

MARIANA GABRIELE MARCOLINO GONÇALVES

**GÊNESE DE SOLOS COM HORIZONTE Bt NO DOMÍNIO GNÁISSICO DA  
DEPRESSÃO SEMIÁRIDA DO VALE DO JEQUITINHONHA, MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

G635g  
2016

Gonçalves, Mariana Gabriele Marcolino, 1990-  
Gênese de solos com horizonte Bt no domínio gnáissico da  
depressão semiárida do Vale do Jequitinhonha, MG / Mariana  
Gabriele Marcolino Gonçalves. – Viçosa, MG, 2016.  
x, 83f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: João Carlos Ker.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.56-66.

1. Solos argilosos. 2. Solos - Classificação - Minas Gerais.  
3. Solos - Análise. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Solos. Programa de Pós-graduação em Solos e  
Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD. 22 ed. 631.409815


MARIANA GABRIELE MARCOLINO GONÇALVES

**GÊNESE DE SOLOS COM HORIZONTE Bt NO DOMÍNIO GNÁISSICO  
DA DEPRESSÃO SEMIÁRIDA DO VALE DO JEQUITINHONHA, MG**


Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Solos e Nutrição de Plantas, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

APROVADA: 18 de julho de 2016.

  
Fábio Soares de Oliveira  
(Coorientador)

  
Carlos Ernesto G. R. Schaefer  
(Coorientador)

  
Anderson Almeida Pacheco

  
João Carlos Ker  
(Orientador)

Aos meus pais, Fátima e Messias.  
Aos meus irmãos, Bruno e Diogo.  
Ao Josimar.

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por Ele me dar forças, sabedoria e confortar meu coração nos momentos mais necessários.

Aos meus pais por me ajudarem a realizar meus sonhos e objetivos, fazendo de tudo para facilitar minha vida, me encorajando em minhas decisões e por serem para mim os maiores exemplos de pessoas honestas e trabalhadoras.

Aos meus irmãos por estarem sempre presentes e disponíveis a oferecer ajuda nos momentos de aperto.

Ao Josimar, por estar presente e me fazer sorrir em todos os momentos, fazendo com que tudo fosse mais tranquilo e parecesse simples.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Solos e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal pela estrutura e possibilitarem que eu fizesse o curso.

Ao professor e amigo João Ker, pela estimada amizade e orientação.

Aos professores do Departamento de Solos, especialmente os professores Liovando Marciano da Costa, Reinaldo Cantarutti, Júlio Neves, Leonardus Vergutz, Rafael Bragança, Igor Assis, Genelício Cruzoé e Maurício Fontes pelos ensinamentos transmitidos durante o curso de Mestrado.

Ao professor Fábio Soares de Oliveira pela estimada ajuda na interpretação das lâminas de micromorfologia.

Ao professor Carlos Ernersto G. R. Schaefer pelas contribuições acerca dos solos da região.

Aos amigos João e Daniel, que tanto ajudaram nos trabalhos realizados em campo e ao Anderson pelas dicas e ajuda na interpretação das análises mineralógicas.

Aos laboratoristas que contribuíram para a realização das análises: Claudinho, Luiz, Carlos Fonseca, Carlinhos, Paulo, Jorge e ao amigo Chico.

Aos funcionários do DPS: Luciana, Naian, Júlio e ao amigo Geovani que sempre estiveram disponíveis para ajudar.

Aos meu avós, que sempre mantiveram empenhada oração por mim e minha família.

A Izabela, pela prezada amizade, companhia e apoio em todas as fases dessa conquista.

A todos os amigos que fizeram parte dessa caminhada, seja com os encontros rápidos pela universidade ou nos finais de semana: Carol, Lothar, Clovis, Cileimar, Nina, Hermano, Igor, Rodrigo, Rosana, Débora, Vanessa, Ariadina, Luiz e Roberta.

Aos amigos do DPS que, além de companhia, foram indispensáveis nos momentos de estudo, descontração e nas dificuldades: Vanessa, Valéria, Lauana, Arlindo, Valdemir, Roberto, Gustavo, Martin, Letícia, Carlos, Nathalie, Leiliane e Thais.

A todos que, mesmo não os tendo citado contribuíram de alguma forma para que eu alcançasse essa conquista.

## **BIOGRAFIA**

MARIANA GABRIELE MARCOLINO GONÇALVES, filha de Fátima Marcolino Gonçalves e Messias Gonçalves, nasceu em Viçosa – MG no dia 24 de julho de 1990.

Em 2009 iniciou a graduação em Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, concluindo o curso em agosto de 2014. Neste mesmo mês iniciou mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na UFV.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1.INTRODUÇÃO .....	1
2.REVISÃO DE LITERATURA .....	2
2.1. Solos do semiárido brasileiro .....	2
2.1.1. Solos com horizonte Bt e micromorfologia .....	2
2.1.1.1. Luvisolos .....	5
2.1.1.2. Argissolos .....	6
2.1.2. Chernossolos .....	8
2.2. Argilas 2:1 .....	9
2.2.1. Esmectita.....	9
2.3. Efeito de alguns cátions no solo .....	10
3.MATERIAL E MÉTODOS .....	12
3.1. Caracterização da área de estudo.....	12
3.1.1. Localização.....	12
3.1.2. Clima, vegetação e geomorfologia .....	12
3.1.3. Geologia .....	14
3.2. Seleção dos perfis e coleta das amostras de solos .....	14
3.3. Caracterização Física.....	15
3.4. Caracterização química.....	15
3.4.1. Fertilidade do solo.....	15
3.4.2. Ataque sulfúrico .....	16
3.4.3. Ferro cristalino e ferro mal cristalizado.....	16
3.4.4. Ataque total da TFSA.....	16
3.5. Caracterizaçãomineralógica.....	17
3.6. Caracterização Micromorfológica .....	17
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
4.1. Características morfológica.....	18
4.2. Características físicas.....	25
4.3. Características químicas.....	28
4.3.1. Fertilidade do solo .....	28
4.3.2. Ataque sulfúrico.....	31
4.3.3. Ferro e Alumínio extraídos por ditionito e oxalato na fração argila.....	33
4.3.4. Ataque total da TFSA.....	35
4.4. Características mineralógicas.....	37
4.4.1. Fração argila.....	37
4.4.2. Frações areia e silte .....	41
4.5. Características micromorfológicas .....	47
5.CONCLUSÕES.....	56
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

## RESUMO

GONÇALVES, Mariana Gabriele Marcolino, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2016. **Gênese de solos com horizonte Bt no domínio gnáissico da depressão semiárida do Vale do Jequitinhonha, MG.** Orientador: João Carlos Ker. Coorientadores: Fábio Soares de Oliveira; Carlos Ernesto G. R. Schaefer.

A região semiárida brasileira ocupa aproximadamente 11,5 % do território nacional. A baixa precipitação, má distribuição das chuvas com longos períodos de estiagem e temperaturas elevadas, são características que condicionam a formação de solos diferentes daqueles comumente encontrados em regiões tropicais quentes e úmidas do país. Em Minas Gerais o semiárido ocorre predominantemente no norte do estado e ocupa cerca de 17 % do território mineiro, apresentando grande diversidade de solos. A classe dos Luvisolos, por exemplo, é de pequena expressão geográfica e ocorre apenas no extremo nordeste de Minas Gerais, próximo à divisa com a Bahia. Embora mais estudados na região semiárida dos estados do nordeste, são raros os estudos que contemplam a caracterização química, física, mineralógica e micromorfológica de solos com argila de atividade alta ou baixa com horizonte B textural no semiárido de Minas Gerais. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa é estudar as características físicas, químicas, mineralógicas e micromorfológicas destes solos para melhor compreender a sua pedogênese, com destaque para Luvisolos e Argissolos do semiárido mineiro. Para tanto, foram selecionados, descritos, amostrados e analisados solos das classes: Luvisolos (3), Argissolos (2) e Chernossolo (1). Após a seleção e coleta dos solos, procedeu-se às análises para caracterização dos mesmos. Além do  $\text{Na}^+$ , o  $\text{Mg}^{2+}$  parece exercer influência na dispersão da argila, contribuindo para a formação da estrutura colunar que se desfaz em blocos angulares e subangulares dos solos estudados. Há nestes solos uma considerável reserva de nutrientes devido à presença marcante de minerais primários facilmente intemperizáveis como os plagioclásios, ortoclásio e biotita nas frações silte e areia fina, contribuindo para a eutrofia determinada em todos os solos estudados. As condições de drenagem moderada e baixa precipitação permitem a formação de minerais 2:1 (expansíveis ou não), o que é corroborado pelos valores de  $K_i$  destes solos ( $K_i > 2,2$ ). Nos Argissolos e Luvisolos foi encontrada correlação significativa entre os teores de óxidos de Fe extraídos pelo ataque sulfúrico e alguns elementos-traço analisados pelo ataque total, reafirmando a afinidade geoquímica existente

entre o Fe e alguns destes elementos. Não foi constatada cerosidade na descrição de campo dos solos com Bt e a análise micromorfológica também não indicou a ocorrência de cutãs de iluviação, indicando que a lessivagem não foi o processo principal na formação do Bt. A presença de cutãs de estresse sugerem que a elutriação e a formação de argila “in situ” explicam melhor a gênese do horizonte Bt nos solos estudados.

## ABSTRACT

GONÇALVES, Mariana Gabriele Marcolino, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **Genesis of soils with Bthorizonin gneiss area of semiarid depression of the Vale do Jequitinhonha, MG.** Adviser: João Carlos Ker. Co-advisers: Fábio Soares de Oliveira; Carlos Ernesto G. R. Schaefer.

The Brazilian semiarid region occupies approximately 11, 5% of the national territory. Low and poor rainfall distribution with long periods of drought and high temperatures are characteristics that influence the soil formation which are different from those commonly found in warm and humid tropical regions. In the State of Minas Gerais the semiarid occurs dominantly in the northern and occupies about 17 % of the territory, with great diversity of soils. The class of Alfisols, for example, has a small geographical expression and occurs only in the northeast of Minas Gerais, near the border with the state of Bahia. Although most studied in the semiarid region of northeastern states, few studies that consider the chemical, physical, mineralogical and micromorphological soil with high or low activity clay and textural B horizon in the semiarid region of Minas Gerais. Thus, the objective of this research is to study the physical, chemical, mineralogical and micromorphological features these soils to better understand their pedogenesis, especially Alfisols and Ultisols of Minas Gerais semi-arid. To this end, were selected, described and sampled soils of the following classes: Alfisols, Ultisols and Mollisols. After selection and soil sampling, analysis for characterization were performed. In addition to  $\text{Na}^+$ , the  $\text{Mg}^{2+}$  it seems influences on clay dispersion, contributing to the formation of columnar structure breaks in angular blocks and subangular of soils studied. These soils have a considerable reserve of nutrients due to the strong presence of easily weatherable primary minerals as plagioclase, orthoclase and biotite in silt and fine sand fractions, contributing to eutrophic feature observed in all soils. The conditions of moderate drainage and low rainfall permit the formation of 2: 1 minerals (expandable or not), and it is corroborated by the high  $k_i$  values of these soils ( $k_i > 2.2$ ). In Ultisols and Alfisols significant correlation was found between the iron oxide content extracted by sulfuric acid attack and some trace elements analyzed by the total attack, reaffirming the geochemical affinity between Fe and some of these elements. It was not found in the waxy soil field description with Bt and micromorphological analysis also did not indicate the occurrence of illuvial clay coatings, indicating that lessivagem was not

the main process in the formation of Bt. The presence of stress-oriented clay suggest that elutriation and the formation of clay "in situ" better explain the genesis of the Bt horizon in the soils.

## 1. INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira ocupa área de cerca de 980.000 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 11,5 % da área do território nacional. Abrange as áreas genericamente denominadas de “sertões” dos Estados do MA, PI, CE, RN, PB; PE, BA e norte de MG e ES. São características desta região a baixa precipitação pluviométrica, a má distribuição das chuvas, com longos períodos de estiagem e temperaturas médias elevadas.

O conjunto de condições climáticas do semiárido brasileiro condicionam a ocorrência de solos com características químicas, físicas, morfológicas e mineralógicas que os diferenciam de solos de regiões tropicais quentes e úmidas do país. Embora cerca de 20 % dos solos da região semiárida brasileira sejam Latossolos, normalmente, os solos desta região são pouco evoluídos pedogeneticamente, de baixa atividade biológica, predominando solos com horizonte A fraco e, ou, moderado, portanto com baixos teores de matéria orgânica; podem ser eutróficos ou distróficos, com ou sem acúmulo de sais (Silva et al., 1993; Jacomine, 1996). Dentre outras ordens de solos comuns nesta região podem ser citados os Luvisolos, Planossolos e Vertissolos.

Em Minas Gerais, a região semiárida ocorre predominantemente no norte do Estado e ocupa cerca de 17 % do território mineiro. É grande a diversidade de solos nesta região com destaque para Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos, com pequena ocorrência de solos de outras classes típicas dos “sertões”.

A classe dos Luvisolos, por exemplo, é de pequena expressão geográfica e ocorre apenas no extremo nordeste de Minas Gerais, próximo à divisa com a Bahia (CETEC, 1980; UFV, 2010). Estes solos são encontrados nas áreas dos municípios de Jequitinhonha, Almenara, Salto da Divisa, Jacinto, Jordânia etc. no domínio de floresta tropical caducifólia, onde são muito utilizados com pecuária (CETEC, 1980; UFV, 2010). Vertissolos, Planossolos e Chernossolos ainda que existentes, não constituem unidades de mapeamento nos mapas de solos até então publicados, em razão de sua pequena ocorrência.

São características morfológicas marcantes de alguns solos da região semiárida de Minas Gerais: a pouca espessura do solum (A + B menor do que 100 cm); consistência dura, muito dura ou mesmo extremamente dura quando secos e muito plásticos e muito pegajosos quando úmidos; estrutura colunar ou em blocos

angulares; e fendilhamento expressivo ao longo do perfil. Todas estas feições encontram-se relacionadas com a mineralogia da fração argila, onde ocorre a presença de argilominerais do grupo das esmectitas. Não raramente, estes solos apresentam, ainda, teores elevados de Na e de Mg, sendo normalmente solódicos ou sódicos (CETEC, 1980; Brasil, 1987).

Embora mais estudados na região semiárida dos estados do nordeste, são raros os estudos que contemplam a caracterização química, física, mineralógica e micromorfológica de solos com argila de atividade alta ou baixa com horizonte B textural no semiárido de Minas Gerais. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa é estudar as características físicas, químicas, mineralógicas e micromorfológicas destes solos para melhor compreender a sua pedogênese, com destaque para Luvisolos e Argissolos do semiárido mineiro.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Solos do semiárido brasileiro**

O semiárido brasileiro apresenta uma grande variedade de paisagens e ambientes, que precisam ser destacados como características marcantes da região e que dificultam generalizações de diversos temas, inclusive solos (Cunha et al., 2010).

Há uma grande diversidade de materiais de origem, relevo e intensidade de aridez nessas regiões. Com isso, verifica-se a ocorrência de diversas classes de solo, que podem representar extensas áreas de solos pouco desenvolvidos ou, também, solos mais evoluídos e profundos (Jacomine, 1996; Cunha et al., 2010). Nessa região ocorre também expressiva ocorrência de solos com B textural (Jacomine et al., 1971, Jacomine et al., 1972; Jacomine et al., 1973a; Jacomine et al., 1973b; Jacomine, 1996).

#### **2.1.1. Solos com horizonte Bt e micromorfologia**

Horizonte Bt é um horizonte diagnóstico com significativo aumento de argila em subsuperfície. A diferenciação textural pode ser herdada do material de origem e, ou por processos de formação específicos (van Breeman & Burman, 2002; Soil Survey Staff, 2014).

Além da lessivagem, processo bastante relacionado à formação do gradiente textural em solos, podem ser citados outros processos, tais como: destruição de

minerais de argila do horizonte A, devido à liberação de ácidos provenientes da decomposição da matéria orgânica (Oliveira, 2007); formação de argila *in situ* ocasionada pela maior retenção de água no horizonte B em relação ao A, que causa maior intensidade de intemperismo químico (Albuquerque Neto, 1992) e; erosão diferencial da argila presente no horizonte A (elutriação) (Buol et al, 1973; Van Breemen & Buurman, 2002; Kämpf et al., 2012).

Um ou mais processos podem causar diferença textural e estes podem ocorrer de forma simultânea ou sequencialmente. O grau em que cada processo ocorre varia entre os solos, de forma que em alguns a iluviação de argila é significativa, em outros esse processo é substituído pela elutriação ou formação de argila *in situ* (van Breeman & Burman, 2002).

Nessa perspectiva, a micromorfologia tem grande importância por possibilitar a formulação de hipóteses ou demonstrar o desenvolvimento pedogenético destes horizontes, tentando esclarecer sua origem, evolução e comportamento (Castro, 2008).

Feição pedológica é um termo usado em micromorfologia para se referir a unidades discretas de fábrica, distintas do material adjacente devido à diferença nas concentrações de um ou mais componentes circundantes (Castro et al., 2003). As feições pedológicas texturais são caracterizadas pelo acúmulo de partículas, com tamanho e proporção variáveis, provenientes de translocações e deposições (Bullock et al. 1985; Kuhn et al. 2010).

Normalmente, as feições texturais são classificadas de acordo com a associação com superfícies naturais (poros, grãos, superfícies de agregados) podendo ser: de revestimento (cutãs), hiporevestimento, quase-revestimentos e de preenchimentos (Castro et al., 2003). Como exemplo de feições texturais tem-se os cutãs (clay coatings), revestimentos por frações grosseiras, revestimento em camadas, preenchimento (por silte, argila ou areia) e capeamento por silte.

Cutãs são importantes feições texturais quando se considera horizonte Bt. São caracterizados pela orientação contínua de partículas de argila paralelas à superfície com as quais estão associadas e quando a luz atravessa essas partículas de argila, observa-se características óticas distintas da matriz circundante (Kuhn et al., 2010).

Do ponto de vista genético, os cutãs podem ser de três tipos: de iluviação, originados da deposição de material translocado; de difusão, formados pela concentração de material na solução por difusão; ou de tensão e contração (cutãs de

estresse), decorrente de reorientações do plasma devido a forças diferenciais (Brewer, 1976). Alguns autores citam que o grau de orientação das partículas de argilas, laminações internas, e a nitidez entre o contato do cutã e a matriz circundante são fortes indicadores da origem iluvial da argila (Brewer & Haldane, 1957; Buol et al., 1973; Brewer, 1976; Bullock & Thompsom, 1985).

Uma característica da disposição dessas feições é citado por Bullock & Thompsom (1985), para auxiliar na diferenciação entre cutãs de iluviação e cutãs de estresse uma vez que, sob a luz, os cutãs de iluviação ocorrem como unidades quase individualizadas com maior ou menor estriação e separado da matriz adjacente. Já os cutãs de estresse fundem-se com a matriz adjacente, não aparecendo como unidade discreta. Entretanto, devido à maior dificuldade imposta por solos argilosos, estes autores sugerem a necessidade de mais estudos na distinção destas feições texturais nestes solos.

Além da composição granulométrica, a exposição de solos a ciclos de umedecimento e secagem muitas vezes também implica em dificuldade na identificação de cutãs iluviais (Bullock & Thompsom, 1985). Nunes et al. (2000) citam este processo de secagem e umedecimento como responsável pela formação de filmes de argila em solos com horizontes Bt na Zona da Mata mineira. Para estes autores, a ausência de preenchimento de poros deve-se à formação *in situ* dos cutãs, caracterizando cutãs de estresse. De forma semelhante, Carneiro et al. (1977) estudando a micropedologia de dois perfis anteriormente classificados como Podzólicos Vermelhos Amarelos Tb equivalente eutróficos, atual Argissolo Vermelho-Amarelo, na região do Vale do Rio Doce observaram pouca translocação de argila (cutã de iluviação) em comparação com a formação *in situ*, na forma de cutãs de estresse.

Oliveira et al. (2008) estudando a micromorfologia de Luvissolos dos estados da Paraíba e Pernambuco, constataram que a lessivagem não foi o principal processo de formação do gradiente textural e atribuíram essa característica à perda de argila do perfil por remoção ou destruição de argila. Corroborando com a hipótese de formação do horizonte Bt por outros processos que não a iluviação de argila, Holzhey et al. (1974) concluíram que cutãs iluviais são raramente preservados em solos esmectíticos e com COLE >5%.

Ibraimo et al. (2004) estudando solos sob vegetação xeromórfica na região dos lagos (RJ) verificaram que solos com argila de atividade alta apresentam cutãs com

uma dinâmica de formação e destruição constituindo uma trama birrefringente estriada, constatando cutãs de estresse nos planos de deslizamento e maioria destes cutãs sendo formados “*in situ*”, sem o indicativo de lessivagem.

#### **2.1.1.1. Luvisolos**

O termo Luvisolos, vem de *luvi*, do latim, *luere*, “lavar” é conotativo de transporte e acumulação de argila no horizonte Bt, de solos com alta saturação de bases e argila de atividade alta. Até passado recente estes solos eram classificados como Brunos não Cálcicos, solos de ampla distribuição geográfica na região semiárida brasileira (Resende, 1983; Sousa, 1986; Luz et al., 1992; Oliveira et al., 1992; Jacomine, 1996; Oliveira, 2007; Embrapa, 2013).

Os Luvisolos são solos de constituição mineral, não hidromórficos, que apresentam horizonte subsuperficial B textural (Bt), com argila de atividade alta (Ta) e saturação de bases alta ( $V > 50\%$ ), na maior parte dos primeiros 100 cm deste horizonte e imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, exceto A chernozêmico, ou sob horizonte E (Embrapa, 2013).

Estes solos apresentam pouco desenvolvimento pedogenético, sendo normalmente rasos e, ou, pouco profundos, que variam de bem a imperfeitamente drenados, com colorações variadas, tais como: avermelhada, achocolatada, amarelada e, menos frequentemente, brunada ou acinzentada. A estrutura é normalmente em blocos, moderada ou fortemente desenvolvida, ou colunar/prismática, composta de blocos angulares e subangulares. A transição entre os horizontes A, E e Bt nos Luvisolos é nítida, podendo ser clara ou abrupta (Oliveira et al., 1992; Embrapa, 2013).

Na região semiárida brasileira, os Luvisolos desenvolvem-se especialmente de gnaisse e micaxistos, podendo ou não ter contribuição de materiais transportados (Oliveira et al., 2009). Podem também ser formados a partir de outras rochas, como filitos, folhelhos, siltitos, calcários e sedimentos argiloarenosos (Jacomine et al., 1971, 1972, 1973a,b; Araújo Filho et al., 2000).

A fertilidade natural dos Luvisolos é alta. São solos eutróficos ainda que, em alguns solos, o  $\text{Na}^+$  ocupe parte expressiva do complexo de troca, caracterizando solos solódicos e mais raramente sódicos. Seu potencial agrícola, entretanto, é limitado devido às suas características físicas de pequena profundidade efetiva,

dureza acentuada e grande expansão e contração das argilas que favorece a erosão. Além disso, a formação de fendilhamento no solo prejudica o desenvolvimento radicular das plantas. A mudança textural abrupta também pode promover a redução da infiltração de água e penetração de raízes no solo (Resende, 1983; Amaral et al., 2013). Em função disso, na região em estudo, pastagens constituem o uso agrícola mais comum dos Luvisolos. Também ocorre em algumas áreas vegetação natural composta por Floresta Estacional Caducifólia, ainda que muito poucas (Camargo et al., 1970).

Segundo Resende (1989), a formação de Brunos-Não Cálcicos, atualmente, Luvisolos, só ocorre em pedoambientes favoráveis à formação de argila 2:1. As condições para que isso ocorra são: substrato rochoso rico em biotita (o que explica a riqueza comum de Mg em Luvisolos) ou depósito de material vértico, isto é, rico em mineral 2:1, junto com minerais ferruginosos, capazes de intemperização para liberação de Fe na formação de goethita e hematita. Além disso, para os minerais 2:1 serem formados são necessárias a presença de sílica e bases trocáveis, principalmente Mg (Borchardt, 1989).

Distintos processos podem ser responsáveis pela mudança muito repentina (abrupta) que ocorre em Luvisolos, muitas vezes sem evidências de que a diferença textural entre os horizontes superficiais e subsuperficiais tenha sido promovida pela lessivagem, com presença de cerosidade (Fanning & Fanning, 1989; Bronger & Bruhn, 1990; Phillips, 2004; Oliveira, 2007).

No processo de lessivagem as partículas da fração argila são transportadas em suspensão através do perfil do solo, como consequência os horizontes superficiais sofrem eluviação enquanto os subsuperficiais, iluviação (Buol et al., 1973; Van Breemen & Buurman, 2002; Kämpf et al., 2012). Dentre os fatores que promovem a lessivagem destacam-se: um processo físico, que causa o esboroamento e separação dos agregados, o qual é favorecido por ciclos de umedecimento e secagem do solo e, ou, por um processo químico, que consiste na dispersão dos colóides em suspensão devido à expansão da dupla camada difusa que ocorre pela elevada saturação por  $\text{Na}^+$  ou  $\text{Mg}^{2+}$  e pH elevado (Van Breemen & Buurman, 2002; Kämpf et al., 2012; Marchuk, 2013).

#### **2.1.1.2. Argissolos**

Argissolos são um grupamento de solos com horizonte B textural, com argila de atividade baixa, ou alta quando conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico. Esta denominação provém do latim, *argila*, “argila”, conotativo de solos com processo de acúmulo de argila no horizonte B. Apresentam cinco subordens que são definidas de acordo com a cor do solo. Entre outros, estão incluídos nessa classe os solos que anteriormente eram denominados Podzólicos Vermelho-Amarelos com argila de atividade baixa ou alta, Podzólico Amarelo e Podzólico Acinzentado (Embrapa, 2013).

Os Argissolos ocorrem nas mais diversas condições de formação de solos, ocorrendo em praticamente todas as regiões do país e, juntamente com os Latossolos, representa a ordem mais expressiva em extensão territorial no Brasil (IBGE, 2007).

Em pesquisas acerca de Argissolo Vermelho-Amarelo no Ceará, Mota et al. (2002), verificaram o predomínio de estrutura em blocos e presença marcante de cerosidade nas unidades estruturais do horizonte Bt, o que definiu este horizonte, já que a relação textural entre A e B foi de 1,5. Este solo, ocupa posições de topo e tem boa drenagem, dessa forma há uma constância em todo o perfil de caulinita, vermiculita e quartzo na fração argila cujos teores decrescem na ordem citada.

Os Argissolos podem apresentar mineralogia variada, sendo a caulinita frequentemente reportada como a principal constituinte da fração argila. (Perez et al., 1993; Mota et al. 2002; Costa Lima et al. 2008; Brighenti et al., 2012)

Costa Lima et al. (2008) estudando Argissolo originado de biotita-gnaiss em Pernambuco, verificou que a mineralogia da fração argila é constituída por caulinita, illita, e quartzo. Estes autores verificaram que a presença marcante de grãos de quartzo angulosos a muito angulosos nas frações grosseiras indicam a formação autóctone do referido perfil. Caulinita e illita também foram argilominerais predominantes em Argissolos de Santa Catarina (Brighenti et al. 2012) e de outras regiões brasileiras (Perez et al., 1993).

O ambiente de formação tem fundamental papel na fertilidade natural de Argissolos no Brasil. Aqueles oriundos da alteração de gnaiss de regiões com menor índice pluviométrico são geralmente mais férteis, tal como verificado por Moniz et al. (1990) em solos do trecho Cabo Frio-Xerém, Rio de Janeiro. Em regiões mais úmidas, entretanto, são constatados solos com baixa fertilidade natural (Duarte et al., 1996; Costa Lima et al., 2007).

A importância do clima é destacada também por Costa Lima et al. (2007). Estudando solos desenvolvidos de material de origem (biotita gnaisse e biotita hornblenda granito) em relevo semelhantes, mas em regiões fisiográficas diferentes, verificaram que o solo formado na região Agreste (semiárido) apresenta fertilidade mais elevada e maior reserva mineral que aquele formado na região de clima tropical chuvoso com verão quente, ambos no estado de Pernambuco.

### **2.1.2. Chernossolos**

O termo Chernossolo denota uma das 13 classes do primeiro nível categórico (Ordem) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS). Seu elemento formativo “*Cherno*” deriva do russo “*Chern*”, “Preto”, conotativo de solos ricos em matéria orgânica, com coloração escura e elevada fertilidade natural. Constitui um grupamento de solos com horizonte A chernozêmico, com argila de atividade alta e saturação por bases alta, com ou sem acumulação de carbonato de cálcio. Esta classe abrange os solos que anteriormente eram classificados como Brunizém, Rendzina e Brunizém Avermelhado (Embrapa, 2013).

O horizonte A chernozêmico apresenta estrutura suficientemente desenvolvida, com agregação e grau de desenvolvimento predominantemente moderado ou forte; croma menor ou igual a 3 e valor maior ou igual a 3 quando úmido; saturação por bases (V) de 65 % ou mais e conteúdo de carbono maior que 6 g/kg de solo (Embrapa, 2013).

Chernossolos apresentam pequena expressão geográfica no Brasil, com maior concentração na Campanha Gaúcha (RS). Nas outras regiões ocorrem de forma dispersa ou em pequenas áreas, como no Mato Grosso do Sul, Bahia e Rio Grande do Norte (IBGE, 2007).

Na fração argila destes solos, normalmente são encontradas montmorilonita, vermiculita, caulinita e micas (Abtahi e Khormali, 2001; Mella & Mermut, 2010; Vidal-Torrado, 2006; Pereira et al., 2012).

Chernossolos podem ser originados de diferentes materiais de origem a depender da interação dos demais fatores de formação, sobretudo clima, relevo e tempo de atuação dos processos de intemperismo e pedogênese. Em ambientes com drenagem restrita ou com períodos de baixa pluviosidade, estes solos podem ser formados a partir de rochas ferromagnesianas que são ricas em minerais contendo Fe

e Mg e plagioclásios cálcicos, que, nestes ambientes, são rapidamente intemperizados e originam solos argilosos com predomínio de esmectitas (Kämpf e Curi, 2012).

## **2.2.Argilas 2:1**

### **2.2.1. Esmectita**

O termo montmorilonita era usado como nome do atual grupo esmectita. Esse tipo de argila tem estrutura 2:1 semelhante à vermiculita, mas distinguem-se pela menor densidade de cargas nas camadas, de 0,2 a 0,6 por unidade de fórmula. As esmectitas dioctaedrais (montmorilonita, beidelita e nontronita) são as mais comuns de serem encontradas nos solos, sendo as trioctaedrais (hectorita, saponita e sauconita) mais raras, por serem menos estáveis (Borchardt, 1989; Kämpf e Curi, 2012).

A formação e a preservação das esmectitas são favorecidas por pedoambientes com drenagem restrita, sendo comuns em clima semiárido (Borchardt, 1989). Estas condições favorecem a manutenção de altas concentrações de íons necessários à precipitação de esmectitas (Azevedo e Vidal-Torrado, 2009), podendo estas serem formadas pela pedogênese ou originadas a partir do material de origem. Considerando a origem pela pedogênese, esmectitas podem ser formadas de mudanças estruturais e na carga das camadas de micas quando não há dissolução e reprecipitação (Borchardt, 1989; Churchman, 2000).

Relevo plano ou suave ondulado favorecem a formação e permanência destes argilominerais. Assim como partes mais baixas do relevo como terraços aluviais, fundos de bacias, ou em horizontes B desenvolvidos de rochas básicas em situação de baixa dessilicação (Lima et al. 1977; Volkoff & Melfi, 1980; Kämpf et al. 2012).

A grande expansividade e predomínio de cargas negativas fazem com que estas argilas sejam muito reativas. Grande parte da expansão e contração dos solos se deve à presença de esmectitas em sua constituição (Borchardt, 1989), sendo essa expansividade, que ocorre de acordo com a umidade, responsável pelo comum amassamento de raízes (Azevedo e Vidal-Torrado, 2009).

Esmectitas, juntamente com vermiculitas, são responsáveis pela maior contribuição para a capacidade de troca catiônica do solo. Devido às substituições

isomórficas, a CTC das esmectitas nos solos são bastante altas, variando de 50 a 160  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  (Borchardt, 1989). Além da troca de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e outros cátions, as esmectitas também desempenham importante papel de absorção de compostos orgânicos como herbicidas (Borchardt, 1989).

### **2.3. Efeito de alguns cátions no solo**

O efeito de cátions na estrutura dos solos se dá pela interação eletroquímica que ocorre entre os cátions e a argila. A principal característica deste efeito é a expansão e contração da massa do solo. Quando estes processos ocorrem de forma exagerada, pode ocorrer fragmentação das partículas ocasionando dispersão da argila e, conseqüente, alteração na estrutura do solo (Dias & Blanco, 2010; Sumner, 1993). A degradação física de solos afetados por sais tem sido bastante estudada em regiões semiáridas e maior atenção tem sido dada aos solos constituídos por montmorilonita e illita e, em menor grau, por caulinita (Sumner, 1993).

A dispersão da argila é considerado um dos principais mecanismos de degradação da estrutura, uma vez que promove mudanças em muitos processos que ocorrem nos solos (Chorom et al., 1994; Rengasamy, 2002). Dentre estes, podem ser citados os seguintes: redução da movimentação de água e nutrientes, má aeração do solo, prejuízos na condutividade hidráulica e aumento da erodibilidade (Oades, 1984; Rengasamy et al., 1991; Oster, 2001; Nguetnkam and Dultz, 2011;).

Tradicionalmente, efeitos negativos sobre a condutividade hidráulica e taxa de infiltração em solos tem sido associados a altos teores de sódio trocável. Apesar disso, o magnésio pode ser também responsável por estes fenômenos (Emerson and Smith, 1970; Rengasamy et al., 1986; Oster, 2001). Alguns experimentos de laboratório têm mostrado, em condições específicas, deterioração da estrutura do solo causada por Mg trocável (Rahman and Rowell, 1979; Schaefer, 1994; Dontsova and Norton, 1999; Zhang and Norton, 2002).

Os efeitos negativos do Mg se devem ao fato de este cátion apresentar grande raio iônico hidratado, sendo 50% maior que o do Ca (Oster, 2001). Dessa forma, na superfície de argilas onde Mg trocável está presente em maior quantidade, haverá uma tendência de absorver mais água em comparação àquelas argilas com predomínio de Ca trocável. Isso ocasionará a redução das forças que mantêm as

partículas do solo agregadas resultando em aumento da expansão e dispersão da argila (Curtin et al., 1994; Oster, 2001).

Estudando o efeito de diferentes relações Ca: Mg na infiltração de água e flocculação de solos com distintas mineralogias na região oeste dos Estados Unidos, em concordância com a constatação de Oster (2001), Dontsova & Norton (1999) concluíram que o efeito específico do Mg na flocculação das partículas do solo e selamento superficial ocorre devido a energia de hidratação do Mg ser maior que a do Ca. Estes autores explicaram também que a maior distância entre as camadas do mineral de argila e a menor atração entre as partículas, reduz a flocculação.

Em solos com predomínio de ilita na Austrália, Emerson & Baker (1973) verificaram que a PST necessária para a dispersão da argila era reduzida à metade quando o Mg era o cátion em maior quantidade se comparado ao  $\text{Ca}^{2+}$ .

Alperovitch et al. (1981) verificaram que em solos calcários, o Mg trocável não apresentou efeito específico na condutividade hidráulica, enquanto que em solos não-calcários o Mg trocável causou uma redução na condutividade hidráulica. Estes autores observaram que, em solos mais intemperizados, com menor liberação de sais para a solução do solo, o efeito do Mg é evidente tanto na redução da condutividade hidráulica quanto na dispersão de argila quando são saturados por Na/Mg e lixiviados com água destilada (simulação de chuva). Solos saturados com Mg são quimicamente mais estáveis e não liberam eletrólitos para a solução, assim, se dispersam mais facilmente quando lixiviados com água destilada (Kreit et al., 1982).

Ainda considerando a concentração eletrolítica da solução do solo, em solos afetados por sais em Roraima, Schaefer (1994) verificou que a estrutura colunar dos solos estava associada tanto com a saturação por Na, quanto por Mg ou pela saturação do solos por ambos os cátions. Baseado em resultados experimentais, este autor observou que o efeito específico do Mg em situação de baixa CTC e consequente baixa concentração de solutos no solo promoveu a degradação da estrutura. De acordo com os experimentos realizados por Schaefer (1994), ainda não é claro se o padrão de estrutura poderia ser facilmente extrapolado para a gênese de estrutura colunar no campo, entretanto, a evidência sugere que com baixa CTC e baixa atividade de argila, a condutividade hidráulica diminui tanto em solos saturados com Na quanto Mg, e poderia induzir a formação de estrutura colunar, enquanto maiores conteúdos de esmectita poderia favorecer a formação de colunas menores, mesmo quando associado a alto teores de Na ou Mg.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

##### 3.1.1. Localização

A área de estudo situa-se no nordeste de Minas Gerais, no Vale do Jequitinhonha. Encontra-se entre as coordenadas 16° S e 16°11' S e 39°57' W e 40°22' W, abrangendo os municípios de Salto da Divisa e Jacinto. (Figura 1)

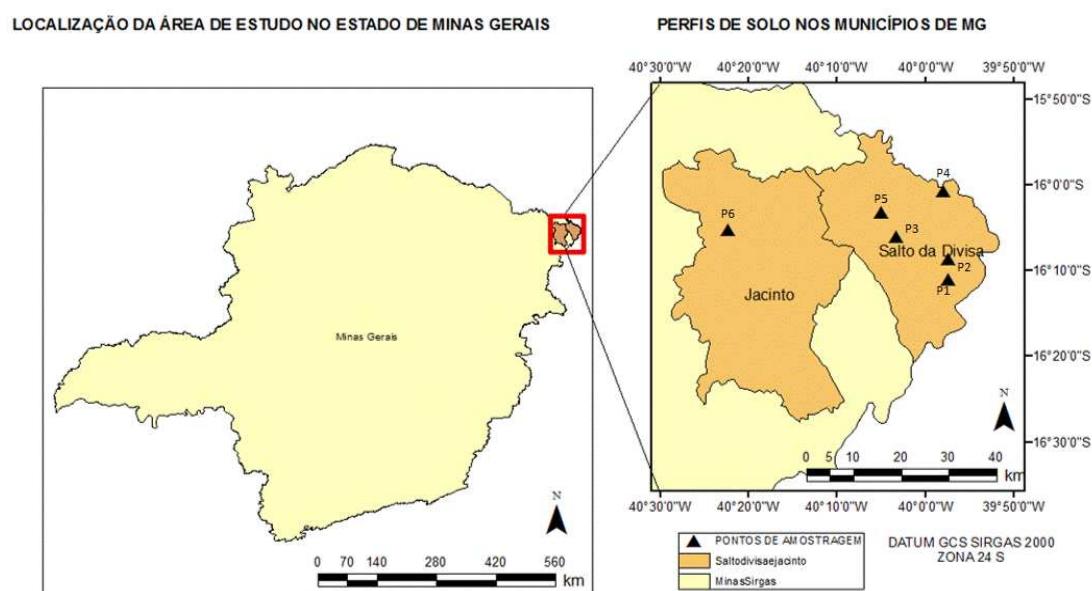


Figura 1. Localização da área de estudo e dos perfis coletados nos municípios de Salto da Divisa e Jacinto, semiárido de Minas Gerais

##### 3.1.2. Clima, vegetação e geomorfologia

A região apresenta clima semiárido Aw pela classificação de Köppen (Camargo et al., 1970; Brasil, 1987), com precipitação média anual de 800 mm (Brasil, 1987; ANA, 2016) e temperatura média de 23 °C (BRASIL, 1987; CPRM, 2000).

As condições hídricas e térmicas de chuvas concentradas em poucos meses, temperaturas altas na maior parte do ano e longo período seco são responsáveis pela

forte deficiência hídrica, prolongada por mais de 8 meses, principalmente nas faixas baixas do vale (Brasil, 1987). A vegetação natural é constituída pela Floresta Estacional Decidual, já bastante devastada (Camargo et al., 1970; CPRM, 2000; BRASIL, 1987), sendo grande parte da área ocupada por pastagem.

A região compreende duas unidades geomorfológicas: Serranias Marginais e a Depressão do Médio Jequitinhonha. Estas unidades correspondem a uma área deprimida relacionada com os vales do rio Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus, marcada por uma morfologia diferenciada com feições convexas, aguçadas e grandes extensões aplanadas. Tais características ocorrem devido aos diferentes estádios de evolução do relevo comandados pela dinâmica fluvial, levando em conta as fraquezas litológicas e as condições climáticas. A paisagem da região apresenta feições mais suaves, com cotas entre 150 e 300 m de altitude (BRASIL, 1987) (Figura 2).



Figura 2. Paisagem da área de estudo mostrando relevo suave ondulado em primeiro plano, e amplo uso com pastagem

### **3.1.3. Geologia**

A região extremo nordeste de Minas Gerais, apresenta de forma dominante duas unidades litoestratigráficas, assim enumeradas da base para o topo: Complexo Caraíba-Paramirim (Arqueano e Paleoproterozóico) e Complexo Paraíba do Sul (Neoproterozóico) (Brasil, 1987).

O Complexo Caraíba-Paramirim, refere-se a sequências de rochas gnáissicas, constituído por biotita-hornblenda gnaisses, gnaisses quartzo feldspáticos com ou sem muscovita, anfíbolitos e biotita xistos. Podem ocorrer afloramentos pontuais de rochas máficas ou ultramáficas (Brasil, 1987; CPRM, 2000). Os gnaisses podem ter sua constituição mineral formada de hornblenda verde-escura, quartzo incolor, feldspato, biotita marrom escuro, granada, magnetita e sulfetos (Brasil, 1987).

Esta unidade tem contato tectônico com as rochas do Complexo Paraíba do Sul, onde se encontram os perfis (P1, P2, P3, P5 e P6). Litologicamente, constitui-se por metatexitos, cujos paleossomas são representados por biotita e /ou hornblenda gnaisses e gnaisses kinzigíticos, com intercalações de anfíbolitos. Os gnaisses kinzigíticos são essencialmente constituídos por quartzo, feldspato e biotita (CPRM, 2000; Dias, 2012).

### **3.2. Seleção dos perfis e coleta das amostras de solos**

A área de estudo compreende uma mancha de Luvisolos conforme assinalado no mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (UFV, 2010) e pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC, 1980). O Projeto RadamBrasil (BRASIL, 1987), também indica a ocorrência de Luvisolos como segundo componente de unidade de mapeamento dominada por Argissolos. Após intenso percorrimto da área foram coletados seis perfis de solos, que apresentavam em comum,

características morfológicas indicativas de solos com argila de atividade alta no horizonte Bt (dureza e fendilhamento).

Após a seleção dos solos, foi feita a descrição morfológica e coletadas amostras deformadas e indeformadas de horizontes selecionados, de acordo com Santos et al. (2015). Na ocasião foi realizada a classificação preliminar dos solos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013). Foram coletados três perfis de Luvisolos, dois perfis de Argissolos e um perfil de Chernossolo.

Posteriormente, cada amostra foi seca ao ar, destorroada e passada em peneiras de malha de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), utilizada nas análises para caracterização química, física e mineralógica descritas a seguir.

### **3.3. Caracterização Física**

As análises físicas foram realizadas de acordo com os métodos apresentados em EMBRAPA (2011). Foram determinadas a composição granulométrica, com dispersão física, por meio de agitação, e química (NaOH 0,1 mol/L) da TFSA. Em seguida executou-se a separação das frações por meio de peneiramento e método da pipeta. A argila dispersa em água, foi obtida utilizando-se apenas água destilada; densidade do solo por meio do método do torrão parafinado, baseado na impermeabilização de um torrão em parafina, de maneira a permitir mergulhá-lo em água e determinar seu volume; densidade de partículas, obtida pelo método do balão volumétrico na TFSE, utilizando álcool etílico como líquido penetrante.

### **3.4. Caracterização química**

#### **3.4.1. Fertilidade do solo**

As análises químicas de rotina foram realizadas no laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFV. As seguintes determinações foram realizadas conforme descrito em Embrapa (2011): pH em água e em KCl 1 mol/L, ambos na relação 1:2,5 (solo:solução). Teores de P disponível,  $K^+$  e  $Na^+$  trocáveis, extraídos com extrator Mehlich-1 (relação 1:10); o P foi determinado pelo método da Vitamina C (Braga & Defelipo, 1974) e dosado por espectrofotometria de absorção molecular;  $K^+$  e  $Na^+$  foram dosados por espectrofotometria de emissão em chama. Teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  trocáveis, extraídos com KCl 1,0 mol/L (relação 1:10) e

dosados por espectrofotometria de absorção atômica; acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) extraída com KCl 1,0 mol/L (relação 1:10) e determinada por titulometria com NaOH (0,025 mol/L). Acidez potencial (H+Al), com extração por acetato de cálcio 0,5 mol/L a pH 7,0 (relação 1:5) e determinada por titulometria com NaOH (0,025 mol/L). Matéria orgânica do solo (MOS) foi determinada pelo método de Walkley & Black (1934), utilizando o dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) em meio ácido como oxidante. Fósforo remanescente (P-rem), concentração de P da solução de equilíbrio, após agitar, durante 1,0 h, 5,0 cm<sup>3</sup> de TFSA com 50 mL de solução de CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P (dosagem por espectrofotometria de absorção molecular) (Alvarez et al., 2000).

De posse destes resultados foram calculados: soma de bases (SB) ( $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$ ); capacidade efetiva de troca de cátions (t) ( $t = SB + Al^{3+}$ ); capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T) [ $T = SB + (H+Al)$ ]; capacidade de troca de cátions corrigida para a fração argila (CTCr) [ $CTCr = (T/\%arg) * 100$ ]; saturação por bases (V) ( $V = SB/T * 100$ ) e saturação por Al (m) ( $m = Al^{3+}/t * 100$ ), conforme Embrapa (2011).

#### **3.4.2. Ataque sulfúrico**

Os teores dos elementos Al ( $Al_2O_3$ ), Fe ( $Fe_2O_3$ ), Ti ( $TiO_2$ ), K ( $K_2O$ ) da TFSA, foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e de P ( $P_2O_5$ ) por espectrofotometria de absorção molecular, após digestão com  $H_2SO_4$  1:1 (volume) conforme descrito em Embrapa (2011).

#### **3.4.3. Ferro cristalino e ferro mal cristalizado**

A determinação do Fe e Al na fração argila foi realizada após três extrações com ditionito-citrato-bicarbonato, de acordo com Mehra e Jackson (1960), e por um extração com solução de oxalato de amônio, segundo McKeague & Day (1966). A leitura dos elementos deu-se em equipamento de espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 2011).

#### **3.4.4. Ataque total da TFSA**

Os teores totais doselementos Cd, Pb, Cr, Ni, Zn, Co e Cu, foram extraídos da TFSA por meio de uma solução triácida constituída por  $HClO_4$ ,  $HNO_3$  e HF

concentrados. A determinação foi realizada por espectrofotometria de emissão em plasma induzido (ICP-OES) (EMBRAPA, 2011).

### **3.5. Caracterização mineralógica**

#### **Difratometria de raios-x**

Amostras da TFSA em contato com solução NaOH 0,1 mol/L, alocadas em garrafas PET de 500 mL foram submetidas à dispersão mecânica em agitador vertical, durante 16 h, a 50 rpm. As frações areia fina e areia grossa foram separadas por peneiramento, enquanto que as frações silte e argila foram separadas por decantação, levando em consideração o tempo de sedimentação da fração silte, determinado pela Lei de Stokes.

As amostras de argila foram preparadas em lâminas de vidro, orientadas, e as amostras referentes às frações silte e areia montadas em lâminas escavadas, sem orientação (Whittig & Allardice, 1986).

Procedeu-se aos seguintes tratamentos para identificação de minerais 2:1 expansivos: saturação das amostras com K e aquecimento da lâmina saturada com K a 350 °C e 550 °C; saturação das lâminas com Mg; lâminas saturadas com Mg, posteriormente foram submetidas à saturação por glicerol(Whittig & Allardice, 1986).

Amostras de argila foram tratadas com NaOH 5 mol/L (Kämpf & Schwertmann, 1982), montadas em lâminas sem orientação para a identificação dos óxidos de Fe.

Foi utilizado o aparelho X'Pert PRO com radiação de Co ( $\text{CoK}\alpha$ ) na faixa entre 4 a 50 °2 $\theta$ , com tensão de 40 kV e corrente de 30 mA.

### **3.6. Caracterização Micromorfológica**

Amostras indeformadas de subhorizontes representativos foram coletadas para caracterização micromorfológica. Para confecção das seções delgadas, as amostras

indeformadas foram impregnadas com resina de poliéster, seccionadas, polidas e coladas em lâminas de vidro. As características micromorfológicas foram analisadas em microscópio óptico e descritas de acordo com Stoops (2003).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Características morfológicas**

Os Luvisolos e Argissolos apresentam horizonte A moderado, enquanto o P4 apresenta A chernozêmico, caracterizando a classe dos Chernossolos. A profundidade tanto dos horizontes A moderado quanto do A chernozêmico é de no máximo 20 cm. Nestes solos o horizonte A moderado tem estrutura moderada pequena a média blocos angulares a subangulares e o A chernozêmico apresenta, nos primeiros 5 cm, estrutura pequena a grande granular e, em seguida, estrutura pequena a média blocos subangulares.

As cores acinzentadas no horizonte A nos Luvisolos e Argissolos são reflexo da cor do quartzo, e presença de argilas com baixos teores de Fe, sendo esta última característica comprovada pelos baixos teores de óxidos de Fe obtidos pelo ataque sulfúrico (Quadro 4). A cor escura do horizonte A chernozêmico indicam maiores teores de matéria orgânica ligada à fração mineral.

A estrutura do horizonte Bt dos Argissolos e dos Luvisolos caracteriza-se como moderada a forte pequena colunar que se desfaz em de forte média a grande blocos angulares e subangulares. O Chernossolo apresenta estrutura forte pequena a grande blocos angulares a subangulares no horizonte Bi.

O solo com a maior profundidade de solum (88 cm) é o P2, Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto solódico. OP1 (Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto) é o mais raso (43 cm). Os perfis P3, P4, P5 e P6 são pouco profundos.

Na maioria dos perfis observa-se horizonte Bt avermelhado. Contudo, o P2 é o que possui coloração vermelha mais intensa (10R 3/4), podendo esta diferença na

intensidade da cor ser atribuída à sua posição na paisagem. Este perfil encontra-se em um relevo local um pouco mais ondulado, ocupando terço médio de encosta, com uma melhor drenagem, o que pode ter favorecido a formação da hematita. Apesar de ser a goethita o óxido de Fe predominante nos solos estudados, inclusive no P2, este é o único perfil que indicou a presença de hematita após a concentração de óxidos com NaOH 5 mol/L (Anexo 3). Nesse sentido, em Luvisolos de uma topossequência no Sertão de Pernambuco, Luz et al. (1992) verificaram que os solos de relevo mais acidentado, também em posição de encosta, eram mais avermelhados em relação aos de posições mais baixas. Oliveira (2007) também observou cores avermelhadas em Luvisolos com goethita sendo o óxido de Fe predominante na fração argila, esse autor associou a coloração observada ao alto poder pigmentante da hematita.

A textura dos horizontes A dos solos é franco-argiloarenosa ou francoarenosa. A textura dos horizontes B é argiloarenosa nos perfis P1, P3, P5 e P6, enquanto do P2 é argila e do P4 franco argilosa (Quadro 1). Os perfis P1, P2 e P3 apresentam mudança textural abrupta e, com exceção do P4, todos os demais solos estudados apresentam horizonte Bt. É possível que esta distinção esteja relacionada à diferença no material de origem destes solos, sendo o P4 (Chernossolo) provavelmente originado de uma intrusão de rocha máfica ou ultramáfica (Brasil, 1987; CPRM, 2000) e os demais solos de biotita-gnaiss.

O contraste visual entre os horizontes superficiais e subsuperficiais é marcante nos solos com horizonte Bt (Figuras 3 e 4), sendo o gradiente textural entre os horizontes A e B responsável por essa diferença. Não foi observada cerosidade nestes solos, sugerindo assim que a iluviação de argila não tenha sido o principal processo para a formação deste horizonte diagnóstico. A transição abrupta ou clara e plana é comum nos Luvisolos e Argissolos estudados e, segundo Resende (1983), a transição plana entre os horizontes A e B favorecer a ideia de formação do gradiente textural pela erosão diferencial de argila (elutriação).

Quanto à consistência do solo quando seco, os horizontes A variam de ligeiramente dura (P2 e P5) a muito dura (P6). A consistência quando úmida deste horizonte apresenta-se como friável nos perfis P1, P2, P3 e P5; firme no P4 e muito firme no P6. Quando molhados apresentam consistência que varia de ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa a muito plástica e muito pegajosa.

Os horizontes Bt dos Luvisolos e Argissolos e Bi do Chernossolo possuem consistência muito dura a extremamente dura quando secos, muito firmes quando

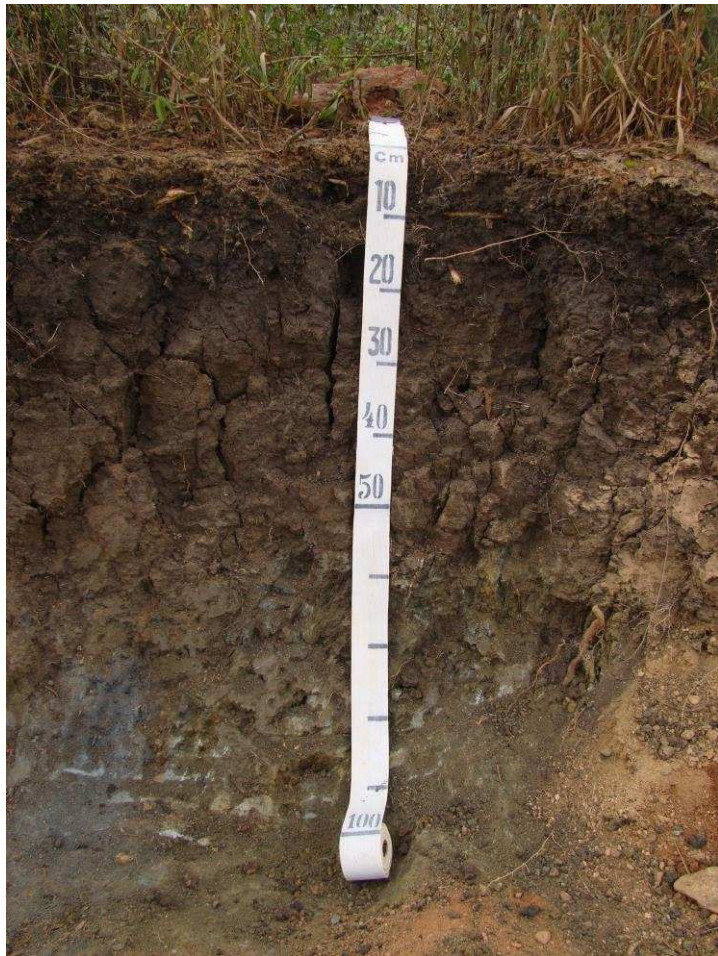
úmido e muito plásticos e muito pegajosos quando molhados. Além da presença de esmectitas nos perfis P2, P4 e P5, alta atividade da argila nos Luvisolos (P3, P5 e P6) e os altos teores de argila no horizonte B de todos os solos estudados, explicam a consistência observada.

Quadro 1. Características morfológicas dos solos estudados

Horizonte	Prof (cm)	Cor úmida	Classe textural	Estrutura <sup>1</sup>	Consistência <sup>2</sup>			Transição
					Seco	úmido	molhado	
P1 - Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto								
Ap	0-18	10YR 3,5/2	francoarenosa	mod peq a med bl sub	d	fr	plas e peg	cla e pla
Bt	18-43	5YR 4/4	argiloarenosa	mod peq col composta de for med a gran bl ang a sub	mt d	mt fir	plas e mt peg	cla e pla
BC	43-80	10YR 4/2	franco-argiloarenosa	mod méd a gran bl ang a sub	mt d	mt fir	mt plas e mt peg	
Crn	80-100		areia-franca	-				
P2 - Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto solódico								
A	0-16	7,5 YR 3/2	francoarenosa	mod peq bl sub	lig d	fri	plas e peg	abr e pla
2Bt1	16-38	2,5 YR 3/4	muito argilosa	for peq col composta de for med a gran bl ang a sub	mt d	mt fir	plas e mto peg	dif
2Bt2	38-59	2,5 YR 3/6	argila	for peq col composta de for med a gran bl ang a sub	mt d	mt fir	plas e mt peg	dif
2Bt3n	59-88	2,5 YR 3/6	argila	for peq col composta de for med a gran bl ang a sub	mt d	mt fir	plas e mt peg	cla e pla
2BCn	88-120	7,5 YR 5/6	argiloarenosa	for méd a gran bl ang a sub	ex d	mt fir	plas e peg	cla e pla
2Cn	120+	-	franco-argiloarenosa	for méd a gran bl ang a sub				
P3 - Luvisolo Háptico Órtico típico								
A	0-15	10YR 4/2	franco-argiloarenosa	mod peq bl sub	d	fri	lig plas e lig peg	abr e pla
Btn	45-70	5YR 5/3	argiloarenosa	for méd a gran bl ang a sub	mt d	mt fir	mt plas e mt peg	cla e pla
Crn	70-100+	-	areia	-				
P4 - Chernossolo Háptico Órtico vertissólico								
A	0-18	10 YR 3/1	franco-argiloarenosa	for bl sub composta por grân peq a gran	d	fir	plas e peg	grad e pla
Bi	18-56	10 YR 3/2	francoargilosa	for peq a gran bl ang a sub	mt d	mt fir	mt plas e mt peg	cla e ond
C	56-80+	-	areia	-				
P5 - Luvisolo Crômico Órtico solódico								
A	0-20	10 YR 3/1	francoarenosa	mod peq bl sub	lig d	fri	lig plas e lig peg	abr e pla
Btn	60-80	10 YR 5/4	franco-rgiloarenosa	for gran bl ang	ex d	mt fir	mt plas e mt peg	cla e ond
Crn	80-100	-	areia-franca	-				
P6 - Luvisolo Crômico Órtico solódico								
A	0-18	10 YR 3/2	francoarenosa	mod peq bl sub	mt d	mt fir	lig plas e lig peg	cla e pla
Btn	18-48	7,5 YR 4/6	franco-argiloarenosa	for méd a gran bl ang a sub	mt d	mt fir	mt plas e mt peg	grad e pla
Crn	48-75+	-	areia franca	-				

<sup>1</sup>Tipos: bl: blocos; ang: angulares; sub: subangulares; gran: granular; col: colunar; Classe de tamanho: mt: muito; peq: pequena; méd: média; gra: grande; Grau de desenvolvimento: mod: moderada; for: forte; <sup>2</sup>lig: ligeiramente; d: dura; mt: muito; ext: extremamente; f: friável; fir: firme; plas: plástica; peg: pegajosa. Grau: abr: abrupta; cla: clara; grad: gradual; dif.: difusa; Forma: pla: plana; ond: ondulada.







## 4.2. Características físicas

O P2 (Argissolo) apresenta os maiores valores de argila no horizonte B e por isso possui o teor de argila mais discrepante dos demais solos com horizonte B textural, o P1 (Argissolo) e os perfis P3, P5 e P6 (Luvisolos), mostram-se com composição textural semelhantes entre si. Além do horizonte Bt, estes solos apresentam em comum o material de origem. Já o Chernossolo, apresenta algumas diferenças que podem ser decorrentes do distinto material de origem já que, ao contrário dos demais, este solo apresenta distribuição homogênea de argila ao longo do perfil. Nesse sentido, a presença de fendilhamento e slickenside, ainda que pouco, sugerem que a homogeneização textural em solos com características vérticas, assim como verificado nesse perfil, seja promovida pela pedoturbação (Corrêa et al., 2003; Kämpf & Curi, 2012).

Os teores de silte encontram-se entre 6,05 a 17,46 % de solo com valores mais elevados no horizonte A dos Luvisolos e Argissolos, devido a remoção de argila nesse horizonte. Estes teores são relativamente baixos, considerando solos pouco intemperizados. Resultados semelhantes foram encontrados por Batista (1988) em solos afetados por sais na região semiárida da Paraíba que considerou que a expansão e contração da argila podem estar contribuindo para a quebra de partículas de silte. Exceto o P4 (Chernossolo Háptico Órtico vertissólico), em todos os demais solos houve predomínio de areia grossa sobre areia fina.

Em todos os solos estudados os teores de argila são mais elevados nos horizontes subsuperficiais (Quadro 2). Isso caracteriza o atributo diagnóstico de mudança textural abrupta em P1 e P2 (Argissolos) e no P3 e horizonte diagnóstico Bt em P5 e P6.

Apesar de elevados, os valores de argila dispersa em água destes solos, considerando todos os horizontes, foram menores que os observados em outros Luvisolos da mesma região (BRASIL, 1987), ou em solos semelhantes da região nordeste (Luz et al., 1992; Mota, 2002; Oliveira et al., 2009).

A densidade do solo nos horizontes Bt dos Argissolos e Luvisolos e Bi do Chernossolo apresentou valores entre 1,63 a 1,98 g/cm<sup>3</sup>. O teor mediano de argila dispersa em água deve ter favorecido a expansão e contração dos argilominerais, bem como a movimentação a curta distância, promovendo o preenchimento de poros e consequente aumento de valor da densidade.

Considerando o Mg como o cátion predominante no complexo de troca, este parece ser muito importante para a dispersão da argila dos solos estudados (Quadro 3). A saturação por sódio dos solos não é tão alta quanto a estrutura colunar ou em blocos angulares e subangulares e a dureza sugeriam. Vários trabalhos demonstram por meio de experimentos que o Mg atua na dispersão da argila e/ou na redução da condutividade hidráulica (Alperovitch et al., 1981; Shainberg et al., 1984; Schaefer, 1994; Dontsova & Norton, 1999; Marchuk, 2013). Dessa forma, o  $Mg^{2+}$  pode ter promovido a formação da estrutura observada nos solos estudados. Schaefer & Dalrymple (1996) observaram estrutura colunar em solos da Amazônia, mesmo com baixos valores de PST e atribuíram essa característica aos altos teores de  $Mg^{2+}$ .

Os solos estudados, seja com argila de atividade alta ou baixa, apresentaram estrutura colunar ou em blocos (angulares e subangulares) e pronunciada dureza. Mesmo naqueles horizontes em que a PST foi menor que 6%, os teores de Mg eram elevados. Nesse sentido, por meio de experimentos que relacionavam diferentes quantidades de argila e de teores de  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$ , Schaefer (1994) constatou que a saturação de solos com Mg e Na simultaneamente, era mais importante para a formação de estrutura colunar em solos do que o Na individualmente, tanto em argila de atividade alta quanto de atividade baixa, semelhante ao aqui verificado.

Os horizontes Bt dos Luvisolos (P3, P5 e P6) foram os que apresentaram os menores graus de flocculação, reafirmando a ação da PST na dispersão da argila, já que estes solos são sódicos (P3) ou solódicos (P5 e P6).

Nos perfis P1, P3, P4, P5 e P6 há uma tendência de maior grau de flocculação nos horizontes superficiais em relação aos subsuperficiais, provavelmente devido a ação cimentante da matéria orgânica ou ao fato de que grande parte das argilas mais propícias à dispersão já foram transportadas, permanecendo aquelas com maior estabilidade. Ademais, os menores valores de  $Na^+$  verificados nos horizontes A de P1, P2, P3, P5 e P6 (solos com Bt e mesmo material de origem), permitem maior flocculação nestes horizontes, quando comparados aos horizontes Bt.

Quadro 2. Características físicas dos solos estudados

	Prof. -cm-	Dp <sup>(1)</sup> -----g/cm <sup>3</sup> -----	Ds <sup>(2)</sup>	AG <sup>(3)</sup>	AF <sup>(4)</sup>	Argila	Silte	ADA <sup>(5)</sup>	Silte/Argila	AG/AF	GF <sup>(6)</sup> %	RT <sup>(7)</sup>	Classe textural
P1 - Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico													
Ap	0-18	2,52	-	39,37	25,17	25,45	9,92	6,76	0,39	0,16	73,43	1,99	francoarenosa
Bt	18-43	2,55	1,74	27,23	14,16	50,69	7,89	13,84	0,16	0,19	72,67		argiloarenosa
BC	43-80	2,64	1,98	36,79	17,36	36,51	9,30	11,30	0,25	0,21	69,06		franco-argiloarenosa
Crn	80-100	2,67	-	62,70	20,09	10,01	7,20	2,95	0,72	0,31	70,68		areia-franca
P2 - Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico solódico													
A	0-16	2,53	-	45,32	20,65	19,91	14,13	6,49	0,71	0,22	67,33	3,32	francoarenoso
2Bt1	16-38	2,64	1,63	18,53	7,74	66,18	7,56	19,18	0,11	0,24	70,97		muito argiloso
2Bt2	38-59	2,77	1,63	22,97	6,12	62,73	8,18	18,79	0,13	0,38	70,07		argila
2Bt3n	59-88	2,65	1,73	24,37	8,08	55,22	12,33	15,52	0,22	0,30	71,83		argila
2BCn	88-120	2,58	1,69	27,25	14,27	42,49	15,98	15,99	0,38	0,19	62,34		argiloarenosa
2Cn	120+	2,84	-	38,47	12,47	31,60	17,46	12,33	0,55	0,31	56,71		franco- argilorenosa
P3 - Luvisolo Háplico Órtico típico													
A	0-15	2,59	-	45,01	24,25	22,13	8,61	8,17	0,39	0,19	62,98	1,90	franco-argiloarenosa
Btn	45-70	2,70	1,81	34,50	17,02	42,05	6,40	33,23	0,15	0,20	20,83		argiloarenosa
Crn	70-100+	2,69	-	73,70	12,72	7,53	6,05	2,58	0,80	0,58	65,68		areia
P4 - Chernossolo Háplico Órtico vertissólico													
A	0-18	2,69	-	24,07	29,22	32,14	14,57	7,36	0,45	0,08	77,04	1,21	franco-argiloarenosa
Bi	18-56	2,78	1,89	18,67	25,35	38,97	17,02	14,06	0,44	0,07	63,93		franco-argiloarenosa
C	56-80+	3,14	-	48,10	36,71	7,01	8,18	2,52	1,17	0,13	63,78		areia
P5-Luvisolo Crômico Órtico solódico													
A	0-20	2,62	-	45,43	22,35	20,61	11,61	5,88	0,56	0,20	71,41	1,84	francoarenosa
Btn	60-80	2,67	1,90	38,01	13,36	37,85	10,79	16,07	0,29	0,28	57,53		franco-argiloarenosa
Crn	80-100	2,61	-	68,65	11,32	10,47	9,56	2,61	0,91	0,61	75,01		areia franca
P6 - Luvisolo Crômico Órtico solódico													
Ap	0-18	2,57	-	40,95	21,23	22,61	15,15	6,90	0,67	0,19	69,41	1,77	francoarenoso
Btn	18-48	2,61	1,83	33,79	11,45	40,04	14,72	15,50	0,37	0,30	61,29		franco-argiloarenosa
Crn	48-75+	2,69	-	61,06	12,88	14,17	11,90	4,61	0,84	0,47	67,45		areia-franca

<sup>(1)</sup> Densidade de partículas; <sup>(2)</sup> Densidade do solo; <sup>(3)</sup> Areia grossa; <sup>(4)</sup> Areia fina; <sup>(5)</sup> Argila dispersa em água; <sup>(6)</sup> Grau de flocculação; <sup>(7)</sup> Relação textural

### 4.3. Características químicas

#### 4.3.1. Fertilidade do solo

Todos os solos estudados apresentaram pH em água maiores que o pH em KCl, demonstrando um predomínio de cargas negativas na superfície dos colóides (Quadro 3). O horizonte A da maioria dos perfis (exceto P3) possuem pH mais baixos do que os horizontes Bt e Bi, condição provavelmente promovida pela constituição mais arenosa deste horizonte, que favorece os processos de lixiviação ou perda de bases por erosão.

Verifica-se elevada saturação e soma de bases, resultando em eutrofia ( $V > 50\%$ ) em todos os solos. Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  são os mais elevados, com o  $\text{Ca}^{2+}$  apresentando valores situados entre 0,13 a 5,76  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  de solo. Estes teores devem estar diretamente relacionados com a presença de biotita e plagioclásios no material de origem, confirmado pela difratometria de raio-x das frações silte e areia fina destes solos (Fanning et al, 1989; Huang, 1989)

O  $\text{Ca}^{2+}$  possui uma pequena variação entre os horizontes A e B, tendência semelhante de distribuição foi observada em Luvisolos por Mota (1997) no estado do Ceará, Sousa (1986) no Sertão do Pajeú (PE) e Oliveira (2007) no semiárido de Pernambuco e da Paraíba.

O  $\text{Mg}^{2+}$  apresenta maior disponibilidade nos horizontes subsuperficiais, variando de 2,03 a 21,75  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  de solo, resultados similares foram obtidos por Oliveira (2007). Geralmente, em Luvisolos são determinados maiores teores de Ca em relação ao Mg (Resende, 1983; Mota 1997; Araújo, 2000; Oliveira, 2007), entretanto é observada tendência contrária nos solos estudados. Isso também é associado à presença de minerais facilmente intemperizáveis presentes nestes solos.

A porcentagem de saturação de sódio (PST) de modo geral é baixa nos horizontes A, mas aumentam substancialmente em profundidade. Os perfis 2, 5 e 6 apresentam caráter solódico, enquanto que o perfil 3 possui caráter sódico com PST de 32,89 %. A sodicidade do perfil 3 é confirmada pela presença de “lagoas com água salgada” próximo ao perfil<sup>1</sup>. Nos Luvisolos e Argissolos o maior teor de  $\text{Na}^+$  é verificado nos horizontes C ou Cr, o que está em concordância com a presença

---

<sup>1</sup> Informação obtida a partir de relatos de agricultores da área.

expressiva de plagioclásios sódicos nas frações silte e areia, contribuindo para a liberação destes elementos na solução do solo.

É observado um decréscimo de  $K^+$  com a profundidade nos Argissolos e Luvisolos e aumento de  $K^+$  com a profundidade no Chernossolo. Este nutriente apresenta disponibilidade média no P5 e muito boa em P1, P2, P3 e P6. O P4 (Chernossolo) entretanto, possui disponibilidade muito baixa deste nutriente (Ribeiro et al., 1999).

O P disponível variou entre os solos e, exceto o P4, todos os outros apresentaram maior teor no horizonte A em relação ao horizonte B. O P1 foi o solo que apresentou maior teor no horizonte A, com 20,27 mg/kg de P, enquanto o P5 apresentou o menor valor, de 0,75 mg/kg. A classe de disponibilidade de fósforo, é baixa ou muito baixa nos solos estudados (Ribeiro et al., 1999). Entretanto, o P4 apresentou um valor alto de fósforo disponível no horizonte C e, provavelmente este está ligado ao Ca, já que em solos com altos teores desse elemento e com reação alcalina, o fósforo tende a estar ligado a cálcio (P-Ca) (Novais & Kamprath, 1978).

Os teores de carbono orgânico são relativamente altos. Os valores obtidos de carbono orgânico nos solos estudados são maiores que os encontrados por Luz et al. (1992), Mota (1997), Araújo (2000), Oliveira (2007) em Luvisolos da região nordeste do Brasil e também maiores que os encontrados por Lima (2014) em outras classes de solo dessa região. Entretanto, são descritos perfis de Luvisolos (Brunos Não-Cálcicos) em BRASIL (1987) na região semiárida de Minas Gerais com valores semelhantes de carbono orgânico, muito provavelmente devido às condições climáticas menos severas (floresta estacional decidual) do que na região semiárida do nordeste, dominada por caatinga.

Quadro 3. Características químicas dos solos estudados

Horizonte	Prof. --cm--	pH <sup>(1)</sup>		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	T	t	CTCr	V	m	PST	C. org	P	P-rem			
		H <sub>2</sub> O	KCl																			
-----cmolc/kg-----																			-----%-----		-----mg/kg-----	
P1 – Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico																						
Ap	0-18	5,51	4,93	2,27	2,03	0,61	0,00	0,03	1,86	4,90	6,77	4,94	27,00	72,47	0,70	0,00	1,34	20,27	50,65			
Bt	18-43	5,75	5,11	3,54	6,14	0,34	0,23	0,05	1,09	10,26	11,35	10,31	22,00	90,40	0,50	2,06	1,20	12,67	29,84			
BC	43-80	6,16	5,59	2,91	7,41	0,16	0,53	0,02	0,36	11,01	11,38	11,03	31,00	96,81	0,20	4,64	1,14	6,86	36,84			
Crn	80-100	6,31	5,46	1,81	4,27	0,02	1,06	0,02	0,02	7,16	7,19	7,19	72,00	99,66	0,40	14,79	-	1,62	56,28			
P2 - Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico solódico																						
A	0-16	5,83	5,55	2,47	3,12	0,91	0,01	0,02	1,52	6,51	8,04	6,53	40,00	81,03	0,30	0,10	2,11	1,39	47,72			
2Bt <sub>1</sub>	16-38	6,14	5,35	2,30	10,75	0,56	0,29	0,06	1,57	13,90	15,47	13,96	23,00	89,84	0,40	1,90	1,94	0,04	15,39			
2Bt <sub>2</sub>	38-59	6,14	5,30	1,83	11,52	0,44	0,48	0,03	1,38	14,27	15,65	14,30	25,00	91,19	0,20	3,07	1,18	0,01	16,61			
2Bt <sub>3n</sub>	59-88	6,20	5,14	0,52	10,30	0,15	0,79	0,06	1,19	11,75	12,94	11,81	23,00	90,84	0,50	6,07	1,35	0,01	26,67			
2BCn	88-120	6,31	4,84	0,56	14,96	0,10	1,45	0,08	0,70	17,08	17,78	17,16	42,00	96,05	0,50	8,16	1,30	1,04	45,65			
2Cn	120+	6,56	5,04	0,67	16,15	0,08	1,77	0,05	0,41	18,66	19,07	18,71	60,00	97,84	0,30	9,26	1,31	14,43	51,15			
P3 - Luvissole Háplico Órtico típico																						
A	0-15	5,73	5,13	1,24	2,26	0,89	0,22	0,04	1,19	4,61	5,80	4,66	26,00	79,56	1,00	3,77	1,55	5,76	52,40			
Btn	45-70	5,31	4,28	0,30	6,74	0,01	4,08	0,20	1,28	11,12	12,40	11,32	29,00	89,66	1,80	32,89	1,39	0,74	47,65			
Crn	70-	5,88	5,05	0,13	2,34	0,00	1,40	0,04	0,02	3,88	3,90	3,92	52,00	99,38	1,00	36,01	-	1,39	57,22			
P4 - Chernossolo Háplico Órtico vertissólico																						
A	0-18	6,00	5,55	5,76	8,65	0,01	0,28	0,01	2,25	14,69	16,94	14,71	53,00	86,70	0,10	1,64	2,09	3,24	39,03			
Bi	18-56	6,58	5,81	5,33	21,75	0,05	0,52	0,01	0,60	27,65	28,25	27,65	72,00	97,86	0,00	1,83	1,10	18,28	35,40			
C	56-80+	7,11	5,44	1,95	14,22	0,12	0,11	0,00	0,15	16,39	16,53	16,39	236,00	99,12	0,00	0,65	1,25	545,20	54,22			
P5 - Luvissole Crômico Órtico solódico																						
A	0-20	5,65	5,22	2,61	2,69	0,13	0,10	0,09	1,91	5,52	7,43	5,61	36,00	74,28	1,50	1,29	1,98	0,75	48,15			
Btn	60-80	6,44	5,53	2,59	10,38	0,05	1,34	0,01	0,46	14,37	14,83	14,38	39,00	96,90	0,10	9,03	1,76	0,29	40,15			
Crn	80-100	7,40	6,02	0,75	4,62	0,01	1,14	0,01	0,02	6,51	6,54	6,52	62,00	99,63	0,10	17,43	-	5,31	58,22			
P6 - Luvissole Crômico Órtico solódico																						
Ap	0-18	5,92	5,26	1,64	2,03	0,53	0,02	0,03	1,72	4,22	5,94	4,25	26,00	71,07	0,70	0,32	1,82	8,74	47,22			
Btn	18-48	6,23	4,64	1,00	7,82	0,09	0,92	0,23	1,67	9,82	11,49	10,06	29,00	85,47	2,30	8,02	1,41	0,83	41,31			
Crn	48-75+	6,02	4,95	0,30	6,68	0,00	3,95	0,04	0,41	10,93	11,34	10,97	80,00	96,37	0,40	34,86	-	15,41	29,56			

<sup>(1)</sup>Relação solo: água ou solo: KCl 1:2,5; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> - Extrator KCl 1,0 mol/L; K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, P - Extrator Mehlich-1; H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L (pH 7,0); SB - Soma de Bases Trocáveis; T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC- Atividade da fração argila; V - Saturação por Bases; m - Saturação por Al; PST - Porcentagem de saturação por sódio; C. Org - Carbono orgânico (Walkley-Black); P-rem - Fósforo Remanescente.

### 4.3.2. Ataque sulfúrico

A variação nos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nos solos estudados indica alguma mudança nos pedoambientes e na composição do material de origem. São observados valores maiores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nos horizontes subsuperficiais em comparação aos superficiais. Isso porque nos horizontes subsuperficiais se encontram maiores teores de argila, onde se concentra a maior proporção de óxidos de Fe. Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  seguem a um mesmo padrão de distribuição dos óxidos de Fe.

Os perfis P3 e P5, que se encontram em posição inferior na paisagem, apresentam os menores teores de óxidos de Fe em todos os horizontes e menor teor de  $\text{SiO}_2$  no horizonte superficial. Além disso o P3 possui o horizonte Bt com o pH mais baixo dentre os solos estudados. Isso pode estar relacionado a redução e remoção de Fe durante a gênese desses solos (Schwertman, 1988).

Em todos os solos e horizontes, os teores de  $\text{SiO}_2$  são maiores que  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , resultando em valores de Ki maiores que 2,2. Isso indica a menor dessilicação, em razão da baixa precipitação e drenagem moderada que favorecem a manutenção da sílica no sistema e a gênese ou a manutenção de minerais 2:1, expansíveis ou não, na fração argila, como confirmado pela difratometria de raios-X (Buol et al., 1973; van Breemen & Buurman, 2002; Kämpf & Curi, 2010). Os altos valores de Ki no P4 estão de acordo com os resultados da difração de raios x onde a esmectita é identificada (Figura 9b).

Teores de  $\text{TiO}_2$  variaram de 0,15 dag/kg no Cr do P5 a 1,56 no horizonte C do P4. Já os teores de  $\text{MnO}_2$  são baixos, apresentando maiores valores no Chernossolo. O teor deste óxido variou de 0,01 a 0,15 dag/kg nos perfis estudados. Os valores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  são muito baixos, refletindo a pobreza do material de origem quanto ao fósforo.

Quadro 4. Teores de Fe, Al, Si, Ti, Mn e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> da TFSA obtidos pelo ataque sulfúrico

Horizonte	Prof.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ki
	--cm--	-----dag/kg-----						-----
P1 – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto								
Ap	0-18	2,84	6,18	10,04	0,56	0,03	0,09	2,76
Bt	18-43	5,71	12,82	22,52	0,74	0,02	0,04	2,99
BC	43-80	5,99	10,47	19,07	0,79	0,03	0,03	3,10
Crn	80-100	5,58	5,40	16,73	0,56	0,08	0,04	5,26
P2 - Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto solódico								
A	0-16	3,30	5,23	7,74	0,47	0,10	0,05	2,52
2Bt <sub>1</sub>	16-38	12,93	15,50	25,83	0,96	0,02	0,03	2,83
2Bt <sub>2</sub>	38-59	13,61	16,65	26,58	0,78	0,01	0,01	2,71
2Bt <sub>3n</sub>	59-88	13,46	14,78	23,87	0,64	0,01	0,02	2,74
2BCn	88-120	11,70	12,85	27,24	0,84	0,03	0,02	3,60
2Cn	120+	10,44	10,31	22,96	0,52	0,12	0,05	3,78
P3 - Luvisolo Háptico Órtico típico								
A	0-15	1,96	5,05	6,86	0,28	0,01	0,02	2,31
Btn	45-70	4,25	10,62	18,16	0,74	0,01	0,02	2,91
Crn	70-100+	1,36	2,27	5,68	0,17	0,03	0,03	4,25
P4 - Chernossolo Háptico Órtico vertissólico								
A	0-18	9,32	5,96	12,10	0,97	0,14	0,06	3,45
Bi	18-56	11,15	8,24	18,85	1,14	0,15	0,04	3,89
C	56-80+	9,77	6,16	15,30	1,56	0,08	0,28	4,23
P5 - Luvisolo Crômico Órtico solódico								
A	0-20	2,29	3,99	6,40	0,38	0,03	0,05	2,72
Btn	60-80	4,07	8,81	16,58	0,53	0,01	0,03	3,20
Crn	80-100	2,14	2,96	5,64	0,15	0,02	0,07	3,24
P6 - Luvisolo Crômico Órtico solódico								
Ap	0-18	2,44	4,64	7,41	0,39	0,02	0,12	2,71
Btn	18-48	5,47	10,22	17,93	0,86	0,02	0,08	2,98
Crn	48-75+	10,41	10,87	19,09	1,45	0,04	0,11	2,98

### 4.3.3. Ferro e Alumínio extraídos por ditionito e oxalato na fração argila

Foram baixos os teores de óxidos de Fe extraídos pelo ditionito ( $Fe_d$ ). A maioria dos perfis apresentou maiores valores de  $Fe_d$  nos horizontes superficiais, exceto nos perfis P2 e P3, os quais os maiores valores foram observados no horizonte Bt. Os valores de  $Fe_d$  variaram de 1,88 dag/kg no horizonte A do P3 a 8,76 dag/kg no Bt<sub>3</sub> do P2. Já o Fe e Al extraído pelo oxalato de amônio ( $Fe_o$  e  $Al_o$ ) e alumínio extraído pelo ditionito ( $Al_d$ ) apresentam valores mais elevados nos horizontes superficiais (Quadro 5).

Os altos valores da relação  $Fe_o/Fe_d (>0,05)$  indicam maior proporção de óxidos mal cristalizados na fração argila de todos os perfis, conforme assinalam Inda Junior & Kämpf (2003), sendo esta característica comum em regiões semiáridas (Corrêa et al., 2003). A relação  $Fe_o/Fe_d$  variou de 0,07 a 0,39 e reduziu com a profundidade em todos os perfis, o que denota maior cristalinidade dos óxidos de Fe nos horizontes subsuperficiais.

Os óxidos de Fe de baixa cristalinidade ( $Fe_o$ ) variaram de 0,24 a 1,23 dag/kg, apresentando valores mais elevados nos horizontes superficiais, provavelmente devido à maior expressão da matéria orgânica. De acordo com Kämpf e Schwertmann (1983), os grupos funcionais da matéria orgânica possuem afinidade com os sítios superficiais do ferro, reduzindo a cristalização dos óxidos de Fe pela sua complexação.

Quadro 5. Teores de óxidos de Fe e Al extraídos da fração argila por ditionito de sódio e oxalato de amônio

Horizonte	Prof. cm	Fed	Feo	Ald	Alo	Feo/Fed
		-----dag/kg-----				
P1 - Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto						
Ap	0-18	3,67	0,67	0,92	0,56	0,18
Bt	18-43	3,63	0,28	0,84	0,48	0,08
BC	43-80	2,99	0,26	0,62	0,35	0,09
Crn	80-100	-	-	-	-	-
P2 - Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto solódico						
A	0-16	5,99	0,64	1,13	0,49	0,11
2Bt <sub>1</sub>	16-38	7,90	0,58	1,05	0,43	0,07
2Bt <sub>2</sub>	38-59	8,14	0,58	1,00	0,36	0,07
2Bt <sub>3n</sub>	59-88	8,76	0,64	0,93	0,30	0,07
2BCn	88-120	5,03	0,33	0,72	0,24	0,07
2Cn	120+	4,41	0,32	0,67	0,25	0,07
P3 - Luvisolo Háptico Órtico típico						
A	0-15	1,88	0,73	0,53	0,39	0,39
Btn	45-70	1,95	0,24	0,48	0,36	0,12
Crn	70-100+	-	-	-	-	-
P4 - Chernossolo Háptico Órtico vertissólico						
A	0-18	7,09	1,22	1,43	0,74	0,17
Bi	18-56	5,46	0,58	1,04	0,53	0,11
C	56-80+	5,08	0,48	0,75	0,55	0,09
P5 - Luvisolo Crômico Órtico solódico						
A	0-20	3,94	1,23	1,00	0,55	0,31
Btn	60-80	2,73	0,28	0,69	0,40	0,10
Crn	80-100	-	-	-	-	-
P6 - Luvisolo Crômico Órtico solódico						
Ap	0-18	2,71	0,97	0,91	0,61	0,36
Btn	18-48	2,29	0,41	0,55	0,41	0,18
Crn	48-75+	-	-	-	-	-

#### 4.3.4. Ataque total da TFSA

Os elementos traço Cu, Co, Ni, Zn, e Cr ora estão acumulados no horizonte C ou Cr, ora acumulam-se no horizonte Bt, havendo predomínio nos horizontes mais profundos, sugerindo forte relação com o material de origem. Correlações significativas a 0,1% foram observadas entre os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do ataque sulfúrico e Cu (0,87\*\*\*), Ni (0,93\*\*\*), Zn (0,87\*\*\*), e Cr (0,82\*\*\*), dos Argissolos e Luvisolos. Em relação ao Chernossolo não houve correlação significativa entre os teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e os elementos traço estudados.

A correlação observada é explicada pela afinidade geoquímica entre o ferro e alguns elementos traço, como Cu, Zn e Níquel, que podem substituir o Fe na estrutura dos óxidos (Krauskopf, 1972; Kämpf e Curi, 2000). Este fenômeno é confirmado por vários trabalhos, principalmente para elementos originados de rochas máficas, tais como Cd, Cu, Co, Cr, Zn e Ni (Schwertmann, 1988; Ker, 1995; Ferreira et al., 1994; Costa et al., 2014). Sendo assim, alguns óxidos são considerados fontes de reserva de alguns destes elementos nos solos (Nalovic & Segalen, 1973; Resende et al., 1988; Ferreira et al., 1994; Oliveira et al., 2000; Carvalho Filho, 2008).

Os teores de Cd foram muito baixos em todos os solos estudados, não sendo detectados pela análise.

De acordo com a Resolução 420/2009 (CONAMA, 2009), os teores de elementos traço da maioria dos solos estudados encontram-se abaixo dos valores de prevenção, sob os quais o solo ainda é considerado sem alterações prejudiciais causadas por estes elementos. Entretanto, os perfis P2, P4 e P6 apresentam teores elevados de Ni (36; 276 e 35 mg/kg de solo, respectivamente), estando acima do valor de prevenção, que é 30 mg/kg de solo. Os perfis P1, P4 e P6 apresentam horizontes que excederam o valor de prevenção para Co que é de 25 mg/L.

Ainda que alguns elementos estejam acima dos valores de prevenção priorizados na legislação brasileira, a maioria dos teores verificados estão em concordância com os teores normalmente encontrados em solos e, somente os teores de Co em todos os horizontes do Chernossolo excederam os níveis de 1-40 mg/kg, reportados como comuns em solos (Alloway, 2013). Os maiores valores totais de elementos traço (Cu, Co, Ni e Cr) observados no Chernossolo estão de acordo com o material ultramáfico que deu origem a este solo.

Pode-se considerar que nos solos estudados as variações nos teores de elementos traço devem-se tanto ao material de origem quanto à provável associação destes elementos com os óxidos de Fe presentes na fração argila.

Quadro 6. Teores totais de alguns elementos traços na TFSA dos solos estudados

Horizonte	Prof.	Cu	Co	Ni	Zn	Pb	Cr	Cd
	--cm--	-----mg/kg-----						
P1- Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto								
Ap	0-18	1,19	17,62	8,96	16,94	4,67	51,52	n.d
Bt	18-43	0,55	17,77	12,12	26,07	0,00	55,75	n.d
BC	43-80	1,33	17,21	13,24	26,83	0,00	44,74	n.d
Crn	80-100	3,90	26,37	18,53	40,14	0,00	52,78	n.d
P2- Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto solódico								
A	0-16	13,93	20,08	18,44	45,84	18,34	35,09	n.d
2Bt <sub>1</sub>	16-38	25,26	17,01	33,08	85,63	15,39	87,63	n.d
2Bt <sub>2</sub>	38-59	23,39	16,22	32,20	85,84	16,85	79,80	n.d
2Bt <sub>3n</sub>	59-88	20,85	13,91	29,61	90,12	18,32	60,52	n.d
2BCn	88-120	24,22	16,31	32,35	122,66	14,18	64,19	n.d
2Cn	120+	19,35	23,87	36,76	125,81	20,75	32,69	n.d
P3-Luvisolo Háptico Órtico típico								
A	0-15	2,51	7,43	3,34	12,76	8,01	17,39	n.d
Btn	45-70	4,58	12,80	11,59	22,92	7,96	47,47	n.d
Crn	70-100+	2,04	7,94	8,08	21,35	12,97	8,79	n.d
P4- Chernossolo Háptico Órtico vertissólico								
A	0-18	14,86	61,63	105,97	61,16	5,68	458,58	n.d
Bi	18-56	41,83	72,45	256,57	67,90	5,47	646,33	n.d
C	56-80+	39,72	73,67	276,78	98,97	6,53	740,55	n.d
P5-Luvisolo Crômico Órtico solódico								
A	0-20	1,91	9,29	6,62	21,25	13,89	21,40	n.d
Btn	60-80	7,37	14,26	15,84	41,92	16,37	34,52	n.d
Crn	80-100	9,56	24,79	8,50	19,27	43,89	5,86	n.d
P6-Luvisolo Crômico Órtico solódico								
Ap	0-18	5,00	8,83	7,46	33,93	18,17	23,29	n.d
Btn	18-48	4,09	15,41	15,72	63,08	13,63	48,17	n.d
Crn	48-75+	20,40	29,55	35,10	128,34	9,12	75,58	n.d

n.d: não detectado

#### 4.4.

#### Características mineralógicas

##### 4.4.1. Fração argila

Na fração argila dos horizontes A e B dos solos estudados, os picos 1,42, 1,01 e 0,722 nm indicam a presença de esmectita, illite e caulinita, respectivamente. Sendo os picos 0,418 e 0,269 nm correspondentes à goethita e hematita. Foi também identificado o pico 0,333 nm referente ao quartzo (Figuras 9 e 20). A presença deste mineral primário deve-se à sua elevada resistência ao intemperismo, podendo ter sido fraturado ao tamanho de argila sem, contudo, perder seu comportamento químico. O transporte eólico de partículas também pode explicar a presença deste mineral na fração argila, ainda mais considerando que a maior expressividade deste mineral encontra-se nos horizontes superficiais, dos solos estudados. Outros autores também encontraram quartzo na fração argila em solos pouco desenvolvidos (Allen & Hajek, 1989; Moreira, 2000; Rebouças 2001; Mota et al., 2007; Fernandes et al., 2010; Mella & Mermut, 2010).

A partir dos tratamentos realizados na argila desferrificada, a esmectita foi identificada em todos os horizontes do P2, P4 e P5 (Anexo 2). A identificação da esmectita no DRX se deu com base na expansão do pico 1,5 nm no tratamento com Mg para 1,8 nm com Mg + Gl (saturação com magnésio e glicerol), depois o colapso de 1,8 com Mg+Gl para 1,3 nm em K 25 ° e 1,0 nm em K 350 °C.

O horizonte A dos perfis apresentam semelhanças quanto aos minerais que constituem a fração argila. Com exceção do P4, os demais perfis apresentam picos expressivos de caulinita (Figura 9).

Constatou-se maior expressividade de esmectitas nos horizontes subsuperficiais. Segundo Luz et al. (1992) essa tendência pode ser tanto ocasionada pela formação de caulinita a partir das esmectitas, uma vez que as condições de intemperismo em direção à superfície são mais acentuadas (Harris et al., 1987; Ransom et al. 1988; Melo e Alleoni, 2009), quanto pela remoção preferencial, dentro do perfil, da esmectita quando comparada à caulinita. Segundo van Breeman & Buurman (2002), argilominerais expansivos com elevada carga e menor tamanho possuem maior mobilidade que as caulinitas.

A esmectita foi identificada de forma mais intensa no horizonte B de P2, P4 e P5. Apesar da presença de esmectita no P2, este não apresentou valor de atividade de argila suficiente para ser considerado como de atividade alta. Campos

et al. (1997), observaram fato semelhante em um Podzólico Vermelho-Amarelo na região do Médio Vale do Jequitinhonha, em que a atividade de argila foi de 18 cmol<sub>c</sub>/kg de argila, e na difração de raios x foram identificados picos de minerais 2:1 expansivos. Isto pode ser explicado pela pequena quantidade destes argilominerais, baixa densidade de cargas, ou ainda pela associação com óxidos de ferro e alumínio (Oades, 1984; Barnhisel e Bertsch, e 1989).

Nos perfis P3 e P6 não foi constatada argila 2:1 expansiva nos difratogramas de raio-x embora a CTC corrigida para argila tenha sido maior que 27 cmol<sub>c</sub>/kg de argila nos dois solos (Quadro 3). A pequena quantidade de minerais 2:1 expansivos pode não ter sido suficiente para a sua identificação. Nestes solos, caulinita e ilita foram os principais argilominerais encontrados, assim como verificado por Oliveira (2007) em Luvisolos de Serra Talhada (PE).

Goethita é o óxido de Fe predominante nestes solos (Anexo 3), mesmo naqueles com coloração mais avermelhada como P1, P2 e P6. Este óxido apresenta elevada estabilidade termodinâmica e por isso é o mais comum em solos (Cornell & Schwertmann, 1996). Ademais, condições de restrição hídrica, como ocorre nos solos estudados, implica normalmente em formação de goethita, uma vez que as menores taxas de liberação de Fe da estrutura dos minerais primários, principalmente biotita neste caso, dificulta a formação de hematita. De forma semelhante, Oliveira (2007) encontrou predomínio de goethita em Luvisolos com cores avermelhadas, sem identificação de hematita mesmo após concentração dos óxidos de Fe com NaOH 5 mol/L.

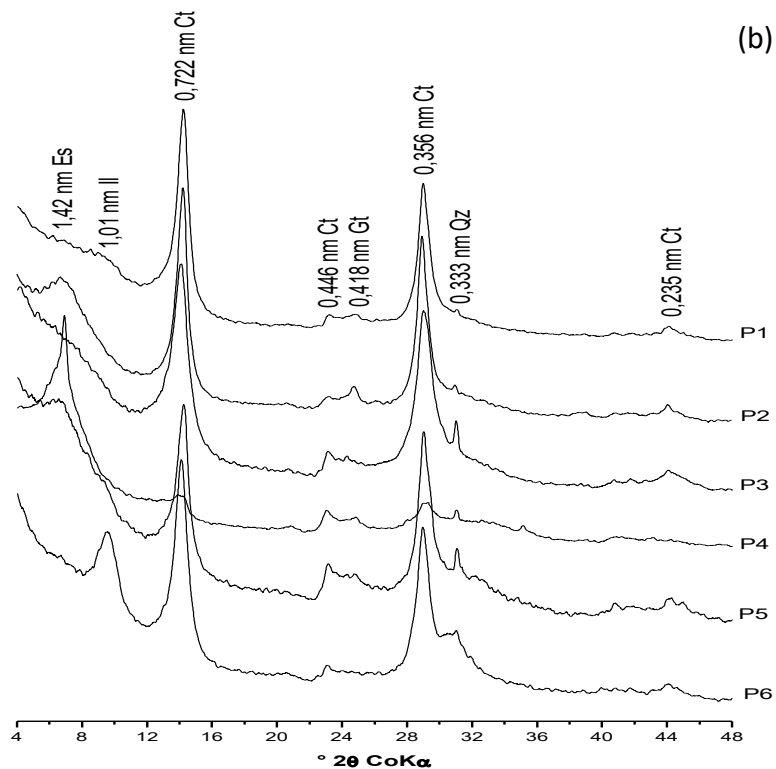
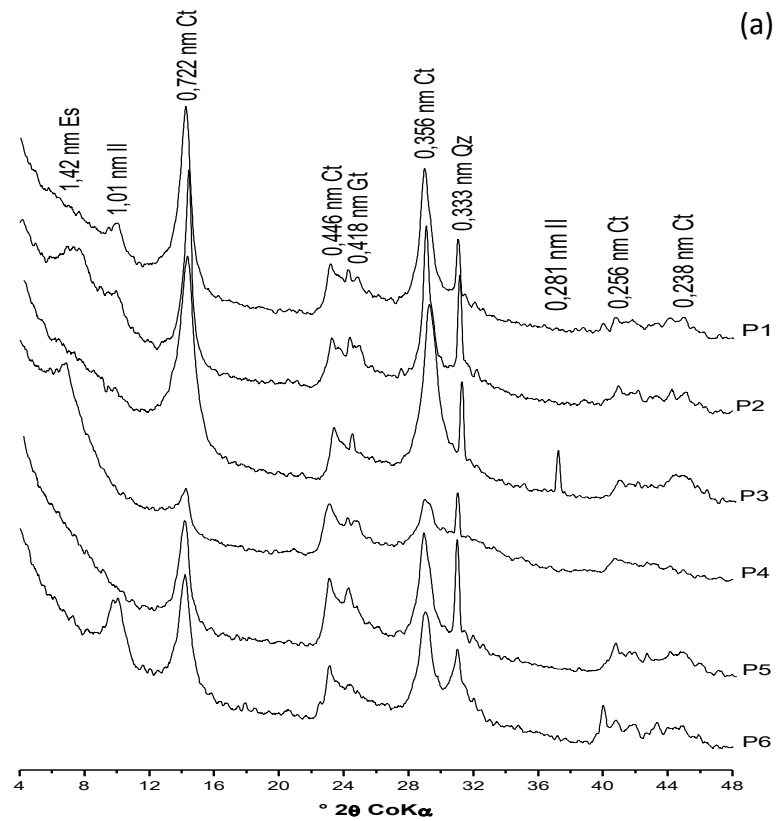


Figura 9. Difratomogramas de raio x da fração argila dos solos estudados. (a) horizonte A e (b) horizonte B dos perfis P1, P2, P3, P4, P5 e P6. Es - esmectita, Il - ilita, Ct - caulinita, Gt - goethita, Hm/Gt - hematita e goethita, Qz - quartzo

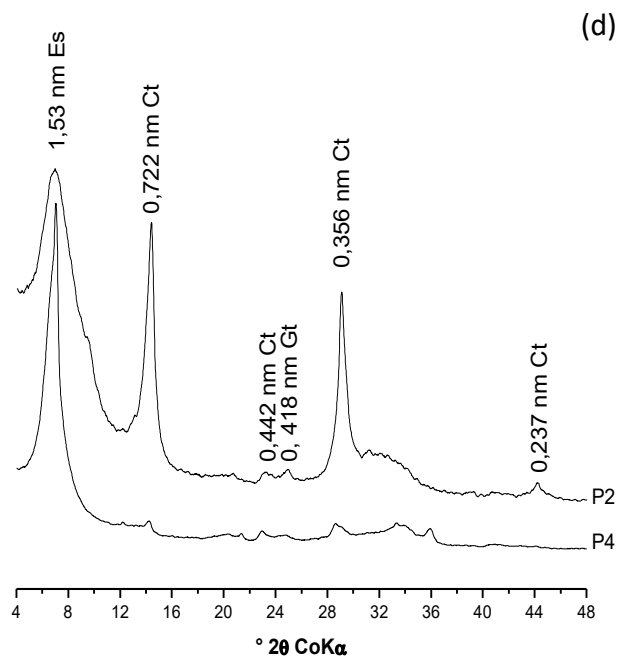
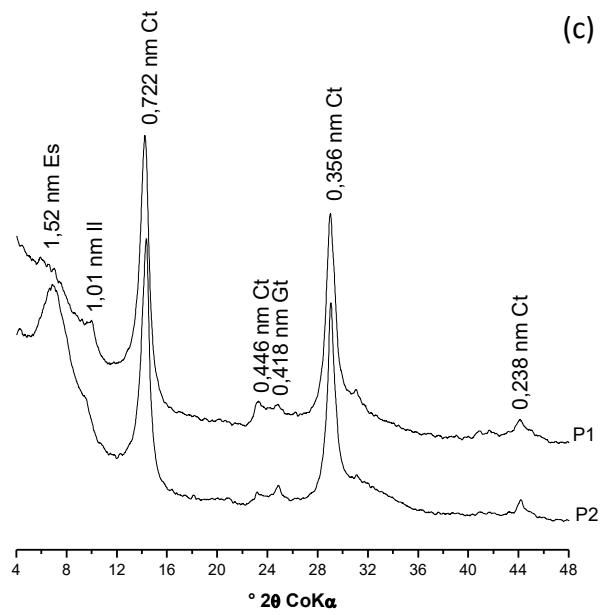


Figura 9. Difractogramas de raio x da fração argila dos solos estudados. (c) horizonte BC de P1 e P2; (d) horizonte C de P2 e P4. Es - esmectita, Il - ilita, Ct - caulinita, Gt - goethita, Hm/Gt - hematita e goethita, Qz - quartzo

#### 4.4.2. Frações areia e silte

A fração areia fina dos horizontes A e B de todos os solos estudados têm em comum a presença dos seguintes minerais primários: quartzo (identificado pelos picos de 0,333 e 0,227 nm), feldspatos (0,422; 0,388; 0,368; 0,347; e 0,293 nm) e micas (0,320; 0,269; 0,245 e 223 nm). O Chernossolo (P4), devido a diferenças no material de origem, apresenta, nos horizontes A, B e C, também hornblenda (picos de 0,860 e 0,836 nm) como constituinte dessa fração. Observa-se maior expressão dos picos destes minerais primários nos horizontes subsuperficiais.

A fração silte dos solos estudados, de modo geral é semelhante à areia fina constituindo-se basicamente por feldspatos, micas, quartzo, além de esmectita e caulinita (Figura 10). Estes dois argilominerais, assim como na fração areia fina, são mais bem definidos nos horizontes subsuperficiais.

Aparentemente a presença de caulinita nas frações silte e, principalmente, na areia fina nos horizontes BC de P1 e P2 (Argissolos) parece estar associada à alteração de feldspatos, principalmente plagioclásios, uma vez que a partir da análise micromorfológica foram reconhecidos alguns cristais deste mineral parcialmente alterados em caulinita.

Os solos estudados apresentam considerável reserva de nutrientes em decorrência da presença de plagioclásios, ortoclásio e biotita, nas frações silte e areia fina. Estes minerais são os principais responsáveis pelos altos teores de bases trocáveis observados nos solos. Nesse sentido, Oster & Shainberg (1979), estudando solos da Califórnia e de Israel, verificaram a contribuição de feldspatos potássicos, plagioclásios e calcita, principalmente da fração silte, no aumento do teor de Ca, Mg e K na solução do solo. Corrêa et al. (2003) também associaram os altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$  em solos do semiárido nordestino à presença de feldspatos (plagioclásios e microclínio) nas frações areia e silte.

A presença dos minerais biotita, muscovita, ortoclásio e plagioclásio, que são componentes principais da rocha matriz, nas frações silte e areia fina de todos os horizontes analisados, sugere a formação autóctone destes solos.

Os feldspatos comumente encontrados nos solos estudados são os minerais primários comuns em solos pouco intemperizados, enquanto que o quartzo pode ser encontrado em solos com diferentes graus de intemperismo (Allen e Hajek, 1989). A mica também é um mineral comum a todos estes solos, sendo a

biotitacomumente observada pela análise micromorfológica. As condições de baixa intemperização dos solos na área do estudo favorece a manutenção da biotita nas frações mais grosseiras do solo, já que, em geral, estas são menos resistentes ao intemperismo que as muscovitas (Allen e Hajek,1989).

Mesmo com diferentes materiais de origem, tanto os Argissolos e Luvisolos, derivados de biotita-gnaiss quanto o Chernossolo originado de rochas ultramáficas, apresentam a mineralogia das frações grossas semelhantes e com muitos minerais facilmente intemperizáveis, compatível com o incipiente desenvolvimento pedogenético destes solos.

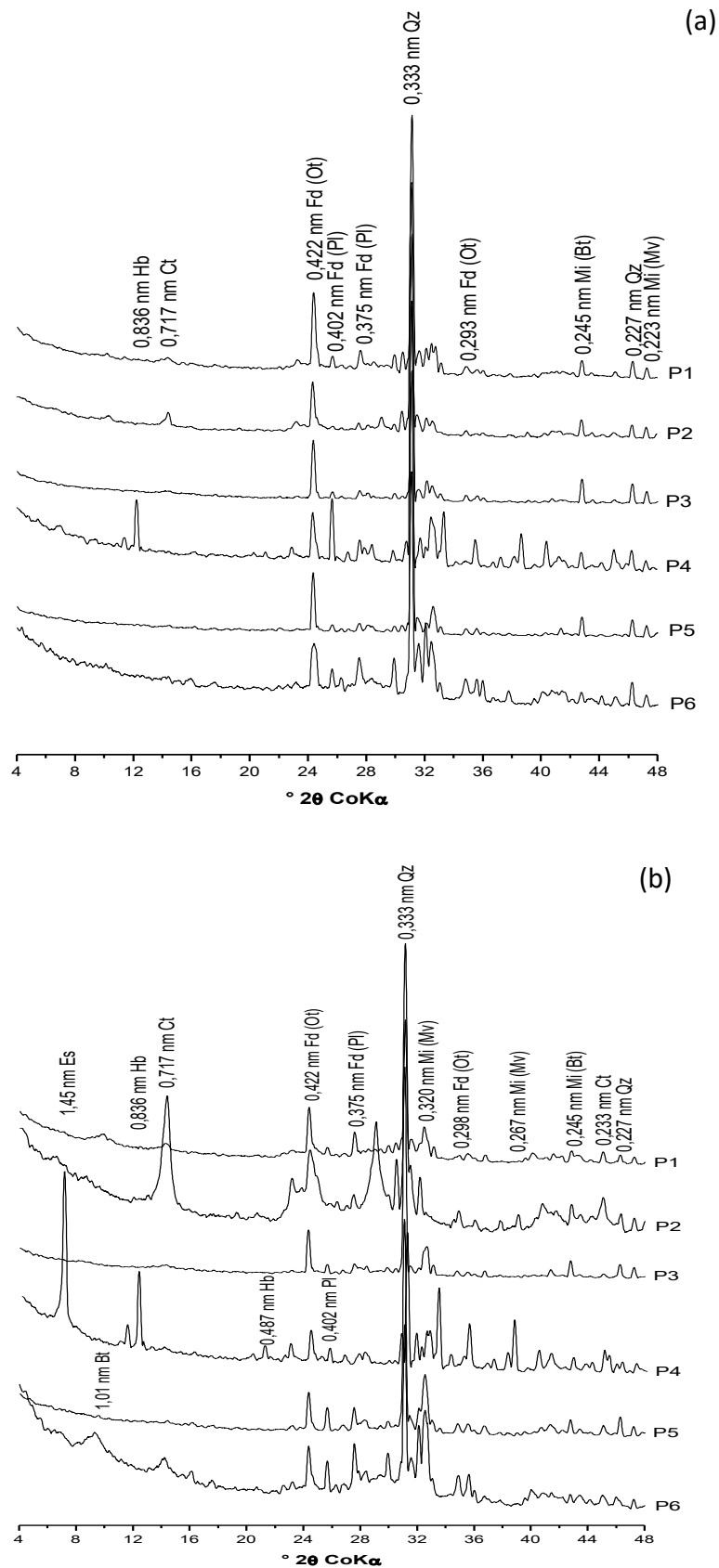


Figura 10. Difratoformas de raio x da fração silte dos solos estudados. (a) horizonte A e (b) horizonte B dos perfis P1, P2, P3, P4, P5 e P6. Hb – hornblenda, Es - esmectita, Ct – caulinita, Il – ilita, Mi - mica, Bt - biotita, Mv - muscovita, Fd - feldspato, Ot - ortoclásio, Pl - plagioclásio, Qz – quartzo,

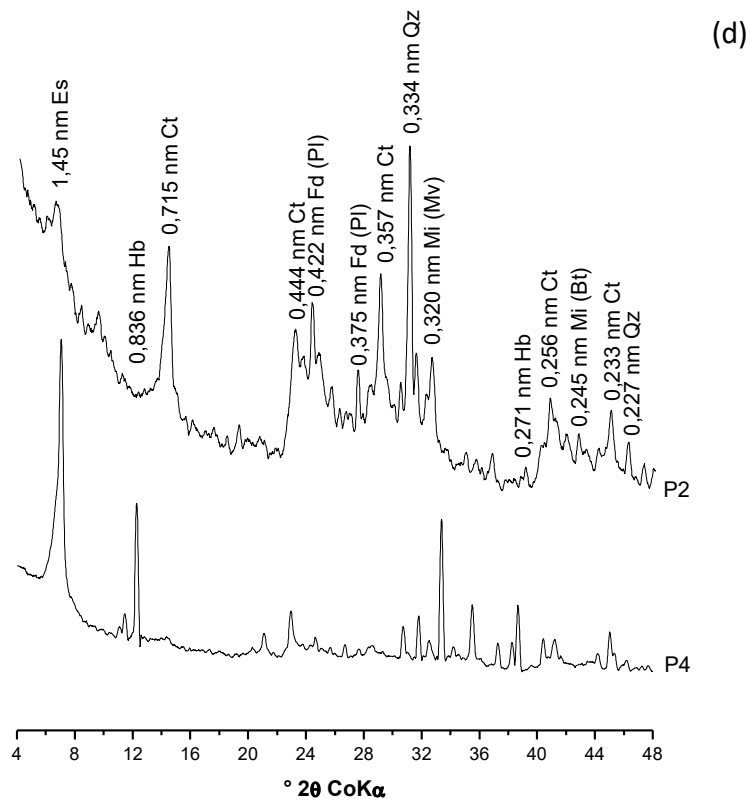
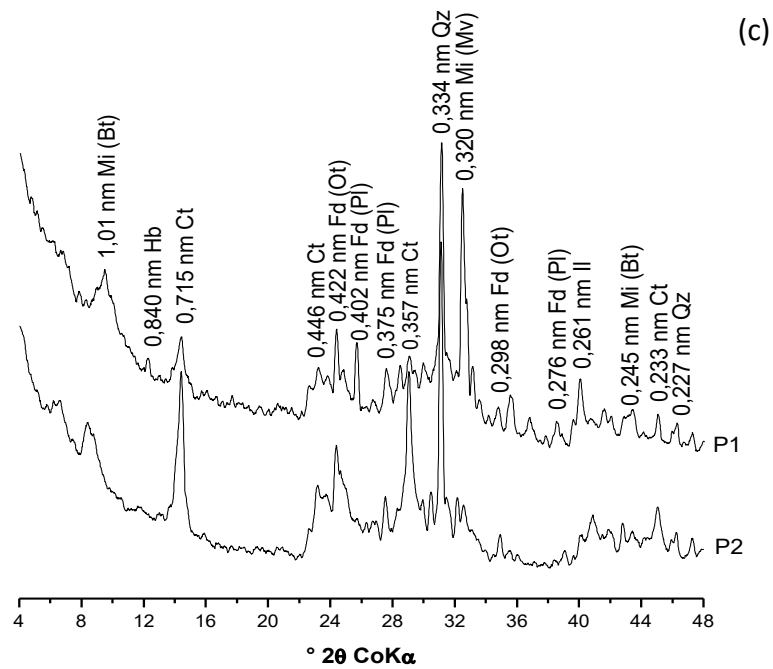


Figura 10. Difratomogramas de raio x da fração silte dos solos estudados. (c) horizonte BC de P1 e P2; (d) horizonte C de P2 e P4. Hb – hornblenda, Es - esmectita, Ct – caulinita, Il – ilita, Mi - mica, Bt - biotita, Mv - muscovita, Fd -feldspato, Ot - ortoclásio, Pl - plagioclásio, Qz - quartzo

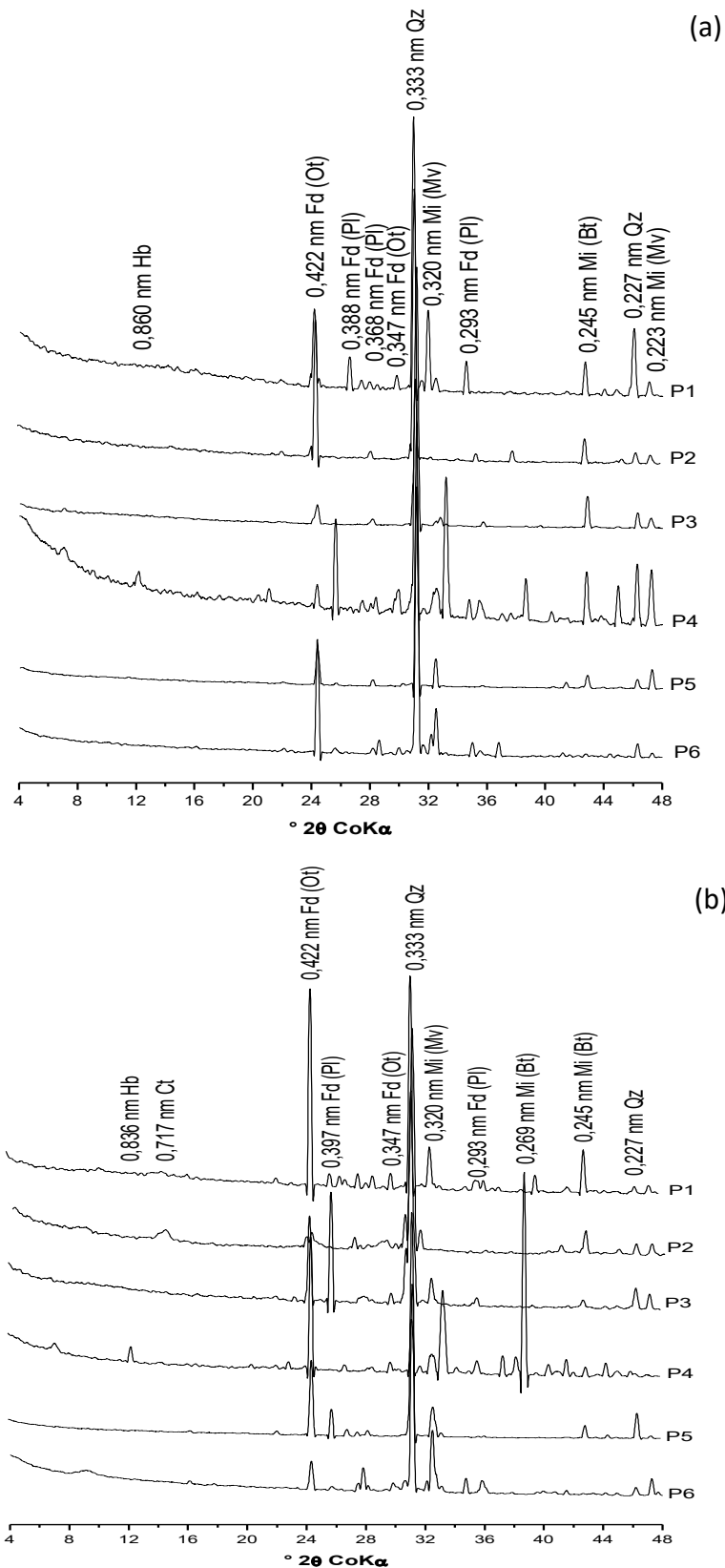


Figura 11. Difratoformas de raio x da fração areia fina dos solos estudados. (a) horizonte A e (b) horizonte B dos perfis P1, P2, P3, P4, P5 e P6; Hb – hornblenda, Es - esmectita, Ct – caulinita, Il – ilita, Mi - mica, Bt - biotita, Mv - muscovita, Fd -feldspato, Ot - ortoclásio, Pl - plagioclásio, Qz - quartzo

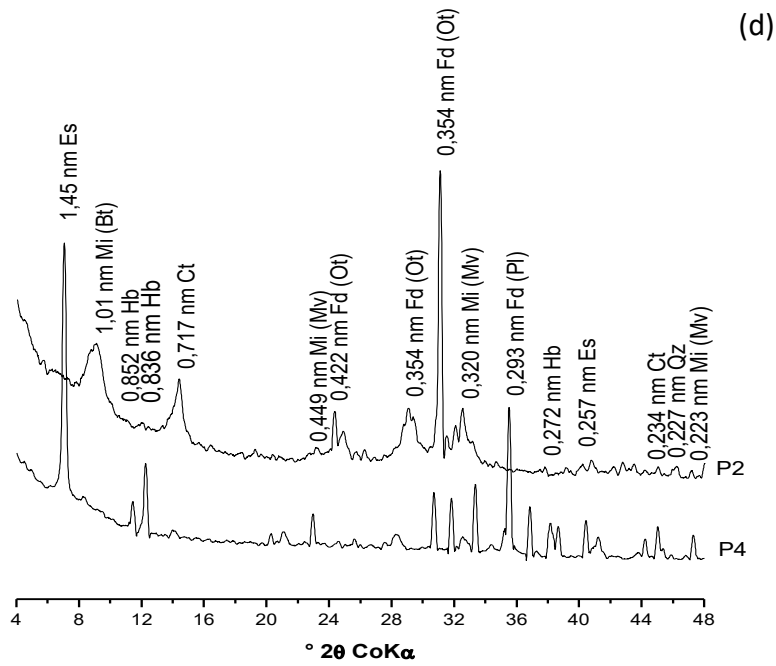
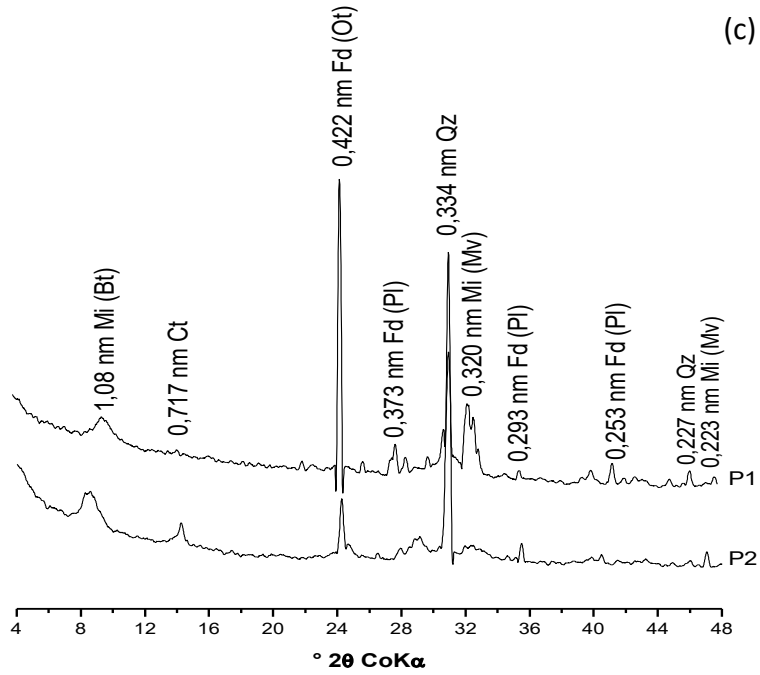


Figura 11. Difractogramas de raio x da fração areia fina dos solos estudados.(c) horizonte BC de P1 e P2; (d) horizonte C de P2 e P4. Hb – hornblenda, Es - esmectita, Ct – caulinita, Il – ilita, Mi - mica, Bt - biotita, Mv - muscovita, Fd -feldspato, Ot - ortoclásio, Pl - plagioclásio, Qz - quartzo

#### 4.5. Características micromorfológicas

A caracterização micromorfológica foi realizada nos horizontes A e Bt (topo e base) de P1. Nos demais perfis, apenas os horizontes texturais (P2 e P6) ou incipientes (P4) foram descritos, sendo as amostras indeformadas coletadas na porção intermediária desses. São apresentadas as microestruturas descritas para cada horizonte, bem como o fundo matricial e as principais feições pedológicas (Quadro 7).

De maneira geral, o horizonte A apresenta majoritariamente blocos angulares a subangulares (Figuras 12a, b), separados entre si por poros planares bem conectados, parcialmente acomodados. Ocorrem também câmaras e canais, indicando pedobioturbação. O fundo matricial é constituído por grãos minerais grossos (quartzo, plagioclásio e biotita) (Figuras 12a, b, c, d) envolvidos por uma micomassa de cor brunada (Figuras 12a, c), tanto numa trama quitônica (Figura 12c) quanto porfírica (Figura 12e). A orientação dos constituintes finos é principalmente granoestriada (Figuras 12b, f), ocorrendo também zonas indiferenciadas (Figura 12d). A relação c:f (relação constituintes grossos: finos) indica maior participação dos constituintes grossos (2:1).

O horizonte Bt apresenta microestruturas muito semelhantes nos Argissolos (P1<sub>topo</sub>, P2) e Luvissoles (P6). Elas são constituídas, principalmente, por domínios fissurais no plano da lâmina, sem pedalidade desenvolvida, e por blocos angulares a subangulares, parcialmente ou não acomodados (Figuras 13a, e, g, i). É provável que a estrutura colunar identificada em campo constitua um nível de organização superior àquele possível de ser identificado na lâmina e que muitos dos domínios maciços observados representem, na verdade, porções interiores de colunas. Nessas zonas fissurais predominam poros cavitários (com aspecto ameboidal ou elíptico) e planares não conectados, ao passo que entre os blocos ocorrem poros planares bem acomodados. No horizonte Bi do P4 ocorrem blocos angulares parcialmente acomodados, com poros planares entre si (Figuras 13i, j). Observou-se alguns poucos blocos subangulares nesse horizonte. Na base do horizonte Bt de P1 o grau de pedalidade é mais baixo que na porção superior (Figura 13c, d), havendo o predomínio de estrutura maciça em praticamente toda a lâmina. Além de poros cavitários, ocorrem também alguns poros planares, poucos desenvolvidos e não conectados. Os poros cavitários ocorrem tanto na forma

ameboidal quanto mais quadráticos, sugerindo, no último caso, a presença de litoporos.

Em se tratando do fundo matricial, em todos os horizontes Bt (P1 topo e base, P2 e P6) e no horizonte Bi de P4, ocorre uma distribuição relativa entre constituintes grossos e finos do tipo porfírica, tanto no interior dos blocos quanto no domínio maciço (Figuras 13a, c, e, g, i). A relação c:f (grossos e finos), obtida por composição modal no plano da lâmina, é bastante diferente entre a base e o topo do horizonte Bt em P1, respectivamente 3:1 e 1:2, mas semelhante entre os horizontes Bt.

No horizonte Bt dos Argissolos e Luvisolo os constituintes grossos são representados por cristais de quartzo, angulosos, de tamanho areia média a fina, mal selecionados e bastante fraturados. São igualmente comuns paletas de biotita, em diversos graus de alteração, bem como cristais de plagioclásio e anfibólio (hornblenda). Na comparação entre a base e o topo do horizonte Bt em P1, há uma maior quantidade de mica pouco alterada em maior profundidade, onde é perceptível a presença de alteromorfos (Figuras 13c, d), com grau de alteração variando entre 3 e 4 e padrão linear regular típico (Stoops e Jongerius, 1975). O feldspato, que denota se tratar de um plagioclásio, ainda está presente. Para o Chernossolo (Figuras 13g, h), a hornblenda e o plagioclásio predominam como constituintes grossos, havendo também a presença de piroxênio, quartzo e opacos.

A micromassa apresenta coloração amarelo-avermelhada nos horizontes Bt. À exceção da base do horizonte Bt em P1, há uma perceptível diferença de cores no interior e borda dos agregados, principalmente em P2 (Figura 13e, f). Essa diferença de cor se dá pelo predomínio de tons amarelados no interior dos agregados e mais avermelhados nas bordas, sugerindo um córtex ferruginizado nos mesmos. No horizonte Bi do Chernossolo, a micromassa apresenta coloração bruno-avermelhada (Figura 13g). Sua natureza é, em concordância com a análise mineralógica, composta por minerais 2:1 e 1:1 em todos os perfis, havendo também a participação de argilas oxídicas. Em termos das tramas birrefringentes, nos horizontes Bt há um predomínio de tramas estriadas paralelas e granoestriadas, ao passo que no horizonte Bi em P4 ocorrem tramas granoestriada e indiferenciada.

Quadro 7. Descrição micromorfológica (modelo adaptado de Stoops, 2003)

DESCRÇÃO MICROMORFOLÓGICA	PERFIL/HORIZONTE						
	P1/A	P1/Bt topo	P1/Bt base	P2/Bt	P4/Bi	P6/Bt	
<b>Microestrutura e Porosidade</b>	Blocos, moderadamente desenvolvida, angulares a subangulares, parcialmente acomodados, com dimensões variando de 1,6 x 2, 0 mm a 5,2 x 4 mm; poros planares	Blocos fracamente desenvolvida, angulares, não acomodados, com dimensões variando de 1 x 1,8 mm a 5 x 4 mm; poros planares; Fissural fracamente desenvolvida, sem separação; poros do tipo câmaras	Fissural fracamente desenvolvida, sem separação; poros do tipo câmaras	Blocos moderadamente desenvolvida, angulares, não acomodados, com dimensões variando de 1,5 x 2, 0 mm a 4 x 2,8 mm; poros planares; Fissural fracamente desenvolvida, sem separação; poros do tipo câmaras	Blocos, moderadamente desenvolvida, angulares a subangulares, parcialmente acomodados, com dimensões variando de 1,6 x 2, 0 mm a 5,2 x 4 mm; poros planares	Blocos fracamente desenvolvida, angulares, não acomodados, com dimensões variando de 1,2 x 2, 0 mm a 5 x 4 mm; poros planares; Fissural fracamente desenvolvida, sem separação; poros do tipo câmaras	
<b>Fundo Matricial dos Agregados Elementares</b>	c/f limite	0,002 mm					
	Material Grosso	Quartzo; Ortoclásio; Biotita; Anfibólio	Quartzo; Biotita; Ortoclásio; Plagioclásio; Anfibólio	Biotita; Quartzo; Plagioclásio; Ortoclásio; Anfibólio	Quartzo; Biotita; Ortoclásio; Plagioclásio; Anfibólio	Anfibólio; Piroxênio; Plagioclásio, Quartzo; Opacos	Quartzo; Biotita; Ortoclásio; Plagioclásio; Anfibólio
	Micromassa	Caulínítica, esmectítica e goethítica, bruno-amarelada. Trama granoestriada e indiferenciada.	Caulínítica, esmectítica e goethítica, amarelo-avermelhada. Trama granoestriada e estriada paralela.	Caulínítica, esmectítica e goethítica, amarelo-avermelhada. Trama granoestriada e estriada paralela.	Caulínítica, esmectítica e goethítica/hematítica, amarelo-avermelhada. Trama granoestriada e estriada paralela.	Caulínítica, esmectítica e goethítica, bruno-avermelhada. Trama granoestriada e indiferenciada	Caulínítica, esmectítica e goethítica, amarelo-avermelhada. Trama granoestriada e estriada paralela.
	Matéria Orgânica	Material fino orgânico amorfo impregnando a micromassa e tecido residual.	Material fino orgânico amorfo impregnando suavemente a micromassa (pontos isolados)				
	c/f relação <sup>1</sup>	Porfírica aberta.	Porfírica fechada.				
<b>Pedofeições</b>	Pedotúbulos, Argilans e Nódulos Orgânicos	Argilans, Cutãs de Estresse, Hipocutãs e Alteromorfos	Cutãs de Estresse e Alteromorfos	Cutãs de Estresse, Hipocutãs e Alteromorfos	Nódulos ferruginosos típicos, Hipocutãs e Alteromorfos	Cutãs de Estresse, Hipocutãs e Alteromorfos	

<sup>1</sup>c/f – relação constituintes grossos:finos

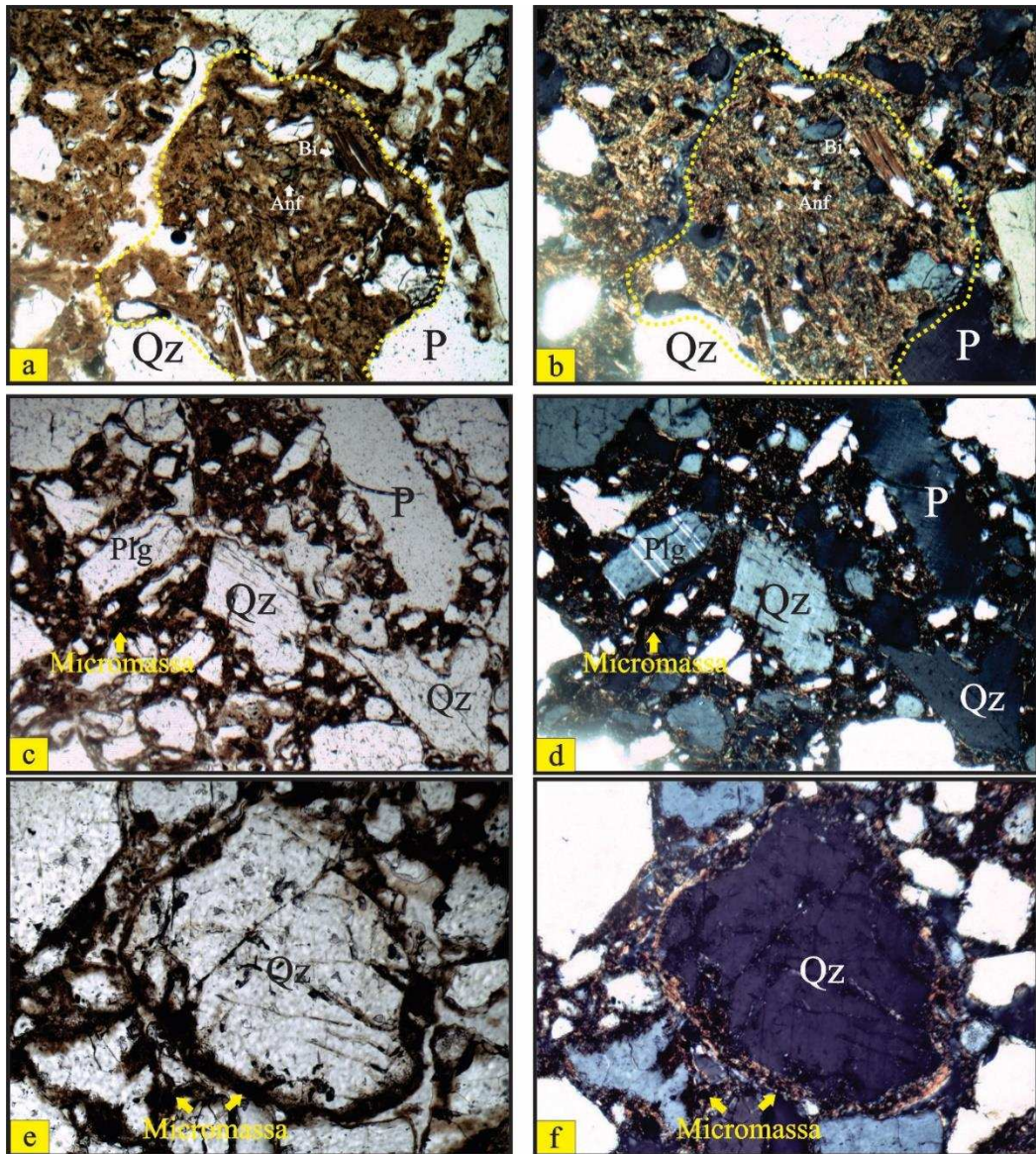


Figura 12 - Fotomicrografias obtidas em microscópio óptico (nícois paralelos à esquerda e cruzados à direita) do horizonte A de P1, evidenciando: **a, b** – blocos subangulares, indicados pela linha tracejada amarela, com fundo matricial constituído por micromassa de tons brunados; **c, d** – microestrutura fissural com grãos grossos imersos na micromassa, numa trama porfírica; **e, f** – grãos grossos (quartzo) envolvidos pela micromassa numa trama quitônica. Qz = quartzo; Bi = biotita; Plg = plagioclásio; Fep = Feldspato alcalino; P = poro. Objetivas com aumento de 4x (a, b, c, d) e 10x (e, f).

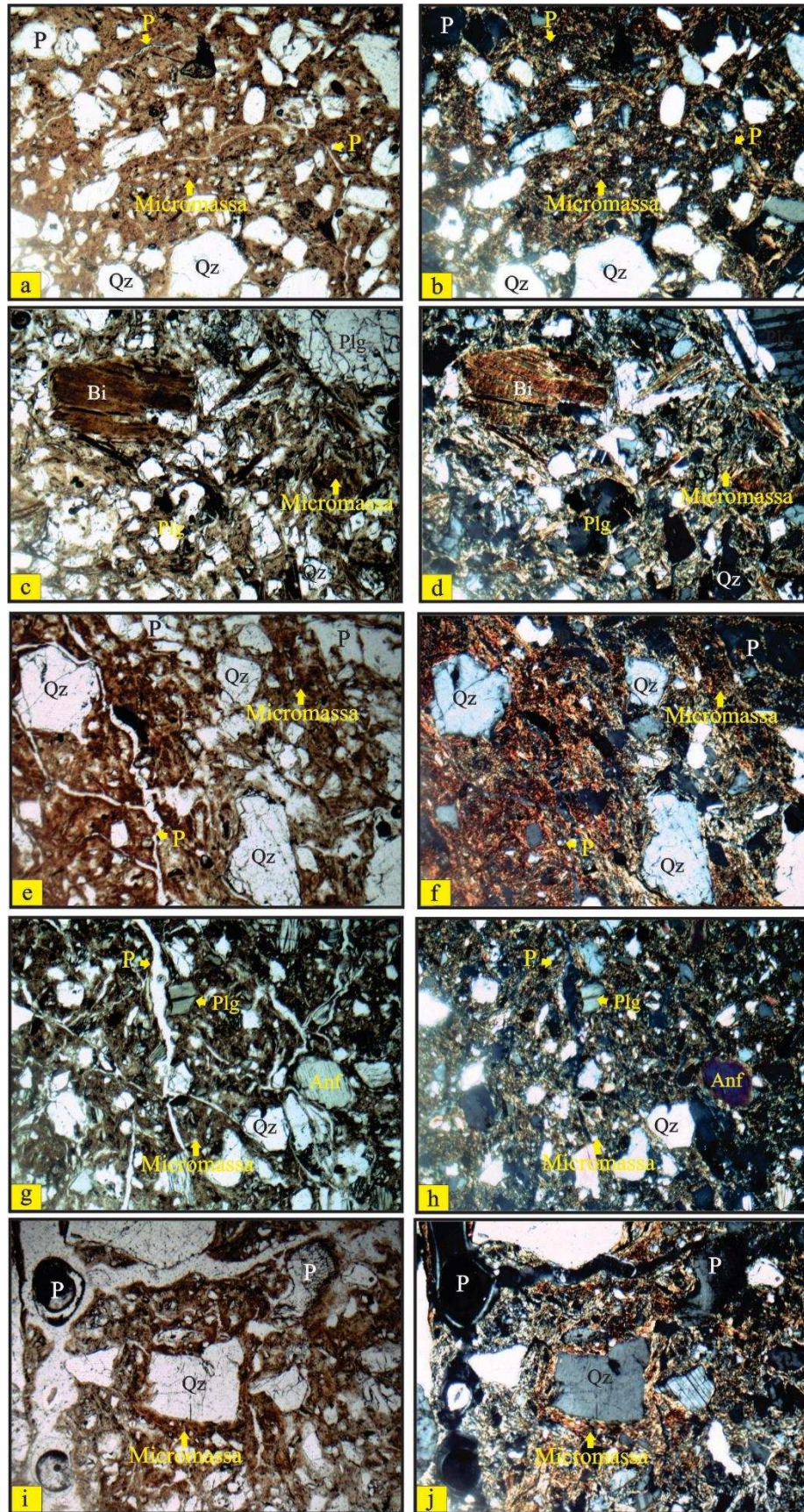


Figura 13 - Fotomicrografias obtidas em microscópio óptico (nícois paralelos à esquerda e cruzados à direita) dos horizontes: **a, b** – porção superior do Bt de P1; **c, d** – porção inferior do Bt de P1; **e, f** – Bt de P2; **g, h** – Bi de P4; **i, j** – Bt de P6. Qz = quartzo; Bi = biotita; Plg = plagioclásio; P = poro. Objetivas com aumento de 4x.

As feições pedológicas principais nos horizontes foram feições texturais, pedotúbulos e nódulos (Figura 14). Em termos das feições texturais foram observados muito poucos cutãs crescentes típicos, sendo mais comuns cutãs de estresse e hipocutãs. Os cutãs crescentes são do tipo argilans e parecem ocorrer restritos no contato entre os horizontes A e Bt em P1. Embora denotem iluviação, são pouco desenvolvidos e raros, restringindo-se ao contato mencionado. Os cutãs de estresse ocorrem nos horizontes Bt associados a alguns poros cavitários e superfícies de grãos, sugerindo reorganização dos constituintes por movimentos de contração e expansão das argilas. Apresentam trama birrefringente com orientação quase sempre perpendicular à superfície de contato, o que indica que foram formados pela reorganização da micromassa, e não por deposição de argila. Os hipocutãs foram observados na forma de impregnações do fundo matricial no interior dos agregados e parecem estar associados a zoneamentos de constituintes químicos definidos, neste caso, zonas de ferruginização de borda.

Diversas feições semelhantes a filmes de argilas foram observadas em profundidade, sobretudo pelo brilho forte e orientação crescente dos constituintes, suscitando o cuidado para que não fossem interpretadas como feições iluviais. São elas argilas orientadas associadas a alteromorfos de biotitas, quase sempre ocorrendo quando as paletas se apresentavam em graus 4 e 5 de alteração e os filmes de argila associados à reorganização da micromassa, já mencionado como cutãs de estresse. A dificuldade em separar tais feições e o cuidado para não as confundir foi assinalado por Kuhn et. al, (2010). Os pedotúbulos são mais comuns no horizonte A e apresentam preenchimento solto descontínuo (Figura 14i), suficiente para atestar a presença de bioturbação como um processo atuante em tais solos. Os nódulos são raros e foram encontrados apenas no horizonte Bi em P4 (Figuras 14g, h). São típicos e sugerem, pela cor, composição ferruginosa. Ocorrem também fragmentos vegetais em diferentes graus de decomposição (Figura 14j).

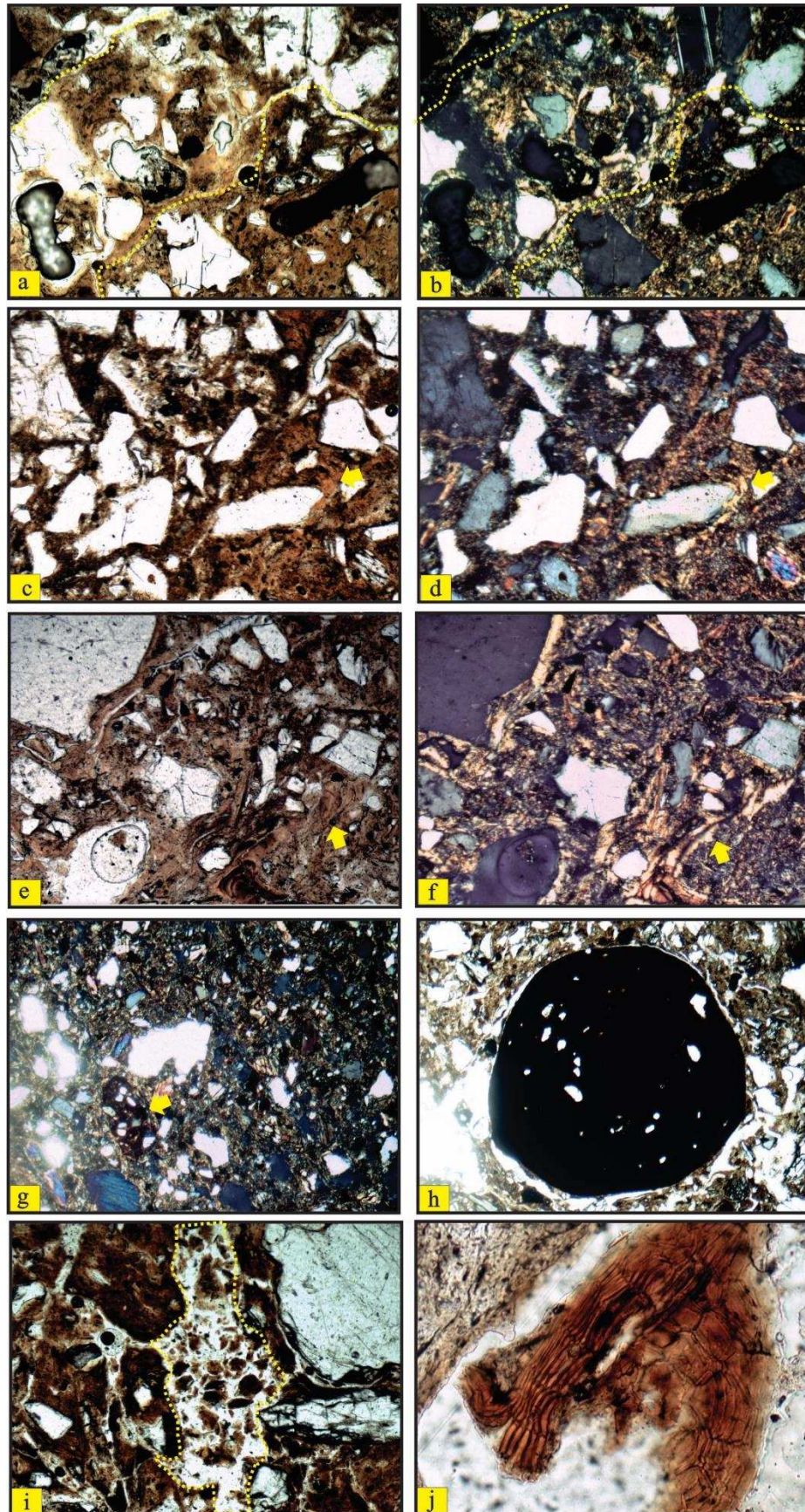


Figura 14 - Fotomicrografias obtidas em microscópio óptico (níveis paralelos à esquerda e cruzados à direita, respectivamente para as imagens a, b, c, d, e f; apenas níveis cruzados para as imagens g e níveis paralelos para as imagens h, i, j), sendo **a, b, c, d, e, f** - feições texturais (cutãs de estresse) nos horizontes Bt, porção superior, do perfil P1; **g, h** - nódulos típicos no horizonte Bi de P4; **i, j** - pedotúbulo e fragmento vegetal, respectivamente, no horizonte Bt superior de P1; Objetivas com aumento de 4x (a, b, c, d, e, f, g, i) e 10x (h, j).

Considerando os constituintes e as organizações micropedológicas acima descritos, alguns pontos são destacados na interpretação do seu significado em termo da gênese dos solos estudados. Em primeiro lugar, é preciso considerar que a mineralogia dos constituintes grossos, mesmo nos horizontes mais desenvolvidos, possui muitos minerais primários facilmente intemperizáveis, reiterando o incipiente grau de alteração dessas rochas e, por conseguinte, a “jovialidade” mineral desses solos. Isso ocorre para os dois materiais de origem: biotita-gnaisses corpos ultramáficos; revelando uma litodependência dos solos em decorrência do baixo grau de intemperismo associado ao clima na área de estudo.

Nos termos assim expostos, a origem da matriz fina ocorre associada, principalmente, ao intemperismo da biotita (principalmente a argila 2:1) nos gnaisses e do anfibólio nas intrusões máficas. Isso se torna perceptível pela grande quantidade de alteromorfos presentes, mais frequentes e com menor grau de alteração na base do horizonte Bt. A progressiva alteração das micas justifica o enriquecimento de argila evidenciado pelas análises texturais na comparação entre os horizontes BC e Bt. Os demais minerais, como quartzo e ortoclásio, permanecem mais tempo no sistema, sendo, por isso, mais visualizados que as micas no horizonte A. A ordem de alteração mineral plagioclásio – biotita – ortoclásio – quartzo está de acordo com a série de alteração mineral proposta por Goldich (1938). Foram reconhecidos alguns cristais de plagioclásio parcialmente alterados, provavelmente para caulinita, o que leva a crer que sua identificação nos difratogramas pode ser explicada tanto pela monossilicificação dos plagioclásios, quanto pelo intemperismo progressivo das argilas 2:1.

A variação de cor da micromassa parece indicar que a condição de alteração dos minerais tem ocorrido influenciada pelas condições de drenagem impostas pela topografia. Isso porque os horizontes Bt situados em posições mais altas na vertente, como em P2, mostraram um grau de ferruginização maior das biotitas, sendo, inclusive, o único perfil em que foi possível identificar a hematita nos difratogramas. Essa ferruginização ocorre impregnando a micromassa de duas formas: isto é, tanto nos próprios alteromorfos de biotita (mais vermelhos e nitidamente mais alterados) quanto na forma de hipocutãs nas bordas de alguns agregados, o que sugere formação de um córtex ferruginoso pela melhor oxigenação dos solos.

Em termos das pedofeições, a presença de muito poucos cutãs de iluviação no contato entre os horizontes A e Bt sugere que a iluviação não parece ser o principal processo formador do gradiente textural observado, ou, pelo menos, o único processo. Na maior parte do horizonte Bt os poros encontram-se abertos e sem nenhum filme de argila e, mesmo quando ocorrem, sugerem ser do tipo de estresse, associados a mecanismos de reorganização de constituintes finos em ciclos de umedecimento e secagem. Essas observações corroboram com aspectos macromorfológicos, como a não constatação de cerosidade no campo. A forte orientação da argila em diversos domínios, tanto nas bordas dos grãos quanto nos próprios agregados, possui muito mais relação com a manutenção de uma orientação dos filossilicatos primários (ainda que já sob um domínio aloterítico), e não com a deposição de argila translocada. Diversos estudos têm corroborado com essa visão, atestando que do ponto de vista micromorfológico, solos desenvolvidos em contexto litológicos e climáticos muito semelhantes não têm apresentado feições de iluviação significativas que confirmem ser a lessivagem o principal/único processo formador dos horizontes B texturais (Almeida, 1995; Campos et al., 1997; Phillips, 2004; Oliveira et al., 2008).

## 5. CONCLUSÕES

1. Os solos da área estudada são pouco espessos e com argila de atividade alta (Luvisolos: P3, P5 e P6; Chernossolos: P4) e baixa (Argissolos: P1 e P2).

2. Os solos apresentaram expressivo gradiente textural caracterizando horizonte Bt abaixo de A moderado, à exceção do P4.

3. Todos os solos estudados são eutróficos em concordância com o material de origem e com as baixas taxas de intemperismo e lixiviação ditadas pelo clima quente e relativamente seco da região.

4. A Difractometria de raios-x da fração argila revelou presença de ilita e esmectita. Em consequência os valores de  $k_i$  dos horizontes subsuperficiais foram maiores que 2,2.

5. A Difractometria de raios-x da fração areia fina e silte revelou a presença de feldspatos (plagioclásios e ortoclásio) e micas (biotita e muscovita), indicando reserva considerável de nutrientes e confirmando também a eutrofia dos solos.

6. Não foi constatada cerosidade na descrição de campo dos solos com Bt. A análise micromorfológica também não indicou a ocorrência de cutãs de iluviação, indicando que a lessivagem não foi o processo principal na formação do Bt.

7. A presença de cutãs de estresse sugerem que a elutriação e a formação de argila “in situ” explicam melhor a gênese dos perfis P1, P2, P3, P5 e P6.

8. Além do sódio, o magnésio parece exercer influência na dispersão da argila, contribuindo para a formação da estrutura colunar que se desfaz em blocos angulares e subangulares dos solos estudados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTAHI, A.; KHORMALI, F. Genesis and morphological characteristics of Mollisols formed in a catena underwater table influence in southern Iran. *Commun. Soil sci. Plant anal.* 2001; 32 (9 e 10): 1643–1658.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>> Acesso em: 28 jun 2016.

ALBUQUERQUE NETO, A.F.C. Variação temporal na umidade num perfil de um solo Bruno Não Cálcico vértico no estado de Pernambuco. *Caderno Ômega*, n.3. 1992. p. 13-32.

ALLEN, B.L. & HAJEK, B.F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, S.B. & WEED, S.B. *Minerals in soil environments*. 2.ed. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of American, 1989. p.199-278.

ALLOWAY, B.J. Sources of heavy metal ens metalloids in soils. In: ALLOWAY, B.J. *Heavy metals in soils*. 3ª ed. 2013. p. 11-50.

ALMEIDA, B. G. Avaliação do impacto do manejo com irrigação em solos Bruno Não Cálcicos do estado de Sergipe. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 1995. (Dissertação de mestrado)

ALPEROVITCH, N.; SHAINBERG, I.; KEREN, R. Specific effect of magnesium on the hydraulic conductivity of sodic soils. *J. Soil Sei.* 1981; 32:543-354.

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo*.2000. 52: p. 27-32.

AMARAL, E.F; ARAÚJO, E.A.; LANI, J. L.; RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA, H.; MELO, A.W.F.; AMARAL, E.F.; SILVA, J.R.T.; NETO, M.A.R; BARDALES, N.G. Ocorrência e Distribuição das Principais Classes de Solos do Estado do Acre. In: *Guia de Campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos*. Brasília, DF. EMBRAPA. 2013. p. 97-129

ARAÚJO FILHO, J.C.; BURGOS, N.; LOPES, O.F.; SILVA, F.H.B.B.; MEDEIROS, L.A.R.; MELO FILHO, H.F.R.; PARAHYBA, R.B.V.; CAVALCANTI, A.C.; OLIVEIRA NETO, M.B.; RODRIGUES E SILVA, F.B.; LEITE, A.P.; SANTOS, J.C.P.; SOUSA NETO, N.C.; SILVA, A.B.; LUZ, L.R.Q.P.; LIMA, P.C.; REIS, R.M.G. & BARROS, A.H.C. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2000. 378p. (Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa, 11)

ARAÚJO, M.S.B. Fósforo em Toposequências de Latossolos e Luvisolos do Semi-Árido de Pernambuco. 2000. 77p. (Tese de doutorado)

AZEVEDO, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Esmeclita, vermiculita, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. Química e mineralogia do solo. SBCS, Viçosa, Parte I, 382-418p, 2009.

BARNHISEL, R.I., BERTSCH, P.M. Chlorites and hydroxyinterlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Eds.) Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.729-788.

BATISTA, R. B. Solos do Semi-árido da Paraíba afetados por sódio: Mineralogia e síntese de minerais. Viçosa, UFV- MG, 1988. 129p. (Tese de doutorado)

BORCHARDT, G. Smectites. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. Mineral in Soil Environments. Madison, USA: Soil Science Society of America, 1989. p.675-727

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres. 1974. 21:73-85.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL: Folha SE.24 Rio Doce; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. 548p. (Levantamento dos recursos naturais, v. 34)

BREWER, R., Fabric and Mineral Analysis of Soils. Krieger Publishing Co., Huntingdon, NY. 1976. 482 pp.

BREWER, R., HALDANE, A.D. Preliminary experiments in the development of clay orientation in soils. Soil Sci. 1957. 84:p.301.

BRIGHENTI, I.; ALMEIDA, J. A.; HOFER, A. Mineralogia e gênese de Argissolos das serras do Tabuleiro/Itajaí, estado de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 2012. n.4.36:1057-1071

BRONGER, A. & BRUHN, N. Clay illuviation in semiarid-tropical (SAT) alfisols? A first approach to a new concept. In: DOUGLAS, L.A., ed. Soil micromorphology: a basic and applied science. Amsterdam: Elsevier, 1990. p.175-181.

BULLOCK, P.; FEDEROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T.; BABEL, U. Handbook for soil thin section description. United Kingdom: Waine Research, 1985. 152p.

BULLOCK, P.; THOMPSON, M.L. Micromorphology of Alfisols. In: DOUGLAS, L.A & THOMPSON, M.L. Soil micromorphology and soil classification. Madison: Soil Science Society of America, 1985. cap. 2, p. 17-47.

BUOL, S.W., HOLE, F.D., MCCracken, R.J., Soil Genesis and Classification. The Iowa State University Press, Ames, IA. 1973. 360 pp.

CAMARGO, M. N.; HIRANO, C.; FREITAS, F. G.; ANTUNES, F. S.; JACOMINE, P. T. K. Levantamento de Reconhecimento dos solos da Zona do Médio Vale do Jequitinhonha – Minas Gerais. Ministério da Agricultura. Boletim técnico nº 9. Rio de Janeiro, 1970

CAMPOS, J. C. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; SAADI, A.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Gênese e micropedologia de solos do Médio Jequitinhonha, de Turmalina a Pedra Azul. *Geonomos*. 1997. n1. 5: 41-53

CARNEIRO, L. R. S.; ANTONELLO, L. L.; BEZERRA, T. C. L. Estudo micropedológico e pesquisa sobre a gênese de Podzólico Vermelho Amaralo equivalente eutrófico da região do Vale do Rio Doce- Minas Gerais. Recife, EMBRAPA, 130 p. 1977. (Boletim técnico nº 43)

CARVALHO FILHO, A. Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. 245p. (Tese de Doutorado)

CASTRO, S. S. Micromorfologia de solos: Base para descrição de lâminas delgadas. 2ª edição. Unicamp/UFV. Campinas/Goiânia. 2008. 143 p.

CASTRO, S. S.; COOPER, M.; SANTOS, M. C. VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: base para distinções e aplicações. *Tópicos Ci. Solo*, 2003. 3:107-164

CETEC- Fundação Centro tecnológico de Minas Gerais. Mapa de solos a nível de reconhecimento. Projeto Jequitinhonha, Belo Horizonte, Minas Gerais, 1980. Escala 1: 60.000.

CHI, C. L.; EMERSON, W. W.; LEWIS, D. G. Exchangeable Ca, Mg and Na and dispersion of illite in water. I. Characterization of illites and exchanges reactions. *Aust. J. of Soil Res.* 1977. 15: 243-253.

CHOROM M., RENGASAMY P., MURRAY R.S. Clay dispersion as influenced by pH and net particle charge of sodic soils. *Australian Journal of Soil Research*.1994.32:1243-1252

CHURCHMAN, G. J. The alteration and formation of soil minerals by weathering. In: SUMNER. M. E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, 2000. p. F3-F76.

CONAMA, 2009. Conselho Nacional do meio ambiente. p. 81-84

CORNELL, R.M.; SCHWERTMANN, U. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrence and uses. New York: VCH Publishers, 573p. 1996.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). *R. Bras. Ci. Solo*, 2003.27: 311-324.

COSTA LIMA, J. G.; SCHULZE, S. M. B. B.; RIBEIRO, M. R.; BARRETO, S. B. Mineralogia de um argissolo vermelho-amarelo da zona úmida costeira do estado de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 2008. 32:881-892.

COSTA LIMA, J.G.; BITTAR, S.M.B.; RIBEIRO, M.R. & BARRETO, S.B. Evolução mineralógica de dois solos de referência do Estado de Pernambuco, Brasil. *R. Biol. Ci.Terra*, 2007. 7:71-83.

COSTA, S. A. D.; KER, J. C.; SIMÕES, D. F. F.; FONTES, M. P. F. F.; FABRIS, J. D.; ANDRADE, F. V. Pedogênese e classificação de Latossolos desenvolvidos de itabiritos no Quadrilátero Ferrífero, MG. R. Bras. Ci. Solo, 2014. 38:359-371.

CPRM. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia das folhas Jacinto/Salto da Divisa/Itarantim. Folhas SE.24-V-B-I/ SE.24-V-B-II/ SD.24-Y-D-IV. Belo Horizonte, MG. 2000. 83p.

CUNHA, T. J. F.; PRETERE, V. G.; SILVA, D. J., MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L.; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SÁ, I. B. & SILVA, P. C. G. Semiárido brasileiro: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. Petrolina, PE. Embrapa Semiárido, 2010. p. 49-87.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. INCTSal. Fortaleza, CE. 2010. P. 133- 144

DIAS, T. G. Caracterização geoquímica e geocronológica do Complexo Jequitinhonha na área-tipo, Orógeno-Araçuaí. Belo Horizonte. UFMG. 2012. 119p. (Dissertação de mestrado)

DONTSOVA K.M., NORTON D. Effects of exchangeable Ca:Mg ratio on soil clay flocculation, infiltration and erosion., in: D. E. Scott, et al. (Eds.), 10th International Soil Conservation Organization Meeting, May 24-29, 1999 at Perdue University and USDA-ARS National Soil Research Laboratory.

DUARTE, M.N.; RAMOS, D.P. & LIMA, P.C. Caracterização e gênese de solos desenvolvidos de cobertura quaternária sobre embasamento cristalino, na baixada litorânea do Estado do Rio de Janeiro. R. Bras. Ci. Solo, 20:291-304, 1996.

EMBRAPA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLO. Manual de método e análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA Solos, 2011. 230p. - (Documentos /Embrapa Solos, ISSN 1517-2627;132)

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Brasília, DF. 2013.

EMERSON W., SMITH B.H. Magnesium, Organic Matter and Soil structure. Nature. 1970. 228:453.

EMERSON W.W. Physical properties and structure., in: J. S. Russel and Greacen, E.L. (Eds.), Soil factors in crop production in a semi-arid environment., University of Queensland Press.1977. p.78-104.

EMERSON, W. W & BAKKER, A. The comparative effects of exchangeable calcium, magnesium and sodium on some physical properties of aggregates from subsoils of red-brown earths. II. The spontaneous dispersion of illites in water. Aust. J. Soil. Res. 1973. 14. 255-62

EMERSON, W. W. Inter particle bonding. In: Soils an Australian viewpoint. CSIRO, 1983. p. 477-498.

ESSINGTON, M.E. Soil and water chemistry: an integrative approach. Boca Raton, CRC Press, 2004. 534p.

FANNING, D. S.; KERAMIDAS, V. Z.; EL-DESOKY, M. Micas. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Eds.) Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p. 975-1039.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. Soil: morphology, genesis, and classification. New York: John Wiley & Sons, 1989. 395p.

FERNANDES, L.A.C.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; FERREIRA, R. F. A.L. Caracterização e classificação de solos de uma litotoposequência do Projeto Xingó- SE. Rev. Bras. Ci Agrárias. V. 5, n.1, p.192-202, 2010

FERREIRA, S. A. D.; SANTANA, D. P.; FABRIS, J. D.; CURI, N.; NUNER FILHO, E.; COEY, J. M. D. Relações entre magnetização, elementos-traço e litologia de duas sequencias de solos do Estado de Minas Gerais. R. bras. Ci. Solo. Campinas. 18: 167-174. 1994.

FONTES, M.P.F. Intemperismo de rochas e minerais. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. Pedologia, fundamentos. Sociedade Brasileira de ciência do solo, Viçosa-MG. p. 171-206. 2012.

GARCIA-ROMERO, E.; VEGAS, J.; BALDONEDO, J. L. & MARFIL, R. Clay minerals as alteration products in basaltic vulcanoclastic deposits of La Palma (Canary Islands, Spain). Sedim. Geol., 74: 237-253, 2005.

GOLDICH, S.A. A study in rock-weathering. J. Geol., 46:17-23, 1938.

GREENE R.S.B., EGGLETON R.A., RENGASAMY P. (2002) Relationships between clay mineralogy and the hardsetting properties of soils in the Carnarvon horticultural district of Western Australia. Applied Clay Science 20:211-223.

GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L.; MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. Tópicos em Ci. Solo. 4: 345-390. 2005.

HENDRICKS, D. M; Genesis and Clasification of Arid Regions Soils. In: SKUJINS, J. Semiarid lands and Deserts: Soil Resource and Reclamation. New York, EUA. Marcel Dekker, Inc. p.33-81, 1991.

HOLZHEY, C.S.; YECK, R.D. & NETTLETON, W.D. Microfabric of some argilic horizons in Udic, Xeric and Torric Soil environments of the United States. In: RUTHERFORD, G.K., ed. Soil microscopy. Kingston, The Limestone Press, 1974. p.747-759.

HUANG, P.M. Feldspars, Olivines, Pyroxenes, and Amphiboles. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Eds.) Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p. 975-1039.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Manual Técnico de Pedologia. 2ª edição. 316 p. 2007

IBRAIMO, M.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; LANI, J.; ROLIM NETO, F.C.; ALBUQUERQUE, M.A.; MIRANDA, V.J. Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (Caatinga) na região dos lagos (RJ). R. Bras. Ci. Solo, v.28, p. 695-712, 2004.

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

JACOMINE, P.K.T. Solos sob caatingas: características e uso agrícola: In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Eds.). O solo nos domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.95-111.

JACOMINE, P.K.T.; ALMEIDA, J.C. & MEDEIROS, L.A.R. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará. Recife, Ministério da Agricultura/ Sudene, 1973a. 2v.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P.; SILVEIRA, C.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. Recife: Ministério da Agricultura/SUDENE, 1973b. 359p. v. 1. (Boletim Técnico, 26; Série Pedologia, 14)

JACOMINE, P.K.T.; RIBEIRO, M.R.; MONTENEGRO, J.O.; SILVA, A.P.; MÉLO FILHO, H.F.R. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/SUDENE, 1972. 650p. (Boletim Técnico, 15; Série Pedologia, 8).

JACOMINE, P.K.T.; RODRIGUES E SILVA, F.B.; FORMIGA, R.A.; ALMEIDA, J.C.; BELTRÃO, V.A.; PESSÔA, S.C.P. & FERREIRA, R.C. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte. Recife, Ministério da Agricultura/ Sudene, 1971. 531p. (Boletim Técnico, 21; Série Pedologia, 9)

KAMPF & SCHWERTMANN. The 5 M NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. Clay and Clay Minerals. v. 30, n. 6, p. 401 – 408, 1982.

KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos caulíníticos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 7:27-31, 1983.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 1, p. 107-138, 2000.

KÄMPF, N.; MARQUES, J.J.; CURI, N. Mineralogia de Solos Brasileiros. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. Pedologia: Fundamentos. Viçosa, MG. SBCS, 2012. 343p.

KER, J.C. Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 181p. (Tese de Doutorado)

KRAUSKOPF, K. B.; Geochemistry of micronutrients. In: MORDVEDT, J. J. GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. M. eds. Micronutrients in agriculture. Madson, Soil Science Society of America, p. 7-40. 1972

KREIT, J. F., SHAINBERG, I.; HERBILLON, A. J. Hydrolysis and decomposition of hectorite in dilute salt solution. *Clays and Clay Minerals*. 30:223-31. 1982 Measurement and Interpretation for Land Evaluation, CSIRO Publishing,

KÜHN, P., AGUILAR, J., MIEDEMA, R. Textural pedofeatures and related horizons. In: Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (Eds.), Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elsevier, Amsterdam, 2010. pp. 217–250.

LIMA, G.K. Caracterização de Vertissolos no nordeste brasileiro. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, 2014. 101p. (Dissertação de mestrado).

LIMA, V. C.; DEMATTÊ, J. L. I. & MONIS, A. C. Mineralogia da argila do Rubrozem (Palehumult), Bacia de Curitiba – Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 1:81-85, 1977.

LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. Apresentação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5a Aproximação). Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa, 1999.

LUZ, L.R.Q.P.; SANTOS, M.C.D & MERMUT, A.R. Pedogênese em uma topossequência do semiárido de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, v.16, p. 95-102, 1992.

MARCHUK, A. Effect of cations on structural stability of salt-affected soils. University of Adelaide. 2013. 153p. (Tese de doutorado)

MARQUES, F.A.; SOUZA, R. A. S.; SOUZA, J. E. S.; LIMA, J. W. F. L.; SOUZA, W. S. Caracterização de Vertissolos da ilha de Fernando de Noronha, Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 38:1051-1065, 2014.

McKEAGUE, J. A.; J. H. DAY. Dithionite and oxalate-extractable Fe e Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil. Sci.* Ottawa, 46:13-22, 1966.

McNEAL, B. L.; LAYFIELD, D. A.; NORVEL, W. W. RHOADES, J. D.; Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed-salt solutions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 32, 187-190. 1966.

MEHNERT K.R. 1971. Migmatites and the Origin of Granitic Rocks. Elsevier, Amsterdam, 405 pp.

- MELLA, W.; MERMUT, A. R. Genesis and mineralogy of soils formed on uplifted coral reef in West Timor, Indonesia. *Geoderma*, 154: 544–553. 2010
- MONIZ, A.C.; GRANDE, M.A. & OLIVEIRA, V. Solos do trecho Cabo Frio-Xerém, Rio de Janeiro: influência de regimes pluviais e de material de origem na pedogênese. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:205-214, 1990
- MOREIRA, F.L.M. Influência de atributos físicos, químicos e mineralógicos sobre a capacidade de adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2000. 68p. (Dissertação de Mestrado)
- MOTA, F. O. B.; OLIVEIRA, J. B.; GEBHARDT, H. Mineralogia de um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico e de um Planossolo Háptico eutrófico solódico numa toposeqüência de gnaiss no sertão central do Ceará. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:607-618, 2002
- MOTA, F.O.B. Mineralogia de solos da região semi-árida do estado do Ceará. Piracicaba, ESALQ, 1997. 145p. (Tese de doutorado)
- MOTA, J. C. A.; JÚNIOR, R. N. A.; AMARO FILHO, J.; ROMERO, R. E.; MOTA, F. O. B.; LIBARDI, P. L. Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi- RN. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:445-454, 2007.
- MUNEER, M & OADES, J. M. The role of Ca- organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanism and models. *Aust. J. Soil Res*, 27:411-23, 1989.
- NALOVIC, L. & SEGALIN, P. Relations entre le fer et elements traces de transition dans un certain nombre de minerals ferrifères. *Cahiers ORSTOM*, 9: 181-191, 1973.
- NELSON P.N., BALDOCK J.A., CLARKE P., OADES J.M., CHURCHMAN G.J. (1999) Dispersed clay and organic matter in soil: Their nature and associations. *Australian Journal of Soil Research* 37:289-315.
- NGUETNKAM J.P., DULTZ S. (2011) Soil degradation in Central North Cameroon: Waterdispersible clay in relation to surface charge in Oxisol A and B horizons. *Soil and*
- NORRISH, K. Factors in the weathering of mica to vermiculite. In: INTERNATIONAL CLAY CONFERENCE, 1972, Madrid. Proceedings... Madrid, Division de Ciencias, 1973. p. 417-432.
- NUNES, W. A. G. A.; SCHAEFER C. E. R.; KER J. C.; FERNANDES FILHO E. I. Caracterização micropedológica de alguns solos da Zona da Mata Mineira. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:103-115, 2000
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. *Plant and soil*. 76: 319-337. 1984

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. Classes De Solos. In: Classes gerais de solos do Brasil: Guia auxiliar para seu reconhecimento. 2ªed. Jaboticabal, FUNEP, 1992, p. 95-186.

OLIVEIRA, L. B. FONTES, M. P. F. R.; KER, J. C. Micromorfologia e gênese de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semi-árido Brasileiro. R. Bras. Ci. Solo, 32:2407-2423, 2008

OLIVEIRA, L. B.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Morfologia e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas Metamórficas no semiárido do Nordeste brasileiro. R. Bras. Ci. Solo, 33:1333-1345. 2009.

OLIVEIRA, L.B; Mineralogia, micromorfologia, gênese e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semi-árido do Nordeste Brasileiro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007, 169p. (Tese de Doutorado)

OLIVEIRA, T.S.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M. & HORN, A.H. Relationship between magnetization and trace elements content of Brazilian soils from different parent materials. Soil Sci., 165:825-834, 2000.

OSTER J.D. (2001) Exchangeable sodium percentage, ESP-zeolite material, in: Slyphychm. (Ed.), Available online at <http://esce.ucr.edu?oster/SLPHY5.html>

PHILLIPS, J.D. Geogenesis, pedogenesis, and multiple causality in the formation of texture-contrast soils. Catena, v. 58, p.75-295, 2004.

PIERZYNSKI, G.M.; SIMS, J.T. & VANCE, G.F. Soils and environmental quality. Boca Raton, Lewis Publishers, 1994. 313p.

RAHMAN W.A., ROWELL D.L. The influence of magnesium in saline and sodic soils. A specific effect or a problem of cation exchange? European Journal of Soil. 1979. 30:535-546.

REBOUÇAS, H.G.P. Adensamento ou compactação de Argissolos do município de Pacajús – Ceará. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, 2001. 78p. (Dissertação de mestrado)

RENGASAMY P. Clay Dispersion, in: B. M. McKenzie, et al. (Eds.), Soil Physical Measurement and Interpretation for Land Evaluation, CSIRO Publishing, Collingwood. 2002. p. 200-210.

RENGASAMY P., GREENE R.S.B., FORD G.W. Influence of magnesium on aggregate stability in sodic red-brown earths. Australian Journal of Soil Research. 1986. 24:229-237.

RENGASAMY P., KEMPERS J., OLSSON K. Dispersive potential of Natriferals and their crusting strength. Clay Research. 1991. 10:6-10.

RESENDE, M. Bruno Não Cálcico: Interpretação de um perfil. Coleção Mossoroense, v. CCXVIII, 1983. 165p.

RESENDE, M. Nordeste: Ambiente agrícola, problemas e sugestões de pesquisa. Mossoró, 1989. (Coleção Mossoroense, Série A, 29)

RESENDE, M.; SANTANA, D.P. & CURI, N. Pedologia e fertilidade do solo: interação e aplicações. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988. 81p.

RIBEIRO A. C., GUIMARÃES P. T. G., ALVAREZ V V. H., editores. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais; 1999.

SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa, MG: SBCS. 2015.

SCHAEFER, C.E.G.R. Soils and paleosols from northeastern Roraima, Amazonia: Geomorphology, genesis and landscape evolution. PhD Thesis, University of Reading, 353 pp. 1994

SCHWERTMANN, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A.; SCHWERTMANN, U. (Ed.). Iron in soils and clay minerals. Dordrecht: D. Reidel, p.267-308, 1988.

SHINZATO, E. O carste da área de proteção ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação de solos. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 1998. 99p. (Dissertação de Mestrado)

SILVA, F. B.R.; RICHÉ. G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO. N.C.; BRITO, L.T.L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B.; SILVA, A.B.; ARAÚJO FILHO, J.C.; LEITE, A.P. Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina, Embrapa/CPATSA- Embrapa/ CNPS. 1993. 2v. (Documentos, 80).

SILVA, I. R. & SÁ MENDONÇA, E. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. p. 275-374, 2007.

SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, 2nd ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC

SOIL SURVEY STAFF. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC

SOUSA, A.R.; Caracterização e interpretação de solos Brunos Não Cálcicos para uso agrícola no sertão do Pajeú do Estado de Pernambuco. Viçosa, MG, 1986. 77p. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STOOPS, G. & JONGERIUS, A. Proposal for a micromorphological classification of soil materials. I. A Classification of related distribution of coarse and fine particles. *Geoderma*, 13:189-200, 1975.

STOOPS, G. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. Madison, Soil Science Society of America, 2003. 184p.

SULLIVAN, L.A. & KOPPI, A.J. Submicromorphology of undulating lustrous-faced pedes from some clayey soils. *Soil Sci.*, 158:218-223, 1994.

SUMNER, M. E. Sodic soils: new perspectives. *Aust J. Soil. Res.*, 1993, 31, 638-750. *Tillage Research* 113:38-47. DOI: 10.1016/j.still.2011.01.006.

U. S. Salinity Laboratory Staff. Diagnosis and improvement of saline and Alkali Soils. USDA Agric. Handbook n° 60. 1954.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

VAN BREEMEN, N.; BUURMAN, P. Soil formation. 2<sup>a</sup> ed. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2002. 415 p.

VIDAL-TORRADO, P.; MACIAS, F.; CALVO, R.; CARVALHO, S. G.; SILVA, A. C. Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentinizadas no sudoeste de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:523-541, 2006

VOLKOFF, B. & MELFI, J. A. transformações mineralógicas em Rubrozens da bacia sedimentar de Curitiba (PR). *R. Bras. Ci Solo*, 4:173-181, 1980.

WALKLEY, A. & BLACK, J.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38, 1934.

WITTHIG, L.D. & ALLARDICE, W.R. X – Ray diffraction techniques. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods*. Madison, American Society of Agronomy, p.331-362.1986.

ZHANG X.C., NORTON L.D. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils. *Journal of Hydrology*. 2002. 260:194-205

## **ANEXOS**

**Descrições dos perfis de solos estudados e difratogramas de raios-X correspondentes aos tratamento da fração argila**

## ANEXO 1

### A. DESCRIÇÃO GERAL

PERFIL 1

DATA – 15/07/2015

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Vermelho Eutrófico abruptico

UNIDADE DE MAPEAMENTO –PVAe11

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Estrada Salto da Divisa em direção a Jacinto, primeira entrada a esquerda para a mineradora Nacional de Grafite, aproximadamente 14 km da entrada. Coordenadas: 397913,37 e 8210635,25 UTM.

SITUAÇÃO, DECLIVIDADE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em corte de estrada, relevo suave ondulado, sob pastagem.

ALTITUDE – 167 m

LITOLOGIA – Biotita-gnaïsse

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Complexo Paraíba do Sul

CRONOLOGIA – Proterozóico

MATERIAL ORIGINÁRIO – Saprolito de biotita-gnaïsse

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa

ROCHOSIDADE – Não rochoso

RELEVO LOCAL – Suave Ondulado

RELEVO REGIONAL – Suave Ondulado

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta caducifólia

USO ATUAL – Pastagem

CLIMA –Aw- semiárido

DESCRITO E COLETADO POR – João Carlos Ker, Mariana Gabriele Marcolino Gonçalves, Daniel Vieira de Sousa, João Santiago Reis.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-18 cm; bruno (10YR 4/3, seco), bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3,5/2, úmido); francoarenosa; moderada pequena a média blocos subangulares; dura, friável, plástica, pegajosa; transição clara e plana; muitas raízes finas.
- Bt 18-43 cm; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido); bruno (mosqueado 10YR 4/3); argiloarenosa; moderada pequena coluna composta por forte média a grande blocos angulares a subangulares; muito dura, muito firme, plástica, muito pegajosa, transição clara e plana; raras raízes finas.
- BC 43-80 cm; bruno-acinzentado escuro (10YR 4/2 com muitas pontuações esbranquiçadas do material de origem); franco-argiloarenosa; moderada média a grande blocos angulares a subangulares; muito dura, muito firme, muito plástica, muito pegajosa; transição gradual.
- Crn 80-100 cm; rocha parcialmente alterada, constituída por material consolidado que não pode ser cortado com pá reta mesmo quando úmido.

RAÍZES: Muitas raízes finas no Ap e raras no Bt

OBSERVAÇÕES:

1. Presença de solos com horizonte B mais avermelhados na área;
2. Bt->BC: pequena transição; perfil descrito com solo seco, solo pouco espesso;
- 3.

PERFIL 2

DATA – 15/07/2015

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto solódico

UNIDADE DE MAPEAMENTO – PVAe 11

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Estrada Salto da Divisa em direção a Jacinto entrando a esquerda para a mineradora Nacional de Grafite, aproximadamente 9 km da entrada. Coordenadas: 397854,39 e 8214942,97 UTM.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Descrito e coletado em corte de estrada, com 3 a 8% de declividade, pastagem.

ALTITUDE – 162 m

LITOLOGIA – biotita-gnaïsse

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Gnáïsse Kinzigítico Unidade 2 (Nkz2)

CRONOLOGIA – Proterozóico

MATERIAL ORIGINÁRIO – Saprolito de Biotita-gnaïsse

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa

ROCHOSIDADE – Não rochosa

RELEVO LOCAL – Suave ondulado

RELEVO REGIONAL – Ondulado

EROSÃO – Ligeira laminar

DRENAGEM – Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta caducifólia

USO ATUAL – Pastagem

CLIMA – Aw- semiárido

DESCRITO E COLETADO POR – João Carlos Ker, Mariana Gabriele Marcolino Gonçalves, Daniel Vieira de Sousa, João Santiago Reis.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-16 cm; bruno (7,5YR 4/3 seco), bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmido); franco-argiloarenosa; moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente dura, friável, plástica, pegajosa; transição plana e abrupta; raízes comuns muito finas a finas; transição plana e abrupta;

2Bt<sub>1</sub> 16-38 cm; vermelho escuro (10R 3/4 seco); bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); argila; forte média a grande colunar que se desfaz em blocos angulares a subangulares; muito dura, muito firme, plástica, muito pegajosa; raízes poucas muito finas; transição difusa;

2Bt<sub>2</sub> 38-59 cm; vermelho-escuro (10R 3/4 úmido); bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); argila; forte média a grande colunar que se desfaz em blocos angulares a subangulares; muito dura, muito firme, plástica, muito



- A 0-15 cm; bruno-escuro-acinzentado (10YR 4/2, úmido); bruno-acinzentado (10YR 5/2 seco); franco-argiloarenosa; moderada pequena blocos subangulares; dura, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; raízes comuns finas; transição plana e abrupta;
- Btn 45-70 cm; bruno-avermelhado (5YR 5/3 úmido); bruno-avermelhado (5YR 4/4 úmido amassado); bruno-escuro-acinzentado (10YR 4/2 mosqueado); argiloarenosa; forte média a grande blocos angulares a subangulares; muito dura, muito firme, muito plástica, muito pegajosa;
- Crn 70-100+ cm; rocha parcialmente alterada, constituída por material consolidado que não pode ser cortado com pá reta mesmo quando úmido, mas escavável com chibanca.

RAÍZES: Comuns finas no horizonte A.

#### OBSERVAÇÕES:

1. Mosqueado no Bt; Horizonte A coletado em pastagem próximo ao perfil

#### PERFIL 4

DATA – 16/07/2015

CLASSIFICAÇÃO – Chernossolo Háplico Órtico vertissólico

UNIDADE DE MAPEAMENTO – PVAe 11

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – A 2 km da sede do município de Salto da Divisa, sentido a Jacinto. A 500m após a ponte na chegada do município de Salto da Divisa. Coordenadas: 396710,95 e 8229666,11 UTM.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil descrito em corte de estrada, relevo suave ondulado, pastagem.

ALTITUDE – 131 m

LITOLOGIA – Rocha ultramáfica

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Complexo Caraíba-Paramirim

CRONOLOGIA – Arqueano

MATERIAL ORIGINÁRIO – Saprolito de rocha ultramáfica

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa

ROCHOSIDADE – Não rochosa

RELEVO LOCAL – Suave ondulado

RELEVO REGIONAL – Ondulado

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta caducifólia

USO ATUAL – Pastagem

CLIMA – Aw-semiárido

DESCRITO E COLETADO POR – João Carlos Ker, Mariana Gabriele Marcolino Gonçalves, Daniel Vieira de Sousa, João Santiago Reis.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-18 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmido); argila; forte blocos subangulares composta de granular pequena a grande; dura, firme, plástica, pegajosa; transição plana gradual;
- Bi 18-56 cm; cinza muito escuro (10YR 3/1 úmido); francoargilosa; forte pequena a grande blocos angulares a subangulares; muito duro, muito firme, muito plástica, muito pegajosa; transição ondulada clara;
- C 56- 80+ cm; areia; rocha alterada constituída por feldspatos, quartzo e micas.

RAÍZES: Muitas finas e média no horizonte A, Poucas muito finas no horizonte B.

OBSERVAÇÕES: Fendas no perfil mais expressivas no horizonte B; solo com coloração muito escura

PERFIL 5

DATA – 16/-7/2015

CLASSIFICAÇÃO – Luvissole Crômico Órtico solódico

UNIDADE DE MAPEAMENTO – TCo 1

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Município de Salto da Divisa. A 6 km depois de tomar a balsa para Jordânia. Após um conjunto de murundus na beira da estrada. Coordenadas: 384219,26 e 8224945,12 UTM.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Relevo descrito em corte de estrada, relevo ondulado, pastagem.

ALTITUDE – 161 m

LITOLOGIA – biota-gnaïsse

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Complexo Paraíba do Sul

CRONOLOGIA – Proterozóico

MATERIAL ORIGINÁRIO – Saprolito de biotita-gnaïsse

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa

ROCHOSIDADE – Não rochosa

RELEVO LOCAL – Suave Ondulado

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

EROSÃO – Ligeira

DRENAGEM – Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta caducifólia

USO ATUAL – Pastagem

CLIMA – Aw- s7.5102 0 Tdiário

DESCRITO E COLETADO POR – João Carlos Ker, Mariana Gabriele Marcolino Gonçalves, Daniel Vieira de Sousa, João Santiago Reis.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0-20 cm; cinza muito escuro (10YR 3/1 úmido); franco-argiloarenosa; moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana abrupta;

## OBSERVAÇÕES:

1. Superfície de compressão (pouca);
2. Horizonte A coletado em pastagem próximo ao perfil (5 m);
3. Pastagem mais seca que os perfis anteriores;
4. Presença de murundus próximo a este perfil.

## PERFIL 6

DATA – 16/-7/2015

CLASSIFICAÇÃO – Luvissole Crômico Órtico solódico

UNIDADE DE MAPEAMENTO –

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Estrada para a balsa do Jacinto. De Jordânia para Jacinto a 7 km da rodovia. Município de Jacinto-MG. Coordenadas: 353290,95 e 8220950,71 UTM.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL –

ALTITUDE – 183 m

LITOLOGIA –biotita gnaisse

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Complexo Paraíba do Sul

CRONOLOGIA – Proterozóico

MATERIAL ORIGINÁRIO – Saprolito de biotita-gnaisse

PEDREGOSIDADE – Não pedregoso

ROCHOSIDADE – Não rochoso

RELEVO LOCAL – Suave ondulado

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

EROSÃO – Não aparente

DRENAGEM – Moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta caducifólia

USO ATUAL – Pastagem

CLIMA –Aw –Clima semiárido

DESCRITO E COLETADO POR – João Carlos Ker, Mariana Gabriele Marcolino Gonçalves, Daniel Vieira de Sousa, João Santiago Reis.

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0-18 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmido); bruno acinzentado (10YR 5/2,5 seco); francoarenosa; moderada pequeno blocos subangulares; muito duro, muito firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana clara.

Bt 18-48 cm; bruno-escuro (7,5YR 4/6 úmido); argiloarenosa; forte médio grande blocos angulares e subangulares; muito duro, muito firme, muito plástica, muito pegajosa; transição plana gradual.

Cr 48-75+ cm; rocha alterada constituída por material consolidado que não pode ser cortado com pá reta mesmo quando úmido.

RAÍZES: Muitas finas no horizonte A; raras finas no horizonte B.

#### OBSERVAÇÃO:

1. Raízes esmagadas no horizonte Bt;
2. Linha de pedra na transição do A para o B.

## ANEXO 2

### Difratogramas de raios-x dos tratamentos realizados na fração argila dos solos estudados para identificação de minerais 2:1

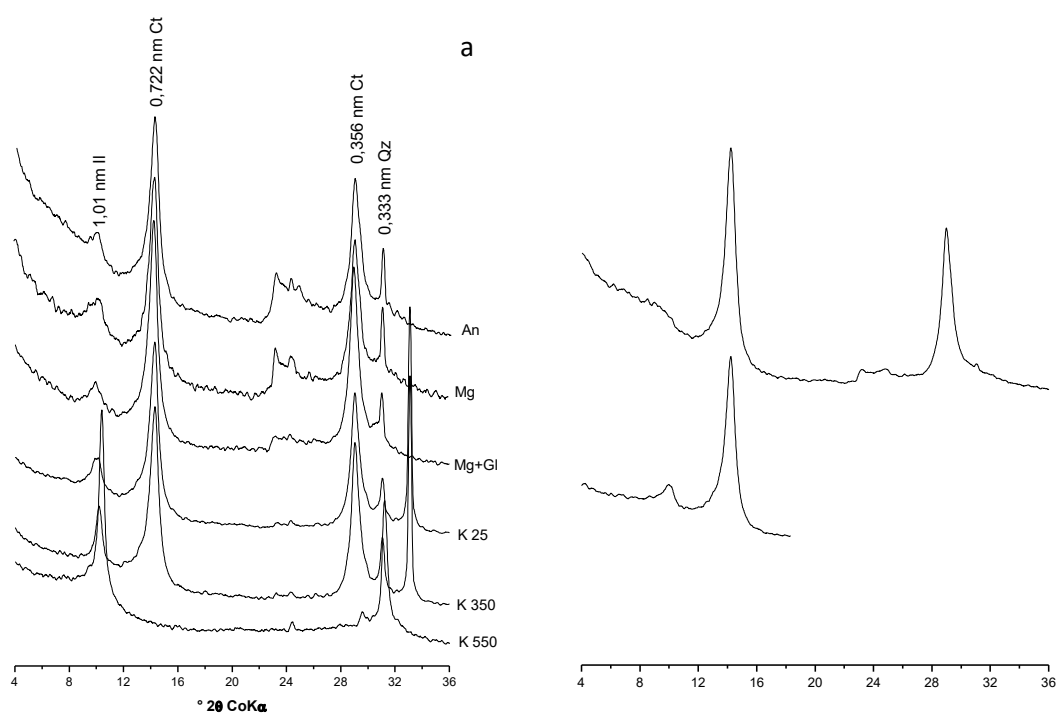
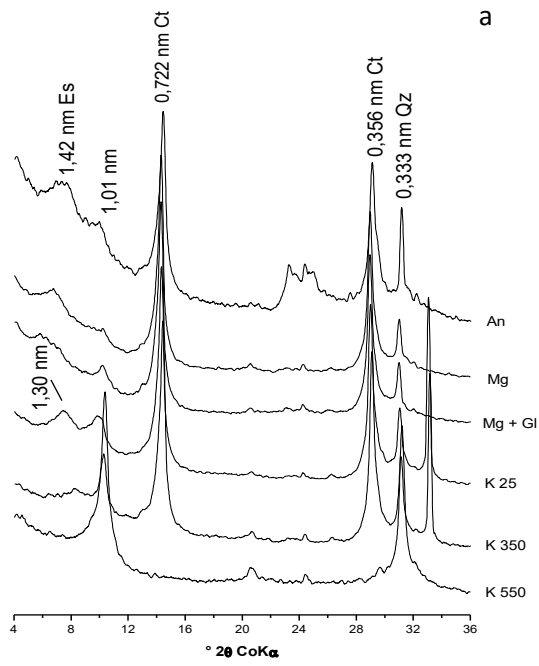
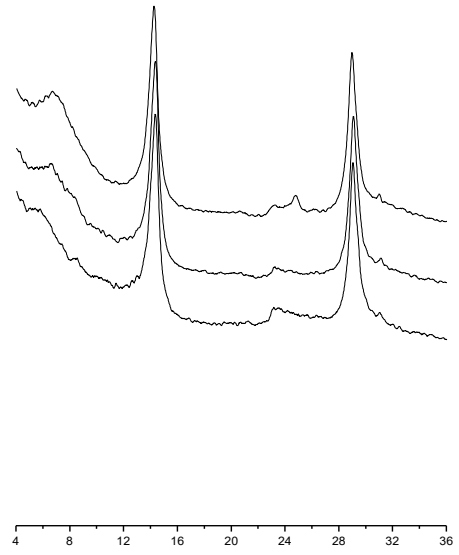
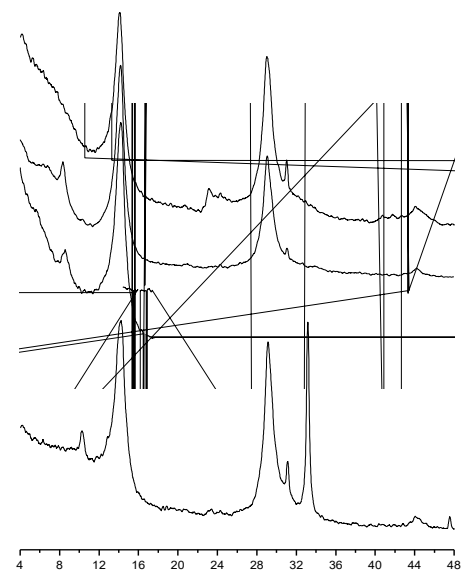
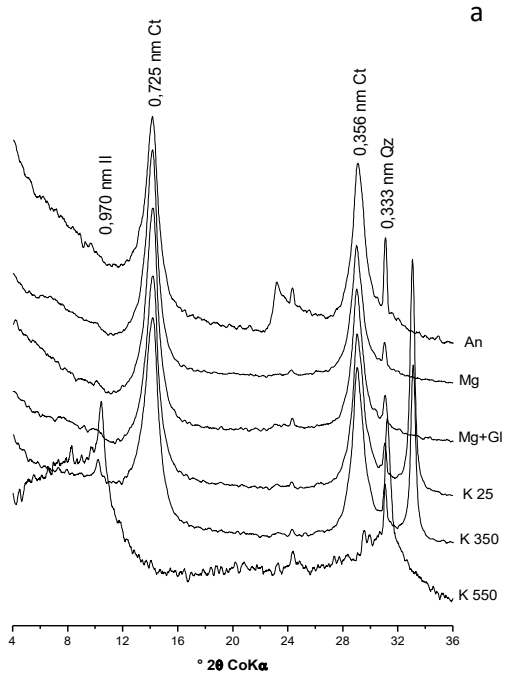


Figura 15. Pré tratamentos realizados na argila desferrificada do perfil 1. An: argila natural; Mg: saturação com Mg 1 mol/L; Mg+Gl: saturação com Mg e glicerol; K 25: saturação com K 1 mol/L a temperatura ambiente; K 350: saturação com K e aquecimento a 350 °C, K 550: aquecimento a 550 °C. (a) horizonte Ap; (b) horizonte Bt; (c) horizonte BC. Il – illita, Ct - caulinita, Qz – quartzo



a





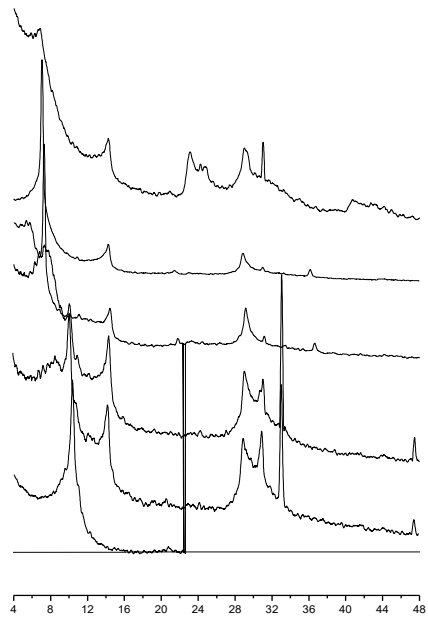


Figura 18. Pré tratamentos realizados na argila desferrificada do perfil 4. An: argila natural; Mg: saturação com Mg 1 mol/L; Mg+Gl: saturação com Mg e glicerol; K 25: saturação com K 1 mol/L a temperatura ambiente; K 350: saturação com K e aquecimento a 350 °C, K 550: aquecimento a 550 °C. (a) horizonte A; (b) horizonte Bi; (c) horizonte C. Es: esmectita

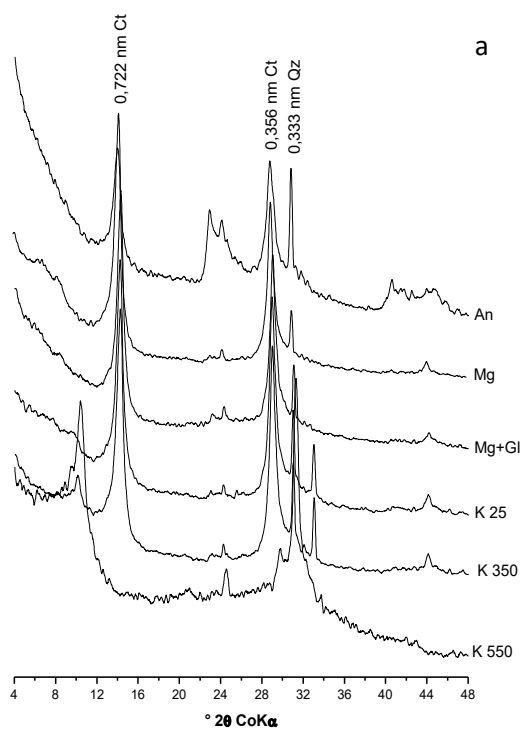


Figura 19. Pré tratamentos realizados na argila desferrificada dos perfis 5 (a) e (b) e 6 (c) e (d). An: argila natural; Mg: saturação com Mg 1 mol/L; Mg+Gl: saturação com Mg e glicerol; K 25: saturação com K 1 mol/L a temperatura ambiente; K 350: saturação com K e aquecimento a 350 °C, K 550: aquecimento a 550 °C. (a) horizonte A, P5; (b) horizonte Btn, P5; (c) horizonte Ap, P6; (d) horizonte Btn, P6. Il – illita; Es – esmectita, Ct – caulinita, Qz - quartzo

### ANEXO 3

#### Difratogramas de raios-X após concentração de óxidos da fração argila dos solos estudados

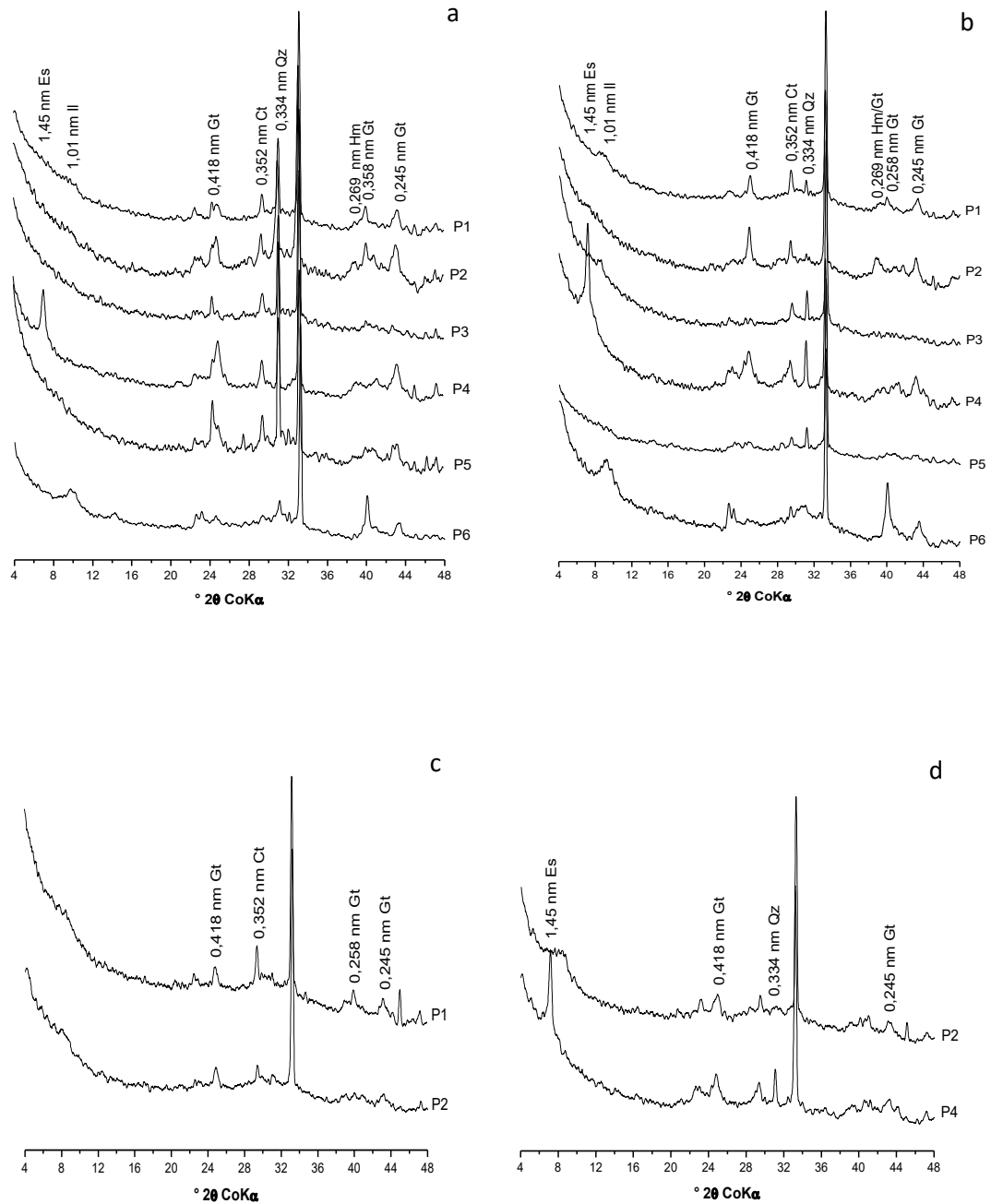


Figura 20. Difratogramas de raios-X da fração argila após a concentração de óxidos. (a) horizonte A e (b) horizonte B dos perfis P1, P2, P3, P4, P5 e P6; (c) horizonte BC dos perfis 1 e 2; (d) horizonte C dos perfis 2 e 4. Gt – goethita, Hm – hematita; Il – ilita; Es – smectita, Ct – caulinita, Qz - quartzo