

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO

**Gênese e Caracterização de Solos de Natureza
Carbonática do Grupo Italva, RJ**

Carlos Roberto Pinheiro Junior

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**GÊNESE E CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DE NATUREZA
CARBONÁTICA DO GRUPO ITALVA, RJ**

CARLOS ROBERTO PINHEIRO JUNIOR

Sob orientação do Professor

Marcos Gervasio Pereira

e co-orientação da Professora

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Setembro de 2018

P654g Pinheiro Junior, Carlos Roberto, 1994-
Gênese e Caracterização dos Solos de Natureza Carbonática do
Grupo Italva, RJ / Carlos Roberto Pinheiro Junior - 2018.
57f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.
Coorientador: Lúcia Helena Cunha dos Anjos.
Dissertação (Mestrado) . -- Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo,
2018

1. Pedogênese. 2. Classificação de solos. 3. Carbonatos amorfos.
4. Dolomita. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-, oriente. II. Anjos, Lúcia
Helena Cunha dos, 1957-, coorient. III Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do
Solo. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento
de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

CARLOS ROBERTO PINHEIRO JUNIOR

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 03/09/2018.

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Ademir Fontana. Dr. Embrapa Solos

Antônio Carlos de Azevedo. Dr. ESALQ - USP

DEDICATÓRIA

*Eu sou de uma terra que o povo padece
Mas não esmorece e procura vencer
Da terra querida, que a linda cabocla
De riso na boca zomba no sofrer
Não nego meu sangue, não nego meu nome
Olho pra fome, pergunto o que há?
Eu sou brasileiro, filho do Nordeste
Sou cabra da peste, sou do Ceará*

Patativa do Assaré

*“Permaneçam em mim, e eu permanecerei em vocês.
Nenhum ramo pode dar fruto por si mesmo, se não permanecer na videira.
Vocês também não podem dar fruto, se não permanecerem em mim.”*

João 15:4

A meus pais

*Carlos Roberto Pinheiro
e Gerúzia Márcia Macêdo Pinheiro*

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela busca da sabedoria e pela misericórdia dos nossos pecados.

A minha noiva Camila Cristina, por todo apoio, companheirismo, amizade, cobranças e alívio dos estresses.

Aos meus pais, Carlos Roberto e Gerúzia Márcia, e minhas irmãs Márcia Gabrielly, Mara Grazielli e Larissa Renata, pelo amor e apoio.

Ao professor, orientador e amigo Marcos Gervasio Pereira, por sua grande contribuição e participação na minha formação profissional, e por sua grande sabedoria em sempre conter a minha ansiedade, além do exemplo de dedicação e profissionalismo.

A professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pela orientação e ensinamentos.

Ao professor Nivaldo Schultz, pela amizade e apoio na coleta de solos.

Ao pesquisador Dr. Ademir Fontana, pela orientação e entusiasmo.

A Dra. Edilene Ferreira e ao professor Dr. Antônio Azevedo pela auxílio nas análises mineralógicas.

A técnica Maria Helena pelo auxílio nas análises no Laboratório de Física do Solo.

Ao bolsista de iniciação científica Jonas pelo auxílio nas análises.

A todos colegas e amigos do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), a qual tem orgulho de carregar seu símbolo tatuado nas costas. Aos funcionários (professores e técnicos administrativos) do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo (PPGA - CS) da UFRRJ.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo auxílio financeiro do projeto e por todas as bolsas concedidas.

BIOGRAFIA

Carlos Roberto Pinheiro Junior, filho de Carlos Roberto Pinheiro e Gerúzia Márcia Macêdo Pinheiro, nasceu em Fortaleza – CE no dia 25 de julho de 1994. Aos dois anos de idade mudou-se para o município de Milhã, região Sertão Central do Ceará, terra natal de seu pai e avós paternos, ali morou até os 14 anos de idade, quando então foi aprovado no processo seletivo do curso de Técnico em Agropecuária no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará, no município de Iguatu, região Centro Sul do Ceará. Obteve o título de Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio em dezembro de 2011. Em janeiro de 2013 ingressou no curso de graduação em Agronomia na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, no município de Seropédica. Em janeiro de 2017 recebeu o diploma de Engenheiro Agrônomo pela UFRRJ e ingressou no mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo pela mesma Instituição.

RESUMO

PINHEIRO JUNIOR, Carlos Roberto. **Gênese e caracterização dos solos de natureza carbonática do Grupo Italva, RJ**. 2017. 57f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

No Brasil as rochas carbonáticas ocorrem em aproximadamente 7% do território, distribuídas nas mais diversas condições climáticas e ambientais. Devido a essa grande abrangência, estudos de caracterização pedológica são muito importantes para o conhecimento dos solos dessas áreas. A região noroeste fluminense está inserida na geologia do Grupo Italva, onde ocorrem rochas calcissilicáticas e mármore, material que associado à condição de climas mais seco favorece a adição de cálcio e magnésio ao solo, presença de carbonatos e argilas de alta atividade, entre outros atributos. O objetivo desse trabalho foi caracterizar os atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos de solos de natureza carbonática do Grupo Italva e interpretar a atuação dos principais fatores e processos na pedogênese. Para o estudo, foi selecionada uma topossequência no município de Italva, RJ, onde foram descritos e coletados 6 perfis. O material de origem, clima e relevo foram os principais fatores responsável pela gênese dos solos influenciando em diversos atributos como elevados valores de saturação por bases com predomínio de Ca e Mg, pH elevado, presença de carbonatos, alta relação Ki, baixos teores de Fe_2O_3 , além de controlarem o fluxo de água, condição de drenagem e acumulação cátions. A ausência de efervescência com solução de HCl das amostras de solo e a alta relação MgO/CaO sugerem natureza dolomítica dos carbonatos. Apesar dos altos teores de carbonatos, esses compostos não foram detectados na análise mineralógica, contudo, baseado na literatura sugere-se a presença de carbonato de cálcio amorfo e protodolomita, ambos não detectados por difração de raios-X. Os principais minerais encontrados na fração areia foram quartzo, feldspatos, mica e piroxênio, além de sepiolita possivelmente precipitada sobre grãos de protodolomita; enquanto na fração argila verificou-se presença de illita e caulinita. Os principais processos pedogenéticos atuantes são melanização, calcificação, eluviação/iluviação, vertização e gleização. Os perfis foram classificados como Chernossolo Rêndizo Lítico típico (topo); Chernossolo Háptico Carbonático saprolítico (terço superior); Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico chernossólico (terço médio); Chernossolo Ebânico Carbonático típico (terço inferior em rampa de colúvio); Cambissolo Flúvico Carbonático típico (terço inferior em dique aluvial) e; Vertissolo Hidromórfico Carbonático típico (baixada). A presença de superfícies de compressão associada à ocorrência microrelevo gilgai devem ser adicionados como critérios diagnósticos para a definição da ordem dos Vertissolos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, tendo em vista que indicam a ocorrência de intensa vertização.

Palavras chave: Pedogênese. Dolomita. Carbonato de cálcio amorfo.

ABSTRACT

PINHEIRO JUNIOR, Carlos Roberto. **Genesis and characterization of soils with carbonate nature of the Italva Group, RJ.** 2018. 57p. Dissertation (Master in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

In Brazil, carbonate rocks occur in approximately 7% of the territory, distributed in the most diverse climatic and environmental conditions. Due to this wide range, studies of pedological characterization have great importance for the knowledge of the soils of these areas. The northwestern region of Rio de Janeiro geology is included in the Italva Group, where calcissilic rocks and marbles occur. This material, which is associated with drier climates, favors the addition of calcium and magnesium, presence of carbonates and high activity clays, among other attributes. The objective of this work was to characterize the morphological, physical, chemical and mineralogical attributes of soils of a carbonate nature of the Italva Group, and to evaluate the influence of the main factors and processes in the pedogenesis. For the study, a toposequence was selected in the municipality of Italva, RJ, where 6 profiles were described and collected. The material of origin, climate and relief were the main factors responsible for the soil genesis influencing in several attributes such as high values of base saturation with predominance of Ca and Mg, high pH, presence of carbonates, high Ki ratio, low Fe₂O₃ contents, in addition to controlling the water flow, drainage condition and cations accumulation. The absence of effervescence of the soil samples with HCl solution and the high MgO / CaO ratio suggest the dolomitic nature of the carbonates. Despite the high carbonate content, these compounds were not detected in the mineralogical analysis. However, based on the literature it is suggested the presence of amorphous calcium carbonate and protodolomite, both of which were not detected by X-ray diffraction. The main minerals found in the sand fraction were quartz, feldspar, mica and pyroxene, in addition to sepiolite possibly precipitated on protodolomite grains; while in the clay fraction there was presence of illite and kaolinite. The main active pedogenetic processes are melanization, calcification, eluviation / illuviation, vertization and gleization. The profiles were classified as *Chernossolo Rêndzico Lítico típico* (high plain); *Chernossolo Háptico Carbonático saprolítico* (shoulder position); *Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico chernossólico* (backslope); *Chernossolo Ebânico Carbonático típico* (footslope in a colluvium ramp); *Cambissolo Flúvico Carbonático típico* (footslope in an alluvial dike) and; *Vertissolo Hidromórfico Carbonático típico* (low plain). The presence of compression surfaces associated to the microrelevo gilgai occurrence should be added as a diagnostic criterion for the *Vertissolos* soil order in the Brazilian Soil Classification System, since they indicate the occurrence of intense vertization.

Key words: Pedogenesis. Dolomite. Amorphous calcium carbonate.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição global das rochas carbonáticas. Fonte: Ford & Williams (2007).....	2
Figura 2: Média de precipitação e temperatura do ar do município de Italva, região Noroeste Fluminense, RJ.....	8
Figura 3: Vista lateral (a) e frontal (b) e distribuição dos perfis ao longo da topossequência no município de Italva, região Noroeste do Rio de Janeiro. Fonte: Google Earth (a); foto: Marcos Gervasio Pereira (b).	10
Figura 4: Perfis descritos nas diferentes posições de topo (P1) (a); terço superior (P2) (b); terço médio (P3) (c); terço inferior em rampa de colúvio (P4) (d); terço inferior em dique aluvial (P5) (e) e baixada (P6) (f).	15
Figura 5: Microrelevo gilgai (a) e superfície de compressão (b) no horizonte 3Bivgk' em P6, localizado na posição de baixada. Fotos: Marcos Gervasio Pereira.....	16
Figura 6: Dique aluvial localizado na posição de terço inferior da paisagem. Foto: Marcos Gervasio Pereira.....	17
Figura 7: Difratoformas de raios-X da fração areia dos perfis estudados.	47
Figura 8: Difratoforma de raios-X da fração argila do horizonte ACk do perfil P1.....	48
Figura 9: Difratoforma de raios-X da fração argila do horizonte Crk do perfil P1.	49
Figura 10: Difratoforma de raios-X da fração argila do horizonte Bik do perfil P2.	50
Figura 11: Difratoforma de raios-X da fração argila do horizonte Crk2 do perfil P2.	51
Figura 12: Difratoforma de raios-X do horizonte Btk2 do perfil P3.	52
Figura 13: Difratoforma de raios-X da fração argila do horizonte Bik2 do perfil P4.	53
Figura 14: Difratoforma de raios-X da fração argila do horizonte 3Bik1 do perfil P5.	54
Figura 15: Difratoforma de raios-X da fração argila do horizonte 4Bik2 do perfil P5.	55
Figura 16: Difratoforma de raios-X da fração argila do horizonte 6Cgk2 do perfil P5.	56
Figura 17: Difratoforma de raios-X da fração argila do horizonte 3Bivgk' do perfil P6.....	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Informações gerais da paisagem e pontos de aberturas das trincheiras ao longo da topossequência de natureza carbonática no Noroeste Fluminense.	9
Tabela 2: Atributos morfológicos dos solos de uma topossequência de natureza carbonática na região Noroeste Fluminense.....	13
Tabela 3: Atributos físicos dos solos de uma topossequência de natureza carbonática.	18
Tabela 4: Atributos químicos dos solos de uma topossequência de natureza carbonática.	21
Tabela 5: Teores de CaCO_3 equivalente, teores pseudototais de MgO e CaO e reação de efervescência a HCl a 10%.	23
Tabela 6: Teores totais de sílica, alumínio, ferro e titânio, determinados por ataque sulfúrico.	26
Tabela 7: Formas livres de ferro dos solos de uma topossequência de natureza carbonática.	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Rochas Carbonáticas: Principais Características	2
2.2 Carbonatos Geogênicos e Pedogênicos	3
2.3 Ocorrência de Calcita e Dolomita.....	4
2.4 Geologia do Grupo Italva	5
2.5 Fator Relevo na Formação do Solo.....	5
2.6 Atributos, Gênese e Classificação dos Solos Carbonáticos	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Meio Físico	8
3.2 Descrição dos Perfis e Coleta de Amostras	10
3.3 Análises Físicas.....	11
3.4 Análises Químicas	11
3.4.1 Análises de rotina.....	11
3.4.2 Carbono orgânico total (COT)	11
3.4.3 Ataque sulfúrico	11
3.5 Análises Mineralógicas	12
3.6 Formas Extraíveis de Fe	12
3.7 CaCO ₃ Equivalente	12
3.8 Digestão Ácida – Pseudototais	12
3.9 Classificação dos Solos.....	12
4.1 Atributos Morfológicos.....	13
4.2 Atributos Físicos	17
4.3 Atributos Químicos	20
4.4 Carbonatos	23
4.5 Complexo de Meteorização	25
4.5 Grau de Cristalinidade dos Óxidos de Ferro	27
4.6 Análise Mineralógica.....	29
4.6.1 Mineralogia da fração areia	29
4.6.3 Mineralogia da fração argila	30
4.6 Gênese e Classificação.....	31
5. CONCLUSÕES	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as rochas de natureza carbonática ocupam aproximadamente 7% do território, destacando-se a Formação Jandaíra na Chapada do Apodi (CE e RN); a Formação Santana na Chapada do Araripe (CE); o Grupo Bambuí (TO e GO); a Serra da Bodoquena (MS) e o Grupo Italva (RJ). Nesse sentido, devido à grande abrangência dessa litologia, estudos que buscam interpretar a influência deste material de natureza carbonática nos atributos do solo e processos pedogenéticos, são de grande importância para a caracterização pedológica desses ambientes. Além disso, considerando o predomínio do mineral calcita na constituição dessas rochas, pouco se sabe sobre a influência de outros grupos carbonáticos nas propriedades do solo.

A região noroeste do estado do Rio de Janeiro está inserida na geologia do Grupo Italva, caracterizado pelo conjunto meta-vulcano-sedimentar no qual ocorrem gnaisses com presença de hornblenda intercalados com rochas calcissilicáticas, anfibólitos e espessas camadas de mármore com elevado conteúdo de carbonato de cálcio.

Solos formados a partir de material desta natureza apresentam características particulares, tais como: elevada saturação por bases com predomínio de Ca e Mg no complexo sortivo; argilas de atividade alta; e alta relação sílica/alumínio (Ki). Adicionalmente, a condição de clima mais seco, identificado pela ocorrência de vegetação caducifólia, minimiza as perdas de bases e a remoção de sílica por lixiviação favorecendo a ocorrência dos atributos supracitados. Além disso, a interação entre esses fatores intensifica a atuação de processo que levam a acumulação de carbonatos e ao escurecimento dos horizontes do solo devido as interações do cálcio com o húmus.

Neste sentido as hipóteses deste trabalho são:

- a) A condição de clima seco, associada aos elevados teores de Ca e Mg fornecidos pelo material de origem, pode favorecer a formação de solos com feições específicas verificadas em solos de natureza carbonática.
- b) O relevo é responsável pela ocorrência de diferentes processos pedogenéticos ao longo da topossequência.

O trabalho teve como objetivo geral ampliar os estudos sobre a formação de solos de natureza carbonática, originados de materiais do Grupo Italva no Noroeste Fluminense.

Os objetivos específicos são:

- a) avaliar a influência dos fatores de formação e a atuação de processos pedogenéticos nos atributos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos de solos formados em diferentes pontos de uma topossequência;
- b) identificar a natureza dos carbonatos e a influência de suas características nos atributos morfológicos, físicos e químicos do solo;
- c) fornecer informações para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos que contribuam para a estruturação dos níveis hierárquicos de solos formados a partir de materiais de natureza carbonática.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Rochas Carbonáticas: Principais Características

Segundo Ford & Williams (2007), as rochas carbonáticas ocupam aproximadamente 10% da área continental do planeta (Figura 1), podendo favorecer a observação de diferentes feições da paisagem de acordo com as condições climáticas predominantes e as impurezas contidas nos carbonatos.

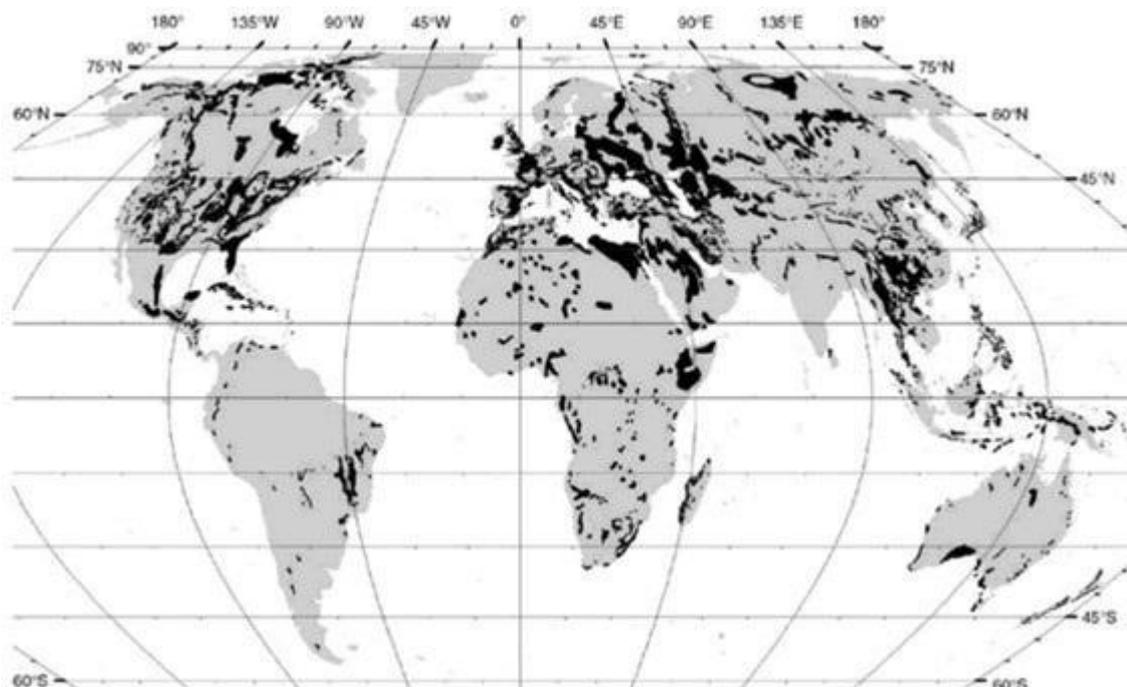


Figura 1: Distribuição global das rochas carbonáticas. Fonte: Ford & Williams (2007).

No Brasil, as rochas carbonáticas ocupam aproximadamente 7% do território, com destaque para Formação Jandaíra na Chapada do Apodi localizada nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte (Brasil, 1981); a Formação Santana na Bacia Sedimentar do Araripe, sul do estado do Ceará (Brasil, 1981); a Formação Bambuí nos estados de Tocantins e Goiás (Santos et al., 2000); a Serra da Bodoquena no Mato Grosso do Sul (Boggiani et al., 1993) e; o Grupo Itálva no Noroeste Fluminense (Brasil, 1983).

As rochas sedimentares carbonáticas, são caracterizadas por apresentarem diagênese relacionada a processos químicos e/ou bioquímicos e são compostas predominantemente por minerais carbonáticos, sendo mais comumente encontrada calcita (CaCO_3) e dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

A formação dessas rochas inicia-se a partir da atuação do intemperismo químico sobre as rochas preexistentes, nas quais através de reações de hidrólise e dissolução dos minerais essa solução se acumula no interior de bacias deposicionais e em condições de saturação, precipitam e dão origem aos minerais de natureza carbonática (Suguio, 2003).

De acordo com o mesmo autor, devido a maior quantidade da calcita observada nessas rochas, os principais constituintes químicos são CaO e CO_2 , sendo o terceiro mais frequente o

MgO com teores que normalmente variam entre 1 e 2%. Contudo, podem ser observados teores relativamente altos de Mg, levando assim a formação da calcita magnesianiana.

Muitos são os estudos voltados a melhor compreender a dinâmica e o ciclo do carbono, tendo em vista a sua grande importância nos impactos ambientais. De acordo com Raheb et al. (2017) o planeta terra possui cinco principais formas de armazenamento de carbono, sendo estas: a litosfera, incluindo nesta os combustíveis fósseis e as rochas sedimentares como calcário e dolomito; o oceano; o carbono orgânico e inorgânico do solo; a atmosfera e; a biosfera. Os solos de natureza carbonática ocorrem em sua grande maioria em regiões de clima árido, semiárido e subúmido quente, sendo consideradas a principal forma de armazenamento de carbono dos solos dessas áreas (Raheb et al, 2017). Devido a maior sensibilidade a mudanças no manejo e ações antrópicas, o número de estudos sobre o armazenamento e estoque de carbono orgânico é muito maior quando comparado ao carbono inorgânico. Contudo, processos que levam a acidificação do solo são responsáveis por redução significativa no conteúdo de carbono inorgânico, sobretudo naqueles com elevados teores de carbonatos (Yang et al., 2012). Essas formas inorgânicas desempenha um importante papel no sequestro de carbono (Monger et al., 2015), tendo em vista que as estimativas apontam que 40% de todo carbono do solo encontra-se armazenado como minerais carbonatados (Stanbery et al., 2017).

Regiões de clima tropical com elevado índice pluviométrico favorecem uma maior taxa de dissolução das rochas carbonáticas, devido a intensificação das reações de hidrólise dos minerais. Adicionalmente, a água ao reagir com o CO₂ atmosférico, formando ácido carbônico intensifica a dissolução dos carbonatos, acelerando a intemperização das rochas e modificando as feições da paisagem.

Contudo, dependendo da mineralogia das partículas que constituem as “impurezas” das rochas calcárias, que em sua maioria são argilominerais e quartzo, pode ser conferida maior resistência as mesmas, conseqüentemente reduzindo as taxas de dissolução dos carbonatos e minimizando as modificações do relevo, o que dificulta a formação de feições cársticas, caracterizado pela formação de dolinas, cavernas, ruínas, entre outras (Hardt, 2004).

2.2 Carbonatos Geogênicos e Pedogênicos

Os solos são considerados o principal reservatório continental de carbono, apresentando-se tanto em formas orgânicas como inorgânicas. Em regiões de clima predominantemente seco, o baixo aporte de resíduos vegetais, associado a menor taxa de dissolução e lixiviação dos carbonatos faz destes minerais, o principal estoque de carbono inorgânico. Apesar da sua grande relevância, o carbono inorgânico do solo é desconsiderado em grande parte dos estudos, tendo em vista que a atuação dos processos de formação dos carbonatos ocorre de forma mais lenta, estando vinculada aos ciclos geogênicos e pedogênicos, herdados do material de origem e com lenta troca de CO₂ com a atmosfera (Zamanian et al., 2016). Nesse sentido, os carbonatos presentes no solo podem ter origem geogênica ou pedogênica, e têm sua identificação dificultada quando se trata de ambientes litologia calcária (Pal et al., 2000). Enquanto o carbonato geogênico tem sua formação associada a processos diagenéticos envolvendo deposição e litificação, os carbonatos pedogênicos são formados a partir da precipitação do cálcio solubilizados dos minerais primários com o CO₂ oriundo da mineralização da matéria orgânica do solo e CO₂ atmosférico (Cerling & Wang, 1996).

De acordo com Zamanian et al. (2016), a formação dos carbonatos pedogênicos consiste em três etapas; na primeira ocorre a dissolução dos carbonatos geogênico e outros minerais primários contendo cálcio na sua estrutura; na segunda etapa, ocorre a mobilização dos íons

dissolvidos movimentando-se em escalas variáveis, desde espaços entre microagregados até paisagens e ecossistemas; e por fim, a terceira etapa ocorre quando a solução do solo encontra-se saturada com CaCO_3 , ocorrendo a reprecipitação, tanto pela maior evapotranspiração, reduzindo o teor de água no solo, quanto pela diminuição da pressão de CO_2 .

Estudos de referência como os de Gile et al., (1966; 1981) e Machette et al., (1985) avaliam a natureza do carbonato e o estágio de desenvolvimento pedogenético através de atributos morfológicos. Segundo os autores, o revestimento de grãos de areia é o estágio inicial da formação dos carbonatos pedogênicos, que evoluem para nódulos, até o estágio mais avançado onde o horizonte do solo é cimentado pelas precipitações dos carbonatos, dando origem ao horizonte petrocálcico.

2.3 Ocorrência de Calcita e Dolomita

Os sedimentos e as rochas sedimentares podem conter uma grande variedade de minerais de natureza carbonática, sendo os mais importantes, a calcita (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) (Morse & Mackenzin, 1990). De acordo com os autores, a maior abundância desses carbonatos nas rochas sedimentares se deve as condições de equilíbrio termodinâmico da formação desses minerais, condizente com o ambiente em que a maioria dessas rochas são formadas, em que os calcários e dolomitos constituem aproximadamente entre 10 e 15 % da massa das mesmas.

A característica principal dos minerais carbonatados, como o próprio nome sugere, é a presença do ânion carbonato (CO_3^{-2}), sendo, portanto, sua estrutura fundamental, que se combina com cátions como Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} e Zn^{+2} (Boggs, 2009). Os minerais carbonatados mais comuns dividem-se em três principais grupos, sendo eles: o grupo da calcita, o grupo da dolomita e o grupo da aragonita. O grupo da calcita e da dolomita apresentam características estruturais semelhantes com sistema cristalino romboédrico ou trigonal; tendo como principal diferença a presença de Mg^{+2} e/ou Fe^{+2} além de Ca^{+2} no grupo da dolomita, considerado, portanto como carbonato duplo (Boggs, 2009). Segundo o mesmo autor, cada íon de oxigênio na estrutura da calcita está ligado a dois íons de cálcio, enquanto nos minerais dolomíticos ocorre alternância de camadas de cálcio com camadas de magnésio ou ferro.

Apesar da estrutura cristalina semelhante, calcita e dolomita apresentam diversas características e propriedades termodinâmicas distintas; a dolomita além de apresentar maior densidade e peso molecular, necessita também de uma maior energia livre de Gibbs para sua formação (Morse & Mackenzie, 1990) apresentando portanto, maior estabilidade. Adicionalmente, a dolomita também apresenta menor taxa de dissolução quando comparada com a calcita (Chou et al., 1989).

Devido à similaridade de valência e raios iônicos, a substituição catiônica nos minerais carbonatados é comum, havendo principalmente troca de Mg^{+2} por Ca^{+2} , facilitada pelo menor raio iônico do primeiro, o que favorece a formação da calcita magnesiana. Diversos são os estudos (Davis et al., 2000; Davis et al., 2004; Zhang et al., 2013; Hong et al., 2016;) que avaliaram o efeito da concentração de magnésio sobre as propriedades da calcita, sendo evidenciadas redução da estabilidade termodinâmica devido principalmente a diferença no raio iônico que conseqüentemente desordena a estrutura do mineral, levando também a modificações na solubilidade e morfologia com o aumento na concentração de Mg^{+2} em condições laboratoriais.

2.4 Geologia do Grupo Italva

O Serviço Geológico do Brasil em parceria com a Universidade Estadual do Rio de Janeiro caracterizou a geologia e recursos minerais da folha São Fidélis (Nogueira et al., 2012), onde está inserida a região do Noroeste Fluminense do Rio de Janeiro. As principais litologias são apresentadas abaixo: O Domínio Italva representa o compartimento estrutural que ocupa parte do território das regiões Central e Noroeste Fluminense, sendo observado uma *klippe* sinformal que se estende até o sul do Estado do Espírito Santo. Dentro do Domínio Italva estão inseridos o Complexo Rio Negro, em que são verificadas rochas como dioritos, gabros e tonalitos e Grupo Italva, representando o restante da área (Nogueira et al., 2012).

De acordo com os dados geocronológicos apresentados pelos anfibólitos intercalados com mármore do Domínio Italva, a idade U-Pb de cristalização e metamorfismo são de 848 ± 11 Ma e 501 ± 7 Ma, respectivamente, ambos eventos ocorridos no Neoproterozoico (Pré-cambriano) (Heilbron & Machado, 2003).

O Grupo Italva é caracterizado por um conjunto meta-vulcano-sedimentar composto por mármore e anfibólitos. Ocorrem nesse grupo gnaisses homogêneos, ricos em quartzo, além de conter granada, muscovita, biotita e hornblenda, podendo apresentar intercalações com rochas calcissilicáticas. Estas por sua vez, além de quartzo, apresentam em sua composição biotita, granada, hornblenda, diopsídio e plagiocásio cálcico, minerais que apresentam uma elevada quantidade de cálcio em sua estrutura cristalina (Tupinambá et al., 2007). O restante da área pertencente ao Grupo Italva é caracterizado por uma sequência metacarbonática com espessuras entre 500 e 1000 m. Os mármore apresentam composição variada, podendo ser calcíticos ou dolomíticos; os calcíticos possuindo granulação grossa, formando cristais de calcita centimétricos de brilho vítreo, enquanto os dolomíticos são maciços, microcristalinos e de aspecto leitoso (Tupinambá et al., 2007).

2.5 Fator Relevo na Formação do Solo

Segundo Kampf & Curi (2012) o relevo influência de forma diversificada na pedogênese, atuando de forma indireta, pelos efeitos orográficos proporcionando diferentes índices pluviométricos, redução da temperatura, que por sua vez favorece a acumulação de matéria orgânica e a influência na posição do lençol freático e; de forma direta pelas relações solo-paisagem, condicionando a atuação de diferentes processos de acordo a geomorfologia.

A distribuição dos solos na paisagem é determinada pelas diferentes feições do relevo, atuação dos processos pedogenéticos e características do material de origem (Wysocki et al., 2005). Estudos propostos para o entendimento da evolução geomorfológica apresentam relações envolvendo relevo, geologia e clima, assim como sua influência no intemperismo, pedogênese, erosão e dinâmica fluvial (Passos & Bigarella, 1998).

No Brasil, entre os trabalhos que avaliaram a influência do fator relevo na formação dos solos desenvolvidos sobre material de natureza calcária, destacam-se os de Pereira et al. (2013), Maranhão et al. (2016) e Silva et al. (2017). Os solos estudados apresentam diversas características em comum, tais como: pH de moderadamente ácido a alcalinos, altos teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} , acumulações de CaCO_3 e presença de argilas de alta atividade.

Ao estudarem a gênese dos solos em uma topossequência de natureza calcária na Serra da Bodoquena – MS, Pereira et al. (2013) observaram redução no conteúdo de carbonato de cálcio secundário das partes mais altas da paisagem, em que a boa condição de drenagem favorece a solubilização dos carbonatos e a lixiviação dos íons, com acúmulo nas partes mais baixas nas quais foram verificadas condições de drenagem impedida. Contudo, esse acúmulo

de CaCO_3 nas partes mais altas da paisagem pode ocorrer também em solos que apresentam contato lítico mais próximo da superfície, tendo em vista que a proximidade com a rocha dificulta a lixiviação do íon Ca^{+2} , conseqüentemente favorecendo a sua precipitação na forma de carbonato secundário (Maranhão et al., 2016). Estudando a formação dos solos em um transecto na Chapada do Apodi sobre as rochas calcárias da Formação Jandaíra, Ferreira et al. (2016) observaram uma forte cimentação dos horizontes subsuperficiais oriundos da acumulação de CaCO_3 , porém, não o suficiente para caracterizar um horizonte petrocálcico, pois não foi observada continuidade lateral ao longo do perfil.

De acordo com Anjos et al. (1998), as relações solo-paisagem controlam o padrão do fluxo de água, assim como os processos de remoção e acumulação de cátions, contribuindo para a variabilidade dos atributos do solo ao longo de uma vertente. Nesse sentido, estudos que relacionam a influência do relevo e material de origem na variabilidade desses atributos auxiliam no entendimento da complexidade e distribuição dos solos na paisagem (Terramoto et al., 2001), tornando-se assim uma importante ferramenta no levantamento e planejamento do uso do solo, no que se refere principalmente ao manejo da fertilidade e práticas de controle da erosão.

2.6 Atributos, Gênese e Classificação dos Solos Carbonáticos

Os processos que levam a formação e desenvolvimento dos solos assim como seus atributos e distribuição na paisagem são condicionadas a partir da interação de diferentes fatores, entre os quais podem se destacar a superfície geomórfica e a dinâmica do relevo, assim como a natureza do material geológico e as diferentes condições paleoambientais ocorrentes desde o início da sua formação (Vidal-Torrado et al., 2005).

Solos formados a partir de material de natureza calcária apresentam uma série de particularidades quanto aos seus atributos e atuação de processos pedogenéticos. Contudo, pouco são estudos de pedogênese nas áreas que tem influência carbonática no Brasil, merecendo destaque para os trabalhos desenvolvidos por Maranhão (2014), Ferreira (2013), Silva (2013) e Pereira et al. (2013).

De acordo com Hardt (2004), a natureza das impurezas presentes no material pode modificar a atuação do intemperismo dos carbonatos, podendo ocorrer reações congruentes, quando a dissolução se dá de forma completa ou; incongruentes, quando os resíduos da dissolução permanecem no sistema, dando origem aos solos.

Segundo Shinzato (1998) os solos desenvolvidos sobre material de natureza carbonática apresentam em comum, a pequena profundidade do *solum*, com pouca ocorrência de solos profundos; eutróficos, ou seja, com elevada saturação por bases, havendo predomínio dos elementos Ca e Mg; argila de atividade alta (CTC maior ou igual a $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de argila) e altos valores da relação sílica/alumínio (Ki).

Os atributos condicionados por essa maior influência do material de origem favorecem a atuação de processos pedogenéticos específicos, destacando-se principalmente os de carbonatação ou calcificação e melanização.

O processo de carbonatação é caracterizado pela acumulação de CaCO_3 no solo. Essa acumulação ocorre predominantemente em ambientes em que a dissolução e lixiviação dos carbonatos são incompletas, favorecendo que o Ca^{+2} solubilizado do material de origem reaja com o CO_3^{2-} e precipite na forma de calcita pedogênica; a intensificação da atuação desse processo pode levar a formação de um horizonte contínuo e cimentado, o horizonte petrocálcico (Fanning & Fanning, 1989; Kämpf & Curi, 2012).

O processo de melanização é evidenciado pelo escurecimento dos horizontes superficiais do solo, originados a partir da adição e transformação da matéria orgânica ao

solo, seguida de reações de complexação entre as substâncias húmicas formadas e o íon Ca^{+2} presente na solução do solo, dando origem ao humatos de cálcio, que por sua vez apresentam elevada estabilidade e são responsáveis pelo escurecimento e espessamento do horizonte A (Duchaufour, 1982; Kämpf & Curi, 2012).

No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Santos et al., 2013) a influência do material de origem de natureza carbonática e a atuação desses processos pedogenéticos são evidenciadas em diferentes atributos diagnósticos e níveis categóricos das classes de solos. O caráter carbonático é definido pela presença de teores de carbonato de cálcio secundário igual ou superior a 150 g kg^{-1} ; além do caráter hipocarbonático, quando esses teores variam de 50 a 150 g kg^{-1} . A presença do caráter carbonático ocorrendo em uma seção de no mínimo 15 cm de espessura caracteriza o horizonte cálcico, que progressivamente pode ser obturado com carbonatos e cimentado, dando origem ao horizonte petrocálcico.

A atuação do processo pedogenético de melanização é responsável pela formação do horizonte diagnóstico superficial A chernozêmico, caracterizado pelas cores escurecidas com valor e croma úmido menor ou igual a 3, saturação por bases (V%) superior a 65% com predomínio dos íons Ca^{+2} e Mg^{+2} , associado a critérios de espessura, estrutura e consistência (Santos et al., 2013).

Entre as classes de solos que apresentam maior influência da atuação dos processos de carbonatação e melanização estão os Chernossolos; com destaque para os Chernossolos Rêndzicos, que são caracterizados pela presença do horizonte cálcico, petrocálcico ou caráter carbonático coincidindo com horizonte A chernozêmico e/ou com horizonte C e; Chernossolos Ebânicos, caracterizados pela presença do caráter ebânico, ou seja, predomínio de cores escurecidas nos horizontes subsuperficiais. Além disto, o caráter carbonático está presente no 3º nível categórico (grande grupo) em diversas classes de solos, como os Luvisolos, Gleissolos, Cambissolos, Vertissolos, entre outros (Santos et al., 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Meio Físico

A área de estudo localiza-se a margem direita da Estrada Guarniery, a 5 km da sede do município de Italva, região Noroeste Fluminense. O clima da região é classificado como Aw segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1092 mm, tendo período seco prolongado com meses em que a precipitação média é inferior a 50 mm (Figura 2) (Climate-data.org, 2018). A vegetação é do tipo Floresta Tropical Caducifólia com intensa perda de folhas nesse período, refletindo as condições de baixa precipitação pluviométrica.

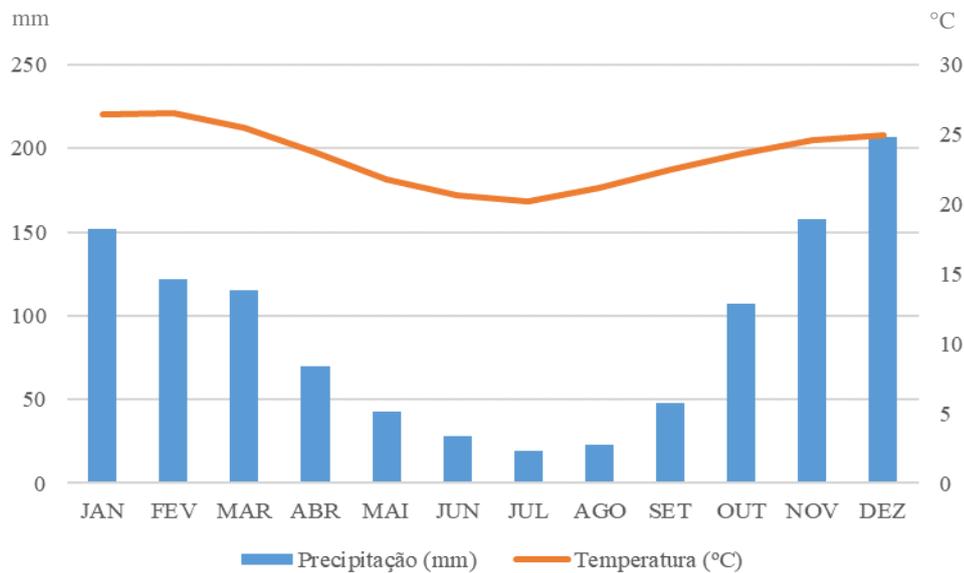


Figura 2: Média de precipitação e temperatura do ar do município de Italva, região Noroeste Fluminense, RJ.

A formação geológica pertence ao Grupo Italva, composto por um conjunto meta-vulcano-sedimentar, rico em mármore e anfibólitos (Nogueira et al., 2012). A unidade geomorfológica é caracterizada pelas depressões interplanálticas com alinhamentos serranos, caracterizado pelo relevo formado por colinas, morrotes e morros baixos que se alternam com alinhamentos serranos elevados.

Para o estudo, foi selecionada uma topossequência (Figura 3) na qual foram abertas trincheiras nas posições de topo (P1), terço superior (P2), terço médio (P3), terço inferior em rampa de colúvio (P4) e dique aluvial (P5) e, baixada (P6). Informações gerais da paisagem e dos pontos de aberturas das trincheiras encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Informações gerais da paisagem e pontos de aberturas das trincheiras ao longo da topossequência de natureza carbonática no Noroeste Fluminense.

Perfil	Coordenada	Situação paisagem/ altitude	Relevo local /declive	Material de origem	Drenagem
P1	21°24'00.30"S 41°39'40.90"O	Topo / 86 m	Plano/ 3%	Produto da intemperização de rochas calcissilicáticas	Bem drenado
P2	21°23'59.90"S 41°39'41.90"O	Terço superior / 83 m	Ondulado / 10%	Produto da intemperização de rochas calcissilicáticas e mármore	Bem drenado
P3	21°23'58.70"S 41°39'43.20"O	Terço médio / 72 m	Forte ondulado / 25%	Sedimentos coluviais das rochas supracitadas	Bem drenado
P4	21°23'57.10"S 41°39'45.00"O	Terço inferior em rampa de colúvio / 54 m	Ondulado / 10%	Sedimentos coluviais das rochas supracitadas	Moderadamente drenado
P5	21°23'56.80"S 41°39'45.30"O	Terço inferior em dique aluvial / 52 m	Plano / 3 %	Sedimentos aluviais das rochas supracitadas	Imperfeitamente drenado
P6	21°23'55.20"S 41°39'48.00"O	Baixada / 46 m	Plano / 2%	Sedimentos aluviais e coluviais das rochas supracitadas	Mal drenado

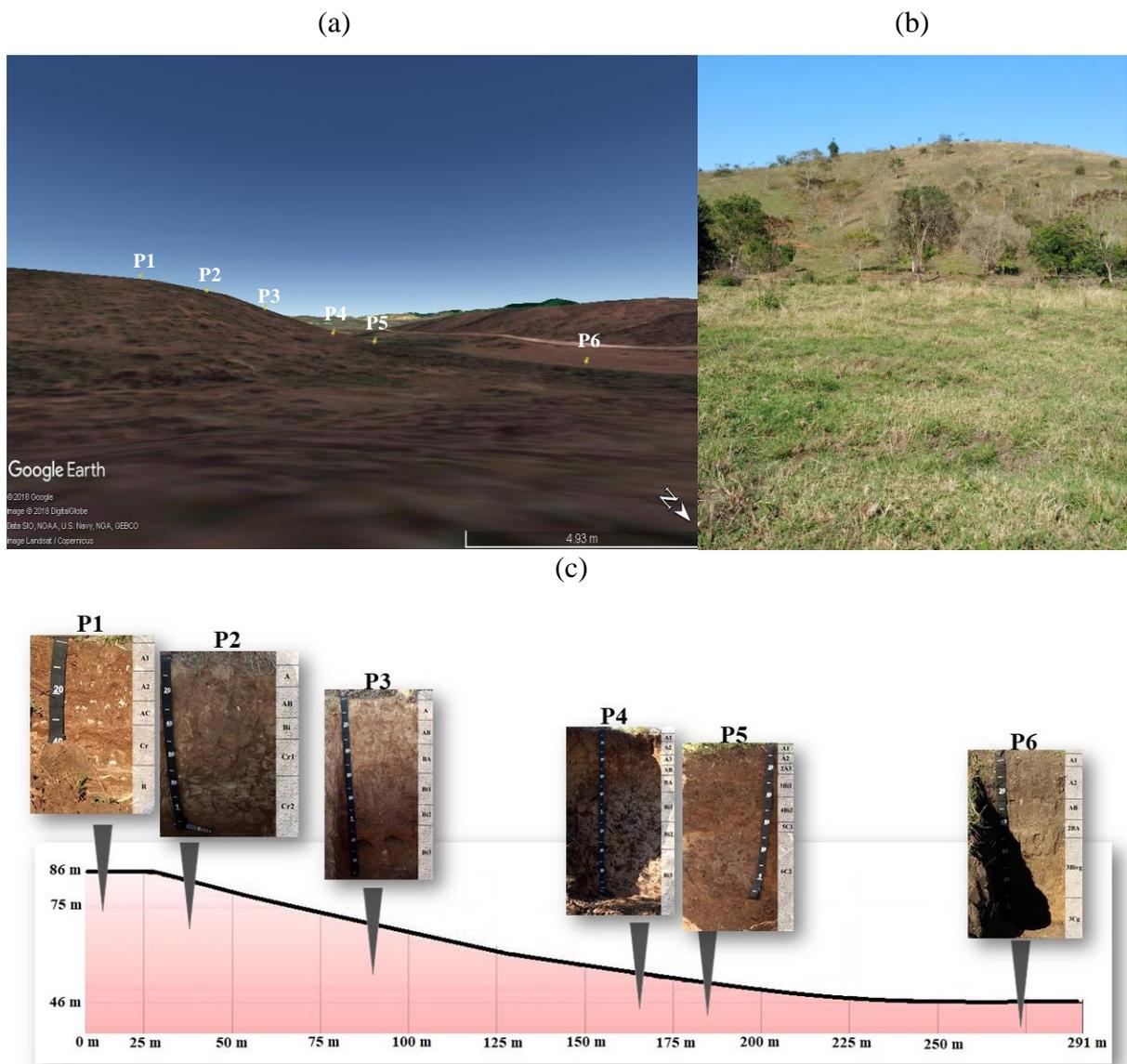


Figura 3: Vista lateral (a), frontal (b) e distribuição dos perfis ao longo da topossequência (c) no município de Italva, região Noroeste do Rio de Janeiro. Fonte: Google Earth (a); Fotos: Marcos Gervasio Pereira (b e c).

3.2 Descrição dos Perfis e Coleta de Amostras

A descrição dos atributos morfológicos foi realizada de acordo com o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015). Adicionalmente foram realizados teste de efervescência a carbonatos com HCl a 10% em todos os perfis e efervescência a peróxido de hidrogênio 20 volumes no perfil P6, que apresentou concreções de manganês. Foram coletadas amostras deformadas dos horizontes dos perfis para realização das análises laboratoriais. As amostras foram dispostas em bancada, secas ao ar, destorroadas e passadas por peneiras com tamis de malha de diâmetro de abertura de 2 mm, obtendo-se assim a fração terra fina seca ao ar (TFSA), na qual foram realizadas as análises físicas, químicas e mineralógicas.

3.3 Análises Físicas

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, de acordo com o método preconizado por Day (1965), utilizando como agente dispersante hexametáfosfato de sódio 1 mol L^{-1} . Os teores de areia grossa e areia fina foram quantificados por tamisação com malha de diâmetro de abertura de 0,2 e 0,053 mm, respectivamente. Os teores de argila total e natural foram quantificados pela tomada de uma alíquota da suspensão considerando a velocidade de sedimentação das partículas. Os teores de silte foram determinados a partir da diferença entre os teores de areia total e argila total, a partir da seguinte equação:

$$\text{Silte (g kg}^{-1}\text{)} = 1000 - (\text{areia total} + \text{argila total}) \text{ (Eq.1)}$$

A partir dos resultados obtidos foram calculados o grau de flocculação e as relações silte/argila e areia fina/areia grossa.

3.4 Análises Químicas

3.4.1 Análises de rotina

As análises dos atributos químicos do solo foram realizadas de acordo com Donagema et al. (2011). Sendo as seguintes: a) pH em água e KCl (1 mol L^{-1}) nas proporções 1:2,5; b) teores de Ca, Mg e Al utilizando solução extratora de KCl 1 mol L^{-1} , sendo Ca e Mg quantificados por complexometria titulados com solução EDTA e Al por titulação com NaOH; c) teores de Na e K utilizando solução extratora duplo ácido (HCl e H_2SO_4), quantificados por fotometria de chama; e) teores de H+Al utilizando solução extratora acetado de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, quantificado por titulação com NaOH; f) os valores de P quantificados de acordo com Olsen (Olsen et al., 1954), utilizando solução extratora de NaCO_3 a pH ajustado para 8,5, sendo quantificados por colorimetria.

A partir dos resultados obtidos foram calculados ΔpH , soma de bases (S), capacidade de troca catiônica do solo (valor T), saturação por bases (V%) e atividade da fração argila (Santos et al., 2013).

3.4.2 Carbono orgânico total (COT)

As amostras foram maceradas e passadas por tamis com malha de diâmetro de abertura de 60 mesh. A quantificação do teor de carbono orgânico total foi realizada de acordo com Yeomans & Bremner (1988), sendo utilizada solução de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ como agente oxidante em meio ácido, titulando-se o excesso com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,20 \text{ mol L}^{-1}$ na presença do indicador ferroin.

3.4.3 Ataque sulfúrico

Para extração dos teores totais de SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , e TiO_2 , as amostras de TFSA foram solubilizadas em solução de H_2SO_4 1:1, levadas placa aquecedora para fervura e posterior resfriamento e filtragem. A partir da solução filtrada foram determinados os valores de ferro, alumínio, titânico, manganês e fósforo e a determinação de sílica a partir dos resíduos (Donagema et al., 2011). De posse dos resultados foram calculados os índices K_i e K_r , de acordo com as equações:

$$K_i = 1,70 \times \text{SiO}_2 (\%) / \text{Al}_2\text{O}_3 (\%).$$

$$K_r = (1,70 \times \text{SiO}_2 \%) / \text{Al}_2\text{O}_3 \% + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3 \%)$$

3.5 Análises Mineralógicas

Para identificação dos minerais presentes na fração areia e silte as amostras foram maceradas em moinho de bolas para obtenção do pó cristalino e, posteriormente identificados por difratometria de raio-X (DRX). A mineralogia da fração argila foi identificada através do preparo de lâminas delgadas com posterior identificação em difratômetro de raio-X.

3.6 Formas Extraíveis de Fe

Para identificação das formas de ferro no solo foi realizada extração com solução de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fed), para quantificação das formas que possuem estrutura cristalina definida associadas às formas de baixa cristalinidade. Enquanto a extração realizada com solução de oxalato ácido de amônio (Feo) foi utilizada na quantificação apenas das formas de baixa cristalinidade.

A partir dos extratos, os valores de Fed e Feo foram quantificados por espectrometria de absorção atômica.

3.7 CaCO₃ Equivalente

A quantificação dos teores de carbonato de cálcio equivalente, foi feita através da pesagem de 2,5 g de TFSA que foram transferidos para erlenmeyer de 250 mL e adicionados 50 mL de HCl 0,5 mol L⁻¹. Aqueceu-se a amostra por 30 minutos a 170°C, sendo posteriormente resfriada e filtrada. Foram adicionadas 3 gotas do indicador fenolftaleína e titulou-se do excesso de ácido com solução de NaOH 0,25 mol L⁻¹ (Donagema et al., 2011).

3.8 Digestão Ácida – Pseudototais

Para quantificação dos teores pseudototais de CaO e MgO foi realizada a digestão ácida de acordo com USEPA (1996). Foi pesado 1 g de TFSA e adicionado 10 mL de HNO₃ concentrado em tubos de vidro que foram levados ao bloco digestor onde permaneceram por 10 minutos a temperatura de 95°C. Posteriormente as amostras foram resfriadas, adicionados mais 5 mL de HNO₃ e permaneceram no bloco digestor a mesma temperatura por 2 horas. Transcorrido esse tempo, as amostras foram resfriadas e adicionados 5 mL de H₂O₂, permanecendo no bloco digestor por mais 2 horas. Finalmente, as amostras foram resfriadas e adicionados 5 mL de HCl e conduzidas novamente ao bloco por 5 minutos. As amostras foram filtradas e transferidas para tubos falcon e avolumados com água destilada até 50 mL. Foram realizadas as determinações foram feitas em aparelho de absorção atômica para quantificação dos teores pseudototais dos elementos Ca e Mg, posteriormente expressos na forma de óxido.

3.9 Classificação dos Solos

A partir dos atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, os solos foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013) e o World Reference Base for Soil Resources – WRB (IUSS Working Group WRB, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos Morfológicos

Quanto à profundidade efetiva os perfis, esta variou de rasa a profunda, com espessura entre 40 cm (P1) a 174 cm (P4) (Tabela 1). Apesar da condição de boa drenagem e relevo plano no topo da paisagem que intensificaria o avanço da frente de intemperismo, o perfil P1 apresenta menor profundidade efetiva havendo contato lítico com material de natureza quartzosa a partir de 40 cm de profundidade. A maior resistência do quartzo reduz a permeabilidade e o avanço da frente de molhamento, e conseqüentemente retardando o processo de intemperização; a presença desse material é explicada pela geologia da região onde ocorrem rochas calcissilicáticas com camadas de carbonatos intercalados com quartzo (Nogueira et al., 2012), que podem limitar o fluxo interno de água e limitar os processos intempéricos.

Tabela 2: Atributos morfológicos dos solos de uma topossequência de natureza carbonática na região Noroeste Fluminense.

Hor	Prof. cm	Cor Úmida	Mosqueado	Estrutura	Classe Textural
Perfil 1 – Topo					
Ak1	0-10	7,5 YR 2,5/3	-	mo, pq e md, gr.	Franco-argiloarenosa
Ak2	10-22	7,5 YR 2,5/3	-	mo, pq e md, gr.	Franco-argiloarenosa
ACk	22-29	7,5 YR 2,5/3	-	mo, pq, gr.	Franco-argiloarenosa
Crk	29-40	7,5YR 4/3	-	grão simples	Areia franca
Perfil 2 - Terço superior					
Ak	0-15	10 YR 3/3	-	mo, mt pq e pq, gr	Franco-argiloarenosa
ABk	15-32	10 YR 3/3	-	mo, mt pq e pq, gr	Franco arenosa
Bik	32-44	10 YR 3/3	-	fr, pq, ba e bsa	Franco arenosa
Crk1	44-70	10 YR 3/4	-	maciça	Franco arenosa
Crk2	70-107 ⁺	10 YR 4/4	-	maciça	Areia franca
Perfil 3 - Terço médio					
Ak	0-14	7,5 YR 3/3	-	mo, pq e md, gr	Franco-argiloarenosa
ABk	14-33	7,5 YR 3/3	-	mo, pq, gr	Franco-argiloarenosa
BAk	33-55	7,5 YR 3/4	-	fo, pq, pr c mo, pq, ba	Argiloarenosa
Btk1	55-82	5 YR 3/4	-	fo, pq, pr c fo, md, ba	Argiloarenosa
Btk2	82-103	5 YR 3/4	-	fo, md, pr c fo, md, ba	Argila

Continua...

Continuação **Tabela 1**

Hor	Prof.	Cor		Estrutura	Classe Textural
	cm	Úmida	Mosqueado		
Btk3	103-144 ⁺	5 YR 4/4	-	fo, md, pr c mo, pq, ba	Argila
Perfil 4 - Terço inferior (rampa de colúvio)					
Ak1	0-9	7,5 YR 2,5/2	-	mo, mt pq a md, gr	Franco-arenosa
Ak2	9-28	7,5 YR 3/3	-	mo, pq a md, gr	Franco-argiloarenosa
Ak3	28-43	7,5 YR 4/2	-	mo, pq, gr	Franco-argiloarenosa
ABk	43-55	7,5 YR 3/2	-	mo, pq, pr c mo, pq, ba	Franco-argiloarenosa
BAk	55-74	7,5 YR 3/1	-	mo, md, pr c mo, pq, ba	Franco-argiloarenosa
Bik1	74-105	7,5 YR 3/2	-	fo, md, pr	Franco-argiloarenosa
Bik2	105-134	7,5 YR 3/2	-	fo, gr, pr	Franco-argiloarenosa
Bik3	134-174 ⁺	7,5 YR 3/3	-	fo, gr, pr	Argiloarenosa
Perfil 5 - Terço inferior (dique aluvial)					
Ak'1	0-7	7,5YR 4/1	-	fr a mo, pq a md, gr	Franco-argiloarenosa
Ak2	7-15	7,5 YR 3/2	-	mo, pq e md, gr	Franco-argiloarenosa
2Ak3	15-22	7,5 YR 3/2	-	fr a mo, md, gr	Franco-argiloarenosa
3Bik1	22-40	7,5 YR 3/2	-	mo, md, ba e bsa	argiloarenosa
4Bik2	40-58	7,5 YR 4/2	5 YR 4/5	mo, md, pr c mo, md, ba	Franco-argiloarenosa
5Ck1	58-64	10 YR 3/3	5 YR 5/8	grão simples	Areia franca
6Cgk2	64-97 ⁺	7,5 YR 3/2	5 YR 5/8	maciça	Argiloarenosa
Perfil 6 - Baixada					
Agk1	0-7	7,5 YR 4/1	-	fo, pq e md, gr e fo, pq,ba	Franco-argilosa
Agk'2	7-22	7,5 YR 4/1	-	fo, pq, gr e fo, pq, ba	Argila
ABgk'	22-34	7,5 YR 4/1	-	mo a fo, md, ba	Franco-argiloarenosa
2BAgk	34-47	7,5 YR 4/1	-	mo, md, ba e bsa	Franco-argiloarenosa
3Bvgk'	47-90	10 YR 5/1	10 YR 5/8	fo, mt gra, pr	Argiloarenosa
3Cgk	90-105 ⁺	10 YR 6/1	10 YR 5/6	maciça	Argiloarenosa

Legenda: Hor.: horizonte; Prof.: profundidade; mo: moderada. Pq: pequena; md: média; gr: granular; mt: muito; fr: fraca; ba: blocos angulares; bsa: blocos subangulares; fo: forte; pr: prismática; c: composta por.

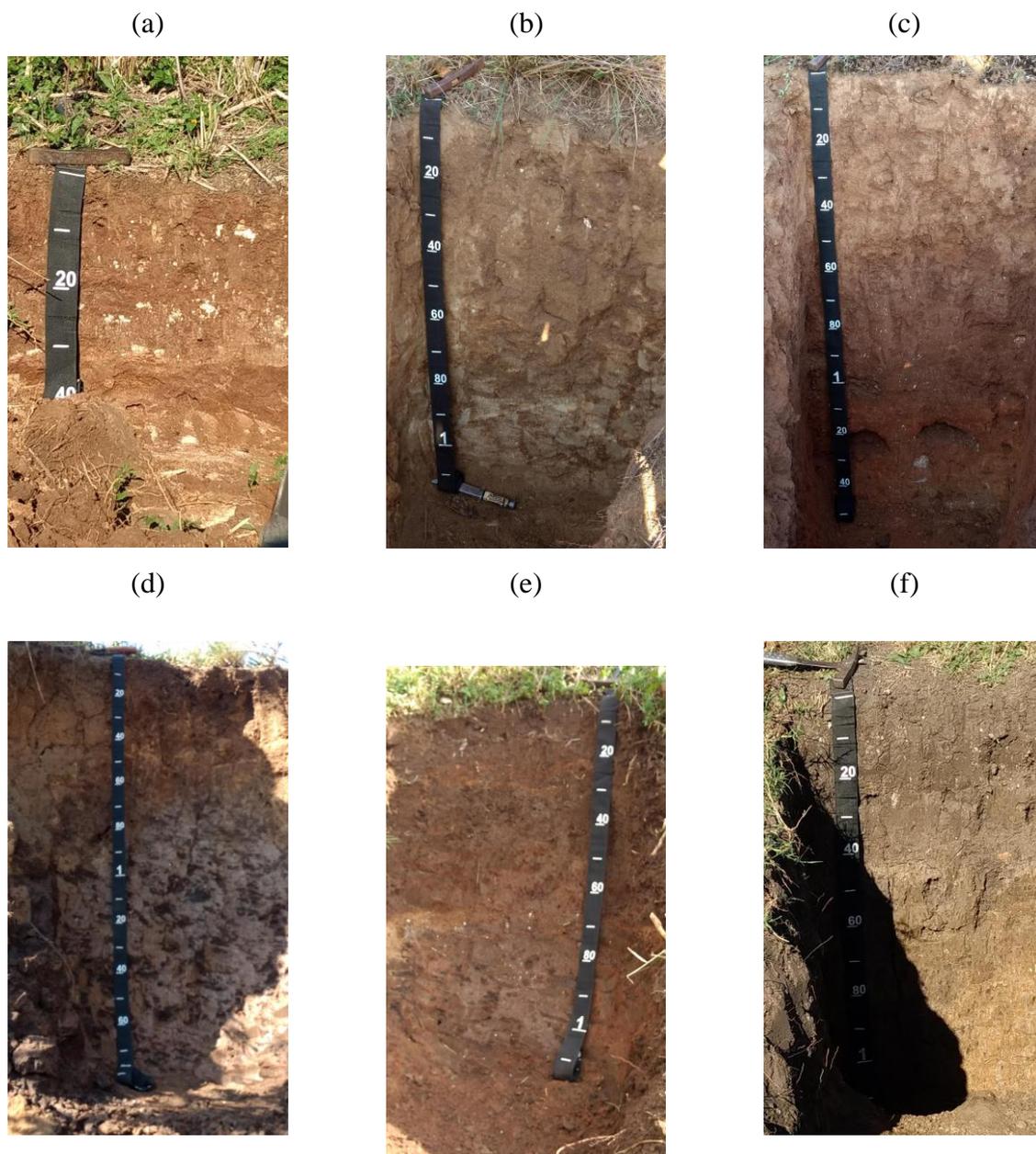


Figura 4: Perfis descritos nas diferentes posições de topo (P1) (a); terço superior (P2) (b); terço médio (P3) (c); terço inferior em rampa de colúvio (P4) (d); terço inferior em dique aluvial (P5) (e) e baixada (P6) (f).

Os horizontes superficiais de todos os perfis apresentam cores escuras, decorrente da adição e transformação da matéria orgânica oriunda dos resíduos vegetais. De maneira geral, houve predomínio de matizes amarelados (7,5YR e 10YR), com exceção dos horizontes subsuperficiais de P3. Em subsuperfície os perfis apresentam cores menos escurecidas, decorrente do menor conteúdo de matéria orgânica. A exceção do P4, em que os horizontes subsuperficiais apresentam cores mais escuras quando comparados com os superficiais, o que se deve a intensa atuação do processo pedogenético de melanização (Kämpf & Curi, 2012), em que a forte interação entre o húmus do solo e o íon Ca^{2+} , formam humatos de cálcio e

conferem maior recalcitrância a matéria orgânica, consequentemente permitindo a expressão de cores escuras (Duchaufor, 1982).

Devido a condição de limitação de drenagem, o P6, localizado na parte mais baixa da paisagem apresentou cores acinzentadas, resultantes dos processos de transformação e perda de ferro. Adicionalmente, foram observados nos horizontes subsuperficiais de P5 e P6 (imperfeitamente drenado) mosqueados, resultantes da segregação de ferro através das reações redox devido oscilação do lençol freático. Também foi observada a presença de concreções de manganês em todos os horizontes de P6, sendo estes duros e de coloração roxa internamente e alaranjada externamente em superfície e, macios e roxos interna e externamente em subsuperfície, resultado que pode estar associado a maior ocorrência de ciclos de umedecimento e secagem em superfície, levando ao endurecimento dessas feições e a formação de concreções.

Os horizontes superficiais são considerados espessos, variando de 22 cm a 55 cm com predomínio de estrutura com grau de desenvolvimento moderado do tipo granular. Nos horizontes subsuperficiais de P3, P4, P5 e P6 foram observadas estruturas do tipo prismática com forte grau de desenvolvimento que em sua maioria se desfazem em blocos angulares, indicando a ocorrência de argilas de atividade alta.

No perfil P5, localizado em dique aluvial (Figura 5), foram verificadas camadas estratificadas, demonstrando o que o processo de deposição de sedimentos, contribuiu para a formação do solo. Foi observada na posição de baixada (P6) da topossequência a formação de microrelevo gilgai (Figura 4a) decorrente da intensa pedoturbação causada pelos ciclos de expansão e contração das argilas. Nesse perfil também foram verificadas superfícies de compressão no horizonte 3Bvgk' (Figura 4b).

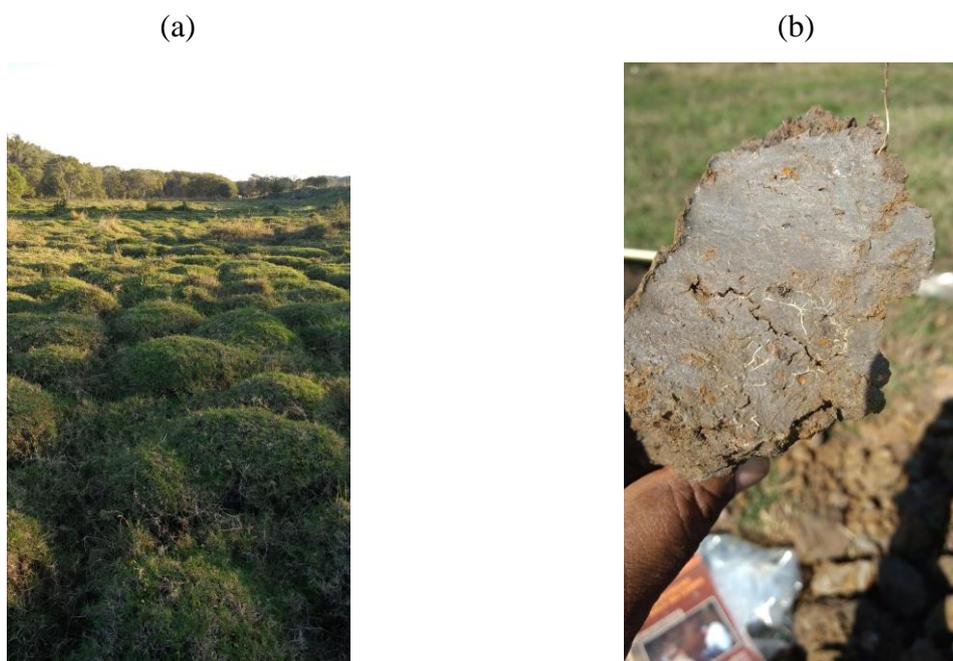


Figura 5: Microrelevo gilgai (a) e superfície de compressão (b) no horizonte 3Bvgk' em P6, localizado na posição de baixada. Fotos: Marcos Gervasio Pereira.



Figura 6: Dique aluvial localizado na posição de terço inferior da paisagem. Foto: Marcos Gervasio Pereira

4.2 Atributos Físicos

De maneira geral, os solos apresentam textura média, em que na maioria dos horizontes foi verificado o predomínio da classe textural franco-argiloarenosa. Os maiores teores da fração areia foram observados nos horizontes saprolíticos (Crk) de P1 e P2, o que é explicado pela maior quantidade de minerais primários de maior tamanho devido à proximidade com a rocha e, no horizonte 5Ck1 de P5, devido à deposição fluvial de sedimentos de maior granulometria (Tabela 2).

A relação areia grossa/areia fina (AG/AF) variou de 1,3 a 84,2 em P5 e de 1,6 a 5,2 em P6, sendo um indicativo da descontinuidade do material originário (Novaes Filho et al., 2012). Em P5 foi observada a presença de seis camadas estratificadas, identificando diferentes momentos deposicionais dos sedimentos de natureza aluvionar, tendo em vista a sua posição na paisagem em dique aluvial. Enquanto em P6 foram observadas três camadas estratificadas, o que é explicado pela sua posição deposicional (baixada), recebendo sedimentos das partes mais altas da paisagem. Os teores de argila total nos perfis estudados variam de 90 a 555 g kg⁻¹. Houve aumento no conteúdo de argila em profundidade em P3, variando de 244 (ABk) a 555 g kg⁻¹ (Btk2); além deste, no perfil P4 também foi verificado o aumento no conteúdo de argila de profundidade, contudo, insuficiente para caracterizar presença de gradiente textural (Santos et al., 2013).

Em quase todos horizontes dos perfis estudados o grau de floculação (GF) foi inferior a 50%, o que está associado aos elevados teores de Mg, que por sua vez atuam como agente dispersante das argilas (Corrêa et al., 2003). A maior presença de argila dispersa facilita a sua translocação para os horizontes subsuperficiais, favorecendo o aumento no conteúdo de argila em profundidade em P3 e P4.

Com exceção de P3, todos os perfis apresentaram argila de alta atividade (CTC maior ou igual a 27 cmol_c⁻¹ kg argila, Santos et al. (2013), sendo essa presença condicionada tanto pelo clima mais seco, reduzindo as taxas de lixiviação, como pelo maior fornecimento de sílica pelo material de origem.

Tabela 3: Atributos físicos dos solos de uma topossequência de natureza carbonática.

Hor.	Prof. cm	Areia		Silte		Argila		Silte/Argila	AG/AF	GF	CTC argila	
		Total	Fina	Grossa	Total	Nat.						
-----g kg ⁻¹ -----											%	cmol _c kg ⁻¹
Perfil 1 – Topo												
Ak1	0-10	514	203	311	212	274	96	0,8	1,5	65	-	
Ak2	10-22	563	194	369	210	227	141	0,9	1,9	38	-	
ACk	22-29	623	168	455	91	286	147	0,3	2,7	49	-	
Crk	29-40	770	93	677	140	90	9	1,6	7,3	90	-	
Perfil 2 - Terço superior												
Ak	0-15	698	127	571	92	210	81	0,4	4,5	61	-	
ABk	15-32	685	174	511	138	177	35	0,8	2,9	80	-	
Bik	32-44	740	110	630	84	176	77	0,5	5,7	56	64,2	
Crk1	44-70	682	87	595	174	144	59	1,2	6,8	59	63,5	
Crk2	70-107 ⁺	870	77	793	22	108	16	0,2	10,3	85	80,3	
Perfil 3 - Terço médio												
Ak	0-14	616	149	467	94	290	150	0,3	3,1	48	-	
ABk	14-33	630	154	476	126	244	130	0,5	3,1	47	-	
BAk	33-55	536	171	365	26	438	255	0,0	2,1	42	24,8	
Btk1	55-82	416	130	286	92	492	328	0,2	2,2	33	25,6	
Btk2	82-103	344	119	225	101	555	405	0,2	1,9	27	22,3	
Btk3	103-144 ⁺	351	112	239	111	538	376	0,2	2,1	30	20,0	
Perfil 4 - Terço inferior (rampa de colúvio)												
Ak1	0-9	639	175	464	171	190	54	0,9	2,7	72	-	
Ak2	9-28	649	151	498	107	244	84	0,4	3,3	66	-	
Ak3	28-43	618	151	467	130	252	92	0,5	3,1	63	-	
ABk	43-55	621	133	488	114	265	181	0,4	3,7	32	-	
BAk	55-74	570	132	438	110	320	177	0,3	3,3	45	42,1	

Continua...

Continuação Tabela 2.

Hor.	Prof.	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila	AG/AF	GF	CTC argila			
	cm	Total	Fina	Grossa		Total	Nat.			%	cmol _c kg ⁻¹
Bik1	74-105	503	128	375	154	343	271	0,4	2,9	21	37,4
Bik2	105-134	500	107	393	102	398	304	0,3	3,7	24	29,6
Bik3	134-174 ⁺	523	96	427	88	389	313	0,2	4,4	20	27,0
Perfil 5 - Terço inferior (dique aluvial)											
Ak'1	0-7	545	208	337	165	290	156	0,6	1,6	46	-
Ak2	7-15	567	142	425	135	298	153	0,5	3,0	49	-
2Ak3	15-22	654	97	557	144	202	116	0,7	5,7	43	-
3Bik1	22-40	457	197	260	174	369	207	0,5	1,3	44	44,5
4Bik2	40-58	542	147	395	147	311	222	0,5	2,7	29	40,8
5Ck1	58-64	852	10	842	85	63	36	1,3	84,2	43	-
6Cgk2	64-97 ⁺	515	95	420	133	352	235	0,4	4,4	33	32,5
Perfil 6 - Baixada											
Agk1	0-7	432	167	265	201	367	223	0,5	1,6	39	-
Agk'2	7-22	430	134	296	160	410	273	0,4	2,2	33	-
ABgk'	22-34	560	172	388	94	346	224	0,3	2,3	35	-
2BAgk	34-47	655	106	549	141	204	183	0,7	5,2	10	56,5
3Bvgk'	47-90	494	103	391	82	424	349	0,2	3,8	18	35,5
3Cgk	90-105 ⁺	488	110	378	22	490	355	0,0	3,3	28	33,3

Legenda: Hor. Horizonte; Prof.: profundidade; Nat.: natural.

4.3 Atributos Químicos

As classes de reação do solo variam de moderadamente ácido a alcalinos com valores de pH em H₂O entre 5,9 e 8,6 (Tabela 3). Os maiores valores de pH são observados em P6 devido à localização na baixada devido à maior acumulação de cálcio oriunda das partes mais altas da paisagem (Pereira et al., 2013). Os valores de pH corroboram com os resultados obtidos por Pereira et al. (2013) e Maranhão et al. (2017) estudos a gênese dos solos de natureza calcária da Serra da Bodoquena e Grupo Bambuí, respectivamente, em que foram verificados valores de pH superiores a 7,0 em todos os perfis estudados. Todos os perfis apresentam valores negativos de Δ pH, indicando o predomínio da capacidade de troca catiônica (CTC) (Tabela 3) e a influência das argilas de alta atividade nesses valores de Δ pH.

Os perfis apresentam elevada saturação por bases, com valores de V% variando de 82 a 100%, sendo portanto classificados como eutróficos (Santos et al., 2013) e com predomínio dos íons Ca⁺² e Mg⁺² no complexo sortivo, com valores variando de 1,9 a 13 cmol_c kg⁻¹ e de 1,1 a 8 cmol_c kg⁻¹, respectivamente. Os valores de Na⁺ são superiores aos de K⁺ em todos os perfis, o que pode ser reflexo da presença de plagioclásio calco-sódico no material de origem da região (Nogueira et al., 2012). Apesar dessa superioridade dos valores de Na⁺ em relação ao K⁺, os teores são insuficientes para causar salinização do solo.

Os valores de Al⁺³ são neutros em todos os perfis estudados, devido aos elevados valores de pH e cátions básicos. Esta mesma condição de alcalinidade e elevado teor de Ca⁺² favorece a formação de fosfato de cálcio através de ligações covalentes, reduzindo a disponibilidade de P, o que explica os baixos teores verificados (<9 mg kg⁻¹).

Os maiores valores de carbono orgânico total (COT) são observados nos horizontes superficiais devido ao maior aporte de resíduos vegetais adicionados. Apesar da vegetação caducifólia e conseqüentemente do pequeno aporte de matéria orgânica, os teores de COT nos horizontes superficiais de P1, P3 e P4, são de 24, 19 e 20 g kg⁻¹, considerados medianos. Esta condição pode estar associada ao elevado teor de cálcio, sendo responsável pela formação de humatos de cálcio, conferindo maior recalcitrância a matéria orgânica do solo.

Os valores de COT decrescem em profundidade em todos os perfis estudados, exceto em P5, localizado na posição de dique aluvial, que apresenta distribuição errática do conteúdo de carbono.

Tabela 4: Atributos químicos dos solos de uma topossequência de natureza carbonática.

Hor.	Prof.	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	Al	Ca	Mg	Na	K	H+Al	P	S	T	V%	COT
	cm	-----cmol _c kg ⁻¹ -----									mg kg ⁻¹		g kg ⁻¹		
Perfil 1 - Topo															
Ak1	0-10	7,21	6,39	-0,8	0,0	13,0	6,5	0,27	0,16	0,7	5	19,6	20,3	97	24
Ak2	10-22	6,92	5,55	-1,4	0,0	13,0	4,8	0,20	0,12	0,8	5	18,1	18,9	96	17
ACk	22-29	7,17	5,32	-1,9	0,0	12,0	3,3	0,13	0,09	0,8	3	15,2	16,0	95	6
Crk	29-40	7,33	5,55	-1,8	0,0	6,9	2,2	0,09	0,06	0,5	3	9,2	9,7	95	4
Perfil 2 - Terço superior															
Ak	0-15	6,27	4,74	-1,5	0,0	8,0	4,3	0,18	0,11	2,0	5	12,6	14,6	86	14
ABk	15-32	6,52	4,56	-2,0	0,0	7,4	2,6	0,10	0,07	1,3	4	10,2	11,5	89	8
Bik	32-44	6,71	4,43	-2,3	0,0	7,0	3,1	0,12	0,08	1,0	6	10,3	11,3	91	6
Crk1	44-70	6,85	4,52	-2,3	0,0	4,8	3,3	0,13	0,09	0,8	4	8,3	9,1	91	7
Crk2	70-107 ⁺	6,98	4,85	-2,1	0,0	2,2	5,3	0,22	0,14	0,8	5	7,9	8,7	90	1
Perfil 3 - Terço médio															
Ak	0-14	6,56	5,21	-1,4	0,0	6,1	4,7	0,19	0,12	1,5	6	11,1	12,6	88	12
ABk	14-33	6,51	4,91	-1,6	0,0	5,7	2,4	0,09	0,06	1,3	6	8,3	9,6	86	9
BAk	33-55	6,83	5,13	-1,7	0,0	6,3	3,2	0,13	0,08	1,2	7	9,7	10,9	89	6
Btk1	55-82	7,21	5,73	-1,5	0,0	6,5	4,8	0,20	0,12	1,0	7	11,6	12,6	92	8
Btk2	82-103	7,23	5,8	-1,4	0,0	6,1	5,1	0,21	0,13	0,8	6	11,5	12,4	93	7
Btk3	103-144 ⁺	7,14	5,89	-1,3	0,0	5,6	4,2	0,17	0,11	0,7	7	10,1	10,7	94	6
Perfil 4 - Terço inferior (rampa de colúvio)															
Ak1	0-9	5,96	4,95	-1	0,0	5,3	3,2	0,13	0,08	2,1	7	8,7	10,9	80	19
Ak2	9-28	6,10	4,63	-1,5	0,0	5,8	2,2	0,09	0,06	1,7	4	8,1	9,8	83	9
Ak3	28-43	6,50	4,81	-1,7	0,0	6,1	2,7	0,11	0,07	1,2	5	9,0	10,1	89	4
ABk	43-55	6,43	4,59	-1,8	0,0	5,5	3,6	0,15	0,09	0,3	7	9,3	9,7	97	5
BAk	55-74	6,43	4,18	-2,3	0,0	5,3	5,2	0,21	0,13	2,6	7	10,8	13,5	80	8
Bik1	74-105	6,07	4,34	-1,7	0,0	4,5	5,8	0,24	0,15	2,1	8	10,7	12,8	83	8
Bik2	105-134	5,85	4,29	-1,6	0,0	4,3	5,0	0,20	0,13	2,1	7	9,6	11,8	82	8
Bik3	134-174 ⁺	6,25	4,57	-1,7	0,0	3,8	4,9	0,20	0,13	1,5	6	9,0	10,5	86	7
Perfil 5 - Terço inferior (dique aluvial)															
Ak'1	0-7	6,85	5,83	-1,0	0,0	9,8	4,0	0,16	0,10	1,3	9	14,1	15,4	91	14
Ak2	7-15	7,17	6,02	-1,2	0,0	10,0	3,7	0,15	0,10	0,5	7	13,9	14,4	97	14
2Ak3	15-22	7,34	6,13	-1,2	0,0	7,2	3,0	0,12	0,08	0,7	6	10,4	11,1	94	9

Continua...

Continuação **Tabela 3.**

Hor.	Prof.	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	Al	Ca	Mg	Na	K	H+Al	P	S	T	V%	COT
	cm				-----cmol _c kg ⁻¹ -----						mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹	
3Bik1	22-40	7,10	5,87	-1,2	0,0	11,0	4,4	0,18	0,11	0,8	8	15,6	16,4	95	15
4Bik2	40-58	7,34	5,76	-1,6	0,0	7,8	3,8	0,15	0,10	0,8	8	11,9	12,7	93	7
5Ck1	58-64	7,36	5,85	-1,5	0,0	1,9	1,1	0,04	0,03	0,2	6	3,1	3,2	95	2
6Cgk2	64-97 ⁺	7,4	5,89	-1,5	0,0	5,3	5,3	0,22	0,14	0,5	7	11,0	11,4	96	6
Perfil 6 - Baixada															
Agk1	0-7	8,10	7,17	-0,9	0,0	13,0	8,0	0,33	0,20	0,0	5	21,6	21,6	100	20
Agk'2	7-22	8,47	7,35	-1,1	0,0	10,0	6,9	0,28	0,17	0,0	6	17,6	17,6	100	10
ABgk'	22-34	8,64	7,37	-1,3	0,0	9,0	6,1	0,25	0,15	0,0	5	15,5	15,5	100	8
2BAgk	34-47	8,60	7,31	-1,3	0,0	8,0	3,3	0,13	0,09	0,0	8	11,5	11,5	100	6
3Bvgk'	47-90	8,16	7,09	-1,1	0,0	9,7	5,0	0,20	0,13	0,0	4	15,0	15,0	100	2
3Cgk	90-105 ⁺	7,88	7,04	-0,8	0,0	11,0	4,9	0,20	0,13	0,0	4	16,3	16,3	100	2

Legenda: Hor.: horizonte; Prof.: profundidade; COT: carbono orgânico total.

4.4 Carbonatos

Todos os solos estudados apresentam caráter carbonático, ou seja, presença de horizontes com $\geq 150 \text{ g kg}^{-1}$ de CaCO_3 (Santos et al., 2013) (Tabela 4). De maneira geral os perfis apresentam teores semelhantes de carbonato, com valor médio de aproximadamente 170 g kg^{-1} , os valores também se mostram homogêneos, sem grandes variações em profundidade. O maior teor foi observado no horizonte Agk1 de P6 (234 g kg^{-1}), o que está associado a posição de baixada com maior acumulação de cálcio, favorecendo assim a precipitação do carbonato (Pereira et al., 2013). Apesar desses valores, foram observadas pontuações de carbonato apenas no horizonte Ak'1 em P5 e nos horizontes Ak'2, ABk' e 3Bvgk' em P6.

Nos perfis localizados nas partes mais altas da paisagem, a pequena variação no conteúdo de CaCO_3 equivalente, a ausência de nódulos e a ocorrência de carbonatos associados a fração areia, sugerem uma natureza geogênica dos mesmos. Na formação dos carbonatos pedogênicos, a solubilização do cálcio dos minerais e a sua posterior precipitação nos horizontes subjacentes em condições de boa drenagem seria responsável pela variação no conteúdo de CaCO_3 ao longo do perfil. No perfil P1 a variação no teor de CaCO_3 é de apenas 176 g kg^{-1} no horizonte ACk a 206 g kg^{-1} no horizonte Crk, padrão que se repete para os perfis P2, P3, P4 e P5. A maior amplitude de variação no conteúdo de carbonato ao longo do perfil ocorre apenas na baixada (P6), variado de 98 a 234 g kg^{-1} com distribuição errática entre os horizontes. Em solos mal drenados a difusão gasosa em subsuperfície é dificultada devido ao elevado conteúdo de água, tendo portando, uma elevada pressão de CO_2 , enquanto na superfície essa pressão é reduzida, favorecendo a precipitação da calcita (Kämpf & Curi, 2012), o que condiz com os maiores valores de CaCO_3 equivalente nos horizontes Agk1 e Agk'2 de P6. Adicionalmente, foram observados nódulos carbonáticos nesse perfil, morfologia típica de origem pedogênica (Zamanian et al., 2016). A dinâmica da paisagem e as formas dos carbonatos presentes parecem ser fortemente influenciadas pelo clima da área de estudo. Apesar da condição de clima mais seco evidenciado pela vegetação caducifólia, a taxa de precipitação é suficiente para lixiviar os cátions solubilizados dos minerais das partes mais altas da paisagem, não permanecendo em solução para posterior precipitação na forma de carbonato pedogênicos. A ocorrência desses carbonatos em solos de boa drenagem está associada principalmente a condições de semiaridez, em que a elevada evapotranspiração aumenta a concentração do soluto e favorece a precipitação dos carbonatos (Kämpf & Curi, 2012). O perfil P6 localizado na parte mais baixa da paisagem, estando, portanto, em uma área de acumulação de cálcio que associada a condição de má drenagem facilita a precipitação dos carbonatos (Pereira et al, 2013).

Tabela 5: Teores de CaCO_3 equivalente, teores pseudototais de MgO e CaO e reação de efervescência a HCl a 10%.

Horizonte	Prof. cm	CaCO_3 eq. -----g kg^{-1} -----	MgO	CaO	MgO/CaO	Efervescência
Perfil 1 – Topo						
Ak1	0-10	187	10,5	10,5	1,0	Ausente
Ak2	10-22	184	9,5	8,5	1,1	Ausente
ACk	22-29	176	7,8	4,6	1,7	Ausente
Crk	29-40	203	6,5	2,7	2,4	Ausente

Continua...

Continuação Tabela 5.

Horizonte	Prof.	CaCO ₃ eq.	MgO	CaO	MgO/CaO	Efervecência
	cm	-----g kg ⁻¹ -----				
Perfil 2 - Terço superior						
Ak	0-15	180	5,0	2,3	2,2	Ausente
ABk	15-32	176	4,6	2,9	1,6	Ausente
Bik	32-44	207	7,1	1,6	4,4	Ausente
Crk1	44-70	172	7,9	1,2	6,3	Ausente
Crk2	70-107 ⁺	168	8,1	0,6	13,7	Ausente
Perfil 3 - Terço médio						
Ak	0-14	180	1,9	1,0	1,9	Ausente
ABk	14-33	141	1,5	1,1	1,4	Ausente
BAk	33-55	187	1,5	0,8	1,9	Ausente
Btk1	55-82	141	1,2	0,6	2,1	Ausente
Btk2	82-103	195	0,8	0,8	1,1	Ausente
Btk3	103-144 ⁺	168	0,6	0,4	1,4	Ausente
Perfil 4 - Terço inferior (rampa de colúvio)						
Ak1	0-9	152	1,8	1,9	0,9	Ausente
Ak2	9-28	148	1,7	1,6	1,0	Ausente
Ak3	28-43	113	1,6	1,3	1,2	Ausente
ABk	43-55	141	1,7	1,3	1,3	Ausente
BAk	55-74	148	2,0	0,9	2,2	Ausente
Bik1	74-105	156	1,7	0,9	2,0	Ausente
Bik2	105-134	152	1,4	0,5	2,9	Ausente
Bik3	134-174 ⁺	152	1,1	0,4	2,7	Ausente
Perfil 5 - Terço inferior (dique aluvial)						
Ak'1	0-7	160	1,5	2,9	0,5	Moderada
Ak2	7-15	160	1,3	2,6	0,5	Ausente
2Ak3	15-22	191	1,2	2,2	0,5	Ausente
3Bik1	22-40	187	1,7	2,4	0,7	Ausente
4Bik2	40-58	180	1,4	1,5	1,0	Ausente
5Ck1	58-64	172	0,7	1,7	0,4	Ausente
6Cgk2	64-97 ⁺	195	1,3	0,9	1,5	Ausente
Perfil 6 – Baixada						
Agk1	0-7	234	2,0	13,3	0,1	Moderada
Agk'2	7-22	215	1,7	10,9	0,2	Moderada
ABgk'	22-34	168	1,5	5,2	0,3	Moderada
2BAgk	34-47	98	0,7	2,9	0,3	Ausente
3Bvgk'	47-90	176	0,3	1,5	0,2	Moderada
3Cgk	90-105 ⁺	160	0,4	1,8	0,2	Fraca

Legenda: Prof.: profundidade; eq: equivalente.

Os valores dos pseudototais de MgO e CaO, variam de 0,3 a 10,5 g kg⁻¹ e de 0,1 a 10,5 g kg⁻¹, respectivamente. Os maiores valores de MgO são verificados nos perfis localizados no topo e no terço superior (P1 e P2) ambos de natureza autóctone, havendo uma grande redução

nos teores quando comparado aos demais perfis. Enquanto os maiores valores de CaO são observados no perfil P1 e nos horizontes superficiais do perfil P6, coincidindo com os teores mais elevados de CaCO₃ equivalente. Os valores da relação MgO/CaO variam de 0,1 em P6 a 13,7 em P2, havendo, portanto, uma grande modificação na distribuição desses elementos ao longo da paisagem. Apesar da presença de CaCO₃ equivalente em todos os perfis estudados, apenas os horizontes Ak'1 de P5 e Akg1, Agk'2, ABgk' e 3Bvgk' de P6 apresentaram reação de efervescência moderada em contato com solução de HCl a 10%. Nestes horizontes, os valores de CaO são no mínimo duas vezes maiores que os de MgO, evidenciando a sua natureza calcítica. Com exceção dos horizontes Ak2, 2Ak3, 3Bik1, 5Ck1 em P5 e 2BAGk' em P6, todos os demais horizontes dos perfis com relação MgO/CaO superiores a 1,0 não apresentaram reação de efervescência. Essa maior proporção de Mg sugere a presença de dolomita que por sua vez não apresenta reação de efervescência a frio (Morse & Mackenzie, 1990), o que explica os resultados obtidos.

Apesar dos altos valores da relação MgO/CaO indicarem a presença da dolomita, os teores trocáveis de Mg são inferiores aos de Ca em quase todos os horizontes dos solos ao longo da toposequência. Estudos realizados afim de caracterizar e quantificar os parâmetros envolvidos na dissolução dos carbonatos verificaram menores taxas de solubilização da dolomita e magnesita quando comparado com a calcita (Chou et al., 1989; Pokrovsky et al., 2005;), o que explica os maiores valores de Ca trocável.

Apesar do caráter carbonático (Santos et al., 2013) referir-se ao teor de equivalente de CaCO₃, o que é explicado pelo predomínio de calcita nos ambientes carbonáticos, o SiBCS, assim como o Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) desconsideram a presença de outros carbonatos tais como dolomita e magnesita, tendo em vista que o método de quantificação utilizando HCl na solubilização desses minerais e a titulação do excesso de ácido com NaOH não difere o íon (Ca⁺², Mg⁺² ou Fe⁺²) associado ao ânion CO₃⁻². Nesse sentido, a digestão nítrica quantificando-se os pseudototais de CaO e MgO, mostrou-se eficiente para inferir a natureza dos carbonatos.

4.5 Complexo de Meteorização

Através da análise da composição química da fração argila verifica-se que o SiO₂ foi o principal componente dessa fração, com valores variando de 47 a 215 g kg⁻¹. Devido descontinuidade do material de origem do perfil P5 localizado no dique aluvial houve também distribuição errática dos valores de SiO₂, variando de 47 a 158 g kg⁻¹. Os valores de Fe₂O₃ e TiO₂ são considerados baixos, apresentando teor máximo de 67,0 e 9,0 g kg⁻¹, respectivamente, ambos no horizonte Btk2 do perfil P3. Adicionalmente, os horizontes subsuperficiais deste perfil foram os únicos em que são verificadas cores mais avermelhadas com matiz 5YR quando comparadas com o predomínio dos matizes 7,5 YR e 10YR nos demais perfis, o que corrobora com os resultados obtidos para os teores de Fe₂O₃.

Resultados similares para os teores de Fe₂O₃ e TiO₂ foram obtidos por Ferreira (2013), Maranhão et al. (2017) e Silva et al. (2017) estudando a gênese dos solos formados a partir de material carbonático da Formação Jandaíra, do Grupo Bambuí e da Formação Bocaina, respectivamente.

Os valores da relação SiO₂/Al₂O₃ (índice Ki) são considerados altos, apresentando valores médios de 3,0, podendo atingir 4,95 no horizonte Ak2 do perfil P1. Apesar de estar localizado na posição de topo, a presença de um material de natureza mais quartzosa em subsuperfície limita a o desenvolvimento pedogenético deste perfil e a conseqüente remoção de sílica do sistema, o que explica os maiores valores de Ki. Por outro lado, as menores relações foram observadas nos horizontes subsuperficiais do perfil P3 com valores de 2,20,

2,27 e 2,09 em Btk1, Btk2 e Btk3, respectivamente, sendo este, o único perfil que apresentou argila de baixa atividade ($CTC < 27\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de argila).

A presença de minerais de outra natureza contidas nas rochas carbonáticas além de modificarem a atuação do intemperismo sobre os minerais (Hardt, 2004), são responsáveis pela variabilidade na composição química dos solos formados a partir de rochas sedimentares. Apesar da grande maioria dos solos formados a partir desse material de origem apresentarem altos valores da relação Ki, Silva et al. (2017) ao estudarem a gênese dos solos formados a partir de material calcário da Formação Bocaina, observaram perfis com valores de Ki inferiores a 1,0, baixos teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 associados a teores de CaCO_3 equivalente superiores a 700g kg^{-1} , o que está associado a uma maior pureza do material calcário.

Os valores de Kr que relaciona a proporção de SiO_2 em relação a soma de Al_2O_3 e Fe_2O_3 foram superiores a 1,70, indicando pequena contribuição dos óxidos de ferro e alumínio na mineralogia da fração argila. Adicionalmente, o valor mínimo da relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ foi de 1,30, com valor médio 2,82, havendo portanto um predomínio de Al em relação ao ferro em todos os perfis estudados.

Tabela 6: Teores totais de sílica, alumínio, ferro e titânio, determinados por ataque sulfúrico.

Hor.	Prof.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	Ki	Kr	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$
	cm	-----g kg^{-1} -----						
Perfil 1 – Topo								
Ak1	0-10	141	70	59	7,7	3,42	2,22	1,86
Ak2	10-22	134	46	55	7,4	4,95	2,81	1,31
ACk	22-29	123	44	53	6,9	4,75	2,68	1,30
Crk	29-40	106	52	36	4,8	3,47	2,4	2,27
Perfil 2 - Terço superior								
Ak	0-15	110	52	45	5,5	3,60	2,31	1,81
ABk	15-32	107	54	40	5,7	3,37	2,29	2,12
Bik	32-44	126	68	54	7,5	3,15	2,09	1,98
Crk1	44-70	156	85	59	8,9	3,12	2,16	2,26
Crk2	70-107 ⁺	145	78	59	8,8	3,16	2,13	2,08
Perfil 3 - Terço médio								
Ak	0-14	144	87	51	7,5	2,81	2,05	2,68
ABk	14-33	115	74	40	6,7	2,64	1,96	2,90
BAk	33-55	146	98	51	7,5	2,53	1,90	3,02
Btk1	55-82	188	145	66	8,8	2,20	1,71	3,45
Btk2	82-103	215	161	67	8,9	2,27	1,79	3,77
Btk3	103-144 ⁺	194	158	64	8,8	2,09	1,66	3,88
Perfil 4 - Terço inferior (rampa de colúvio)								
Ak1	0-9	104	55	34	5,7	3,21	2,3	2,54
Ak2	9-28	106	53	39	7,2	3,40	2,31	2,13
Ak3	28-43	126	71	38	6,8	3,02	2,25	2,93
ABk	43-55	119	64	41	6,5	3,16	2,24	2,45

Continua...

Continuação **Tabela 6.**

Hor.	Prof.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
	cm	-----g kg ⁻¹ -----						
BAk	55-74	128	68	43	6,4	3,20	2,28	2,48
Bik1	74-105	145	95	52	8,1	2,59	1,92	2,87
Bik2	105-134	153	107	55	8,2	2,43	1,83	3,05
Bik3	134-174 ⁺	160	114	55	8,3	2,39	1,82	3,25
Perfil 5 - Terço inferior (dique aluvial)								
Ak'1	0-7	136	84	44	5,8	2,75	2,06	3,00
Ak2	7-15	126	82	43	5,9	2,61	1,96	2,99
2Ak3	15-22	96	54	34	4,7	3,02	2,15	2,49
3Bik1	22-40	158	102	52	7	2,63	1,99	3,08
4Bik2	40-58	136	83	46	6,7	2,79	2,06	2,83
5Ck1	58-64	47	17	14	1,5	4,7	3,08	1,91
6Cgk2	64-97 ⁺	146	96	52	7,5	2,59	1,92	2,90
Perfil 6 – Baixada								
Agk1	0-7	170	108	39	5,9	2,68	2,17	4,35
Agk'2	7-22	168	111	43	5,9	2,57	2,06	4,05
ABgk'	22-34	138	89	36	5,7	2,64	2,09	3,88
2BAgk	34-47	100	62	35	4,7	2,74	2,01	2,78
3Bvgk'	47-90	172	125	45	5,6	2,34	1,90	4,36
3Cgk	90-105 ⁺	176	129	46	5,8	2,32	1,89	4,40

Legenda: Hor.: horizonte; Prof.: profundidade. Ki: $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) \times 1,7$; Kr: $(\text{SiO}_2/0,6)/((\text{Al}_2\text{O}_3/1,02)+(\text{Fe}_2\text{O}_3/1,60))$

4.5 Grau de Cristalinidade dos Óxidos de Ferro

Quanto às formas de ferro, os teores totais das formas de alta e baixa cristalinidade determinados pelo método do ditionito-citrato-bicarbonato estas variaram de 3 a 28 g kg⁻¹ para o (Fed) enquanto as de baixa cristalinidade determinados por solução de oxalato ácido de amônio (Feo) variam de 1 a 16 g kg⁻¹. Os maiores teores de Fed são observados nos horizontes subsuperficiais de P4, localizados na rampa de colúvio, enquanto o menor teor (3 g kg⁻¹) foi observado no horizonte 5Ck1 de P5 devido ao predomínio do material de textura mais arenosa oriunda do depósito fluvial. Apesar da condição de drenagem imperfeita e má drenagem dos perfis P5 e P6, respectivamente devido a sua localização na paisagem (terço inferior e baixada), os teores das formas cristalinas bem definidas são mais elevados quando comparados aos perfis com condições de boa drenagem nas partes mais altas da paisagem (P1, P2 e P3). Esse resultado pode estar associado à presença de mosqueados com predomínio de cores avermelhadas possivelmente de natureza hematítica. A avaliação do grau de cristalinidade dos óxidos de ferro através da relação Feo/Fed indica o predomínio de formas de baixa cristalinidade nos horizontes superficiais em quase todos os perfis, com exceção daqueles que apresentam descontinuidade litológica. Esse padrão se deve a influência da matéria orgânica na complexação do ferro liberado dos minerais primários, favorecendo as vias de formação de óxidos de baixa cristalinidade (Kämpf & Curi, 2000). Os valores de Fed são considerados baixos, apresentando-se próximos aos observados em diversos trabalhos

realizados em áreas de natureza carbonática (Maranhão et al., 2017; Silva, 2013; Ferreira, 2013). Este resultado pode ser explicado pelo baixo conteúdo de ferro no material de origem, além da condição climática que minimiza a atuação do intemperismo e consequentemente liberação do ferro da estrutura dos minerais primários e sua precipitação nas formas de óxidos (Kämpf & Curi, 2000).

Tabela 7: Grau de cristalinidade dos óxidos de ferro dos solos de uma topossequência de natureza carbonática.

Horizonte	Prof. cm	Fed	Feo	Fes	Feo/Fed	Fed/Fes
		-----g kg ⁻¹ -----				
Perfil 1 - Topo						
Ak1	0-10	6	4	59	0,63	0,10
Ak2	10-22	7	3	55	0,49	0,13
ACk	22-29	8	3	53	0,39	0,14
Crk	29-40	5	2	36	0,31	0,14
Perfil 2 - Terço superior						
Ak	0-15	5	3	45	0,60	0,10
ABk	15-32	4	2	40	0,55	0,11
Bik	32-44	5	2	54	0,41	0,09
Crk1	44-70	5	2	59	0,41	0,08
Crk2	70-107 ⁺	5	1	59	0,27	0,09
Perfil 3 - Terço médio						
Ak	0-14	8	2	51	0,24	0,16
ABk	14-33	8	2	40	0,23	0,20
BAk	33-55	9	2	51	0,27	0,17
Btk1	55-82	10	3	66	0,27	0,15
Btk2	82-103	9	3	67	0,34	0,14
Btk3	103-144 ⁺	10	2	64	0,19	0,15
Perfil 4 - Terço inferior (rampa de colúvio)						
Ak1	0-9	8	4	34	0,49	0,23
Ak2	9-28	7	4	39	0,59	0,19
Ak3	28-43	9	5	38	0,49	0,25
ABk	43-55	13	3	41	0,26	0,32
BAk	55-74	17	5	43	0,27	0,40
Bik1	74-105	20	5	52	0,22	0,39
Bik2	105-134	23	4	55	0,17	0,42
Bik3	134-174 ⁺	28	2	55	0,08	0,52
Perfil 5 - Terço inferior (dique aluvial)						
Ak'1	0-7	18	10	44	0,59	0,40
Ak2	7-15	17	11	43	0,62	0,41
2Ak3	15-22	13	9	34	0,74	0,37
3Bik1	22-40	20	16	52	0,80	0,39
4Bik2	40-58	18	12	46	0,67	0,39
5Ck1	58-64	3	2	14	0,74	0,23

Continua...

Continuação **Tabela 7.**

Horizonte	Prof.	Fed	Feo	Fes	Feo/Fed	Fed/Fes
	cm	-----g kg ⁻¹ -----				
6Cgk2	64-97 ⁺	23	3	52	0,14	0,44
Perfil 6 – Baixada						
Agk1	0-7	8	2	39	0,28	0,20
Agk'2	7-22	7	2	43	0,32	0,16
ABgk'	22-34	9	3	36	0,37	0,25
2BAgk	34-47	7	4	35	0,57	0,21
3Bvgk'	47-90	13	2	45	0,15	0,29
3Cgk	90-105 ⁺	10	2	46	0,15	0,23

Legenda: Prof.: profundidade; Fed: teores de ferro determinado por ditionito-citrato-bicarbonato; Feo: teores de ferro determinado por oxalato de amônio ácido; Fes: teores de ferro determinado por ataque sulfúrico.

Os valores da relação Fed/Fes variaram de 0,08 a 0,52, indicando a presença de uma reserva de ferro associada a outros minerais do solo, que após serem submetidos às ações intempéricas podem liberar o ferro da sua estrutura cristalina, precipitando na forma de óxido (Cornell & Schwermann, 1996). Os maiores valores desta relação são observados nos perfis localizados nas partes mais baixas da paisagem (P4, P5 e P6), o que pode ser explicado pela deposição de sedimentos pré-intemperizados das partes mais altas da paisagem, tendo a liberação do ferro e precipitação na forma de óxidos acelerada.

4.6 Análise Mineralógica

4.6.1 Mineralogia da fração areia

Apesar dos elevados teores de CaCO₃ equivalente, não foram observados grupos carbonáticos na análise mineralógica (Anexo 2). De acordo com Zhang et al., (2017) o carbonato de cálcio possui muitos tipos de polimorfos, dentre eles a calcita, aragonita, vaterite e carbonato de cálcio amorfo (CCA). Nesse sentido, a ausência de grupos carbonáticos pode estar associada a presença de carbonatos em formas amorfas, que por sua vez não apresentam estrutura cristalina bem definida, o que dificulta a sua detecção na difração de raios-X.

Devido à similaridade nas propriedades dos íons cálcio e magnésio pode haver incorporação de Mg²⁺ na estrutura do CCA. Adicionalmente, o aumento da concentração de Mg²⁺ aumenta a estabilização do CCA e conseqüentemente dificulta a cristalização da calcita (Rodriguez-Blanco et al., 2012; Zhang et al., 2017), reduzindo a probabilidade de sua detecção na difração de raios-X.

Por outro lado, o CCA em ambientes de alta relação Mg/Ca como observado nesse estudo, atua como percursos da protodolomita (Rodriguez-Blanco et al., 2015), que apresenta estrutura cristalina com falhas, podendo conter elementos traços com Na e Sr no retículo cristalino (Boggs Jr, 2009).

De acordo com Boggs Jr (2009) existem fatores cinéticos em temperatura ambiente que impedem a formação da dolomita estequiométrica, referida na literatura como “dolomita ideal”, dentre eles, destacam-se a rápida cristalização de soluções supersaturadas que dificulta a organização dos íons Ca²⁺ e Mg²⁺ nas suas devidas camadas; a alta energia necessária para desidratação do Mg²⁺, o que favorece a formação de fases contendo mais cálcio e; a baixa atividade de CO₃⁻², que inibe a precipitação de carbonatos com elevados teores de Mg²⁺, o que está associado também a alta energia de desidratação desse elemento.

Nesse sentido, as evidências encontradas na literatura apontam para presença de carbonatos de cálcio em formas amorfas estabilizada pelo magnésio e da protodolomita, não sendo detectadas pela difração de raios-X devido à ausência de estrutura cristalina definida e falhas na estrutura, respectivamente.

De maneira geral ocorre um predomínio de quartzo em todos os perfis estudados, seguido de feldspatos. A maior ocorrência de quartzo se deve a natureza do material de origem, tendo em vista a grande ocorrência rochas calcissilicáticas, além deste mineral ser a principal impureza dos mármore da região (Nogueira et al., 2012). O predomínio de quartzo na fração areia também foi evidenciado em outros estudos de pedogênese de ambientes carbonáticos (Pereira et al., 2013; Ferreira et al., 2016; Maranhão et al., 2017).

Foi observada a presença de mica nos perfis localizados na parte mais alta da paisagem, perfis de natureza autóctone (P1 e P2), porém os reflexos são mais alargados, sugerindo uma avançada intemperização desse mineral. Também foi verificada a presença de piroxênio nos horizontes Btk2 de P3, Bik2 de P4 e 4Bik2 de P5.

No horizonte ACk do perfil P1, localizado no topo da paisagem, verificou-se reflexos de sepiolita, um filossilicato de magnésio raro, que ocorre predominantemente em regiões de climas áridos e semiáridos (Neaman & Singer, 2004) e que apresenta elevados valores de Si e Mg e baixo conteúdo de Al. Adicionalmente, no perfil P1 foram verificados valores da relação sílica/alumínio (Ki) próximos a 4,0 e os maiores valores de pseudototais de magnésio, condições estas, favoráveis para formação da sepiolita. Cuadros et al. (2016) estudando a gênese de minerais de argila em solos vulcânicos sob condições de clima árido observaram a partir de imagens de microscopia eletrônica a presença de minerais de argila fibrosos precipitados na superfície dos grãos de dolomita que posteriormente foram identificados como sepiolita e palygorskita. No presente estudos, os maiores teores pseudototais de MgO observados em P1 podem estar associados a possível presença de protodolomita com precipitados de sepiolita na superfície dos grãos, o que pode explicar a presença desse argilomineral identificado junto a fração areia, corroborando com os resultados obtidos por Cuadros et al. (2016).

Apesar de não serem observado reflexos claros de carbonatos, a rodocrosita (carbonato de manganês) pode estar presente no horizonte Bik do perfil P2, sendo uma possível fonte de manganês que foi lixiviado das partes mais altas da paisagem precipitando sob a forma de concreções na baixada como observado na descrição morfológica de P6.

4.6.3 Mineralogia da fração argila

Todos os perfis estudados ao longo da topossequência apresentam o mesmo padrão mineralógico, havendo predomínio de illita seguida por caulinita (Anexo III). Em todos os perfis, os reflexos da caulinita são largos e chegam a desaparecer nos tratamentos a temperatura de 500° C, indicando a sua baixa cristalinidade e pequeno tamanho.

Estudando os solos formados a partir de calcários na Indonésia, Mella e Mermut (2010), observaram a presença de caulinita tanto na fração argila do solo quanto em fragmentos de rocha coletados no perfil, confirmando que a origem desse argilomineral está associada a natureza do material de origem.

De acordo com Melo e Wypych (2009), a formação da caulinita no ambiente do solo é favorecida por altos valores da relação Al/Si, pH ácido e baixo conteúdo de Na, Ca, Mg, Fe e K na solução do solo, condições estas, contrastantes com as observadas no presente estudo, podendo esta caulinita ter sido herdada do material de origem.

Ao estudarem a influência de variações do microrelevo nos atributos dos solos formados a partir dos calcários da Formação Jandaíra na Chapada do Apodi - CE, Oliveira et al. (2018)

observaram modificações na composição mineralogia, em que o perfil localizado na superfície côncava foi observado a presença de caulinita e ilita, enquanto o perfil localizado na superfície convexa observou-se vermiculita, ilita, esmectita e caulinita. Os resultados são explicados pela concentração dos fluxos de água na superfície côncava, que intensifica a atuação do intemperismo e a alteração dos minerais do solo.

Os reflexos da ilita são bem definidos, indicando seu predomínio na fração argila. A formação desse argilomineral é decorrente principalmente da intemperização de micas (Kämpf et al., 2009), como evidenciado pelos reflexos mais largos do mineral na fração areia.

De acordo com Keller (1968), a formação da ilita ocorre em ambientes com alta disponibilidade de sílica, pH moderadamente alcalino, presença de Ca, Mg e Fe, além de elevadas concentrações de K, condição está favorecida pelo intemperismo de micas e feldspatos potássicos; corroborando com o observado no presente estudo. Besoain (1985) relata que essas condições são semelhantes aquelas requeridas para formação da montmorilonita, exceto pela elevada concentração de potássio.

No horizonte 3Bvgk' do perfil P6, os reflexos de filossilicatos 2:1 surgem apenas após a eliminação da caulinita a 500° C, sugerindo a presença de ilita. Apesar da observação de características vérticas como presença de superfície de compressão, rachaduras e microrelevo gilgai, não foi detectada a presença de argilas expansíveis (esmectitas) nesse perfil. Esse mesmo padrão também foi verificado por Maranhão (2014), observando slickensides em todos os horizontes de um Vertissolo apesar da ausência de argilas esmectíticas. De acordo com Brady e Weil (2013), processos de expansão e contração atuam devido a variação no conteúdo de água de ultramicroporos, estes por sua vez, são formados predominantemente em solos esmectíticos. Contudo, os picos de caulinita no difratograma de raios-X do horizonte 3Bvgk' de P6 apresentam-se com base larga, indicando interstratificação ou tamanho muito pequeno da partícula, o que pode favorecer a formação desses poros e a observação das feições vérticas.

4.6 Gênese e Classificação

As cores escuras observadas nos horizontes superficiais de P1, P2, P3 e P4 e nos horizontes subsuperficiais de P4 evidenciam a atuação do processo pedogenético de melanização. O principal fator que condiciona a atuação desse processo é o material de origem, fornecendo elevado conteúdo de Ca que ao interagir com as frações orgânicas do solo conferem cores escurecidas aos perfis (Duchaufour, 1982; Kämpf e Curi, 2012).

Apesar de todos os perfis apresentarem caráter carbonático, a atuação do processo pedogenético de carbonatação atua com maior intensidade nos perfis P5 e P6, tendo em vista que a presença de nódulos evidencia a morfologia típica de carbonatos pedogênicos. No processo de carbonatação ocorre a solubilização do Ca do material de origem que posteriormente é submetido a reações com gás carbônico precipitando na forma de calcita pedogênica (Kämpf e Curi, 2012).

Apesar da condição de clima mais seco com baixas precipitações, o material de origem fornecendo elevados teores de Mg atua na dispersão das argilas, favorecendo a atuação do processo pedogenético de eluviação/iluviação na formação do perfil P3, em que a água atua como agente de transporte na translocação das argilas dispersas do horizonte superficial que se acumula em subsuperfície.

Os principais processos pedogenéticos atuantes na formação do P6 são o de vertização e gleização (Fanning & Fanning, 1989). No primeiro, apesar da ausência de argilas do grupo das esmectitas, a condição de má drenagem e a oscilação do lençol freático são responsáveis pela expansão e contração da massa do solo, formando feições típicas como superfície de

compressão e formação do microrelevo gilgai com a intensificação da sua atuação. No segundo, devido a condição de anaerobiose os organismos utilizam os óxidos de ferro como aceptores finais de elétrons nos processos metabólicos; este ferro é transformado para forma solúvel e pode ser facilmente perdido, permitindo a expressão das cores dos demais minerais do solo, em sua maioria acinzentadas.

Quanto a classificação, no SiBCS (Santos et al., 2013), o perfil P1 possui horizonte superficial A chernozêmico, apresentando cor úmida com valor e croma ≤ 3 ; espessura ≥ 25 cm; saturação por bases $\geq 65\%$; grau moderado de desenvolvimentos dos agregados e; teor de COT superior a 6 g kg^{-1} . Todos os horizontes apresentam caráter carbonático ($\geq 150 \text{ g kg}^{-1}$ de CaCO_3) e o contato lítico ocorre nos primeiros 50 cm a partir da superfície. A associação desses atributos leva-o a ser classificado como Chernossolo Rêndzico Lítico típico. No WRB (IUSS Working Group WRB, 2015), o mesmo perfil foi classificado como Calcic Kastanozem (Leptic), por apresentar horizonte superficial Mollic, além da presença do horizonte Calcic e contato lítico nos primeiros 100 cm a partir da superfície. Os atributos utilizados em ambos os sistemas para classificação desse perfil são bastante similares, contudo, o SiBCS foi mais adequado, pois a profundidade de ocorrência do contato lítico é mais detalhada no terceiro nível categórico (Lítico).

O perfil P2, no SiBCS, também apresenta horizonte superficial A chernozêmico, além do horizonte subsuperficial B incipiente com presença de argila de alta atividade ($\geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); caráter carbonático dentro de 120 cm a partir da superfície e; horizonte Cr dentro de 100 cm a partir da superfície; sendo classificado, como Chernossolo Háptico Carbonático saprolítico. No WRB, esse perfil foi classificado como Calcic Kastanozem (Cambic), apresentando, portanto, horizonte Mollic, horizonte Calcic e horizonte Cambic. Assim como o perfil P1, a classificação nos dois sistemas para P2 são bastante similares, contudo, o SiBCS também se mostra mais adequado, tendo em vista que no quarto nível categórico a presença do horizonte saprolítico nos primeiros 100 cm a partir da superfície é evidenciada, o que não ocorre quando utiliza-se o WRB.

O perfil P3, no SiBCS apresenta horizonte diagnóstico superficial A chernozêmico; horizonte diagnóstico subsuperficial de acúmulo de argila B textural apresentando relação B/A igual a 1,9 e presença de argila de atividade baixa ($< 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$); cores com predomínio do matiz 5YR no horizonte B e; saturação por bases superior a 50%; sendo classificado, portanto, como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico chernossólico. No WRB, esse perfil foi classificado como Calcic Kastanozem (Colluvic), apresentando horizonte Mollic e horizonte Calcic, e natureza coluvial do material de origem. No WRB, para os Kastanozems, o único qualificador utilizado para expressar o aumento no conteúdo de argila em profundidade é o “luvic”, que exige também a presença de argila de atividade de alta ($> 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) nos primeiros 50 cm do horizonte subsuperficial, atributo não observado no mesmo. Nesse sentido, o WRB mostrou-se inadequado para esse perfil, pois não possui qualificador para presença de um horizonte subsuperficial de acúmulo de argila, caso esta seja de baixa atividade.

O perfil P4, no SiBCS também apresenta horizonte superficial A chernozêmico; horizonte diagnóstico subsuperficial B incipiente com presença de argila de alta atividade e cores escurecidas atendendo aos critérios do caráter ebânico e; caráter carbonático dentro de 120 cm a partir da superfície; sendo classificado, como Chernossolo Ebânico Carbonático típico. No WRB esse perfil foi classificado como Calcic Luvic Kastanozem (Colluvic), por apresentar horizonte Mollic, horizonte Calcic, acumulação de argila em profundidade (relação B/A $> 1,4$) associada a alta saturação por bases (V% > 50) e alta atividade de argila ($> 24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e natureza coluvial do material de origem. O WRB mostrou-se mais adequado para

classificação desse perfil, tendo em vista que no SiBCS, os Chernossolos Ebânicos, não possui nenhuma classe que apresente acumulação de argila em profundidade.

O perfil P5, no SiBCS apresenta horizonte superficial A moderado; horizonte diagnóstico subsuperficial B incipiente com argila de alta atividade; caráter flúvico dentro de 120 cm a partir da superfície e; caráter carbonático dentro de 120 cm a partir da superfície; sendo classificado, portanto, como Cambissolo Flúvico Carbonático típico. No WRB, esse perfil foi classificado como Dolomitic Gleyic Fluvisol (Eutric), por apresentar descontinuidade do material originário, maior proporção de carbonatos de magnésio em relação aos carbonatos de cálcio (avaliado pelos teores pseudototais), características redoximórficas e alta saturação por bases ($V\% > 50$). O WRB, apesar de não diferir os solos aluviais que apresentam horizonte B, mostrou-se mais adequado, permitindo classificar tanto a natureza do carbonato presente, como de características redoximórficas, tendo em vista que no SiBCS, os Cambissolos Flúvicos Carbonáticos, apresentam apenas os subgrupos lépticos, vertissólicos e típicos, sendo, portanto, sugerido a adição do subgrupo gleissólicos.

O perfil P6 também apresenta horizonte diagnóstico superficial A moderado; superfície de compressão, caracterizando horizonte diagnóstico subsuperficial vértico; horizonte diagnóstico glei devido ao predomínio de cores acinzentadas e; caráter carbonático dentro de 120 cm a partir da superfície; sendo classificado, como Vertissolo Hidromórfico Carbonático típico. No WRB, esse perfil foi classificado como Calcic Vertisol (Gilgaic, Gleyic), apresentando feições vérticas como superfície de compressão, horizonte calcic, características redoximórficas e microrelevo gilgai. A classificação desse perfil no SiBCS e no WRB são bastante similares, contudo, o qualificador suplementar gilgaic no WRB mostra-se mais adequado por conter informações da paisagem como o microrelevo típico da ocorrência dos Vertisols.

5. CONCLUSÕES

Os atributos dos solos dos perfis estudados são resultantes principalmente da atuação dos fatores clima, relevo e material de origem.

Os principais processos pedogenéticos atuantes ao longo da topossequência são os de melanização, calcificação, eluviação/iluviação, vertização e gleização.

A variação nos atributos morfológicos é fortemente influenciada pelo relevo, tanto na deposição de sedimentos e consequente descontinuidade litológica dos perfis localizados em dique aluvial e baixada, quanto nas cores, devido a mudanças no padrão de drenagem e consequentemente na atuação dos processos pedogenéticos.

O material de origem e o clima mais seco são os principais responsáveis pelos atributos químicos dos solos do Grupo Italva, que apresentam altos valores de pH e saturação por bases, além de baixos teores de ferro e altos valores da relação Ki.

A presença de superfícies de compressão associada à ocorrência de microrelevo gilgai devem ser adicionados ao SiBCS como critério para classificação a nível de ordem para os Vertissolos, tendo em vista a intensa atuação do processo de vertização para formação de tais feições.

Os perfis apresentam caráter carbonático ($\geq 150 \text{ g kg}^{-1}$ de CaCO_3 eq.), com evidências de natureza dolomítica desses carbonatos, tendo em vista a ausência de efervescência a HCl 10% e elevados valores da relação MgO/CaO.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS foi mais adequado para a classificação dos perfis P1, P2 e P3, pois apresentam melhores informações quanto a profundidade de ocorrência do contato lítico (P1), presença de camada saprolítica (P2) e gradiente textural (P3). O World Reference Base for Soil Resources – WRB, foi mais adequado para classificação dos perfis P4, P5 e P6, pois apresentam melhores informações quanto a gradiente textural em menores valores de relação B/A e natureza do material de origem (P4), natureza dos carbonatos e redoximorfismo (P5) e presença de microrelevo gilgai (P6).

A análise dos teores pseudototais de CaO e MgO foi eficiente na identificação da natureza dos carbonatos e sua relação com a reação a efervescência. Devido a simplicidade de realização desta análise, pode-se propor em estudos futuros o desmembramento do 3º nível categórico do SiBCS em Carbonático calcítico ou Carbonático dolomítico, a partir das relações MgO/CaO.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, L. H., FERNANDES, M. R., PEREIRA, M. G.; FRANZMEIER, D. P. Landscape and pedogenesis of an Oxisol-Inceptisol-Ultisolsequence in Southeastern Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, 62(6), 1651-1658.1998.
- BOGGIANI, P. C.; FAIRCHILD, T. R.; COIMBRA, A. M. O Grupo Corumbá (Neoproterozóico-Cambriano) na região central da Serra da Bodoquena (faixa Paraguai), Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Geociência*, v. 23, n. 3, p. 301-305, 1993.
- BOGGS JR, S. *Petrology of sedimentary rocks*. Cambridge University Press, 2009. 600 p.
- BRASIL. Projeto RADAMBRASIL, Folhas SF. 23/24 Rio de Janeiro/Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Ministério de Minas e Energia, 1983.
- BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Levantamento integrado dos recursos naturais do Brasil. Folha Jaguaribe-Natal. Ministério das Minas e Energia-MME, Rio de Janeiro, 1981.
- BESOAIN, E. *Mineralogia de arcillas de suelos*. San José, Costa Rica: IICA, 1985, 1216 p.
- CERLING, T. E.; WANG, Y. Stable carbon and oxygen isotopes in soil CO₂ and soil carbonates: Theory, practice, and applications to some prairie soils of Upper Midwestern North America. In: Boutton, T.W., Yamasaki, S.I. (Eds.), *Mass Spectrometry of Soils*. Marcel Dekker, New York, 1996, 113–131 p.
- CHOU, L. E. I.; GARRELS, R. M.; WOLLAST, R. Comparative study of the kinetics and mechanisms of dissolution of carbonate minerals. *Chemical geology*, v. 78, n. 3-4, p. 269-282, 1989.
- CLIMATE-DATA.ORG. Clima: Itálva – RJ. 2018. < <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/italva-33673/#climate-graph> > Acessado em 26-09-2018.
- CORNELL, R.M.; SCHWERTMANN, U. *The iron oxides; structure, properties, reactions, occurrence and uses*. Weinheim, VCH, 1996. 573p.
- CUADROS, J.; DIAZ-HERNANDEZ, J. L.; SANCHEZ-NAVAS, A.; GARCIA-CASCO, A.; YEPES, J. Chemical and textural controls on the formation of sepiolite, palygorskite and dolomite in volcanic soils. v. 271, p. 99-114, 2016.
- DAVIS K. J.; DOVE P. M.; DE YOREO J. J. The role of Mg²⁺ as an impurity in calcite growth. *Science*, 290(5494), p. 1134–1137, 2000.
- DAVIS K. J.; DOVE P. M.; WASYLENKI L. E.; DE YOREO J. J. Morphological consequences of differential Mg²⁺ incorporation at structurally distinct steps on calcite. *Am. Mineral*. v. 89, p. 714–720, 2004.
- DONAGEMA, G.K., CAMPOS D.V.B., CALDERANO, S.B., TEIXEIRA, W.G., VIANA, J.H. M. *Manual de métodos de análise de solo*. 2nd ed. Centro Nacional de Pesquisa do Solo-Embrapa Solos. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011. 230p.

DUCHAUFOR, P. Pedology: Pedogenesis and classification. London, George Allen & Unwin, 1982. 187p.

FANNING, S.D.; FANNING. Soil Genesis, morphology and classification. Washington, USA, 1989. p. 69-80.

FERREIRA, E.P. Gênese e Classificação de Solos em Ambiente Cárstico na Chapada do Apodi. 2012. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.

FERREIRA, E. P.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; CIPRIANO-SILVA, R.; AZEVEDO, A.C. Genesis and Classification of Soils Containing Carbonate on the Apodi Plateau, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, 2016.

FORD, D.; WILLIAMS, P. Karst hydrogeology and geomorphology. London: John Wiley & Sons Ltd., 2007. 562p.

GILE, L. H.; PETERSON, F. F.; GROSSMAN, R.B. Morphologic and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science* 101, 347–360 p., 1966.

GILE, L. H.; HAWLEY, J. W.; GROSSMAN, R. B. Soils and geomorphology in the basin and range of southern New Mexico. *Guidebook to the Desert Project*. New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources Memoir 39, 1981.

HARDT, R. Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário – Cocalinho – MT. Dissertação (Mestrado em Organização do Espaço). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 98f. 2004.

HEILBRON, M. & MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic Eopaleozoic Ribeira Orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, v. 125, p. 87-112, 2003.

HONG, M.; XU, J.; TENG, H. H. Evolution of calcite growth morphology in the presence of magnesium: Implications for the dolomite problem. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 172, p. 55-64, 2016.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports No. 106*. FAO, Rome. 2015, 192 p.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. *Pedologia: fundamentos*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, 2012, p.207-302.

KÄMPF, N; CURI, N.; MARQUES, J.J. Intemperismo e Ocorrência de Minerais no Ambiente do Solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. *Química do solo. Parte I, Conceitos básicos*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, p.151-249.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de atributos e ambientes pedogenéticos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.107-138.

KELLER, W. D. Principles of chemical weathering. Columbia, Lucas Brothers, 1968, 111 p.

- KORNDORFER, G. H. Elementos Benéficos. In: Fernandes, M. S. Nutrição Mineral de Plantas, SBCS, Viçosa, 2006. 432p.
- MACHETTE, M.N. Calcic soils of the Southwestern United States. In: WEIDE, D. L. (Ed.), Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States: Geological Society of America. Special paper, 203, 1985, 1–21 p.
- MARANHÃO, D. D. C. Gênese, Caracterização e Comparação de Métodos Analíticos de Solos de Natureza Calcária do Grupo Bambuí, no Estado do Tocantins. 2014. 138p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.
- MARANHÃO, D. D. C.; PEREIRA, M. G.; COLLIER, L. .; ANJOS, L. H. C.; AZEVEDO, A. C.; CAVASSANI, R. S. Genesis and Classification of Soils Containing Carbonates in a Toposequence of the Bambuí Group. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, 2017.
- MELLA, W.; MERMUT, A. R. Genesis and mineralogy of soils formed on uplifted coral reef in West Timor, Indonesia. *Geoderma*, v. 154, p. 544-553, 2010.
- MELO, V. F.; WYPYCH, F. Caulinita e haloisita. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo, Parte I – Conceitos gerais, Viçosa-MG: SBCS, 2009, p. 427-504.
- MORSE, J. W.; MACKENZIE, F. T. *Geochemistry of sedimentary carbonates*. Elsevier, 1990.
- MONGER, H.C., KRAIMER, R.A., SAEB, K., COLE, D.R., WANG, X., WANG, J. Sequestration of inorganic carbon in soil and groundwater. *Geology* 43 (5), 375–378, 2015.
- NEAMAN, A.; SINGER, A. The effects of palygorskite on chemical and physico-chemical properties of soils: a review. *Geoderma*, v. 123, n. 3-4, p. 297-303, 2004.
- NOGUEIRA, J. R.; TUPINAMBÁ, M.; GONTIJO, A; PALERMO, N; MENESES, P. T.; HEILBRON, M.; SOUZA, A. M.; SILVA, T. M.; ALMEIDA, J.; SILVA, L. G. E.; VALERIANO, C. M.; DUARTE, B.; SCHMITT, R.; VALLADARES, C. S.; RAGATKY, C. D.; GERALDES, M.; VALENTE, S. C.; PORTO, R.; BARBOSA, M.; PEIXOTO, C.; MEDEIROS, S. R.; VAZ, G. S.; NETO, C.; PEREIRA, R. M.; GUIMARÃES, P. V.; SILVA, F. L. Geologia e recursos minerais da folha São Fidélis SF.24-V-C-IV, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000, CPRM, 2012. 108p.
- NOVAES FILHO, J. P., GUIMARÃES COUTO, E., MATTOS RODRIGUES, L. C., CHIG, L. A., & JOHNSON, M. S. Indicativos de descontinuidade litológica de regolitos derivados de granitos em uma microbacia sob floresta Amazônica, em Juruena-MT. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, 2012.
- OLIVEIRA, D. P.; SARTOR, L. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; ROMERO, R. E.; ANDRADE, G. R. P.; FERREIRA, T. O. Weathering and clay formation in semi-arid calcareous soils from Northeastern Brazil. *Catena*, v. 162, p. 325-332, 2018.
- OLSEN, S.R.; COLE, C.V.; WATENABE, F.S.; DEAN, L.A. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. (USDA. Circular, 939) Washington: USDA, 1954. 22p.

- PAL, D. K.; DASOG, G. S.; VADIVELU, R. L.; AHUJA, R. L.; BHATTACHARYYA, T. Secondary calcium carbonate in soils of arid and semiarid regions of India. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; ESWARAN, H.; STEWART, B. A. (Eds.), *Global Climate Change and Pedogenic Carbonate*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 2000, 149–185 p.
- PASSOS, E.; BIGARELLA, J. J. Superfícies de erosão. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A.J.T. *Geomorfologia do Brasil*. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 390 p.
- PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; FONTANA, A.; NETO, A.H.D.; MIRANDA, L.P.M.; Caracterização e classificação de solos em uma topossequência sobre calcário na Serra da Bodoquena, MS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, 2013.
- POKROVSKY, O. S.; GOLUBEV, S. V.; SCHOTT, J. Dissolution kinetics of calcite, dolomite and magnesite at 25 C and 0 to 50 atm pCO₂. *Chemical Geology*, v. 217, n. 3-4, p. 239-255, 2005.
- RAHEB, A.; HEIDARI, A.; MAHMOODI, S. Organic and inorganic carbono storage in soils along na arid to dry sub-humid climosequence in northwest of Iran. *Catena*, nº 153, 66-74 p., 2017.
- RODRIGUEZ-BLANCO, J. D.; SHAW, S.; BENNING, L.G. A route for the direct crystallization of dolomite. *American Mineralogist*, v. 100, p. 1172-1181, 2015.
- RODRIGUEZ-BLANCO, J. D.; SHAW, S.; BOTS, P.; ROCAL-HERRERO, T.; BENNING, L.G. The role of pH and Mg on the stability and crystallization of amorphous calcium carbonate, *Journal of Alloys and Compounds*, v. 536, p. 447-479, 2012.
- SANTOS, H.G., JACOMINE, P.K.T., ANJOS, L.H.C., OLIVEIRA, V.A., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., ALMEIDA, J.A., CUNHA, T.J.F., OLIVEIRA, J.B. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Centro Nacional de Pesquisa do Solo, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2013. 212p.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 7.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 100p.
- SANTOS, R.V.; ALVARENGA, C.J.S.; DARDENNE, M.A.; SIAL, A.N.; FERREIRA, V.P. Carbon and oxygen isotope profiles across Meso-Neoproterozoic limestones from central Brazil: Bambuí and Paranoá Groups. *Precambrian Research*, v.104, p.107–122. 2000
- SHINZATO, E. O carste da área de proteção ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação de solos. 99p. 1998. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes-RJ.
- SILVA, M.B. Gênese e Classificação dos Solos em duas Topossequências no Sistema Cárstico na Serra da Bodoquena (MS). 251p. 2013. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ.
- SILVA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M. G.; SHIAVO, J. A.; Cooper, M.; CAVASSANI, R. S. Soils in the karst landscape of Bodoquena plateau in cerrado region of Brazil. *Catena*, v. 154, 2017.

- SOIL SURVEY STAFF. Keys to Soil Taxonomy. USDA- United States Department of Agriculture, 2014, 372p.
- SUGUIO, K. Geologia Sedimentar. Editora Edgard Blücher, 1ª Edição, São Paulo, 2003. 400p.
- STANBERY, C. A.; PIERCE, J. L.; BENNER, S. G.; LOHSE, K. On the rocks: Quantifying storage of inorganic soil carbon on graves and determining pedon-scale variability. *Catena*, nº157, 436-442 p., 2017.
- TERAMOTO, E. R., LEPSCH, I. F., & VIDAL-TORRADO, P. Relações solo, superfície geomórfica e substrato geológico na microbacia do ribeirão Marins (Piracicaba-SP). *Scientia Agricola*, v.58, 2001.
- TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L. G. E.; MEDEIROS, S. R.; ALMEIDA, C. G.; MIRANDA, A.; RAGATKY, C. D.; MENDES, J.; LUDKA, I. Geologia da faixa ribeira setentrional: Estado da arte e conexões com a faixa Araçuai. *Geonomos*, v. 15, nº1, 67-79 p., 2007.
- USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges, and soils. Revision 2, Washigton, 1996.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S.S. Conceito e aplicações das relações pedologia e geomorfologia em regiões tropicais úmidas. *Tópicos em Ciência do Solo*. 2005. 4:145-192p.
- WYSOCKI, D. A.; SCHOENEBERGER, P. J.; LAGARRY, H. E. Soil surveys: a window to the subsurface. *Geoderma*, Amsterdam, v. 126, 2005.
- YANG, Y.; FANG, J.; JI, C.; MA, W.; MOHAMMAT, A.; WANG, S.; WANG, S.; DATTA, A.; ROBINSON, D.; SMITH, P. Widespread decreases in topsoil inorganic carbon stocks across China's grasslands during 1980s–2000s. *Glob. Chang. Biol.* 18 (12), 3672–3680, 2012.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analisis*. v. 19, 1988.
- ZAMANIAN, K.; PUSTOVOYTOV, K.; KUZYAKOV, Y. Pedogenic carbonates: Forms and formation processes. *Earth-Science Reviews*, 157, 1-17 p., 2016.
- ZHANG F. F.; YAN C.; TENG H. H.; RODEN E. E; XU H. F. In situ AFM observations of Ca–Mg carbonate crystallization catalyzed by dissolved sulfide: implications for sedimentar dolomite formation. *Geochim. Cosmochim. Acta* 105, p. 44–55, 2013.
- ZHANG, F.; WANG, X.; GUO, T.; ZHANG, P.; WANG, J. Soil organic and inorganic carbon in the loess profiles of Lanzhou area: implications of deep soils. *Catena*, nº 126, 68-74 p., 2015.
- ZHANG, J.; SUN, Y., YU, J. Qualitative discussion of prenucleation cluster role in crystallization of calcium carbonate under high concentration of magnesium based on experimental phenomena. *Journal of Crystal Growth*, v. 478, p. 77-84, 2017.

7. ANEXOS

ANEXO I – Descrição geral e morfológica dos perfis estudados.

PERFIL Nº 1

DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO: CHERNOSSOLO RÊNDZICO Lítico típico.

LOCALIZAÇÃO: Vertente localizada a margem direita da Estrada Guarniery, a 5 km da sede do município de Italva-RJ; 21°24'00,30"S 41°39'40.90" O

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Trincheira aberta no topo da paisagem com aproximadamente 3% de declividade.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Rochas calcissilicáticas e mármore do Grupo Italva

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto do intemperismo de rochas calcissilicáticas

ALTITUDE: 86 metros

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochosa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical caducifólia

CLIMA: Aw

USO ATUAL – Pastagem

DESCRIÇÃO POR – Carlos Roberto Pinheiro Junior e Marcos Gervasio Pereira

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak1 – 0-10 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2,5/3, úmido) e bruno escuro (7,5YR 3/3, seco); franco-argiloarenosa; moderada, pequena e média, granular; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Ak2 – 10-22 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2,5/3, úmido) e bruno escuro (7,5YR 3/3, seco); franco-argiloarenosa; moderada, pequena e média, granular; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

ACk – 22-29 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2,5/3, úmido) e bruno escuro (7,5YR 3/4, seco); franco-argiloarenosa; moderada, pequena, granular e; moderada, pequena, blocos angulares; muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Crk – 29-40 cm; bruno (7,5YR 4/3, úmido); areia franca; grão simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

R - contato lítico fragmentário

PERFIL Nº 2

DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO: CHERNOSSOLO HÁPLICO Carbonático saprolítico.

LOCALIZAÇÃO: Vertente localizada a margem direita da Estrada Guarniery, a 5 km da sede do município de Italva-RJ; 21°23'59.90"S 41°39'41.90"O

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Trincheira aberta no terço superior da paisagem com aproximadamente 10% de declividade.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Rochas calcissilicáticas e mármore do Grupo Italva

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto do intemperismo da rocha.

ALTITUDE: 83 metros

RELEVO LOCAL: Ondulado

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado

EROSÃO: Laminar ligeira

DRENAGEM: Bem drenado

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochosa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical caducifólia

CLIMA: Aw

USO ATUAL – Pastagem

DESCRIÇÃO POR – Carlos Roberto Pinheiro Junior e Marcos Gervasio Pereira

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak – 0-15 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido) e bruno (10YR 4/3, seco); franco-argiloarenosa; moderada, muito pequena e pequena, granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

ABk – 15-32 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido) e bruno (10YR 4/3, seco); franco arenosa; moderada, muito pequena e pequena, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Bik – 32-44 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); franco arenosa; fraca, pequena, blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Crk1 – 44-70 cm; bruno amarelado escuro (10YR 3/4, úmido); franco arenosa; maciça; dura, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.

Crk2 – 70-107⁺ cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/4, úmido); areia franca; maciça; dura, friável, não plástica e não pegajosa.

PERFIL Nº 3

DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico chernossólico

LOCALIZAÇÃO: Vertente localizada a margem direita da Estrada Guarniery, a 5 km da sede do município de Italva-RJ; 21°23'58.70"S 41°39'43.20"W

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Trincheira aberta no terço médio da paisagem com aproximadamente 25% de declividade.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Rochas calcilissicáticas e mármore do Grupo Italva

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos de mármore e rochas calcissilicáticas.

ALTITUDE: 72 metros

RELEVO LOCAL: Forte ondulado

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado

EROSÃO: Laminar moderada

DRENAGEM: Bem drenado

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochosa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical caducifólia

CLIMA: Aw

USO ATUAL – Pastagem

DESCRIÇÃO POR – Carlos Roberto Pinheiro Junior e Marcos Gervasio Pereira

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ak – 0-14 cm; bruno escuro (7,5YR 3/3, úmido) e bruno (10YR 4/3, seco); franco-argiloarenosa; moderada, pequena e média, granular; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

ABk – 14-33 cm; bruno escuro (7,5YR 3/3, úmido) e bruno (10YR 4/3, seco); franco-argiloarenosa; moderada, pequena, granular e; moderada, pequena, blocos angulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

BAk – 33-55 cm; bruno escuro (7,5YR 3/4, úmido); argiloarenosa; forte, pequena, prismática, composta por moderada, pequena, blocos angulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Btk1 – 55-82 cm; bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); argiloarenosa; forte, pequena, prismática, composta por forte, média, blocos angulares; cerosidade pouca e fraca; dura, friável, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

Btk2 – 82-103 cm; bruno avermelhado escuro (5YR 3/4, úmido); argila; forte, média, prismática, composta por forte, média, blocos angulares; cerosidade comum e moderada; dura, friável, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

Btk3 – 103-144⁺ cm; bruno avermelhado (5YR 4/4, úmido); argila; forte, média, prismática, composta por moderada, pequena, blocos angulares; cerosidade forte e abundante; dura, friável, muito plástica e muito pegajosa

PERFIL Nº4

DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO: CHERNOSSOLO EBÂNICO Carbonático típico.

LOCALIZAÇÃO: Vertente localizada a margem direita da Estrada Guarniery, a 5 km da sede do município de Italva-RJ; 21°23'57.10"S 41°39'45.00"W

SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Corte em rampa de colúvio no terço inferior da paisagem com aproximadamente 10% de declividade.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Rochas calcissilicáticas e mármore do Grupo Italva

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos de mármore e rochas calcissilicáticas.

ALTITUDE: 54 metros

RELEVOLCAL: Ondulado

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado
EROSÃO: Laminar ligeira
DRENAGEM: Moderadamente drenado
PEDREGOSIDADE: Não pedregosa
ROCHOSIDADE: Não rochosa
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical caducifólia
CLIMA: Aw
USO ATUAL –Pastagem
DESCRIÇÃO POR – Carlos Roberto Pinheiro Junior e Marcos Gervasio Pereira

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ak1 – 0-9 cm; bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmido) e bruno (7,5YR 4/2, seco); franco-arenosa; moderada, muito pequena a média, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Ak2 – 9-28 cm; bruno escuro (7,5YR 3/3, úmido) e bruno (7,5YR 4/2, seco); franco-argiloarenosa; moderada, pequena a média, granular; ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Ak3 – 28-43 cm; bruno (7,5YR 4/2, úmido) e bruno (7,5YR 4/3, seca); franco-argiloarenosa; moderada, pequena, granular e; moderada, pequena, blocos angulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- ABk – 43-55 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido) e bruno (7,5YR 4/2, seca); franco-argiloarenosa; moderada, pequena, prismática, composta por; moderada, pequena, blocos angulares; dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- BAk – 55-74 cm; bruno acinzentado muito escuro (7,5YR 3/1, úmido); franco-argiloarenosa; moderada, média, prismática, composta por; moderada, pequena, blocos angulares; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.
- Bik1 – 74-105 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido); franco-argiloarenosa; forte, média, prismática; muito dura, firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- Bik2 – 105-134 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido); franco argiloarenosa; forte, grande, prismática; muito dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e gradual.
- Bik3 – 134-174⁺ cm; bruno escuro (7,5YR 3/3, úmido); argiloarenosa; forte, grande, prismática; muito dura, firme, plástica e pegajosa;

PERFIL Nº5

DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO FLÚVICO Carbonático típico.
LOCALIZAÇÃO: Vertente localizada a margem direita da Estrada Guarniery, a 5 km da sede do município de Italva-RJ; 21°23'56.80"S 41°39'45.30"W
SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Corte em dique aluvial no terço inferior da paisagem com aproximadamente 3% de declividade.
FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Rochas calcissilicáticas e mármore do Grupo Italva
MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos colúvio-aluviaonar.

ALTITUDE: 52 metros
RELEVO LOCAL: Plano
RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado
EROSÃO: Não aparente
DRENAGEM: Imperfeitamente drenado
PEDREGOSIDADE: Não pedregosa
ROCHOSIDADE: Não rochosa
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical caducifólia
CLIMA: Aw
USO ATUAL –Pastagem
DESCRIÇÃO POR – Carlos Roberto Pinheiro Junior e Marcos Gervasio Pereira

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ak'1 – 0-7 cm; bruno muito escuro (7,5YR 4/1, úmido) e bruno (7,5YR 4/2, seco); franco-argiloarenosa; fraca a moderada, pequena a média, granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- Ak2 – 7-15 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido) e bruno (7,5YR 4/2, seco); franco-argiloarenosa; moderada, pequena e média, granular; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada (15-18 cm) e clara.
- 2Ak3 – 15-22 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido) e bruno (7,5YR 4/2, seca); franco-argiloarenosa; fraca a moderada, média, granular e; grão simples; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada (21-27 cm) e clara.
- 3Bik1 – 22-40 cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido); franco-argiloarenosa; moderada, média, blocos angulares e subangulares; dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
- 4Bik2 – 40-58 cm; bruno (7,5YR 4/2, úmido); franco-argiloarenosa; mosqueado pequeno, pouco e distinto (5YR 4/5 bruno avermelhado) moderada, média, prismática, composta por; moderada, pequena, blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
- 5Ck1 – 58-64 cm; bruno escuro (10YR 3/3, úmido); areia franca; mosqueado médio, comum e proeminente (5YR 5/8 vermelho amarelado); grão simples; solta, solta, não plástica e não pegajosa; transição ondulada (62-70 cm) e clara.
- 6Cgk2 – 64-97+ cm; bruno escuro (7,5YR 3/2, úmido); argiloarenosa; mosqueado médio, comum e proeminente (5YR 5/8 vermelho amarelado); maciça; muito dura, muito firme, muito plástica e muito pegajosa.

OBS: O horizonte A1 apresentou efervescência moderada a HCl 10%.

PERFIL Nº6

DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO: VERTISSOLO HIDROMÓRFICO Carbonático típico.
LOCALIZAÇÃO: Vertente localizada a margem direita da Estrada Guarniery, a 5 km da sede do município de Italva-RJ; 21°23'55.70"S 41°39'48.00"W
SITUAÇÃO E DECLIVIDADE: Trincheira aberta na posição de baixada com aproximadamente 2% de declividade.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Rochas calcissilicáticas e mármore do Grupo Itáva

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos de coluviais.

ALTITUDE: 46 metros

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Plano a forte ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Mal drenado

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa

ROCHOSIDADE: Não rochosa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical caducifólia

CLIMA: Aw

USO ATUAL –Pastagem

DESCRIÇÃO POR – Carlos Roberto Pinheiro Junior e Marcos Gervasio Pereira

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Agk1 – 0-7 cm; cinzento escuro (7,5YR 4/1, úmido) e cinzento escuro (7,5YR 4/1, seco); franco-argilosa; forte, pequena e média, granular e; forte, pequena, blocos angulares; muito dura, muito firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

Agk'2 – 7-22 cm; cinzento escuro (7,5YR 4/1, úmido) e cinzento escuro (7,5YR 4/1, seco); argila; forte, pequena, granular e; forte, pequena, blocos angulares; extremamente dura, extremamente firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

ABgk' – 22-34 cm; cinzento escuro (7,5YR 4/1, úmido) e cinzento escuro (7,5YR 4/1, seca); franco-argiloarenosa; moderada a forte, média, blocos angulares; muito dura, muito firme, plástica e pegajosa; transição plana e clara.

2BAgk – 34-47 cm; cinzento escuro (7,5YR 4/1, úmido); franco-argiloarenosa; moderada, média, blocos angulares e subangulares; muito dura, muito firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

3Bivgk' – 47-90 cm; cinzento (10YR 5/1, úmido); mosqueado médio, comum e proeminente (10YR 5/8 bruno amarelado); argiloarenosa; forte, muito grande, prismática; extremamente dura, extremamente firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e clara.

3Cgk – 90-105 cm; coloração variegada composta por cinzento (10YR 6/1) e bruno amarelado (10YR 5/6); argiloarenosa; maciça, muito dura, muito firme, plástica e pegajosa.

OBS: Presença de pontuações de carbonato nos horizontes Agk'2, ABgk' e 3Bivgk'; os horizontes Agk1, Agk'2, ABgk' e 3Bivgk' apresentaram efervescência moderada e o horizonte 3Cgk efervescência fraca a HCl 10%; presença de concreções de manganês nos horizontes Agk'2, ABgk', 2BAgk, 3Bivgk', apresentando forte efervescência a peróxido de hidrogênio em todos os horizontes.

Concreções de manganês:

Agk'2 – freqüente, pequeno, duro, esférico, roxo internamente e alaranjado externamente;

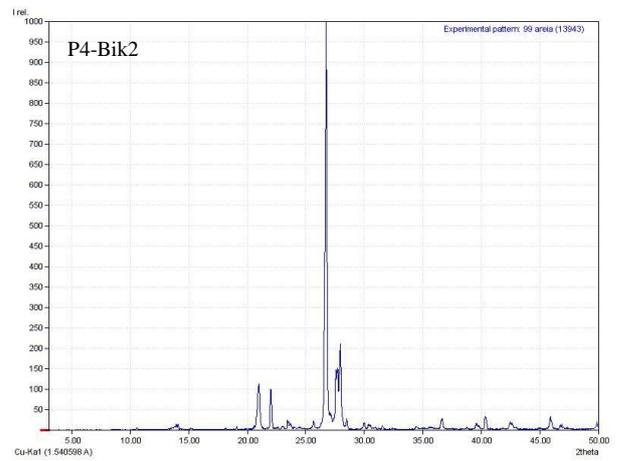
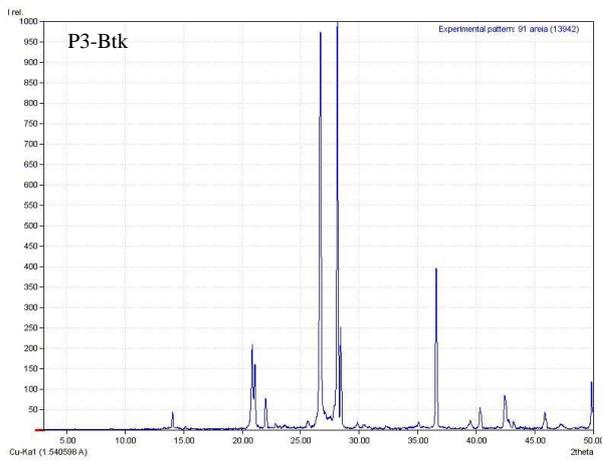
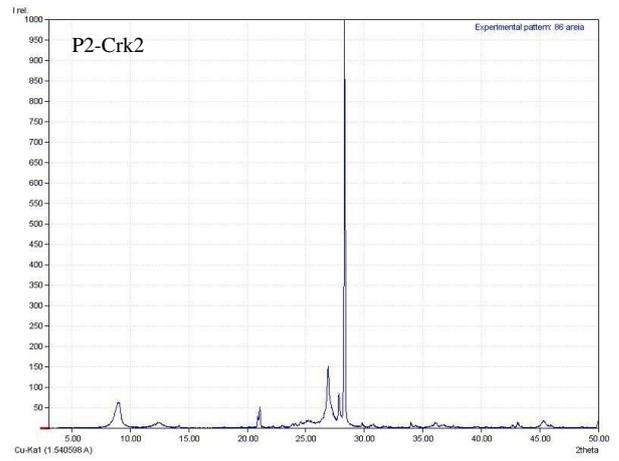
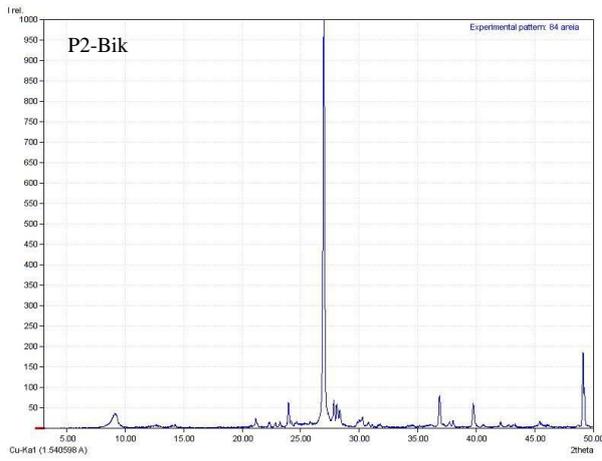
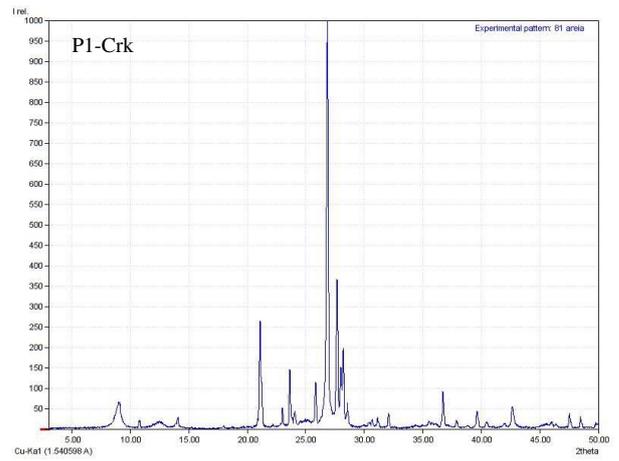
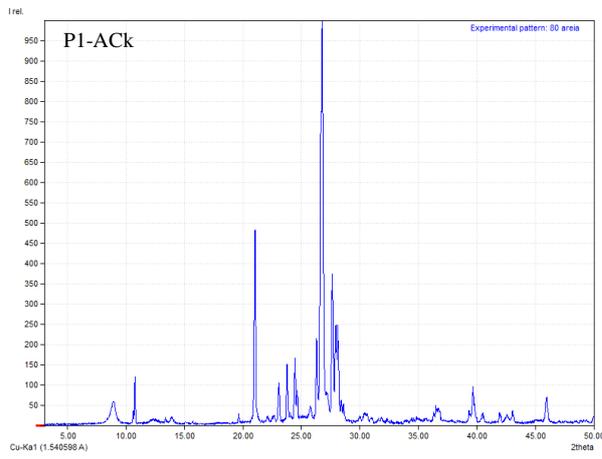
ABgk' – freqüente, pequeno, duro, esférico, roxo internamente e alaranjado externamente;

2BAgk – freqüente, grande, duro, esférico, roxo internamente e alaranjado externamente;

3Bivgk' – freqüente, grande, macio, esférico, roxo escuro;

3Cgk – freqüente, grande, macio, esférico e irregular, roxo escuro.

ANEXO II – Difratoogramas de raios-X (DRX) da fração areia dos perfis.



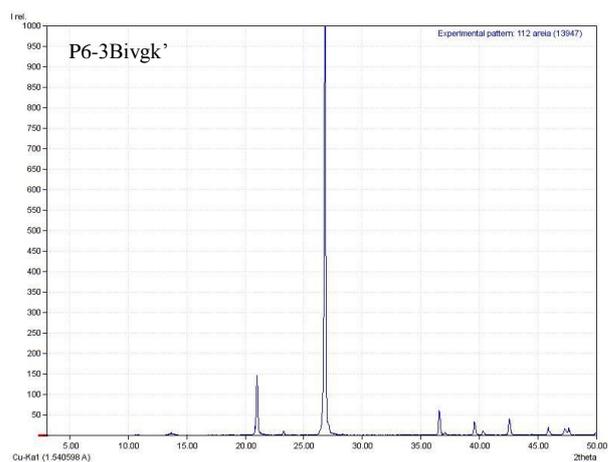
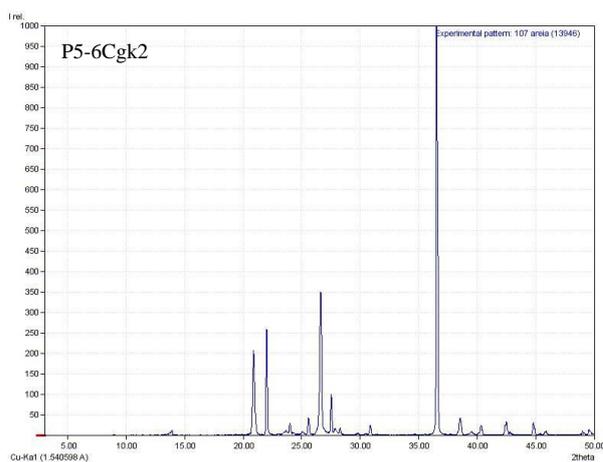
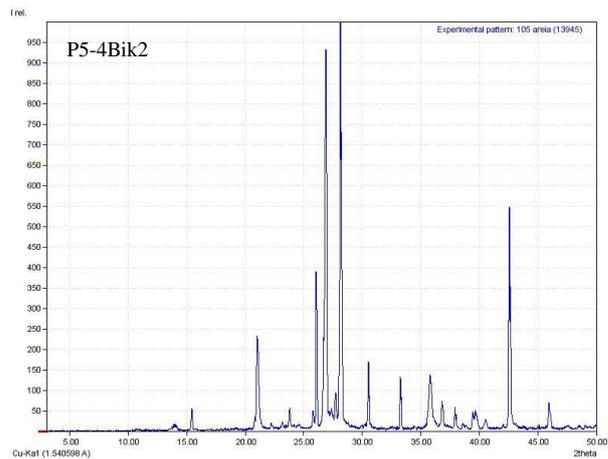
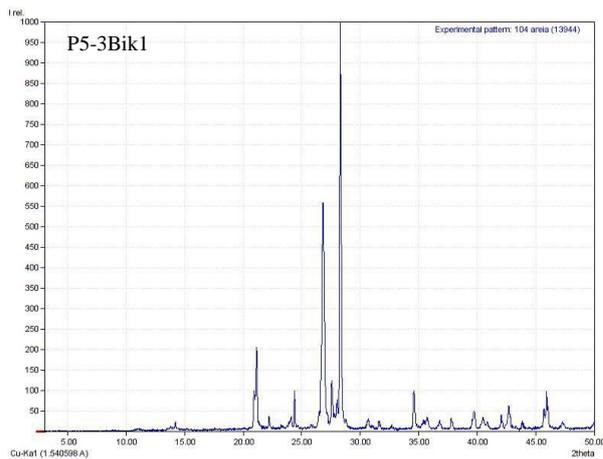


Figura 7: Difratoformas de raios-X da fração areia dos perfis estudados.

ANEXO III – Difratoogramas de raios-X da fração argila dos perfis.

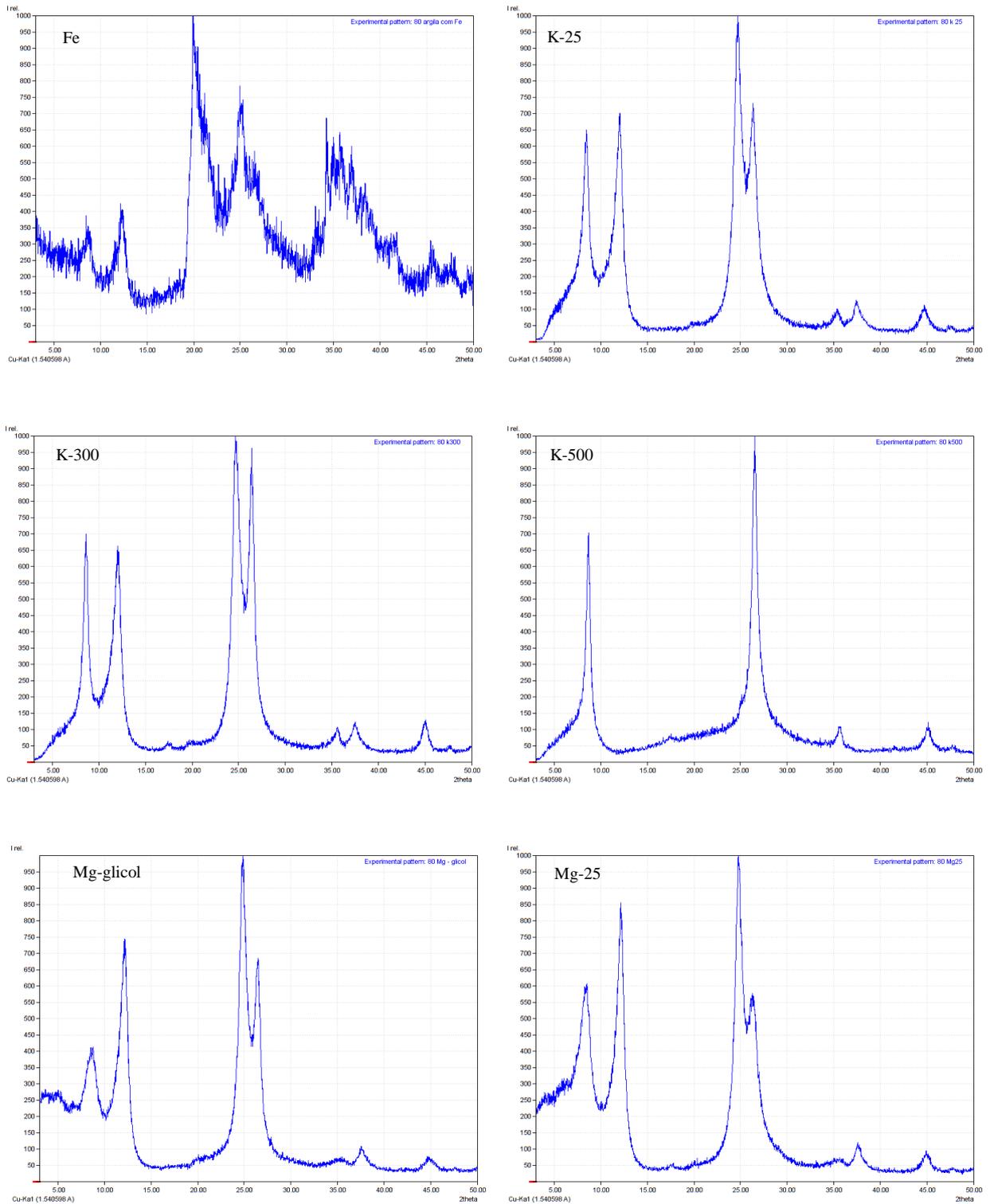


Figura 8: Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte ACK do perfil P1.

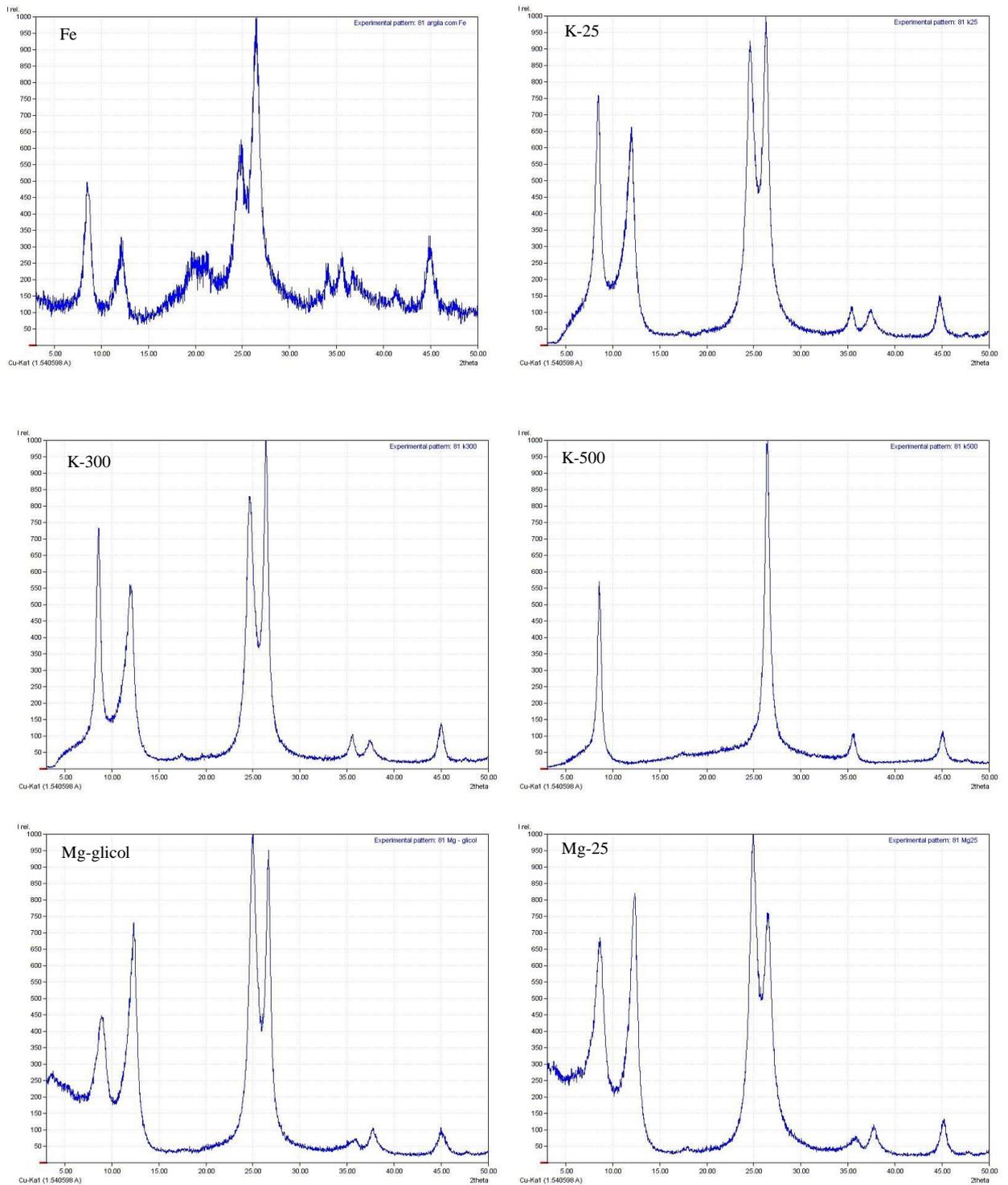


Figura 9: Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte Crk do perfil P1.

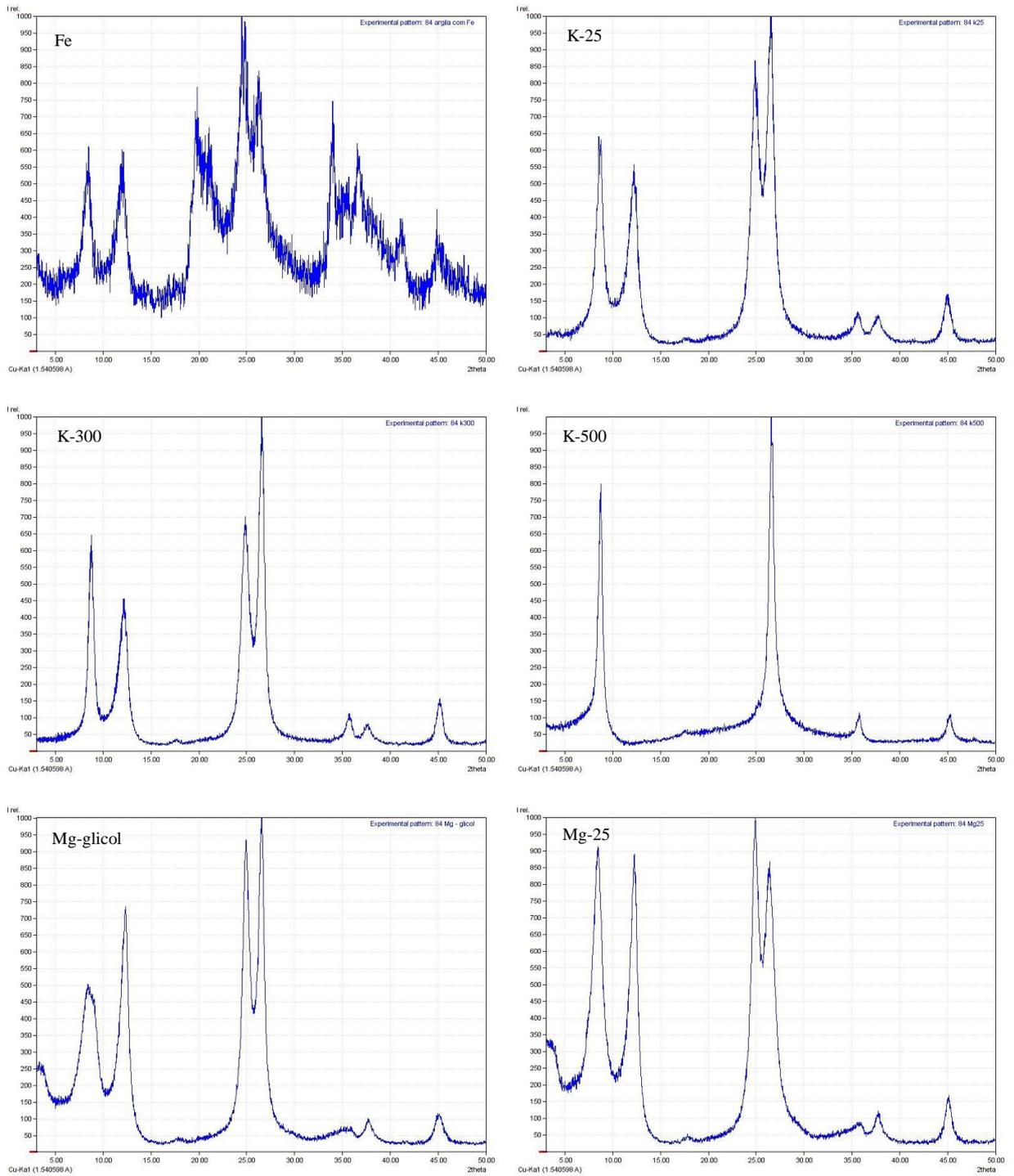


Figura 10: Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte Bik do perfil P2.

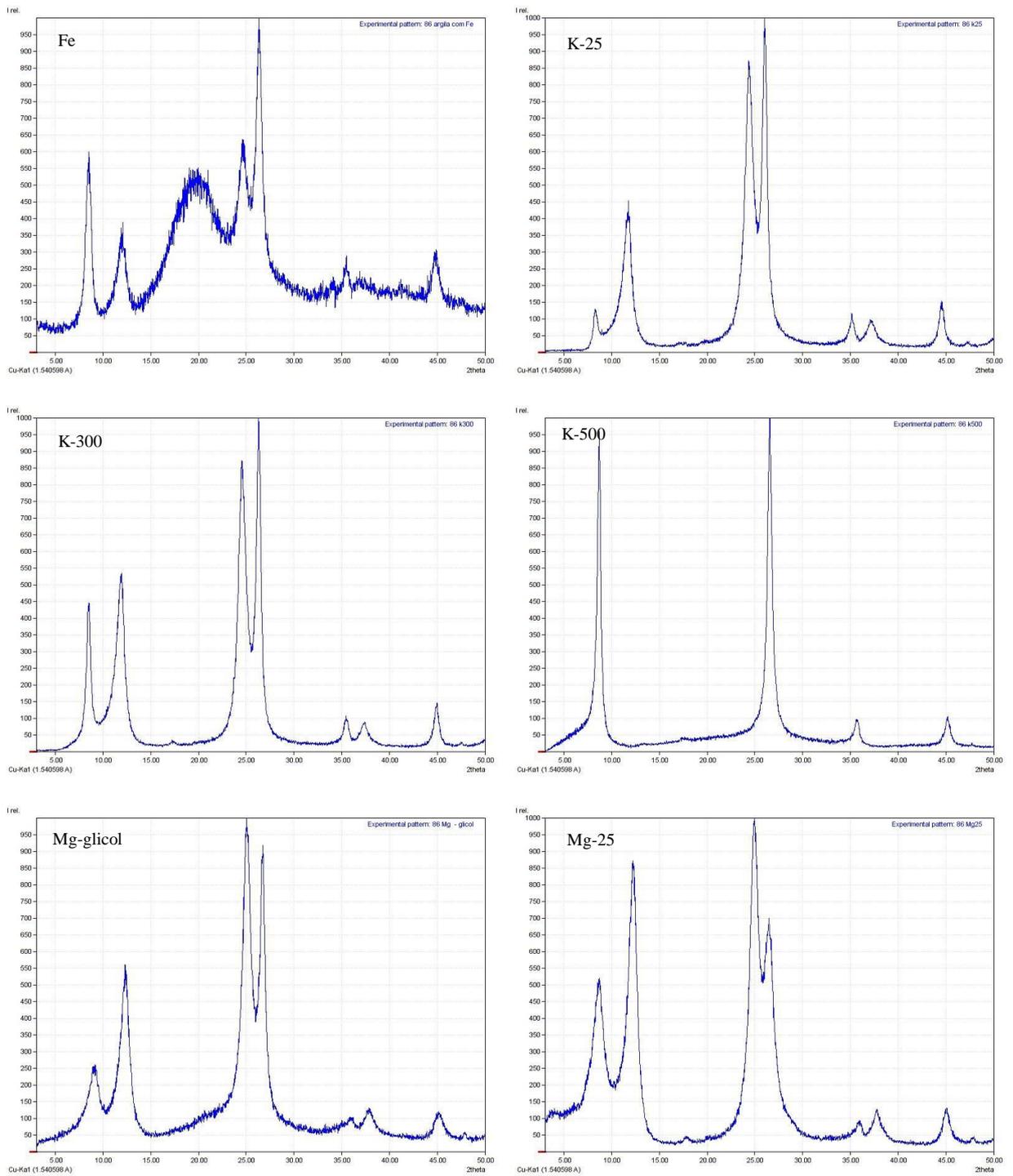


Figura 11: Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte Crk2 do perfil P2.

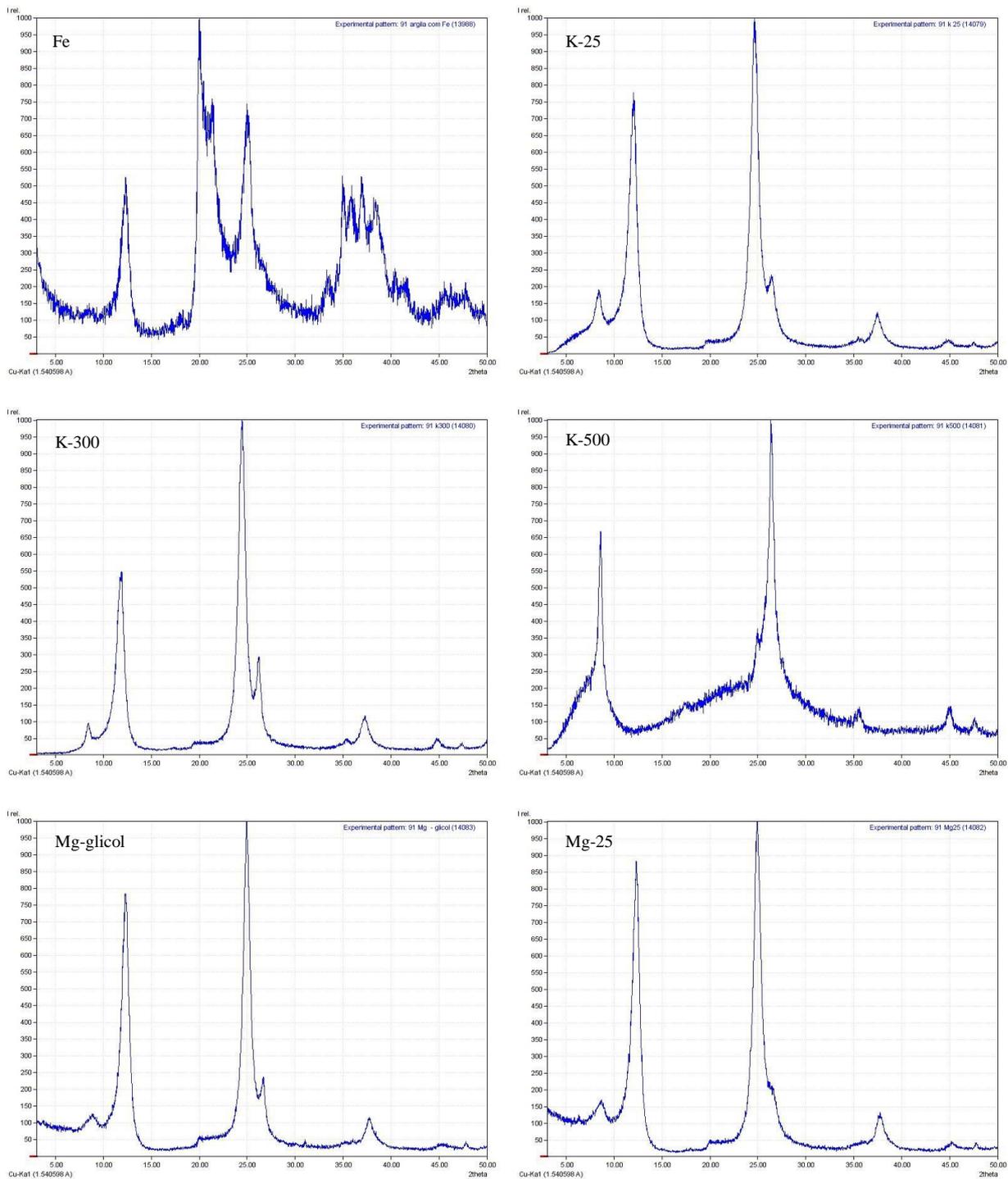


Figura 12: Difratoograma de raios-X do horizonte Btk2 do perfil P3.

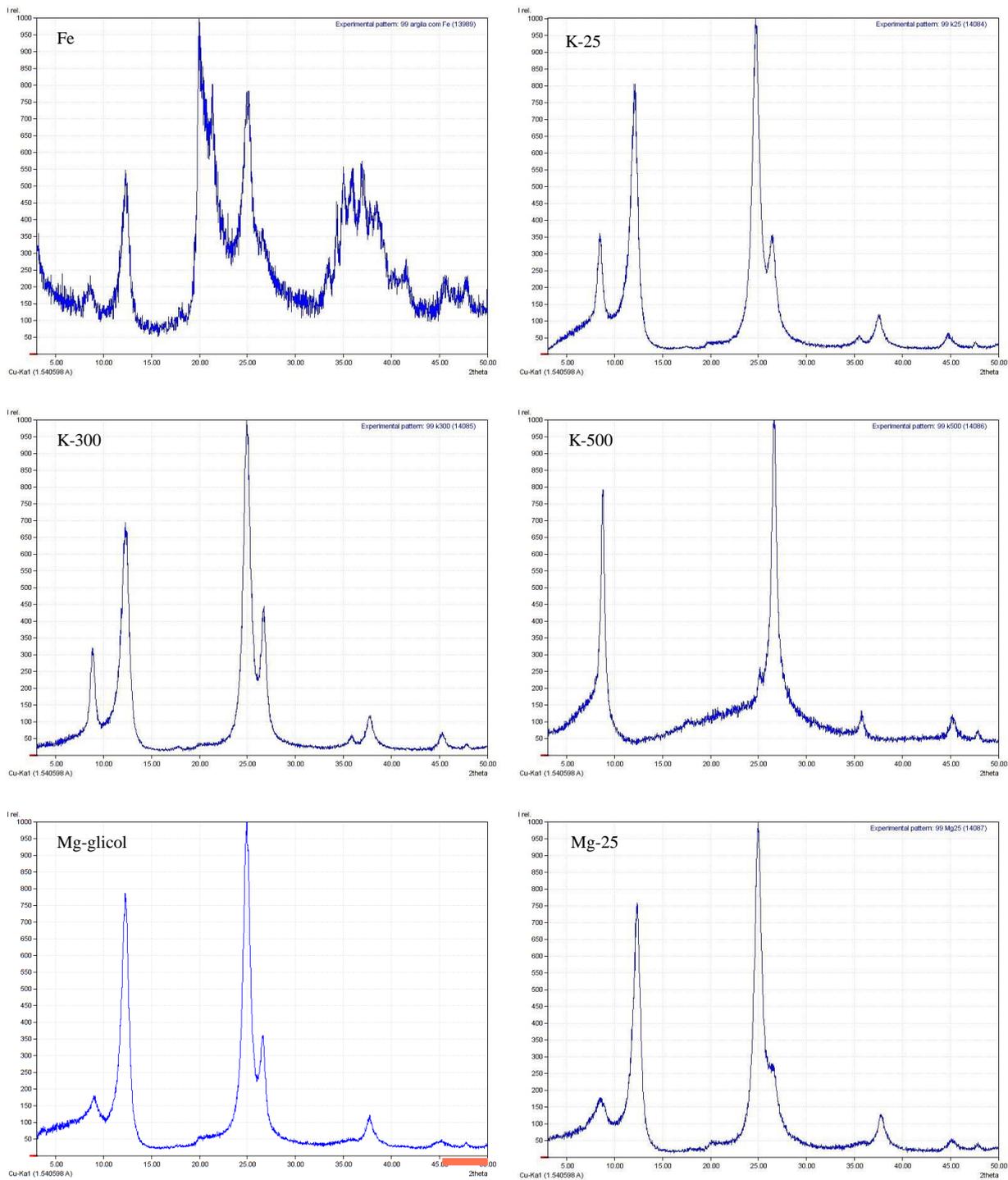


Figura 13: Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte Bik2 do perfil P4.

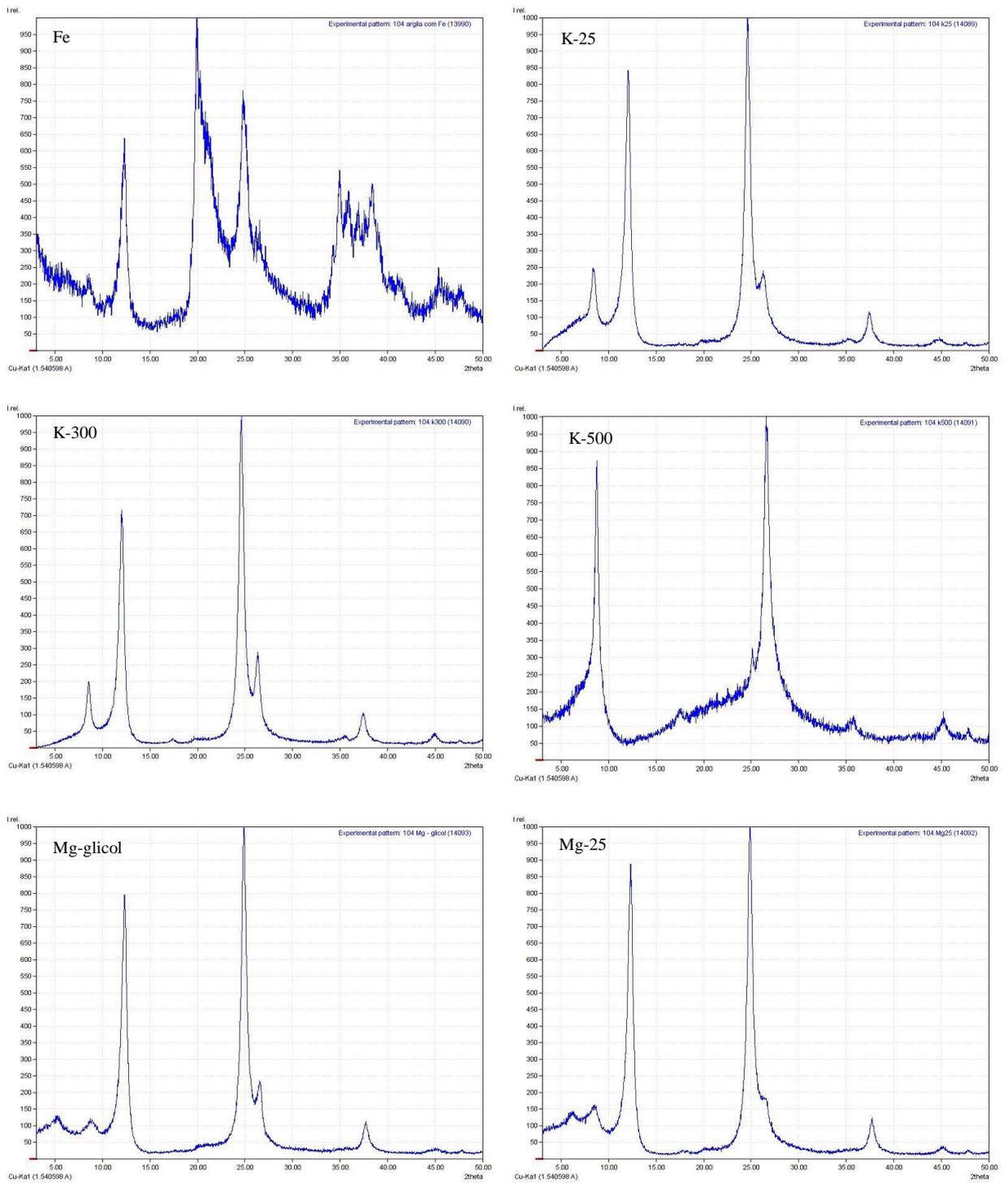


Figura 14: Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte 3Bik1 do perfil P5.

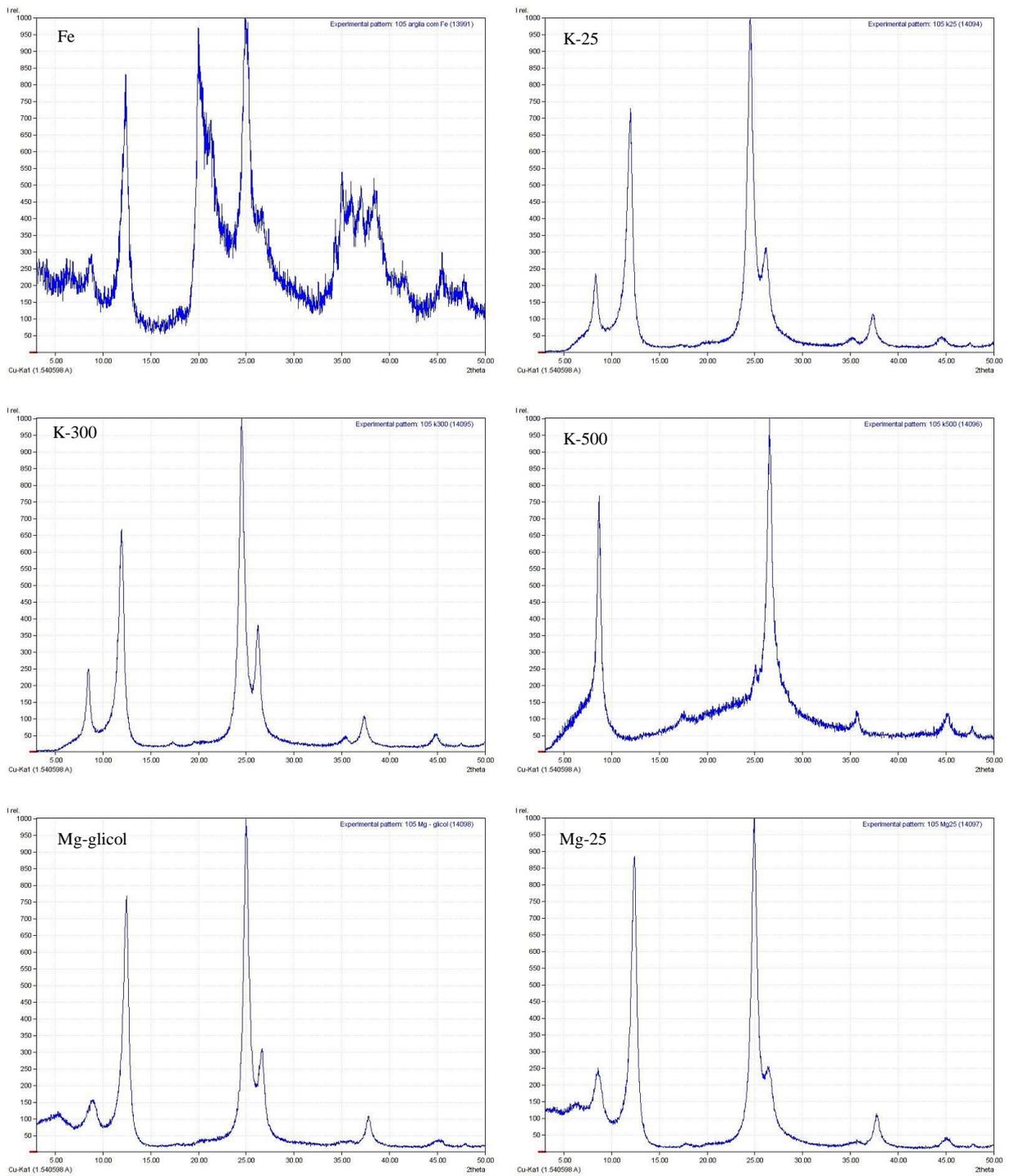


Figura 15: Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte 4Bik2 do perfil P5.

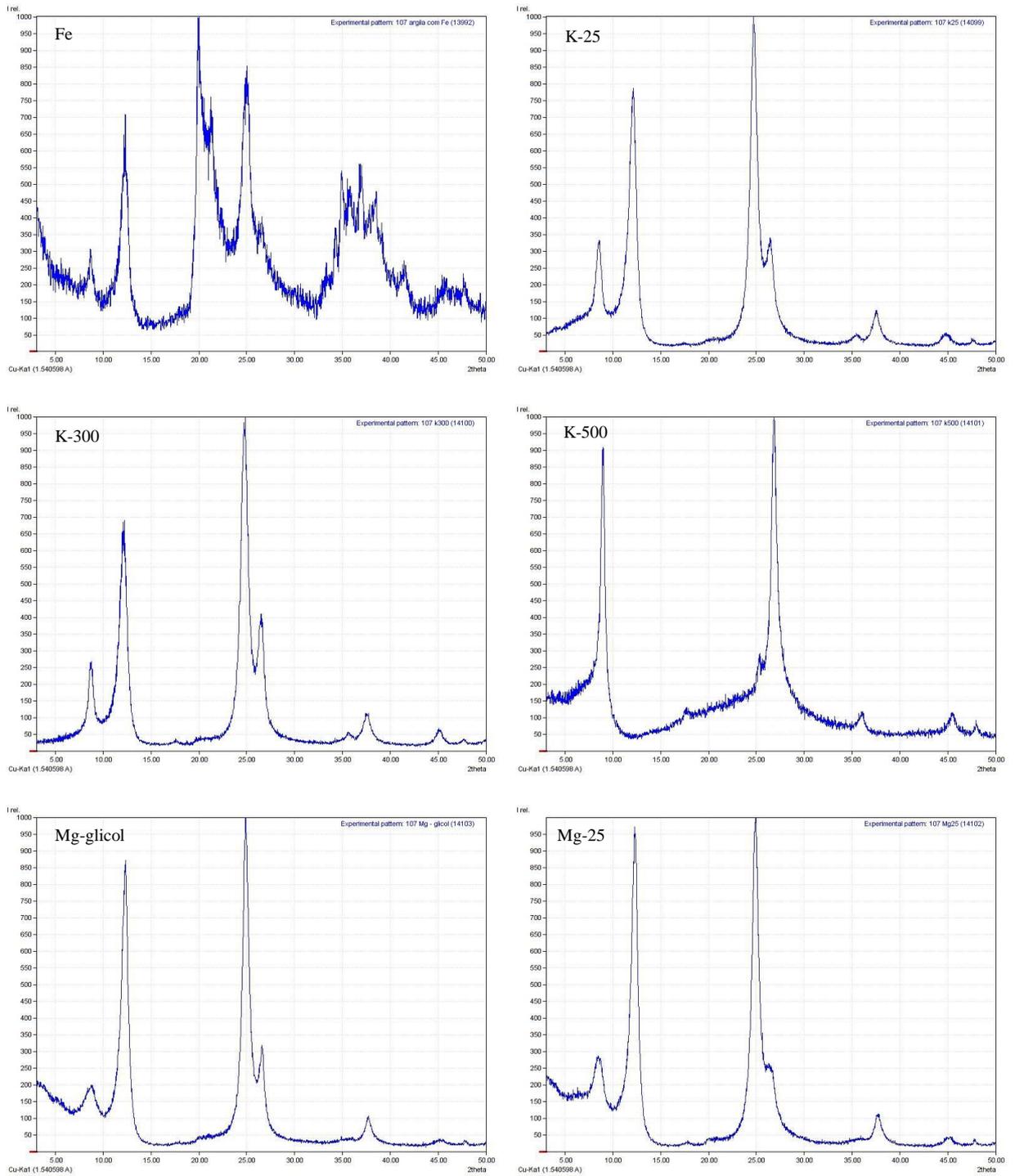


Figura 16: Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte 6Cgk2 do perfil P5.

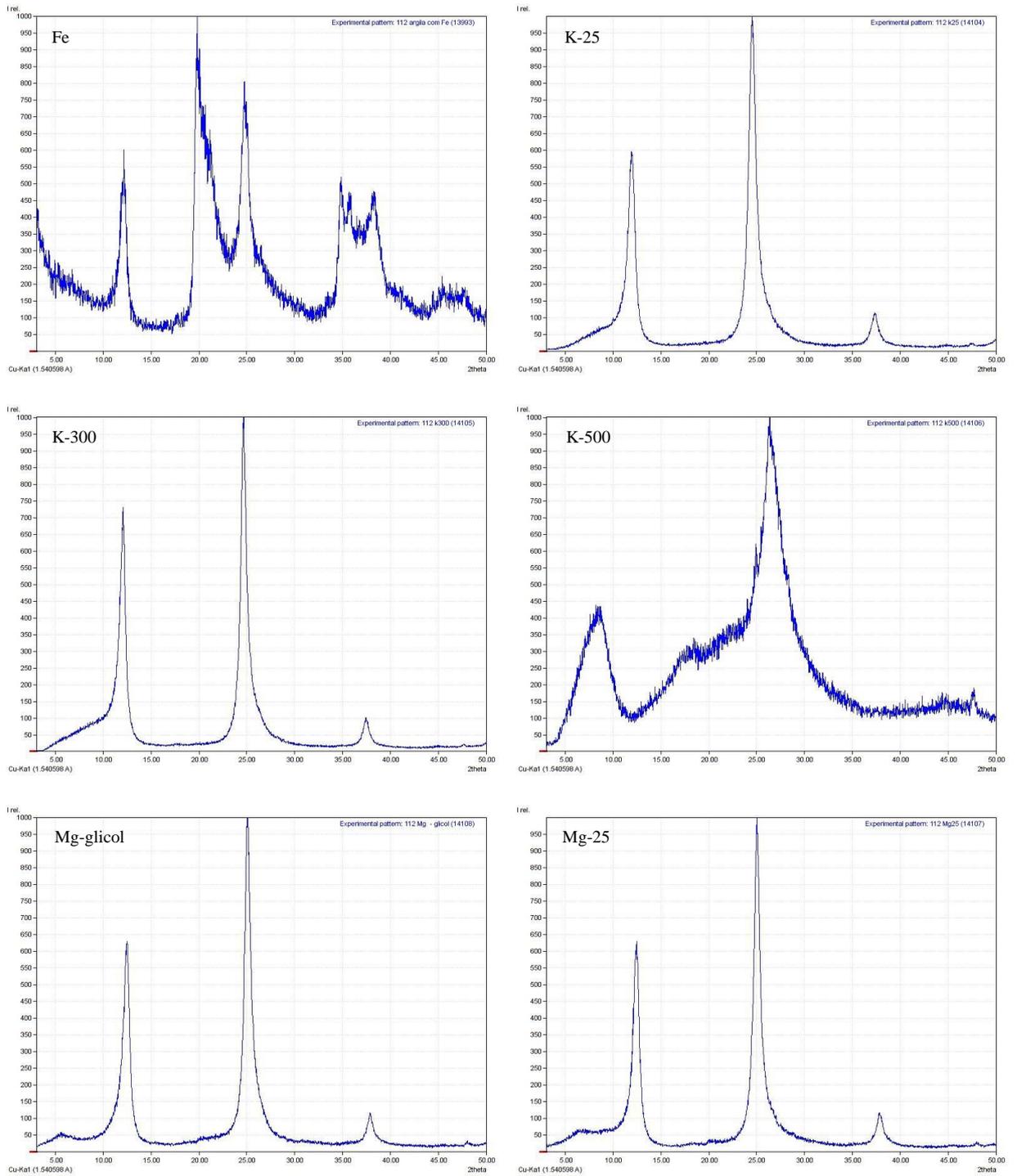


Figura 17: Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte 3Bvgk' do perfil P6.