

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

RODRIGO DE OLIVEIRA GIRÃO

PEDOGÊNESE EM UM AMBIENTE CÁRSTICO NO CLIMA SEMIÁRIDO EM  
LIMOEIRO DO NORTE – CEARÁ

FORTALEZA

2011

RODRIGO DE OLIVEIRA GIRÃO

PEDOGÊNESE EM UM AMBIENTE CÁRSTICO NO CLIMA SEMIÁRIDO EM  
LIMOEIRO DO NORTE – CEARÁ

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal do Ceará - UFC, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero

FORTALEZA

2011

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

- 
- G432r Girão, Rodrigo de Oliveira  
Pedogênese em um ambiente cárstico no clima semiárido em Limoeiro do Norte - Ceará / Rodrigo de Oliveira Girão – 2011.  
54 f. : il., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, 2011.  
Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.  
Orientação: Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero.  
Coorientação: Prof. Dr. Tiago Osório Ferreira.
1. Nódulos de ferro. 2. Solos calcários. 3. Chapada do Apodi – Ceará. I. Título.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará – UFC que durante a graduação e agora no mestrado me proporcionou tantas oportunidades que ficarão guardadas na memória da experiência acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro.

Aos meus pais que me ajudaram e incentivaram por toda a minha vida.

À minha família que sempre me apoiou.

Ao Prof. Ricardo pela orientação e amizade, na graduação e pós-graduação.

Aos prof. Tiago, Teógenes e Gustavo pela atenção e contribuições nos trabalhos acadêmicos.

Ao Prof. César Veríssimo pela amizade e contribuição no trabalho.

A minha esposa Ana Leônia por tudo que nós passamos e ainda vamos passar.

A todos os amigos que conheci durante o tempo que fiquei no Departamento de Ciências do Solo, em especial aos colegas Antônio José, Tavares, Hamilson, Valderez, Vilalba, Edilson, Emanuel, Juliana, Gabriel, Gislaine, André, Camila, Leilson, Rafinha, Carol, Priscilla, Felipe, Daniel, Gislaine e Leo Jacson que muito contribuíram para mim e para o trabalho.

“O pano da pedra é muito desigual”  
*Pitiuba*

## RESUMO

Os solos formados sobre rochas calcárias no clima semiárido da Chapada do Apodi apresentam características distintas da grande maioria do restante do estado do Ceará. Nos solos da Chapada, os fatores de formação são homogêneos, ou seja, esta formação geomorfológica soergueu e o tempo de exposição do material de origem de diferentes solos é o mesmo, o relevo é plano, a vegetação é caatinga em toda a extensão e a distância entre perfis diferentes é pequena para sugerir uma possível variação no clima. Desta maneira, suspeita-se que as fortes variações nas classes de solos estão intimamente ligadas a variações litológicas. A Chapada do Apodi na sua porção cearense abrange quatro municípios, Quixeré, Tabuleiro do Norte, Alto Santo e Limoeiro do Norte, sendo neste último o local da pesquisa. A constituição litológica é predominantemente carbonática, com diferentes fácies. No local foi definido um transecto de aproximadamente 300 m, onde foram feitas observações por tradagens, que permitiram selecionar os locais dos cinco perfis. Foram feitas as descrições morfológicas dos perfis e coletas das amostras para análises físicas: granulométrica, densidade das partículas e do solo, determinação da fração cascalho, argila dispersa em água quantidade de nódulos, sendo que estes foram divididos em cinco classes, C1, C2, C3, C4 e C5, com os seguintes diâmetros 0,053 a 0,25 mm, 0,25 a 2 mm, 2 a 4,76 mm, 4,76 a 7,9 mm, 7,9 a 19,1 mm, respectivamente. As análises químicas foram para determinar capacidade de troca de cátions - CTC, fósforo, carbono orgânico total - COT, pH em água e KCl, dissoluções seletivas do Fe em Ditionito Citrato Bicarbonato de Sódio - DCB, Oxalato de Amônio e Ataque Sulfúrico para determinação dos teores de totais de Fe, Al e Si na fração argila, além de determinar os índices moleculares Ki e Kr. Foram encontrados três perfis de Argissolos e dois Cambissolos. Em todos estes perfis foi encontrada significativa quantidade de nódulos, que diminuíam de diâmetro, porém aumentavam sua resistência mecânica à medida que se aproximavam da superfície do solo, onde tinha um aspecto semelhante a “chumbo de caça”. Os dados obtidos mostraram variações intra e inter perfis, tais como o teor de cascalho, que em um dos perfis de Cambissolos caiu da ordem de  $780 \text{ g.kg}^{-1}$ , para  $30 \text{ g.kg}^{-1}$  fato corroborado pelos teores de Titânio, que sugerem que tais variações se devam a diferentes origens litogênicas. Isso nos permite concluir que dentre os fatores de formação destes solos, o material de origem imprime suas características de forma que isso se reflete nas diferentes classes de solos distanciados de poucos metros entre perfis e mesmo em poucos centímetros entre horizontes de solos.

**Palavras-chave:** Nódulos de ferro. Solos Calcários. Chapada do Apodi.

## ABSTRACT

The soils formed on limestone rocks in semiarid climate of the Apodi Plateau show distinct characteristics of the rest of the state of Ceará. In Apodi Plateau soils factors of soil formation are homogeneous, what suggests that this geomorphological formation sat up so the exposure time of the parent material of different soils is the same, the relief is homogeneous, the vegetation is caatinga across the Plateau and the distance between different profiles is small to suggest a possible change in climate, so it is supposed that the strong variations in soil classes are closely related to lithological variations. The Apodi Plateau in its Cearense portion covers four municipalities: Quixeré, Tabuleiro do Norte, Alto Santo and Limoeiro do Norte, the latter being the search location. The lithological constitution is predominantly limestone with different facies. It was established a transect with approximately 300 m, where observations were made by auger evaluations that allowed to select the locations of the five profiles. Morphological descriptions of the profiles were made and samples collection for physical analysis: granulometry, particle and soil density, determination of the gravel fraction, clay dispersed in water, quantity of nodules, and these were divided into five classes C1, C2, C3, C4 and C5, with diameter from 0.053 to 0.25 mm, 0.25 to 2 mm, 2 to 4.76 mm, 4.76 to 7.9 mm, 7.9 to 19.1 mm, respectively. Chemical analysis were to determine cation exchange capacity - CEC, phosphorus, total organic carbon - TOC, pH in water and KCl, selective dissolution of Fe in Citrate Dithionite Bicarbonate - DCB, Ammonium Oxalate and Sulfuric acid to determine the levels of total Fe, Al and Si in the clay fraction, and determine the molecular indices Ki and Kr. Three profiles were classified as Argissolos and two as Cambissolos. All the profiles showed significative quantity of nodules, which decreased in diameter yet increasing mechanical resistance as they neared the surface, where it had an aspect similar to "chumbo de caça." The data showed variations within and between profiles, such as the amount of gravel, which in one of the profiles of Cambissolos fell in the order of  $780 \text{ g.kg}^{-1}$  for  $30 \text{ g.kg}^{-1}$ , a fact corroborated by the levels of Titanium, which indicate that such variations are due to different lithogenic origins. This allows us to conclude that among the factors of soil formation, parent material prints its characteristics as reflected in the different soil classes within a few meters between soil profiles and even a few inches of soil horizons.

**Keywords:** Iron nodules. limestone soils. The Apodi Plateau.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 Geologia e geomorfologia da Bacia Potiguar.....	13
2.2 Grupo Apodi.....	15
2.2.1 Formação Açú.....	16
2.2.2 Formação Jandaíra.....	17
2.3 Solos desenvolvidos de rochas calcárias.....	18
2.4 Solos da Chapada do Apodi .....	20
2.5 Óxidos de Ferro.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Localização e Descrição da área de estudo .....	23
3.2 Trabalho de campo.....	23
3.3 Trabalho de laboratório .....	23
3.3.1 Análises físicas .....	23
3.3.1.1 Fração cascalho .....	24
3.3.1.2 Densidade do solo.....	24
3.3.1.3 Densidade das partículas.....	24
3.3.1.4 Nódulos de ferro .....	25
3.3.1.5 Análise granulométrica.....	25
3.3.1.6 Argila dispersa em água.....	25
3.3.1.7 Densidade dos Nódulos de Ferro .....	25
3.3.2 Análises químicas .....	26
3.3.2.1 pH .....	26
3.3.2.2 Complexo sortivo .....	26
3.3.2.3 Carbono orgânico total (COT).....	27
3.3.2.4 Ferro amorfo (extraído por oxalato de amônio) .....	27
3.3.2.5 Ferro cristalino (extraído com Ditionito-Citrato-Bicarbonato de Sódio - DCB) ..	27



3.3.2.6	<i>Ataque sulfúrico</i> .....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1	Atributos Morfológicos .....	29
4.2	Atributos Químicos e Físicos .....	32
4.3	Ataque sulfúrico .....	38
4.4	Dissolução Seletiva .....	38
5	CONCLUSÕES .....	43
	REFERÊNCIAS .....	44
	APÊNDICE .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

Alguns dos solos desenvolvidos em ambientes cársticos, sob clima semiárido, apresentam características semelhantes à Terra Rossa, que são solos comumente encontrados nas áreas de rochas calcárias da região Mediterrânea, que se caracterizam principalmente por elevada quantidade de argila e cores avermelhadas. Estes solos não possuem um modelo pedogenético definido, sendo objeto de muitas controvérsias. Na tentativa de elucidar essa formação, algumas teorias foram propostas, tais como a dos resíduos insolúveis, onde é proposto que, os solos dessas áreas seriam formados pelo processo de dissolução das rochas calcárias e consequente acúmulo dos materiais insolúveis, contidos nestas rochas. Contribuições eólicas é outra teoria, onde sugere que áreas próximas, tais como dunas e desertos, seriam doadores de materiais finos, que seriam transportados pelos ventos, e sedimentados sobre as áreas calcárias, favorecendo desta maneira a evolução dos perfis de solo, além da teoria da iluviação de argila, com consequente formação de um gradiente textural, outra seria a descontinuidade litológica, onde as diferentes feições dos horizontes seriam reflexo das variações nas fácies do calcário e por fim uma combinação de todas estas teorias.

A Chapada do Apodi, localizada entre os Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte, é caracterizada por clima semiárido, relevo plano e tem o calcário da Formação Jandaíra como o principal material de origem de seus solos. Neste local, o levantamento pedológico em nível de reconhecimento-exploratório, concluído no ano de 1973, apontou a classe dos Cambissolos como sendo a predominante. No entanto, outras classes de solo têm sido observadas em trabalhos feitos em escalas maiores. Em alguns locais, estas variações são significativas em poucos metros de distância entre perfis analisados.

O ambiente cárstico, caracterizado pelo seu relevo de superfície com dolinas e caneluras de dissolução e na região de formação destes solos, principalmente pelas suas características subsuperficiais, onde fraturas e cavernas atuam alterando significativamente a dinâmica hidrológica, o que ocasiona um desenvolvimento de solo distinto se comparado a rochas cristalinas, que são as mais comuns na maior parte do estado cearense. Desta forma, estudos que elucidem os mecanismos de gênese destes solos, tornam-se essenciais, como material básico para o desenvolvimento de outras pesquisas nas áreas agrárias, tais como irrigação, fertilidade e manejo dos solos, além de subsidiar decisões nas ciências geotécnicas e

ambientais, o que resultará em um melhor aproveitamento deste recurso natural não renovável.

Desta forma acredita-se que os solos da Chapada do Apodi têm como material de origem uma rocha calcária não homogênea, e isso é refletido nas variações observadas.

Por meio de análises morfológicas, químicas, físicas, dissoluções seletivas e ataque sulfúrico em cinco perfis de solo, buscou-se avaliar as influências litológicas na pedogênese destes.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Geologia e geomorfologia da Bacia Potiguar

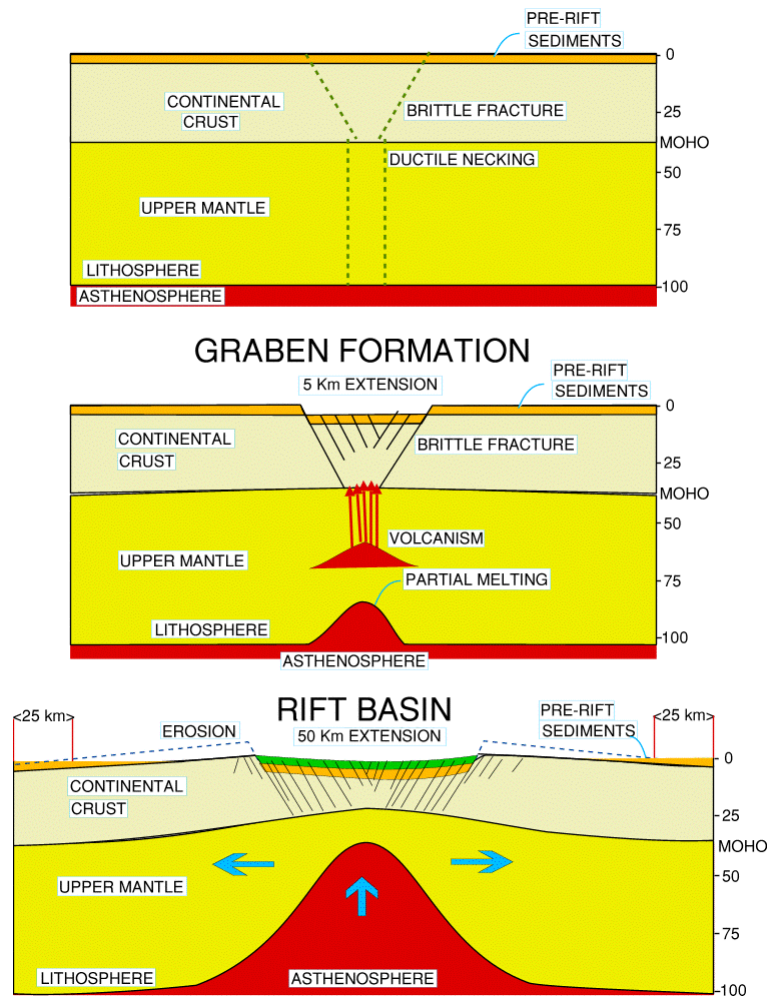
A Chapada do Apodi está inserida na Bacia Potiguar e faz parte do Sistema de Riftes do Nordeste Brasileiro (CALDAS, 1998), a qual apresenta uma área total estimada em 60.000 km<sup>2</sup>, dos quais 21.000 km<sup>2</sup> estão na parte emersa. Sua origem está ligada à formação do Oceano Atlântico Sul (PERÉZ *et al.*, 2003).

O Sistema de Riftes do Nordeste Brasileiro é composto de várias bacias sedimentares mesozóicas. Estas bacias tiveram a mesma evolução estratigráfica e sedimentológica durante 145 a 65 Ma, aproximadamente. O padrão evolutivo geral dessas bacias é o resultado do estiramento da litosfera associado à subsidência em dois estágios: rifteamento mecânico (Figura 1) seguido de contração térmica (CASSAB, 2003).

A 145 Ma, aproximadamente, ocorreram as primeiras manifestações da separação América do Sul-África (Figura 2) com movimentação divergente leste-oeste, causando uma fratura com milhares de quilômetros indo do sul do continente em direção ao norte (CALDAS, 1998). Neste momento, havia um movimento divergente maior na porção sul causando uma rotação horária da América do Sul em relação à África, e no Neocomiano toda a província da Borborema sofreu uma compressão leste-oeste e uma distensão norte-sul (CALDAS, 1998).

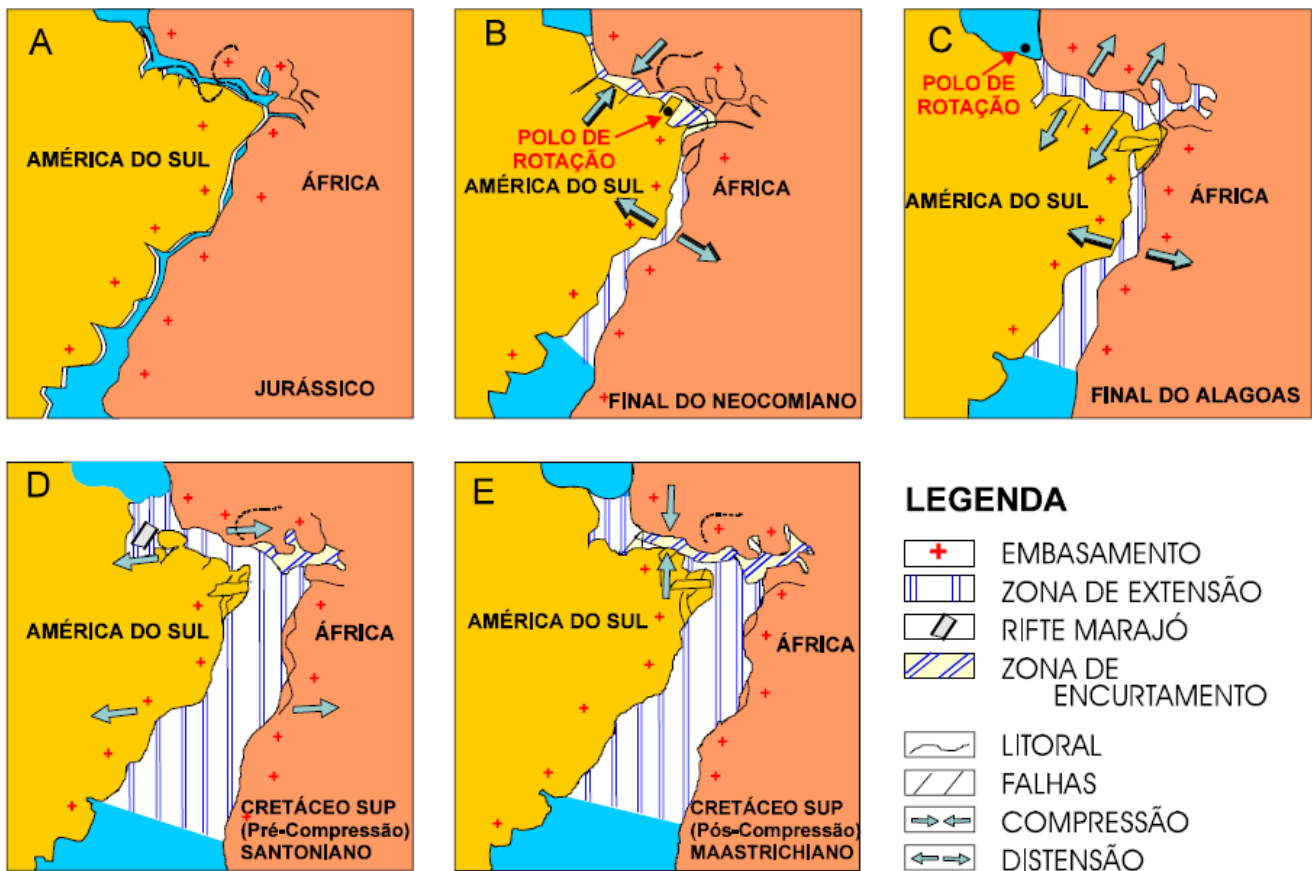
A parte emersa da Bacia Potiguar apresenta as formações rochosas Açú e Jandaíra, sendo a primeira constituída, predominantemente, por arenito e a segunda por calcário (BRASIL, 1981).

**Figura 1** – Formação do Rift Vale por distensão da crosta continental devido à pluma mantélica, criando um Hot spot. (Fonte: Universidade de Leicester, 2009).



A Chapada do Apodi é caracterizada por seu relevo plano que contrasta com o encontrado normalmente na depressão sertaneja, na qual se apresenta de ondulado a forte ondulado. Na face voltada para o Estado do Ceará, localiza-se uma cuesta com altitude de até 200 m, enquanto na direção do Estado do Rio Grande do Norte há um declive suave (SALES; PEULVAST, 2007).

**Figura 2** – Evolução tectono-sedimentar da Bacia Potiguar (Fonte: CALDAS, 1998).



## 2.2 Grupo Apodi

O pacote de sedimentos constituídos de arenitos e calcários aflorantes na bacia costeira do Rio Grande do Norte foi denominado de Grupo Apodi (Tabela 1). Posteriormente este material foi subdividido em duas unidades: “calcário Jandaíra” (seção superior) e o “arenito Açú” (seção inferior) (Figura 3). Posteriormente, estas terminologias foram substituídas pelas denominações Formação Jandaíra e Formação Açú, respectivamente (BRASIL, 1981).

**Tabela 1**– Dados comparativos sobre Formação Açú e Jandaíra

	<b>FORMAÇÃO AÇU</b>	<b>FORMAÇÃO JANDAIRA</b>
<b>SIGLA</b>	K12a	K2j
<b>IDADE</b>	66 – 135 Ma	96 – 66 Ma
<b>EON</b>	Fanerozóico	Fanerozóico
<b>ERA</b>	Mesozóico	Mesozóico
<b>PERÍODO</b>	Cretáceo	Cretáceo
<b>ÉPOCA</b>	Inferior - Superior	Superior
<b>CLASSE</b>	Sedimentar	Sedimentar
<b>SUBCLASSE</b>	Clástica	Clasto-química, Química
<b>LITOLOGIA</b>	Arenito, Siltito e Folhelho	Calcarenito, calcilito e Folhelho

Fonte: Adaptado de CPRM (2009).

### **2.2.1 Formação Açú**

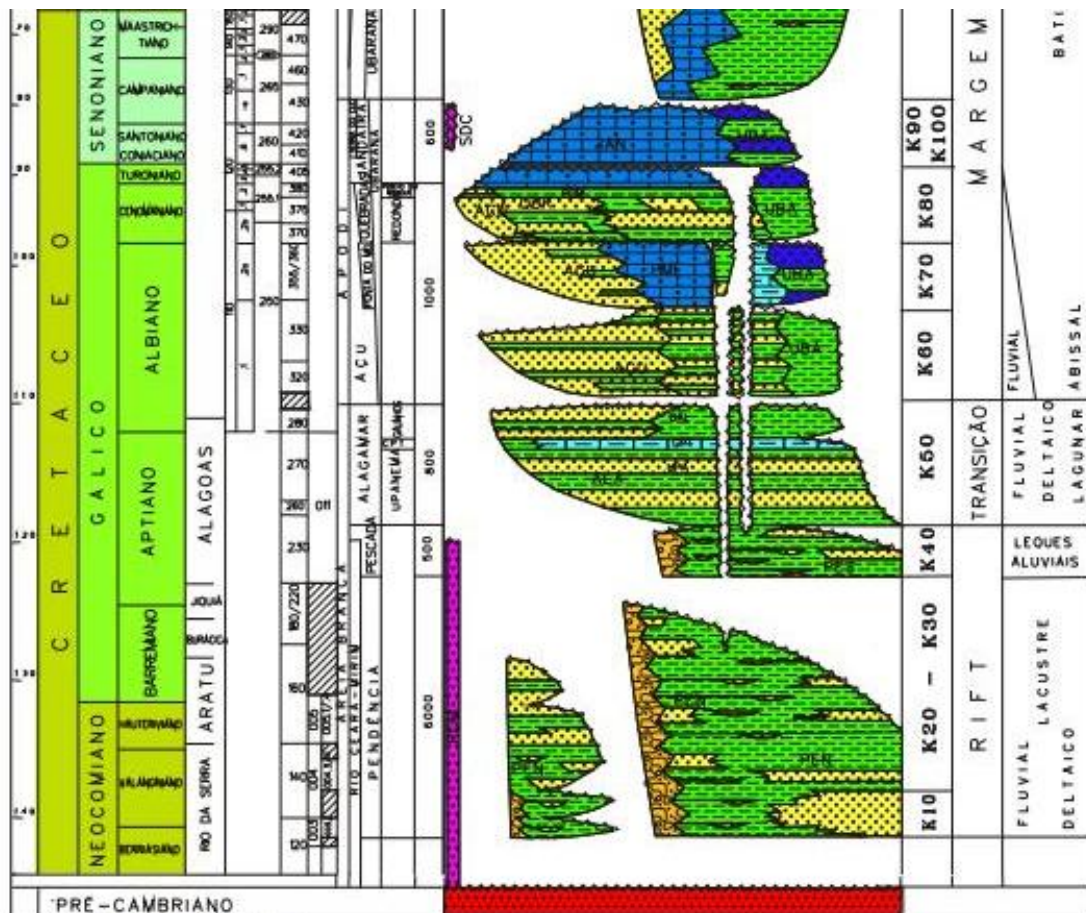
Embora esta Formação tenha sido inicialmente subdividida em três membros, são considerados atualmente apenas dois membros, o superior e o inferior (BRASIL, 1981).

Segundo Sales e Peulvast (2007), a formação Açú tem origem fluvial. Esta corresponde à unidade basal do grupo Apodi, composta por arenitos brancos, cinza e avermelhados, conglomeráticos e caulínicos, com intercalações de folhelhos, siltitos e calcarenitos. Sua espessura na porção cearense oscila em torno de 70 m, aumentando gradativamente em direção à costa (BRASIL, 1981).

Em direção ao topo, ocorrem intercalações de arenitos finos e sílticos, vermelhos e verdes, argilosos, micáceos e caulíníticos, associados a nódulos e bancos de calcário. Intercalações de arenitos calcíferos tornam-se frequentes nas margens da bacia. Pontualmente, existem ocorrências de gipsita na localidade de Governador Dix-Sept-Rosado (RN). Dados de superfície no Estado do Rio Grande do Norte revelam uma espessura superior a 500 m (BRASIL, 1981).

Foram identificados sedimentos provenientes de leques aluviais e de sistemas fluviais entrelaçados e meandranes e ainda uma transgressão estuarina. Datações indicam idade de 110 a 90 Ma, aproximadamente, para esta formação (CASSAB, 2003).

Figura 3 – Coluna estratigráfica da Bacia Potiguar. Fonte: (CPRM, 2009).



A formação Açú repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino. O contato superior é regularmente transicional, porém localmente ocorrem contatos abruptos como em Afonso Bezerra - RN (BRASIL, 1981).

### 2.2.2 Formação Jandaíra

A formação Jandaíra, conhecida por “calcário Jandaíra”, é caracterizada pela predominância de carbonatos marinhos (BRASIL, 1981).

Esta formação é caracterizada por camadas de calcários calcíticos e dolomíticos, sendo os primeiros de cor cinza-clara e branca ou amarela e com granulação de fina a média, já o segundo apresenta cor cinza ou amarela e granulação geralmente mais grosseira.

A formação Jandaíra constitui o topo do grupo Apodi, onde calcários compactos, duros, lajeados, fraturados constituem a litologia dominante. A espessura desta unidade situa-se em torno de 180 m (BRASIL, 1981).



Na parte central da bacia ocorre uma fácies dolomítica, representada por dolomitos creme-acastanhados, microcristalinos a recristalizados, com intercalações de coquina e arenitos calcíferos, gradacionais e calcários clásticos e dolomíticos. Intercalações de anidrita também podem ocorrer ocasionalmente (BRASIL, 1981).

Para oeste, a formação Jandaíra consiste de calcários creme-claros a esbranquiçados e calcários microcristalinos, localmente nodulosos, coquinoideais, com bancos fossilíferos. Intercalados, ocorrem horizontes arenosos com estratificação cruzada. Localmente o calcário torna-se margoso com intercalações de folhelho preto e carbonoso (BRASIL, 1981).

O contato inferior da formação Jandaíra com os sedimentos Açú é gradacional, enquanto o contato superior com os sedimentos terciários é não gradual. Conforme Sales e Peulvast (2007), o fim do processo de sedimentação da formação Jandaíra ocorreu há aproximadamente 80 Ma, coincidindo com a reativação tectônica e o soerguimento da Bacia, gerando a inversão topográfica representada pela cuesta nas porções oeste/sudoeste da mesma.

A ocorrência de foraminíferos bentônicos, de algas verdes, a presença de marcas de raízes e gretas de contração são características que apontam para um ambiente de planície de maré, embora em alguns locais predominasse uma plataforma rasa, sendo esta formação com idade entre 90 a 70 Ma (CASSAB, 2003).

Entretanto, a presença de *Siphogenerinoides cf. S. dentata* e *Brachycithere sapucariencis*, permitiu atribuir idade de 90 a 85 Ma para a Formação Jandaíra (BRASIL, 1981), correlacionado-a com os sedimentos da Formação Cotinguiba na bacia de Sergipe-Alagoas, sendo que na parte cearense da chapada os solos são formados diretamente do Calcário Jandaíra que está sobre o Arenito Açú no topo do Grupo Apodi.

### **2.3 Solos desenvolvidos de rochas calcárias**

O termo Terra Rossa foi pela primeira vez usada no Mediterrâneo, em áreas de cobertura cárstica. Este termo era usado para designar um material residual de cor castanho-avermelhado, deixado após a dissolução do calcário em função da ação do clima mediterrâneo e do relevo cárstico (ŠUŠTERŠIČ *et al.*, 2009).

Essa expressão depois alcançou solos fora do domínio do clima mediterrâneo, mas com características litológicas e climáticas semelhantes, como Sul da África e Austrália (DARWISH; ZURAYK, 1997).

Segundo Miko, Durn e Prohic (1999), solos desenvolvidos de rochas calcárias como a Terra Rossa apresentam normalmente textura de argilosa a argilo-siltosa, cores avermelhadas com matiz variando de 5YR até 10R, evidenciando a presença de óxidos de Fe.

A origem de solos desenvolvidos de calcário com cores avermelhadas e ricos em argila tem sido discutida há décadas, principalmente quando se tenta explicar a origem da grande quantidade de argila num solo formado por calcários de alta pureza (MUHN; BUDAHN, 2009). Yaalon (2009) lembra que deve ser considerada a contribuição de poeira proveniente do deserto do Saara nos solos do Mediterrâneo.

Delgado *et al.* (2003) em estudo desenvolvido na região de Sierra Gador na Espanha, concluíram que em solos de Terra Rossa é possível coexistir as naturezas alóctones e autóctones. A natureza autóctone é explicada pela grande semelhança entre os resíduos na matriz dos solos e os encontrados nas rochas de origem, já a natureza alóctone é explicada pela descontinuidade litológica, evidenciada pela diferença entre fragmentos grosseiros e o substrato de origem.

Mee, Bestlanda e Spooner (2004) relatam que Terras Rossa no sul da Austrália têm como material de origem dos horizontes de subsuperfície o calcário subjacente, enquanto os horizontes de superfície apresentam incrementos provavelmente relacionados com material de origem eólica, muito comum devido aos desertos próximos a esta região. Ainda relatam que para aqueles solos geraria um cenário irrealista associar sua gênese somente com material insolúvel no calcário.

Conforme Tawornpruek *et al.* (2006), na Tailândia, os Oxisols vermelhos estão principalmente sobre rochas calcárias. Naquele país tais solos apresentam mineralogia caulínica a oxidica, além de baixos valores nas relações Feo/Fed indicando solos bem evoluídos. Miko, Durn e Prohic (1999) encontraram na fração argila de Terras Rossa na Croácia, caolinita, ilita e óxidos de Fe como os principais constituintes mineralógicos.

Khormali *et al.* (2003), estudando solos formados a partir de calcário no sul do Irã, encontraram solos com horizonte B textural num clima árido a semiárido com precipitação anual da ordem de 300 mm. Estes autores relacionam a translocação de argilas a paleoclimas mais úmidos. Estes mesmos autores relatam a ocorrência de 2 a 10% de nódulos de Fe-manganosos.

Singer, Schwertmann e Frield (1998), encontraram hematita como óxidos de ferro predominante em Terras rossa e goethita em Chernossolos (Rendzimas), ambos formados a partir de rochas calcárias em Israel. Neste trabalho foi acompanhada a umidade do solo por

três anos e ficou constatado que as Terras Vermelhas secavam mais rapidamente, evidenciando uma variação no clima dos solos estudados.

## 2.4 Solos da Chapada do Apodi

Na Chapada do Apodi são predominantes solos com caráter eutrófico, sendo as classes dos Cambissolos e Latossolos as mais representativas (BRASIL, 1973).

Silva (1973) encontrou os seguintes solos nessa área: LATERITA HIDROMÓRFICA, LATOSOL VERMELHO AMARELO, SOLO LITÓLICO EUTRÓFICO, CAMBISOL EUTRÓFICO, os quais, segundo o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006), correspondem aos Plintossolos, Latossolos, Neossolos Litólicos e Cambissolos, respectivamente.

Em trabalho mais recente, com três solos no município de Limoeiro do Norte, Alencar (2002) caracterizou os seguintes solos: Cambissolo Háptico Tb Eutrófico latossóico, Latossolo Vermelho Eutrófico câmbico e Argissolo Vermelho Eutrófico latossóico. Brasil (1973) também descreveu um perfil de Latossolo, localizado no município de Tabuleiro do Norte.

Com relação à mineralogia da fração argila, os trabalhos indicam a predominância de caulinita nos solos da Chapada do Apodi. Mota *et al.* (2007) encontraram cerca de 90% de caulinita na fração argila de um Cambissolo, 90% em um Argissolo e 95% em um Latossolo.

## 2.5 Óxidos de Ferro

O ferro é o elemento de maior abundância em massa da Terra (35 %) (PRESS *et al.*, 2007) embora seja classificado como o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre (5,06 %) (COSTA; BIGHAM, 2009). Estes últimos autores relatam que já foram identificados 15 espécies de óxidos de ferro, sendo 12 de ocorrência natural e 8 destes são de interesse das ciências do solo e correlatas.

O ferro, que inicialmente é encontrado na forma reduzida ( $\text{Fe}^{2+}$ ) nos minerais primários das rochas, é liberado por meio do intemperismo e, na presença de  $\text{O}_2$ , rapidamente converte-se para a forma oxidada ( $\text{Fe}^{3+}$ ) (TARDY; NAHON, 1985).

Os óxidos de ferro têm sua formação influenciada pelas condições do ambiente, cuja concentração está relacionada com o material de origem, com o grau de intemperização e com processos pedogenéticos de acumulação ou remoção. Conforme Resende *et al.* (2005), os

óxidos de ferro pedogenéticos refletem as condições pedoambientais (temperatura, pH, umidade e etc.) sob as quais foram formados.

Os principais óxidos metálicos encontrados no solo são os de ferro, destacando-se: hematita (que dá ao solo cores vermelhas), goethita (cores amarelas), lepidocrocita (cor alaranjada), ferrihidrita (coloração brunada), maghemita (cores avermelhadas a brunadas), magnetita (cores escuras), além de schwertmannita e fougérita (FERREIRA *et al.*, 2003; INDA JUNIOR; KÄMPF, 2003).

Goethita e hematita são os óxidos de ferro mais estudados, em função destes serem os dois mais abundantes nos solos e sedimentos, no entanto, a distribuição mundial de goethita é mais ampla que a da hematita, sendo que esta última se destaca em regiões de clima tropical (COSTA; BIGHAM, 2009).

Os óxidos de ferro podem se formar em ambientes aeróbicos ou anaeróbicos (TARDY; NAHON, 1985). Conforme D'Amore, Stewart e Huddleston (2004), em ambiente anaeróbico é necessário um período de saturação por água suficientemente longo, carbono orgânico e temperatura alta o suficiente para suportar microrganismos do solo e estes utilizarem os compostos de ferro como aceptores de elétrons, tornando o Ferro móvel no sistema solo.

A hematita tende a formar-se no topo dos perfis e nos poros de tamanho pequeno de zonas insaturadas, enquanto goethita tende a formar na parte inferior sob zona de lençol freático, além de desenvolver-se também nas bordas de grandes poros e canais que são ocasionalmente visitados por descargas de água súbita (TARDY; NAHON, 1985).

Segundo Corrêa *et al.* (2008), os óxidos de Fe, principalmente hematita e goethita, estão fortemente relacionados com os fenômenos de estruturação e agregação dos solos, podendo influenciar em características desejáveis, tais como maior permeabilidade à água e maior resistência à erosão. Podem estar vinculados a outras propriedades dos solos, como a cor, capacidade de troca catiônica e aniônica.

Solos tropicais são tipicamente ricos em óxidos de ferro e de alumínio (FERREIRA *et al.*, 2003). Em solos tropicais, devido à excessiva lavagem do perfil, ocorre a retirada dos elementos mais solúveis, como sílica (dessilicatização) e bases, com resultante acúmulo de elementos menos solúveis, como óxidos de ferro e alumínio.

Os óxidos de ferro podem acumular-se no perfil do solo na forma de manchas, denominadas mosqueados, sendo reconhecidas por destoarem da cor predominante do horizonte ou camada onde está inserida. Segundo Santos *et al.* (2005), mosqueados são

manchas no perfil do solo que, muitas vezes, estão relacionadas com processos de oxidação e redução do ferro.

Os óxidos de ferro também são encontrados nos solos sob a forma de corpos que podem ser individualizados com cores avermelhadas, brunadas e amareladas, os quais recebem o nome de plintita. Plintita é um material composto por argila, quartzo e outros minerais, rico em ferro e alumínio e pobre em matéria orgânica. Ocorre normalmente sob a forma de mosqueados vermelhos, vermelho-escuros e vermelho-amarelados, sua gênese se dá em ambientes úmidos pela segregação de ferro, transporte e concentração. A plintita pode ser facilmente destacada do perfil como um corpo distinto, o que não ocorre com os mosqueados simples, e se diferenciam da petroplintita pela possibilidade de serem cortadas com faca (EMBRAPA, 2006). Com o rebaixamento do lençol freático e por consequência uma exposição ao oxigênio, a plintita tende a um maior endurecimento, transformando-se em petroplintita.

Plintita e petroplintita podem ocorrer em um mesmo perfil, sendo que normalmente a petroplintita situa-se acima da plintita, pois as seções mais superiores sofrem mais freqüentemente os ciclos de umedecimento e secagem (OLIVEIRA, 2005). Quando o fornecimento de ferro é periódico, resulta na formação de concreções, e quando é contínuo formam-se nódulos. Aparentemente podem ocorrer ambas as formas em um mesmo perfil de solo (OLIVEIRA, 2005).

Os óxidos de ferro servem como indicadores pedogenéticos, pois possibilitam um melhor entendimento da evolução dos sistemas de intemperismo, uma vez que os minerais são sensíveis às variações ambientais, principalmente as alterações nas condições redox do solo, o que pode inferir variações nas paisagens pretéritas (COELHO; VIDAL-TORRADO, 2003).

De uma forma generalizada, a origem de concreções ferruginosas nos solos tem sido atribuída às condições de variações sazonais do lençol freático. Além de outros solos concrecionários, que se formaram devido ao movimento lateral de água contendo óxido de Fe (MOREIRA; OLIVEIRA, 2008), pois nas partes da paisagem onde o lençol freático flora é comum ocorre uma franja de oxidação dos compostos de ferro, que estavam solúveis.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Localização e Descrição da área de estudo**

A área de estudo possui aproximadamente 10 ha de cultivo de banana e está localizada no Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi, pertencente ao município de Limoeiro do Norte, no Estado do Ceará, com distância de 194 km da capital Fortaleza (Figura 4). O clima da região é BSw'h', de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado como quente e semiárido. Apresenta temperatura máxima e mínima anual de 36°C e 22°C, respectivamente, com temperatura média anual de 28,5°C. A pluviosidade média anual é de 772 mm, a evapotranspiração potencial média anual é de 3.215 mm e a umidade relativa anual é de 62%. O relevo dominante da região é bastante regular, uniforme, plano, com altura aproximadamente de 150 m e declividade muito suave, variando entre 0,5 a 1,5% (DNOCS, 2009).

A vegetação primitiva é a caatinga hiperxerófila, a qual apresenta maior grau de xerofitismo. A caatinga na chapada do Apodi apesar de ser hiperxerófila, apresenta-se geralmente, com dominância de espécies arbóreas de porte alto (BRASIL, 1973).

### **3.2 Trabalho de campo**

Na área de estudo foram avaliadas as variações de relevo, além de observações por tradagens que orientou a escolha dos locais para abertura das trincheiras (Figura 4). Os perfis abertos foram descritos e coletados conforme Santos *et al.* (2005).

### **3.3 Trabalho de laboratório**

#### ***3.3.1 Análises físicas***

As análises para caracterização física foram realizadas no Laboratório de Manejo do Solo (LMS) do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

**Figura 4** – Mapa esquemático com a localização da área de estudo no estado do Ceará (Fonte: Google Earth, 2011).



### ***3.3.1.1 Fração cascalho***

A fração cascalho foi determinada conforme EMBRAPA (1997), sendo esta obtida dividindo-se o peso das partículas de diâmetro de 2 mm a 2 cm pelo peso total do solo seco ao ar.

### ***3.3.1.2 Densidade do solo***

Foi determinada pelo método do torrão parafinado, conforme metodologia contida em EMBRAPA (1997).

### ***3.3.1.3 Densidade das partículas***

Foi realizado pelo método do balão volumétrico. Foram pesados 20 g de solo TFSA, colocados em estufa por 24 h para a remoção da umidade residual, logo após foram pesados a fim de se obter o peso seco da amostra a 105 C°. Depois as amostras foram transferidas para balão volumétrico aferido de 50 ml e adicionado álcool etílico agitando-se bem o balão para remoção de bolhas de ar que se formam, após remoção das bolhas foi completado o volume com álcool.

#### **3.3.1.4 Nódulos de ferro**

Os nódulos de ferro foram separados em cinco classes de diâmetro com auxílio de peneiras e jatos de água. As classes C1, C2, C3, C4 e C5, tendo como diâmetro equivalente real respectivamente de 0,053 a 0,25 mm, 0,25 a 2 mm, 2 a 4,76 mm, 4,76 a 7,9 mm e 7,9 a 19,1 mm. A escolha destas classes foi determinada com base nas dimensões encontradas em campo.

#### **3.3.1.5 Análise granulométrica**

Foi realizada pelo método da pipeta com agitação rápida segundo metodologia contida em EMBRAPA (1997). Foram tomados 20g de TFSA e adicionado 10 ml de solução de hexametáfosfato de sódio 1 N ( $\text{Na}_6\text{PO}_3$ )<sub>n</sub> e 100 ml de água destilada. A mistura (solo + dispersante + água) foi agitada com bastão de vidro e deixada em repouso entre 12 e 16h. Após esse tempo o material foi colocado em agitador Stirrer por 5 a 15 minutos conforme a textura fosse arenosa ou argilosa, respectivamente e então passou por peneira de 0,053 mm de malha para separação da areia que ficou retida na malha, enquanto silte e argila, foram contidos em proveta de 1 L. Em seguida a proveta foi aferida à marca de 1 L. Foi lida a temperatura da amostra e determinado o tempo de sedimentação. A amostra foi agitada por 1 minuto e em seguida, após o tempo de sedimentação do silte com base no princípio da sedimentação de Stocks, foi coletado um volume de 25 mL da solução argila mais dispersante e colocado em beakers de 50 mL previamente pesados em balança de quatro casas decimais. A areia retida na peneira foi colocada em latas de alumínio numeradas e, juntamente com o Becker, foram levadas a estufa por 24 h à temperatura de 105 a 110 °C.

As partículas primárias foram separadas em quatro classes de diâmetro, a saber: areia grossa (2 - 0,2 mm), areia fina (0,2 - 0,053 mm), silte (0,053 - 0,002 mm) e argila (< 0,002 mm).

#### **3.3.1.6 Argila dispersa em água**

Foi realizada segundo metodologia contida em EMBRAPA (1997) sendo que este difere da análise granulométrica, apenas na ausência de dispersante químico.

#### **3.3.1.7 Densidade dos Nódulos de Ferro**

Foi utilizado o método do balão volumétrico. Foram pesados aproximadamente 20 g de amostras das classes C1, C2, C3, C4 e C5 secas ao ar, colocados em estufa por 24 h para a remoção da umidade residual, logo após foram pesados a fim de se obter o peso seco da amostra a 105 C°. Depois as amostras foram transferidas para proveta de 100 ml e adicionado álcool etílico agitando-se bem a



proveta para remoção de bolhas de ar que se formaram, após remoção das bolhas foi completado o volume com álcool até o menisco.

### **3.3.2 Análises químicas**

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Manejo do Solo (LMS) pertencente ao DCS/UFC, seguindo metodologia de EMBRAPA (1997).

#### **3.3.2.1 pH**

Foi determinado potenciometricamente por meio de eletrodo imerso em suspensão solo: líquido (água ou KCl 1 N), na relação 1:2,5.

#### **3.3.2.2 Complexo sortivo**

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

O Potássio ( $\text{K}^+$ ) e o Sódio ( $\text{Na}^+$ ) trocáveis foram extraídos com solução de Mehlich 1 e determinados em 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 compleximetria 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 compleximetria com hidróxido de sódio (NaOH 0,025 M), na presença do indicador fenolftaleína 3%.

O Hidrogênio (acidez não trocável  $\text{H}^+$ ) foi determinado pela diferença algébrica entre a acidez potencial e a acidez trocável.

### ***3.3.2.3 Carbono orgânico total (COT)***

Para determinação do carbono orgânico total, foi utilizada a metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988) e adaptada por Mendonça e Matos (2005), onde a oxidação da matéria orgânica se processa em via úmida. Para tal procedimento tomou-se uma porção de TFSA, a qual foi moída em almofariz e posteriormente retirou-se 0,5 g dessa porção. Assumindo-se que todo o C do solo se encontra em estado de oxidação zero. Então foram adicionados 5 mL da solução de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) e 7,5 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) para oxidar o carbono presente nas amostras. Para maximizar a oxidação do carbono pelo dicromato, utilizou-se uma fonte externa de calor, colocando-se as amostras em bloco digestor e mantendo-as na temperatura de 170 °C por 30 minutos. Após a oxidação do carbono, se adicionou-se a solução indicadora sulfato ferroso e amônio que posteriormente foi titulada com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 N.

### ***3.3.2.4 Ferro amorfo (extraído por oxalato de amônio)***

Foi pesado 0,5g de TFSA pulverizada em almofariz e colocado em tubo de centrifuga de 50 mL recoberto com papel alumínio evitando qualquer forma de exposição à luz. Foram adicionados 25 mL da solução de Tamm. Em seguida esta mistura foi agitada mecanicamente por 2 horas e, por fim, centrifugada a 1000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi transferido para balão volumétrico de 125 mL e completado o volume com água deionizada. O extrato foi lido em espectrofotômetro de absorção atômica conforme metodologia contida em Urley e Drees (2008).

### ***3.3.2.5 Ferro cristalino (extraído com Ditionito-Citrato-Bicarbonato de Sódio - DCB)***

O ferro cristalino foi determinado conforme metodologia de Mehra e Jackson (1960), contido em Urley e Drees (2008). Foi pesado 0,5 g de TFSA, pulverizada em almofariz, e colocada em tubo de centrífuga de 50 mL. Foram adicionados 20 mL da solução de Citrato de Sódio ( $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$  0,3M) e 2,5 mL de Bicarbonato de Sódio ( $NaHCO_3$  1M) em cada amostra, as quais foram levadas ao banho-maria à temperatura constante de 75 a 80°C. Foi adicionado 1 g de Ditionito de Sódio ( $Na_2S_2O_4$ ), parcelado em duas alíquotas 0,5 g. A primeira alíquota de Ditionito de Sódio foi colocada e agitada manualmente durante 1 minuto e mantida por 1 hora em banho-maria, sendo agitada ocasionalmente. Após este

tempo, a segunda alíquota foi adicionada, permanecendo por mais 30 minutos em tratamento semelhante à primeira. Na seqüência destes tratamentos, foram adicionados 5 mL da solução de Cloreto de Sódio (NaCl) saturada e levada à centrifuga a 3.000 rpm por 5 min para a obtenção do extrato. Este foi colocado em balão volumétrico de 125 mL e adicionado água desionizada até completar o volume. O extrato foi lido em espectrofotômetro de absorção atômica.

### ***3.3.2.6 Ataque sulfúrico***

Foi realizado conforme metodologia contida em EMBRAPA (1997) para determinar os valores moleculares de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  por meio da solubilização da fração argila das amostras com ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 50 %. Foi colocado 1g de solo em erlenmeyer de 500 ml e adicionado 20 ml de ácido sulfúrico que foi fervido durante 30 minutos, usando condensador de refluxo para evitar evaporação. Após esfriar, foi adicionado 50 ml de água destilada e então filtrada, sendo a solução armazenada em balão volumétrico de 250 ml, o resíduo foi lavado com água até completar o volume. Foi utilizado o filtrado para as determinações do ferro da fração argila, e o resíduo retido no filtro, foi usado para o ataque alcalino para a determinação da sílica. A determinação do ferro foi feita por titulação e o extrato da sílica foi lido por espectrometria de emissão atômica, utilizando o espectrômetro, modelo Optima 3300 DV, marca Perkin Elmer.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos Morfológicos

Os solos da porção cearense da Chapada do Apodi recebem de um modo generalizado a classificação de Cambissolos, (BRASIL, 1973) gerando a idéia de homogeneidade nos solos daquela região, entre outros fatores, em virtude da reduzida escala de mapeamento. No entanto, em um transecto de aproximadamente 300 m foram descritos cinco perfis de solos, dois classificados como Cambissolos e três Argissolos. Ressalta-se o fato da área em estudo apresentar relevo plano, com declividade da ordem de 1%, a vegetação típica da região é caatinga hiperxerófila e a pequena distância entre os perfis, a qual não permite suportar grandes variações no clima. Essa variabilidade nos solos desta região também foi relatada por outros autores (ALENCAR, 2002; MOTA *et al.*, 2007; SILVA, 1973).

O matiz predominante dos perfis na Escala de cores de Munsell foi 2,5 YR (avermelhados). Miko, Durn e Prohic (1999) relatam que as cores predominantes para Terra Rossa ficam entre 5 YR e 10R evidenciando os processos de acúmulo de óxidos de ferro. Estas cores avermelhadas em solos desenvolvidos no ambiente cárstico, está fortemente relacionada a uma rápida precipitação dos óxidos de ferro em virtude do elevado pH, que entre outros fatores, favorece a precipitação da ferrihidrita, precursora da hematita, ao invés da goethita (TARDY; NAHON, 1985).

Os solos estudados mostraram-se muito distintos morfológicamente, principalmente no que se refere à espessura dos perfis e presença de nódulos de ferro (Tabela 2). No perfil P2, a profundidade do solo foi superior a 4,3 m, enquanto o perfil P3, localizado a menos de 70 m de distância do primeiro, apresentou espessura de apenas 1,9 m. Miko, Durn e Prohic (1999), relatam descontinuidade litológica em rochas calcárias, onde camadas distintas podem variar de centímetros a alguns metros. Essas variações nas diferentes fácies do calcário podem ser refletidas nos horizontes dos solos, justificando a variação de espessura nos perfis P2 e P3.

No perfil P1 os nódulos de ferro foram evidentes a partir de 50 cm e no P2 surgiram a 95 cm enquanto nos perfis P3, P4 e P5 estas formações só foram encontradas a profundidades maiores que 1,6 m (Tabela 2). Em outras áreas do Perímetro de Irrigação onde está inserido o presente estudo, durante a implantação dos sistemas de irrigação era comum encontrar nódulos, o que parece estar relacionado com a natureza carbonática do substrato rochoso. Coelho e Vidal-Torrado (2003), estudando solos desenvolvidos de arenitos

associados à material calcário da Formação Adamantina, relatam ser comum a presença de nódulos.

Nos perfis P1, P2 e P3 foram observadas elevadas proporções de nódulos com “hábito arredondado” na fração cascalho, os quais apresentaram baixa resistência mecânica. No entanto, nódulos com diâmetros menores, pertencentes à fração areia, se mostraram mais resistentes mecanicamente e assemelhando-se a “chumbo de caça”. Em ambientes marinhos de águas rasas é comum a formação de estruturas arredondadas de calcário, muitas vezes associadas a compostos ferrosos. Nestes ambientes é característico uma elevação na temperatura da água, o que favorece a precipitação de carbonatos, principalmente de Ca e Fe, enquanto o movimento das ondas imprime um arredondamento nestes corpos formados. Jiménez-Millán e Nieto (2008), estudando concreções de Ferro-Manganês em formações carbonáticas, relatam que tais concreções tanto são comuns, como estão fortemente relacionadas à descontinuidade litológica, sendo que neste caso seria melhor dizer diferença faciológica, pois trata-se da mesma rocha, mas com pequenas diferenças químicas e estruturais.

Nos perfis P2 e P3, foram descritos horizontes com caráter vértico, localizados logo abaixo dos horizontes ricos em concreções (Tabela 2). Yaalon (1999) caracteriza feições vérticas como sendo comuns nas partes baixas das paisagens, devido ao fluxo lateral e superficial de soluções ricas em Cálcio e Magnésio, o que favorece a formação de argilas do tipo 2:1. A posição dos horizontes vérticos sobre a rocha pode estar relacionada com o impedimento do fluxo vertical da solução do solo, resultando na formação de argila do tipo 2:1. No perfil P3 o horizonte com tal característica encontra-se seguido de uma camada saprolítica de aspecto pulverulento e logo abaixo a rocha, um calcário de aspecto maciço e cor creme clara. Já no perfil P2, a transição entre o horizonte com caráter vértico e o material subjacente, que apresentava estratificação nítida e características semelhantes a de um arenito, sugerindo não se tratar do mesmo material encontrado no substrato do perfil P3. Beng *et al.* (1997) relacionam fortes variações nas transições entre horizontes a descontinuidade litológica em Terras Rossa na Espanha.

Tabela 2 – Características Morfológicas dos perfis P1, P2, P3, P4 e P5

Hor	Prof cm	Cor		Estrutura	Cascalho
		Úmida	Seca		
<b>P1 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupto plúntico (PVAe)</b>					
Ap	0-13	5YR 3/4	5YR 4/4	mod pq Bl suba mod mui pq	com cascalho
AB	13-23	2,5YR 3/4	---	mod gde mui gde Bl ang	com cascalho
Btc1	23-50	2,5YR 4/6	---	mod pq md Bl suba	cascalhenta
Btcf2	50-70	5YR 5/6	---	mod pq md Bl suba	cascalhenta
B/Ccf3	70-103	5YR 4/6	---	mod mui pq Bl suba	muito cascalhenta
B/Cf	103-153+	5YR 4/6	---	mod pq Bl ang suba	muito cascalhenta
<b>P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>					
Apc1	0-18	5YR 3/4	5YR 4/6	mod md Bl suba	cascalhenta
Ac2	18-37	5YR 4/4	5YR 5/6	mod md gde Bl suba	cascalhenta
Bic1	37-60	5YR 4/6	5YR 5/8	mod md Bl suba	com cascalho
Bic2	60-95	5YR 4/6	5YR 6/8	mod md Bl suba	cascalhenta
Bi3	95-166	5YR 4,5/8	5YR 6/8	mod md Bl suba	cascalhenta
Bicf4	166-180	10YR 7/8	7,5YR 6/8	mod md gde Bl ang suba	muito cascalhenta
Bicf5	180-253	10YR 6/8	10YR 8/8	mod md gde Bl ang suba	muito cascalhenta
Cv1	253-285	10YR 5/6	10YR 6/6	for gde Pris	---
Cr2	285-335	10YR 8/1	10YR 8/1	---	---
Cr3	335-430+	10YR 7/5	10YR 7/1	---	---
<b>P3 – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico abrupto (PVAe)</b>					
Ap	0-29	7,5YR 4/3	7,5YR 4/5	for gde Bl suba	com cascalho
Bt1	29-51	2,5YR 4/7	7,5YR 5/8	for md gde Bl suba	---
Bt2	51-86	5YR 4/6	5YR 5/8	mod md gde Bl suba	---
Bt3	86-110	5YR 5/8	5YR 5/8	mod md gde Bl suba	com cascalho
Btc4	110-140	10YR 6/8	10YR 7/8	---	cascalhenta
Cv1	140-160	10YR 5/8	10YR 6/8	for md gde Pris Bl ang	---
Cr2	160-190	---	---	---	---
<b>P4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>					
Ap	0-31	5YR 3/4	5YR 4/6	mod md gde Bl suba	com cascalho
BA	31-54	2,5YR 4/6	5YR 5/8	mod md gde Bl suba	com cascalho
Bi1	54-93	2,5YR 4/6	5YR 5/7	mod md Bl suba	com cascalho
Bi2	93-135	2,5YR 4,5/8	5YR 6/8	mod md Bl suba	com cascalho
Bi3	135-162+	5YR 4,5/6	7,5YR 5/8	mod md Bl suba	com cascalho
<b>P5 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (PVe)</b>					
A	0-12	10R 3/4	5YR 4/6	mod pq md gde Bl suba	com cascalho
BA	12-44	2,5YR 4/6	2,5YR 4/8	mod md gde Bl suba	---
B1	44-75	2,5YR 4/7	2,5YR 5/8	mod md Bl suba	---
B2	75-124	2,5YR 4/8	2,5YR 5/7	mod md gde Bl ang suba	----
B3	124-170+	(2,5YR 4/8	2,5YR 5/8	mod md gde Bl ang suba	----

Hor = Horizonte; Prof = Profundidade; Bl = Blocos; ang = angulares; suba = subangulares; Pris = Prismática; Gran = Granular; mui = muito; pq = pequena; md = média; gde = grande; mod = moderada; for = forte.

## 4.2 Atributos Químicos e Físicos

Os perfis que estão em áreas sob manejo agrícola (P1, P2, P3 e P4,) apresentaram valores de fósforo muito elevado nos horizontes superficiais (Tabela 3), fato que pode ser justificado pelo aporte deste elemento durante a adubação. Por outro lado, na área sob vegetação nativa (P5), o solo apresentou baixos teores de P em todo o perfil.

Pode-se observar, ainda, que o perfil P2 apresenta uma redução dos valores de fósforo, da superfície em direção aos horizontes profundos, estabilizando-se a valores menores que  $1 \text{ mg.kg}^{-1}$ , até o horizonte Cv1 a 2,53 m, onde se eleva abruptamente para  $25 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Neste último horizonte os maiores valores de Ca e Mg também ocorreram de forma abrupta. Miko, Durn e Prohic (1999) concluíram que nos perfis de Terra Rossa estudados na Croácia há uma significativa variação dentro e entre perfis nos óxidos analisados. Variações abruptas entre elementos evidenciam aspectos semelhantes à Terra Rossa documentadas pelos autores referidos acima e reforçam a hipótese de descontinuidade litológica.

Os perfis P1, P2, P4 e P5, de um modo geral, apresentaram uma maior concentração de Ca e Mg no solum (Tabela 3), quando era de se esperar que esse incremento ocorresse em direção a rocha carbonática. Essa variação pode estar relacionada a processos de ciclagem de nutrientes. Já no perfil P3 esse fenômeno se inverte, onde foi descrito um forte gradiente textural, sugerindo uma possível deposição externa de outros materiais. Foster, Chittleborough e Barovich (2004) sugerem a possibilidade dos horizontes superficiais de Terra Rossa terem um maior caráter alóctone, enquanto os horizontes subsuperficiais teriam sua gênese direto a partir do calcário subjacente.

Todos os perfis apresentaram elevados valores de saturação por bases (Tabela 3), fato também observado por Foster, Chittleborough e Barovich (2004), que encontraram alta capacidade de troca de cátions - CTC em solos de Terra Rossa, com destaque para o Cálcio, ao qual foi atribuído uma maior capacidade de agregação das partículas. Nos solos da área de estudo, para que houvesse uma completa dispersão das partículas de alguns horizontes, foi necessária a substituição do Hidróxido de Sódio por Hexametáfosfato de Sódio na análise granulométrica, o que condiz com uma maior agregação proposta pelos autores anteriormente citados.

Nos horizontes Cr2 e Cr3 do perfil P2 e Cr2 do perfil P3 (Tabela 3) houve um aumento substancial nos teores de  $\text{CaCO}_3$ , corroborando com teste de campo para carbonatos com HCl 1,2 M chegando-se ao limiar do caráter carbonático, o que está mais relacionado

com a proximidade do material de origem, do que um possível efeito de acúmulo de  $\text{CaCO}_3$  ocasionado pelo clima semiárido.

**Tabela 3** – Características químicas dos perfis P1, P2, P3, P4 e P5

Hor	Prof cm	pH		CO g.kg <sup>-1</sup>	P mg.kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	S	T	V %	CaCO <sub>3</sub> g.kg <sup>-1</sup>
		H <sub>2</sub> O	KCl												
<b>P1 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abruptico plintico (PVAe)</b>															
Ap	0-13	8,0	7,1	10,00	40	6,8	3,3	1,12	0,49	0,0	0	11,7	11,7	100	38
AB	13-23	7,6	6,7	7,10	16	6,2	2,7	0,94	0,86	0,0	0	10,7	10,7	100	33
Btc1	23-50	7,2	6,1	2,50	<1	6,5	3,1	0,35	0,80	0,0	0	10,8	10,8	100	36
Btcf2	50-70	5,7	5,0	2,40	<1	5,2	2,9	0,16	0,70	0,0	1,8	9,0	10,8	83	38
B/Ccf3	70-103	5,4	5,0	1,60	<1	4,3	3,3	0,09	0,68	0,0	1,5	8,4	9,9	85	37
B/Cf	103-	5,7	5,1	1,00	<1	3,0	3,4	0,11	0,82	0,0	1	7,3	8,3	88	38
<b>P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>															
Ap1	0-18	7,6	6,6	13,68	282	3,1	2,1	0,73	0,13	0,0	0	6,0	6,1	98	30
A2	18-37	7,6	6,4	7,69	111	2,4	2,6	0,35	0,11	0,0	0	5,5	5,6	98	33
Bi1	37-60	7,6	6,3	6,34	9	2,5	1,3	0,20	0,14	0,0	0	4,2	4,4	96	31
Bi2	60-95	7,0	5,9	5,65	3	2,6	0,9	0,08	0,20	0,0	0	3,8	3,9	98	36
Bi3	95-166	5,6	4,5	2,81	<1	1,5	2,0	0,07	0,37	0,2	1	3,9	5,1	77	43
Bicf4	166-	5,8	4,7	5,50	<1	2,2	1,0	0,06	0,43	0,3	1	3,7	5,0	75	36
Bicf5	180-	5,9	4,9	4,06	<1	1,6	2,8	0,12	0,29	0,1	1	4,8	6,0	81	35
Cv1	253-	7,3	5,9	3,56	25	7,5	10,2	0,29	0,58	0,1	0	18,5	18,6	99	52
Cr2	285-	8,8	7,9	1,84	<1	3,0	2,7	0,14	0,19	0,0	0	6,1	6,1	100	149
Cr3	335-	8,7	7,6	2,69	11	3,8	4,4	0,21	0,34	0,0	0	8,7	8,7	100	149
<b>P3 – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico abruptico (PVAe)</b>															
Ap	0-29	8,0	7,2	18,78	107	3,1	1,6	0,34	0,18	0,0	1	5,2	6,2	87	29
Bt1	29-51	7,9	6,7	7,44	4	4,7	1,6	0,25	0,35	0,0	1	6,9	7,9	87	31
Bt2	51-86	7,6	6,3	4,28	2	5,0	2,3	0,18	0,48	0,0	2	8,0	10,0	77	29
Bt3	86-110	6,4	5,4	4,31	2	4,0	2,4	0,13	0,40	0,0	2	6,9	8,9	74	29
Btc4	110-	6,4	5,3	2,75	2	3,2	3,2	0,11	0,33	0,0	2	6,8	8,8	78	26
Cv1	140-	6,1	4,9	2,91	2	3,7	5,6	0,13	0,62	0,0	2	11	13,1	86	38
Cr2	160-	8,6	7,6	2,22	2	6,6	3,8	0,12	0,33	0,0	0	11	11	100	149
<b>P4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>															
Ap	0-31	7,7	6,8	14,31	95	5,4	2,4	0,30	0,10	0,0	0	8,2	8,2	100	10
BA	31-54	7,7	6,5	6,65	9	4,4	0,9	0,25	0,11	0,0	0	5,7	5,7	98	32
Bi1	54-93	6,6	5,6	3,94	2	3,4	1,4	0,21	0,13	0,0	0	5,1	5,1	98	30
Bi2	93-135	5,9	4,8	4,31	2	2,9	1,5	0,22	0,14	0,1	2	4,8	6,8	69	29
Bi3	135-	6,2	5,1	4,37	3	3,1	1,8	0,17	0,18	0,1	2	5,3	7,4	71	32
<b>P5 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (PVe)</b>															
A	0-12	7,0	5,8	18,81	<1	3,2	2,5	0,14	0,01	0,0	0	5,8	5,8	99	33
BA	12-44	7,7	6,1	8,25	<1	3,1	1,7	0,19	0,03	0,0	0	5,0	5,1	98	33
B1	44-75	6,1	4,9	5,56	<1	2,1	1,8	0,10	0,03	0,0	1	4,0	5,1	79	30
B2	75-124	5,2	4,6	4,19	<1	1,8	2,2	0,06	0,02	0,1	2	4,1	6,2	66	128
B3	124-	5,2	4,7	4,12	<1	1,7	2,0	0,06	0,02	0,2	2	3,9	6,1	64	129

Hor = Horizonte; Prof = Profundidade; CO = Carbono orgânico; S = soma de bases; T = Capacidade de troca catiônica; V = Saturação por bases.



A textura dos perfis é predominantemente argilosa a muito argilosa, atingindo valores da ordem de  $700 \text{ g.kg}^{-1}$  no perfil P5, mais intemperizado (Tabela 4). Miko, Durn e Prohic (1999) e Durn, Ottner e Slovenec (1999) descrevem a textura argilosa como uma característica típica da Terra Rossa. Nos perfis P1, P3 e P5 a evidência da iluviação de argila é sugerida pelo gradiente textural e pela expressiva quantidade de cerosidade no último. A iluviação de argila é uma característica que Delgado *et al.* (2003) e Fedoroff (1997) indicam como uma das teorias para a formação da Terra Rossa. Beng *et al.* (1997) usam a relação  $\text{Fe}_d/\text{Argila}$  para mostrar que o ferro co-iluvia com a argila. Esta relação, no entanto, não foi confirmada neste trabalho (Tabela 7).

Os perfis apresentam horizontes B com relação silte/argila, geralmente, inferior a 0,6 (Tabela 4), indicando que são relativamente evoluídos, fato corroborado pela baixa atividade de argila. Os menores valores da relação silte/argila encontrados no perfil P5, evidenciam o maior grau de intemperização deste perfil, que também apresenta menores valores de atividade de argila. Por outro lado, nas camadas Cr dos perfis P2 e P3, esta relação atinge sua maior expressão, em função de uma menor ação do intemperismo. As características deste material no P2 podem indicar que tais camadas são produto da alteração de um material distinto do que deu origem aos subjacentes, uma vez que estas apresentavam um aspecto fortemente estratificado, o que pode estar relacionado com deposições eólicas, visto a grande seleção nos grãos, pois no horizonte Cr1 tem  $716 \text{ g.kg}^{-1}$  de silte enquanto no horizonte Cr2 não apresenta se quer partículas na fração areia grossa. Feng (2011), avaliando resíduos insolúveis de calcários dolomíticos na China, encontrou predominância de materiais finos, principalmente areia e silte.

Os nódulos com diâmetros menores, enquadrados na fração areia e pertencentes às classes C1 e C2 (Tabela 5), tendem a se concentrar no topo do perfil P1. Os nódulos maiores, enquadrados na fração cascalho (classes C3, C4 e C5), têm sua proporção incrementada a partir dos 23 cm de profundidade e são predominantes nos últimos horizontes do P1. Ainda neste perfil percebe-se que a densidade dos nódulos é maior na superfície reduzindo à medida que se aprofunda.

Yaalon (2009) relata que é comum nos solos desenvolvidos sobre rochas carbonáticas e clima árido, nódulos de diferentes tamanhos, quantidades, dureza e distribuição.

Nos perfis P1, P2 e P3 os nódulos da classe C5 só ocorrem praticamente nas seções mais profundas dos horizontes B (Tabela 5), ou seja, nas menos evoluídas.

No perfil P5 os horizontes apresentam uma distribuição homogênea nos nódulos, densidade do solo e densidade das partículas, mostrando uma forte evolução genética, porém com um ligeiro aumento nas quantidades dos nódulos das classes C1, C2 e C3 na superfície, o que pode estar relacionado a uma maior preservação na superfície, uma vez que neste horizonte as condições de hidromorfismo são virtualmente ausentes, quando comparado com os horizontes subsuperficiais. Ficou constatado que ocorre uma redução do tamanho dos nódulos em horizontes e perfis mais evoluídos.

Ainda no perfil P5 observa-se que as classes C4 e C5 não aparecem, o que confirma que tanto nos horizontes ou nos perfis mais evoluídos, há uma redução nos nódulos de ferro de maior diâmetro, sugerindo uma degradação dos nódulos.

Tabela 4 – Características físicas dos perfis P1, P2, P3, P4 e P5

Hor	Prof cm	Casc	AG	AF	Sil	Arg	ADA	GF %	DS g.cm <sup>-3</sup>	DP	Sil/Arg
<b>P1 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupto plúntico (PVAe)</b>											
Ap	0-13	114	219	247	125	409	347	15	1,81	2,63	0,31
AB	13-23	108	209	245	116	430	368	14	1,67	2,72	0,27
Btc1	23-50	157	105	115	142	638	0	100	1,74	2,83	0,22
Btcf2	50-70	158	116	142	107	635	0	100	1,88	2,81	0,17
B/Ccf3	70-103	693	158	141	168	533	0	100	2,01	2,83	0,32
B/Cf	103-153+	593	288	244	122	346	0	100	2,02	2,79	0,35
<b>P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>											
Ap1	0-18	159	270	270	177	283	158	44	1,81	2,74	0,63
A2	18-37	172	289	272	115	324	139	57	1,67	2,69	0,35
Bi1	37-60	144	92	177	181	450	110	75	1,55	2,71	0,40
Bi2	60-95	244	176	180	206	438	73	83	1,62	2,74	0,47
Bi3	95-166	234	166	171	220	443	63	86	1,47	2,76	0,50
Bicf4	166-180	935	132	177	268	423	50	88	1,73	2,81	0,63
Bicf5	180-253	783	160	192	217	431	126	71	2,05	2,83	0,50
Cv1	253-285	28	67	123	232	578	13	98	1,82	2,79	0,40
Cr2	285-335	0	32	126	716	126	57	55	1,98	2,64	5,68
Cr3	335-430+	0	0	342	471	187	118	37	1,59	2,56	2,52
<b>P3 – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico abrupto (PVAe)</b>											
Ap	0-29	90	250	210	190	350	230	34	1,66	2,72	0,54
Bt1	29-51	40	162	148	120	570	270	53	1,51	2,82	0,21
Bt2	51-86	69	159	141	170	530	300	43	1,66	2,78	0,32
Bt3	86-110	87	161	139	140	560	250	55	1,65	2,82	0,25
Btc4	110-140	229	128	132	210	530	240	55	1,86	2,84	0,40
Cv1	140-160	36	92	128	160	620	360	42	1,84	2,78	0,26
Cr2	160-190	0	235	71	457	237	19	92	----	2,57	1,93
<b>P4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>											
Ap	0-31	157	188	262	170	380	170	55	1,63	2,79	0,45
BA	31-54	100	147	183	150	520	260	50	1,39	2,80	0,29
Bi1	54-93	107	111	129	160	600	240	60	1,43	2,79	0,27
Bi2	93-135	133	136	154	130	580	110	81	1,38	2,79	0,22
Bi3	135-162+	124	128	152	190	530	180	66	1,39	2,79	0,36
<b>P5 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (PVe)</b>											
A	0-12	88	209	219	140	432	170	61	1,41	2,73	0,32
BA	12-44	42	118	110	96	676	180	73	1,35	2,76	0,14
B1	44-75	53	106	106	89	699	10	99	1,32	2,75	0,13
B2	75-124	60	133	136	130	601	0	100	1,39	2,78	0,22
B3	124-170+	66	181	182	105	532	0	100	1,74	2,79	0,20

Hor = Horizonte; Prof = Profundidade; Casc = Cascalho; AG = Areia grossa; AF = Areia fina; Sil = Silte; Arg = Argila; ADA = Argila dispersa em água; GF = Grau de floculação; DS = Densidade do solo; DP = Densidade das partículas.

Tabela 5 – Massa e densidade dos nódulos por classe de diâmetro nos perfis P1, P2, P3, P4 e P5

Hor	Prof	MNCD					DNCD				
		C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
		g.kg <sup>-1</sup>					g.cm <sup>-3</sup>				
<b>P1 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupto plúntico (PVAe)</b>											
Ap	0-13	247	219	94	20	0	2,56	2,75	2,80	2,78	0
AB	13-23	245	209	91	17	0	2,50	2,72	2,82	2,72	0
Btc1	23-50	115	105	117	33	0	2,77	2,67	2,85	2,64	0
Btcf2	50-70	142	116	118	40	7	2,73	2,70	2,78	2,72	2,38
B/Ccf3	70-103	141	158	382	116	195	2,54	2,71	2,74	2,53	2,32
B/Cf	103-	244	288	139	210	244	2,49	2,68	2,70	2,47	2,45
<b>P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>											
Ap1	0-18	270	270	128	22	0	2,62	2,63	2,75	2,71	0
A2	18-37	272	289	149	23	0	2,60	2,73	2,77	1,14	0
Bi1	37-60	177	92	128	16	0	2,60	2,77	2,80	2,62	0
Bi2	60-95	180	176	182	45	18	2,62	2,63	2,79	2,74	2,58
Bi3	95-166	171	166	181	42	0	2,51	2,73	2,79	2,53	0
Bicf4	166-180	177	132	146	255	534	2,48	2,52	2,65	2,56	2,48
Bicf5	180-253	192	160	137	320	326	2,57	2,66	3,61	2,51	3,56
Cv1	253-285	123	67	0	0	0	2,44	2,67	0	0	0
Cr2	285-335	126	32	0	0	0	2,66	2,38	0	0	0
Cr3	335-	342	0	0	0	0	2,83	0	0	0	0
<b>P3 – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico abrupto (PVAe)</b>											
Ap	0-29	210	250	73	17	0	2,58	2,67	2,82	2,60	0
Bt1	29-51	148	162	36	0	0	2,73	2,79	2,94	0	0
Bt2	51-86	141	159	60	9	0	2,60	3,02	2,64	2,51	0
Bt3	86-110	139	161	69	18	0	2,69	2,95	2,94	2,87	0
Btc4	110-140	132	128	52	85	91	2,78	3,08	2,58	2,61	2,59
Cv1	140-160	128	92	16	20	0	2,60	2,74	2,51	2,66	0
Cr2	160-190	71	235	0	0	0	2,65	1,12	0	0	0
<b>P4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>											
Ap	0-31	262	188	110	30	17	2,60	3,38	2,74	2,76	2,71
BA	31-54	183	147	83	17	0	2,66	2,55	2,79	2,65	0
Bi1	54-93	129	111	86	21	0	2,60	2,56	2,78	2,64	0
Bi2	93-135	154	136	92	41	0	2,60	2,76	2,75	2,56	0
Bi3	135-	152	128	86	38	0	2,53	2,69	1,51	2,94	0
<b>P5 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (PVe)</b>											
A	0-12	219	209	88	0	0	2,75	2,69	2,85	0	0
BA	12-44	110	118	42	0	0	2,70	2,82	2,89	0	0
B1	44-75	106	106	53	0	0	2,64	2,77	2,82	0	0
B2	75-124	136	133	60	0	0	2,47	3,01	2,78	0	0
B3	124-	182	181	66	0	0	2,80	2,66	2,82	0	0

Hor = Horizonte; Prof = Profundidade; MNCD = Massa dos nódulos por classe de diâmetro; DNCD = Densidade dos nódulos por classe de diâmetro; C1 = 0,05 – 0,25 mm; C2 = 0,25 – 2 mm; C3 = 2 – 5 mm; C4 = 5 – 8 mm; C5 = 8 – 19 mm.

### 4.3 Ataque sulfúrico

Os resultados do ataque sulfúrico (Tabela 6) mostram variações nos teores de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) entre os horizontes pedogenéticos. No perfil P5, mesmo sendo o que apresentou menor diferenciação entre os horizontes, pode-se observar uma significativa variação nos teores de  $\text{TiO}_2$ . Semelhante comportamento se repete em todos os perfis, porém no perfil P2, ocorre uma variação abrupta entre os horizontes que estão acima de 253 cm e os situados abaixo de tal profundidade.

Os valores de  $\text{TiO}_2$  (Tabela 6) nos horizontes Cr2 e Cr3 no perfil P2 e Cr2 no perfil P3 mostram um evidente contraste quando comparados aos valores dos horizontes superficiais, pois neste horizontes seus valores são da ordem de  $2 \text{ g.kg}^{-1}$ , enquanto nos horizontes acima são da ordem de  $6 \text{ g.kg}^{-1}$ , corroborando com as observações de Jiménez-Millán e Nieto (2008), em estudos na costa da Espanha voltada para o Mediterrâneo. Nos perfis P2 e P3, os valores de  $\text{TiO}_2$  apresentaram considerável variação da superfície até onde foram descritos os horizontes concrecionários, sugerindo que o material de origem da parte superficial até as concreções pode diferir do material de origem das últimas camadas desses perfis.

Os valores de  $\text{TiO}_2$  nos horizontes A são significativamente menores que nos horizontes B, o que reforça a possibilidade dos horizontes superficiais sofrerem contribuição de materiais externos. No P2 onde os valores de  $\text{TiO}_2$  nos horizontes Bicf5, Cv1 e Cr2 foram de 6,42, 4,48 e 1,30 %, respectivamente, mostrando que estes três horizontes possuem origens litológicas distintas. Nestes mesmos horizontes os valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , reforçam tal hipótese, pois apresentam comportamento semelhante (Tabela 6).

### 4.4 Dissolução Seletiva

Nos horizontes superficiais os maiores valores na relação  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$  podem estar relacionados com os maiores conteúdos de matéria orgânica, que promove o seqüestro de cátions e uma posterior liberação gradual. Lynch (2009) avaliando a mesma relação em solos desenvolvidos de calcário no Estado do Goiás atribui um maior valor na relação ao incremento de carbono orgânico em um Chernossolo.

Os horizontes Cv1, Cr2 e Cr3 do perfil P2 e o horizonte Cv1 do perfil P3 apresentaram um aumento nos valores da relação  $\text{Fe}_o/\text{Fe}_d$ . Neste caso, como estes horizontes estão na base destes perfis este aumento pode estar relacionado com uma maior umidade

(TARDY; NAHON, 1985; RESENDE et al., 2005). No horizonte Cv1 do perfil P2 e no Cv1 do perfil P3 há uma forte redução nos valores de ferro do ataque sulfúrico, e nos horizontes subjacentes destes mesmos perfis a redução é ainda maior nos valores de ferro do ataque sulfúrico e também na sílica do ataque alcalino, o que reforça a hipótese de uma descontinuidade litológica.

Analisando os teores de  $F_{ed}$  dos nódulos, os perfis P2 e P4, ou seja, Cambissolos, (Tabela 7) os valores de  $F_{ed}$  aumentam de acordo com o diâmetro das classes C1, C2 e C3, sugerindo uma maior variação no grau de cristalinidade, pois nos perfis P3 e P5 pertencentes a classe dos Argissolos, tenderam a uma maior homogeneidade, que é reforçada no último perfil caracterizado como mais evoluído segundo EMBRAPA (2006).

A cor predominante dos perfis é 2,5YR, porém os valores de  $Fe_2O_3$  são classificados como hipoférricos. Segundo Yaalon (2009), é comum nos solos desenvolvidos sobre rochas calcárias forte pigmentação devido aos oxi-hidróxidos de ferro, mesmo quando os percentuais são menores que 3.

**Tabela 6** – Percentual dos Óxidos de Silício, Ferro, Alumínio, Manganês, Titânio e os índices moleculares Ki e Kr determinados no ataque sulfúrico para os perfis P1, P2, P3, P4 e P5

Horizonte	Profundidade cm	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Ki	Kr
		g.kg <sup>-1</sup>						
<b>P1 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupto plúntico (PVAe)</b>								
Ap	0-13	164,0	73,8	151,3	0,57	5,20	1,84	1,41
AB	13-23	267,0	79,8	179,8	0,52	5,43	2,52	1,97
Btc1	23-50	275,8	81,6	217,5	0,45	6,13	2,16	1,74
Btcf2	50-70	310,7	83,5	224,4	0,71	6,37	2,35	1,90
B/Ccf3	70-103	242,0	80,5	202,1	0,35	6,45	2,04	1,62
B/Cf	103-153+	268,5	75,6	191,4	0,41	5,65	2,38	1,90
<b>P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>								
Ap1	0-18	155,4	79,7	146,7	0,94	5,18	1,80	1,34
A2	18-37	161,3	86,6	153,1	0,93	5,28	1,79	1,32
Bi1	37-60	223,5	79,4	186,3	0,64	6,54	2,04	1,60
Bi2	60-95	207,2	88,2	196,4	0,64	7,05	1,79	1,39
Bi3	95-166	260,5	68,9	171,7	0,39	6,03	2,58	2,05
Bicf4	166-180	257,1	61,9	188,9	0,29	5,02	2,31	1,91
Bicf5	180-253	271,6	99,6	220,4	0,44	6,42	2,10	1,63
Cv1	253-285	323,3	49,7	122,7	1,95	4,48	4,48	3,56
Cr2	285-335	-	10,1	28,2	0,27	1,33	-0,87	-
Cr3	335-430+	10,8	17,9	50,2	0,31	2,18	0,37	0,30
<b>P3 – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico abrupto (PVAe)</b>								
Ap	0-29	184,5	67,9	137,6	0,81	5,28	2,28	1,73
Bt1	29-51	214,1	80,9	173,5	0,69	6,17	2,10	1,62
Bt2	51-86	261,4	86,7	187,8	0,46	6,22	2,37	1,83
Bt3	86-110	278,1	86,0	195,9	0,37	6,01	2,41	1,89
Btc4	110-140	268,5	97,8	207,5	0,91	6,25	2,20	1,69
Cv1	140-160	290,4	88,0	203,9	0,89	7,26	2,42	1,90
Cr2	160-190	7,0	15,3	43,0	0,15	1,81	0,28	0,22
<b>P4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>								
Ap	0-31	182,5	72,1	145,4	0,92	5,02	2,13	1,62
BA	31-54	271,0	77,5	210,3	0,52	6,13	2,19	1,77
Bi1	54-93	285,6	79,4	219,8	0,49	6,76	2,21	1,80
Bi2	93-135	249,7	64,1	175,9	0,50	5,07	2,41	1,96
Bi3	135-162+	266,4	71,8	195,2	0,44	5,39	2,32	1,88
<b>P5 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (PVe)</b>								
A	0-12	187,4	87,8	179,9	1,04	6,37	1,77	1,35
BA	12-44	295,0	87,1	245,0	0,67	6,54	2,05	1,67
B1	44-75	276,7	95,2	259,5	0,53	7,02	1,81	1,47
B2	75-124	301,4	95,1	260,7	0,47	6,52	1,97	1,59
B3	124-170+	305,4	94,9	254,6	0,37	5,89	2,04	1,65

**Tabela 7** – Valores de Ferro no Ditionito-Citrato-Bicarbonato de Sódio ( $Fe_d$ ), Ferro no Oxalato de Amônio ( $Fe_o$ ), Relação Ferro no Oxalato sobre Ferro no Ditionito ( $Fe_o/Fe_d$ ) e Relação Ferro no Ditionito sobre Argila ( $Fe_d/Arg$ ) dos perfis P1, P2, P3, P4 e P5

Horizonte	Profundidade	$Fe_d$	$Fe_o$	$Fe_o/Fe_d$	$Fe_d/Arg$
	cm				
<b>P1 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupto plúntico (PVAe)</b>					
Ap	0-13	20,41	2,58	0,13	0,05
AB	13-23	43,91	2,91	0,07	0,10
Btc1	23-50	27,84	2,54	0,09	0,04
Btcf2	50-70	26,34	1,92	0,07	0,04
B/Ccf3	70-103	22,79	1,59	0,07	0,04
B/Cf	103-153+	22,34	1,63	0,07	0,06
<b>P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>					
Ap1	0-18	28,24	2,23	0,08	0,10
A2	18-37	29,57	2,28	0,08	0,09
Bi1	37-60	29,28	2,72	0,09	0,07
Bi2	60-95	23,48	1,71	0,07	0,05
Bi3	95-166	26,62	1,08	0,04	0,06
Bicf4	166-180	30,80	1,89	0,06	0,07
Bicf5	180-253	31,95	1,80	0,06	0,07
Cv1	253-285	17,16	1,73	0,10	0,03
Cr2	285-335	2,59	0,39	0,15	0,02
Cr3	335-430+	3,34	3,79	1,14	0,02
<b>P3 – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico abrupto (PVAe)</b>					
Ap	0-29	20,27	2,39	0,12	0,06
Bt1	29-51	18,87	2,72	0,14	0,03
Bt2	51-86	18,00	2,25	0,13	0,03
Bt3	86-110	27,40	1,82	0,07	0,05
Btc4	110-140	35,29	2,88	0,08	0,07
Cv1	140-160	20,66	4,35	0,21	0,03
Cr2	160-190	10,36	0,79	0,08	0,04
<b>P4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>					
Ap	0-31	38,88	2,67	0,07	0,10
BA	31-54	23,97	2,85	0,12	0,05
Bi1	54-93	24,82	2,63	0,11	0,04
Bi2	93-135	31,26	2,44	0,08	0,05
Bi3	135-162+	20,54	2,72	0,13	0,04
<b>P5 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (PVe)</b>					
A	0-12	22,24	3,31	0,15	0,05
BA	12-44	17,84	2,80	0,16	0,03
B1	44-75	26,12	1,85	0,07	0,04
B2	75-124	20,84	2,32	0,11	0,03
B3	124-170+	24,82	1,51	0,06	0,05



**Tabela 8** – Valores de Ferro no Ditionito-Citrato-Bicarbonato de Sódio (Fe<sub>d</sub>) e Ferro no Oxalato de Amônio (Fe<sub>o</sub>) por classes de diâmetro nos perfis P1, P2, P3, P4 e P5 da área de estudo

Hor	Prof cm	Fe <sub>d</sub> g.kg <sup>-1</sup>					Fe <sub>o</sub> g.kg <sup>-1</sup>				
		C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
		<b>P1 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupto plúvico (PVAe)</b>									
Ap	0-13	13,70	36,62	110,23	24,12	0	1,05	2,14	3,12	5,25	0
AB	13-23	14,01	36,07	29,29	80,04	0	1,05	4,71	4,24	2,59	0
Btc1	23-50	19,51	26,52	89,86	81,84	0	0,90	3,62	3,38	2,14	0
Btcf2	50-70	22,00	19,92	37,88	23,44	76,59	1,51	3,40	3,21	3,31	5,06
B/Ccf3	70-103	20,48	32,15	30,35	84,82	79,21	0,89	2,17	1,86	2,01	1,80
B/Cf	103-153+	14,04	30,39	29,18	83,51	83,53	0,89	2,38	1,88	2,47	1,68
<b>P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>											
Ap1	0-18	11,34	22,83	33,71	28,05	0	1,16	4,02	3,95	3,12	0
A2	18-37	13,37	23,79	32,19	75,38	0	5,59	5,02	6,49	5,63	0
Bi1	37-60	12,64	28,94	34,71	22,73	0	1,29	3,91	6,74	6,32	0
Bi2	60-95	13,01	35,52	29,87	18,26	77,37	1,34	5,47	7,15	4,06	2,42
Bi3	95-166	16,69	23,30	71,49	17,83	0	1,78	3,40	7,19	5,97	0
Bicf4	166-180	26,56	60,22	18,26	15,53	60,76	1,66	1,95	1,70	1,89	2,41
Bicf5	180-253	19,38	25,07	28,83	15,21	99,41	1,90	2,19	2,10	1,69	2,11
Cv1	253-285	10,40	24,04	0	0	0	1,75	1,06	0	0	0
Cr2	285-335	2,07	2,20	0	0	0	1,52	0,48	0	0	0
Cr3	335-430+	1,88	0	0	0	0	2,25	0,73	0	0	0
<b>P3 – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico abrupto (PVAe)</b>											
Ap	0-29	13,48	29,49	74,98	107,49	0	0,89	1,01	4,25	2,58	0
Bt1	29-51	8,57	65,10	117,73	0	0	0,87	3,78	4,92	0	0
Bt2	51-86	9,94	66,86	19,70	87,40	0	0,85	2,89	4,57	7,66	0
Bt3	86-110	10,67	76,69	23,73	29,66	0	0,75	2,90	2,57	8,36	0
Btc4	110-140	16,77	67,65	28,88	22,98	23,62	1,22	2,93	3,77	2,61	2,67
Cv1	140-160	15,45	27,60	27,50	19,04	0	2,58	4,53	3,28	4,29	0
Cr2	160-190	4,48	7,86	0	0	0	0,67	0,54	0	0	0
<b>P4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)</b>											
Ap	0-31	13,55	33,08	73,05	23,03	20,50	0,99	6,44	5,56	2,62	1,39
BA	31-54	10,33	28,13	27,65	33,66	0	0,93	8,01	3,89	2,67	0
Bi1	54-93	10,80	32,28	75,00	52,58	0	1,01	3,85	2,43	2,38	0
Bi2	93-135	10,48	31,93	58,79	80,62	0	0,63	2,42	1,93	1,89	0
Bi3	135-162+	11,33	25,51	25,73	75,12	0	1,17	2,90	2,19	2,78	0
<b>P5 – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (PVe)</b>											
A	0-12	13,97	22,07	34,08	0	0	1,57	6,00	6,60	0	0
BA	12-44	20,38	23,90	30,67	0	0	1,45	4,43	3,78	0	0
B1	44-75	21,48	31,27	31,86	0	0	1,24	4,28	2,05	0	0
B2	75-124	24,11	31,48	29,65	0	0	1,17	2,91	1,82	0	0
B3	124-170+	21,29	32,22	23,72	0	0	1,26	4,47	1,42	0	0

Hor = Horizonte; Prof = Profundidade; C1 = 0,05 – 0,25 mm; C2 = 0,25 – 2 mm; C3 = 2 – 5 mm; C4 = 5 – 8 mm; C5 = 8 – 19 mm.

## 5 CONCLUSÕES

Solos desenvolvidos sobre rochas calcárias em clima semiárido apresentam forte relação com as características definidas para as Terras Rossa desenvolvidas sobre calcário em clima Mediterrâneo, principalmente em relação à cor e textura.

Muitas características contribuíram para a constatação da descontinuidade litológica, com destaque para as variações nos valores de Ferro e Titânio.

A tendência de redução dos nódulos de ferro nos horizontes e perfis mais evoluídos sugere que tais nódulos estão em processo de degradação.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, E. L. L. **Química e mineralogia de três pédons originários de calcário da Chapada do Apodi-CE**. 2002. 83f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.
- BENG, J. *et al.* The iron content of some red Mediterranean soils from northeast Spain and its pedogenic significance. **Catena**, v. 28, p. 211-229, 1997.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **LEVANTAMENTO EXPLORATÓRIO-RECONHECIMENTO DE SOLOS DO ESTADO DO CEARÁ**. Vol. 1. 297 p, Recife, 1973.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. SECRETARIA GERAL. **Projeto RADAMBRASIL**. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Vol. 23. 774 p, Rio de Janeiro, 1981.
- CALDAS, L. H. O. **Estudo geológico e geofísico da Falha de Carnaubais, Bacia Potiguar – RN, e implicações neotectônicas**. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Geologia) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 1998.
- CASSAB, R. C. T. **Paleontologia da Formação Jandaíra, Cretáceo Superior da Bacia Potiguar, com ênfase a Paleobiologia dos Gastrópodos**. Tese de Doutorado. (Doutorado em Geologia). UFRJ - Instituto de Geociências. Rio de Janeiro, 2003.
- COELHO, M. R.; VIDAL–TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do grupo Bauru. II – Mineralogia. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 495-507, 2003.
- CORRÊA, M. M. *et al.* Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1017-1031, 2008.
- COSTA, A.C. S. & BIGHAM, J. M. Óxidos de ferro. In: **Química e mineralogia do solo: Parte I (Conceitos Básicos)**. Capítulo VIII, Editores Vander de Freitas Melo, Luís Reynaldo Ferracciú alleoni. Viçosa, MG: SBCS, p. 509-572, 2009.
- CPRM. **Serviço Geológico do Brasil**. Acessado em: 20/7/2009. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>.
- D'AMORE, D. V.; STEWART, S. R.; HUDDLESTON, J. H. Saturation, Reduction, and the Formation of Iron–Manganese Concretions in the Jackson-Frazier Wetland, Oregon. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 68, p. 1012–1022, 2004.
- DARWISH, T.M.; ZURAYK, R.A. Distribution and nature of Red Mediterranean soils in Lebanon along the altitudinal sequence. **Catena**, v. 28, p. 191-202, 1997.
- DELGADO, R. *et al.* Genesis of the terra rossae of the Sierra Gádor (Andalusia, Spain). **Eur. J. Soil Sci.**, v. 54, p. 1-16, 2003.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Projetos: Perímetro irrigado Jaguaribe - Apodi**. Disponível em: <[http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros\\_irrigados/ce/jaguaribe\\_apodi.html](http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/jaguaribe_apodi.html)>. Acesso em 25/06/2009.

DURN, G.; OTTNER, F.; SLOVENEK, D. Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia. **Geoderma**, v. 91, p. 125-150, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de solos **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª edição, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 212p. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de solos 2006. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. 306 p. 2006.

FEDOROFF, N. Clay illuviation in Red Mediterranean soils. **Catena**, v.28, p. 171-189, 1997.

FENG, J.L. Trace elements in ferromanganese concretions, gibbsite spots, and the surrounding terra rossa overlying dolomite: Their mobilization, redistribution and fractionation. **J. Geochem. Explor.**, v. 108, p. 99-111, 2011.

FERREIRA, B. A. *et al.* Óxidos de ferro das frações areia e silte de um Nitossolo desenvolvido de basalto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 405-413, 2003.

FOSTER, J.; CHITTLEBOROUGH, D.J.; BAROVICH, K. Genesis of a Terra Rossa soil over marble and the influence of a neighbouring texture contrast soil at Delamere, South Australia. **SuperSoil 2004**. 3<sup>rd</sup> Australian New Zealand Soils Conference, 5 – 9 December, University of Sydney, Australia, 2004.

**GOOGLE EARTH**<sup>®</sup>, Disponível em [www.maps.google.com.br/maps](http://www.maps.google.com.br/maps). Acesso em 20/05/2010. 2011.

KHORMALI, F. *et al.* Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. **Catena**, v. 53, p. 273–301, 2003.

INDA JUNIOR, A.V.; KAMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 1139-1147, 2003.

JIMÉNEZ-MILLÁN, J.; NIETO, L.M. Geochemical and mineralogical evidence of tectonic and sedimentary factors controlling the origin of ferromanganese crusts associated to stratigraphic discontinuities (Betic Cordilleras, SE of Spain). **Chem. Erde – Geochem.**, v. 68, p. 323-336, 2008.

LYNCH, L.S. **Gênese e geoquímica de solos em ambiente cárstico no cerrado na região de Planaltina de Goiás**. 2009. 155 p. Tese de Doutorado. (Programa de Pós- Graduação em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

MEE, A. C.; BESTLANDA, E. A.; SPOONER, N. A. Age and origin of Terra Rossa soils in the Coonawarra area of South Australia. **Geomorphology**, v. 58, p. 1 –25, 2004.

- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clay Clay Miner.**, v.72, p. 317-327, 1960.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV. 107p, 2005.
- MIKO, S.; DURN, G.; PROHIĆ, E. Evaluation of terra rossa geochemical baselines from Croatian karst regions. **J. Geochem. Explor.**, v.66, p. 173–182, 1999.
- MOREIRA, H. L.; OLIVEIRA, V. Á. Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário êutrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1683-1690, 2008.
- MOTA, J.C.A. *et al.* Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na chapada do Apodi-RN. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 445-454, 2007.
- MUHN, D. R.; BUDAHN J. R. Geochemical evidence for African dust and volcanic ash inputs to terra rossa soils on carbonate reef terraces, northern Jamaica, West Indies. **Quatern. Int.**, v. 196, p. 13–35. 2009.
- OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 2ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574 p.
- PÉREZ, Y. A. R. *et al.* Caracterização da geometria de depósitos sedimentares da formação Açú na borda sudoeste da bacia Potiguar, NE do Brasil. **Revista de Geologia**, v. 16, p. 19-34, 2003.
- PRESS, F. *et al.* **Para entender a Terra**. 4.ed. Porto Alegre. Bookman. 2007. 656p.
- RESENDE, M. CURI; N. KER J.C.; REZENDE, S.B. **Mineralogia dos solos brasileiros: interpretação e aplicações**. Editora UFLA, 192p. 2005.
- SANTOS, R.D *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5<sup>a</sup>. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 100p, 2005.
- SALES, V. C.; PEULVAST, J. P. Evolução morfoestrutural do relevo da margem continental do estado do Ceará, nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 7, p. 1-21, 2007.
- SILVA, F.J. **Classificação de alguns solos identificados na Chapada do Apodi**. 1973. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 1973.
- SINGER, A.; SCHWERTMANN, U.; FRIEDL, J. Iron oxide mineralogy of Terre Rosse and Rendzinas in relation to their moisture end temperature regimes. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 49, p. 385-395, 1998.
- ŠUŠTERŠIČ, F. *et al.* The role of loamy sediment (terra rossa) in the context of steady state karst surface lowering. **Geomorphology**, v. 106, p. 35–45, 2009.

TARDY, Y.; NAHON, D. B. Geochemistry of laterites. Stability of Al-goethite, Al-hemathite end Fe<sup>3+</sup>-kaolinite in bauxites and ferricretes. An approach to the mechanism of concrecion formation. **Am. J. Sci.**, v. 285, p. 865-903, 1985.

TAWORNPRUEK, S. *et al.* Properties of red Oxisols on calcareous sedimentary rocks in Thailand. **Geoderma**, v. 136, p. 477-493, 2006.

**UNIVERSIDADE DE LEICESTER.** Disponível em: <<http://www2.le.ac.uk/departments/geology>>. Acessado em: 10/05/2009.

URLEY, A. L.; DREES, L. R. **Methods of Soil Analysis.** Soil Science Society of America. Madison. 521 p. 2008.

YAALON, D. H. Brief comments on red Mediterranean soils. **Catena**, v.76, p. 224, 2009.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci. Plan.**, v.19, p.1467-1476, 1988.

**APÊNDICE**

## PERFIL 1

### A - DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 04/12/2008

CLASSIFICAÇÃO SiBCS-2006: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico abrupático plúntico – PVAe

LOCALIZAÇÃO: Município de Limoeiro do Norte, Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi, Propriedade do Sr. Moises localizada a 3,5 km da sede da Fapija.

COORDENADAS: 5°09'29,1" S e 37°59'36,2" W

SITUAÇÃO - Descrito e coletado em trincheira na linha de plantio em área plana.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Jandaíra. Chapada do Apodi.

LITOLOGIA- Calcário.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Produto da alteração do calcário em mistura com outros materiais.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - Plano.

EROSAO - Não aparente.

DRENAGEM - Moderada a imperfeita.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Caatinga hiperxerófila.

USO ATUAL: Pomar de bananeira irrigado.

CLIMA: Bsw'h'.

DESCRITO E COLETADO POR: Paulo Klinger Tito Jacomine, Ricardo Espíndola Romero, Eisenhower Carvalho Braga Gomes.

### B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**Ap** 0 - 13 cm, bruno -avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido) e bruno - avermelhado (5YR 4/4, seco); argila com cascalho; moderada pequena blocos subangulares e moderada muito pequena a pequena granular ; poros comuns; muito duro, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e clara.

**ABn** 13 - 23 cm, bruno -avermelhado escuro (2,5YR 3/4, úmido) ; argila com cascalho; moderada grande a muito grande blocos angulares com tendência a prismática; poros comuns; muito duro, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e clara.

**Btcn1** 23 - 50 cm, vermelho (2,5YR 4/6, úmido); muito argilosa cascalhenta; moderada pequena à média blocos subangulares; muito duro, friável, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.

**Btcfn2** 50 - 70 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/6, úmido); argila muito cascalhenta; moderada pequena a media blocos subangulares; muito duro, friável, plástico e pegajoso; transição plana e clara.



**B/Ccfn370** - 103 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido), mosqueado bruno - forte (7,5 YR 5/8); argilosa muito cascalhenta; moderada muito pequena a pequena blocos subangulares a angulares; extremamente duro quando seco, mas, ao tentar tirar torrões, se desfaz nas frações grosseiras, cascalhos e calhaus (nódulos), plástico e pegajoso; transição ondulada e gradual.

**B/Cf** 103 - 153 cm+, mosqueado vermelho - amarelado (5YR 4/6) e bruno - amarelado (10YR 5/6); franco-argilo-arenosa muito cascalhenta; moderada muito pequena a pequena blocos subangulares e angulares; extremamente duro quando seco, mas, ao tentar tirar torrões, se desfaz nas frações grosseiras, cascalhos e calhaus (nódulos), plástico e pegajoso.

Raízes – Ap – muitas finas; ABn – poucas finas

#### **Observações:**

Presença de fenda de 0,5 a 1,0 cm, diminuindo para 3 mm.

Outras fendas menores que 3 mm até o horizonte Btcfn2.

Atividade biológica produzida por formigas até o horizonte AB.

Nos horizontes Btcfn3 e B/Cf/F a consistência foi descrita por mistura de nódulos de Fe e Mn com mistura de plintita.

## **PERFIL 2**

### **A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA – 06/03/2010

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico (CXbe)

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Propriedade do senhor Tafarel, Limoeiro do Norte (CE), 5°09'30,2" S e 37°59'36,8" W Gr.

ALTITUDE – 147 m

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira, em área plana, sob bananeiral.

LITOLOGIA – Calcário arenoso e arenitos calcíferos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Jandaíra. Grupo Apodi.

CRONOLOGIA – Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Calcário.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Boa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Caatinga hiperxerófila.

USO ATUAL – Bananeira.

CLIMA – Bsw'h'.

DESCRITO E COLETADO POR – Rodrigo de Oliveira Girão, Daniel Pontes de Oliveira e Leo Jackson da Silva Moreira.

## B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**Ap** 0-18 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seca); franco-argilo-arenosa cascalhenta; moderada média blocos subangulares; dura, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

**A2** 18-37 cm, bruno avermelhado (5YR 4/4, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/6, seca); argilosa cascalhenta; moderada média e grande blocos subangulares; muito dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta.

**Bi1** 37-60 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, seca); argilosa com cascalho; moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

**Bi2** 60-95 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida) e amarelo-avermelhado (5YR 6/8, seca); argilosa cascalhenta; moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**Bi3** 95-145 cm, vermelho-amarelado (5YR 4,5/8, úmida) e amarelo-avermelhado (5YR 6/8, seca); argilosa cascalhenta; moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição abrupta e ondulada (124-166 cm).

**Bicf4** 145-180 cm, amarelo (10YR 7/8, úmida) e amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, seca) mosqueado vermelho (2,5YR 5/8, úmida); argilosa muito cascalhenta; moderada média e grande blocos angulares e subangulares; macia e dura, muito friável e firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição irregular e gradual (176-184 cm).

**Bicf5** 180-253 cm, amarelo brunado (10YR 6/8, úmida) e amarelo (10YR 8/8, seca) mosqueado vermelho (2,5YR 5/8, úmida); argilosa argilosa muito cascalhenta; moderada média e grande blocos angulares e subangulares; macia e dura, muito friável e firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição irregular e abrupta (242-264 cm).

**Cv1** 253-285 cm, bruno amarelado (10YR 5/6, úmida) e amarelo brunado (10YR 6/6, seca) mosqueado comum, distinto a proeminente, médio preto (10YR 2/1, úmida); muito argilosa; slickensides comuns e fortes; forte grande prismática; extremamente dura, extremamente firme, muito plástica e muito pegajosa; transição irregular e abrupta (260-360 cm).

**Cr2** 285-335 cm, branco (10YR 8/1, úmida) e branco (10YR 8/1, seca) mosqueado preto (10YR 2/1, úmida) e amarelo brunado (10YR 6/8, úmida); siltosa; transição plana e gradual.

**Cr3** 335-430+ cm, bruno muito claro (10YR 7/5, úmida) e amarelo (10YR 8/5, seca) mosqueado preto (10YR 2/1, úmida) e cinza claro (10YR 7/1, úmida); média.

Raízes: Ap – comuns finas; A2 – raras médias e finas; Bi1 – raras médias e finas; Bi2 - raras médias e finas; Bi3 – raras médias e finas; Bicf4 – raras finas; Bicf5 – raras finas; Cv1 – raras finas.

### Observações:

Perfil descrito úmido.

Lamela (10YR 3/1) a 245 cm variando (240 a 250 cm) com espessura de 2 mm.

### **PERFIL 3**

#### **A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA – 16/10/2009.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico abruptico – PV Ae.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Propriedade do senhor Tafarel, Limoeiro do Norte (CE), 5°09'32,4" S e 37°59'37,3" W Gr.

ALTITUDE – 148 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira, em área plana, sob bananeiral.

LITOLOGIA – Calcário arenoso e arenitos calcíferos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Jandaíra. Grupo Apodi.

CRONOLOGIA – Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Calcário.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Moderada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Caatinga hiperxerófila.

USO ATUAL – Bananeiral.

CLIMA – Bsw'h'.

DESCRITO E COLETADO POR - Ricardo Espíndola Romero e Tiago Osório Ferreira

#### **B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**Ap** 0-29 cm, bruno-escuro (7,5YR 4/3, úmida) e bruno-escuro (7,5YR 4/5, seca); argilosa com cascalho; forte grande blocos subangulares; extremamente dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

**Bt1** 29-51 cm, vermelho (2,5YR 4/7, úmida) e bruno forte (7,5YR 5/8, seca); argilosa; forte média e grande blocos subangulares; dura, muito friável, muito plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

**Bt2** 51-86 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, seca); argilosa; moderada média e grande blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.

**Bt3** 86-110 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, seca); argilosa com cascalho; moderada média e grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, muito plástica e pegajosa; transição irregular e clara (97-136 cm).

**Btc4** 110-140 cm, amarelo brunado (10YR 6/8, úmida) e amarelo (10YR 7/8, seca); argilosa cascalhenta; extremamente dura, firme a muito firme, plástica e pegajosa; transição descontínua e abrupta (97-170 cm).

**Cv1** 140-160 cm, bruno amarelado (10YR 5/8, úmida) e amarelo brunado (10YR 6/8, seca); muito argilosa; slickensides comum a moderado, forte média e grande prismática e blocos angulares; extremamente dura, firme a muito firme, muito plástica e muito pegajosa; transição irregular e abrupta (115-187+ cm).

**Cr2** 160-187+ cm.

Raízes: Ap – comuns médias e poucas finas; Bt1 e Bt2 – raras médias; Bt3 e Btc4 – raras finas; Cv1 e Cr2 – ausente.

#### **Observações:**

Bolsão de atividade biológica entre 20 e 60 cm.

Horizonte Btc4 com estrutura tendendo a formar blocos subangulares.

Horizonte Cr2 em estado intermediário de decomposição.

## **PERFIL 4**

### **A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA – 16/10/2009.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico latossólico – CXbe  
LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Propriedade do senhor Robson, Limoeiro do Norte (CE), 5°09'33,8" S e 37°59'36,8" W Gr.

ALTITUDE – 148 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira, em área plana, sob bananeiral.

LITOLOGIA – Calcário arenoso e arenitos calcíferos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Jandaíra. Grupo Apodi.

CRONOLOGIA – Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Calcário.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Boa.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Caatinga hiperxerófila.

USO ATUAL – Bananeira.

CLIMA – Bsw'h'.

DESCRITO E COLETADO POR - Ricardo Espíndola Romero e Tiago Osório Ferreira

## **B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**Ap** 0-31 cm, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seca); argilosa com cascalho; moderada média e grande blocos subangulares; muito dura, muito firme, ligeiramente plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

**BA** 31-54 cm, vermelho (2,5YR 4/6, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/8, seca); argilosa com cascalho; moderada média e grande blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**B1** 54-93 cm, vermelho (2,5YR 4/6, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 5/7, seca); muito argilosa com cascalho; moderada média blocos subangulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**B2** 93-135 cm, vermelho (2,5YR 4,5/8, úmida) e amarelo-avermelhado (5YR 6/8, seca); argilosa com cascalho; moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**B3** 135-162+ cm, vermelho-amarelado (5YR 4,5/6, úmida) e bruno-forte (7,5YR 5/8, seca); argilosa com cascalho; moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura a dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Raízes: Ap – poucas médias e raras finas; BA - raras médias; B1 – raras médias; B2 – raras finas.

### **Observações:**

Perfil descrito seco.

Bolsão com material mais friável na profundidade de 80 a 120 cm com 25 cm de largura.

## **PERFIL 5**

### **A – DESCRIÇÃO GERAL**

DATA – 16/10/2009.

CLASSIFICAÇÃO SiBCS - ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico nitossólico (PVe)

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Propriedade do senhor Tafarel, Limoeiro do Norte (CE), 5°09'38,9" S e 37°59'37,6" W Gr.

ALTITUDE – 148 m.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em trincheira, em área plana, sob mata nativa.

LITOLOGIA – Calcário arenoso e arenitos calcíferos.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Formação Jandaíra. Grupo Apodi.

CRONOLOGIA – Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO – Calcário.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Plano.

RELEVO REGIONAL – Plano.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Acentuada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Caatinga hiperxerófila.

USO ATUAL – Mata nativa.

CLIMA – Bsw'h'.

DESCRITO E COLETADO POR - Ricardo Espíndola Romero e Tiago Osório Ferreira

## **B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

**A** 0-12 cm, vermelho-escuro-acinzentado (10R 3/4, úmida) e vermelho-amarelado (5YR 4/6, seca); argilosa com cascalho; moderada pequena, média e grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

**BA** 12-44 cm, vermelho (2,5YR 4/6, úmida) e vermelho (2,5YR 4/8, seca); muito argilosa; moderada média e grande blocos subangulares cerosidade pouca e fraca; dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

**B1** 44-75 cm, vermelho (2,5YR 4/7, úmida) e vermelho (2,5YR 5/8, seca); muito argilosa; moderada média blocos subangulares cerosidade comum e moderada; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

**B2** 75-124 cm, vermelho (2,5YR 4/8, úmida) e vermelho (2,5YR 5/7, seca) mosqueado vermelho (2,5 YR 4/6); muito argilosa; moderada média e grande blocos angulares e subangulares cerosidade abundante e forte; macia e dura, muito friável e firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

**B3** 124-170+ cm, vermelho (2,5YR 4/8, úmida) e vermelho (2,5YR 5/8, seca) mosqueado vermelho (2,5 YR 4/6); argilosa; moderada média e grande blocos angulares e subangulares cerosidade abundante e forte; macia e dura, muito friável e firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Raízes: A – poucas finas e raras médias; BA – raras finas e médias; Bi1 – raras médias e grossas; Bi2 – raras finas e Bi3 – raras finas médias.

### **Observações:**

Perfil descrito seco.

Presença de fendas de 3-5 mm no sentido vertical ao longo de toda a parede do perfil.

Plantas no local (Marmeleiro, Jurema Preta e Mufumbo).

Bi2 horizonte apresenta menor resistência à penetração da faca.

Bi3 horizonte apresenta material mais resistente, aparentando aspecto prismático mais avermelhado e com cerosidade.

Nos horizontes Bi2 e Bi3 predomina o material mais macio.

Grande quantidade de conchas alongadas (1,2 cm) e ovaladas (4 cm) na profundidade de 100 – 120 cm.