasionando assim diminuição da porosidade total do solo (ACHÁ PANOSO, 1976; FONSECA, 1986). Recentemente, Corrêa *et al.* (2008) sugeriram que a gênese de horizontes com caráter coeso deve-se ao maior conteúdo de argila muito fina ($< 0,2 \mu\text{m}$) translocada, entre os horizontes ou dentro do mesmo horizonte, na forma de argila dispersa. Nesse caso, há a possibilidade da existência de “pontes” de materiais muito finos ligando as partículas do solo. Moreau *et al.* (2006a), já havia proposto que a gênese dos horizontes coesos estaria relacionada com processos de translocação de argila, contudo, não foi dada ênfase ao tamanho da argila.

Segundo Bezerra (2011), a gênese dos horizontes coesos está relacionada com a presença de material grosseiro mal selecionado, o que acarretaria em uma redução significativa no volume de poros, visto que os grãos menores de material grosseiro são acomodados nos espaços entre os grãos maiores, juntamente com o material fino, preenchendo os poros antes existentes.

Com base nas afirmações de Kohnke (1968), quanto à influência da mineralogia do solo na organização das partículas, Rezende (1982) e UFV (1984) propõem que o adensamento em solos dos Tabuleiros Costeiros origina-se de um possível ajuste face a face de partículas do solo, principalmente a caulinita pela sua forma tabular. No entanto, estudos (GIAROLA *et al.*, 2009) indicam que o grau de ordenamento da caulinita encontrada em áreas dos Tabuleiros Costeiros não permite associar o empacotamento da fração argila com a ocorrência do caráter coeso nestes solos.

A matéria orgânica pode desempenhar também um papel importante no processo de pedogênese desses solos, em que é decisiva a participação de ácidos fúlvicos na degradação da estabilidade estrutural e, por consequência, nos parâmetros hídricos do solo. Isso conduziria à presença de lençol de água suspenso, dando condições para atuação de reações tipo ferrólise, que poderiam dar início a degradação do plasma argiloso, liberando alumínio, ferro e, principalmente, sílica amorfa, todos eles contribuindo de alguma forma na geração do horizonte coeso (RIBEIRO, 2001b).

É provável que a maioria dos processos relacionados à gênese dos horizontes coesos ocorra simultaneamente e que a intensidade com que as

camadas coesas são formadas esteja relacionada às variações climáticas e morfopedológicas existentes nas diferentes unidades geoambientais que compõem os Tabuleiros Costeiros (RIBEIRO, 1996).

2.6.1 Papel da sílica em horizontes endurecidos

O silício desempenha um papel importante no ciclo geoquímico, pois é o principal constituinte de muitos minerais da crosta terrestre. Este elemento é o segundo mais abundante da crosta terrestre, superado apenas pelo oxigênio, ocorrendo em uma ampla variedade de formas e estabilidades. A quantidade de silício e sua distribuição nos solos são influenciadas, principalmente, pelo material de origem, clima, vegetação, textura e intensidade de intemperismo (CORNELIS *et al.*, 2011). O silício pode ser encontrado no solo na forma cristalina, amorfa e em solução. Trabalhos envolvendo a dissolução de minerais dão ênfase a sílica monomérica (H_4SiO_4), ou ácido monossilícico, sendo esta, a forma predominante encontrada em solos. Contudo, em ambientes naturais com soluções ricas em cátions bivalentes, os ácidos polissilícicos podem aparecer como um componente estável durante alguns meses (DIETZEL, 2000). Dessa forma, a sílica ocorre no solo em vários estágios, numa transição gradual entre ácido monossilícico e formas minerais sólidas, como exemplo do quartzo.

Pesquisas que buscaram a compreensão sobre a gênese de horizontes endurecidos e/ou cimentados, apontam o silício como principal atuante na manifestação deste fenômeno. Estas pesquisas mostraram correlações positivas entre resistência do solo e sílica extraível (DUCAN; FRANZMEIER, 1999; FRANZMEIER *et al.*, 1996; McBURNET; FRANZMEIER, 1997).

Na cimentação de fragipãs (Karathanasis, 1987), soluções ricas em Si podem causar precipitação de sílica e aluminossilicato amorfo, que após o período de secagem ficam endurecidos. Já é constatada também a influência do silício na gênese de duripãs, onde este constituinte funciona como agente químico na cimentação desses horizontes. Flach *et al.* (1974) indicaram que a forma de sílica

comumente encontrada nos duripãs é a opala. Segundo este autor, a sílica ocorre como agregado muito pequeno, em flocos de opala.

Segundo Drees *et al.* (1989), pequenas quantidades de sílica já são suficientes para que efeitos negativos nas propriedades físicas do solo sejam manifestados, deixando-os duros a extremamente duros quando secos.

A sílica e outros aluminossilicatos podem também atuar como agentes cimentantes temporários nos horizontes de baixa permeabilidade, como nos horizontes com caráter coeso (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001). Nessa condição, o movimento das soluções torna-se lento, favorecendo a retenção e precipitação da sílica e/ou de outros materiais sílico-aluminosos no período de secagem do solo (CHADWICK *et al.*, 1987).

Estudos realizados em solos da Austrália (CHARTRES *et al.*, 1990; FRANZMEIER *et al.*, 1996) também destacam a sílica de baixa cristalinidade como o principal agente cimentante em solos com comportamento *hardsetting*, correlato ao caráter coeso (GIAROLA; SILVA, 2002). A gênese desses solos está relacionada com o umedecimento e secagem cíclicas do solo, onde a cimentação pode ocorrer também como resultado da liberação da sílica solúvel durante o umedecimento e reprecipitação com o solo seco.

De acordo com Chadwick *et al.* (1987), os processos de cimentação causados por sílica são influenciados pelo balanço entre o teor de sílica em solução e a quantidade de superfícies disponíveis para a deposição de sílica. Na forma de H_4SiO_4 , o silício presente na solução do solo está sujeito a processos de precipitação e adsorção na fase sólida. Esta sílica dissolvida (H_4SiO_4) pode ser adsorvida por uma variedade de fases sólidas nos solos (McKEAGUE; CLINE, 1963), sendo os óxidos de Fe e Al os principais constituintes com capacidade significativa para adsorção de sílica (CORNELIS *et al.*, 2011). Em pH próximo da neutralidade, este constituinte tem solubilidade de 2 mM. Acima desta concentração ocorre policondensação (polimerização), produzindo partículas coloidais de sílica (BIRCHALL, 1995).

O período seco favorece o processo de polimerização e precipitação da sílica, onde as moléculas de H_4SiO_4 adsorvidas precipitam na forma de SiO_2 amorfa ou outros constituintes sílico-aluminosos amorfos. Quando o fenômeno ocorre entre

duas superfícies próximas, a sílica polimeriza-se formando “pontes” ligando partículas (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001). Nesse período, observa-se a máxima expressão da coesão. No período úmido, por outro lado, a despolimerização da sílica e de outros aluminossilicatos deve contribuir para condição de friabilidade do material.

Contudo, não há existência de estudos conclusivos com relação à efetiva participação de compostos amorfos ou de baixa cristalinidade na gênese de horizontes coesos. Moreau *et al.* (2006b), estudando a gênese de solos com horizontes coesos no estado da Bahia (sendo estes, bastante argilosos), não constataram a ação de agentes cimentantes nos horizontes estudados, indicando que a formação destes horizontes não estaria relacionada à presença de componentes amorfos. Resultados semelhantes foram encontrados por Correa *et al.* (2008). Estes autores reforçam que, nesses solos, a gênese do caráter coeso está relacionada com a iluviação de argila, conforme citado anteriormente.

Por outro lado, Vieira *et al.* (2012), estudando a influência de compostos amorfos na gênese de horizontes coesos no estado do Ceará, constataram que após a extração de compostos amorfos (Fe, Al e Si), os horizontes coesos dos solos com menores teores de argila mostraram uma significativa redução da resistência à penetração (RP), indicando que estes compostos podem estar atuando como agente cimentante nesses horizontes. Contudo, os autores observaram que no perfil mais argiloso, a RP encontrada no solo após a remoção da sílica amorfa foi superior àquela em que esta não foi retirada. Apesar dessas controvérsias, sabe-se que a sílica amorfa é atuante na gênese de solos com horizontes cimentados (fragipãs e duripãs) e também em solos com comportamento *hardsetting*.

Cabe ressaltar que o alumínio não pode ser negligenciado na contribuição de mecanismos de endurecimento no solo, visto que este elemento encontra-se associado à sílica em condições ambientais e pela sua interação com este elemento na adsorção (MOREAU, 2001).

Franzmeier *et al.* (1989), constataram que a interação silício com o alumínio é grande e que a sílica em solução (H_4SiO_4) é adsorvida em diversas formas de óxidos e hidróxidos de Alumínio. Doucet *et al.* (2001), corroboram esta afirmação e destacam que a sílica em solução pode combinar-se com o alumínio ao longo de todo o solo formando polímeros coloidais (Al-Si).

O alumínio exerce também, influência marcante na solubilidade da sílica (JONES e HANDRECK, 1963). Na faixa ácida, que é a reação do domínio de solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, mesmo em quantidades muito baixas (traços), o alumínio favorece a precipitação da sílica coloidal. Entretanto, em meio alcalino, são necessárias quantidades muito maiores para promover a precipitação da sílica monomérica (OKAMOTO *et al.*, 1957 *apud* ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001).

2.6.2 Influência de ciclos de umedecimento e secagem na gênese de horizontes endurecidos

Outro possível processo responsável pela gênese dos horizontes com caráter coeso é a alternância de ciclos de umedecimento e secagem, resultando alteração da estrutura do solo (RIBEIRO, 1986). De acordo com essa hipótese, no período seco, os agentes cimentantes seriam desidratados e a matriz argilosa consolidada, provocando o adensamento; já no período úmido, os agregados seriam destruídos devido o aumento da pressão do ar e seu interior (GIAROLA; SILVA, 2002).

Segundo Souza (1996), o alto grau de dispersão da argila associada com a predominância de frações menores na areia total seja a principal causa do adensamento observado nos solos com caráter coeso quando secos. A variação dos ciclos de umedecimento e secagem pode atuar continuamente nessas frações, proporcionando a coesão e conseqüentemente adensamento das partículas quando o solo está seco.

Em solos com comportamento *hardsetting*, observa-se que a gênese da camada fortemente endurecida está relacionada aos processos de umedecimento e secagem cíclicos do solo, porém, a cimentação também pode ocorrer como resultado da liberação da sílica solúvel durante o umedecimento, e reprecipitação com o solo seco (CHARTRES *et al.*, 1990; CHARTRES; NORTON, 1994).

Pesquisas envolvendo o estudo de fatores e processos atuantes no endurecimento de horizontes mostram que a condição hidráulica do ambiente é considerada um fator determinante no desenvolvimento da cimentação (LAMOTTE *et al.*, 1997). Para estes pesquisadores, a presença de lençol freático na fase úmida seguida de grande processo de secagem na estação seca, pode causar condições favoráveis para a dispersão das argilas e posterior formação de pontes de argila. Para alguns autores (SINGER *et al.*, 1992), a dureza do solo (quando seco) observada em horizontes cimentados, como no caso dos fragipãs, é resultante do adensamento provocado por pontes de ligação da argila com o esqueleto do solo.

Segundo Singer *et al.* (1992), *Apud* Attou e Bruand (1998), o desenvolvimento de revestimentos e pontes de argila ao redor do esqueleto do solo, aumentam significativamente com o aumento dos ciclos de umedecimento e secagem. De acordo com os mesmos autores, os ciclos causam a dispersão (umedecimento) e reorganização de partículas de argila no solo (secagem). De fato, Attou e Bruand (1998) mostraram que quando partículas de silte foram misturadas com argila e aplicado apenas um ciclo de umedecimento e secagem nas amostras, não houve a formação de pontes de argila entre as partículas de silte.

Chadwick *et al.* (1987) relatam também que nos processos químicos envolvidos na cimentação de horizontes (“cimentação” por sílica de baixa cristalinidade), há a necessidade de umidade para formação de ácido silícico na solução do solo e, posteriormente, condições de solo seco para que haja a precipitação deste composto.

Lamotte *et al.* (1997) estudando o endurecimento de solos do trópico semi-árido, constataram que a interação entre as partículas de argila causava endurecimento quando o solo estava seco, não havendo necessidade de agentes cimentantes. Entretanto, Chartres *et al.* (1990), argumentam que o desenvolvimento da resistência não é um fenômeno puramente físico e que a cimentação química teria um papel fundamental nesse processo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em áreas dos Tabuleiros Costeiros do estado do Ceará, utilizando-se solos desenvolvidos dos sedimentos da Formação Barreiras. Para tanto, foram coletadas amostras de horizontes coesos, com composição granulométrica variada, em solos onde as características típicas do caráter coeso já haviam sido identificadas (Tabelas 1 e 3).

Tabela 1 – Solos com caráter coeso dos Tabuleiros Costeiros do Ceará

PERFIL	LOCAL	HORIZONTE COESO	PROF (cm)	TEOR DE ARGILA (g/kg)	CLASSE TEXTURAL
P1	Trairi	Bt1	142-170+	130	Franco-arenosa
P2	Trairi	Bt1	92 - 125	146	Franco-arenosa
P3	Pacajus	Bt	125-156+	221	Franco-argilo- arenosa
P4	Parazinho	BA	61-82	250	Franco-argilo- arenosa
P5	Trairi	Bt1	91 - 142	256	Franco-argilo- arenosa
P6	Pacajus	Bt1	97-127	290	Franco-argilo- arenosa
P7	Fortaleza	Bt2	79-112	338	Argilo- arenosa
P8	Camocim	Bt1	57-92	390	Argilo- arenosa
P9	Fortaleza	Bt1	96-145	440	Argilosa

Para efeito de comparação quanto à coesão, no que se refere às análises físicas (resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica e densidade do solo) foram utilizados horizontes que não apresentam o caráter coeso. Utilizou-se o horizonte Bt1 não coeso do perfil P7 e o horizonte Bt1 de um perfil de solo não coeso P10 (Tabela 2).

Tabela 2 – Horizontes sem caráter coeso utilizados para comparação da coesão

PERFIL	LOCAL	HOR.	PROF (cm)	TEOR DE ARGILA (g/kg)	CLASSE TEXTURAL
P7	Fortaleza	Bt1	63 - 79	317	Franco-argilo-arenosa
P10	Pacajus	Bt1	152-174	200	Franco-arenosa

Os solos utilizados foram classificados como Argissolos (Tabela 3), em maior proporção, os Argissolos Amarelos.

Tabela 3 – Classificação dos solos estudados

PERFIL	CLASSE DE SOLO	FONTE
P1	Argissolo Acinzentado Eutrófico abrupto	Vieira <i>et al.</i> , 2012
P2	Argissolo Amarelo Distrocoeso arênico	Vieira <i>et al.</i> , 2012
P3	Argissolo Acinzentado Eutrófico abrupto	Freitas, 2010
P4	Argissolo Vermelho- Amarelo Distrófico plântico	Lima <i>et al.</i> , 2005
P5	Argissolo Amarelo Distrocoeso típico	Vieira <i>et al.</i> , 2012
P6	Argissolo Acinzentado distrocoeso arênico	Lima <i>et al.</i> , 2005
P7	Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico	Vieira, 2013
P8	Argissolo Amarelo Distrocoeso plântico	Lima <i>et al.</i> , 2005
P9	Argissolo Vermelho- Amarelo Eutrófico típico	Vieira, 2013
P10	Argissolo Amarelo Eutrófico típico	Freitas, 2010

3.1 Seleção e características gerais das áreas de estudo

Os locais foram selecionados com base em estudos prévios realizados por diferentes autores em áreas dos Tabuleiros Costeiros do Ceará, utilizando-se solos com caráter coeso. Os perfis de Fortaleza, situados no Campus do Pici- UFC, foram selecionados quando da realização de aulas práticas, em que foram observadas características morfológicas (consistência, estrutura, resistência à penetração da faca) pertinentes ao caráter coeso. As características gerais das áreas de estudo podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características gerais das áreas de estudo nos Tabuleiros Costeiros.

LOCAL	CLIMA *	MÉDIA PLUVIOMÉTRICA (mm)	RELEVO	VEGETAÇÃO REGIONAL
Trairi	Aw, Tropical quente semiárido brando	1589	Suave ondulado	Mata de Tabuleiro (vegetação estacional subperenifólia)
Pacajus	Aw, Tropical quente semiárido brando	800 a 1.100	Plano e suave odulado	Composta pelo Complexo Vegetacional da Zona Litorânea
Camocim	Aw, Tropical quente semiárido brando	1.032	Suave ondulado	Composta pelo Complexo Vegetacional da Zona Litorânea
Parazinho/Granja	Aw, Tropical quente semiárido brando	1.040	Plano	Caatinga litorânea
Fortaleza	Aw', Tropical chuvoso com chuvas de verão	1338	Suave ondulado	Composta pelo Complexo Vegetacional da Zona Litorânea

Fonte: IPECE, 2013

* Classificação de Koppen

3.2 Análises para caracterização geral e classificação dos perfis

Com exceção dos perfis P7 e P9, os solos utilizados no presente estudo já foram previamente classificados. Dessa maneira, para fim de classificação, foram

realizadas análises de caracterização geral apenas nestes perfis (P7 e P9), localizados no Campus do Pici-UFC.

3.2.1 Análises físicas

3.2.1.1 Análise granulométrica

Foi realizada pelo método da pipeta, utilizando como dispersante químico o Hexametáfosfato de sódio e agitação rápida durante 10 minutos (EMBRAPA, 1997). Em seguida, o silte e a argila foram separados da fração areia por peneiramento, para isto, foi utilizada uma peneira de 270 mesh. A fração argila foi separada por sedimentação, seguindo a lei de Stokes. O silte foi determinado pela diferença entre os teores de areia e argila.

3.2.2 Análises químicas

A metodologia descrita pela Embrapa (1997) foi adotada para a análise química destinada à caracterização geral dos solos, para tanto, a TFSA foi utilizada nas determinações a seguir.

3.2.2.1 Potencial hidrogeniônico, pH (H₂O, KCl)

Foi determinado potenciométricamente, usando-se H₂O e solução de KCl 1N, por meio de eletrodo imerso em suspensão solo: líquido, na relação 1:2,5.

3.2.2.2 Complexo sortivo

Os cátions cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) trocáveis foram extraídos por cloreto de potássio (KCl 1 M) e determinados por complexiometria com ácido etilenodiamino tetracético dissódico (EDTA 0,0125 M), na presença de eriochrome black como indicador do $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e murexida como indicador do Ca^{2+} .

O potássio (K^+) e o sódio (Na^+) trocáveis foram extraídos com solução de Mehlich 1 e determinados por espectrofotômetro de chama.

O fósforo foi extraído com solução de Mehlich 1 e determinado por espectrofotometria, por meio da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdênio com o ácido ascórbico.

O alumínio (acidez trocável) foi extraído com solução de cloreto de potássio (KCl 1M) e determinado por complexiometria com hidróxido de sódio (NaOH 0,025 M) na presença de azul-de-bromotimol como indicador.

O alumínio e o hidrogênio, acidez potencial ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$), foram extraídos com solução de acetato de cálcio ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 0,05 M) e determinados por complexiometria com hidróxido de sódio (NaOH 0,025 M), na presença do indicador fenolftaleína 3%.

O hidrogênio, acidez não trocável (H^+), foi determinado pela diferença algébrica entre a acidez potencial e a acidez trocável.

3.2.2.3 Carbono orgânico total (COT)

O carbono orgânico foi obtido pelo princípio da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,4 N) em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e aquecimento. A titulação foi realizada com solução de sulfato ferroso amoniacal ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,1 N).

3.3 Sílica extraível

Com o objetivo de avaliar de formas de Si (solúvel e menos cristalina) presentes nos solos estudados, realizou-se a determinação deste constituinte em três extratores, conforme listados a seguir.

3.3.1 Sílica extraída por Ácido Acético

A sílica extraída por esse extrator provem de pequenas cadeias polimerizadas de Si, que estão presentes no solo de forma menos solúveis que a sílica extraída pelo cloreto de cálcio (KORNDÖRFER,1999). Para esta determinação, adicionou-se 100 ml de ácido acético 0,5 M, em amostras contendo 10 g de solo, que posteriormente, foram agitadas por 30 minutos. Após esse procedimento, as amostras permaneceram em repouso por 24 horas. A determinação do Si no extrato foi realizada por colorimetria. Para tanto, retirou-se uma alíquota de 10 ml do extrato (decantado) e misturou-se 1 ml da solução sulfomolibdica 7,5% (7,5 g de molibdato de amônio + 10 ml de ac. sulfúrico 18N em 100 ml). Após 10 minutos foram acrescentados 2 ml da solução de ácido tartárico 20% e após 5 minutos, adicionou-se 10 ml da solução de ácido ascórbico 0,3%. Depois de 1 hora foi feita a leitura do Si em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm (KORNDÖRFER,1999).

3.3.2 Sílica solúvel extraída com Cloreto de Cálcio

Esse extrator determina apenas a sílica presente na solução do solo na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), sendo esta forma, sujeita a processos de sorção à fase sólida. A extração de sílica solúvel foi realizada utilizando-se 10 g de TFSA que, após serem agitadas por 30 minutos com 100 mL de $CaCl_2$ 0,0025 mol/L (RAIJ e CAMARGO, 1973), permaneceram em repouso por 24 horas. Após este

procedimento, retirou-se da suspensão uma alíquota de 10 mL, onde determinou-se o conteúdo de silício por colorimetria, conforme especificado no item anterior.

3.3.3 Sílica amorfa extraída por oxalato de amônio

Este reagente de dissolução, também é chamado reagente Tamm, permite dissolver aluminossilicatos, sílica amorfa e óxidos de baixa cristalinidade que contêm silício. Para esse método, as determinações de Si foram realizadas apenas nos horizontes coesos e nos horizontes não coesos, visando um comparativo nos teores deste constituinte entre os dois tipos de horizontes. Para tanto, foram misturados 700 ml de $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ e 530 ml de $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ para obtenção da solução usada, a qual teve o pH ajustado (com ácido oxálico) para o valor 3,0. A extração foi realizada no escuro, agitando-se 0,5g de TFSA e 20 ml da solução durante 4 horas (McKEAGUE; DAY, 1966). Em seguida, o material foi centrifugado por 10 minutos e o sobrenadante armazenado em frascos escuros para determinação dos teores de silício, por espectrofotometria de absorção atômica.

3.4 Ensaios experimentais para avaliação do comportamento dos horizontes com caráter coeso antes e após extração de compostos amorfos.

Para a avaliação da contribuição dos compostos amorfos ou de baixa cristalinidade na manifestação da coesão, foram realizadas as seguintes análises nos horizontes coesos do presente estudo.

3.4.1 Quantificação de compostos de baixa cristalinidade ou amorfos (Fe, Si e Al).

A determinação dos compostos amorfos foi realizada nos horizontes coesos e nos horizontes não coesos, visando um comparativo nos teores desses constituintes entre os dois tipos de horizontes. Essa determinação foi realizada pelo método do oxalato de amônio, conforme listado no item 3.3.3. Esse método se baseia na afinidade em meio ácido para formação de complexos coloidais após a dissolução dos óxidos e oxi-hidróxidos amorfos do solo (Fe, Al e Si), permanecendo inalterados os argilo-minerais cristalinos (EMBRAPA, 1997). Os teores de Fe, Si, e Al foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

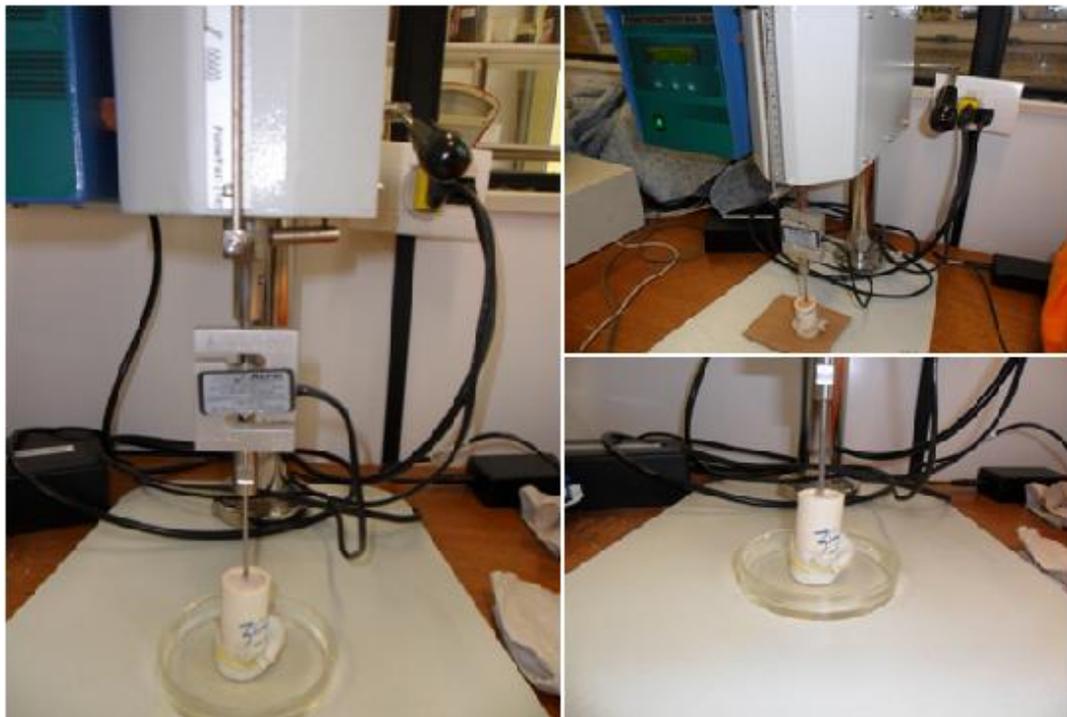
3.4.2 Resistência do solo à penetração (RP)

Para a avaliação da resistência do solo à penetração, foram utilizadas amostras de TFSA dos horizontes com caráter coeso estudados (Tabela 1). Para efeito de comparação, foram utilizadas também amostras de TFSA de horizontes não coesos (Tabela 2). As amostras foram divididas em dois conjuntos de sub-amostras. Em um dos conjuntos foi realizada a extração dos compostos de baixa cristalinidade (amorfos) com solução de oxalato ácido de amônio, conforme McKeague e Day (1966). Após o processo de extração destes compostos, o material foi centrifugado, o sobrenadante descartado e as amostras contidas nos tubos da centrífuga foram lavadas com água destilada, colocadas em béqueres e secas em estufa a 60 °C.

Seguindo metodologia descrita em Vieira *et al.* (2012), os materiais dos dois tratamentos (com extração por oxalato de amônio e sem extração) foram colocados em tubos de PVC de 5 cm de altura e 2 cm de diâmetro, previamente forrados com pano em uma das extremidades. Para cada amostra foram realizadas quatro repetições. Os tubos foram colocados em uma bandeja e as amostras submetidas a três ciclos de umedecimento e secagem. Os ciclos consistiram na adição de água destilada na base da bandeja em volume suficiente para que ocorresse a saturação da amostra, via ascensão por capilaridade. Após o umedecimento da amostra até a porção superficial, o excesso de água na base da

bandeja foi descartado e o material foi seco em estufa a 60°C. Após esse procedimento, um novo ciclo foi iniciado. Depois do último ciclo (3º), foi aplicada uma tensão de 6 atm, visando um controle na umidade das amostras. Após esse processo, a resistência do solo à penetração foi determinada nas duas parcelas das amostras com o auxílio de um penetrômetro eletrônico estático de laboratório com velocidade constante de penetração de 0,01 m min⁻¹(Figura 3), equipado com atuador linear de célula de carga de 20 kgf, acoplado a um microcomputador para aquisição dos dados, conforme descrito por Tormena *et al.* (1998).

Figura 3 - Resistência à penetração sendo determinada em amostra que passou por ciclos de umedecimento e secagem



3.4.3 Condutividade hidráulica do solo saturado

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) foi determinada pelo método direto em laboratório através do permeâmetro de carga constante. Nesse método, utiliza-se uma amostra com estrutura indeformada, sobre a qual se mantém uma lâmina constante, coletando-se, na parte inferior da amostra, o volume de água drenada em intervalos conhecidos de tempo (AMARO FILHO *et al.*, 2008). Para o estudo em questão, foi realizada uma adaptação do método para que fosse possível a determinação da K_0 nas amostras contidas nos tubos (Figura 4).

Figura 4- Teste de condutividade hidráulica do solo em amostras que passaram pelos ciclos de umedecimento e secagem.



Para a avaliação da K_0 , foram utilizadas amostras de TFSA dos horizontes Bt coesos e não coesos estudados. As amostras foram divididas em dois conjuntos de sub-amostras. Em um dos conjuntos foi realizada a extração de material amorfo, conforme citado no item 3.4.1. Os materiais dos dois tratamentos também foram

colocados em tubos de PVC de 5 cm de altura e 2 cm de diâmetro, bem como, passaram por três ciclos de umedecimento e secagem. Após esse processo, as amostras foram submetidas ao teste de condutividade hidráulica do solo saturado (Figura 4). Nos dois grupos, foram realizadas 3 repetições por amostra. A condutividade hidráulica foi calculada pela seguinte expressão:

$$K_0 = \frac{V_a \times L}{A \times t (h + L)}$$

Em que:

K_0 = condutividade hidráulica ($cm\ h^{-1}$);

V_a = volume de água coletado na proveta durante o tempo t

A = Área da secção transversal da amostra (cm);

L = comprimento da amostra (cm)

h = Potencial de pressão (carga hidráulica do topo da amostra)

3.4.4 Densidade do solo

Após as análises de condutividade hidráulica e de resistência do solo à penetração, a densidade do solo foi determinada nas amostras pela metodologia descrita em Blake & Hartge (1986). No laboratório, as amostras foram colocadas em estufa com temperatura de 105°C por aproximadamente 48 horas. Após a secagem, as amostras foram retiradas da estufa, colocadas em um dessecador e depois pesadas, sendo a densidade do solo obtida pela seguinte expressão:

$$\rho_s\ (g\ cm^{-3}) = \frac{\text{massa do solo seco}}{\text{volume total do solo}}$$

3.5 Avaliação dos efeitos de diferentes números de ciclos de umedecimento e secagem na manifestação da coesão

Para analisar a influência dos ciclos de umedecimento e secagem no adensamento dos solos coesos, foram utilizadas amostras de TFSA dos horizontes com caráter coeso estudados, conforme citado nos itens anteriores. As amostras foram divididas em três grupos. No primeiro grupo, foram aplicados 3 ciclos de umedecimento e secagem, no segundo grupo, 6 ciclos e por fim, no terceiro grupo, 9 ciclos. Para tanto, os materiais dos três grupos foram colocados em tubos de PVC de 5 cm de altura e 2 cm de diâmetro, conforme citado no item 3.4.2 e foram submetidos aos diferentes níveis de ciclos. Para cada amostra, foram realizadas três repetições.

Depois dos últimos ciclos (3^o, 6^o e 9^o), foi aplicada uma tensão de 6 atm, visando um controle na umidade das amostras. Após esse processo, a resistência do solo à penetração e a densidade do solo foram determinadas nos três grupos, usando a mesma metodologia citada nos itens 3.4.2 e 3.4.4, respectivamente.

3.6 Análise Estatística

Os dados de resistência à penetração, condutividade hidráulica do solo saturado e densidade foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias realizada pelo teste de Tukey a nível de significância de 5%. As relações entre os teores de argila e condutividade hidráulica, bem como da resistência à penetração em relação à densidade do solo foram analisadas pelo coeficiente de correlação de Pearson (r). Todas as análises foram realizadas com o programa ASSISTAT versão 7.6- 2013 (SILVA; AZEVEDO, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sílica extraída por cloreto de cálcio (CaCl_2), ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) e oxalato de amônio.

Os teores de silício (Si) extraídos por cloreto de cálcio (CaCl_2) foram baixos em todos os perfis analisados (Tabela 5). De acordo com Raij e Camargo (1973), o cloreto extrai menos sílica do que outros extratores comumente empregados. Corroborando esta afirmação, nota-se que o cloreto extraiu menos sílica que os outros extratores utilizados no presente estudo (ácido acético e oxalato de amônio). Cabe ressaltar que esse extrator determina a sílica presente na solução do solo na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), sendo esta quantificação muito importante, pois é nessa forma que a sílica é sujeita a processos de sorção à fase sólida (KORNDÖRFER *et al.*, 1999).

De um modo geral, houve tendência de acréscimo nos teores de Si (CaCl_2) em profundidade, acompanhando o aumento dos teores de argila (Tabela 5). Observou-se acréscimo de Si nos horizontes coesos em relação aos horizontes não coesos, esses acréscimos chegaram a 60% nos Argissolos Amarelos dos perfis P5 e P8 e de 50% no perfil P7. É importante ressaltar que, nos perfis P5 e P7, embora os teores de argila entre os horizontes não coeso e coeso sejam semelhantes, ocorreu um aumento expressivo de Si nestes últimos.

Nos solos mais arenosos, foram encontrados teores de Si mais baixos em relação aos solos mais argilosos. Segundo Korndörfer *et al.* (2005), solos arenosos apresentam baixos teores de sílica solúvel, pois, normalmente, apresentam boa drenagem, o que evita a acumulação de Si e, conseqüentemente, a polimerização destes compostos.

Tabela 5 – Teores de Si (expressos na forma de óxidos) obtidos por extrações com cloreto de cálcio (CaCl₂) e ácido acético (C₂H₄O₂)

Perfil	Hor.	Argila (g kg ⁻¹)	SiO ₂		Perfil	Hor.	Argila (g kg ⁻¹)	SiO ₂	
			CaCl ₂ -----dg kg ⁻¹ -----	C ₂ H ₄ O ₂				CaCl ₂ -----dg kg ⁻¹ -----	C ₂ H ₄ O ₂
P1 (PAC)	Ap	26	0,023	0,048	P5 (PA)	Ap	40	0,032	0,069
	A	45	0,013	0,028		E	79	0,022	0,047
	E1	49	0,011	0,023		EB	126	0,024	0,051
	E2	37	0,012	0,025		BE	201	0,030	0,063
	EB	63	0,012	0,025		Bt1*	256	0,074	0,158
	Bt1*	130	0,017	0,037		Bt2*	308	0,126	0,270
P2 (PA)	Ap	72	0,026	0,056	P6 ¹ (PAC)	Bt1*	290	0,010	0,030
	E	47	0,019	0,041		Ap1	45	0,034	0,076
	EB	82	0,032	0,069		Ap2	74	0,032	0,074
	Bt1*	146	0,060	0,129		EA	188	0,049	0,107
	Bt2	184	0,078	0,167		E	250	0,046	0,100
	Bt3	182	0,097	0,207		Bt1	317	0,064	0,124
	Bt4	186	0,122	0,262		Bt2*	338	0,129	0,277
						Bt3*	297	0,125	0,347
				Bt4	266	0,162	0,438		
P3 (PAC)	A1	34	0,139	0,158	P7 (PA)	A1	50	0,014	0,037
	A2	53	0,128	0,061		A2	50	0,016	0,026
	AE	54	0,067	0,068		AB	130	0,026	0,046
	EA	54	0,072	0,040		BA	230	0,032	0,080
	E1	60	0,069	0,055		Bt1*	390	0,080	0,148
	E2	67	0,028	0,051		Bt2*	380	0,141	0,257
	Bt*	221	0,121	0,192		Btf	330	0,149	0,269
P4 (PVA)	A1	50	0,017	0,051	P8 (PA)	Ap	65	0,118	0,274
	A2	90	0,013	0,027		AE	87	0,068	0,240
	A3	100	0,018	0,030		E	124	0,060	0,178
	AB	150	0,037	0,034		EB	216	0,071	0,169
	BA*	250	0,071	0,056		BE	292	0,100	0,319
	Btf1	490	0,105	0,063		Bt1*	440	0,118	0,820
	Btf2	480	0,019	0,037		Bt2	413	0,124	0,772

PAC- Argissolo Acinzentado

PA- Argissolo Amarelo

PVA- Argissolo Vermelho- Amarelo

* Horizontes coesos

¹ Não foram quantificados os teores de Si em todos os horizontes desse perfil, pois teve-se acesso apenas ao horizonte coeso do mesmo.

Encontraram-se também, nos perfis P1 e P3 (Argissolos Acinzentados Eutróficos abrupticos), maiores teores de sílica nos horizontes superficiais em relação aos subsuperficiais, provavelmente devido ao ciclo da sílica através das plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Moreau (2001).

Em relação ao Si extraído pelo ácido acético, observaram-se teores mais elevados deste elemento em relação aos solubilizados pelo cloreto de cálcio (Tabela 5). Os valores de Si nesse extrator ($C_2H_4O_2$) praticamente dobraram em relação ao cloreto de cálcio, com exceção em alguns horizontes dos perfis P4 e P3. Contudo, foi observado o mesmo padrão de acréscimo de Si com o aumento da profundidade do solo.

De acordo com Korndörfer *et al.* (1999, 2004), a sílica extraída pelo ácido acético provem de pequenas cadeias polimerizadas de Si, que estão presentes no solo sob formas menos solúveis que a sílica extraída pelo cloreto de cálcio. De acordo com essa afirmação, os solos do presente estudo apresentam de modo geral, maiores concentrações de sílica “pseudo-solúvel” (polimerizada) em detrimento da sílica solúvel (dissolvida na solução do solo).

Esse fato pode ser justificado pelos valores de pH destes solos (Tabela 6), pois segundo Iler (1979), solos que apresentam pH mais próximos a acidez ($2 < \text{pH} < 7$), fato comum em solos dos Tabuleiros Costeiros, o monômero de silício (H_4SiO_4) se polimeriza para formar precipitados de sílica amorfa, o que pode acarretar perda de Si solúvel (RONCHI *et al.*, 2013). Segundo Cornelis *et al.* (2011), o Si pode ser adsorvido por óxidos e hidróxidos de Fe e Al, resultando em teores mais baixos de sílica solúvel nos solos. Tal fenômeno pode estar ocorrendo nos solos estudados, contudo em menores proporções, visto que os solos dos Tabuleiros Costeiros apresentam baixos teores destes óxidos (Correa *et al.*, 2008).

Tabela 6– Valores de pH em H₂O referentes aos solos estudados

Perfil	Hor.	pH H ₂ O	Perfil	Hor.	pH H ₂ O
P1	Ap	5,7	P5	Ap	6,0
	A	6,3		E	6,5
	E1	6,4		EB	5,8
	E2	5,9		BE	5,5
	EB	5,5		Bt1*	4,8
	Bt1*	5,3		Bt2*	5,0
P2	Ap	6,1	P7	Ap1	5,9
	E	5,7		Ap2	5,7
	EB	5,7		EA	5,4
	Bt1*	5,9		E	5,1
	Bt2	5,9		Bt1	4,8
	Bt3	5,9		Bt2*	4,9
	Bt4	5,8		Bt3*	5,2
P3	A1	5,6	P8	Bt4	5,3
	A2	6,9		A1	5,1
	AE	6,7		A2	5,0
	EA	6,4		AB	4,6
	E1	6,2		BA	4,5
	E2	5,7		Bt1 *	4,1
	Bt*	5,6		Bt2*	5,0
P4	A1	5,8	P9	Btf	5,0
	A2	5,3		Ap	6,0
	A3	5,1		AE	6,2
	AB	5,0		E	6,3
	BA *	4,8		EB	6,3
	Btf1	4,8		BE	6,3
	Btf2	4,8		Bt1*	6,3
			Bt2	6,4	

*Horizontes coesos

Cabe ressaltar novamente, o notável incremento de Si nos horizontes coesos em relação aos horizontes não coesos superiores a estes (Tabela 5). Esse comportamento foi observado nos teores de sílica dos dois

extratores. Com exceção dos perfis P1 e P4, observaram-se acréscimos de Si (extraída pelo ácido acético) superiores a 45% nos horizontes coesos em relação aos horizontes não coesos, subjacentes. Verificou-se mais uma vez que, nos perfis P5 e P7, apesar do horizonte não coeso apresentar teor de argila muito semelhante ao coeso, os teores de Si extraída pelo ácido acético dobrou nestes últimos horizontes (Tabela 5).

Como pode se observar, ocorre o aumento de Si em profundidade. Dessa maneira, é provável que esta sílica, esteja sendo transportada dentro do perfil e acumulada nos horizontes coesos, sendo esse transporte facilitado devido à textura mais arenosa dos horizontes superiores ao coeso (KORNDÖRFER *et al.*, 2005).

Quando chega ao horizonte coeso esse transporte é dificultado, visto que este horizonte apresenta maior teor de argila e areia fina (BEZERRA, 2011) apresentando assim baixa permeabilidade, o que favorece o acúmulo de Si nesse horizonte. Com este acúmulo, ocorre um aumento da concentração de Si, favorecendo, dessa forma, a precipitação e polimerização deste constituinte. Quando esse fenômeno ocorre entre superfícies próximas, a sílica polimerizada pode formar pontes entre as partículas do solo, aumentando a coesão (ARAÚJO FILHO, 2001). Isso pode ser evidenciado pelos maiores valores de sílica extraída pelo ácido acético em relação à extraída pelo cloreto, visto que esta primeira encontra-se na forma polimerizada, indicando um acúmulo deste constituinte.

Quanto à sílica extraída pelo oxalato de amônio, verificou-se que em geral, foram solubilizadas maiores quantidades (horizontes coesos) desse elemento em relação aos outros dois métodos – cloreto de cálcio e ácido acético (Tabela 7). Isso se deve ao fato de o extrator oxalato geralmente dissolver aluminossilicatos, sílica amorfa e óxidos de baixa cristalinidade que contêm silício, resultando dessa forma, em maior extração de sílica em relação aos dois métodos analisados (SACCONE *et al.*, 2007).

Tabela 7 - Teores de Si (expressos na forma de óxidos) nos horizontes coesos e não coesos (sobrejacentes) obtidos por extrações com CaCl_2 , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ e Oxalato de amônio (O A).

Perfil	Hor.		SiO_2			Relação Si/Argila ($\times 10^{-3}$)		
			CaCl_2	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	O A	CaCl_2	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	O A
			-----dg kg ⁻¹ -----					
P1	EB	63	0,012	0,025	0,028	0,184	0,393	0,445
	Bt1*	130	0,017	0,037	0,090	0,134	0,286	0,692
P2	EB	82	0,032	0,069	0,154	0,392	0,840	1,882
	Bt1*	146	0,060	0,129	0,239	0,414	0,887	1,640
P3	E	67	0,028	0,051	0,047	0,413	0,768	0,704
	Bt1*	221	0,121	0,192	0,198	0,547	0,868	0,897
P4	AB	150	0,037	0,034	0,445	0,245	0,227	2,965
	BA *	250	0,071	0,056	0,840	0,283	0,224	3,360
P5	BE	201	0,030	0,063	0,030	0,147	0,315	0,149
	Bt1*	256	0,074	0,158	0,698	0,289	0,619	2,727
P6	Bt1*	290	0,010	0,030	0,058	—	—	—
P7	Bt1	317	0,064	0,124	0,102	0,203	0,392	0,323
	Bt2*	338	0,129	0,277	0,118	0,381	0,821	0,350
P8	BA	230	0,032	0,080	0,066	0,137	0,350	0,287
	Bt1*	390	0,080	0,148	0,229	0,205	0,380	0,588
P9	BE	292	0,100	0,319	0,236	0,341	1,092	0,808
	Bt1*	440	0,118	0,820	0,924	0,267	1,863	2,097

Apesar de não terem sido quantificados os teores de Si em todos os horizontes, nota-se que houve um crescente aumento desse elemento nos horizontes coesos, conforme já observado nas determinações anteriores. Segundo Raij e Camargo *et al.* (1973), maiores teores de Si foram observados

em horizontes com maiores teores de argila. No entanto, apesar dos horizontes subjacentes ao coeso apresentarem menores teores de argila, e, conseqüentemente, menores teores de Si, a relação Si/Argila (Tabela 7) evidencia que, apesar dessa diferença, houve de modo geral, um acréscimo deste constituinte nos horizontes com caráter coeso.

Os teores mais elevados de Si (oxalato) foram observados no Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico plúntico (P4), Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (P5) e no Argissolo Vermelho- Amarelo Eutrófico típico (P9). No perfil P4, houve um aumento expressivo de Si extraído pelo oxalato em detrimento do Si extraído pelos outros dois métodos (Tabela 7). Isso indica que, provavelmente, esta sílica está adsorvida nos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, resultando em menor quantidade de sílica solúvel no solo. (CORNELLIS *et al.*, 2011).

Os baixos teores de Si nos perfis P1, P3 e P6 (Argissolos Acinzentados), em relação aos demais solos, indica que, provavelmente, ocorreu uma remoção parcial deste elemento nesses solos. A cor dos mesmos evidencia uma condição de hidromorfismo temporário e, dessa forma, condições para lixiviação de ferro e sílica.

Com base no que foi verificado, os teores mais elevados de sílica observados nos horizontes coesos, indicam uma colaboração deste constituinte na gênese desses horizontes, visto que soluções ricas em Si podem causar precipitação de sílica amorfa e aluminossilicato amorfo, que após o período de secagem ficam endurecidos (KARATHANANAN, 1987). Contudo, não se pode negligenciar a influência do alumínio na gênese desses horizontes coesos, conforme será discutido mais adiante.

4.2 Ferro, alumínio e silício amorfos extraídos pelo oxalato de amônio.

Os teores de Al, Si e Fe, expressos nas formas de óxidos (Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3), foram determinados apenas nos horizontes com caráter coeso e nos não coesos dos diferentes perfis, visando um comparativo nos teores desses constituintes entre os dois tipos de horizontes. Observando-se a Tabela 8, nota-se que os solos estudados apresentaram baixos valores de Fe_2O_3 amorfo.

Os menores valores de Fe_2O_3 foram encontrados nos Argissolos Acinzentados (P1, P3 e P6), que apresentaram uma média de apenas $0,048 \text{ dg kg}^{-1}$ nos horizontes coesos. Com exceção dos perfis P4, P7 e P8, não houve diferenças notáveis nos teores de ferro amorfo entre os horizontes coesos e não coesos. No caso do Argissolo Vermelho- Amarelo (P4) e do Argissolo Amarelo (P7), ocorreu uma redução clara nos teores de Fe_2O_3 do horizonte não coeso para o horizonte coeso, sendo estas, respectivamente, de 49 e 54%.

Em relação aos teores de Al_2O_3 , pode-se observar que estes foram superiores aos encontrados para SiO_2 e Fe_2O_3 (Tabela 8). Resultados semelhantes foram encontrados por Romero (2003) em solos dos Tabuleiros Costeiros. Segundo Ribeiro (1998), estes maiores teores de alumínio resultam de sua baixa mobilidade no solo.

Pode-se observar, ainda, um acréscimo dos teores de Al_2O_3 nos horizontes com caráter coeso, comportamento este, semelhante ao incremento de SiO_2 nesses horizontes. Embora os teores Al_2O_3 tenham sido bem superiores em relação aos do SiO_2 , o aumento de Al_2O_3 do horizonte não coeso para o coeso se deu de forma mais sutil nos solos, enquanto os acréscimos de SiO_2 nos horizontes coesos foram mais notáveis. De acordo Drees *et al.* (1989), embora o SiO_2 ocorra em menor proporção, pequenos teores desse constituinte podem contribuir com uma coesão temporária maior das partículas, deixando o material duro a extremamente duro quando seco.

Tabela 8-Teores de Fe_2O_3 , Al_2O_3 e SiO_2 nos horizontes coeso e não coeso obtidos através de extrações com oxalato de amônio

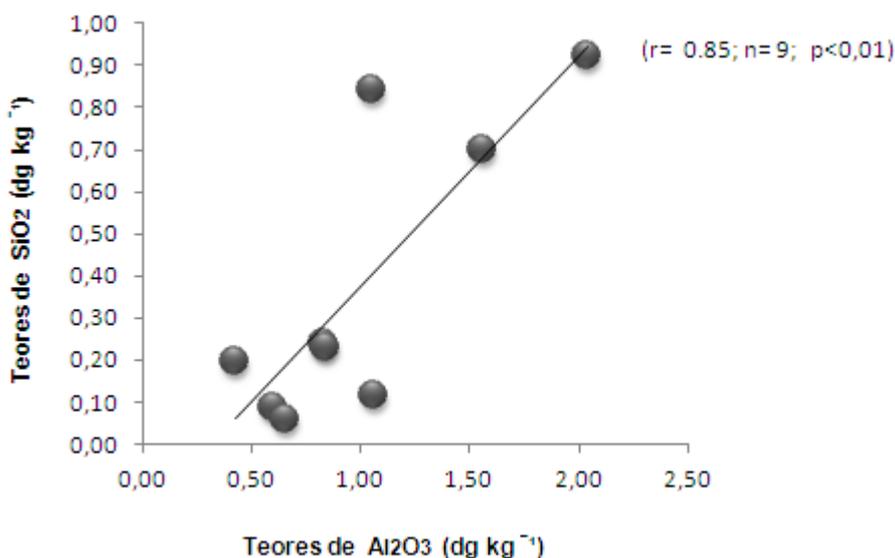
Perfil	Horizonte	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
		----- dg kg ⁻¹ -----		
P1	EB	0,038	0,523	0,028
	Bt1*	0,040	0,599	0,090
P2	EB	0,173	0,650	0,154
	Bt1*	0,130	0,825	0,239
P3	E	0,037	0,213	0,047
	Bt1*	0,058	0,422	0,198
P4	AB	0,592	0,911	0,445
	BA *	0,299	1,049	0,840
P5	BE	0,168	0,961	0,030
	Bt1*	0,148	1,560	0,698
P6	Bt1*	0,044	0,649	0,058
P7	Bt1	0,213	0,895	0,102
	Bt2*	0,097	1,059	0,118
P8	BA	0,284	0,470	0,066
	Bt1*	0,489	0,832	0,229
P9	BE	0,131	1,202	0,236
	Bt1*	0,140	2,037	0,924

* Horizonte coeso

De acordo com o modelo proposto para explicação da gênese de horizontes endurecidos, a presença de sílica amorfa está relacionada à cimentação desses horizontes. Contudo, trabalhos realizados em áreas dos Tabuleiros Costeiros mostram também que o alumínio (extraído por oxalato) pode contribuir na manifestação dessa cimentação (ROMERO, 2003; ARAÚJO

FILHO, 2001). A correlação significativa e positiva entre os teores de Al_2O_3 e SiO_2 corroboram a hipótese (Figura 5).

Figura 5- Correlação entre os teores de Al_2O_3 e SiO_2 nos horizontes com caráter coeso.



Desse modo, verificaram-se maiores teores de sílica onde o alumínio se fez presente em maiores quantidades. Moreau (2001) já havia considerado que o alumínio não pode ser negligenciado na contribuição de mecanismos de endurecimento, visto que este elemento encontra-se associado à sílica em condições ambientais e pela sua interação com esta na adsorção.

Segundo Doucet *et al.* (2001), em solos com soluções ricas em Al e Si, ocorre uma co-precipitação destes dois elementos, os quais devido a suas afinidades químicas podem formar aluminossilicatos e hidroxialuminossilicatos.

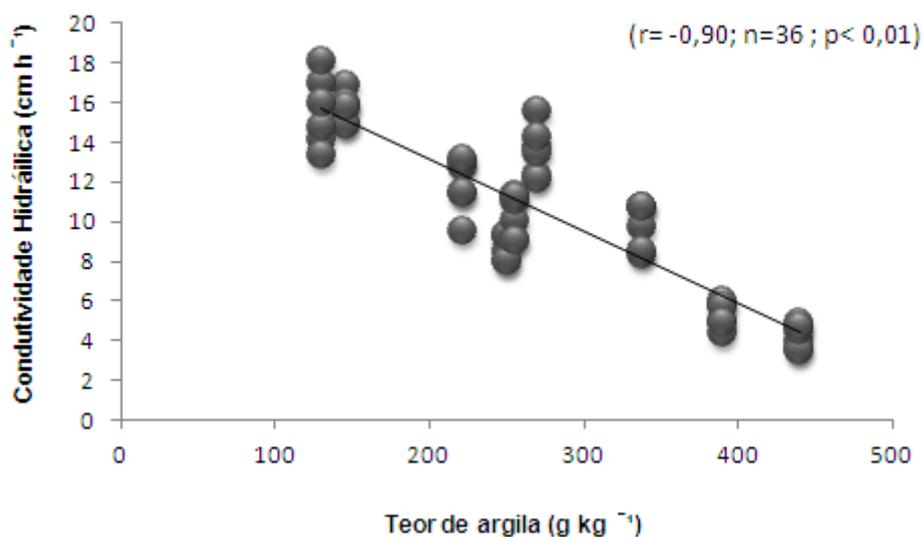
Dessa forma, com base nos acréscimos notáveis de Al_2O_3 , SiO_2 de baixa cristalinidade, infere-se que esses compostos contribuem conjuntamente na gênese dos horizontes coesos. Os resultados das análises físicas a respeito do comportamento solos na presença e na ausência desses compostos amorfos (que será detalhada adiante) corroboram a hipótese de uma cimentação temporária causada não apenas por sílica, mas também por alumínio.

4.3 Ensaios experimentais para avaliação do comportamento de horizontes com caráter coeso antes e após extração de compostos amorfos

4.3.1 Condutividade hidráulica e densidade do solo

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) apresentou grande variação entre os diferentes horizontes coesos dos solos estudados (nas amostras de TFSA, que passaram por 3 ciclos de umedecimento e secagem). Observou-se que os maiores valores de condutividade hidráulica foram encontrados nos horizontes Bt dos solos menos argilosos e os menores valores, nos horizontes Bt mais argilosos. A correlação negativa e significativa entre os valores de condutividade hidráulica e os teores de argila evidenciam tal fato (Figura 6).

Figura 6- Correlação entre condutividade hidráulica e teor de argila.



Contudo, a condutividade hidráulica não está relacionada exclusivamente com a textura, mas também com a densidade, estrutura do solo, conseqüentemente com a forma dos poros, tamanho, e principalmente com a continuidade dos mesmos. Os resultados mostram indícios de que os ciclos de umedecimento e secagem provocaram, principalmente no material mais argiloso (P7 ao P9), a formação de uma quantidade maior microporos em relação aos macroporos, reduzindo dessa forma, o valor de K_0 (Tabela 9). Nesses solos com maiores teores de argila, a acomodação dessas partículas finas seria facilitada durante os repetidos ciclos, causando dessa maneira uma diminuição da porosidade do solo, em especial, a macroporosidade. Viana *et al.* (2004), estudando a influência de ciclos de umedecimento e secagem na estrutura de Latossolos, observaram que estes ciclos provocaram a acomodação e rearranjo das partículas do solo, e também uma redução dos tamanhos dos agregados, resultando em uma baixa macroporosidade.

Tabela 9- Valores médios de condutividade hidráulica e densidade dos horizontes coesos sem extração de compostos amorfos

Perfil	Teor de argila (g kg ⁻¹)	Condutividade	Densidade
		hidráulica (cm h ⁻¹)	do solo (g cm ⁻³)
		S/ extração	S/extração
P1	130	14,80	1,47
P2	146	15,22	1,44
P3	221	11,20	1,54
P4	250	8,18	1,46
P5	256	9,35	1,37
P6	270	12,71	1,42
P7	338	8,84	1,36
P8	390	5,04	1,37
P9	440	3,68	1,38

A condutividade hidráulica possui alta correlação com a porosidade total do solo, conseqüentemente com a densidade (Mesquita; Moraes, 2003). Desse modo, maiores valores de K_0 são encontrados juntamente com os maiores valores de porosidade. Tal fato pode ser observado no perfil P6 (Argissolo Acinzentado), onde se verificou que, apesar deste solo apresentar teor de argila semelhante ao do Perfil P4 (Argissolo Vermelo-Amarelo), ocorreu uma maior condutividade hidráulica nesse solo (Tabela 9). Isso aconteceu provavelmente, devido a um menor empacotamento ou acomodação das partículas, visto que o perfil P6 apresenta uma menor densidade em relação ao perfil P4. Fato semelhante ocorreu no perfil P3, que em comparação aos perfis P1 e P2, um pequeno acréscimo na densidade, provocou um declínio na condutividade. Assim, a variável densidade do solo representa uma variável efetiva que possibilita inferir indiretamente sobre a condutividade hidráulica do solo.

É importante ressaltar que a relação entre os valores de densidade e K_0 citada no parágrafo anterior, foi realizada comparando-se solos com textura semelhante, pois é sabido que arenosos apresentam densidade do solo superior aos argilosos (BUENO; VILAR, 1998; LIBARDI, 2005). De fato, verificaram-se menores valores de densidade nos perfis P7, P8, P9 (solos com textura argilo-arenosa a argilosa) em relação aos perfis P1, P2 e P3 (solos com textura franco-arenosa), no entanto, esses primeiros apresentam menores valores de K_0 em relação aos demais.

Em relação aos tratamentos (sem e com extração com oxalato de amônio) nota-se que houve um aumento na K_0 nas amostras em que os compostos amorfos foram retirados (Tabela 10). Embora esses compostos atuem como agentes “cimentantes”, no período de secamento do solo, pode-se observar que a extração com oxalato proporcionou incremento na K_0 , ocasionando diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos nos perfis P1, P4, P5, P6, P7 e P9, mesmo com o material estando úmido (saturado).

Tabela 10- Valores médios de condutividade hidráulica e densidade dos horizontes coesos com e sem extração pelo oxalato de amônio.

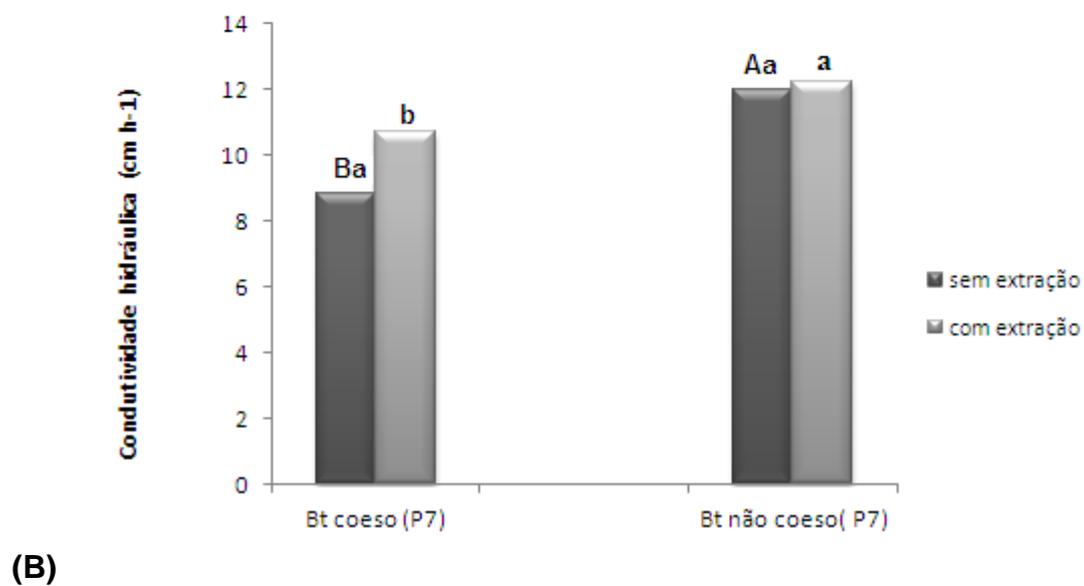
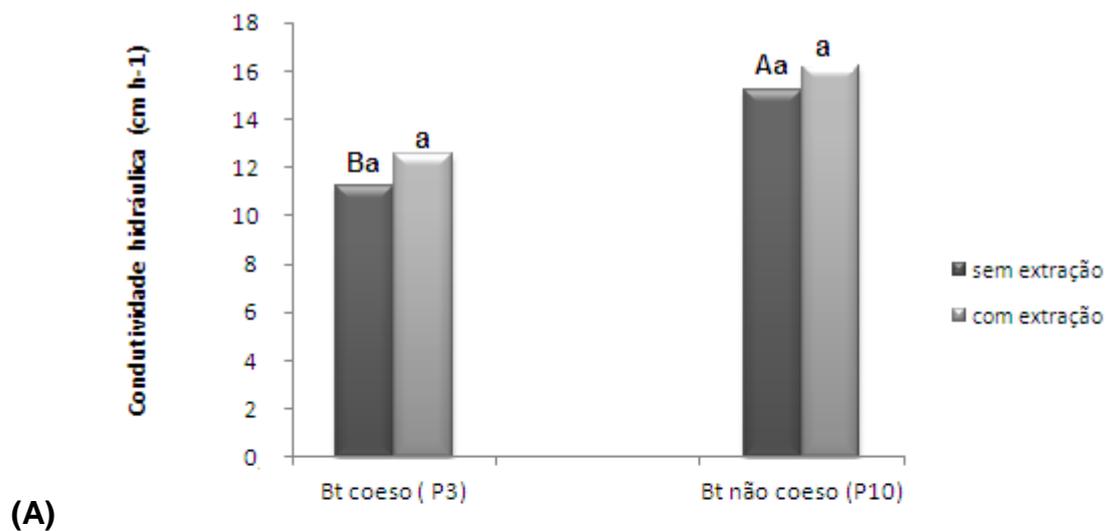
Perfil	Teor de argila (g kg ⁻¹)	Condutividade hidráulica (cm h ⁻¹)		Densidade do solo (g cm ⁻³)	
		S/ extração	C/extração	S/extração	C/ extração
P1	130	14,80 a*	16,23 b	1,47 a*	1,38 b
P2	146	15,22 a	16,21 a	1,44 a	1,38 a
P3	221	11,20 a	12,53 a	1,54 a	1,45 a
P4	250	8,18 a	9,27 b	1,46 a	1,36 b
P5	256	9,35 a	11,18 b	1,40 a	1,33 b
P6	270	12,71 a	14,40 b	1,42 a	1,33 b
P7	338	8,84 a	10,74 b	1,36 a	1,29 b
P8	390	5,04 a	5,53 a	1,37 a	1,32 b
P9	440	3,68 a	4,68 b	1,38 a	1,31 b

* Teste de tukey. Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam que as médias apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade

Pode-se inferir dessa forma, que o processo de extração desses compostos não permitiu, após os ciclos de umedecimento e secagem, um adensamento das partículas. Esse fato pode ser evidenciado nos valores de densidade do solo, onde se observou um declínio significativo na densidade das amostras após a remoção dos compostos de baixa cristalinidade (Tabela 10). Sugere-se que a retirada desse material cimentante (compostos amorfos) diminuiu o contato entre as partículas do solo, provocando uma redução da densidade. Uma vez que a densidade diminuiu, ocorreu um aumento na porosidade, e conseqüentemente o fluxo de água tornou-se mais fácil, aumentando, dessa forma, a K_0 .

Comparando as médias de condutividade hidráulica entre horizontes coesos e não coesos, observa-se que os valores de K_0 (sem extração) nos horizontes não coeso são significativamente superiores aos do horizonte não coeso (Figura 7). É interessante salientar a notável diferença de K_0 entre o horizonte coeso e não coeso no material mais argiloso (Figura 7B), visto que ambos os horizontes pertencem ao mesmo perfil, onde o horizonte não coeso encontra-se acima do coeso.

Figura 7- Valores médios de condutividade hidráulica (K_0) nos horizontes coesos e não coesos. (A) Médias de K_0 nos solos menos argilosos; (B) Médias de K_0 nos solos argilosos. Letras minúsculas comparam médias entre os tratamentos (com e sem extração). Letras maiúsculas comparam médias entre os horizontes (coeso e não coeso). Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



De fato, trabalhos realizados em solos dos Tabuleiros Costeiros mostram que os horizontes coesos apresentam baixa taxa de infiltração e condutividade hidráulica, comparadas a dos horizontes supra ou subjacentes, não coesos (PAIVA *et al.*, 2000 ; REZENDE 2000).

Tais resultados mostram que os solos com caráter coeso usados neste ensaio experimental, apesar de não apresentarem a estrutura original encontrada em ambiente pedogenético, voltam, de certa forma, a manifestar características de solos adensados (depois de submetidos a ciclos de umedecimento e secagem), mesmo passado por processo de desagregação. Vieira *et al.* (2012), também observaram que solos com caráter coeso que passaram por processo de destorroamento apresentaram alta resistência à penetração após três ciclos de umedecimento e secagem.

Quanto aos tratamentos nos horizontes não coesos, verificou-se que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores de K_0 (Figura 7). Resultados estes, contrários aos observados na maioria dos horizontes coesos dos perfis estudados. Conforme exposto anteriormente, de um modo geral, houve diferença significativa entre os tratamentos. Em alguns perfis, como o P2, P3 e P8, apesar de observado um aumento na K_0 , nos solos em que os compostos amorfos foram retirados, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 10). Essa inexistência da diferença significativa entre os tratamentos pode ser atribuída ao alto valor de coeficiente de variação (CV) de K_0 observado nas amostras.

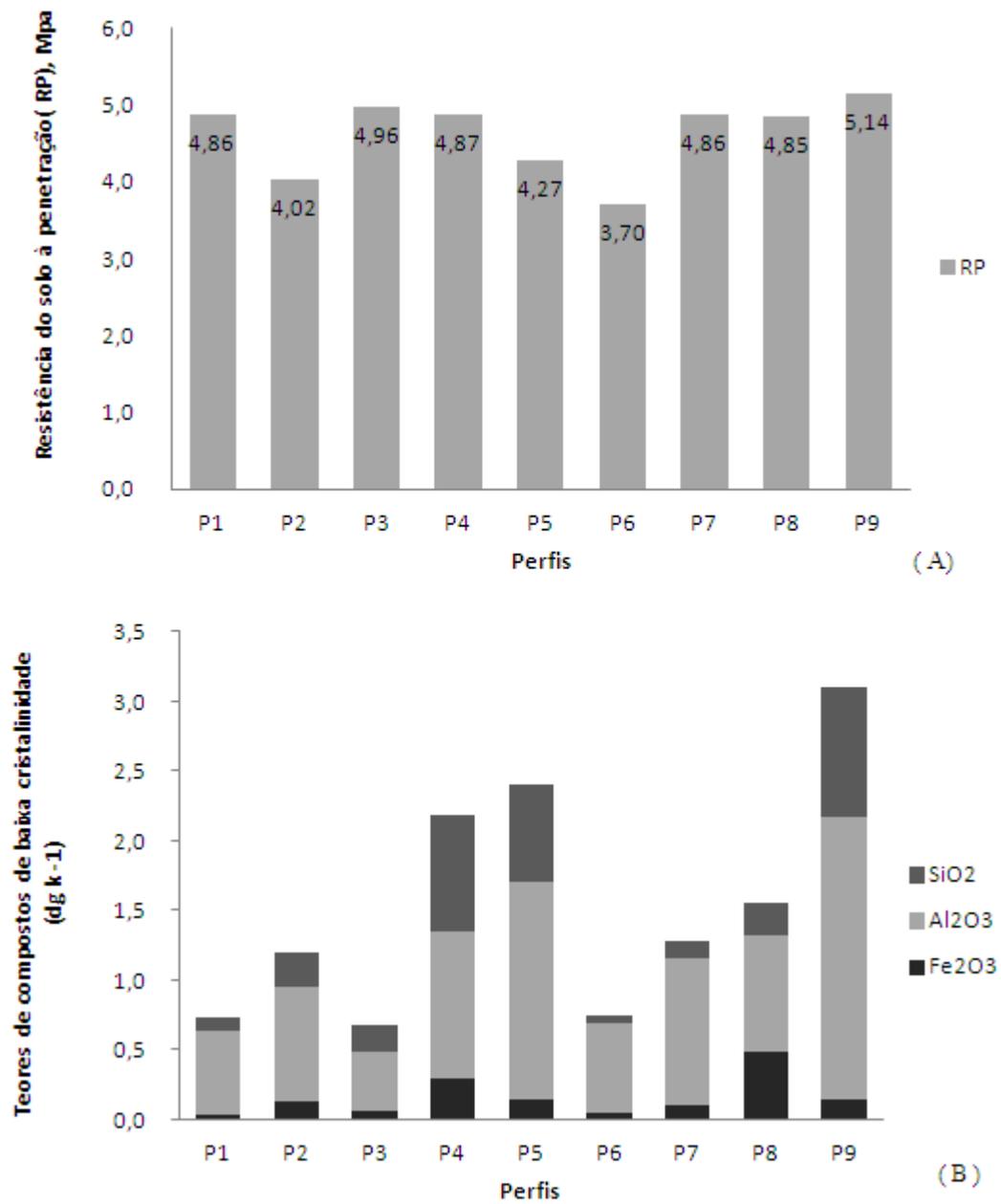
4.3.2 Resistência do solo a penetração

As amostras dos horizontes coesos (material em que os compostos amorfos não foram retirados) apresentaram uma elevada resistência do solo à penetração (Figura 8A), mesmo utilizando materiais destorroados e submetidos a poucos ciclos de umedecimento e secagem. Os valores variaram de 3,70(P6) a 5,14 MPa (P9), sendo estes superiores àqueles registrados por Giarola *et al.* (2003), usando amostras indeformadas.

Segundo Mullins (1987), valores de resistência mecânica à penetração do solo entre 2 MPa e 3 MPa resultam em limitações ao crescimento das raízes das plantas, mesmo para conteúdos elevados de umidade do solo. Portanto, os resultados mostram que, nessas áreas de estudo, o sistema radicular teria sérias resistências para se desenvolver ao encontrar esses horizontes com caráter coeso.

Várias pesquisas mostraram que a sílica pode atuar na cimentação de horizontes e camadas, apresentando correlações positivas entre resistência do solo e sílica extraível (DUCAN; FRANZMEIER, 1999, FRANZMEIER *et al.*, 1996; McBURNET; FRANZMEIER, 1997). No entanto, no presente trabalho, não houve correlação entre os teores de Si ou Al e os valores de RP. Era esperado que os solos com maiores teores de Si e Al, apresentassem maior RP, já que esses compostos contribuem para a “cimentação” dos horizontes coesos.

Figura 8 – (A) Valores de resistência à penetração nos horizontes em que os compostos amorfos não foram retirados; (B) Teores de compostos amorfos ou de baixa cristalinidade.



Porém, sabe-se que RP está correlacionada com vários atributos e condições do solo, dentre eles, a densidade, e, principalmente, a umidade (θ) no momento da determinação (TORMENA *et al.*, 2004; BUSSCHER *et al.*, 1997). A RP pode também, ser influenciada pela coesão (GIAROLA *et al.*, 2001). No presente estudo, a análise da RP foi efetuada com as amostras submetidas à tensão de 6 atm e, assim, pode-se observar que os teores de umidade (Tabela 11) nas amostras são bastante heterogêneos entre os solos. Esse fato pode explicar a não correlação entre os compostos de baixa cristalinidade e os teores de RP, visto que esses compostos agem como um agente cimentante temporário durante o período em que o solo encontra-se mais seco.

Tabela 11- Valores médios de umidade determinados nas amostras no momento da determinação da RP.

Perfil	Umidade (θ) - %	
	S/ extração	C/ extração
P1	10,0 a*	10,4 a
P2	11,5 a	11,0 a
P3	9,1 a	10,1 a
P4	10,7 b	12,2 a
P5	12,7 a	13,4 a
P6	10,4 a	11,2 a
P7	15,7 a	15,9 a
P8	16,7 a	16,8 a
P9	17,6 a	18,3 a

* Letras minúsculas diferentes na mesma linha indicam que as médias apresentam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Lima *et al.* (2004) verificaram que a diminuição da umidade de apenas 2% foi suficiente para aumentar a RP de 4,7 Mpa para 8,5 MPa em um

horizonte Bt1 coeso. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Giarola *et al.* (2001), no qual foi necessária uma diminuição de 5 % na umidade do solo, para a RP aumentar de 0,98 MPa para 12,76 MPa.

Nesse contexto, infere-se que os valores encontrados para RP não seguiram uma tendência crescente com o aumento dos compostos amorfos devido à relação potencial entre a umidade do solo e a RP, tendo em vista que pequenas alterações no conteúdo de água determinam grandes variações na resistência à penetração (GIAROLA, *et al.*, 2003)

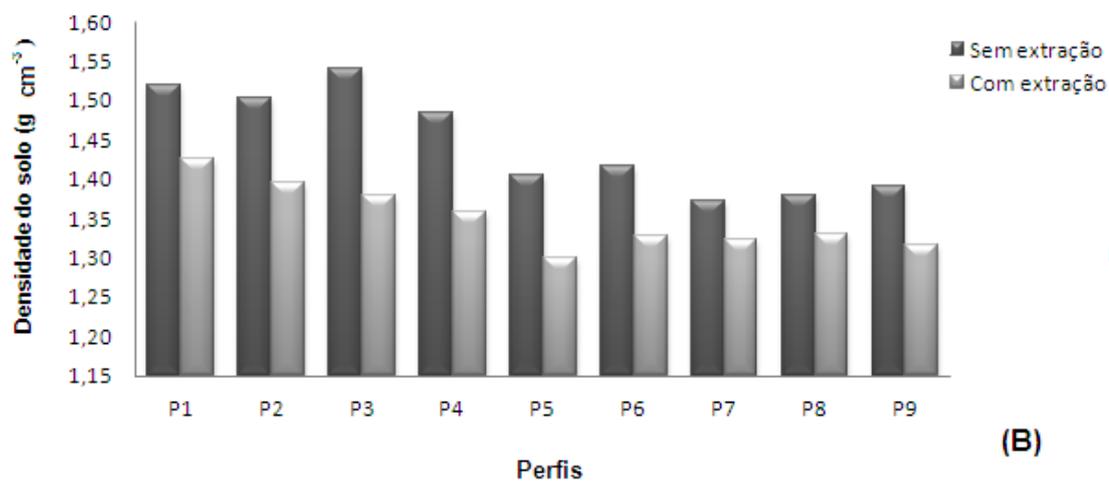
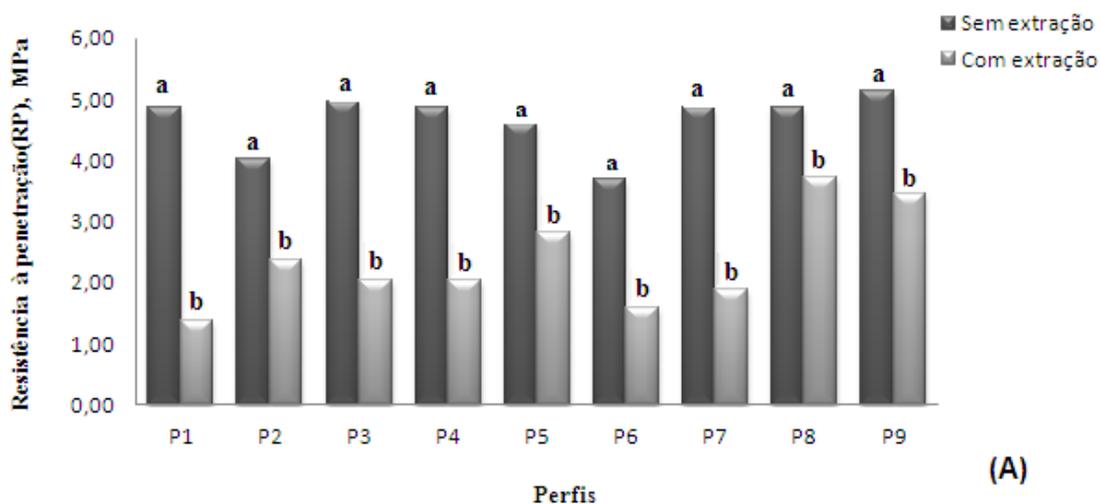
Ainda assim, é importante destacar o valor de RP observado no perfil P9, pois apesar da alta umidade presente nesse solo, em relação aos demais, este apresentou maior RP dentre os solos estudados, e também maiores teores de Al_2O_3 e SiO_2 . É possível que, se este solo apresentasse umidade mais próxima aos dos demais perfis no momento da medição da RP, seu valor seria muito superior ao que foi constatado. Isso também se aplicaria aos solos que apresentaram maiores teores de compostos amorfos (P4 e P5), contudo, suas médias de RP não diferiram de forma notável das demais.

É válido ressaltar ainda a diferença entre a RP do Perfil P6 e do P4, pois a RP deste último (P4) foi 18% superior ao do P6 (Figura 8), fato que poderia se justificar pelos menores teores de compostos amorfos do P6 e maiores do P4, visto que ambos possuem praticamente a mesma umidade (Tabela 10).

Com relação aos tratamentos em que os solos foram submetidos (com e sem extração por oxalato de amônio), observa-se que os valores de RP diminuíram significativamente em todas as amostras dos horizontes com caráter coeso que os compostos amorfos foram retirados (Figura 9A), semelhante à resposta constatada na condutividade hidráulica do solo.

Apesar das diferenças entre os teores de umidade entre os perfis de solos, os valores de umidade das amostras nos dois tratamentos de um mesmo perfil foram mais homogêneos (Tabela 11). Dessa maneira, essas diferenças significativas ($p < 0,05$) na RP entre os tratamentos (Figura 9A) não foram influenciadas pela diferença na umidade entre estes (Tabela 10).

Figura 9 – Valores médios de resistência do solo à penetração (RP) entre os tratamentos (com e sem extração de compostos de baixa cristalinidade) nos horizontes com caráter coeso (A). Valores médios de densidade do solo nas amostras sem e com extração dos compostos amorfos (B). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

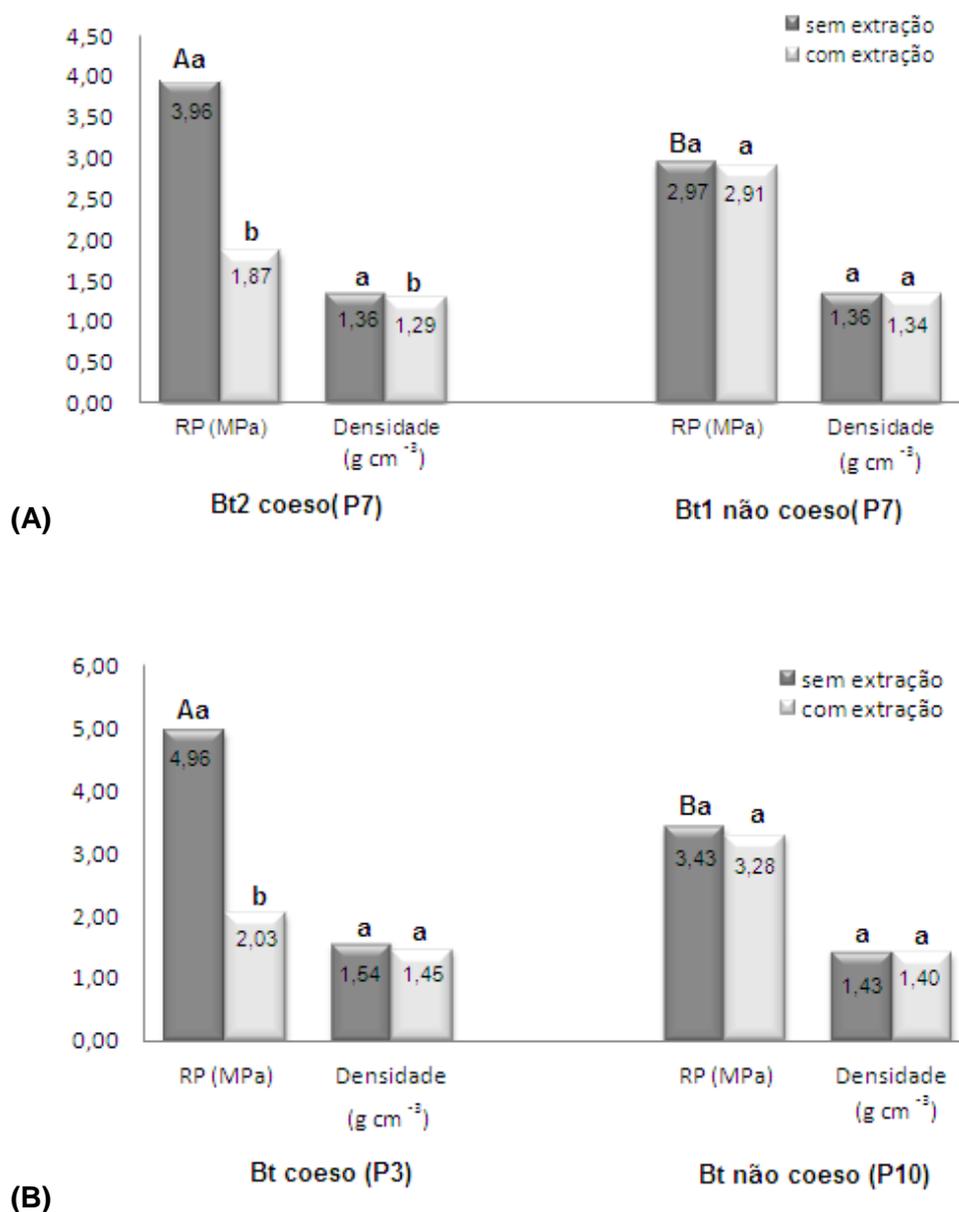


Dessa forma, com estas diferenças na RP entre os tratamentos, fica evidente a atuação dos compostos amorfos na manifestação da coesão nesses solos. Segundo Araújo Filho *et al.* (2001), durante o período de secamento do solo, esses compostos se polimerizam e precipitam entre superfícies próximas, ocorrendo a formação de “pontes” entre as partículas do solo, aumentando a coesão. Os maiores valores de RP observados nos solos em que esses compostos não foram retirados evidenciam tal fato. Assim sendo, a presença da Si e Al favoreceram a dureza (“cimentação temporária”) e o adensamento nas amostras de solo do tratamento sem a extração, visto que estas apresentaram maiores valores de densidade (Figura 9B) e de RP (Figura 9A).

Por outro lado, verificaram-se menores valores de densidade do solo nas amostras do tratamento com extração (Figura 9B). Essa diminuição da densidade do solo, conseqüente da extração dos compostos amorfos, foi responsável em parte, pelos menores valores de RP encontrados nas amostras que passaram pela extração. Sabe-se que a resistência do solo à penetração possui forte relação com a densidade do solo, onde altos valores de densidade reduzem a porosidade dos solos, aumentando a resistência mecânica dos mesmos (LIMA *et al.*, 2005). Esse fato é evidenciado pelas correlações positivas e significativas entre os valores de RP e densidade do solo para os perfis P1 ao P3 (textura menos argilosa) ($r = 0,60$; $p < 0,05$), P4 ao P6 ($r = 0,68$; $p < 0,05$) e P7 ao P9 (textura mais argilosa) ($r = 0,73$; $p < 0,05$)

Comparando a RP dos horizontes coesos e não coesos, nota-se que os horizontes com caráter coeso apresentaram médias de RP (sem extração) significativamente superiores aos não coesos (Figura 10 A, B). No Perfil P7 (Argissolo Amarelo) nota-se que a RP do horizonte coeso foi 25% superior ao do horizonte não coeso. Esses resultados estão de acordo com trabalhos que mostram que horizontes coesos, quando mais secos, apresentam maiores valores de RP, em relação aos horizontes que não são coesos (LIMA *et al.*, 2005; GIAROLA *et al.*, 2003).

Figura 10- Valores médios de RP e densidade nos horizontes coesos e não coesos. (A) Horizontes mais argilosos; (B) Horizontes menos argilosos. Letras maiúsculas comparam médias entre os horizontes (coeso e não coeso). Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



É importante salientar que os teores de compostos amorfos (SiO_2 e Al_2O_3) nos horizontes coesos do P3 e P7, são superiores aos observados nos horizontes não coesos do P7 e P10 (Tabela 12), evidenciando, mais uma vez, a contribuição desses compostos no endurecimento dos solos coesos.

Tabela 12 - Teores de SiO_2 e Al_2O_3 (extraídos por oxalato de amônio) nos horizontes coesos e não coesos utilizados para comparação de RP e densidade.

Perfil	Horizonte	Teor de Argila (g kg^{-1})	Al_2O_3 ---- dg kg^{-1} ----	SiO_2
P7	hor. não coeso(Bt1)	317	0,895	0,102
P7	hor.coeso (Bt2)	338	1,059	0,118
P10	hor. não coeso(Bt1)	221	0,178	0,095
P3	hor.coeso (Bt1)	200	0,192	0,198

Não foram constatadas diferenças significativas de RP e densidade do solo entre os tratamentos nos horizontes não coeso do P7 e do P3 (Figura 10 A, B), mostrando dessa forma, que os compostos amorfos presentes nesses horizontes, embora em menores quantidades, não influenciaram nos resultados das análises em questão. É provável que a sílica e alumínio amorfos tenham maior atuação nos horizontes coesos em relação aos horizontes não coesos, visto que estes primeiros apresentam baixa permeabilidade, o que favorece o acúmulo, retenção e precipitação da sílica e/ou de outros materiais silico-aluminosos no período de secagem do solo e conseqüentemente, o aumento da coesão (CHADWICK *et al.*, 1987).

Apesar dos resultados mostrarem fortes indícios da influência dos compostos amorfos ou de baixa cristalinidade na gênese dos solos estudados, não se pode atribuir unicamente a esse fator químico à formação do caráter

coeso nesses solos, pois sabe-se que a gênese do referido caráter possui também aspectos físicos envolvidos (BEZERRA, 2011; CORREA *et al.*, 2008). Diante de uma heterogeneidade dos solos dos Tabuleiros Costeiros que apresentam a coesão, é difícil atribuir qual o fator dominante acerca da gênese dos horizontes coesos.

Contudo, fica clara a efetiva participação desses compostos na gênese desses horizontes, pois os solos com caráter coeso apresentaram respostas positivas e significativas acerca da influência da sílica e do alumínio no processo de endurecimento desses horizontes.

4.4 Influência de ciclos de umedecimento e secagem no adensamento de solos coesos

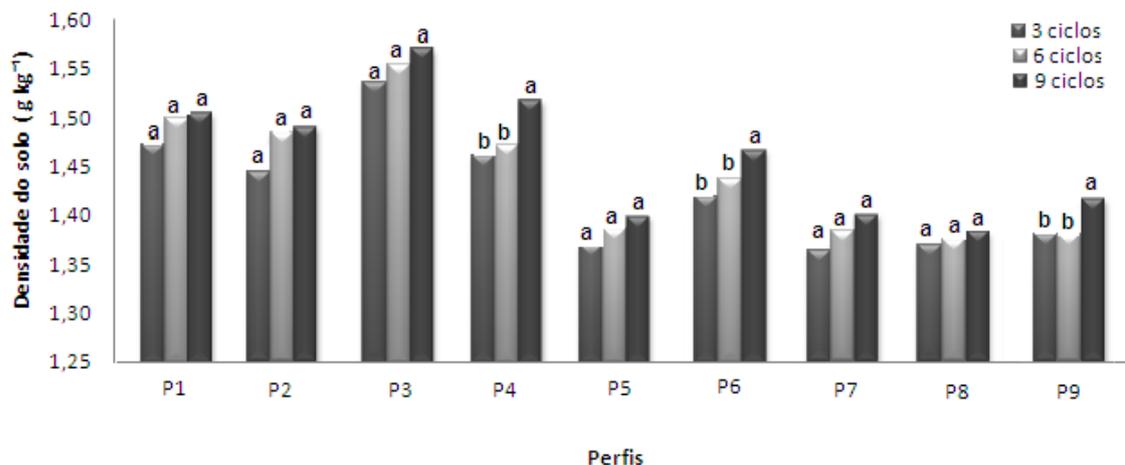
Analisando-se a densidade dos solos que passaram por diferentes quantidades de ciclos de umedecimento e secagem, nota-se que houve um sutil aumento desta, com o crescente número de ciclos (Figura 11). Apesar desse aumento da densidade, observaram-se diferenças significativas ($p < 0,05$) apenas nos Argissolos Vermelho-Amarelos (P4 e P9) e em um Argissolo Acinzentado (P6). Dessa forma, infere-se que as partículas do solo, em especial, a argila e areia fina, se acomodaram ou se rearranjaram, de forma mais expressiva, nos primeiros ciclos aplicados.

De fato, Attou e Bruand (1998), usando misturas silte e argila obtidos do horizonte B de um solo para fazer misturas mecânicas com amostra úmida (na forma de pasta) e seca, observaram na análise micromorfológica, que após um único ciclo de dessecação, a mistura em pasta já apresentava a matriz de uma fábrica mais densa e menos porosa.

Um dos modelos propostos para a gênese dos horizontes coesos seria de um possível ajuste face a face de partículas do solo, principalmente a caulinita pela sua forma tabular, provocando um aumento na densidade do solo. Com base nisso, era de se esperar que o aumento dos números de ciclos favoreceria o ajuste face a face das partículas de argila, aumentando a densidade do solo com o aumento destes. Esse fato pode não ter ocorrido, pois não foram constatadas diferenças notáveis na densidade do solo. De acordo com Giarola *et al.* (2009), o grau de ordenamento da caulinita, encontrada em áreas dos Tabuleiros Costeiros, não permite associar o empacotamento da fração argila com a ocorrência do caráter coesos nestes solos.

Contudo, os aumentos significativos de densidade no 9º ciclo observados nos perfis P4, P6 e P9, indicam que seriam necessários maiores quantidades de ciclos para obtenção de um resultado conclusivo.

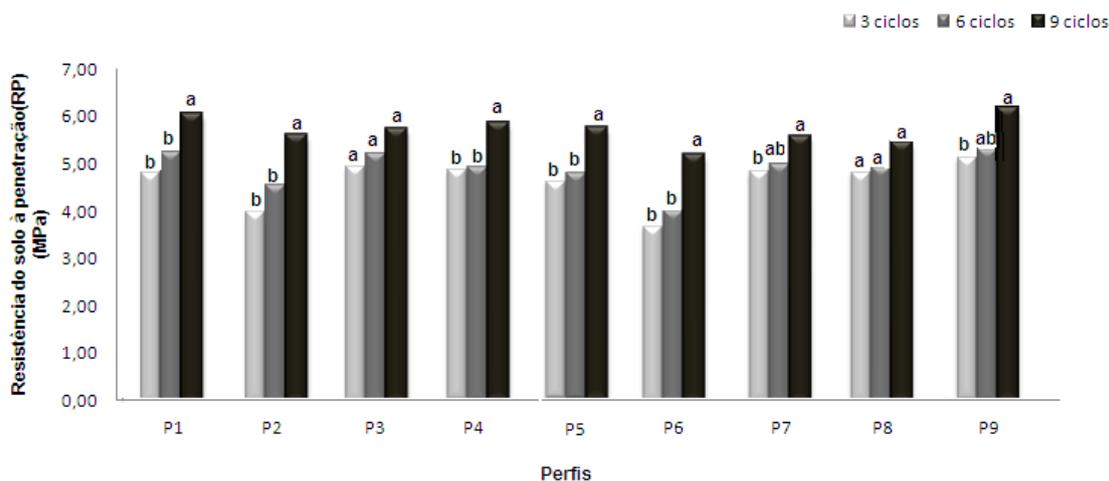
Figura 11 – Valores de densidade do solo após diferentes números de ciclos de umedecimento e secagem. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Em relação à resistência a penetração (RP), observou-se que, de um modo geral, os maiores valores de RP foram encontrados nos solos que foram submetidos aos 9 ciclos de umedecimento e secagem. Entretanto, ao se fazer a comparação entre 3 e 6 ciclos, pode-se observar que os valores de RP não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) (Figura 12).

É interessante destacar o comportamento dos solos mais argilosos (P7 ao P9). Nesses solos, nota-se que não houve muita diferenciação entre os valores de RP com o aumento dos ciclos. Era esperado que esses solos apresentassem um maior adensamento com a adição dos ciclos, visto que estes maiores teores de argila poderiam provocar, conseqüentemente, um maior rearranjo dessas partículas, aumentando, dessa forma, a densidade e a RP do solo.

Figura 12 – Valores de resistência do solo à penetração (RP) referentes as diferentes números de ciclos de umedecimento e secagem.



Com exceção do Argissolo Acinzentado (P3), as amostras dos solos P1 ao P6, que passaram pelos 9 ciclos de umedecimento e secagem, apresentaram um aumento significativo ($p < 0,05$) na RP em relação aos solos que passaram por 3 e 6 ciclos. Segundo Singer *et al.* (1992), *Apud* Attou e Bruand (1998), o desenvolvimento de revestimentos e pontes de argila ao redor do esqueleto do solo, aumentam significativamente com o aumento dos ciclos de umedecimento e secagem. De acordo com os mesmos autores, os ciclos causam a dispersão (umedecimento) e reorganização de partículas de argila no solo (secagem). Segundo Chartres *et al.* (1990), a gênese de solos *hardsettings* (correlatos ao caráter coeso) está relacionada aos processos de umedecimento e secagem cíclicos do solo. Entretanto, estes autores argumentam que o desenvolvimento da resistência não é um fenômeno puramente físico e que a cimentação química teria um papel fundamental nesse processo.

Diante disto, é provável que os maiores valores RP após 9 ciclos, possam ter sido provocados pelo aumento do número de ciclos de umedecimento e secagem. Nesse caso, os sucessivos ciclos de umedecimento e secagem provocariam a formação de pontes de argila entre os grãos de quartzo, e quando o solo foi seco (tensão 6 atm), ocorreu o endurecimento

deste, aumentando a RP. Cabe ressaltar que tais inferências são baseadas apenas em atributos quantitativos observados (RP e densidade), para a constatação de tais fenômenos seriam necessários estudos mais detalhados, como a análise micromorfológica.

É possível que essa formação de pontes de argila ligando os grãos maiores não ocorreu nos solos submetidos a 3 e 6 ciclos, pois provavelmente, essas quantidades de ciclos foram insuficientes para a manifestação de tal fenômeno. Attou e Bruand (1998) mostraram que quando partículas de silte foram misturadas com argila e aplicado apenas um ciclo de umedecimento e secagem nas amostras, não houve a formação de pontes de argila entre as partículas de silte.

Analisando os solos conjuntamente, no que se refere aos efeitos dos ciclos nas características do solo avaliadas (RP e densidade), observa-se que houve resposta estatisticamente significativa apenas na RP dos solos submetidos a 9 ciclos (Tabela 13).

Tabela 13- Médias de densidade e RP referentes aos solos submetidos a 3, 6 e 9 ciclos de umedecimento e secagem.

Nº ciclos	Densidade (g kg⁻¹)	RP (MPa)
3 ciclos	1,42 a	4,63 a
6 ciclos	1,44 a	4,81 a
9 ciclos	1,46 a	6,00 b

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam médias significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 CONCLUSÕES

Os acréscimos de sílica e de alumínio de baixa cristalinidade ou amorfos nos horizontes com caráter coeso evidenciam que esses compostos contribuem conjuntamente na gênese destes horizontes.

Os horizontes coesos que passaram pelo processo de extração de compostos amorfos apresentaram, independente de sua textura, uma redução significativa na resistência do solo à penetração e na densidade. Verificou-se também que nesses solos, a condutividade hidráulica foi superior àquela observada nas amostras sem a extração destes compostos. Dessa forma, fica evidente que a retirada dos compostos mal cristalizados (amorfos) provocou alterações de ordem física nos horizontes com caráter coeso, comprovando assim, a contribuição desses compostos no adensamento de solos com caráter coeso.

De um modo geral, o aumento do número de ciclos de umedecimento e secagem provocou um sutil aumento na densidade do solo, contudo, não foram constatadas diferenças significativamente significativas com o aumento dos ciclos. Desta forma, os resultados mostram que, com essa quantidade de ciclos (9) empregada, não houve o empacotamento das partículas finas com o aumento dos ciclos.

Os solos que passaram pelos 9 ciclos de umedecimento e secagem apresentaram um aumento significativo na RP em relação aos solos que solos que passaram por 3 e 6 ciclos. Esse fato sugere que o aumento no número de ciclos possivelmente originou revestimentos e pontes de argila ao redor do esqueleto do solo, aumentando dessa forma, a RP do solo quando seco. Estes dados evidenciam que a gênese do caráter coeso não está unicamente associada a fatores químicos (“cimentação temporária” por compostos de baixa cristalinidade), mas também a fatores físicos.

REFERÊNCIAS

- ACHÁ PANOSO, L. **Latossolo Vermelho-Amarelo de “Tabuleiro” do Espírito Santo: Formação, características e classificação.** Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1976. 116p. (Tese de Livre Docência).
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, *Belém. Anais.* Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; MOTA, J.C.A. Física do Solo - Conceitos e Aplicações. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290p.
- ANJOS, L.H.C.; FRANZMEIER, D.P ; SCHULZE, D.G. Formation of soil with plinthite on a toposequence in Maranhão State, Brazil. **Geoderma**, v.64, p.257-279, 1995.
- AMADOR, E. da S. O Barreiras pleistocênico no Estado do Espírito Santo e seu relacionamento com depósitos de minerais pesados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1982, Salvador. **Anais.** Salvador : Sociedade Brasileira de Geologia, 1982. v.4, p.1462-1472.
- ARAUJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. e. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.
- ATTOU, F; BRUAND, A. Experimental study of fragipans formation in soils. Role of Clay dispersion and wetting-drying cycles. **Earth Planet.Sci.**, v.326; p. 545-552, 1998.
- BEZERRA, C.E.E. **GÊNESE E MICROMORFOLOGIA DE SOLOS COESOS EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA, TRAIRI – CE.** Fortaleza,CE, Universidade Federal do Ceará.2011. 55p (Monografia).
- BIGARELLA, J.J.; ANDRADE, G.O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). **Arquivos Inst. Ciênc. Terra**, v. 2, p.2-14, 1964.
- BIGARELLA, J.J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.47 (suplemento), p. 365-393, 1975.
- BIRCHALL, J. D. The essentiality of silicon in biology. **Chemical Society Reviews**, *Letchworth*, v. 24, n. 5, p. 351-357, 1995.

BLAKE, G.R., HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A, (ed). **Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods**. Madison : ASA, 1986. p.363-375.

BUENO, B.S.; VILAR, O.M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: EESC-USP, 1998. 131p.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. & SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences .In a coastal plain soil. **Soil Till. Res.**, v.43; p.205-217, 1997.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL: Folhas SC.24/25 Aracaju/Recife; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1973.856p.(Levantamento de Recursos Naturais,30).

CHADWICK, O.A.; HENDRICKS, D.M.; NETTLETON, W. D. Silica in duric soils: I.A deposicional model. **Soil Science Society of American Journal**, v.51, p. 975-982, 1987.

CHARTRES, C.J.; NORTON, L.D. Micromorphological and chemical properties of Australian soils with hardsetting and duric horizons. In: INTERNATIONAL WORKING.1994.

CHARTRES, C.J.; KIRBY, J.M. ;RAUPACH, M. Poorly ordered silica and aluminosilicates as temporary cementing agents in hard-setting soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 54, p.1060–1067, 1990.

CINTRA, F.L.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 Ciência do Solo**, v.33, p.1041-1051, 2009.

CINTRA, F. L D.; Distribuição do sistema radicular na presença de horizontes coesos. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.229-239.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos tabuleiros costeiros no distrito de irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 45-50. 2004.

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**. V.4, n.1 p.23-28, 2000.

CORNELIS J.T. *et al.* Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review. **Biogeosciences**. v.8, p. 89-112, 2011.

- CORRÊA, M.M. *et al.* 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.
- COSTA, J.B.S *et al.* Evolução cenozóica da região de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará. **Geociências**, v.12, p.373-396, 1993.
- DANTAS, J.R.A. **Mapa geológico do Estado de Pernambuco**. Recife, DNPM. 112p, 1980.
- DIETZEL M. Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.64,n.19, p.3275-3281,2000.
- DOUCET, F.J. *et al.* The formation of hydroxyaluminosilicates of geochemical and biological significance. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, V. 65, N. 15, p. 2461–2467, 2001
- DREES, L.R. *et al.* Silica in soils: quartz and disordered sílica polymorps.In: DIXON, J.B.; WEED, S.B (Ed). **Minerals in soil environments**. 2 ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989, v. 19, p. 913-974.
- DUARTE, M.N. *et al.* Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1237-1250, 2000.
- DUCAN, M.M; FRANZMEIER, D.P. Role of free silicon, aluminum, and iron in fragipan formation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 923-929, 1999.
- EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS. **Importância econômica dos tabuleiros costeiros nordestinos na agropecuária da região**. Publicado em 26/02/2002. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/index.php?idpagina=artigos&artigo=291&showaquisicao=true>>. Acesso em: 10 jan. 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos- CNPS. In: Reunião de Classificação, Correlação e Aplicação de Levantamentos de Solos, 4. 1994, Rio de Janeiro, R.J. **Anais**. Rio de Janeiro: EMPRAPA, SNLCS/SBCS, 1995. 157p .
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006, 306p.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. 412p.

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.

FLACH, K.W. *et al.* The micromorphology of silica cemented soil horizons in western North America. In: **Soil microscopy**. Rutherford (Ed.) Limestone Press, Ontario, 1974, p. 715-729.

FRANZMEIER, D.P.; CHARTRES, C.J. ; WOOD, J.T. **Hardsetting** soils in Southeast Australia: Landscape and profile processes. **Soil Science Society of American Journal**,v.60, p.1178-1187, 1996.

FRANZMEIER, D. P., NORTON, L. D., STEINHARDT, G. C. Fragipãs Formation in Loess of the Midwestern United States. In: SMECK N. E. e CIOLKOSZ, E. J. Fragipãs: Their occurrence, Classification, and Genesis. Wisconsin, USA. SSSA, 1989.p. 69-97.

FREITAS, E.D. **Gênese de solos de uma topossequência dos tabuleiros costeiros (CE): Ênfase na dinâmica do ferro**. Fortaleza,CE, Universidade Federal do Ceará. 2010. 60p (Monografia).

FONSECA, O.O.M. **Caracterização e classificação de solos Latossólicos e Podzólicos desenvolvidos nos sedimentos do terciário no litoral Brasileiro**. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986. 185p. (Tese de Mestrado).

GIAROLA, N.F.B. *et al.* Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: Estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.239-247, 2001.

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

GIAROLA N.F.B. *et al.* 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.

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

ILER, R. K. **The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties and Biochemistry of Silica**. Wiley Interscience, 1979.

JACOMINE, P. T. K. Distribuição geográfica, Características e Classificação dos Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros. In:Reunião Técnica sobre Solos dos Tabuleiros Costeiros.**Anais**.Embrapa/UFBA. 1996.p.13-26.

JACOMINE, P.K.T.; MONTENEGRO, J.O.; RIBEIRO, M.R. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado de Sergipe**. Recife: EMBRAPA, 1975. 506p. (Boletim Técnico, 36. Série Recursos de Solos, 6).

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.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Effects of iron and aluminium oxides on silica in solution in soils. **Nature**. V.198, p. 852-853, 1963.

KARATHANASIS, A.D. Mineral solubility relationships in Fragiuudalfts of Western Kentucky. **Soil Science Society of American Journal**, v. 51, p.474-481, 1987.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v5, n.1, p.17 – 40, 1997.

KHONKE, H. **Soil Physics**. New York, McGraw- Hill Book. 1968. 224p

KORNDÖRFER, G. H. *et al.* Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.2, p.101-106, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. 2. ed. Uberlândia: GPSi: ICIAG: UFU, 2004. 34 p. (UFU. ICIAG. Boletim técnico, 2).

KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A.; RAMOS, L.A. Available silicon tropical soils crop yield. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, 3., 2005, Uberlândia, **Anais**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005, p.77-84.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335p.

LIMA FILHO, O. F. Correlação entre métodos de extração de silício disponível para as Plantas, em solos sem manejo agrícola, em Mato Grosso do Sul. MS: Embrapa, 2011. 6p (**Circular Técnica**, 19)

LIMA, H.V. **Identificação e caracterização do comportamento físico de solos coesos no Estado do Ceará**. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2004. 85p. (Tese de Doutorado).

LIMA, H.V. *et al.* 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 . Estabilidade estrutural e argila dispersa em água nos solos com horizontes coesos no Estado do Ceará. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. **XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, v. 1, p. 1-1, 2005.

LIMA, H.V. *et al.* Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the State of Ceará (Brazil). **Geoderma**, v.132, p.416-426, 2006.

LIMA NETO, J.A. *et al.* 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.

McBURNETT, S.L; FRANZMEIER, D.P. Pedogenesis and cementation in calcareous till in Indiana. **Soil Science Society of America Journal**. V.61, p. 1098-1104, 1997.

McDONALD, R.C.; ISBELL, R.F.; SPEIGHT, J.G.; WALKER, J; HOPKINS, M.S. **Australian Soil and Land Survey Field Handbook**. 2.ed. Mellbourn: Inkata Press,1990.

McKEAGUE, J.A., CLINE, M.G. Silica in soil solutions II.The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances. **Canadian Journal Soil Science**. v.43, p.83- 95, 1963b.

McKEAGUE, J.A., DAY,J. H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil . **Canadian Journal Soil Science**, v. 46, p. 13-22, 1966.

MELO, 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, 2002a.

MESQUITA, M. B. F; Moraes, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Revista Ciência Rural**, v.34, n.3, mai-jun, 2004

MOREAU, A.M.S.S. **Gênese, mineralogia e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos dos Tabuleiros Costeiros do Sul da Bahia**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa 2001. 138p. (Tese de Doutorado).

MOREAU, A. M. S. S. *et al.* Caracterização de solos de duas topossequências em Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 1007-1019, 2006a.

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, 2006b.

MULLINS, C.E. Hardsetting soils. In: SUMNER, M.E., ed. **Handbook of soil science**. New York, CRC Press, p.G65-G87, 1999.

MULLINS, C.E.; YOUNG, I.M.; BENGHUH, A.G.; LEY, G.J. Hardsetting soils. **Soil Use and Management**, v.3, p. 79-83, 1987.

MULLINS, C.E *et al.* Hardsetting soils: behaviour, occurrence and management. **Advances in Soil Science**, v.11, p.37-108, 1990.

NASCIMENTO, G. B. do. **Caracterização dos solos e avaliação de propriedades edáficas em ambientes de tabuleiros costeiros da Região Norte Fluminense (RJ)**. 2001. 162 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, J.B de, JACOMINE, P.T.K., CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal, FUNEP, 1992.201p

OLIVEIRA, L.B. de; DANTAS, H. da S.; CAMPELO, A.B.; GALVÃO, S.J.; GOMES, I.F. Caracterização de adensamento no subsolo de uma área de tabuleiro da estação Experimental do Curado, Recife. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.3, p.207- 214, 1968.

OLIVEIRA, L.B. de; MELO, V. de. Caracterização físico-hídrica do solo. I. Unidade tapirema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.5, p.35-48, 1970.

PAIVA, A.Q. *et al.* Propriedades físico-hídricas de solos de uma topossequência de tabuleiro do estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.11, p.2295-2302, 2000.

PONTE, C.M.; RIBEIRO, L.P. Estudo da gênese de horizontes coesos em uma topossequência na área do Candéal . Escola de Agronomia da UFBA. Salvador: IGEO/ UFBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.239-247, 2001.

RESENDE, M. **Pedologia.Viçosa**. Imprensa Universitária. 1982. 100p.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p.223-231, 1973.

REZENDE, J. O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador: SEAGRI-SPA, 2000. 27,31p. (Série Estudos Agrícolas, 1).

RIBEIRO, L. P. Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação. Salvador, **SEPLANTEC, CADCT**, 1998. 99p

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 a. p.161-168.

RIBEIRO, L.P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001b. p.93-121.

RIBEIRO, L.P. Sílica em horizontes coesos de solos da Bahia. **Universitas**, n.38, p.59-80, 1986.

RODRIGUES, T.E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V.H.V., FONTES, L.E.F., FONTES MP.F Eds. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS/ UFV, 1996. P. 16 -60.

ROMERO, R.E. **Gênese e Degradação de Duripãs em uma Toposeqüência dos Tabuleiros Costeiros, Conde - Bahia**. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2003. 144p. (Tese de Doutorado).

RONCHI, B *et al.* Transport of Dissolved Si from Soil to River: A Conceptual Mechanistic Model. **Silicon**, v.5(1), p.115-133, 2013.

SACCONI, F. *et al.* Assessing the extraction and quantification of amorphous silica in soils of forest and grassland ecosystems. **European Journal of Soil Science**, v. 58, p.1446–1459, 2007.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional ASSISTAT para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.1, p. 71-78, 2002.

SOUZA, M.J.N. de. Contribuição ao estudo das unidades-morfoestruturais do estado do Ceará, **Revista de Geologia**, v 1, p 73-91, Edições Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1988.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; CALDAS, R.C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. Classes de coesão para solos de Tabuleiros Costeiros. . In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. 169-190p.

SOUZA, L.D. ; SOUZA, L.S. **Irrigação nos Tabuleiros Costeiros no Nordeste do Brasil. Portal do Agronegócio**. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br>> Acesso em: 06 out. 2008.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; CALDAS, R.C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais**. Aracaju, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p.169-190.

SOUZA, L.S. Aspectos sobre o uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. B. Inf. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.34-39, 1997.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; DOMINGUES, J.M.L. Evolução do delta do Rio Doce (ES) durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. In: SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 4., 1981, Rio de Janeiro. **Atas**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia Comissão Técnico- Científica do Quaternário, 1982. P.93-116.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A.C.R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais. **Geociências**, v.18, p.461-479,1999

SUGUIO, K *et al.* Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.15, n.4, p.273-286, 1985.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C. A. *et al.* Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.1023-1031, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos tabuleiros costeiros do Baixo Rio Doce e das Regiões Norte do Estado do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1984. 153p. (Relatório Convênio 545/81).

VIANA, J. H. M *et al.* Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 11-19, 2004

VIEIRA, J.M *et al.* Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. out-dez, 2012.

VILAS BOAS, G.S. Geologia da Bahia: texto explicativo. Salvador: Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1996. Cap.8, p. 165 – 167.

Anexos

Anexo I
Descrição Morfológica dos Perfis

PERFIL - P1**CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO ACINZENTADO Eutrófico abruptico.****DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- Ap** 0-13 cm, bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida) e cinzento (10YR 6/1, seca); areia; fraca pequena a médio blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana a gradual.
- A** 13-53 cm, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); areia; fraca média blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana a gradual.
- E1** 53-87 cm, bruno(10YR 5/3, úmida) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); areia-franca; fraca pequena a médio blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana a gradual.
- E2** 87-105 cm, bruno (10YR 5/3, úmida) e bruno-acinzentado (10YR 5/2, seca); areia-franca; fraca a moderada pequena a média blocos subangulares; macia a ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana a gradual.
- EB** 105-142 cm, bruno (10YR 5/3, úmida) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); areia-franca; moderada médio blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana a gradual.
- Bt1** 142-170 cm+, cinzento-brunado-claro(10YR 6/2, úmida) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca) mosqueado grande pouco proeminente de cor vermelho (2,5YR 5/6); franco-arenosa; maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana a gradual.

RAÍZES – Muitas finas e poucas grandes no horizonte Ap; muitas finas comuns média a fina e raras médias em A2; comuns média a grande e raras grandes em E; raras médias a grandes em BE.

OBSERVAÇÕES –

- 1 Presença de mosqueados a partir de 1,25 m.
- 2 Presença de massas de consistência seca dura a muito dura, passando a muito friável, não plástica e não pegajosa no horizonte EB.

PERFIL- P2

CLASSIFICAÇÃO – **ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso arênico**

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap** 0-16 cm, bruno-escuro (7,5YR 3/4, úmida) e bruno (7,5YR 5/3, seca); areia ; fraca média blocos subangulares; macia a ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- E** 16-54 cm, bruno (7,5YR 5/4, úmida) e bruno-claro (7,5YR 6/4, seca); areia ; fraca a moderada média blocos subangulares; macia a ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- EB** 54-92 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8, úmida) e amarelo-brunado (10YR 6/6, seca); areia- franca ; moderada médio a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- Bt₁** 92-125 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8, úmida) e amarelo-brunado (10YR 6/6, seca); franco-arenosa; maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Bt₂** 125-155 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8, úmida) e amarelo-brunado (10YR 6/8, seca); franco-arenosa; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Bt₃** 155-176 cm, bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida) e amarelo-brunado (10YR 6/8, seca); franco-arenosa; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- Bt₄** 176-197 cm+, bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida) e amarelo-brunado (7,5YR 6/8, seca); franco-arenosa; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Poucas finas no horizonte Ap; poucas finas e raras médias no horizonte E e EB; raras finas no horizonte Bt₁; raras finas e médias no horizonte Bt₂; raras finas no horizonte Bt₃ e Bt₄.

OBSERVAÇÕES – Presença de lamelas no horizonte Bt₂ de cor mais escura, consistência seca muito dura e consistência úmida friável.

PERFIL - P3

CLASSIFICAÇÃO – **ARGISSOLO ACINZENTADO Eutrófico abrupto**

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0 – 7 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmida), cinzento (7,5YR 5/1 seca); areia; granular; solta a macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- A2 7 – 18 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmida), cinzento (10YR 5/1 seca); areia; granular; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.
- AE 18 - 31 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmida) cinzento (10YR 6/1 seca); areia; fraca pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- EA 31 – 75 cm, bruno (10YR 5/3 úmida), cinzento-claro (10YR 7/2 seca); areia; fraca a moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e ondulada.
- E1 75 – 100 cm; bruno (10YR 5/3 úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/2 seca); areia; fraca a moderada media blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta e irregular.
- E2 100 – 125 cm, bruno claro-acinzentado (10YR 6/3 úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/2 seca); areia; moderada media blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição abrupta ondulada.
- Bt 125 – 156+ cm, cinzento-claro (10YR 7/2 úmida), branco (7,5YR 8/1 seca), mosqueado bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4), abundante, grande, distinto; franca arenosa; maciça com tendência a formação blocos subangulares; muito dura; friável, não plástica e não pegajosa.

Raízes – Comuns finas no horizonte A1, poucas finas no horizonte A2, poucas finas e raras média no horizonte AE, raras finas horizontes EA, E1, E2 e Bt. Observações: Corte de estrada com presença de cupim e formiga. Lamelas na base do horizonte EA e E1 e no topo do horizonte E2. Ocorrência de mosqueados no horizonte Bt.

PERFIL – P4

CLASSIFICAÇÃO – **ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO** Distrófico plíntico

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1 0 - 10cm; bruno-escuro (10YR 4/3, úmida), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); areia; fraca pequena a média blocos subangulares a granular; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- A2 10-26cm; bruno-escuro (10YR 4/3, úmida), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); areia; fraca média blocos subangulares; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.
- A3 26-41cm; bruno (10YR 5/3, úmida), cinzento-claro (10YR 7/2, seca); franco arenoso; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, friável; não plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- AB 41-61cm; bruno a bruno-escuro (10YR 4/3, úmida), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); franco-arenoso; maciça com tendência a formação de blocos; muito dura, muito friável; não plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- BA 61-82cm; bruno a bruno-escuro (10YR 4/3, úmida), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); franco argilo-arenoso; maciça com tendência a formação de blocos; muito a extremamente dura, muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada (74-93 cm).
- Btf1 82-100cm; bruno a bruno-escuro (10YR 4/3, úmido), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seco); argilosa; moderada grande blocos subangulares; muito a extremamente duro, muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição ondulada e irregular.

Btf2 100-157cm+; rosado (5YR 8/3, úmida), branco-rosado (5YR 8/2 seca), mosqueado abundante, grande e proeminente vermelho (10R 4/8, úmida) e amarelo (10YR 7/8, úmida); argilosa; maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente dura, friável com porções firmes; plástico e pegajoso;

Raízes – Muitas raízes finas e comuns médias no 1º e no 2º horizonte, comuns finas e raras médias e grossas no 3º horiz., poucas finas e raras médias no 4º horizonte e raras finas no 5º horizonte. Algumas raízes no 2º e no 5º horiz. apresentam diâmetro em torno de 2 cm e estão no sentido horizontal. Os demais horizontes (6º, 7º e 8º apresentam ausência de raízes, porém ocorre uma ou outra raiz média descendo pelas lamelas no sentido vertical. Entre o 3º e o 4º horizonte ocorrem algumas raízes médias, no sentido horizontal, com até 3 cm de diâmetro).

PERFIL – P5

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap** 0-17 cm, bruno-escuro (10YR 3/3, úmida) e bruno (10YR 5/3, seca); areia; fraca a moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente dura a macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada e clara.
- E** 17-47 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmida) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seca); areia; moderada média a pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- EB** 47-71 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8, úmida) e bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, seca); franco-arenosa; moderada média a pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- BE** 71-91 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmida) e amarelo (10YR 7/6, seca); franco-arenosa; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bt₁** 91-142 cm, bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, seca); franco-argilo-arenosa; maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente dura, friável a muito friável, plástica e pegajosa; transição plana a gradual.
- Bt₂** 142-170 cm+, bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida) e amarelo-avermelhado (7,5YR 7/8, seca); franco-argilo-arenosa; maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente dura, muito friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Comuns finas e poucas médias no horizonte Ap; comuns médias a grandes e poucas finas em E; poucas médias e raras finas em EB; raras grossas em BE; raras finas em Bt₁ e Bt₂.

OBSERVAÇÕES – Horizontes Bt₁ e Bt₂ apresentam caráter coeso.

PERFIL – P6

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico arênico DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0 - 9cm; bruno-acinzentado (10YR 5/2, úmida), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); areia; grãos simples; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- A2 9-20cm; cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, úmida), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); areia; grãos simples; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição gradual e plana.
- E1 20-56cm; cinzento-brunado-claro a bruno-claro acinzentado (10YR 6/2,5, úmida), cinzento-claro (10YR 7/2, seca); areia; grãos simples; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e ondulada.
- E2 56 - 76cm; cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, úmida), cinzento-claro (10YR 7/2, seca); areia franca; grãos simples, fraca, pequena blocos subangulares; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- EB 76 - 97cm; cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, úmida), cinzento-claro (10YR 7/2, seca); areia franca; grãos simples, fraca, pequena blocos subangulares; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição abrupta e ondulada.
- Bt1 97 - 127cm; cinzento-claro (10YR 7/2, úmida), cinzento-claro (10YR 7/1, seca); franco argilo-arenosa; maciça com tendência a formação de blocos; extremamente dura, friável a firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e ondulada.
- Bt2 132 - 180cm +; cinzento-brunado-claro a cinzento-claro (10YR 6,5/2, úmida), cinzento-claro (10YR 7/1,5 seca); franco argilo-arenosa; maciça com tendência a formação de blocos; muito duro, friável a firme com algumas partes muito firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Raízes – Muitas raízes finas e médias no horizonte Ap, poucas raízes finas e grossas no A2, raras finas no E1 e EB, raras médias e finas no E2, raras médias no Bt1 e poucas finas no Bt2. As raízes no horizonte E2 estão no sentido horizontal.

PERFIL - P7**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 Ap_1 ; comuns finas em Ap_2 ; poucas médias em E e BE; raras finas, médias e grossas em BE e raras médias em Bt_1, Bt_2, Bt_3 e Bt_4

OBSERVAÇÕES – Horizontes Bt_2 e Bt_3 apresentam o carácter coeso

PERFIL – P8

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso plíntico

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A1** 0 - 12cm; bruno-acinzentado muito escuro (2,5Y 3/2, úmida), bruno (10YR 5/3, seca); areia; fraca pequena a média blocos subangulares a granular; macia, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- A2** 12-29cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/6, úmida), cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seca); areia a areia franca; moderada média blocos subangulares; dura, muito friável; não plástica e não pegajosa; transição clara e plana.
- AB** 29-46cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida), cinzento-claro (10YR 7/2, seca); areia franca; fraca média a grande blocos subangulares; macia, muito friável; não plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e ondulada (46-51 cm).
- BA** 46-57cm; bruno-amarelado-claro (10YR 6/4, úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/3, seca), mosqueado comum, grande e proeminente amarelo (2,5Y 7/6, úmida); franco argilo-arenoso; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, muito friável; ligeiramente plástica e pegajosa; transição clara e ondulada (57-64 cm).
- Bt1** 57-92cm; amarelo claro-acinzentado (2,5Y 7/4, úmida), amarelo claro-acinzentado (2,5Y 8/4, seca); argila; maciça tendendo a formação de blocos; extremamente dura, friável; plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Bt2** 92-121cm; amarelo claro-acinzentado (2,5Y 7/4, úmida), amarelo claro-acinzentado (2,5Y 8/4, seca), mosqueado comum, grande e proeminente vermelho (10R 4/8, úmida) e amarelo-brunado (10YR 6/8, úmida); argilosa; forte grande blocos subangulares; extremamente dura, firme; plástica e pegajosa; transição gradual e plana.
- Btf** 121-167cm+; amarelo claro-acinzentado (2,5Y 7/4, úmida), amarelo claro-acinzentado (2,5Y 8/4, seca), mosqueado comum, grande e proeminente vermelho-escuro (10R 3/6, úmida), vermelho (10R 4/8, úmida) e amarelo (10YR 7/8, úmida); argila; moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável; plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

Raízes – Muitas raízes finas e raras médias a grossas no 1º horizonte, poucas finas e raras médias a grossas no 2º horiz., poucas finas e raras médias 3º horiz., raras médias e finas no 4º, raras finas no 5º e raras médias ou finas no 6º. As raízes de tamanho médio no horizonte 3º e 4º horizontes estão no sentido horizontal já as finas no 3º horizonte tem sentido vertical. Ocorrendo ainda, raízes mortas no 2º horiz. (3 a 4 cm) no sentido horizontal, como também, presença de batata da cipaúba com 2 cm de diâmetro.

Observações: 1) Lamelas escuras com até 2 cm de largura, passando pelo 5º e 6º horizonte (sentido vertical).

PERFIL – P9

CLASSIFICAÇÃO - **ARGISSOLO VERMELHO - AMARELO Eutrófico típico.**

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap** 0-8cm; bruno muito escuro (7,5YR 3/2 úmida), bruno(7,5YR 5/2 seca); fraca média a grande granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE** 8-15 cm; bruno muito escuro(7,5YR 3/3 úmida), bruno (7,5YR 5/3 seca); fraca média a grande granular e fraca média blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- E** 15-32 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/3 úmida), bruno-claro(7,5YR 6/3 seca); fraca a moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- EB** 32-62 cm; bruno-avermelhado (5YR 5/4 úmida), bruno -avermelhado - claro (5YR 6/4 seca); moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- BE** 62-96 cm; vermelho- amarelado(5YR 5/6 úmida), amarelo-avermelhado (5YR 6/6 seca); moderada a forte média a grande blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bt₁** 96- 145cm; vermelho- amarelado (5YR 5/8 úmida), amarelo-avermelhado (5 YR 6/8 seca); maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente duro, friável a firme, plástica e pegajosa; transição irregular e gradual.
- Bt₂** 145-190 cm+; vermelho- amarelado (5YR 5/8 úmida), amarelo-avermelhado (5YR 6/8 seca); moderada média blocos subangulares; muito duro a extremamente duro, friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas e médias no horizonte Ap; comuns finas em AE; poucas finas em E; raras finas em EB e BE.

OBSERVAÇÕES –

- 1 Horizonte Bt_1 apresenta caráter coeso.
- 2 Horizontes Bt_1 e Bt_2 apresentam mosqueados médios comuns difusos.

PERFIL – P10**CLASSIFICAÇÃO- ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico****DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A1 0 – 18 cm, cinzento-escuro (10YR 4/1 úmida), cinzento (10YR 6/1 seca); areia; macia, muito friável, não plástico não pegajosa; transição clara e plana.
- A2 18 – 35 cm, (30 – 40 cm), bruno (10YR 5/3 úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/3 seca); areia; macia, muito friável, não plástica não pegajosa; transição gradual ondulada.
- AE 35 – 77 cm, (72 – 87 cm), bruno-amarelado (10YR 5/4 úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4 seca); areia; ligeiramente dura, muito friável, não plástica não pegajosa; transição gradual ondulada.
- E 77 – 102 cm, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4 úmida), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/2 seca); areia; ligeiramente dura, muito friável, não plástica não pegajosa; transição gradual e plana.
- EB 102 – 125 cm, amarelo-brunado (10YR 6/6 úmida), amarelo (10YR 8/8 seca); areia franca; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- BE 125 – 152 cm, amarelo (10YR 7/8 úmida), amarelo (10YR 8/6 seca); franco arenoso a areia franca; macia, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
- Bt1 152 – 174 cm, amarelo (10YR 7/8 úmida) amarelo (10YR 8/6 seca); franco arenoso; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- Bt2 174 – 235+ cm, amarelo (10YR 7/8 úmida), amarelo (10YR 8/6 seca); franco arenosa; ligeiramente dura a dura, muito friável a friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa.

Raízes – Comuns finas no horizonte A1, poucas finas e raras médias no horizonte A2, poucas finas, raras médias e grossas no horizonte AE, raras muito finas nos horizontes E, EB e BE, raras e finas nos horizontes Bt1 e Bt2.

Observação – Presença de lamelas nos horizontes E e EB com topografia irregular e espessura de 5 mm.

Anexo II
Fotos dos Perfis

Foto Perfil P1 - Argissolo Acinzentado Eutrófico abrupto



Foto Perfil P2 - Argissolo Amarelo Distrocoeso arênico



Foto Perfil P3 - Argissolo Acinzentado Eutrófico abrupto



Foto Perfil P4 - Argissolo Vermelho- Amarelo Distrófico plíntico



Foto Perfil P5 - Argissolo Amarelo Distrocoeso típico



Foto Perfil P6 - Argissolo Acinzentado distrocoeso arênico



Foto Perfil P7 - Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico



Foto Perfil P8 - Argissolo Amarelo Distrocoeso plíntico



Foto Perfil P9 - Argissolo Vermelho- Amarelo Eutrófico típico



Foto Perfil P10 - Argissolo Amarelo Eutrófico típico



Anexo III

Dados Analíticos

Os dados das características químicas e físicas apresentados abaixo são oriundos de trabalhos previamente realizados nos Tabuleiros Costeiros, conforme especificado nas Tabelas 1 e 2 que consta no material e métodos.

Tabela 1 - Características químicas dos solos estudados

Hor	Prof	Cátions trocáveis						SB ¹	T ²	V ³
		Ca	Mg	K	Na	Al	H			
cm		-----cmol _c .kg ⁻¹ -----						%		
Perfil-1 ARGISSOLO ACINZENTADO Eutrófico abrupto										
Ap1	0 - 13	1,6	1,4	0,11	0,13	0,4	1,8	3,2	5,4	60
Ap2	13 - 53	0,8	1	0,04	0,18	0,2	0,65	2	2,9	70
E	53- 87	1	0,8	0,04	0,16	0,2	0,55	2	2,8	73
EB	87 - 105	0,8	0,4	0,04	0,19	0,6	0,3	1,4	2,3	61
BE	105 - 142	0,8	0	0,06	0,16	0,4	0,5	1	1,9	53
Bt1	142 - 170+	0,8	0,6	0,09	0,22	0,6	0,85	1,7	3,2	54
Perfil-2 ARGISSOLO AMARELO Distrocoesoso arênico										
Ap	0 - 16	1,2	0,8	0,05	0,02	0,3	1,2	2,1	3,6	58
E	16 - 54	0,8	0	0,01	0	0,2	0,9	0,8	1,9	42
EB	54 - 92	0,8	0	0,05	0,05	0,1	1,1	0,9	2,1	43
Bt1	92 - 125	0,6	0,4	0,07	0,01	0,2	1	1,1	2,3	47
Bt2	125 - 155	0,8	0,2	0,09	0,05	0,3	1,1	1,1	2,5	45
Bt3	155 - 176	1	0,4	0,09	0,07	0,3	1,4	1,6	3,3	48
Bt4	176 - 197+	1	0,2	0,08	0,05	0,3	1	1,3	2,6	51
Perfil-3 ARGISSOLO ACINZENTADO Eutrófico abrupto										
A1	0-7	2,4	3,6	0,1	0,12	0,2	1,2	6,2	7,6	82
A2	7-31	1,6	2,2	0,12	0,12	0,2	1,2	4	5,4	74
AE	18-31	1,2	2	0,09	0,11	0,2	1	3,4	4,6	74
EA	31-75	1,6	1,2	0,06	0,08	0,2	1,2	2,9	4,3	68
E1	75-100	2	2	0,07	0,14	0,3	1,3	4,2	5,8	72
E2	100-125	2	0,2	0,05	0,12	0,4	1,5	2,4	4,3	56
Bt	125-156 +	2	2	0,07	0,1	0,4	2,5	4,2	7,1	59
Perfil-4 ARGISSOLO VERMELHO - AMARELO Distrófico plintico										
A1	0-10	1	2	0,03	0,3	0,2	2,6	3,33	6,13	54
A2	10-26	1,2	2	0,02	0,3	0,6	2	3,52	6,12	58
A3	26-41	1,4	1,8	0,03	0,29	0,8	2,8	3,51	7,11	49
AB	41-61	1,4	1,8	0,03	0,47	1	3	3,7	7,7	48
BA	61-82	0,8	2,4	0,03	0,33	1	2,8	3,56	7,36	48
Btf1	82-100	2	1	0,04	0,27	1	3	3,31	7,31	45
Btf2	100-157+	1,6	1	0,03	0,3	1	2	2,93	5,93	49

1 - S: Soma de Bases; 2- T: CTC total; 3 - V%: Saturação por Bases

Tabela 1 (continuação)

Hor	Prof	Cátions trocáveis						SB ¹	T ²	V ³
		Ca	Mg	K	Na	Al	H			
	cm	-----cmol _c .kg ⁻¹ -----								%
Perfil-5 ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico										
Ap	0 - 17	1,4	1,6	0,11	0,04	0,1	1,6	3,2	4,9	65
E	17 - 47	0,8	1,2	0,13	0,03	0,2	1	2,2	3,4	64
EB	47 - 71	0,6	0,8	0,09	0,05	0,2	1,4	1,5	3,1	49
BE	71 - 91	0,6	0,4	0,25	0,04	0,3	1,5	1,3	3,1	42
Bt1	91 - 142	0,8	1,2	0,15	0,05	0,8	1,6	2,2	4,6	48
Bt2	142 - 170+	1,2	0,8	0,12	0,04	0,7	1,4	2,2	4,3	51
Perfil-6 ARGISSOLO ACINZENTADO Distrocoeso arênico**										
Ap	0-9	–	–	–	–	–	–	3,9	8,9	44
A2	9-20	–	–	–	–	–	–	3,7	15,7	24
E1	20-56	–	–	–	–	–	–	14,0	26,0	54
E2	56-76	–	–	–	–	–	–	5,6	9,6	58
EB	76-97	–	–	–	–	–	–	11,2	25,2	44
Bt1	97-127	–	–	–	–	–	–	6,2	21,2	29
Bt2	132-180+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Perfil-7 ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico										
Ap1	0-10	1,6	2,2	0,17	0,37	0,6	1,6	4,35	6,55	66
Ap2	10-17	1	2,4	0,11	0,43	0,6	1,8	3,93	6,33	62
E	17-39	1,2	3	0,07	0,38	0,6	1,8	4,65	7,05	66
BE	39-63	1	2	0,05	0,37	0,8	1,4	3,43	5,63	61
Bt1	63-79	0,6	2,6	0,05	0,38	0,9	1,4	3,63	5,93	61
Bt2	79-112	1	3	0,04	0,34	0,7	2	4,38	7,08	62
Bt3	112-152	1,4	2	0,05	0,43	0,3	2	3,88	6,18	63
Bt4	152-187+	0,8	2,8	0,06	0,37	0,3	2,6	4,02	6,92	58
Perfil-8 ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso plíntico										
A1	0-12	2,4	1	0,08	0,29	0,2	2,6	3,76	6,56	57
A2	12-29	1,8	1	0,04	0,30	0,8	2,4	3,14	6,34	50
AB	29-46	1,8	1	0,04	0,34	0,6	2,4	3,17	6,17	51
BA	46-57	1	1,6	0,06	0,34	0,8	2,6	3,00	6,40	47
Bt1	57-92	2	1,2	0,07	0,30	1,5	2,4	3,58	7,48	48
Bt2	92-121	1,8	1,6	0,08	0,27	1,5	2,4	3,75	7,65	49
Bt _f	121-167+	1,6	1,6	0,08	0,30	1,3	2,4	3,58	7,28	49

1 - S: Soma de Bases; 2- T: CTC total; 3 - V%: Saturação por Bases

** Teve-se acesso apenas aos dados apresentados para este perfil

Tabela 1(continuação)

Hor	Prof	Cátions trocáveis						SB ¹	T ²	V ³
		Ca	Mg	K	Na	Al	H			
	cm	-----cmol _c .kg ⁻¹ -----								%
Perfil-9 ARGISSOLO VERMELHO- AMARELO Eutrófico típico										
Ap1	0-8	3	4,4	0,36	0,37	0,2	2	8,13	10,33	79
AE	0-15	2	3,8	0,21	0,37	0,2	1,2	6,39	7,79	82
E	15-32	1,4	2,8	0,24	0,36	0,4	1,8	4,79	6,99	69
EB	32-62	1,4	3,2	0,30	0,43	0,4	1,8	5,33	7,53	71
BE	62-96	2,2	2	0,39	0,41	0,6	1,5	5,00	7,10	70
Bt1	96-145	1,6	3,8	0,40	0,43	0,6	1,6	6,23	8,43	74
Bt2	145-190	1,8	3	0,17	0,46	0,4	1,6	5,43	7,43	73
Perfil-10 ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico										
A1	0-18	2	1	0,07	0,08	0,4	1,4	3,1	4,9	64
A2	18-35	1,2	0,8	0,09	0,11	0,2	1,4	2,2	3,8	58
AE	35-77	1,2	0,8	0,09	0,09	0,4	0,7	2,2	3,3	66
E	77-102	0,6	0,8	0,09	0,12	0,4	1,5	1,6	3,5	46
EB	102-125	0,4	1,2	0,05	0,09	0,6	1,5	1,7	3,8	45
BE	125-152	0,8	1	0,09	0,1	0,4	1,4	2	3,8	53
Bt1	152-174	1,2	0,8	0,13	0,09	0,2	1,4	2,2	3,8	58
Bt2	174-235	0,8	0,2	0,07	0,1	0,8	1,2	1,2	3,2	37

1 - S: Soma de Bases; 2- T: CTC total; 3 - V%: Saturação por Bases

Tabela 2 – Características físicas dos solos estudados

Hor.	Prof.	Areia	Silte	Argila
	cm		g kg ⁻¹	
Perfil P1				
Ap1	0 - 13	919	55	26
Ap2	13 - 53	897	58	45
E	53- 87	888	63	49
EB	87 - 105	913	50	37
BE	105 - 142	872	65	63
Bt1	142 - 170+	794	76	130
Perfil P2				
Ap	0 - 16	902	26	72
E	16 - 54	907	46	47
EB	54 - 92	884	34	82
Bt1	92 - 125	789	65	146
Bt2	125 - 155	742	74	184
Bt3	155 - 176	734	84	182
Bt4	176 - 197+	732	82	186
Perfil P3				
A1	0-7	916	50	34
A2	7-18	910	37	53
AE	18-31	921	24	54
EA	31-75	918	27	54
E1	75-100	915	25	60
E2	100-125	900	34	67
Bt	125-156 +	728	52	221
Perfil P4				
A1	0-10	910	40	50
A2	10-26	850	60	90
A3	26-41	850	50	100
AB	41-61	790	60	150
BA	61-82	693	57	250
Btf1	82-100	420	90	490
Btf2	100-157+	440	80	480

Tabela 2 (continuação)

Hor	Prof	Areia	Silte	Argila
	cm		g kg ⁻¹	
Perfil P5				
Ap	0 - 17	913	47	40
E	17 - 47	874	47	79
EB	47 - 71	804	70	126
BE	71 - 91	740	59	201
Bt1	91 - 142	614	130	256
Bt2	142 - 170+	607	85	308
Perfil P6				
Ap	0-9	940	20	40
A2	9-20	920	20	60
E1	20-56	900	20	80
E2	56-76	840	60	100
EB	76-97	670	40	290
Bt1	97-127	690	20	290
Perfil P7				
Ap1	0-10	861	94	45
Ap2	10-17	788	138	74
E	17-39	648	164	188
BE	39-63	672	78	250
Bt1	63-79	580	103	317
Bt2	79-112	596	66	338
Bt3	112-152	536	167	297
Bt4	152-187+	515	219	266
Perfil P8				
A1	0-12	850	100	50
A2	12-29	880	70	50
AB	29-46	790	80	130
BA	46-57	710	60	230
Bt1	57-92	540	70	390
Bt2	92-121	550	70	380
Btf	121-167+	590	80	330

Tabela 2 (continuação)

Hor	Prof	Areia	Silte	Argila
	cm		g kg ⁻¹	
Perfil P9				
Ap1	0-8	826	109	65
AE	0-15	823	91	87
E	15-32	810	66	124
EB	32-62	706	78	216
BE	62-96	614	94	292
Bt1	96-145	459	101	440
Bt2	145-190+	479	108	413
Perfil P10				
A1	0-18	913	29	58
A2	18-35	921	8	71
AE	35-77	851	40	110
E	77-102	854	24	122
EB	102-125	832	28	140
BE	125-152	790	35	176
Bt1	152-174	770	30	200
Bt2	174-235+	738	52	210