

FERNANDO CARTAXO ROLIM NETO

**GÊNESE, QUÍMICA, MINERALOGIA E MICROMORFOLOGIA DE
TOPOLITOSSEQUÊNCIAS DE SOLOS DO ALTO PARANAÍBA, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002

FERNANDO CARTAXO ROLIM NETO

**GÊNESE, QUÍMICA, MINERALOGIA E MICROMORFOLOGIA DE
TOPOLITOSSEQUÊNCIAS DE SOLOS DO ALTO PARANAÍBA, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”

APROVADA: 20 de maio de 2002

Prof. Liovando Marciano da Costa
(Conselheiro)

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho
(Conselheiro)

Prof. José Domingos Fabris

Dr. Antônio Francisco S. M. Marques

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
(Orientador)

À mãe natureza

Aos injustiçados

À amizade verdadeira

À minha família e familiares

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela criação e por tudo que aconteceu para a minha evolução como homem.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco pela liberação e incentivos nesta empreitada.

À Universidade Federal de Viçosa pela acolhida e oportunidade oferecidas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelas concessões das bolsas de estudos PICDT e PDEE.

Em especial ao meu Orientador e amigo, Professor Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer, pela sua incomensurável ajuda na superação das dificuldades técnicas e do cotidiano.

Ao Professor Liovando Marciano da Costa pela ajuda na consecução do Programa Sanduíche e pela sua força espiritual sempre constante.

À Universidade da Flórida – Departamento de Ciência de Solo e Água, particularmente à Professora Mary Collins por ter me aceito como estudante do programa Sanduíche, ao Professor Willie Harris e ao técnico Larry Schwandes pelas discussões e ajuda nas análises.

Ao Professor Nairan Félix de Barros, pelos seus ensinamentos na UFV e valiosa ajuda quando da nossa chegada em Gainesville – FL, EUA.

Aos demais professores do Departamento de Solos, pelos conhecimentos transmitidos durante a jornada.

Ao Professor R. Gilkes da Universidade Western Australia – Perth, pelo apoio na realização das análises em MEV/EDS.

À Professora Angélica do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, pela realização dos difratogramas de óxidos de ferro.

Ao Professor da UFV Raphael Bragança Alves Fernandes pelas críticas e sugestões realizadas no capítulo 4.

Ao Dr. José Elias da Cunha da RURALMINAS, pela liberação de parte do banco de dados digitais do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba, convênio FUNARBE/SRH-MG/RURALMINAS.

Ao Dr. Antônio Francisco de Sá e Melo Marques pela ajuda na descrição dos perfis, coleta das amostras, classificação dos solos e sugestões apresentadas.

Ao amigo Momade Mamudo Ibraimo, pela sua inestimável ajuda na realização de análises e presença marcante nos momentos difíceis, sem as quais seria bastante difícil a realização deste trabalho.

À colega Flávia Cristina dos Santos pela ajuda na coleta das amostras dos solos.

Ao colega Manoel Ricardo, pela preparação das lâminas de micromorfologia.

Ao amigo Marcelo Metri Correia pela amizade e ajuda na realização dos cálculos estatísticos e quantificação dos minerais presentes na fração argila.

Aos amigos e colegas da Pós-graduação Milson Lopes, Guilherme Donagema, Edson Santos, Airton Bortoluzzi, Meubles Borges, Hedinaldo Lima, Paulo PC, Gilvan, Herly, Maurício Moreau, Valdinar Melo, Fernando Igreja, Marcelo Gaggero, Gabriela Ippoliti, Janela, Zé Colméia, Fátima Barros, Elaine, Ecila, Deise e Rosane pelo convívio e amizade.

Ao colega do DTR/UFRPE e amigo Manoel Vieira de França pela confiança e apoio em todos os momentos.

Aos amigos e respectivas famílias, Ronaldo Freire de Moura, Luís Veras Júnior e Fernando José Freire, pelos momentos vividos e amizade sincera.

Aos amigos Walter Abrahão, Ivo Jucksch, Madu, Serginho, Cristiane, Moisés, Hiran e Raquel por me facilitarem uma nova visão da vida.

À bibliotecária Maria Cristina Malta de Almeida Costa pela revisão de Português.

Aos funcionários do laboratório de Geomática da FUNARBE/UFV, Fausto, Rogério, Edgar, Alberto, e Geraldine, pelo apoio na produção dos mapas temáticos.

Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial, Jorge, Zélia, Cláudio, Benedito, João Lélis, Pedro Lélis, Carlos Henriques, José Francisco, Lulinha, Carlinhos, Carlos Fonseca, Braz, Luís, Geraldo Robésio, Renatinho, Júnia, Sônia e Luciana pela amizade e prestimosa ajuda durante todo o Curso.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	xiii
CAPÍTULO 1	
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS, PEDOLÓGICAS E COBERTURA VEGETAL DO ALTO PARANAÍBA MINEIRO	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS	4
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
3.1. Base cartográfica e drenagem	8
3.2. Geologia, geomorfologia e solos	11
3.3. Uso da terra e cobertura vegetal	20
4. CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
ANEXOS	29

CAPÍTULO 2

TOPOLITOSSEQUÊNCIAS DE SOLOS DO ALTO PARANAÍBA: ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS	34
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1. Características físicas e morfológicas dos solos estudados.....	39
3.2. Características químicas dos solos estudados	41
3.2.1. Análises de rotina	41
3.2.2. Resultados dos ataques sulfúrico, triácido, oxalato e ditionito.	44
3.2.3. Mineralogia da argila	59
4. CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS	59

CAPÍTULO 3

MICROMORFOLOGIA E GÊNESE DE SOLOS DO ALTO PARANAÍBA, MG: ATRIBUTOS MICROQUÍMICOS EM MEV/EDS	83
1. INTRODUÇÃO	83
2. MATERIAIS E MÉTODOS	85
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
3.1. Topolitossequência Serra do Salitre	87
3.2. Topolitossequência Patrocínio	97
3.3. Topolitossequência Coromandel	103
4. CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS	115

CAPÍTULO 4

FÓSFORO, SUPERFÍCIE ESPECÍFICA, CMAF E ATRIBUTOS MINERALÓGICOS EM ALGUNS SOLOS DO ALTO PARANAÍBA, MG	119
1. INTRODUÇÃO	119
2. MATERIAIS E MÉTODOS	122

2.1. Solos utilizados e sua localização	122
2.2. Caracterização dos solos	122
2.3. P remanescente	123
2.4. Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfato (CMAF)	123
2.5. Superfície específica (métodos direto e indireto)	123
2.6. Quantificação dos constituintes mineralógicos na fração argila	124
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	125
3.1. Superfície específica	125
3.2. Fósforo disponível	129
3.3. Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfato (CMAF) e P remanescente	130
4. CONCLUSÕES	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXOS	142

RESUMO

ROLIM NETO, Fernando Cartaxo, D.S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2002. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de topolitosseqüências de solos do Alto Paranaíba, MG.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Conselheiros: Liovando Marciano da Costa e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Nesta pesquisa foram examinadas a distribuição, origem e natureza dos principais solos da bacia hidrográfica do Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais do Brasil. Foram produzidos mapas temáticos digitais, a partir de cartas do IBGE, mapas do RADAMBRASIL e imagens orbitais LANDSAT, utilizando-se os programas ArcInfo e ArcView do ESRI, criando-se classes para cada tema e calculando-se suas áreas de acordo com a legenda dos mapas. Foi constatado que a geomorfologia evidencia estreita influência na distribuição dos solos na bacia. Observou-se elevada ocorrência de solos com problemas ligados à fertilidade, em que os distróficos e álicos somam, aproximadamente, 90% da área total da bacia. Em certos casos, a retirada da vegetação nativa, tanto florestal quanto cerrado, favoreceu a degradação dos solos, principalmente nas áreas mais declivosas e ou com solos rasos e com pouca agregação, como no caso dos Cambissolos. Feições geomorfológicas e pedológicas peculiares, com presença de relevos anelares, fraturados e proeminentes, associados a solos ricos em óxidos de ferro, indicaram áreas onde há ocorrência de rochas vulcânicas ou afins em subsuperfície. Para fins

de estudos mais detalhados na região do Alto Paranaíba Mineiro, foram selecionadas três topolitosseqüências, num total de onze perfis de solos, situados nos municípios de Serra do Salitre, Patrocínio e Coromandel, representando as variações na litologia máficas-ultramáficas no contato geológico entre os grupos Bambuí e Araxá. Dos perfis estudados, sete eram de Latossolos, três de Cambissolos e um de Neossolo Litólico. Realizaram-se análises físicas, químicas, mineralógicas e micromorfológicas em amostras dos solos estudados, visando-se a classificação dos solos e investigações mais detalhadas de gênese e adsorção de fósforo. Foi constatado que os Latossolos sofreram intenso intemperismo e que não possuem filiação definida com os materiais de origem subjacentes, em virtude de intensa pedoturbação e provável mistura com materiais alóctones. Os Cambissolos apresentaram filiação máfica e ultramáfica, enquanto o Neossolo Litólico, com textura mais arenosa, apresentou horizonte A chernozêmico, em virtude da riqueza em apatita do material quartzítico, proveniente do enriquecimento decorrente do magmatismo máfico/ultramáfico. Os estudos microquímicos e micromorfológicos revelaram que os Latossolos eram poligenéticos, com ocorrência comum de grãos de perowskita (CaTiO_3) como residuais, indicando uma reserva incomum em Ca associado a minerais titaníferos, até então desconhecida nos Latossolos sesquioxídicos do Alto Paranaíba. Os valores de superfície específica determinados pelo método direto BET N_2 em todos os horizontes, nas frações argila natural, argila desferrificada e com óxidos de ferro concentrados foram compatíveis com cada tratamento e com aqueles existentes na literatura. Os valores de superfície específica calculados individualmente para os minerais de argila, quando somados e comparados aos obtidos pelo método direto BET N_2 da fração argila natural, foram superestimados. No conjunto de Latossolos estudados, com texturas e filiação geológica variáveis, desde alcalino-básicas até ultrabásicas, a percentagem e área superficial dos óxidos de ferro e alumínio, respectivamente, goethita e gibbsita, tiveram participação no aumento da adsorção de fósforo. Os Latossolos estudados mostraram uma Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo comparável a dos Latossolos de outras regiões. Por outro lado, os Cambissolos apresentaram variações notáveis entre os atributos químicos, mineralógicos e comportamento de fósforo, função dos materiais de origem diferentes, tais como tufito e rochas ígneas alcalinas-ultramáficas.

ABSTRACT

ROLIM NETO, Fernando Cartaxo, D.S., Universidade Federal de Viçosa, May 2002. **Genesis, chemistry, mineralogy e micromorfology of topolithosequences of soils of the Alto Paranaíba, MG.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Committee members: Liovando Marciano da Costa and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

This research examined the distribution, origin and nature of the principle soils of the Alto Paranaiba basin, in Minas Gerais state of Brazil. Digital thematic maps were produced from IBGE charts, RADAMBRASIL maps and LANDSAT satellite images, using ESRI ArcInfo and ArcView softwares to create classes for each theme and to calculate their areas according to map legends. It was concluded that geomorphology was the primary factor controlling soil distribution in the basin. There was a high occurrence of soils with fertility problems, with the distrofixs and alics representing almost 90% of the total area of the basin. In some cases, devastation of the natural forest and savanna vegetation contributed to soil degradation, mainly in those areas with steep slopes and or with shallow and poorly aggregated soils, as the Cambisols. Particular geomorphological and pedological features showing concentric ring relief patterns, both fractured and prominent, associated with iron oxide-rich soils, indicated areas with related volcanic and undersurface rocks. More detailed studies, were conducted on three

topolitosequences in the Alto Paranaíba Mineiro basin. Eleven soil profiles situated in the Serra do Salitre, Patrocínio and Coromandel counties, representing the mafic-ultramafic lithology variations in the geological interface between Bambuí and Araxá groups, were selected. Of these profiles, seven were Latosols, three Inceptisols and one was a Litholic Neosol. Physical, chemical, mineralogical and micromorphological analysis were conducted on soil samples, to enable soil classification and detailed investigations regarding genesis and phosphorus adsorption. It was found that the Latosols were intensively weathered and didn't exhibit a clear relationship with underlying parent materials; this was attributed to pedoturbation and incorporation of alloctonous material. The Inceptisols exhibited either mafic or ultramafic origin. The sandy textured Litholic Neosol had a chernozemic A horizon, attributable to the high apatite content of the quartzite material, as a result of the mafic/ultramafic magmatism. Results of microchemical and micromorphological studies suggested that the Latosols are polygenetic with a common occurrence of residual perowskita (CaTiO_3) grains, a Ca-titanium mineral which has not previously been reported for the sequioxide-rich Latosols of the Alto Paranaíba basin. The specific surface values determined by direct method BET N_2 in all horizons, in the natural clay fraction and clay fractions, with iron oxides eliminated and concentrated, were compatible to each treatment and comparable to those reported in the literature. Specific surface values calculated for the clay minerals in the natural clay fraction, were superestimated when compared to those found by BET N_2 direct method. In the Latosol group, with varied texture and geological origin, the percentage and surface area of the iron and aluminum oxides, respectively, goethite and gibbsite, have influenced the increasing in the phosphorus adsorption. The Latosols studied have a Maximum Phosphorus Adsorption Capacity comparable to those of the Latosols from other regions. On the other hand, the Cambisols showed strong variations among chemical and mineralogical attributes, as well as phosphorus behavior, as a function of the different parent materials, such as tufite and alkaline-ultramafic igneous rocks.

INTRODUÇÃO GERAL

A região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais, além de representar um dos mais importantes divisores de água do território brasileiro, possui uma grande diversidade de rochas ígneas e vulcânicas, com variadas composições químicas, decorrentes dos últimos eventos termo-tectônicos que conduziram à separação da América do Sul e África. Constitui, assim, uma província geológica privilegiada para os estudos de pedogênese sobre materiais ígneos e vulcânicos diferentes, dentro de um contexto pedo-bioclimático relativamente homogêneo.

As geoformas, que variam desde as chapadas aplainadas, extensas superfícies de erosão, hoje soerguidas, até porções dissecadas, formam relevos colinosos, com incisão da drenagem orientada pela estrutura.

Nesse contexto geológico-geomorfológico particular, foram estudadas três topolitosseqüências de solos, compreendendo os corpos alcalino-máficos-ultramáficos de maior destaque no Alto Paranaíba: Serra Negra (Patrocínio), Coromandel e Serra do Salitre. Variações pedológicas impostas pela posição topográfica, grau de evolução do solo e litologia foram investigadas em detalhe.

A tese foi estruturada em 4 capítulos, compreendendo desde a escala macro-regional, contextualizando os solos do Alto Paranaíba em confronto à geologia, relevo, hidrografia e vegetação, até análises mais detalhadas dos mesmos. Após uma apreciação integrada dos aspectos ambientais (capítulo 1), discutiram-se os aspectos químicos, físicos e mineralógicos dos solos nas três topolitosseqüências (capítulo 2), realizando-se em seguida o estudo pormenorizado dos atributos micromorfológicos e microquímicos (capítulo 3). No último capítulo

(capítulo 4) investigou-se o processo de adsorção de fósforo nos solos estudados, dando-se ênfase aos fatores responsáveis pelo mecanismo de sorção de P nos solos.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOMORFOLÓGICAS, PEDOLÓGICAS E COBERTURA VEGETAL DO ALTO PARANAÍBA MINEIRO

1. INTRODUÇÃO

A porção superior do Rio Paranaíba representa um dos divisores de água mais importantes do Brasil, separando as cabeceiras de drenagem dos rios São Francisco, a leste, e Paraná, a oeste, com intensa apropriação agrícola e vocação agroindustrial. É, ainda, área de elevado aproveitamento hidráulico, com várias barragens para geração de energia.

Do ponto de vista geológico, abrange uma vasta área elevada onde se sucedem litologias pré-Cambrianas, ora mais rígidas (Embasamento Cristalino), ora mais dobradas (Grupos Bambuí, Canastra, Ibiá, Paracatu e Araxá), atravessadas por inúmeros corpos vulcânicos/subvulcânicos, relacionados aos eventos da separação entre África e América do Sul, a partir da reativação Juro-Cretácea. Rochas efusivas básicas ocorrem na direção do Rio Paraná, enquanto diversos afloramentos de corpos ígneos de filiação máfica-ultramáfica ou alcalina se distribuem em sua borda, atravessando rochas pré-Cambrianas (SCHAEFER, 1999).

Após o Paleozóico e terminada a deposição da Bacia Paleozóica do Paraná, a evolução geológica e geomorfológica de Minas Gerais deu-se em

condições de prolongada calma tectônica (ALMEIDA, 1983), registrada pelas fácies sedimentares em suas bacias, no final do Paleozóico. Apesar da existência, neste período, de movimentos verticais positivos e negativos, houve uma predominância do contínuo soerguimento (epirogênese).

No Mesozóico, a região do Alto Paranaíba foi palco de fenômenos geológicos de grande influência sobre a evolução geomorfológica posterior, em todo o Brasil. Durante a passagem Jurássico-Cretáceo, data do início do magmatismo Serra Geral, iniciou-se o desenvolvimento de uma estrutura positiva, denominada de “Arco do Alto Paranaíba” (LADEIRA et al., 1971). Segundo ALMEIDA (1983), existem, na região, diques de diabásio atribuídos a esse período, bem como um feixe de fraturas na direção Divinópolis (MG) a Caldas Novas (GO), com as falhas preenchidas por rochas básicas (anfíbolitos).

Margeando a Bacia do Paraná, no oeste mineiro e região adjacente de Goiás, a “Província do Alto Paranaíba” apresenta a maior parte das suas intrusões alcalinas/ultramáficas localizadas no grande feixe de falhas de direção N50W (SAADI, 1991).

As coberturas cretáceas do Alto Paranaíba, com ocorrência nos planaltos à altitude média de 1150 metros, foram submetidas às deformações tectônicas pós-cretáceas de caráter extensional ou distensivo (BARCELOS, 1979). Deformações devidas a esforços compressivos foram também registradas, como as falhas transcorrentes e reversas, bem como a coincidência dos grandes falhamentos pós-cretáceos com os lineamentos que cortam as rochas do Grupo Bambuí (BARCELLAR, 1989).

SAADI (1991) afirma que o bloco do Alto Paranaíba foi soerguido em função de uma inversão de relevo, de origem tectônica, ao longo da escarpa de falha da Serra da Saudade, e que deve ter ocorrido um basculamento deste bloco, em direção NW, em idade pós-cretácica ou mesmo pós-paleogênica.

Estudando parte da região do Alto Paranaíba, mais precisamente a Serra da Saudade e as chapadas localizadas entre Campos Altos e Carmo do Paranaíba, SAADI (1991) constatou uma relativa uniformidade topográfica desse planalto e seu basculamento de SE para NW. Na região, ocorrem chaminés alcalinas/ultrabásicas cortadas por esta superfície, e seus deslocamentos foram observados por CASSETI (1977), através de perfis morfo-estruturais,

evidenciando rejeito superior a 100 metros entre os topos do Chapadão de Ferro (Serra Negra) e da Serra do Salitre.

Segundo GUIMARÃES (1955), a região do Alto Paranaíba apresenta-se com embasamento de rochas pelíticas do pré-cambriano, inclinadas e cobertas por sedimentos fluviolacustres com ocorrências de material piroclástico. CARMO et al. (1984) propuseram um modelo de evolução da paisagem, em que as extensas chapadas seriam resultantes da sedimentação eólica e fluviolacustre de arenitos, com matriz argilosa do Bauru, sobre as rochas metapelíticas do Bambuí. Em condições de clima úmido, ocorreram a dissecação e o encaixe da drenagem, favorecendo o processo de intemperização-lixiviação. Em seguida, e concomitantemente com a sedimentação Bauru, os materiais piroclásticos resultantes de atividades vulcânicas preencheram a paisagem dissecada, originando assim os tufos vulcânicos, que impediram a drenagem e favoreceram um ambiente deposicional lacustre, com sedimentos finos sobre os tufos. Com nova dissecação, ocorreu o restabelecimento da drenagem, da qual fazem parte atualmente as bacias dos rios São Francisco e Paranaíba.

Com relação à ocorrência de solos, CARMO et al. (1984) afirmam que o Latossolo Vermelho Escuro distrófico (LEd) e o Latossolo Variação Una distrófico (LUd) são comuns nos chapadões, em litologia de rochas pelíticas, enquanto o Latossolo Roxo distrófico (LRd), desenvolvido de tufito e, em menor proporção, o Cambissolo distrófico (Cd), originado de rochas pelíticas do Grupo Bambuí, têm incidência nas áreas com relevo ondulado a forte ondulado, não se adequando aos cultivos anuais e com potencial somente para a pecuária. Em função do desmatamento e manejo inadequado dos solos, há erosão acelerada, com formação intensa de sulcos e voçorocas nos LRd e nos solos pouco desenvolvidos

O presente capítulo objetivou fornecer um diagnóstico sobre as condições geopedológicas da bacia hidrográfica do Alto Paranaíba Mineiro, com base nos estudos das relações existentes entre a geologia, geomorfologia, solos e vegetação da mesma. Especificamente, buscou-se situar o contexto ambiental amplo de ocorrência de corpos vulcânicos e subvulcânicos, de natureza desde alcalina até ultrabásica, na região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais. Nos capítulos posteriores serão detalhados os estudos de topolitosseqüências de solos na região.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área objeto de estudo (Figuras 1 e 2) compreende a porção superior da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, exceto sua porção norte do estado de Goiás, desde sua nascente, no município de Rio Paranaíba – MG, até a barragem de Emborcação, sendo por isso denominada, neste trabalho, Bacia do Alto Paranaíba Mineiro (BAPM).

Os trabalhos foram realizados no laboratório de Geomática da UFV, utilizando-se o banco de dados produzido pelo Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba, convênio FUNARBE/Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – Rural Minas (MUNIZ e RAMOS, 1999).

Foram confeccionados 7 mapas com os temas base cartográfica, rede hidrográfica, geologia, geomorfologia, solos, aptidão agrícola e cobertura vegetal, na escala 1:750.000, utilizando-se como material básico cartas do IBGE, mapas do RADAMBRASIL e imagens orbitais LANDSAT – TM, todos em escala 1:100.000.

Para o mapa de vegetação foram extraídos padrões das imagens de satélite, enquanto para os demais temas foram digitalizados os mapas do RADAMBRASIL. As cartas do IBGE serviram como base cartográfica para as correções geométricas das imagens de satélite e ajustes de coordenadas ou georeferenciamento dos mapas temáticos.

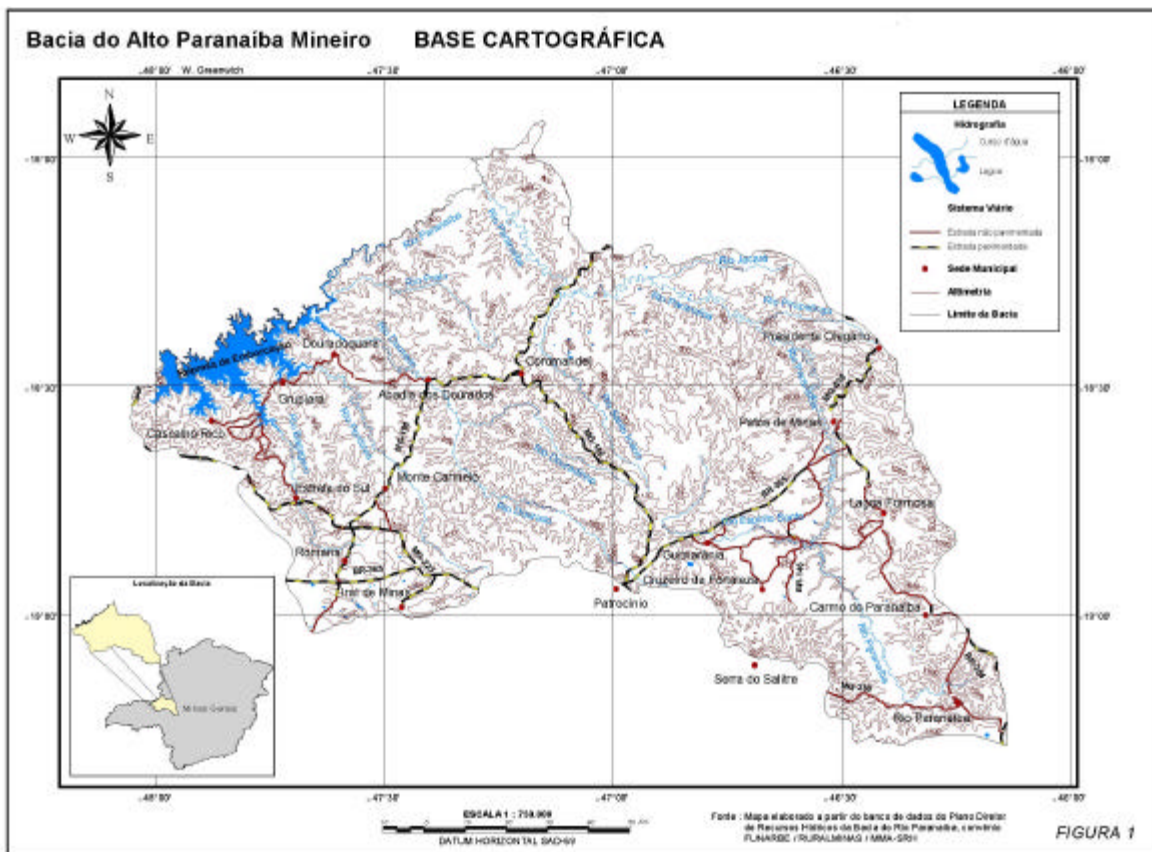


Figura 1 Mapa base cartográfica

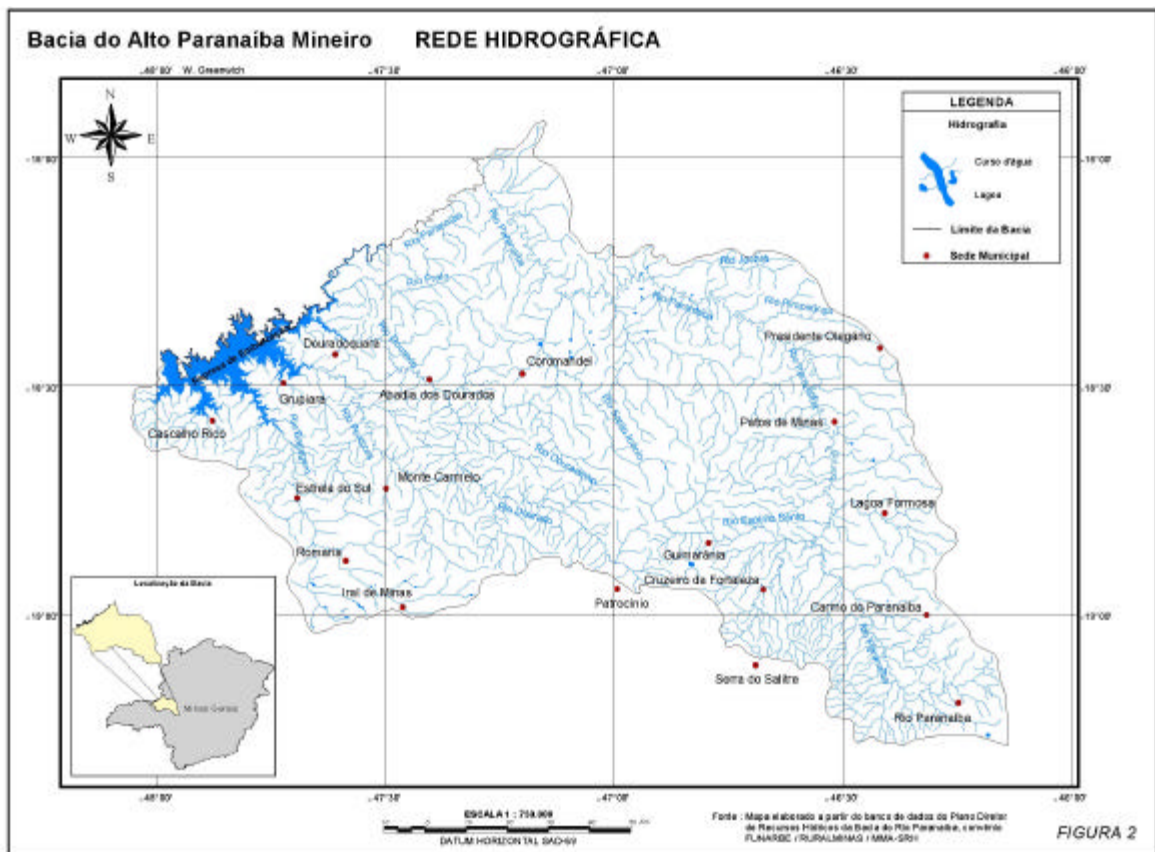


Figura 2 – Mapa de drenagem

Na produção dos dados digitais e formação do banco de dados foi utilizado o programa ArcInfo, versão 7.12, e, para a confecção dos layouts de impressão utilizou-se o programa Arc View, versão 3.2, ambos desenvolvidos pelo ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). Para cada tema ou atributo, foram estabelecidas classes e, em alguns casos, subclasses, sendo calculadas suas áreas de acordo com a legenda constante nos mapas.

Na etapa de digitalização foi utilizada uma mesa digitalizadora da marca GTCO Corporation, modelo AccuTab – tamanho A1 e na produção dos mapas foi utilizado um plotter da marca Hewlett Packard, modelo Design Jet 2000 CP, tamanho A0. Todos os mapas foram confeccionados em papel no formato A3.

Finalmente, procedeu-se à interpretação dos temas abordados, observando-se suas interrelações, a fim de se obter um diagnóstico ambiental da região em estudo, em caráter integrado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Base cartográfica e drenagem

De acordo com a hipsometria (Figura 1), a maior diferença de nível entre os pontos mais alto e mais baixo da BAPM é de 600 metros, sendo a maior e menor altitudes representadas, respectivamente, pelas curvas de nível 700 e 1200. A elevada altitude média na região é explicável por constituir-se no divisor de rios permanentes que formam as bacias dos rios São Francisco e Paranaíba.

Em geral, a drenagem da BAPM apresenta um padrão dendrítico com certo controle estrutural SE/NW, assumindo o tipo anelar em torno da Serra Negra, próximo aos municípios de Patrocínio e Guimarães (Figuras 2 e 3). O Rio Paranaíba é o tronco de drenagem principal, com fluxo no sentido SE/NW desde a sua nascente, no município de Rio Paranaíba, até a altura do município de Presidente Olegário, quando então assume o sentido leste – oeste, até a junção do Rio Santo Inácio, retornando ao controle SE/NW e, finalmente, SW/NE. Seus principais afluentes, da nascente até a represa de Emborcação, são os rios Espírito Santo, Pirapetinga, Jacaré, Santo Inácio, Preto, Dourado, Perdizes e Bagagem.

Os corpos d'água e drenagens na BAPM ocupam uma superfície de 31.218,6 hectares, compreendendo 2,09% da área total (Quadros 1 a 5). São constituídos por rios e riachos, a represa de Emborcação e lagos e lagoas, estes últimos situados principalmente próximos aos municípios de Iraí de Minas e Coromandel. Vale destacar a existência da lagoa situada no domo da Serra Negra

(Figura 4), corpo estrutural de grande interesse, com ocorrência de fontes de águas minerais magnesianas e sulfurosas (CASSETI, 1977).

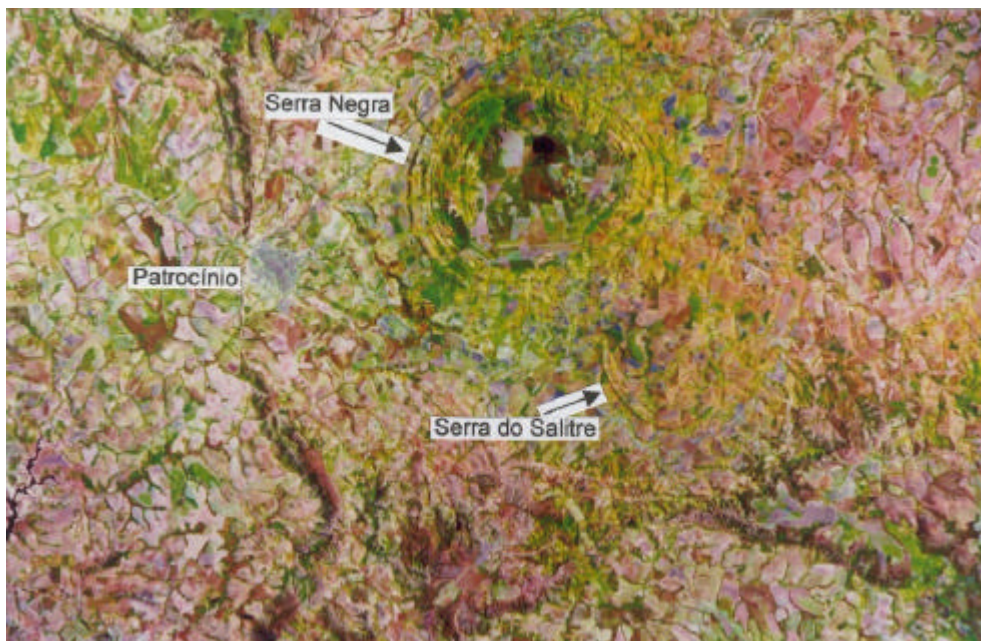


Figura 3 – Corpos circulares da Serra Negra (maior) e Serra do Salitre (menor) com rochas ultrabásicas (dunitos) intensamente alterados, com estruturas de colapso na parte interna.



Figura 4 - Vista da lagoa situada no centro do domo da Serra Negra em Patrocínio – MG, embasada por rochas alcalinas-ultramáficas, com cultura de café sobre o Latossolo Vermelho Amarelo em terço médio de encosta superior.

Quadro 1 – Classes de feições geomorfológicas da Bacia do Alto Paranaíba Mineiro

Classes	Ocorrências	Área (ha)	% do total
Avp	1	2.038,0	0,14
Db1	35	323.962,9	21,72
Dm1	16	206.597,6	13,85
Da1	64	378.043,4	25,35
Da2	1	46.865,8	3,14
Sat	58	502.842,7	33,71
Corpos d'água	44	31.218,6	2,09

Avp: várzeas, veredas e planícies inundáveis; Db1: dissecação estrutural, densidade de drenagem baixa; Dm1: dissecação estrutural, densidade de drenagem média; Da1: dissecação estrutural, densidade de drenagem alta; Da2: dissecação homogênea, densidade de drenagem alta; Sat: superfície de aplainamento tabular

3.2. Geologia, geomorfologia e solos

A geologia da área em estudo está representada por litologias pré-cambrianas, sendo composta basicamente pelo embasamento cristalino e pelos grupos Bambuí, Canastra e Araxá. Ocorrem, em menores proporções, os tufos vulcânicos da Formação Mata da Corda (Mesozóico) e coberturas detrito lateríticas (Cenozóico) - (Figura 5).

Os tipos de modelados identificados na BAPM (Figura 6) são basicamente: (a) formas de dissecação, controladas ou não pela estrutura, com diferentes densidades de drenagem (baixa, média e alta); (b) formas de aplainamento, caracterizadas como superfícies de aplainamentos tabulares e (c) formas de agradação ou acumulação, identificadas em conjunto como várzeas, veredas e planícies inundáveis.

De forma geral, os divisores das bacias do Alto Paranaíba e do São Francisco estão alinhados na direção NW/SE e N/S, acompanhando a zona de empurrões da faixa Brasília sobre o Bambuí, com transporte de W para E, reativadas no Cenozóico (SCHAEFER, 1999).

Ao longo dos divisores, ocorrem chapadas preservadas, mapeadas como Sat (Superfícies de aplainamento tabulares), com maior distribuição entre os municípios de Presidente Olegário e Patos de Minas e entre Carmo do Paranaíba e Rio Paranaíba. Na parte norte (Presidente Olegário e Patos de Minas) há uma boa correspondência entre as Sat e a ocorrência de LEd, enquanto, na parte sul, entre Carmo do Paranaíba e Rio Paranaíba, as chapadas divisoras estão associadas com LUd (Figuras 6 e 7, respectivamente). Essa diferença na cor dos

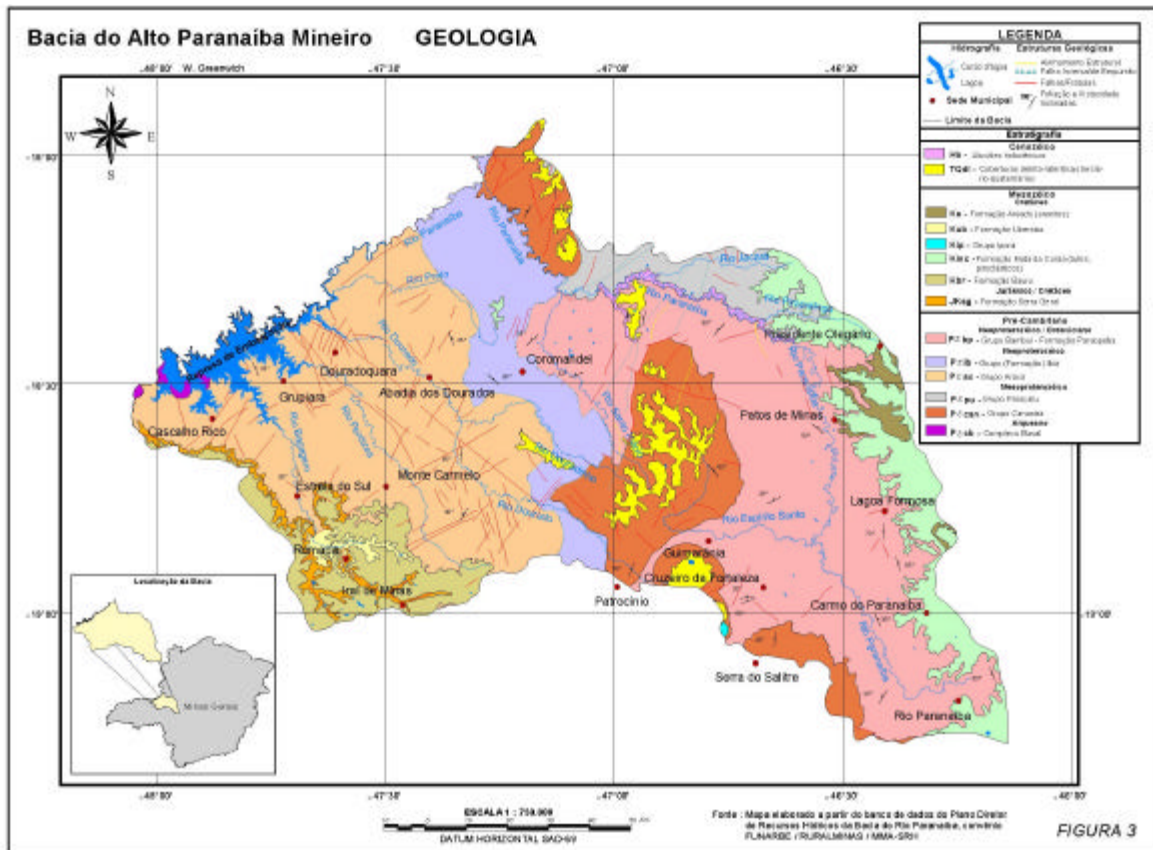


Figura 5 – Mapa de geologia

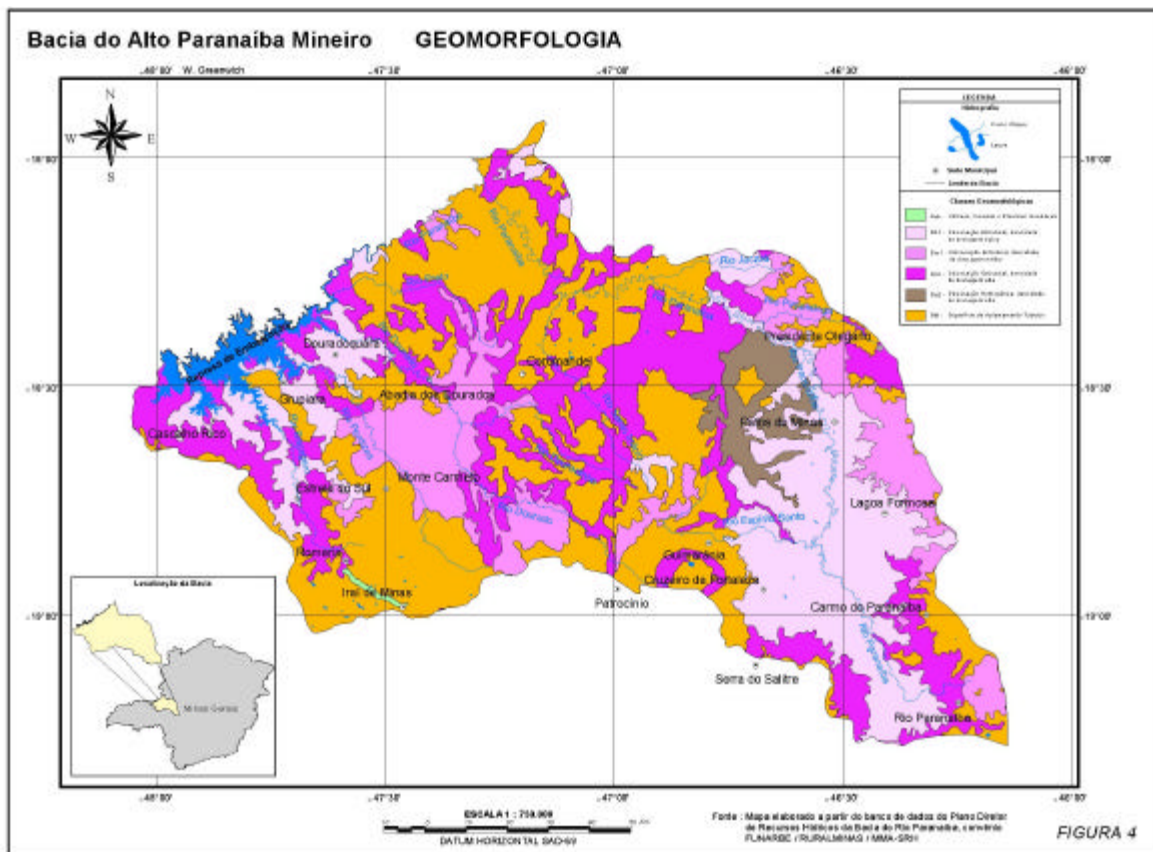


Figura 6 – Mapa de geomorfologia

solos, LE e LU, é atribuída a um regime údico, em condições mesotérmicas mais úmidas, na parte sul, com inibição à gênese de hematita, enquanto, na parte norte, com ligeiro aumento do déficit hídrico e altitudes um pouco menores, ocorrem solos mais vermelhos, associados aos tufo vulcânicos da Formação Mata da Corda ou a sedimentos argilosos cenozóicos (Figuras 5 e 8).

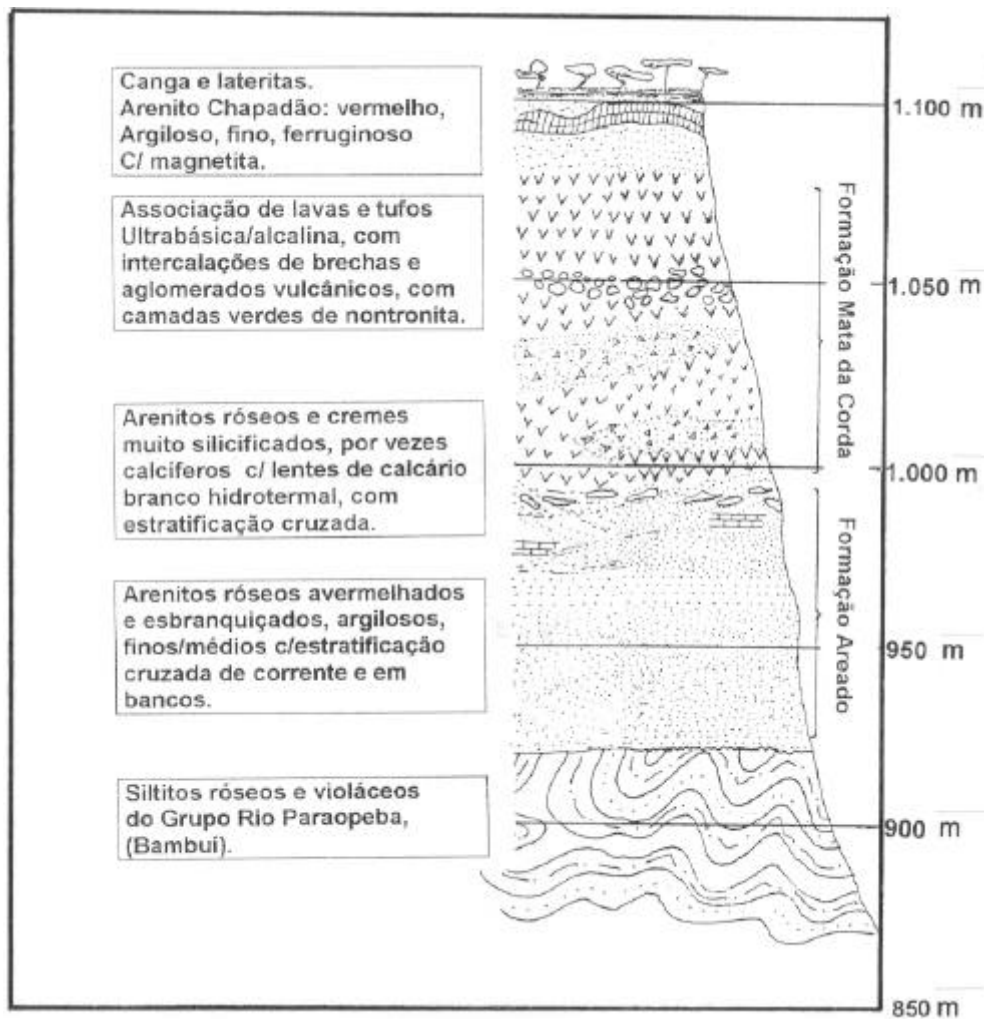


Figura 8 – Rebordo erosivo das chapadas divisoras São Francisco- Paranaíba, na altura de Presidente Olegário, e seqüência estratigráfica.

Conforme os mapas geomorfológico e de solos (Figuras 6 e 7, respectivamente), na faixa divisora leste, entre Patos de Minas e Lagoa Formosa, as chapadas se encontram menos preservadas, com domínio de modelados de dissecação estrutural com poucos remanescentes tabulares preservados (Figura 6). As áreas de dissecação são fortemente associadas ao LRd, nas partes mais elevadas, gradando para LEa e Cambissolos, nas partes mais baixas. Os LRd são intimamente relacionados aos tufos da Formação Mata da Corda, enquanto os LEa e Cambissolos são derivados da decomposição dos saprolitos do Grupo Bambuí (Grupo Paraopeba), não separados no mapa geológico (Figura 5), por limitação de escala.

A maior dissecação dos LRd ilustra uma erodibilidade muito elevada destes solos derivados dos tufos da Formação Mata da Corda e sua instabilidade nas condições atuais de clima e relevo. Como o soerguimento do Alto Paranaíba é relativamente recente, o processo erosivo instalado ainda não foi suficiente para evadir as coberturas tufáceas da Formação Mata da Corda, relativamente preservadas pela extensa latossolização que sofreram, em que a intensa morfogênese atual denota o soerguimento recente, com Latossolos sesquioxídicos em sulcos ondulados a forte ondulados. (Figuras 9 e 10).

O Alto Rio Paranaíba, a montante do gargalo que forma seu afluente Pirapetinga, abre um vasto anfiteatro dissecado, com relevo colinoso, e cotas balizadas em torno dos 1000 metros nos topos, e mudança na direção, paralela ao divisor Rio Paranaíba e Rio São Francisco. Esse amplo planalto embutido está instalado principalmente sobre rochas metapelíticas aluminosas da Formação Paraopeba do Grupo Bambuí (Figura 5), com LEd ou Ca, nas partes mais dissecadas (Figuras 6 e 7). Corresponde a uma vasta superfície de erosão, dissecada em conformidade ao padrão estrutural do Grupo Bambuí. Já os divisores com a Bacia do Quebra Anzol, ao sul, são marcados por cristas estruturalmente orientadas, com predomínio de Ca, intimamente associados às rochas metapelíticas e quartzíticas do Grupo Canastra. A oeste, esses divisores formam extensas chapadas preservadas (Sat), com LV ou LE, desenvolvidos de sedimentos TQ ou rochas xistosas do Grupo Araxá (Figuras 5, 6 e 7).

No trecho da BAPM que verte para a barragem de Emborcação, têm-se sub-bacias que evoluíram sua dissecação com forte controle geotectônico, com densidades de drenagem variáveis (Figura 2). O Rio Bagagem desce de Romaria



Figura 9 - Paisagem da estrada entre Patos de Minas e Coramandel, com residuais tabulares da Formação Mata da Corda formando chapadas em processos de desmonte, exumando a superfície pré-cretácea do Grupo Bambuí, com colinas convexas intensamente ravinadas.



Figura 10 - Rebordo dissecado com Latossolo Vermelho sobre o tufito nas chapadas divisoras do Alto Paranaíba/São Francisco, na estrada de Patos de Minas a Carmo de Paranaíba. Ao fundo, afloram metapelíticas aluminosas do Grupo Bambuí, e Cambissolos álicos.

com alinhamento SE/NW, atravessando área predominantemente de PVe (Figura 7), relacionado a litotipos mais ricos do Grupo Araxá (Figura 5). Nas bacias dos rios Perdizes e Dourado a dissecação expõe substratos de grau metamórfico maior, de caráter mais félsico, onde dominam Ca e Cd, altamente susceptíveis à erosão (Figura 7). Nessa área, são muito comuns voçorocas, especialmente na bacia do Rio Dourados, entre Monte Carmelo, Abadia dos Dourados e Douradoquara.

O Rio Paranaíba, a jusante do gargalo do Rio Pirapetinga, volta a atravessar uma área de chapadas tabulares (Figura 6), associadas a Latossolos (Figura 7), ao longo do contato litológico entre os grupos Paracatu e Canastra, ao norte, e os grupos Paraopeba e Ibiá, ao sul, sob evidente controle geotectônico.

As estruturas circulares em Serra Negra e Serra do Salitre (Figura 3), nos municípios de Patrocínio e Serra do Salitre, respectivamente, são responsáveis pela dissecação da drenagem em padrão anelar, com topos aplainados, onde se acumularam espessos colúvios latossolizados sobre rochas vulcânicas ou hipoabissais de natureza alcalina até ultramáfica.

Formas de acumulação esparsas ocorrem ao longo dos rios maiores ou em condições de afundamento locais, como entre Romaria e Iraí de Minas (Figura 6), onde houve intenso hidromorfismo, com formação de solos gleizados ou plínticos.

Os Cambissolos eutróficos existem em estreita associação às rochas subvulcânicas e vulcânicas máficas/ultramáficas (tufitos/dunitos), enquanto os xistos e metapelíticas sempre se associam a Cambissolos álicos ou distróficos.

As classes de modelado com relevo mais favorável à mecanização, como Sat (33,7%) e Db1 (21,7%), somam aproximadamente 55,4% da área total (Quadro 1), ilustrando o potencial agrícola da região estudada, sob o ponto de vista da mecanização agrícola e menor susceptibilidade à erosão.

Da mesma forma, os cerca de 49% da área total com Latossolos (Quadro 2) reforçam a evidência geomorfológica da característica favorável à mecanização, em quase metade da área da BAPM. Considerando que a agricultura de sequeiro cobre uma área de aproximadamente 25% (Quadro 4), tem-se um potencial de duplicação deste tipo de exploração, se consideradas apenas as áreas de relevo mais favorável. Grande parte desses quase 25% não explorados com agricultura são utilizados atualmente com pastagens extensivas e, secundariamente, com reflorestamento.

Quadro 2 – Classes de solos predominantes no Alto Paranaíba Mineiro

Classes	Ocorrências	Área (ha)	% do total
Ca	18	298.857,6	20,04
Cd	19	175.101,3	11,74
Ce	11	40.999,2	2,75
HGPd	3	5.165,3	0,35
LEa	7	991,1	0,07
LEd	77	542.425,4	36,37
LRd	12	86.944,1	5,83
LUd	9	56.870,6	3,81
LVd	3	37.347,4	2,50
PVd	3	96.885,5	6,50
PVe	11	85.094,9	5,71
Ra	1	7.979,5	0,53
Rd	4	25.594,5	1,72
TRe	3	93,5	0,01
Corpos d'água	44	31.218,6	2,09

3.3. Uso da terra e cobertura vegetal

Sob o ponto de vista da fertilidade natural, constata-se o predomínio de solos distróficos (Figura 7 e Quadro 2), os quais compõem 68,82% da área da BAPM, sendo as maiores proporções de LEd e Cd, com percentuais de 36,37% e 11,74%, respectivamente.

Os solos com caráter álico totalizam 20,64% da bacia (Figura 7 e Quadro 2), dos quais a participação do Ca é quase 100%, em que o Ca5 (vide Anexo) ocupa visivelmente a maior área, com participação de 13,44% do total (Figura 7 e Quadro 3). Por outro lado, os solos com caráter eutrófico somam apenas 8,47% da área total, com o PVe1 (vide Anexo) ocupando a maior área, com participação em 5,71% da área total (Quadros 2 e 3).

A cobertura vegetal nativa na BAPM encontra-se com remanescentes de mata cobrindo apenas 3,42% da área, ao mesmo tempo em que as formações savânicas, compostas por cerrado e cerradão, campo cerrado e campos, somam 19,11% do total (Quadro 4).

As áreas agrícolas de sequeiro, cobrindo 24,7% da área (Quadro 4), predominam em 3 zonas preferenciais: (1) no eixo entre Iraí de Minas e Monte Carmelo, associadas a Latossolos em relevo tabular (Sat); (2) no eixo Patrocínio

Quadro 3 – Unidades de mapeamento dos solos do Alto Paranaíba Mineiro

Unidades	Ocorrências	Área (ha)	% do total
Ca1	5	8.868,2	0,59
Ca10	3	19.905,4	1,33
Ca12	1	2.911,9	0,20
Ca13	1	8.922,5	0,60
Ca17	1	2.578,6	0,17
Ca27	2	11.749,8	0,79
Ca28	1	1.959,8	0,13
Ca4	1	35.462,1	2,38
Ca5	6	200.392,1	13,44
Ca9	2	6.107,4	0,41
Cd1	3	87.342,0	5,86
Cd2	10	24.890,0	1,67
Cd3	11	62.869,3	4,22
Ce1	2	4.938,6	0,33
Ce3	4	17.811,7	1,19
Ce4	1	392,6	0,03
Ce5	2	10.960,8	0,73
Ce6	3	6.895,6	0,46
HGPd1	3	5.165,3	0,35
LEa1	7	991,1	0,07
LEd1	7	43.917,4	2,94
LEd10	12	2.708,5	0,18
LEd18	16	68.100,5	4,57
LEd2	4	2.160,7	0,14
LEd3	13	23.438,8	1,57
LEd4	8	71.071,6	4,76
LEd5	12	202.632,5	13,59
LEd6	5	28.561,3	1,91
LEd7	1	17.549,9	1,18
LEd8	5	73.023,8	4,90
LEd9	4	9.260,2	0,62
LRd5	1	5.357,1	0,36
LRd6	2	13.435,6	0,90
LRd7	9	58.116,7	3,90
LRd8	1	10.034,6	0,67
LUd1	9	56.870,6	3,81
LVd2	2	32.854,6	2,20
LVd6	1	4.492,8	0,30
PVd5	3	96.885,5	6,50
PVe1	11	85.094,9	5,71
Ra2	1	7.979,5	0,53
Rd10	4	25.594,5	1,72
TRe6	3	93,5	0,01
Corpos água	44	31.218,6	2,09

– Coromandel, nas partes de relevo mais aplainado; e (3) no eixo Rio Paranaíba – Carmo do Paranaíba – Patos de Minas – Presidente Olegário, geralmente relacionadas à ocorrência de Latossolos, em superfícies mais conservadas, ou em relevo fracamente dissecado, com densidade de drenagem baixa, formando colinas suaves de pendentes longas.

Quadro 4 - Cobertura vegetal do Alto Paranaíba Mineiro

Classes de vegetação	Ocorrências	Área (ha)	% do total
Pastagem	183	657.112,3	44,06
Reflorestamento	46	11.986,1	0,80
Mata	1151	51.039,5	3,42
Cerrado e cerradão	533	71.940,5	4,82
Campo cerrado e campo	77	213.135,5	14,29
Agricultura de sequeiro	410	368.963,7	24,74
Agricultura irrigada	75	5.816,5	0,39
Áreas degradadas	194	74.047,1	4,96
Corpos d'água	44	31.228,1	2,09

As áreas mais dissecadas, com maior densidade de drenagem e solos menos desenvolvidos, estão associadas a pastagens extensivas, que somam 44% da área total estudada (Quadro 4). As manchas de Ca, entre Abadia dos Dourados e Douradoquara, associam-se às manchas de áreas degradadas, em que as formas de erosão de grande amplitude, como voçorocas, se fazem presentes (Figuras 7 e 11, respectivamente). A zona mediana da BAPM, entre a junção do Rio Pirapetinga e Rio Jacaré, é outra zona de grande instabilidade, associada também aos Cambissolos álicos, com fraca cobertura vegetal nativa e pastagens extensivas (Figuras 11 e 7, respectivamente). Essas áreas degradadas somadas, alcançam quase 5% da área mapeada (Quadro 4).

As áreas florestadas (Quadro 4) são predominantemente encontradas nas porções mais dissecadas e declivosas, notadamente nas bordas dissecadas dos divisores Paranaíba – Quebra Anzol, e estão associadas a Cambissolos e Podzólicos (Argissolos). Sua preservação deve-se à topografia inadequada para atividades agrícolas de maior intensidade, ou ao processo de recuperação da mata secundária, com o abandono de pastagens extremamente degradadas.

Áreas de agricultura irrigada, na forma de pivô central, estão presentes nas áreas de superfícies tabulares mais elevadas, como no caso das chapadas de Presidente Olegário, Iraí de Minas, Guimarães e Rio Paranaíba (Figuras 11 e 6, respectivamente).

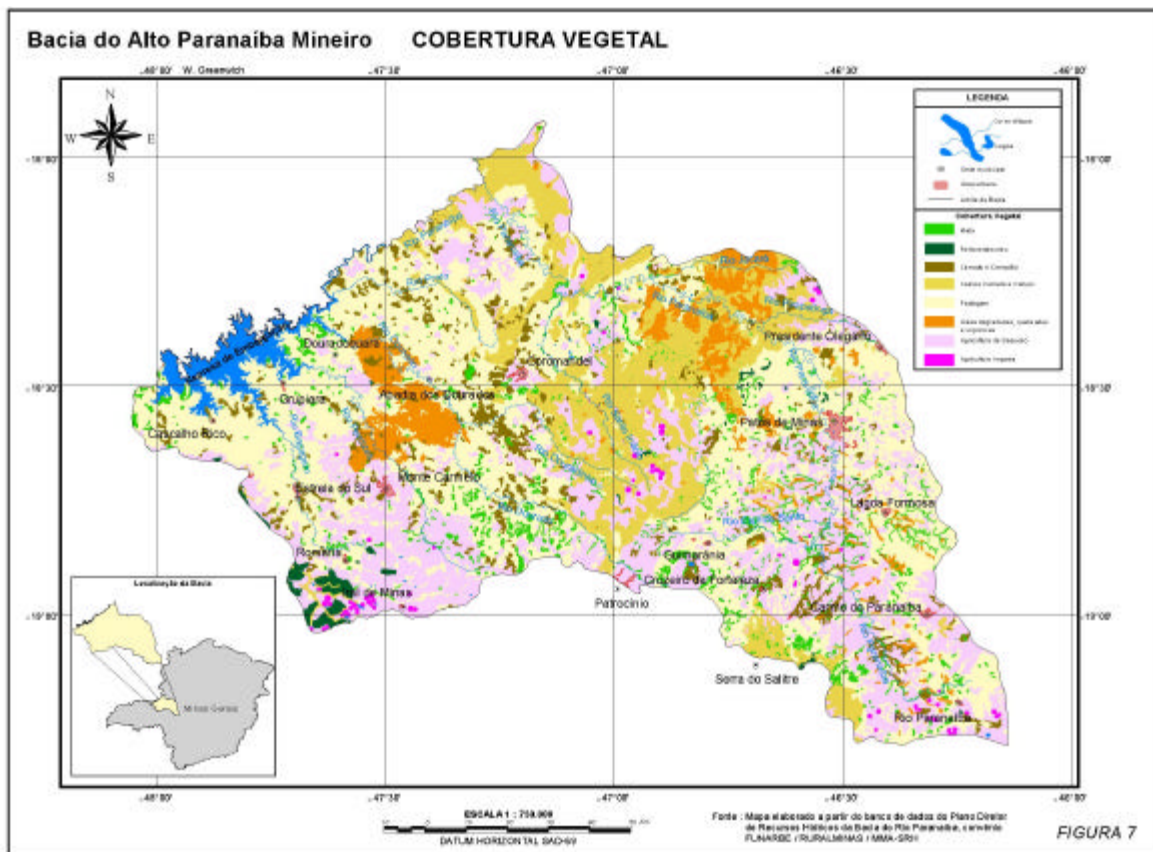


Figura 11 – Uso e cobertura vegetal

As formações savânicas interpenetram as áreas agrícolas nas zonas mais dissecadas. As áreas mais aplainadas, mapeadas como Sat (Figura 6) foram praticamente convertidas em áreas agrícolas, sem preservação de enclaves significativos de cerrados e formações associadas, que formavam a cobertura original.

Reflorestamentos com pinus e eucalipto são verificados apenas na parte sudoeste da BAPM (Figura 11), entre Romaria e Uberaba, esta última já fora da área de estudo.

As matas ciliares das drenagens mais importantes, e mesmo das drenagens menores, foram praticamente removidas em sua totalidade. Alguma preservação se faz presente às margens da barragem de Emborcação e no Rio Espírito Santo (Figura 11).

4. CONCLUSÕES

A paisagem da BAPM mostra a estreita influência da geomorfologia na distribuição dos solos. A proporção elevada de superfícies tabulares com solos profundos, obliteraram a influência do material de origem e a presença de corpos vulcânicos ou rochas efusivas, muitas vezes de difícil constatação nas chapadas e residuais tabulares.

De acordo com os percentuais observados, sem considerar as condições de relevo, profundidade efetiva, susceptibilidade à erosão, entre outros, pode-se observar que há uma elevada ocorrência de solos com problemas ligados à fertilidade, com a soma de solos distróficos e álicos totalizando 89,46% da BAPM.

Apesar de ocorrerem solos em superfícies tabulares em quase metade da área e com características físicas apropriadas à exploração agrícola, a baixa fertilidade natural exige investimentos para que seja atingido o potencial agrícola dos mesmos.

A vegetação nativa, tanto florestal quanto cerrado, foi eliminada em parte da BAPM, favorecendo a degradação dos solos, principalmente naquelas áreas mais declivosas e ou com solos rasos e com pouca agregação, como os Cambissolos. Estes solos, quando álicos e relacionados às rochas mais félsicas do substrato geológico, apresentam intenso voçorocamento natural, acelerado pela degradação das pastagens.

Feições geomorfológicas e pedológicas peculiares, com presença de relevos anelares, fraturados e proeminentes, associados a solos ricos em Fe_2O_3 ,

permitem uma seleção das áreas onde há ocorrência de rochas vulcânicas ou afins em subsuperfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. Relações tectônicas das rochas alcalinas Mesozóicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. **Rev. Bras. Geoc.**, 13(3):139-158, 1983.
- BARCELAR, L.de A.P. **Geologia estrutural do Supergrupo São Francisco ao longo da Seção Regional Coromandel – Três Marias – Conselheiro Mata, MG.** Ouro Preto, UFOP, 1989. 133p. (Tese de Mestrado).
- BARCELOS, J.H. **Arenitos cretácicos do Alto Paranaíba (MG): proveniência e ambiente de sedimentação.** São Paulo, USP, 1979. 181p. (Tese de Doutorado).
- CARMO, D.N., CURI, N., RESENDE, M. Caracterização e gênese de Latossolos da Região do Alto Paranaíba -MG. **R. Bras. Ci. Solo**, 8:235-240, 1984.
- CASSETI, V. **Estrutura e gênese da compartimentação da paisagem de Serra Negra – MG.** São Paulo, USP, 1977. 122p. (Tese de Mestrado).
- GUIMARÃES, D. **Contribuição ao estudo dos tufos vulcânicos da Mata da Corda.** Belo Horizonte: Instituto Técnico Industrial, 1955. 27p. (Boletim, 18)
- LADEIRA, E.A., BRAUN, O.P.G., CARDOSO, R.N., HASUI, Y. O cretáceo em Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25. São Paulo, 1971. **Anais...**São Paulo: SBG. V.1, 1971. p.15-31.
- MUNIZ, J.N., RAMOS, M.M. (Coord). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba.** 1999.Convênio FUNARBE/Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – Rural Minas. (no prelo).
- SAADI, A. **Ensaio sobre a Morfotectônica de Minas Gerais.** Belo Horizonte, UFMG, 1991. 160p. (Tese – Professor Titular).

SCHAEFER, C.E.G.R. Relatório final: geomorfologia. In: MUNIZ, J.N., RAMOS, M.M. (Coord). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba**. 1999. Convênio FUNARBE/Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – Rural Minas.

ANEXOS

LEGENDA DE IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS

LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ÁLICO

- LEa1 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO textura argilosa ou muito argilosa relevo suave ondulado e plano + CAMBISSOLO Tb textura média cascalhenta ou não cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou não cascalhenta fase pedregosa ou não pedregosa relevo ondulado, ambos ÁLICOS A moderado.

LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO

- LEd1 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO ou ÁLICO textura muito argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO textura muito argilosa ou argilosa, ambos A moderado relevo plano e suave ondulado.
- LEd2 LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa relevo plano e suave ondulado.
- LEd3 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO + LATOSSOLO VARIAÇÃO UNA, ambos DISTRÓFICOS A moderado textura muito argilosa relevo plano e suave ondulado.
- LEd4 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO + LATOSSOLO VARIAÇÃO UNA, todos DISTRÓFICOS A moderado textura muito argilosa ou argilosa relevo plano e suave ondulado.
- LEd5 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO textura muito argilosa ou argilosa relevo plano e suave ondulado + CAMBISSOLO ÁLICO Tb textura argilosa relevo ondulado, ambos A moderado.
- LEd6 LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa ou argilosa relevo suave ondulado e plano.
- LEd7 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO textura muito argilosa ou argilosa relevo suave ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO ÁLICO Tb textura muito argilosa relevo ondulado, ambos A moderado.
- LEd8 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO textura muito argilosa ou argilosa relevo suave ondulado + CAMBISSOLO ÁLICO Tb textura argilosa cascalhenta ou não cascalhenta fase pedregosa ou não pedregosa relevo ondulado, ambos A moderado.
- LEd9 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO + LATOSSOLO ROXO, ambos DISTRÓFICOS A moderado textura argilosa ou muito argilosa relevo plano e suave ondulado.
- LEd10 LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa relevo plano e suave ondulado.

LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO

- LRd5 Associação de LATOSSOLO ROXO relevo plano e suave ondulado + LATOSSOLO VARIAÇÃO UNA relevo suave ondulado e plano + LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO relevo plano e suave ondulado, todos DISTRÓFICOS A moderado textura muito argilosa ou argilosa.
- LRd6 LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa ou argilosa relevo suave ondulado e ondulado.
- LRd7 Associação de LATOSSOLO ROXO textura argilosa ou muito argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO textura argilosa, ambos DISTRÓFICOS A moderado relevo suave ondulado e plano.
- LRd8 Associação de LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO textura argilosa ou muito argilosa relevo suave ondulado e ondulado + CAMBISSOLO EUTRÓFICO ou DISTRÓFICO Tb

textura argilosa relevo ondulado, ambos A moderado.

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO

- LVa1 LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO A moderado textura média ou argilosa relevo plano e suave ondulado.
- LVa2 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO ou DISTRÓFICO textura média relevo plano e suave ondulado + CAMBISSOLO ÁLICO Tb textura argilosa cascalhenta relevo suave ondulado e ondulado, ambos A moderado.

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO

- LVd2 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO + LATOSSOLO VARIAÇÃO UNA, ambos DISTRÓFICOS ou ÁLICOS A moderado textura muito argilosa relevo plano e suave ondulado.
- LVd6 Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO + LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO + LATOSSOLO VARIAÇÃO UNA, todos DISTRÓFICOS A moderado textura muito argilosa relevo plano e suave ondulado.

LATOSSOLO VARIAÇÃO UNA DISTRÓFICO

- LUd1 Associação de LATOSSOLO VARIAÇÃO UNA + LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO, ambos DISTRÓFICOS A moderado textura muito argilosa relevo plano e suave ondulado.

LATOSSOLO PETROPLÍNTICO DISTRÓFICO

- LPd Associação de LATOSSOLO PETROPLÍNTICO textura argilosa cascalhenta ou argilosa cascalhenta/muito argilosa cascalhenta fase pedregosa ou endopedregosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO textura muito argilosa ou argilosa, ambos DISTRÓFICOS A moderado relevo plano e suave ondulado.

TERRA ROXA ESTRUTURADA EUTRÓFICA

- TRe6 Associação de TERRA ROXA ESTRUTURADA textura argilosa + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO Tb textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa, ambos EUTRÓFICOS A moderado relevo ondulado e forte ondulado.

PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO

- PVd5 Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura média/argilosa ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta relevo ondulado + CAMBISSOLO textura média cascalhenta fase pedregosa relevo ondulado e forte ondulado, ambos DISTRÓFICOS A moderado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO A chernozêmico ou A moderado textura média/argilosa relevo suave ondulado e ondulado, todos Tb.

PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO

- PVe1 Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase não pedregosa ou pedregosa + CAMBISSOLO textura média cascalhenta fase pedregosa, ambos EUTRÓFICOS ou DISTRÓFICOS relevo ondulado e forte ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO textura média/argilosa relevo suave ondulado e ondulado, todos Tb A moderado.

CAMBISSOLO ÁLICO

- Ca1 CAMBISSOLO ÁLICO Tb A moderado textura argilosa ou muito argilosa relevo ondulado e forte ondulado.
- Ca4 Associação de CAMBISSOLO Tb + SOLOS LITÓLICOS, ambos ÁLICOS A moderado textura argilosa relevo forte ondulado e ondulado.

- Ca5 Associação de CAMBISSOLO textura argilosa ou média + CAMBISSOLO textura argilosa cascalhenta fase pedregosa, ambos ÁLICOS Tb A moderado relevo ondulado e forte ondulado.
- Ca9 Associação de CAMBISSOLO Tb + SOLOS LITÓLICOS, ambos ÁLICOS A moderado textura argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo forte ondulado e ondulado.
- Ca10 Associação de CAMBISSOLO Tb + SOLOS LITÓLICOS, ambos ÁLICOS A moderado textura argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo forte ondulado e montanhoso.
- Ca12 Associação de CAMBISSOLO Tb relevo ondulado + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO relevo suave ondulado + SOLOS LITÓLICOS relevo ondulado e forte ondulado, todos ÁLICOS A moderado textura média.
- Ca13 Associação de CAMBISSOLO textura média fase pedregosa ou não pedregosa + CAMBISSOLO textura argilosa, ambos ÁLICOS Tb relevo ondulado e forte ondulado + LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO textura muito argilosa ou argilosa relevo plano e suave ondulado, todos A moderado.
- Ca17 Associação de CAMBISSOLO Tb relevo ondulado e forte ondulado + SOLOS LITÓLICOS relevo forte ondulado, ambos textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta fase pedregosa + LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO textura argilosa ou muito argilosa relevo suave ondulado, todos ÁLICOS A moderado.
- Ca27 Associação de CAMBISSOLO ÁLICO latossólico textura média + LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO câmbico textura argilosa, ambos A moderado relevo suave ondulado e ondulado.
- Ca28 Associação de CAMBISSOLO ÁLICO Tb textura muito argilosa ou argilosa relevo ondulado + SOLOS LITÓLICOS ÁLICOS ou DISTRÓFICOS textura média relevo forte ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO EUTRÓFICO Tb textura média/argilosa ou argilosa relevo ondulado, todos A moderado.

CAMBISSOLO DISTRÓFICO

- Cd1 Associação de CAMBISSOLO Tb + SOLOS LITÓLICOS, ambos DISTRÓFICOS ou ÁLICOS A moderado textura argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo ondulado e forte ondulado.
- Cd2 Associação de CAMBISSOLO DISTRÓFICO ou ÁLICO Tb textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo ondulado + LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO textura muito argilosa ou argilosa relevo plano e suave ondulado, ambos A moderado.
- Cd3 Associação de CAMBISSOLO DISTRÓFICO ou ÁLICO Tb textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta relevo ondulado e forte ondulado + SOLOS LITÓLICOS DISTRÓFICOS textura média cascalhenta relevo forte ondulado, ambos fase pedregosa + CAMBISSOLO ÁLICO Tb textura argilosa relevo suave ondulado, todos A moderado.

CAMBISSOLO EUTRÓFICO

- Ce1 Associação de CAMBISSOLO EUTRÓFICO ou DISTRÓFICO textura argilosa ou siltosa relevo forte ondulado e ondulado + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO EUTRÓFICO textura argilosa relevo ondulado, ambos Tb + SOLOS LITÓLICOS EUTRÓFICOS textura argilosa ou siltosa relevo forte ondulado e ondulado, todos A moderado.
- Ce3 Associação de CAMBISSOLO EUTRÓFICO Tb A moderado ou A chernozêmico textura argilosa relevo ondulado e forte ondulado + LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa ou argilosa relevo suave ondulado e ondulado + BRUNIZÉM textura argilosa relevo ondulado + CAMBISSOLO DISTRÓFICO Tb A moderado textura média relevo forte ondulado.

- Ce4 Associação de CAMBISSOLO Tb textura argilosa + SOLOS LITÓLICOS textura média, ambos EUTRÓFICOS A moderado ou A chernozêmico fase pedregosa relevo forte ondulado e montanhoso.
- Ce5 Associação de CAMBISSOLO A moderado ou A chernozêmico textura média ou argilosa fase pedregosa ou não pedregosa + PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO A moderado textura argilosa ou muito argilosa, ambos EUTRÓFICOS Tb relevo forte ondulado e ondulado.
- Ce6 Associação de CAMBISSOLO EUTRÓFICO + CAMBISSOLO ÁLICO, ambos Tb A moderado textura argilosa relevo forte ondulado + BRUNIZÉM textura argilosa ou argilosa cascalhenta relevo ondulado.
- GLEI POUCO HÚMICO DISTRÓFICO**
- HGPd1 Associação de GLEI POUCO HÚMICO DISTRÓFICO A moderado textura muito argilosa + GLEI HÚMICO DISTRÓFICO ou ÁLICO A proeminente textura argilosa/muito argilosa ou argilosa, ambos Tb + SOLOS ORGÂNICOS ÁLICOS ou DISTRÓFICOS, todos relevo plano.
- SOLOS LITÓLICOS ÁLICOS**
- Ra2 Associação de SOLOS LITÓLICOS textura média fase pedregosa relevo montanhoso e escarpado + CAMBISSOLO Tb textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta fase pedregosa ou não pedregosa relevo forte ondulado e montanhoso, ambos ÁLICOS A moderado.
- SOLOS LITÓLICOS DISTRÓFICOS**
- Rd10 Associação de SOLOS LITÓLICOS DISTRÓFICOS ou EUTRÓFICOS + CAMBISSOLO DISTRÓFICO Tb, ambos A moderado textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo forte ondulado e ondulado.

CAPÍTULO 2

TOPOLITOSSEQÜÊNCIAS DE SOLOS DO ALTO PARANAÍBA: ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS

1. INTRODUÇÃO

A porção superior do Rio Paranaíba representa um dos divisores de água mais importantes do Brasil, separando as cabeceiras de drenagem dos rios São Francisco, a leste, e Paraná, a oeste, com intensa apropriação agrícola e vocação agroindustrial. É, ainda, área de elevado aproveitamento hidráulico, com várias barragens para geração de energia.

Do ponto de vista geológico, abrange uma vasta área elevada, onde se sucedem litologias pré-Cambrianas (grupos Bambuí, Canastra, Ibiá, Paracatu, Araxá e Embasamento Cristalino), atravessadas por inúmeros corpos vulcânicos/subvulcânicos, relacionados aos eventos da separação entre África e América do Sul, a partir da reativação Juro-Cretácea. Rochas efusivas básicas ocorrem na direção do Rio Paraná, enquanto diversos afloramentos de corpos ígneos de filiação máfica-ultramáfica ou alcalina se distribuem em sua borda, atravessando rochas pré-Cambrianas (SCHAEFER, 1999).

A região do Alto Paranaíba apresenta-se com embasamento de rochas pelíticas do pré-cambriano, dobradas e cobertas por sedimentos clásticos fluviais, com ocorrências de material piroclástico (GUIMARÃES, 1955). Estes materiais,

resultantes de atividades vulcânicas, originaram os chamados tufos vulcânicos ou tufitos que preenchem atualmente as partes dissecadas da paisagem (CARMO et al., 1984).

Em geral, a geomorfologia da área é composta de grandes chapadões, mais ou menos recortados, ocasionando o aparecimento de vales profundos com encostas largas (FERREIRA et al., 1994). Nos chapadões ocorrem Latossolos sob vegetação original de cerrado, os quais são de importância crucial para o desenvolvimento agrícola do Estado, com destaque para as culturas de soja, milho e café (CARMO et al., 1984).

Segundo FERREIRA (1994), a fração argila dos Latossolos do Triângulo Mineiro é composta basicamente por caulinita, gibbsita e goethita, com presença eventual de anatásio, como constatado por KÄMPF e SCHWERTMANN (1983) e CURI e FRANZMEIER (1984). Foram encontrados, por FERREIRA et al. (1994), Latossolos Roxos com alta susceptibilidade magnética, com hematita compondo 80% do total dos óxidos. Solos com susceptibilidade magnética originados de basalto e tufito ocorrem, respectivamente, nas regiões do Triângulo Mineiro – MG e do Alto Paranaíba – MG. Segundo COEY et al. (1991), nos solos de basalto a magnetização é decorrente da Ti-maguemita, enquanto nos de tufito é por conta da Mg-maguemita. Os óxidos de ferro, principalmente magnetita e maguemita, podem conter elementos traços em suas estruturas, o que justifica as correlações positivas encontradas entre seus teores totais e a magnetização (CURI e FRANZMEIER, 1987; FERREIRA et al., 1994; RESENDE et al., 1986).

Pouco se conhece sobre a diferenciação pedogenética no Alto Paranaíba, quando são comparados materiais de composição química tão variada, como tufitos, rochas ígneas alcalinas e ultramáficas e carbonatitos, todos de ocorrência na região.

Neste trabalho, selecionaram-se, para fins de estudo, três topossequências, representando as variações encontradas no Alto Paranaíba, em termos de litologias máficas-ultramáficas, considerando-se a gênese dos solos conforme variações litológicas e topográficas, compondo topolitossequências de interesse regional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram escolhidas três toplotosseqüências de solos localizadas na região da Bacia do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais, num total de 11 perfis de solos, entre os Municípios de Serra do Salitre, Patrocínio e Coromandel, na faixa do contato geológico entre os grupos Bambuí e Araxá (Figuras 1, 2 e 3).

A primeira toplotosseqüência (T1), com 4 perfis, está situada nas proximidades da Serra do Salitre, localizada no município de mesmo nome. A segunda (T2), também com 4 perfis de solos, encontra-se na Serra Negra, no município de Patrocínio, e a terceira (T3), com apenas três perfis, nas imediações da sede do município de Coromandel. As toplotosseqüências foram identificadas de acordo com o nome dos municípios em que estão localizadas.

Os 11 perfis dos solos (vide Anexo 1) das toplotosseqüências foram descritos em sua morfologia segundo LEMOS e SANTOS (1996), empregando-se, para a nomenclatura dos horizontes, as normas preconizadas em EMBRAPA (1988a). Amostras deformadas foram coletadas de cada horizonte, objetivando-se a realização de análises físicas, químicas e mineralógicas para a caracterização dos solos. Nas análises físicas e químicas de rotina, seguiram-se os processos padrões do Manual de Métodos e Análise de Solo (EMBRAPA, 1979).

Nos principais horizontes diagnósticos, de cada solo, foram realizados ataque triácido, ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1979) e extrações com oxalato ácido de amônio (McKEAGUE e DAY, 1966) e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (MEHRA e JACKSON, 1960) nas frações TFSA e argila.

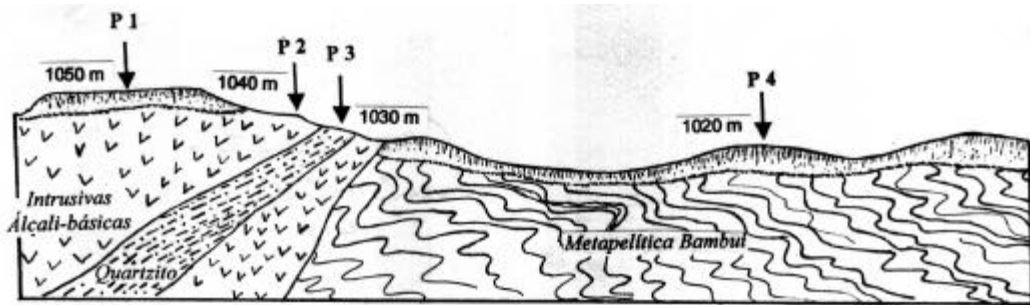


Figura 1 – Perfil geológico esquemático da Topolitosseqüência Serra do Salitre e posições dos respectivos solos.

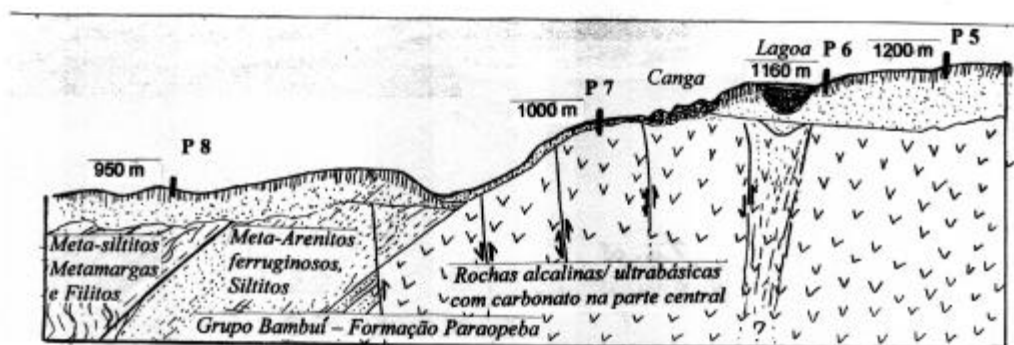


Figura 2 – Perfil geológico esquemático da Topolitosseqüência Patrocínio e posições dos respectivos solos.

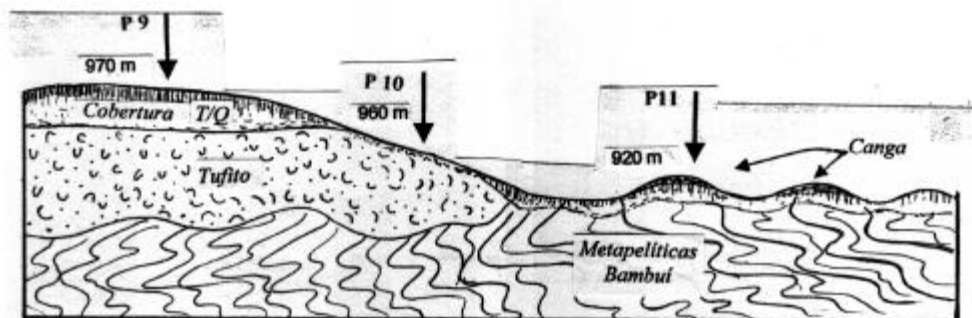


Figura 3 – Perfil geológico esquemático da Topolitosseqüência Coromandel e posições dos respectivos solos.

Análises mineralógicas da fração argila foram efetuadas pela técnica de difração de raios X (vide Anexo 2), após desferrificação com ditionito-citrato-bicarbonato (MEHRA e JACKSON, 1960) e preparação de lâminas com orientação paralela, saturadas com magnésio, glicerol e potássio, à temperatura ambiente e aquecidas a 350 °C e 550 °C. Para tal, foi utilizado difratômetro Rigaku com tubo de cobre e filtro de níquel, no intervalo de 2 a 35° 2 θ .

Também procedeu-se ao tratamento com NaOH 5 mol/L (KÄMPF e SCHWERTMANN, 1982), a fim de eliminar os silicatos e a gibbsita, objetivando-se a concentração dos óxidos de ferro. Após a montagem de lâminas sem orientação (em pó), foi realizada a difração de raios X no intervalo de 20 a 60° 2 θ , em equipamento da marca Ishimadzu, modelo XRD 6000, com tubo de cobalto e filtro de ferro.

Para a classificação dos solos adotaram-se as normas dos levantamentos pedológicos executados pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA, 1988b) e do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características físicas e morfológicas dos solos estudados

Dentre os solos das três topolitosseqüências estudadas (Quadro 1), aqueles com textura argilosa estão representados pelos perfis P1, P4, P5, P6 e P9, todos Latossolos, e pelo P10 de Cambissolo. Estes solos são originados de rochas alcalinas (P1), talco-clorita-xistos (P4), rochas ultramáficas (dunitos) (P5 e P6) e de tufos vulcânicos (P9 e P10), todos materiais pobres em sílica e capazes de originar solos com textura argilosa. O restante dos solos, representado pelos perfis P2 e P7 de Cambissolos, P3 de Neossolo (Litólico), P8 e P11 de Latossolos, apresentou textura variando de arenosa a franca, em que os maiores teores de silte encontram-se nos perfis de Cambissolos (P2 e P7). Os perfis P8 e P11 de Latossolos, originados respectivamente de rochas ultrabásicas e cangas lateríticas (vide Anexo 1), apresentam textura franco argilosa.

Os valores da relação silte/argila (Quadro 1), em todos os horizontes Bw dos Latossolos, são inferiores ao limite máximo de 0,7 para B latossólico, proposto pela EMBRAPA (1999), o que corrobora a identificação deste tipo de horizonte diagnóstico e, conseqüentemente, a classificação dos solos na referida classe. Esta relação ultrapassa o valor de 0,7 em alguns horizontes A de Latossolos e, principalmente, em todos os horizontes dos Cambissolos, representados pelos perfis P2 e P7. Os valores inferiores a 0,7 no P10 de Cambissolo, resultante da sua textura argilosa, são conseqüência do material de origem, tufito, ser facilmente intemperizado.

Quadro 1 - Algumas características morfológicas e físicas dos solos das três topolitosseqüências estudadas

Horizonte	Profundidade ----- cm -----	Cor solo úmido	Areia grossa	Areia fina	Silte %	Argila	ADA	Textura	Silte Argila	DS	DP
										--- g (cm ³) ⁻¹ ---	
T1 – Topolitosseqüência Serra do Salitre											
P1 – LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO típico (húmico)											
Ap	0 - 25	5 YR 3/3	9	23	33	35	5	fr.arg.	0,93	1,40	2,74
BA	25 - 60	2,5 YR 3/4	10	19	29	42	10	argila	0,69	1,42	2,86
Bw1	60 - 100	2,5 YR 3/6	9	19	27	45	0	argila	0,61	1,26	2,86
Bw2	100 - 150+	2,5 YR 3/6	8	20	28	44	0	argila	0,64	1,29	2,86
P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico											
A	0 - 25	5 YR 3/2	15	14	51	20	3	fr.silt.	2,51	1,23	2,82
Bi	25 - 40	5 YR 3/4	12	14	48	26	5	franco	1,83	-	2,63
BC	40 - 65	-	14	15	42	29	8	fr.arg.	1,47	1,51	2,74
Cr	65 - 140	-	7	11	57	25	7	fr.silt.	2,31	1,42	2,82
P3 – NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico											
A	0 - 30	-	17	51	21	11	0	fr.ar.	1,89	1,06	2,86
Cr	30 - 50	-	27	48	14	11	0	fr.ar.	1,29	-	2,44
P4 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico											
Ap	0 - 10	5 YR 3/3	11	12	28	49	6	argila	0,58	1,15	2,67
A	10 - 35	5 YR 4/3	11	12	28	49	3	argila	0,58	1,25	2,74
BA	35 - 55	5 YR 4/4	8	11	29	52	3	argila	0,55	1,13	2,86
Bw1	55 - 75	4 YR 3/6	9	10	27	54	0	argila	0,50	1,14	2,67
Bw2	75 - 110	2,5 YR 3/6	8	10	29	53	8	argila	0,54	1,16	2,78
Bw3	110 - 150+	2,5 YR 3/6	10	11	27	52	9	argila	0,52	1,26	2,70
T2 – Topolitosseqüência Patrocínio											
P5 – LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO húmico											
Ap	0 - 30	5 YR 3/3	25	8	19	48	6	argila	0,40	1,09	2,70
BA	30 - 50	4 YR 3/4	11	7	17	65	0	m.arg.	0,26	1,02	2,86
Bw1	50 - 80	2,5 YR 3/5	8	6	15	71	2	m.arg.	0,21	1,33	2,78
Bw2	80 - 150	2,5 YR 3/6	8	6	16	70	15	m.arg.	0,23	1,43	2,86
P6 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Ácrico típico											
A	0 - 15	5 YR 3,5/3	12	7	15	66	14	m.arg.	0,23	1,12	2,74
BA	15 - 40	5 YR 4/3	11	6	17	66	0	m.arg.	0,25	1,07	2,78
Bw1	40 - 80	5 YR 4/4	10	6	15	69	15	m.arg.	0,22	1,04	2,82
Bw2	80 - 125	5 YR 4/4	11	5	16	68	13	m.arg.	0,23	1,05	2,82
Bw3	125 - 160+	5 YR 4/6	6	5	17	72	22	m.arg.	0,23	1,06	3,13
P7 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico											
A	0 - 30	5 YR 3/3	12	28	46	14	1	franco	3,34	0,93	2,90
Bi	30 - 50	2,5 YR 3/4	9	22	59	10	3	fr.silt.	6,23	1,18	3,23
BC	50 - 60	2,5 YR 3/4	13	24	53	10	0	fr.silt.	5,24	1,18	3,17
Cr	60 - 100	10 YR 7/2	8	35	51	6	0	fr.silt.	8,75	1,25	2,70
P8 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico											
Ap	0 - 15	10 R 3/3	20	15	35	30	2	fr.arg.	1,15	1,09	2,86
AB	15 - 40	10 R 3/4	19	16	32	33	3	fr.arg.	0,98	1,20	2,82
BA	40 - 70	10 R 3/5	20	16	25	39	6	fr.arg.	0,65	1,26	2,99
Bw1	70 - 120	10 R 3/6	19	18	23	40	8	fr.arg.	0,58	1,30	2,86
Bw2	120 - 150+	10 R 3/6	18	18	24	40	0	fr.arg.	0,61	1,11	2,99
T3 – Topolitosseqüência Coromandel											
P9 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico											
Ap	0 - 10	2,5 YR 3/4	11	9	20	60	13	argila	0,33	1,26	3,08
BA	10 - 30	2,5 YR 3/5	9	8	17	66	15	m.arg.	0,25	1,09	2,78
Bw1	30 - 100	10 R 3/5	9	7	16	68	0	m.arg.	0,24	1,12	2,82
Bw2	100 - 200	10 R 3/6	9	9	17	65	1	m.arg.	0,27	1,08	2,78
P10 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico											
A	0 - 20	5 YR 3/4	14	13	20	53	19	argila	0,39	-	2,82
Bi	20 - 60	5 YR 4/4	6	8	26	60	14	argila	0,44	1,38	2,99
BC	60 - 100	2,5 YR 6/2	10	8	33	49	19	argila	0,68	1,68	3,23
P11 – LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico câmbico											
A	0 - 30	6 YR 4/4	40	20	10	30	9	fr.arg.ar.	0,34	-	2,63
AB	30 - 50	5 YR 4/4	31	12	18	39	0	arg.ar.	0,48	-	3,17
Bw	50 - 80	2,5 YR 3/6	39	17	21	23	7	fr.arg.ar.	0,89	-	3,03
BC	80 - 100	2,5 YR 3/6	10	29	28	33	12	fr.arg.	0,86	1,60	3,23
Cr	100 - 130+	-	6	51	25	18	1	fr.ar.	1,43	1,70	3,08

ADA = argila dispersa em água; DS = densidade do solo; DP = densidade da partícula; fr.arg. = franco argiloso; fr.silt. = franco silteoso; fr.ar. = franco arenoso; m.arg. = muito argiloso; fr.arg.ar. = franco argilo arenoso; arg.ar. = argilo arenoso; - = valor não obtido

De uma maneira geral, as cores predominantes nos solos (Quadro 1) variam do matiz 10R (mais vermelho) ao 5YR (mais alaranjado), com predominância do 2,5YR, o qual, segundo OLIVEIRA et al. (1992), é típico dos horizontes latossólicos de Latossolos Roxos e Vermelho Escuros, atualmente classificados como Latossolos Vermelhos. Como observado no campo durante a coleta das amostras, há uma predominância da cor vermelha nos Latossolos, como conseqüência da presença da hematita, pois, segundo RESENDE (1976), apenas 1% deste óxido é suficiente para tingir de vermelho o material do solo. O perfil P6, o menos vermelho dos Latossolos, encontra-se próximo à lagoa da Serra Negra, estando sujeito a um regime de umidade mais údico, condição que, segundo SCHWERTMANN (1985) e KÄMPF (1988), favorece à formação da goethita, óxido de ferro que confere cores amarelas aos solos.

3.2. Características químicas dos solos estudados

3.2.1. Análises de rotina

Os valores de pH em água (Quadro 2) evidenciam que, à exceção dos perfis P2 e P7 de Cambissolos, todos os outros apresentam reação ácida, com valores mais baixos para o perfil P5 de Latossolo Vermelho da topositosseqüência Patrocínio. Este fato pode ser explicado pelo uso agrícola deste solo e pela posição de topo na paisagem.

Com relação ao Δ pH (Quadro 2), diferença do pH em KCl pelo pH em água, os solos, em sua maioria, podem ser considerados eletronegativos, principalmente todos os horizontes dos Cambissolos e do Neossolo Litólico e horizontes superficiais dos Latossolos. Com o aumento da profundidade dos Latossolos, exceção feita para o perfil P8 de Latossolo Vermelho, rico em matéria orgânica, os horizontes tornam-se eletropositivos ou com balanço de cargas próximo a zero, indicando o estado predominantemente gibbsítico/oxídico dos mesmos. Nestas condições, deve haver o contrabalançamento por bases (hidroxilas da hidrólise da água) das cargas positivas dos óxidos de ferro e alumínio, os quais são deslocados pelo KCl, indo para a solução e provocando aumento do pH em KCl (PRATT, 1966).

Quadro 2 – Algumas características químicas dos solos das três topolitossesquências estudadas

Horizonte	PH		? pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	m	V	CO	P
	H ₂ O	KCl													
-----cmol./dm ³ -----													-----%	mg/dm ³	
T1 – Topolitosesquência Serra do Salitre															
P1 – LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO típico (húmico)															
Ap	5,9	4,6	-1,3	2,2	0,6	1,41	0,1	7,26	4,2	4,3	11,5	2	37	3,45	2,52
BA	6,0	5,1	-0,9	1,3	0,4	0,51	0	4,62	2,2	2,2	6,8	0	32	1,48	0,00
Bw1	6,2	6,0	-0,2	0,9	0,4	0,25	0	3,96	1,6	1,6	5,5	0	28	0,82	0,13
Bw2	6,0	6,0	0,0	0,1	0,2	0,33	0	3,3	0,7	0,7	4,0	0	17	0,63	0,00
P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico															
A	7,3	6,0	-1,3	19,1	2,0	3,84	0	3,63	24,9	24,9	28,6	0	87	4,08	11,08
Bi	7,4	5,7	-1,7	8,9	2,1	2,47	0	3,96	13,4	13,4	17,4	0	77	2,26	3,54
BC	6,8	5,1	-1,7	6,4	1,1	2,39	0	4,62	9,9	9,9	14,5	0	68	1,41	4,84
Cr	6,8	5,0	-1,8	4,5	1,0	1,91	0	3,3	7,4	7,4	10,7	0	69	0,56	1,38
P3 – NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico															
A	6,2	5,1	-1,1	15,6	0,2	1,28	0	13,86	17,1	17,1	30,9	0	55	7,61	535,55
Cr	6,3	5,3	-1,0	3,0	0,0	0,20	0	9,24	3,2	3,2	12,5	0	26	0,74	128,14
P4 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico															
Ap	4,6	4,4	-0,2	1,0	0,1	1,23	0,2	5,94	2,3	2,5	8,3	8	28	3,12	2,92
A	4,7	4,2	-0,5	0,2	0,0	0,51	0,3	6,27	0,7	1,0	7,0	29	10	2,71	0,66
BA	4,7	4,5	-0,2	0,1	0,0	0,25	0,1	3,3	0,4	0,5	3,7	21	10	2,30	0,31
Bw1	5,4	5,4	0,0	0,2	0,0	0,12	0	1,98	0,3	0,3	2,3	0	14	1,60	0,13
Bw2	5,6	5,9	0,3	0,1	0,0	0,12	0	2,64	0,2	0,2	2,8	0	7	1,26	0,13
Bw3	5,5	6,1	0,6	0,0	0,0	0,12	0	1,98	0,2	0,2	2,2	0	8	0,89	0,31
T2 – Topolitosesquência Patrocínio															
P5 – LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO húmico															
Ap	4,9	4,0	-0,9	1,2	0,4	0,90	0,7	12,87	2,5	3,2	15,4	22	16	4,82	18,38
BA	4,2	4,1	-0,1	0,0	0,0	0,28	0,5	10,56	0,4	0,9	10,9	59	3	2,97	1,94
Bw1	4,0	4,4	0,4	0,1	0,1	0,25	0,1	6,93	0,4	0,5	7,3	22	5	2,30	0,66
Bw2	4,0	4,9	0,9	0,0	0,0	0,36	0	5,28	0,4	0,4	5,7	0	7	1,71	0,48
P6 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Ácrico típico															
A	5,2	4,4	-0,8	0,1	0,1	7,70	0,2	6,93	7,9	8,1	14,9	2	53	2,89	1,01
BA	5,7	4,6	-1,1	0,1	0,0	2,31	0	2,97	2,4	2,4	5,4	0	45	2,41	3,12
Bw1	5,1	5,9	0,8	0,0	0,0	1,44	0	4,95	1,5	1,5	6,4	0	23	1,74	0,31
Bw2	5,4	5,9	0,5	0,0	0,0	1,54	0	3,96	1,6	1,6	5,5	0	28	1,30	0,13
Bw3	5,4	6,0	0,6	0,1	0,0	0,25	0	3,3	0,3	0,3	3,6	0	9	1,22	0,00
P7 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico															
A	7,2	6,3	-0,9	1,2	19,3	0,77	0	2,31	21,3	21,3	23,6	0	90	1,86	535,55
Bi	7,5	6,6	-0,9	0,7	14,6	0,25	0	1,98	15,6	15,6	17,6	0	89	1,30	244,34
BC	7,4	6,7	-0,7	0,4	8,6	0,20	0	1,32	9,2	9,2	10,5	0	87	1,30	43,96
Cr	8,2	7,3	-0,9	0,3	12,6	0,05	0	0,99	13,0	13,0	14,0	0	93	0,19	305,18
P8 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico															
Ap	5,9	5,4	-0,5	5,3	1,8	0,69	0	6,27	7,7	7,7	14,0	0	55	5,01	5,78
AB	6,2	5,2	-1,0	5,3	0,3	0,46	0	11,55	6,1	6,1	17,7	0	35	4,04	1,56
BA	5,9	5,5	-0,4	4,1	0,2	0,15	0	4,95	4,4	4,4	9,4	0	47	2,15	3,54
Bw1	6,2	5,6	-0,6	3,2	0,1	0,10	0	3,63	3,4	3,4	7,0	0	48	1,48	3,33
Bw2	6,3	5,9	-0,4	1,8	0,1	0,07	0	2,64	2,0	2,0	4,6	0	43	1,26	1,01
T3 – Topolitosesquência Coromandel															
P9 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico															
Ap	6,5	4,5	-2,0	0,2	0,1	0,64	0,1	6,27	1,0	1,1	7,3	9	14	2,34	0,83
BA	5,1	4,5	-0,6	0,0	0,0	0,38	0,1	5,61	0,4	0,5	6,0	21	6	1,93	2,52
Bw1	5,0	4,9	-0,1	0,0	0,0	0,12	0	4,62	0,1	0,1	4,8	0	3	1,30	0,13
Bw2	5,4	5,6	0,2	0,0	0,0	0,12	0	3,3	0,1	0,1	3,4	0	3	0,93	0,00
P10 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico															
A	5,8	4,5	-1,3	1,8	4,9	6,03	0,2	5,94	12,7	12,9	18,7	2	68	1,82	1,38
Bi	5,4	3,9	-1,5	1,5	6,6	5,77	4,1	9,24	13,9	18,0	23,2	23	60	0,93	5,30
BC	5,6	3,9	-1,7	4,6	11,3	5,13	1,9	6,6	21,0	22,9	27,6	8	76	0,45	50,63
P11 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico câmbico															
A	5,3	4,3	-1,0	0,6	0,4	2,18	0,4	3,96	3,1	3,5	7,1	11	44	2,52	1,94
AB	5,7	5,7	0,0	0,0	0,1	0,51	0	3,3	0,6	0,6	3,9	0	16	1,30	1,56
Bt	6,0	6,4	0,4	0,0	0,0	0,20	0	2,31	0,2	0,2	2,6	0	9	0,45	1,94
BC	5,8	6,0	0,2	0,0	0,0	0,20	0	1,98	0,2	0,2	2,2	0	10	0,19	1,56
Cr	5,8	4,6	-1,2	0,0	0,0	0,12	0	1,98	0,1	0,1	2,1	0	6	0,15	1,01

SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC total; m = saturação de alumínio; V = saturação de bases; CO = carbono orgânico

A saturação por alumínio (índice m) apresenta-se com valores nulos em muitos dos horizontes dos solos estudados, principalmente naqueles subsuperficiais, em que o balanço de cargas é nulo ou positivo (Quadro 2). Em alguns horizontes superficiais e em todos do perfil P10 de Cambissolo eutrófico, os valores de m variam de 2 a 23. De todos os solos estudados, apenas o horizonte BA do perfil P5 de Latossolo Vermelho apresenta caráter álico, com valor $m > 50\%$.

Observando-se o valor V% (Quadro 2), constata-se que, de todos os solos, apenas os perfis P2, P7 e P10, de Cambissolos, são eutróficos ($V > 50\%$). Os perfis P3 de Litólico e P6 e P8 de Latossolos podem ser considerados epieutróficos, com V superior a 50% apenas nos horizontes superficiais, devido à reciclagem ou à prática da calagem/adubação. Os Latossolos restantes com valores de $V < 50\%$, representados pelos perfis P1, P4, P5, P9 e P11, mesmo os originados de materiais capazes de fornecerem quantidades apreciáveis de bases ao solo, como é o caso das rochas alcalinas/ultramáficas, refletem a intensidade severa do intemperismo e lixiviação intensa experimentados pelos mesmos.

O carbono orgânico apresenta-se com valores variando de médios a elevados nos horizontes superficiais. Valores excepcionalmente altos encontram-se nos horizontes A dos perfis P2, P5, P8 e, principalmente, no P3. Nos Latossolos, marcadamente nos perfis P5 e P8, o carbono orgânico incorporado aos agregados se faz presente em quantidades consideráveis, mesmo em profundidade (150 cm), com teores médios, o que reforça a teoria de que a atividade pedobiológica tem participação importante na formação de tais solos, como evidenciada em trabalho de MIKLÓS (1992).

De acordo com as classes de interpretação existentes no trabalho de ALVAREZ V. et al. (1999), o fósforo disponível extraível por Mehlich (Quadro 2) apresenta-se com valores variando de baixo a muito baixo na maioria dos horizontes dos solos estudados. As exceções são o perfil P7 de Cambissolo e o P3 de Neossolo Litólico, bem como os horizontes A do P5 (Latossolo Vermelho) e BC do P10 de Cambissolo, em que os valores situam-se nas classes boa e muito boa daqueles autores. Estes elevados valores de P disponível devem estar relacionados às elevadas quantidades de P, pela presença de apatita nos corpos ultrabásicos/alcalinos, fato comum na área (BARBOSA et al., 1970).

Com base nas análises de cátions trocáveis (Quadro 2), é possível estabelecer com segurança o caráter ultramáfico do material de origem do Cambissolo (P7) na Serra Negra, pelo extremo desbalanço entre Ca e Mg (relações Ca:Mg de aproximadamente 1:20 em superfície), enquanto no P2 (Ce) da Serra do Salitre, o caráter máfico é mais evidente (relações Ca:Mg de aproximadamente 10:1). Na topolitosseqüência Coromandel, o Cambissolo (P10) mostrou evidente desbalanço Ca:Mg (relações de aproximadamente 1:2,5), sugerindo a natureza mista ultramáfica dos tufitos, porém com forte contribuição de micas nos tufos cineríticos, demonstrada pelos elevados teores de K^+ , superiores aos teores de Ca. Neste solo (P10) há evidente contribuição de Al estrutural não trocável, para formas trocáveis (teores de até 4,1 Al^{3+} em Bi), mesmo em pH próximo a 5,5.

A presença de grande reserva não trocável de P-apatita, comum nos corpos ígneos ou vulcânicos do Triângulo Mineiro, foi constatada pelos valores de P-Mehlich nos perfis P3 e P7, sendo o primeiro de filiação máfica-alcalina e o segundo de ultramáfica. Nos Latossolos associados nas topolitosseqüências os valores de P foram baixos, evidenciando a passagem deste elemento para formas não lábeis com o avanço do intemperismo.

3.2.2. Resultados dos ataques sulfúrico, triácido, oxalato e ditionito

Os percentuais de Fe_2O_3 do ataque sulfúrico (Quadro 3) dos solos estudados variam de 1,1 a 19,9%, sendo que, nos Latossolos, esta variação foi de 4,4 a 10%, valores estes bem inferiores aos encontrados por CARMO et al. (1984) e FERREIRA et al. (1994), em solos do Alto Paranaíba e do Triângulo Mineiro do Estado de Minas Gerais, Brasil. Assim, esperar-se-iam valores mais elevados do que os encontrados neste trabalho, pois, segundo KER (1995), solos originados de rochas de natureza mais básica, tais como basalto, diabásio e tufitos, em geral, devem apresentar teores de Fe_2O_3 compreendidos entre 18 e 40%.

Os valores mais altos de Fe_2O_3 do ataque sulfúrico (Quadro 3) foram verificados nos perfis P7 e P10 de Cambissolos, em virtude do material de origem ultramáfico e da baixa intemperização, e no perfil P11 de Latossolo Vermelho distroférico, em função da presença de canga laterítica.

A relação K_i é alta no perfil de Cambissolo (P7), como um reflexo da baixa intemperização a que foi submetido, por conta da sua posição na paisagem

e relativa resistência do material de origem. Quanto aos Latossolos, todos apresentam valores de K_i em seus horizontes Bw bem inferiores ao limite superior de 2,2 para a caracterização de B latossólico proposto pela EMBRAPA (1999). Como os valores de K_i nos Latossolos estão bem abaixo daquele da caulinita (2,2) deduz-se que são solos mais oxídicos que caulíníticos.

Observando-se os índices K_i e K_r simultaneamente (Quadro 3), à exceção do valor K_i do horizonte Bw2 do P1 de Latossolo Vermelho, todos os horizontes Bw dos Latossolos em estudo apresentam valores inferiores a 0,75, indicando, segundo RESENDE e SANTANA (1988), uma predominância de gibbsita e óxidos de ferro. Os mesmos autores afirmam que, quando os valores de K_i e K_r são superiores a 0,75, há predomínio de caulinita.

Deve-se ressaltar que estes índices “per si”, como assinalado por RAMOS (1981) e EMBRAPA (1988c), não indicam a existência de Latossolos, devendo-se para tal utilizar também outras características e atributos, pois, em certos casos, o material de origem já é pobre em sílica ou pode haver dissolução seletiva de quartzo em ambientes muito ricos em ferro, como constatado por MELFI et al. (1976).

O ataque triácido (Quadro 3) revelou valores de Fe_2O_3 aproximadamente duas vezes maiores que os do ataque sulfúrico. No entanto, detendo-se apenas nos Latossolos, constata-se que os valores são relativamente baixos, evidenciando que a quantidade de ferro é baixa no sistema ou que ele se encontra numa forma de baixíssima solubilidade.

As extrações de ferro com oxalato e ditionito (Quadro 3) indicam uma baixa relação Fe_{OXA} / Fe_{DCB} para os horizontes Bw, exceto o Bw do P8, indicando o predomínio das formas cristalinas sobre as amorfas, típico de Latossolos. No geral, os valores estão próximos do limite superior de 0,03 requerido para Latossolos, como relatado por KÄMPF et al. (1988). No Latossolo Vermelho do P8, a riqueza em matéria orgânica e a presença de horizonte A húmico são fatores que favorecem a ocorrência de formas menos cristalinas de óxidos de ferro, mobilizados em Bw.

A relação Fe_{DCB} (fração argila corrigida para TFSA)/ FeH_2SO_4 revelou, na maioria dos horizontes Bw, valores relativamente baixos, contrariando KÄMPF et al. (1988), segundo os quais Latossolos estão associados a valores desta relação entre 0,8 e 1,0. Por outro lado, como sugerido por FERNANDES (2000),

Quadro 3 – Valores de alguns óxidos nos extratos do ataque sulfúrico, ataque triácido, ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato ácido de amônio (OXA) na TFSA e na fração argila de alguns horizontes diagnósticos dos solos das três topolitosseqüências estudadas

Horizonte	Ataque sulfúrico ¹			Ki	Kr	Ataque ¹ triácido		Fe _{OXA} ²	Fe _{DCB} ²	Fe _{OXA} ² /Fe _{DCB} ²	Fe _{DCB} ³	Fe _{DCB} ³ /Fe _{At.sulf.}
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃			Fe ₂ O ₃	TiO ₂					
	----- dag kg ⁻¹ -----					----- dag kg ⁻¹ -----					dag kg ⁻¹	
T1 – Topolitosseqüência Serra do Salitre												
P1 – LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO típico (húmico)												
Ap	6,5	15,8	5,7	0,70	0,57	12,4	4,8	0,8	9,2	0,09	3,2	0,56
Bw2	8,3	17,7	6,2	0,80	0,65	14,9	5,1	0,7	9,8	0,07	4,3	0,69
P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico												
A	11,8	11,7	5,3	1,71	1,33	11,8	2,9	0,6	6,6	0,09	1,3	0,25
Bi	13,0	12,9	6,2	1,71	1,31	11,7	2,9	0,7	7,6	0,09	2,0	0,32
BC	11,7	11,2	4,9	1,78	1,39	11,9	3,0	0,8	8,6	0,09	2,5	0,51
P3 – NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico												
A	1,9	5,0	2,0	0,65	0,51	5,5	1,5	0,8	4,0	0,20	0,4	0,20
Cr	1,9	2,8	1,1	1,15	0,92	3,6	0,9	0,4	6,5	0,06	0,7	0,64
P4 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico												
A	9,2	26,3	4,4	0,59	0,54	12,7	1,5	0,3	6,6	0,05	3,2	0,73
Bw2	9,3	30,7	5,2	0,51	0,46	14,0	1,6	0,2	6,1	0,03	3,2	0,62
T2 – Topolitosseqüência Patrocínio												
P5 – LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO húmico												
Ap	9,5	32,4	9,0	0,50	0,42	20,7	4,8	0,6	9,8	0,06	4,7	0,52
Bw2	10,6	36,7	9,9	0,49	0,42	22,7	5,2	0,5	9,3	0,05	6,5	0,66
P6 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Ácrico típico												
A	8,2	36,1	6,1	0,39	0,35	7,8	6,5	0,3	6,3	0,05	4,2	0,69
Bw2	8,1	36,8	6,3	0,37	0,34	15,8	8,2	0,2	5,2	0,04	3,5	0,56
P7 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico												
A	22,3	3,0	13,9	12,64	3,19	31,2	3,3	1,1	13,3	0,08	1,9	0,14
Bi	10,2	2,2	21,2	7,88	1,10	40,3	2,8	0,6	19,4	0,03	1,9	0,09
BC	4,6	2,3	24,7	3,40	0,43	46,9	2,7	0,4	15,8	0,03	1,6	0,06
P8 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico												
Ap	6,1	21,0	9,2	0,49	0,39	20,5	7,0	0,8	14,0	0,06	4,2	0,46
Bw2	5,4	21,4	10,0	0,43	0,33	22,6	8,1	1,5	15,2	0,10	6,1	0,61
T3 – Topolitosseqüência Coromandel												
P9 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico												
Ap	6,3	29,2	9,5	0,37	0,30	21,9	6,3	0,6	12,1	0,05	7,3	0,77
Bw2	6,5	31,4	7,6	0,35	0,30	20,9	5,9	0,6	11,3	0,05	7,3	0,96
P10 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico												
A	17,9	12,2	12,1	2,49	1,53	26,6	7,7	0,8	8,8	0,09	4,7	0,39
Bi	13,7	11,1	13,5	2,10	0,60	27,6	9,5	0,9	6,5	0,14	3,9	0,29
BC	14,6	9,3	11,0	2,67	1,52	23,8	8,7	0,7	3,9	0,18	1,9	0,17
P11 – LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico câmbico												
A	7,2	14,5	19,9	0,84	0,45	39,2	5,7	0,4	8,1	0,05	2,4	0,12
Bt	8,1	18,6	19,9	0,74	0,44	33,4	5,3	0,4	13,5	0,03	3,1	0,16
BC	10,3	16,2	14,8	1,08	0,68	27,4	5,0	0,5	16,7	0,03	5,5	0,37

¹ = extrato da TFSA (terra fina seca ao ar); ² = extrato da fração argila; ³ = valor obtido na fração argila e corrigido pela % de argila da TFSA, com base na análise textural do Quadro 1; * = determinado em absorção atômica; ** = determinado em plasma; Ki = relação %SiO₂.x 1,7 / %Al₂O₃; Kr = %SiO₂.x 1,7 / (%Al₂O₃ + %Fe₂O₃ x 0,64); Fe_{OXA} = ferro extraído pelo oxalato ácido de amônio; Fe_{DCB} = ferro extraído pelo ditionito citrato bicarbonato; Fe_{At.sulf.} = ferro extraído com ácido sulfúrico

é possível que os baixos valores desta relação sejam decorrentes dos elevados valores do FeH_2SO_4 , consequência da dissolução de minerais de ferro mais cristalinos presentes nas frações mais grosseiras (areia e silte da TFSA).

O ataque triácido da TFSA (Quadro 4) mostra que a filiação ultramáfica dos perfis P7 e P10, com destaque para o primeiro, pode ser comprovada pelos teores totais de Ni e Cr, com valores extremamente elevados em P7. De acordo com os dados, tanto o Mn quanto o Ni e Cr, que podem substituir isomorficamente o Mg na estrutura de minerais máficos de alta temperatura, mostram sempre resultados elevados nos Cambissolos (P2, P7 e P10), com valores bem menores no Latossolo desenvolvido de rochas metapelíticas do Bambuí (P4).

Cu e Zn mostram valores maiores nos Cambissolos mais rasos e menos desenvolvidos, associados às rochas máficas-ultramáficas, enquanto o Ba associou-se apenas às rochas máficas com Ca elevado (P2 e P10), em que os teores de Ni e Cr não são tão elevados, em relação ao P7 (ultramáfica).

Os teores totais de Mg na TFSA são um excelente indicativo da natureza máfica/ultramáfica dos solos menos desenvolvidos (até 8,3% de Mg no P7), já que grande parte do Mg é perdido no intemperismo. Da mesma forma, os teores de Ca são mais elevados nos Cambissolos, em grande parte associados à apatita.

Os teores de Ti, em função de sua baixa solubilidade, foram menos importantes na distinção dos materiais de origem, já que os solos mais jovens são ricos em Ti-magnetita ou ilmenita, enquanto os Latossolos enriqueceram-se em anatásio e Ti-maguemita.

A maior parte do Ti nos solos estudados é de natureza residual (anatásio, titanomagnetita, ilmenita, perowskita) – (MILNES e FITZPATRICK, 1989). Partes do anatásio e da titanomagnetita são minerais secundários formados através do intemperismo, sendo comuns em solos derivados de rochas máficas (HUDSON, 1967; FITZPATRICK, 1978). A ocorrência incomum de perowskita (CaTiO_3) como material detrítico foi identificada em complexos alcalinos-carbonáticos de Uganda (BALDOCK, 1968), Kenya (HARRIS, 1966) e no Brasil (VEEN, 1966; BARBOSA et al., 1970).

Quadro 4 – Resultados do ataque triácido na fração TFSA dos principais horizontes diagnósticos dos solos das três topolitosseqüências estudadas

Horizonte	Fe	Ca	Mg	K	P	Ti	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	V	Cd	Pb	Ba	Mo
----- mg L ⁻¹ -----																
T1 – Topolitosseqüência Serra do Salitre																
P1 – LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO típico (húmico)																
Ap	86646	760	80	2620	1620	28580	44	70	684	62	242	244	0	8	504	0
Bw2	104246	500	80	2680	1340	30580	40	78	514	64	240	264	0	14	446	0
P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico																
A	82446	2940	380	16780	2140	17120	100	80	1360	74	220	200	0	14	658	2
Bi	81846	1460	340	17820	1740	17080	82	78	1168	72	206	198	0	14	604	0
BC	83446	960	320	19700	1640	17760	74	76	910	68	198	214	0	14	598	0
P3 – NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico																
A	38446	4320	80	340	6000	8980	40	56	1072	32	132	80	0	14	558	0
C	24846	40	20	100	1160	5460	10	22	104	24	94	74	0	6	182	0
P4 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico																
A	88646	80	80	5920	340	9000	24	52	98	30	244	220	0	12	78	0
Bw2	98046	100	140	6920	260	9720	18	56	112	32	264	236	8	14	92	0
T2 – Topolitosseqüência Patrocínio																
P5 – LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO húmico																
Ap	144446	40	100	260	1200	28780	30	32	290	84	1520	344	2	16	0	4
Bw2	158646	20	80	260	1020	30980	28	32	302	74	1600	368	2	18	0	4
P6 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Ácrico típico																
A	54446	20	60	180	1240	39180	16	24	214	32	960	200	0	18	74	0
Bw2	110446	20	100	220	1780	49180	30	38	404	62	2000	360	2	42	128	2
P7 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico																
A	217846	10400	83400	520	3400	19900	218	72	3160	5840	2560	168	0	0	136	0
Bi	281846	5060	47000	320	1820	16700	226	58	3760	5600	4400	164	0	0	56	0
BC	327846	1020	15600	340	1120	16020	226	62	4240	5880	4960	158	0	0	54	2
P8 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico																
Ap	143246	300	100	320	2220	41980	42	102	680	140	840	432	2	6	146	0
Bw2	158046	140	100	340	1560	48380	42	100	530	150	1000	446	0	6	100	0
T3 – Topolitosseqüência Coromandel																
P9 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico																
Ap	153246	20	100	500	1280	37580	38	58	528	52	520	448	6	28	298	0
Bw2	145846	20	80	500	860	35380	30	60	282	44	418	440	4	30	100	0
P10 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico																
A	185846	520	1020	10020	2800	45980	118	196	1840	252	680	474	0	8	2058	0
Bi	193046	560	4160	23900	2960	56580	162	234	2200	352	640	442	0	0	2338	0
BC	166646	1140	4580	33300	4000	51780	178	208	3560	360	680	472	0	14	3938	0
P11 – LATOSSOLO VERMELHO Distroférico câmbico																
A	273846	100	140	2060	2020	34380	38	60	368	38	1040	558	2	22	766	0
Bt	233846	80	120	3000	1260	31980	32	80	444	42	1400	440	0	14	470	0
BC	191246	100	120	4060	1060	30180	32	78	676	44	920	320	0	14	564	6

Com relação às cargas elétricas, algumas possibilidades podem ser levantadas nos solos estudados: (a) a geração de carga positiva permanente relativa à substituição isomórfica de Ti⁴⁺ por Fe³⁺ nos óxidos de ferro, como sugerido por TESSENS e ZAUAYAH (1982), em Latossolos titaníferos da Malásia;

(b) a possível interação dessa carga positiva com os sítios carregados negativamente dos argilominerais, favorecendo a agregação (MILNES e FITZPATRICK, 1989).

A distribuição do titânio na areia fina, nos solos estudados, evidencia que, tanto os Cambissolos quanto os Latossolos mostraram valores elevados (Quadro 5), com minerais primários (perowskita, ilmenita) contribuindo nos primeiros, e minerais secundários residuais, nos últimos (anatásio, ilmenita e nódulos titaníferos). Apenas os perfis P3 e P4 mostraram valores baixos de titânio, em virtude da natureza metapelítica (P4) e quartzítica (P3).

A fração argila mostra certa uniformidade dos valores de Ti (Quadro 5) nos Latossolos (18000 e 30000 mg L⁻¹), com exceção do Latossolo Vermelho (P4) do Bambuí. O Cambissolo desenvolvido de rocha ultramáfica (P7) também mostrou valores mais baixos, evidenciando maior contribuição de minerais primários.

Os elevados valores de Ti encontrados na fração argila dos perfis P6, P9, P10 e P11 podem indicar substituição de Ti⁴⁺ nos óxidos de ferro, gerando carga positiva permanente, o que foi comprovado pelo ζ pH, mostrando carga líquida positiva nestes solos e horizontes estudados. Esse fato pode ter importante repercussão na adsorção de fósforo nos solos estudados.

Os valores de Ni, Cr e Mn na fração areia (Quadro 5) ou na fração argila (Quadro 6) são variáveis. O Ni em P7 mostrou valores elevados na argila, indicando expressiva substituição isomórfica do Fe por esse elemento na estrutura dos óxidos de ferro. Já o Cr em P7 permanece ligado aos materiais primários resistentes, possivelmente como substituinte isomórfico de Fe²⁺ ou como cromita. Grande parte do Ni pode estar substituindo o Mg²⁺ na camada octaédrica de lizardita (Mg₃Si₂O₅OH₄) – (DIXON, 1989).

Os valores de potássio, tanto na fração areia quanto na argila, são associados à natureza do substrato: no Cambissolo de P7 de rocha ultrabásica, os teores de potássio são bem inferiores aos do Cambissolo de rochas básicas/alcalinas (P2 e P10). Esse fato corrobora a natureza mista do vulcanismo do Triângulo Mineiro, como verificado por BARBOSA et al. (1970), ao admitir que coexistem micas nos tufos cineríticos, que foram submetidos a intenso hidrotermalismo pós-deposicional.

Quadro 5 – Resultados do ataque triácido na fração areia fina dos principais horizontes diagnósticos dos solos das três topolitosseqüências estudadas

Horiz.	Fe	Ca	Mg	K	P	Ti	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	V	Cd	Pb	Ba	Mo
----- mg L ⁻¹ -----																
T1 – Topolitosseqüência Serra do Salitre																
P1 – LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO típico (húmico)																
Ap	40046	5180	280	1680	340	22380	18	18	658	20	156	114	0	2	206	0
Bw2	35246	5280	280	1480	280	22180	16	18	394	14	144	104	0	2	188	0
P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico																
A	53846	2260	300	9860	720	15800	48	24	1040	30	206	124	0	10	438	0
Bi	54046	1680	300	9720	660	15960	42	26	1014	28	198	126	0	10	430	0
BC	60446	1600	540	11460	740	18520	46	32	968	30	202	150	0	10	424	0
P3 – NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico																
A	18446	2840	60	380	3060	5640	22	28	630	18	74	46	0	12	282	0
C	4726	520	60	100	100	2480	4	4	54	8	60	16	0	10	46	0
P4 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico																
A	15246	380	280	460	40	1340	18	12	152	82	304	36	0	48	14	0
Bw2	17046	480	80	840	20	1700	22	12	24	10	76	36	0	14	6	0
T2 – Topolitosseqüência Patrocínio																
P5 – LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO húmico																
Ap	116246	280	340	360	840	38180	54	32	646	106	2280	294	0	14	24	2
Bw2	112846	180	300	80	580	42180	44	24	692	82	2480	286	0	0	0	2
P6 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Ácrico típico																
A	87046	260	640	100	1160	81780	80	42	1142	88	2560	334	0	0	138	0
Bw2	87846	360	560	120	920	89180	60	36	1360	64	2440	324	0	0	150	0
P7 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico																
A	227846	18620	77400	740	4080	30180	266	68	3440	4680	7880	272	0	0	78	0
Bi	247846	10580	53200	560	2120	34580	294	46	5520	4200	14120	346	0	0	54	0
BC	323846	1900	17700	340	660	34380	342	44	7120	5040	18000	374	0	0	62	2
P8 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico																
Ap	73646	700	100	220	880	38180	42	44	514	74	960	272	0	0	90	0
Bw2	56246	700	120	160	520	34580	34	30	398	66	1160	214	0	0	74	0
T3 – Topolitosseqüência Coromandel																
P9 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico																
Ap	140846	80	240	160	720	33580	44	30	904	76	920	402	0	12	204	0
Bw2	117446	60	120	200	540	31980	28	36	402	48	720	358	0	18	50	0
P10 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico																
A	209846	460	3380	5240	1120	43180	118	62	2240	214	1280	416	0	0	1242	0
Bi	289846	580	7120	11000	1820	74580	166	134	3160	424	1760	598	8	0	1392	0
BC	235846	960	4340	22900	2680	66580	166	128	5680	338	1440	612	4	16	3478	0
P11 – LATOSSOLO VERMELHO Distroférico câmbico																
A	197046	180	140	300	920	21580	22	14	310	24	1000	450	0	10	172	0
Bw	137046	160	100	1200	520	19980	26	30	468	28	960	260	0	16	190	0
BC	112846	200	100	1260	360	20980	36	30	800	36	840	212	0	12	144	0

Horiz. = horizonte

Quadro 6 – Resultados do ataque triácido na fração argila dos principais horizontes diagnósticos dos solos das três topolitosseqüências estudadas

Horiz.	Fe	Ca	Mg	K	P	Ti	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	V	Cd	Pb	Ba	Mo
----- mg L ⁻¹ -----																
T1 – Topolitosseqüência Serra do Salitre																
P1 – LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO típico (húmico)																
Ap	130646	300	140	3740	2260	18080	56	124	414	108	226	260	0	20	480	4
Bw2	155246	120	140	3960	1540	20180	48	124	438	106	260	318	0	22	440	0
P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico																
A	90846	3080	1140	9920	3840	12960	126	158	176	114	190	234	0	16	480	0
Bi	109646	1820	780	9740	3200	15400	110	158	768	126	216	274	2	16	614	0
BC	121446	1140	840	10680	3080	17080	94	152	648	124	226	306	0	20	508	0
P3 – NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico																
A	54546	15280	100	1000	16000	9680	94	160	1620	110	140	120	0	18	658	0
C	110846	780	100	1000	7200	18580	54	100	230	110	280	320	0	38	438	0
P4 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico																
A	97846	0	60	6840	420	5400	26	84	92	42	276	266	4	16	0	0
Bw2	122446	40	100	6780	340	7460	24	78	120	40	914	284	0	12	14	0
T2 – Topolitosseqüência Patrocínio																
P5 – LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO húmico																
Ap	145246	120	80	420	1120	18520	26	38	132	64	1080	318	0	24	0	4
Bw2	152046	40	80	300	980	19820	22	32	134	62	1120	332	2	20	0	4
P6 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Ácrico típico																
A	102046	60	60	620	2200	24380	24	40	86	62	1640	322	0	60	212	4
Bw2	109246	60	60	460	1820	25180	28	38	94	58	1680	328	0	58	202	4
P7 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico																
A	160346	580	65000	950	1400	5480	224	90	2710	6800	400	65	0	13	73	0
Bi	239846	580	29800	1000	1800	4980	244	110	2540	6800	1220	70	0	0	0	0
BC	249846	380	15500	500	2000	4880	214	130	2400	6400	920	70	10	0	0	0
P8 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico																
Ap	161446	520	100	740	3060	24780	50	168	518	166	520	428	4	10	64	0
Bw2	203846	140	120	600	1960	28580	42	144	372	190	680	504	6	18	54	2
T3 – Topolitosseqüência Coromandel																
P9 – LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico																
Ap	139046	60	80	900	1100	24780	22	56	282	40	272	372	2	26	170	0
Bw2	142846	500	8240	20100	1960	25580	88	208	642	254	458	282	0	10	1070	2
P10 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico																
A	140246	0	80	580	740	16360	24	58	148	38	288	372	2	26	0	0
Bi	135646	380	13020	29500	2020	23980	118	218	922	304	240	218	0	6	1030	0
BC	115446	980	18680	32100	2400	25980	132	202	782	358	240	248	0	6	966	0
P11 – LATOSSOLO VERMELHO Distroférico câmbico																
A	141246	60	80	6180	1800	28580	36	86	240	38	332	320	0	22	498	0
Bt	211846	40	100	4060	1240	28580	24	108	260	42	560	394	4	18	258	0
BC	227846	60	120	5200	1420	30580	26	112	416	54	600	356	2	16	616	0

Horiz. = horizonte

3.2.3. Mineralogia da argila

A constituição mineralógica da fração argila das amostras dos solos estudados (Quadro 7 e Anexo 2) é composta basicamente por caulinita, gibbsita, goethita, hematita, anatásio, vermiculita com hidróxi entre camadas e illita.

Nos Latossolos dos perfis P1 e P4 da Topolitosseqüência Serra do Salitre a presença de caulinita, vermiculita com hidróxi entre camadas e illita poderia ser indicativo de solos menos evoluídos. Entretanto, ocorre concomitantemente a presença da gibbsita, o que indica um intenso processo de dessilificação atual sobre o tufito, em que parte do substrato, possivelmente de caráter mais amorfo, intemperiza diretamente para gibbsita, como afirmado por IBRAIMO (2000), em solos pouco desenvolvidos sobre rochas alcalinas. O mesmo se aplica aos perfis P7 e P2, desenvolvidos de rochas ígneas.

Quadro 7 – Composição mineralógica por difratometria de raios – X da fração argila de horizontes dos solos das três topolitosseqüências estudadas

Topolitosseqüência	Perfil	Horizonte	Composição mineralógica da fração argila
Serra do Salitre	P1	A	Il, Ct, Gb, Qz, An
		Bw2	VHE, Il, Ct, Gb, Qz, An
	P2	A	Esm, Il, Ct, Gb, Qz, An
		Bi	Esm, Il, Ct, Gb, Qz, An
	P3	A	VHE, Il, Ct, Gb, Qz, An
		C	VHE, Il, Ct, Gb, Qz, An
	P4	A	VHE, Il, Ct, Gb, Gt, Qz, An
		Bw2	VHE, Il, Ct, Gb, Gt, Qz, An
Patrocínio	P5	Ap	Ct, Gb, Qz, An
		Bw2	Ct, Gb, Qz, An
	P6	A	Ct, Gb, Gt, Qz, An
		Bw2	Ct, Gb, Gt, Qz, An
	P7	A	VHE, Il/Esm, Ct, Gb, Gt, Qz, An
		Bi	VHE, Il/Esm, Ct, Gb, Gt, Qz, An
	P8	Ap	VHE, Ct, Gb, Qz, An
		Bw2	VHE, Ct, Gb, Qz, An
Coromandel	P9	Ap	VHE, Ct, Gb, Qz, An
		Bw2	VHE, Ct, Gb, Qz, An
	P10	A	Esm, Il, Ct, Gb, Qz, An
		Bi	Esm, Il, Ct, Gb, Qz, An
	P11	A	Il, Ct, Gb, Gt, Qz, An
		Bw	Il, Ct, Gb, Gt, Qz, An

Il = illita; Ct = caulinita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = gibbsita; Gt = goethita; Esm = esmectita; Qtz = quartzo; An = anatásio

4. CONCLUSÕES

Os Latossolos do Alto Paranaíba são extremamente intemperizados e com índices Ki e Kr muito baixos, indicativos de solos ricos em óxidos de ferro e alumínio. Com base nos dados químicos e físicos de rotina, os Latossolos apresentam extremo grau de intemperismo, não possuindo uma filiação definida com os materiais de origem subjacentes, em virtude de intensa pedoturbação e provável mistura com materiais alóctones.

Entre os solos mais jovens, os dados químicos indicam a filiação máfica (P2) ou ultramáfica (P7 e P10) nos Cambissolos, enquanto no P3 de Neossolo Litólico da toposseqüência Serra do Salitre, mesmo em textura arenosa, ocorre horizonte A chernozêmico, em virtude da riqueza em apatita do material quartzítico, proveniente do enriquecimento decorrente do magmatismo máfico/ultramáfico.

As assinaturas geoquímicas mais evidentes da natureza ultramáfica (P7) foram os teores elevados de Cr, Ni e Mn, além de Fe e Mg. Nos perfis P10 e P2 de Cambissolos, os elevados teores de Ba, K, P e Ti, além de Fe e Mn, denotam o caráter máfico misto, com presença atípica de minerais micáceos, provenientes do vulcanismo explosivo, sendo, portanto, muito distintos do vulcanismo basáltico, pobre em K.

A mineralogia da fração argila dos Latossolos indica a coexistência de VHE, caulinita, gibbsita e anatásio, evidenciando uma gênese policíclica dos minerais da fração mais fina e o extremo grau de intemperismo alcançado. Nos

Cambissolos, a rápida dessilificação atual conduz à coexistência de gibbsita e óxidos de ferro com esmectitas e illitas, em virtude da rápida ação do intemperismo em substratos pobres em sílica, como é o caso das rochas máficas ou ultramáficas-alcálicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., CATARUTI, R.B., LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 5 aproximação. Viçosa, MG. 1999. 359p.
- BALDOCK, J.W. Calcite and the mineralogy of residual soil from the Bukusu carbonatite complex, south-eastern Uganda. **Mineral. Mag.**, 36:770-774, 1968.
- BARBOSA, O., BRAUN, O.P.G., DYER, R.C., CUNHA, C.A.B.R. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, 1970. Bol. 136, 140p.
- CARMO, D.N., CURI, N., RESENDE, M. Caracterização e gênese de Latossolos da Região do Alto Paranaíba -MG. **R. Bras. Ci. Solo**, 8:235-240, 1984.
- COEY, J.M.D., FABRIS, J.D., RESENDE, M. ^{57}Fe Mössbauer studies of oxisols. **Hyperfine Int.**, Basel, 66:51-62, 1991.
- CURI, N., FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 48:341-346, 1984.
- CURI, N., FRANZMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some oxisols in Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 51:153-158, 1987.
- DIXON, J.B. Kaolin and serpentine group minerals. In: DIXON, J.B., WEED, S.B., (Ed.). **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.467-526.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Definição e notação de horizontes e camadas do solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1988a. 54p. (Documentos SNLCS, 3).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS**. Rio de Janeiro, 1988b. 67p. (Documentos SNLCS, 11).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1988c. 425p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos e análises de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 247p.
- FERNANDES, R.B.A. **Atributos mineralógicos, cor, adsorção e desorção de fosfatos em Latossolos do Sudeste brasileiro**. Viçosa, UFV, 2000. 265p. (Tese de Doutorado).
- FERREIRA, S.A.D., SANTANA, D.P., FABRIS, J.D., CURI, N., NUNES FILHO, E., COEY, J.M.D. Relações entre magnetização, elementos traços e litologia de duas seqüências de solos do Estado de Minas Gerais. **R. Bras. Ci Solo**, 18:167-174, 1994.
- FITZPATRICK, R.W. **Occurrence and properties of iron and titanium oxid soils along the eastern seaboard of South Africa**. Natal, University Natal, 1978. (Tese Ph.D.).
- GUIMARÃES, D. **Contribuição ao estudo dos tufos vulcânicos da Mata da Corda**. Belo Horizonte: Instituto Técnico Industrial, 1955. 27p. (Boletim, 18)
- HARRIS, P.M. Pandaite from Mrima Hill niobium deposit (Kenya). **Miner. Mag.**, 35:277-290, 1966.
- HUDSON, D.R. The vanadium-bearing magnetite gabbro at Coastes, Western Australia. **J. R. Soc. West. Austral.**, 50:60-64, 1967.
- IBRAIMO, M.M. **Solos sob caatinga da região dos lagos, RJ: gênese e relações geomorfológicas**. Viçosa, UFV, 2000. 82p. (Tese de Mestrado).
- KÄMPF, N., SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos caulíníticos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 7:27-31, 1983.

- KÄMPF, N., SCHWERTMANN, U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays and Clays Miner.**, 30(6):401-408, 1982.
- KÄMPF, N. O ferro no solo. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1, Goiânia, 1988. **Anais...** Goiânia, EMBRAPA – CNPAF, 1988, p. 35 – 71.
- KÄMPF, N., RESENDE, M., CURTI, N. Iron oxides in Brazilian Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: CLASSIFICATION, CHARACTERIZATION AND UTILIZATION OF OXISOLS, 8, 1986, Rio de Janeiro, Part 1. **Proceedings...** Rio de Janeiro: EMBRAPA, SMSS, AID, UPR, 1988. p. 71-77.
- KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**. Viçosa, UFV, 1995. 181p. (Tese de Doutorado).
- LEMOS, R.C.de, SANTOS, R.D.dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 83p.
- McKEAGUE, J.A., DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil. **Can. J. Soil Sci.**, 46:13-22, 1966.
- MEHRA, J.P., JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Miner.**, 7(4):317-327, 1960.
- MELFI, A.J., PEDRO, G., NALOVIC, L., QUEIROZ NETO, J.P. Étude sur l'alteration géochimique des itabirites du Brésil. Dissolution du quartz et instabilité de l'hématite primaire en conditions tropicales hydrolysantes. **Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.**, 3:179-192, 1976.
- MIKLÓS, A.A.W. **Byodinâmica d'une cobertura pedológica dans la region de Botucatu, Brésil**. Paris. Université Paris, 1992. 438p. (Tese Doutorado).
- MILNES, A.R., FITZPATRICK, R.W. Titanium and Zirconium Minerals. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Ed.) **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.1131-1194.
- OLIVEIRA, J.B. de, JACOMINE, P.K.T., CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.
- PRATT, P.F. **Química do solo**. Rio de Janeiro: MA/DPFS – USAID/Brasil, 1966. 88p. (mimeogr.).
- RAMOS, D.P. **Latossolos brasileiros: um novo enfoque para o reconhecimento de características diferenciais**. Piracicaba, SP, ESALQ, 1981. 184p. (Tese de Doutorado).

- RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**. West Laffayette, Purdue University, 1976. 237p. (Tese Ph.D).
- RESENDE, M., SANTANA, D.P., FRANZMEIER, D.P., COEY, J.M.D. Magnetic properties of Brazilian Oxisols. In: CAMARGO, M.N., BEINROTH, F.H., (Ed.). INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1986, Rio de Janeiro/Brasília: EMBRAPA–SNLCS and USDA-SCS/SMSS, 1986. p.78-108.
- RESENDE, M., SANTANA, D.P. Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para a classificação dos Latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1988, EMBRAPA – SNLCS, SBCS, 1988. p. 225-232.
- SCHAEFER, C.E.G.R. Relatório final: geomorfologia. In: MUNIZ, J.N., RAMOS, M.M. (Coord). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba**. 1999. Convênio FUNARBE/Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – Rural Minas.
- SCHWERTMANN, U. The effect of environments on iron oxide minerals. **Adv. Soil Sci.**, 1:172-200, 1985.
- TESSENS, E., ZAUZYAH, S. Positive permanent charge in Oxisol. **Soil Sci. J.**, 46:1103-1106, 1982.
- Van Der VEEN, A.H. Calzirtite and associated minerals from Tapira, Brasil. **Minerals. Mag.**, 35:544-546, 1966.

ANEXOS

Anexo 1 – Descrição dos perfis dos solos estudados

Perfil 1

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico (húmico)

Localização: domo da Serra do Salitre, no Município Salitre de Minas - MG

Coordenadas (UTM): 310.081 m E; 7.894.545 m N

Altitude: 1050 metros

Formação geológica: TQ (Coberturas Terciárias) sobre rochas alcalinas/ultramáficas

Litologia: rochas alcalinas

Situação e declive: terço superior de encosta com 4-5 % de declividade

Relevo: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação: floresta subperenifólia

Uso atual: pastagem de brachiaria

Descrição Morfológica

Ap - 00 – 25 cm; 5YR 3/3, úmido; argila; fraca, pequena, blocos subangulares; muito friável, plástico, pegajoso; raízes comuns; transição difusa.

BA - 25 – 60 cm; 2,5YR 3/4 úmido; argila; fraca, pequena, blocos subangulares; firme, plástico, pegajoso; poucas raízes; transição difusa.

Bw₁ - 60 – 100 cm; 2,5YR 3/6; argila; maciço poroso / forte, muito pequena, granular e fraca, pequena a média, blocos subangulares; friável, plástico, pegajoso; poucas raízes; transição difusa.

Bw₂ - 100 – 150 cm⁺; 2,5YR 3/6; argila, maciço poroso / forte, muito pequena, granular; friável, plástico, pegajoso; raízes raras.

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Perfil 2

Classificação: CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico

Localização: domo da Serra do Salitre, no Município Salitre de Minas - MG

Coordenadas (UTM): 309.815 m E; 7.894.800 m N

Altitude: 1040 metros

Formação geológica: rochas ígneas alcalinas/máficas – Grupo Iporá

Litologia: produto da decomposição de rochas alcalinas/máficas

Situação e declive: terço médio/inferior de encosta com 35 % de declividade

Relevo: forte ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação: floresta subperenifólia

Uso atual: pastagem

Descrição Morfológica

Ap - 00 – 25 cm; 5YR 3/2, úmido; franco argiloso; moderada, pequena a média, blocos subangulares; friável, plástico, pegajoso; raízes comuns; transição ondulada e gradual.

Bi - 25 – 40 cm; 5YR 3/4 úmido; franco argiloso/argila; moderada, média, blocos subangulares; friável, plástico, pegajoso; poucas raízes; transição ondulada e difusa.

BC - 40 – 65 cm; mistura de material do Bi com manchas do Cr.

Cr - 65 – 140 cm; dunito intemperizado.

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Perfil 3

Classificação: NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico

Localização: domo da Serra do Salitre, no Município Salitre de Minas – MG

Coordenadas (UTM): 309.815 m E; 7.894.800 m N

Altitude: 1030 metros

Formação geológica: rochas ígneas alcalinas/máficas com veios de apatita – Grupo Iporá

Litologia: produto da decomposição de rochas alcalinas/ultramáficas

Situação e declive: terço médio/inferior de encosta com 35 % de declividade

Relevo: forte ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação: floresta subperenifólia

Uso atual: pastagem

Descrição Morfológica

A - 00 – 60 cm;*

Cr - 60 – 100 cm;*

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

* = os horizontes não foram totalmente descritos no campo.

Perfil 4

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico

Localização: próximo à Serra do Salitre, lado direito da BR-146, sentido Araxá – Catiara, no Município de Catiara – MG.

Coordenadas (UTM): 320.109 m E; 7.874.865 m N

Altitude: 1020 metros

Formação geológica: Pré-Cambriano – Grupo Bambuí, Formação Ibiá

Litologia: produtos da decomposição das rochas da Formação Ibiá (calco-clorita-xistos)

Situação e declive: terço superior de encosta com 5 % de declividade

Relevo: plano a suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação: cerrado/campo cerrado

Uso atual: cultura de milho

Descrição Morfológica

Ap - 00 – 10 cm; 5YR 3/3, úmido; franco argiloso; fraca, pequena, blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes comuns; transição gradual.

A - 10 – 35 cm; 5YR 4/3 úmido; argilo arenoso; fraca, pequena, blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; poucas raízes; transição gradual.

BA - 35 – 55 cm; 5YR 4,5/4 úmido; argila; fraca, média, blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; poucas raízes; transição difusa.

Bw₁ - 55 – 75 cm; 4YR 3,5/6 úmido; argila; maciço poroso; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; poucas raízes; transição difusa.

Bw₂ - 75 – 110 cm; 2,5YR 3,5/6 úmido; argila; maciço poroso; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; poucas raízes; transição difusa.

Bw₃ - 110 – 150 cm⁺; 2,5YR 3,5/6 úmido; argila; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; raras raízes.

Observação: linha de pedras abaixo de 1,50 m, com espessura superior a 1,0 m; fragmentos angulosos de quartzo.

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Perfil 5

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico

Localização: topo da Serra Negra, no Município de Patrocínio – MG

Coordenadas (UTM): 307.071 m E; 7.912.504 m N

Altitude: 1200 metros

Formação geológica: dunito – Grupo Iporá

Litologia: produtos da decomposição do dunito (rocha ultramáfica)

Situação e declive: terreno plano com 1 – 2 % de declividade

Relevo: plano

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação: floresta subperenifólia

Uso atual: cultura de café

Descrição Morfológica

Ap - 00 – 30 cm; 5YR 3/3, úmido; argila; fraca, pequena, blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes comuns; transição gradual.

BA - 30 – 50 cm; 4YR 3/4 úmido; argila; fraca, pequena, blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; poucas raízes; transição difusa.

Bw₁ - 50 – 80 cm; 2,5YR 3/5 úmido; argila; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; friável, plástico, pegajoso; raízes raras; transição difusa.

Bw₂ - 80 – 150 cm⁺; 2,5YR 3/6 úmido; argila; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; friável, plástico, pegajoso; raízes raras.

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Perfil 6

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Ácrico típico

Localização: próximo à lagoa da Serra Negra, no Município de Patrocínio – MG.

Coordenadas (UTM): 307.472 m E; 7.910.915 m N

Altitude: 1160 metros

Formação geológica: dunito - Grupo Iporá

Litologia: produtos da decomposição do dunito (rocha ultramáfica)

Situação e declive: terço inferior de encosta com 4 – 5 % de declividade

Relevo: suave ondulado

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação: floresta subperenifólia/cerrado

Uso atual: cultura de café

Descrição Morfológica

A - 00 – 15 cm; 5YR 3,5/3, úmido; argilo arenoso; fraca, pequena, blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes comuns; transição difusa.

BA - 15 – 40 cm; 5YR 4/3 úmido; argilo arenoso; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; poucas raízes; transição difusa.

Bw₁ - 40 – 80 cm; 5YR 4/4 úmido; argila; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; poucas raízes; transição difusa.

Bw₂ - 80 – 125 cm; 5YR 4/4 úmido; argila; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; friável, plástico, pegajoso; raízes raras; transição difusa.

Bw₃ - 125 – 160 cm⁺; 5YR 4/6 úmido; argila; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; friável, plástico, pegajoso; raras raízes.

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Perfil 7

Classificação: CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico

Localização: borda da cratera da Serra Negra, no Município de Patrocínio - MG

Coordenadas (UTM): 305.411 m E; 7.912.460 m N

Altitude: 1000 metros

Formação geológica: dunito – Grupo Iporá

Litologia: ígneas ultrabásicas (dunitos)

Situação e declive: encosta com 25 – 30 % de declividade

Relevo: forte ondulado

Erosão: laminar ligeira

Drenagem: bem drenado

Vegetação: floresta subperenifólia

Uso atual: floresta degradada e pastagem

Descrição Morfológica

A - 00 – 30 cm; 5R 3/3 úmido; franco argiloso; fraca, pequena, blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; muitas raízes; transição difusa.

Bi - 30 – 50 cm; 2,5YR 3/4 e 7,5YR 4/4, úmido; franco argiloso; fraca, pequena a média, blocos subangulares; friável a muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes comuns; transição difusa.

BC - 50 – 60 cm; 2,5YR 3/4 úmido; franco argiloso; maciço coerente; duro, firme, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes raras; transição ondulada e abrupta.

Cr - 60 – 100 cm; 10YR 7/2 e 5Y 5/4; dunito muito intemperizado.

Observação: manchas de material endurecido, constituído por rocha laterizada (canga).

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Perfil 8

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico

Localização: lado direito da entrada que dá acesso à Serra Negra, no Município de Patrocínio – MG

Coordenadas (UTM): 304.725 m E; 7.915.023 m N

Altitude: 950 metros

Formação geológica: Pré-Cambriano superior: Grupo Bambuí

Litologia: coberturas coluviais do desmonte da Serra Negra, com contribuição de rochas ultrabásicas

Situação e declive: terço médio de encosta com 2 - 3 % de declividade

Relevo: plano

Erosão: não aparente

Drenagem: bem drenado

Vegetação: floresta subperenifólia

Uso atual: pastagem de brachiaria

Descrição Morfológica

Ap - 00 – 15 cm; 10R 3/3, úmido; argila arenosa; fraca, pequena a média, blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes abundantes; transição difusa.

AB - 15 – 40 cm; 10R 3/4 úmido; argila; fraca, pequena a média, blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes comuns; transição difusa.

BA - 40 – 70 cm; 10R 3/5 úmido; argila; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; poucas raízes ; transição difusa.

Bw₁ - 70 – 120 cm; 10R 3/6 úmido; argila; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes raras; transição difusa.

Bw₂ - 120 – 150 cm⁺; 10R 3/6 úmido; argila; maciço poroso e forte, muito pequena, granular; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes raras.

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Perfil 9

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico

Localização: lado direito da rodovia, saída de Coromandel para Abadia dos Dourados, no Município de Coromandel - MG

Coordenadas (UTM): 263.831 m E; 7.954.446 m N

Altitude: 970 metros

Formação geológica: tufito – Formação Mata da Corda

Litologia: TQ (coberturas cenozóicas) sobre tufito da Formação Mata da Corda

Situação e declive: terço superior de elevação com 4 – 5 % de declividade

Relevo: suave ondulado

Erosão: não aparente a laminar moderada

Drenagem: bem drenado

Vegetação: cerrado

Uso atual: pastagem de brachiaria

Descrição Morfológica

Ap - 00 – 10 cm; 2,5YR 3/4, úmido; argila; fraca, pequena a média, granular a blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; muitas raízes; transição difusa.

BA - 10 – 30 cm; 2,5YR 3/5 úmido; argila; fraca, pequena a média, granular a blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes comuns; transição difusa.

Bw₁ - 30 – 100 cm; 10R 3/5 úmido; argila; fraca, pequena a média, granular a blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; poucas raízes; transição difusa.

Bw₂ - 100 – 200 cm⁺; 10R 3/6 úmido; argila; fraca, pequena a média, granular a blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; raízes raras.

Observação: horizonte Ap, parcialmente decapitado em, aproximadamente, 10 cm.

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Perfil 10

Classificação: CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico

Localização: lado esquerdo da rodovia, saída de Coromandel para Abadia dos Dourados, no Município de Coromandel - MG

Coordenadas (UTM): 263.234 m E; 7.954.124 m N

Altitude: 960 metros

Formação geológica: Formação Mata da Corda – tufos piroclásticos

Litologia: tufitos

Situação e declive: terço médio de encosta com 25 – 30 % de declividade

Relevo: forte ondulado

Erosão: não aparente a laminar moderada

Drenagem: bem drenado

Vegetação: cerrado/floresta subcaducifólia

Uso atual: pastagem nativa

Descrição Morfológica

A - 00 – 20 cm; 5YR 3/4, úmido; franco argiloso com cascalho petroplíntico (> 50 %); moderado, pequena a média, blocos subangulares; friável, plástico, pegajoso; raízes comuns; transição gradual.

Bi - 20 – 60 cm; 5YR 4/4 úmido; argila siltosa; moderada, média, blocos subangulares; friável, plástico, pegajoso; raízes comuns; transição gradual.

BC - 60 – 100 cm; 2,5YR 6/2 e 5YR 4/4 úmido; franco argilo arenoso (siltoso); maciço coerente; firme a muito firme, plástico, ligeiramente pegajoso; poucas raízes; transição clara.

Cr - 100 – 180 cm⁺ - tufito intemperizado.

Observação: - presença de cascalho petroplíntico em mais de 50 % do horizonte A.

- constatação no campo de textura ao tato, com muita areia fina e silte, no horizonte BC.

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Perfil 11

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico câmbico

Localização: lado direito da rodovia 175, sentido Patrocínio - Coromandel

Coordenadas (UTM): 304.725 m E; 7.915.023 m N

Altitude: 920 metros

Formação geológica: canga laterítica sobre saprolito do Grupo Bambuí

Litologia: sedimentos coluviais com provável mistura de tufitos e produtos da decomposição das rochas do Grupo Bambuí

Situação e declive: terço médio/inferior de encosta com 30 % de declividade

Relevo: forte ondulado

Erosão: laminar ligeira a moderada

Drenagem: bem drenado

Vegetação: campo cerrado

Uso atual: pastagem natural

Descrição Morfológica

A - 00 – 30 cm; 6YR 4/4, úmido; franco argilo arenoso, cascalhenta petroplíntica (> 50 %); muitas raízes; transição gradual.

AB - 30 – 50 cm; 5YR 4/4 úmido; franco argilo arenoso, cascalhenta petroplíntica (> 50 %); raízes comuns; transição clara.

Bw - 50 – 80 cm; 2,5YR 3/6 úmido; argila, cascalhenta petroplíntica (> 50 %); fraca a moderada, média a grande, blocos subangulares; firme, plástico, pegajoso; raízes raras; transição clara.

BC - 80 – 100 cm; 2,5YR 3,5/6 úmido; argila com pouco cacalho petroplíntico; fraca a moderada, média a grande, blocos subangulares; firme, plástico, pegajoso; raízes raras; transição gradual.

Cr - 100 – 130 cm⁺ - rocha em diversos estádios de intemperização.

Observação: - Não foi possível determinar a consistência devido à presença de muitas concreções, nos horizontes A e AB.

- Presença de cerosidades fracas a comuns, nos horizontes Bw e BC.

Descrito e coletado por Carlos Ernesto Schaefer, Antônio Francisco Sá e Melo Marques, Flávia Cristina dos Santos e Fernando Cartaxo Rolim Neto.

Anexo 2 – Difratoogramas de raios X

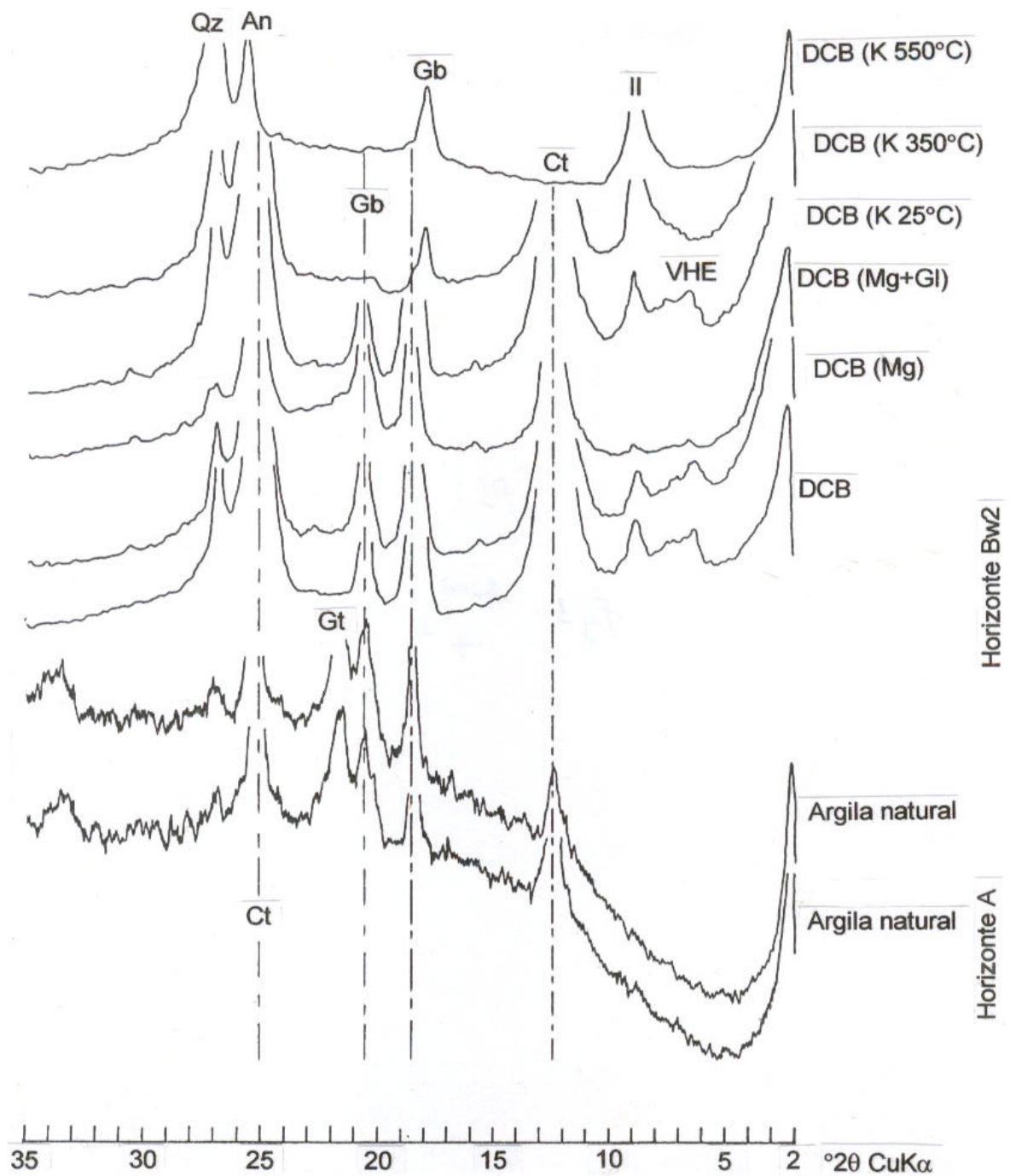


Figura 1 – Difratoogramas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes A e Bw2 do Perfil 1 de Latossolo Vermelho ácrico típico da Topolitosseqüência Serra do Salitre (VHE - vermiculita com hidróxi entre camadas; Il – illita; Ct – caolinita; Gb – gibbsita; An - anatásio; Qz - quartzo).

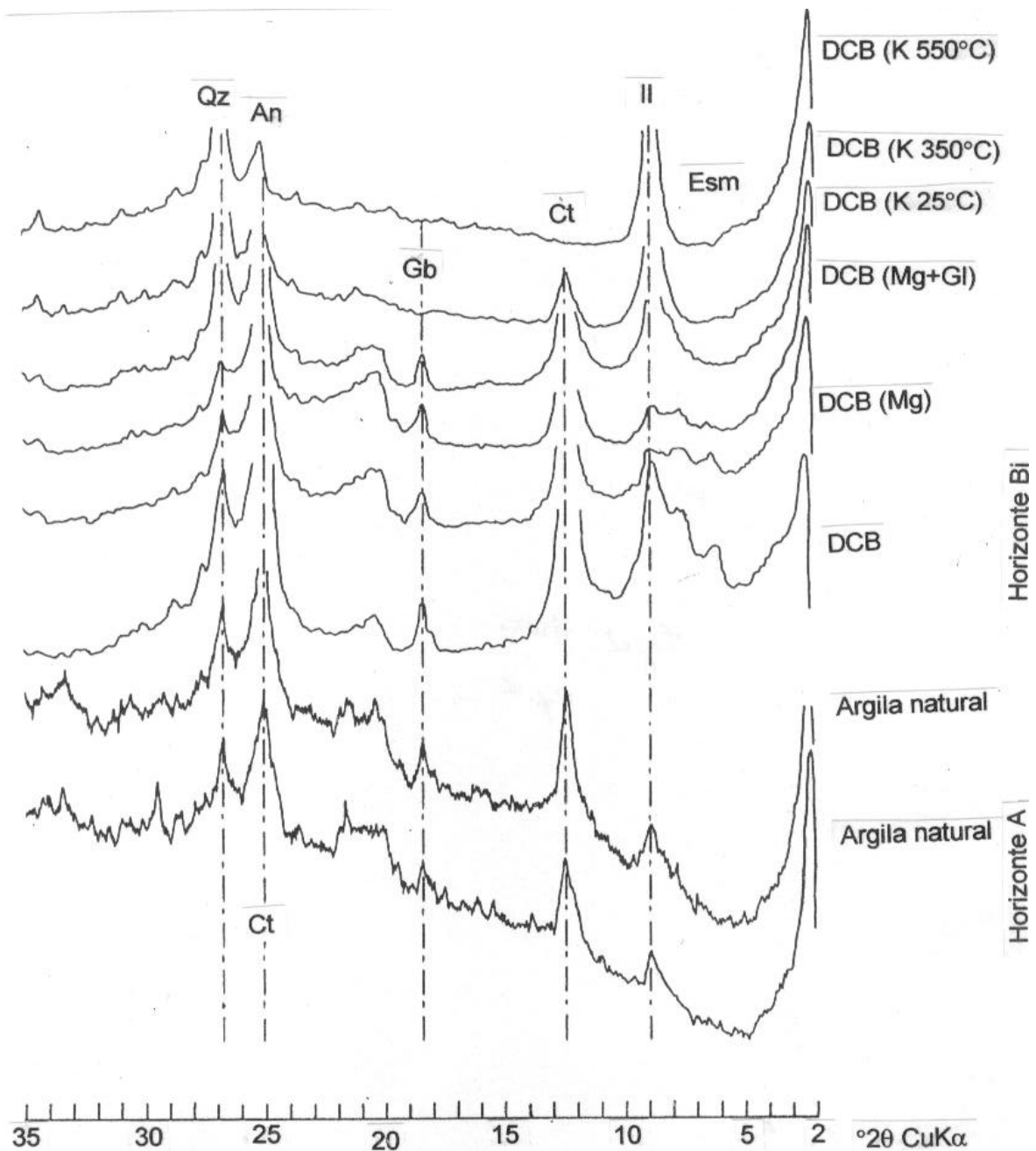


Figura 2 – Difratogramas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes A e Bi do Perfil 2 de Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico da Topolitosseqüência Serra do Salitre (Esm – esmectita; II – illita; Ct – caulinita; Gb – gibbsita; An - anatásio; Qz - quartzo).

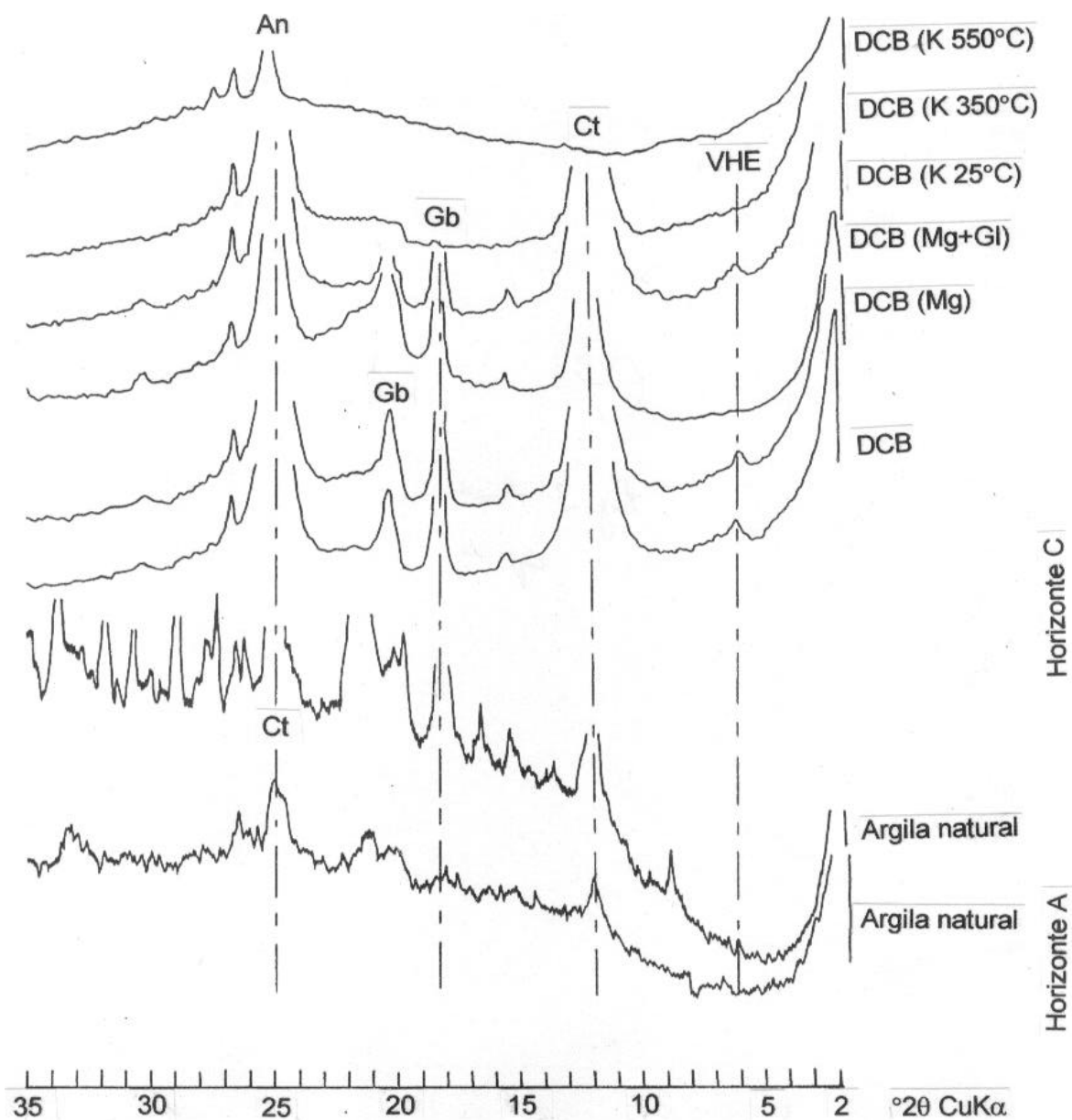


Figura 3 – Difratoqramas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes A e C do Perfil 3 de Neossolo Litólico húmico típico da Topolitosseqüência Serra do Salitre (VHE - vermiculita com hidróxi entre camadas; Il - ilita; Ct - caulinita; Gb - gibbsita; An - anatásio; Qz - quartzo).

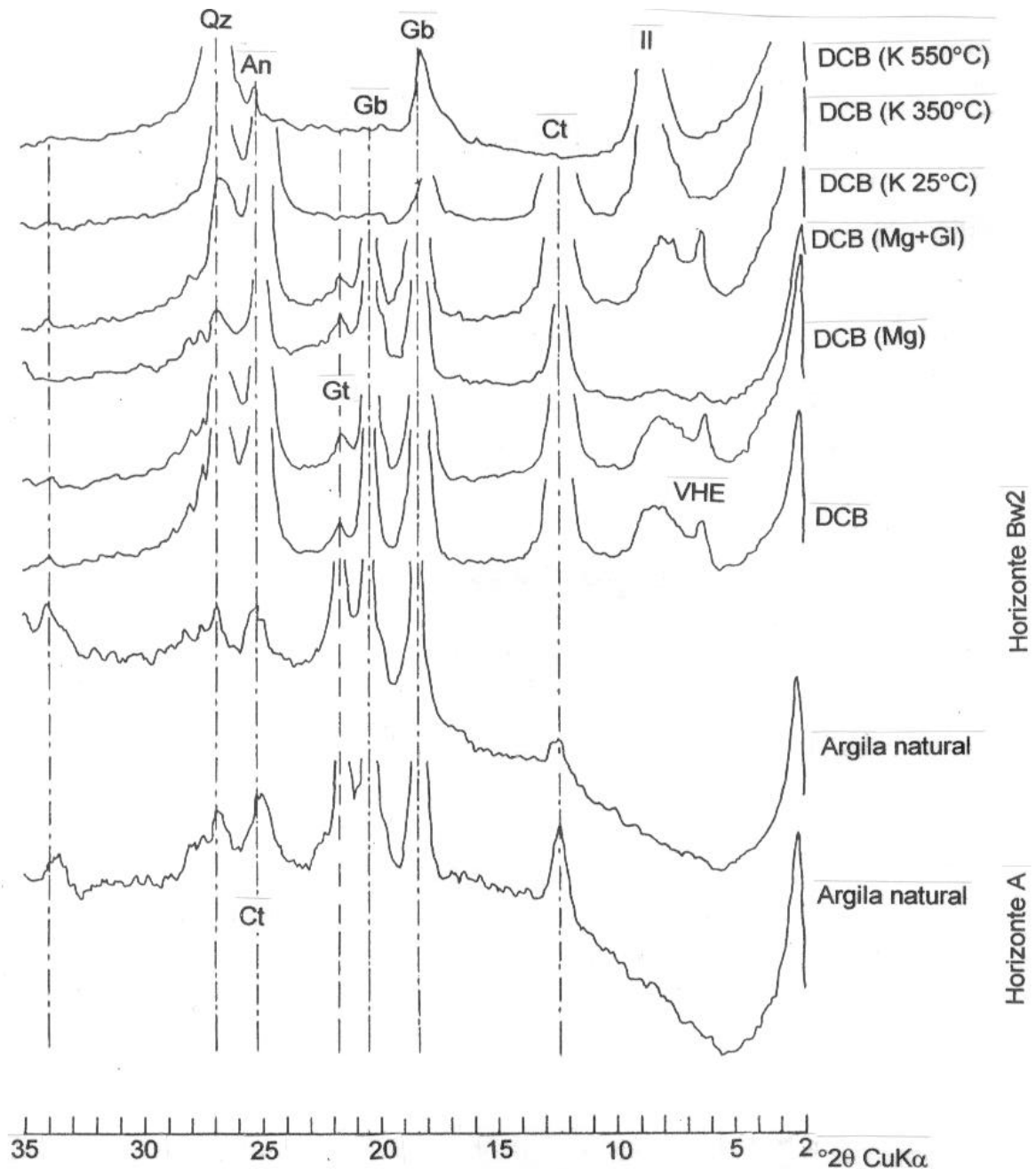


Figura 4 – Difratoformas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes A e Bw2 do Perfil 4 de Latossolo Vermelho ácido típico da Topolitosseqüência Serra do Salitre (VHE - vermiculita com hidroxi entre camadas; Il – ilita; Ct – caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita; An - anatásio; Qz - quartzo).

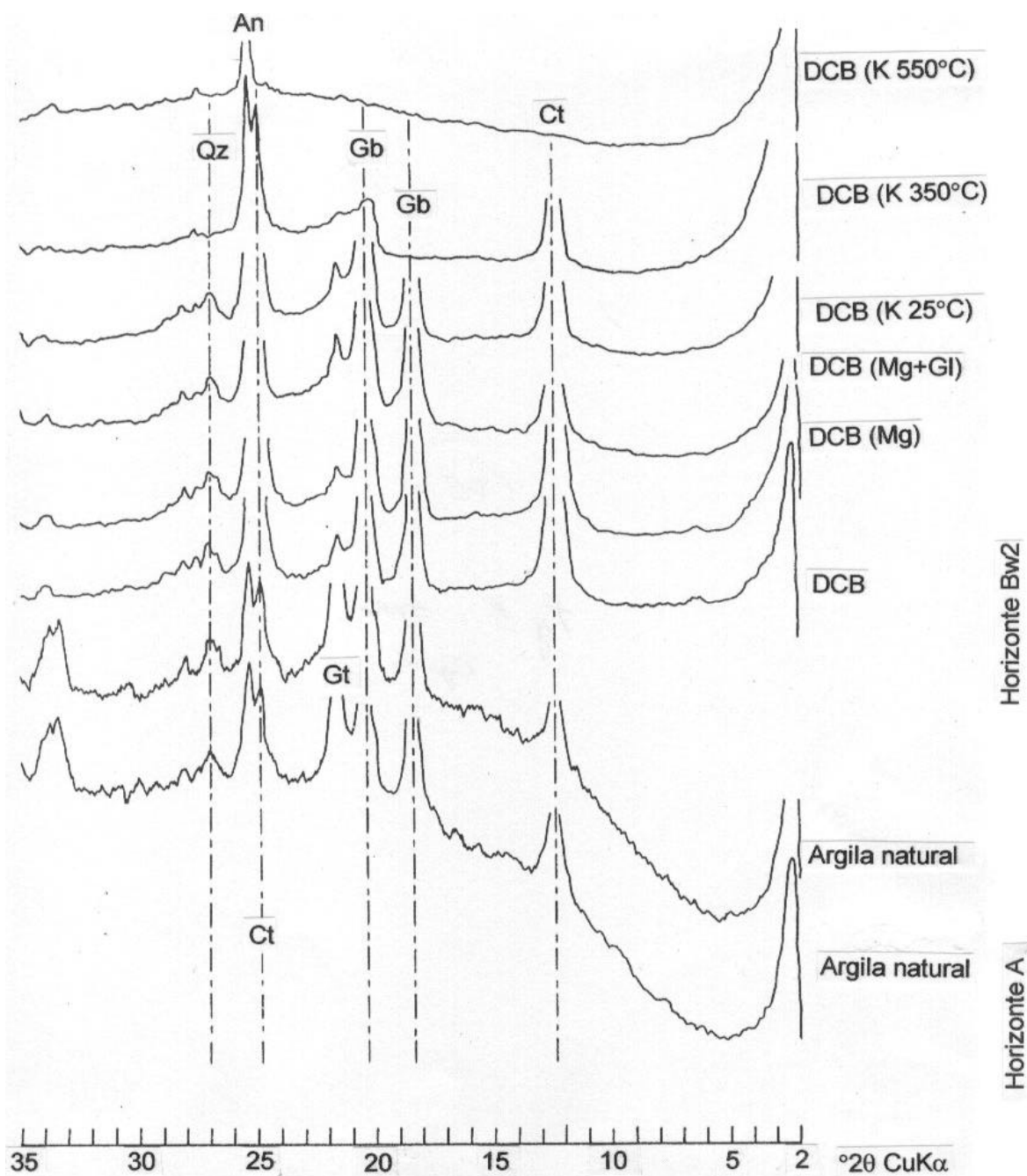


Figura 5 – Difratoogramas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes Ap e Bw2 do Perfil 5 de Latossolo Vermelho distrófico húmico da Topolitosseqüência Patrocínio (Ct – caulinita; Gb – gibbsita; An - anatásio; Qz - quartzo).

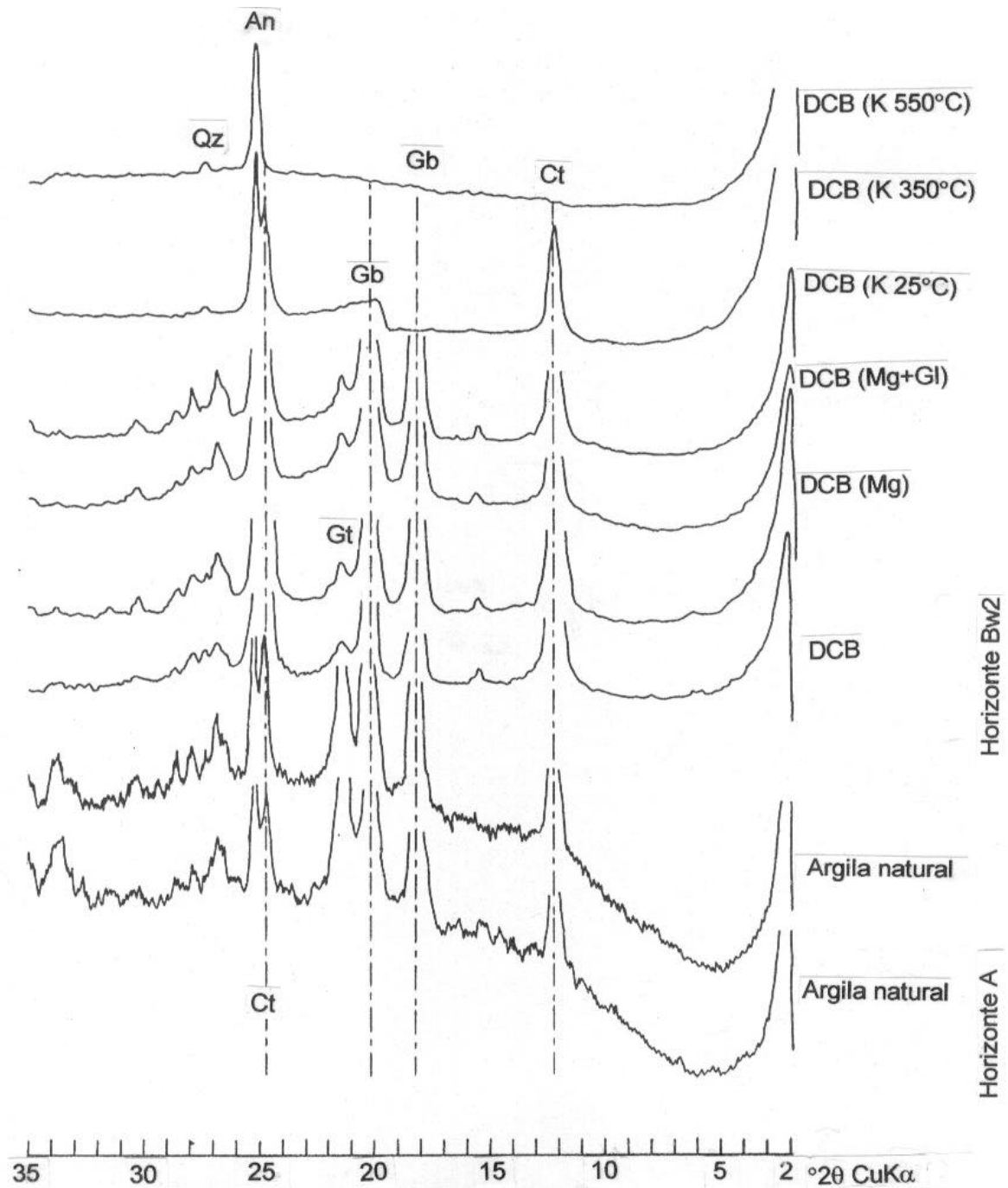


Figura 6 – Difratogramas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes A e Bw2 do Perfil 6 de Latossolo Vermelho Amarelo ácrico típico da Topolitosseqüência Patrocínio (Ct – caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita; An - anatásio; Qz - quartzo).

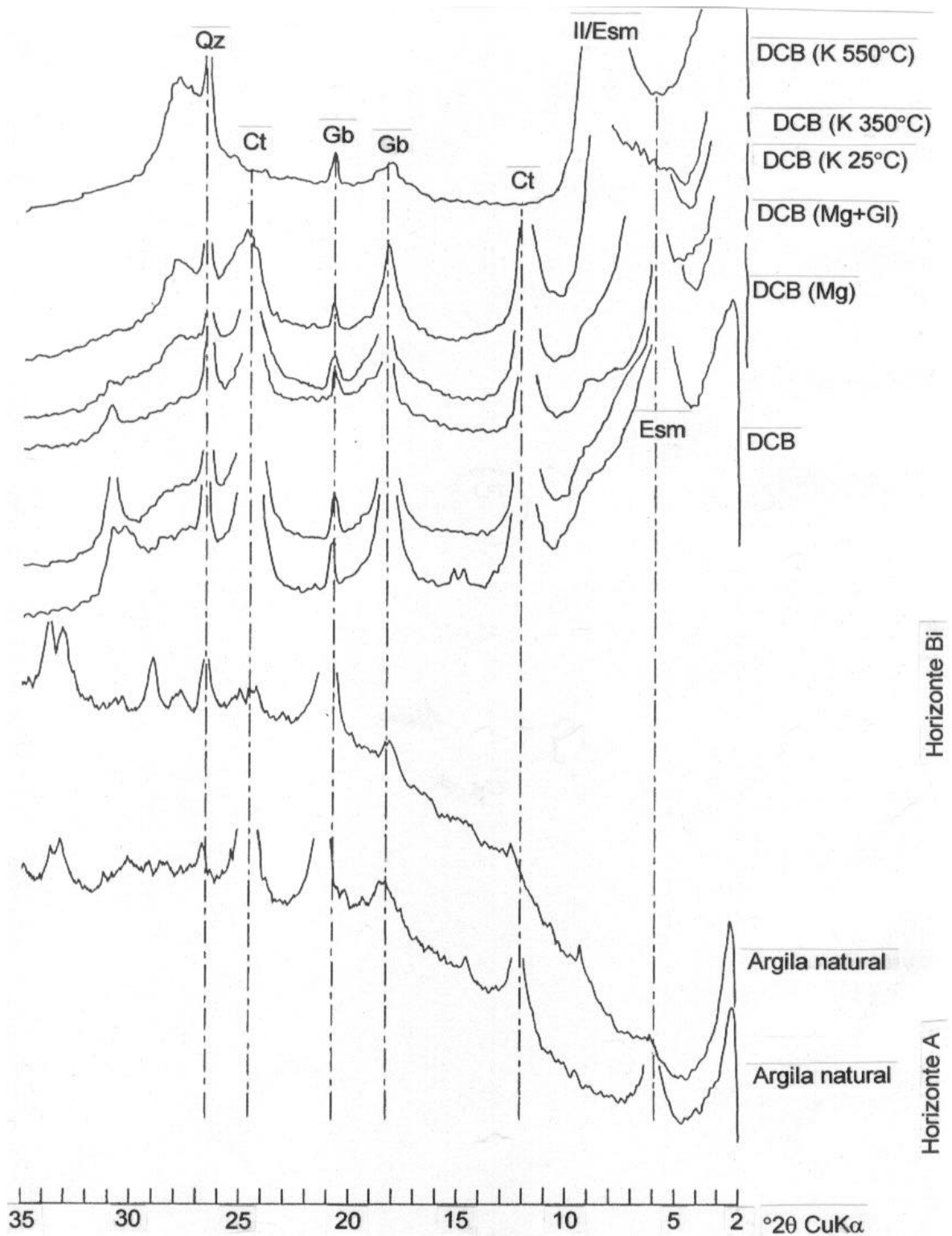


Figura 7 – Difratogramas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes A e Bi do Perfil 7 de Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico da Topolitosseqüência Patrocínio (Esm – esmectita; Il – ilita; Ct – caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita; An - anatásio; Qz - quartzo).

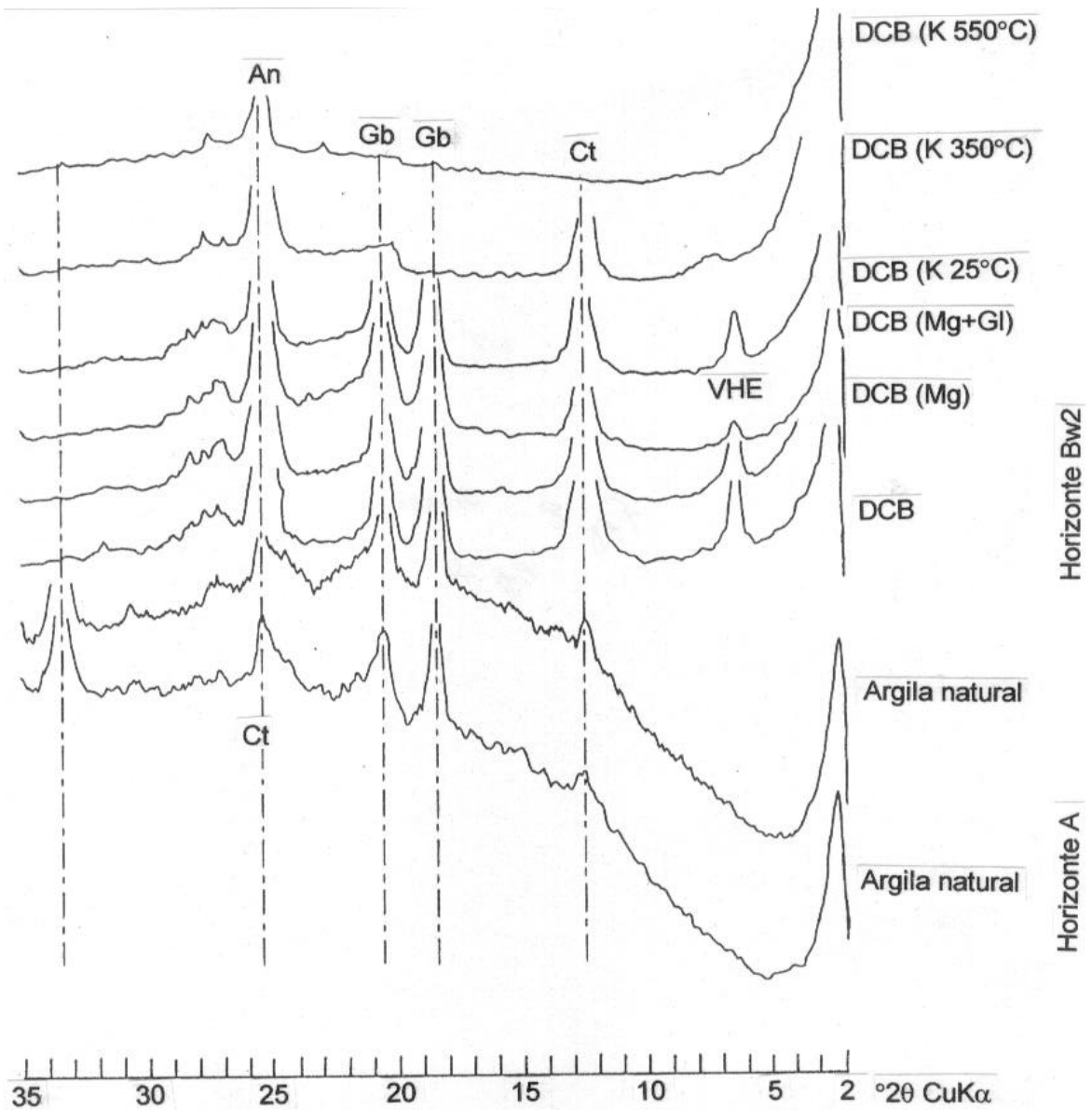


Figura 8 – Difractogramas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes Ap e Bw2 do Perfil 8 de Latossolo Vermelho distrófico húmico da Topolitosseqüência Patrocínio (VHE – vermiculita com hidróxi entre camadas; Ct – caulinita; Gb – gibbsita; An - anatásio; Qz - quartzo).

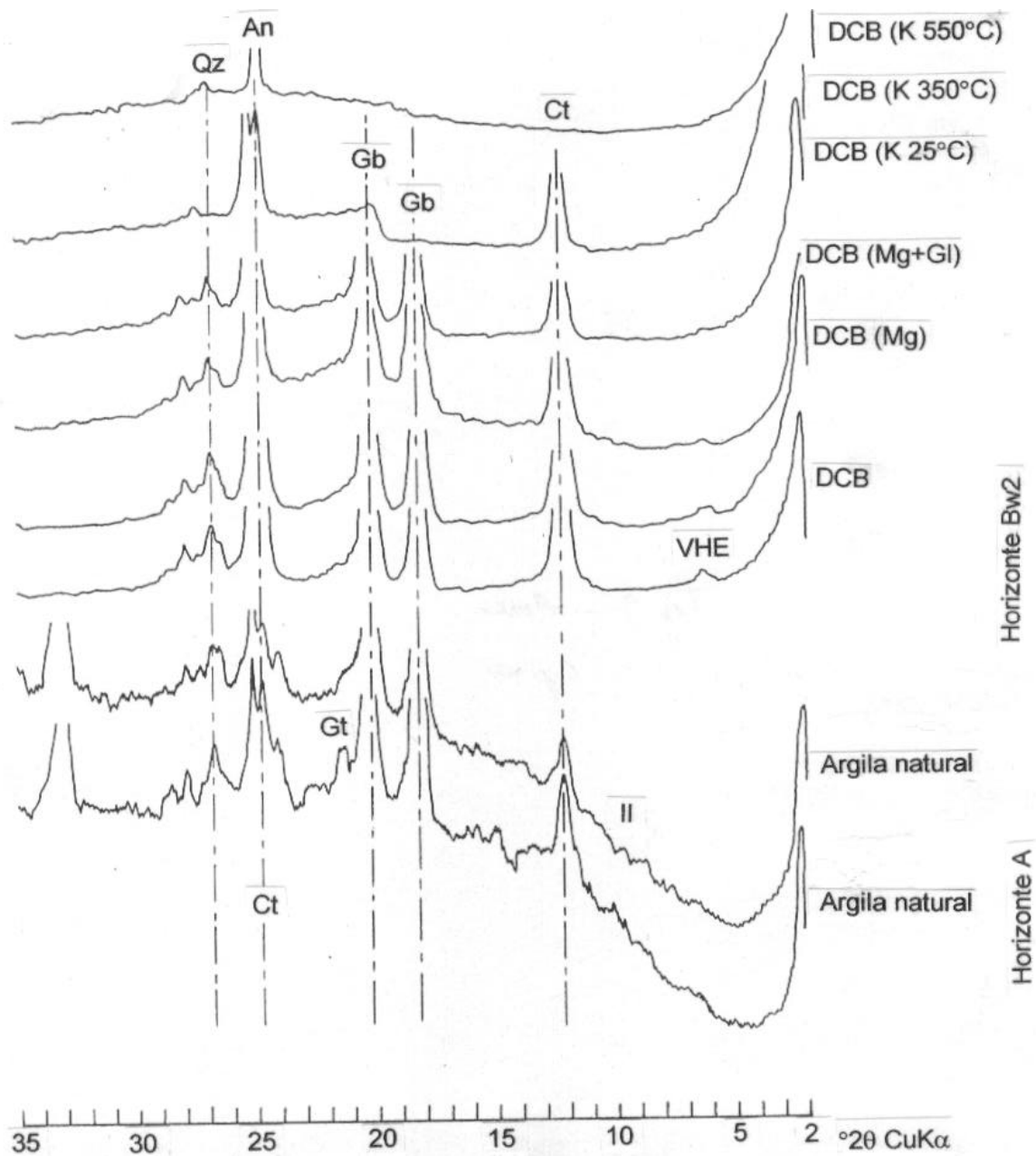


Figura 9 – Difratoformas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes Ap e Bw2 do Perfil 9 de Latossolo Vermelho ácrico típico da Topolitosseqüência Coromandel (VHE – vermiculita com hidróxi entre camadas; Ct – caulinita; Gb – gibbsita; An - anatásio; Qz - quartzo).

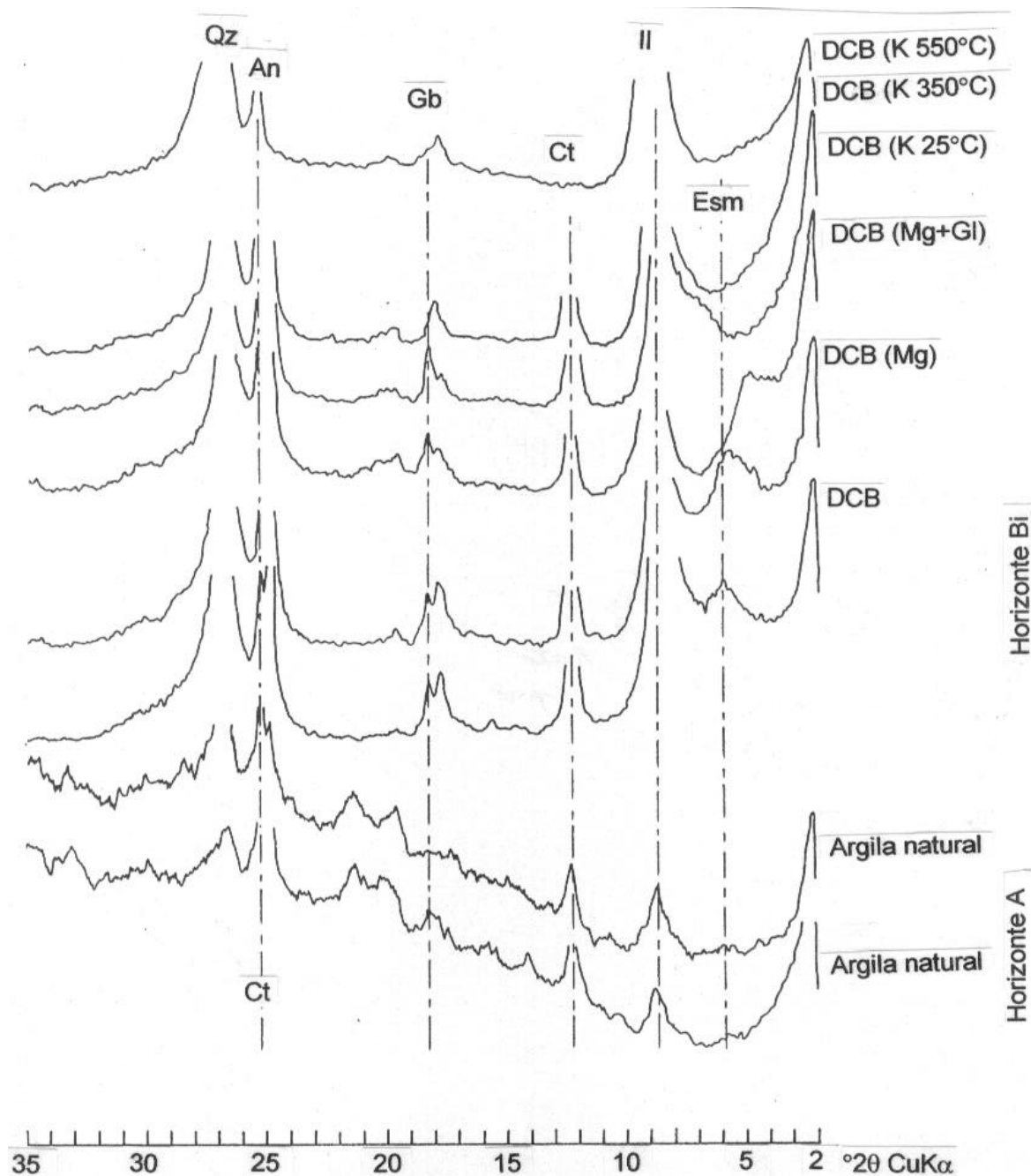


Figura 10 – Difractogramas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes A e Bi do Perfil 10 de Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico da Topolitosseqüência Coromandel (Esm – esmectita; Il – illita; Ct – caulinita; Gb – gibbsita; An - anatásio; Qz - quartzo).

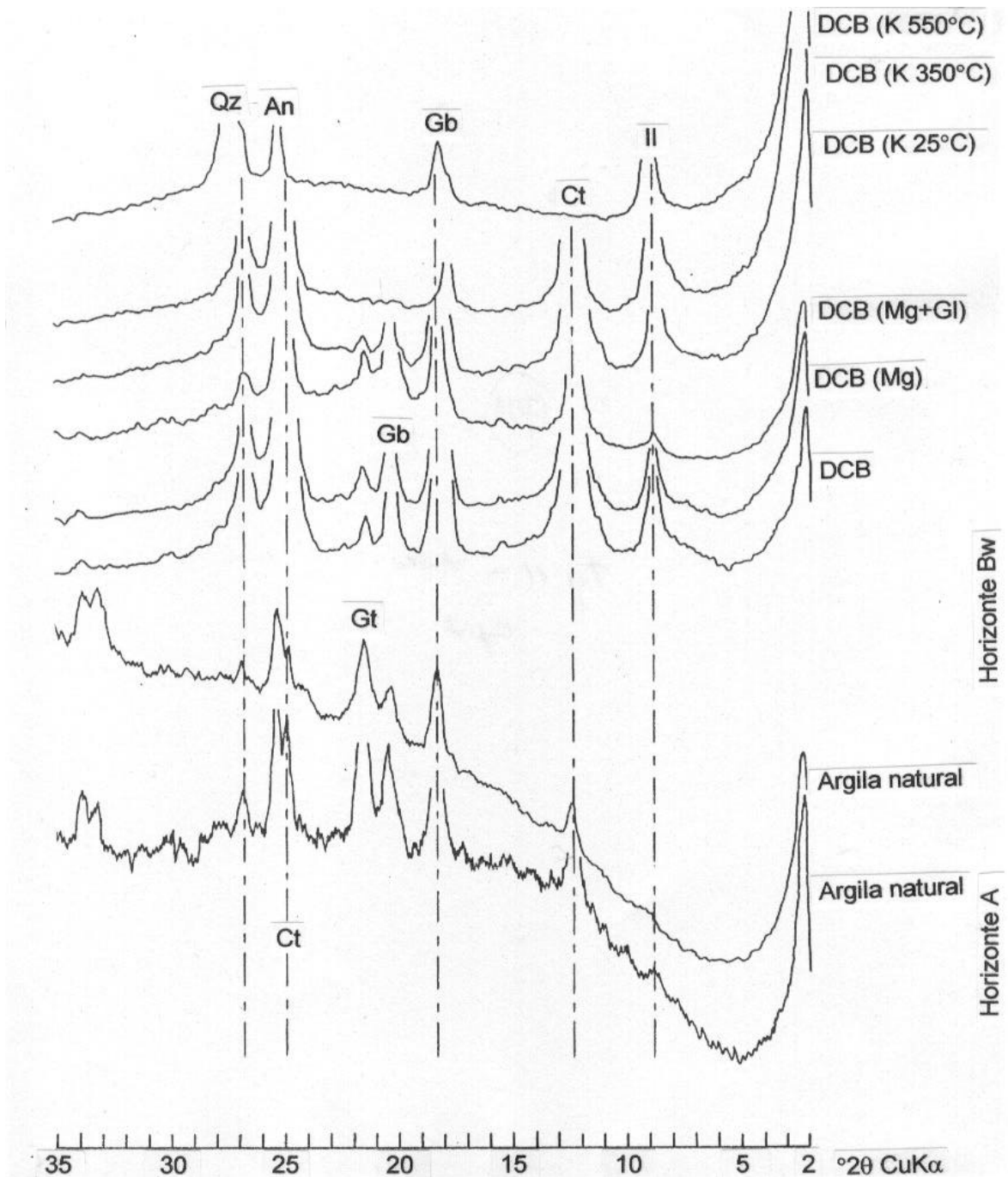


Figura 11 – Difratoogramas de raios X da fração argila natural e desferrificada, tratada com magnésio e potássio, dos horizontes A e Bw do Perfil 11 de Latossolo Vermelho distroférico câmbico da Topolitosseqüência Patrocínio (Il – illita; Ct – caulinita; Gb – gibbsita; Gt – goethita; An - anatásio; Qz - quartzo).

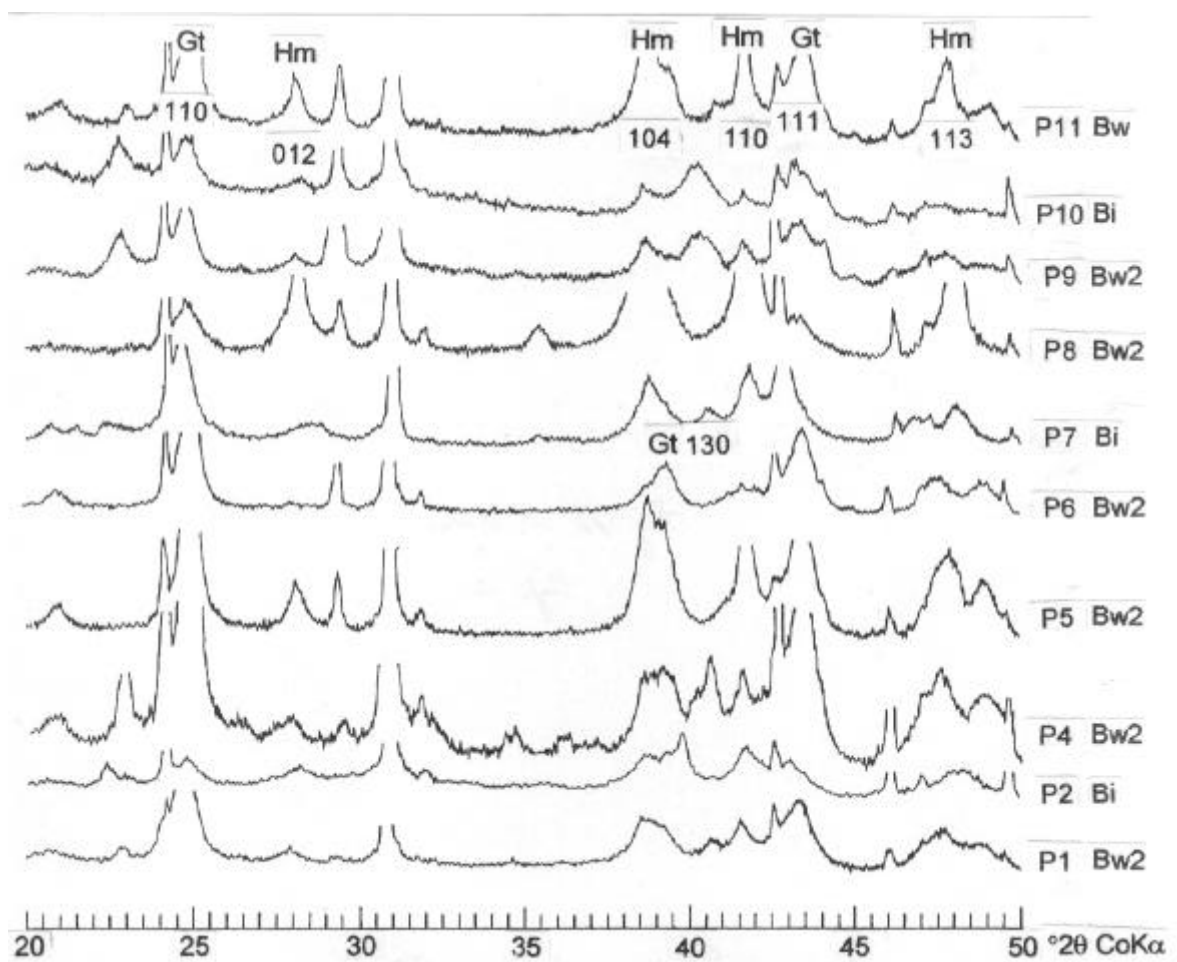


Figura 12 – Difratomogramas de raios X da fração argila tratada com NaOH 5 mol/L do principal horizonte diagnóstico dos solos estudados, excetuando-se o Perfil 3 de Neossolo Litólico (montagem em pó sem orientação).

CAPÍTULO 3

MICROMORFOLOGIA E GÊNESE DE SOLOS DO ALTO PARANAÍBA, MG: ATRIBUTOS MICROQUÍMICOS EM MEV/EDS

1. INTRODUÇÃO

A grande maioria dos solos tropicais mais intemperizados e oxídicos é poligenética, formada a partir de materiais pré-intemperizados com idades variáveis (STOOPS et al., 1992; THOMAS, 1994; BAERT e Van RANST, 2000; TARDY e ROQUIN, 1992), submetidos a longa e intensa pedo-bioturbação, alcançando profundidades excepcionais e apresentando propriedades micromorfológicas muito peculiares quando comparados aos solos de regiões temperadas (SCHAEFER, 2001). Os Latossolos (EMBRAPA, 1999), Oxisols da SOIL TAXONOMY (Van WAMBEKE, 1992) ou Ferralsols da legenda FAO (van WAMBEKE, 1992) são solos com características físicas e estruturais favoráveis, cuja distribuição e importância agrícola (KER, 1997) fazem com que os estudos micromorfológicos assumam notável importância para o conhecimento de sua gênese e manejo.

Comparativamente a outras ordens, como Espodossolos (Spodosols), Argissolos (Ultisols) e Luvisolos (Alfisols), poucos estudos têm examinado em detalhe as características microestruturais e microquímicas de Latossolos (STOOPS e BUOL, 1985), de forma a subsidiar o conhecimento sobre sua

gênese e classificação. Recentemente, trabalhos como os de MIKLÓS (1992), DUARTE et al. (1996), ANDRADE et al. (1997), CAMPOS et al. (1997), JONGERIUS et al. (1999), NUNES et al. (2000), MELO MARQUES (2000), MUGLER e BURMAN (2000) e SCHAEFER (2001) têm dado certo impulso à micromorfologia de Latossolos (Oxissolos), relacionando as feições micropedológicas observadas com aspectos como pedogênese, evolução geomorfológica da paisagem, química e fertilidade dos solos, entre outros.

Na região do Cerrado, alguns estudos recentes focalizaram aspectos micromorfológicos dos principais solos de ocorrência regional, notadamente aqueles desenvolvidos de basalto, coberturas terciárias e arenito (MELO MARQUES, 2000). Pouco ou nada se conhece sobre as características micromorfológicas e microquímicas de Latossolos ou Cambissolos desenvolvidos de rochas ígneas de filiação ultramáfica/alcalina, típicas da província vulcânica do Alto Paranaíba (BARBOSA et al., 1970), apesar de terem sido realizados diversos estudos mineralógicos detalhados nestes solos (SANTANA, 1984; RESENDE, 1976; CARMO et al., 1984; FERREIRA et al., 1994).

O objetivo deste trabalho foi estudar e interpretar os atributos micromorfológicos, descritos em microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura, suas características microquímicas e implicações na gênese e fertilidade destes solos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram escolhidas três topolitosseqüências de solos localizadas na região da Bacia do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais, num total de 11 perfis de solos, entre os Municípios de Serra do Salitre, Patrocínio e Coromandel, na faixa do contato geológico entre os grupos Bambuí e Araxá.

Amostras de horizontes diagnósticos e outros selecionados foram coletadas em caixas de alumínio, secas em estufa de circulação forçada, em temperatura de aproximadamente 35 °C. As amostras foram impregnadas com resina de poliéster e, após secagem e polimerização à temperatura ambiente, cortadas e polidas, confeccionando-se lâminas de 3 x 10 cm, que foram observadas em microscópio ótico, para estudo das feições micropedológicas (microestrutura, porosidade, minerais do esqueleto e presença de argilãs), de acordo com os métodos descritos por BULLOCK et al. (1985), FITZPATRICK (1993) e DELVIGNE (1998), este último para feições de alteração de grãos minerais presentes. A terminologia usada foi baseada nas proposições do ISSS Handbook (BULLOCK et al., 1985), com eventuais adaptações de BREWER (1964) e FITZPATRICK (1993). Procedeu-se a identificação de minerais na fração areia fina, utilizando-se lupa binocular.

As principais características físicas e químicas dos horizontes estudados se encontram no capítulo 2 desta Tese, e no Quadro 1A do anexo deste capítulo.

Seções finas selecionadas, previamente estudadas em microscópio petrográfico, foram preparadas para análises em microscópio eletrônico de

varredura, no Centro de Microscopia e Microanálises da Universidade de Western Australia, Perth. Para tal, quinze amostras de 2,0 x 2,5 cm foram polidas sucessivamente em disco de nylon, com pasta de diamante com diâmetros de 60µm, 6µm, 3µm e 1µm, a fim de que fosse obtida uma superfície com poucas imperfeições. Após lavagem ultra-sônica final, para remoção de resíduos do polimento, as lâminas ultrapolidas foram recobertas com filme condutivo de carbono.

As lâminas foram subseqüentemente analisadas e fotografadas em microscópio eletrônico de varredura, modelo JEOL JSM 6400, com detector de retroespalhamento (backscattering) e acoplado a espectrômetro de dispersão de raios-X (PCXA EDS), para exame microquímico das feições selecionadas. Cada análise microquímica pontual foi realizada sempre com 3 repetições, com voltagem de 15kV, 5 Amp e 39 mm de distância (detector-superfície). A cada mudança de amostras, o EDS foi recalibrado com padrão de cobre (Cu $k\alpha$).

Foram obtidos mapas microquímicos das áreas selecionadas, para os principais elementos presentes (Si, Al, Fe, Ti, Mn, Ca, Mg e elementos-traço selecionados) e, após a identificação de feições pedológicas com características químicas distintas, procedeu-se a análise dessas feições em magnificação elevada. Todas as feições analisadas e mapeadas foram fotografadas em imagens de retroespalhamento eletrônico, para visualização de suas morfologias. Neste trabalho reporta-se uma descrição micropedológica das lâminas em microscópio petrográfico, os resultados do mapeamento microquímico e análises microquímicas quantitativas (3 repetições) de feições pedológicas identificadas e selecionadas em microscópio petrográfico, relacionado-as aos aspectos químicos e pedogenéticos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Topolitosseqüência Serra do Salitre

No Latossolo do topo (P1 – LE, Bw2) a microestrutura granular é fortemente desenvolvida, com abundantes canais biológicos (Figura 1, Foto A e Quadro 1), preenchidos com materiais microestruturados. São comuns os microfragmentos de carvão intra-agregados, bem como grãos de quartzo, grãos opacos de titânio e magnetita, com presença de nódulos gibbsíticos-hematíticos eventuais (Quadro 1).

No horizonte A do Cambissolo do perfil 2 da Serra do Salitre ocorre uma estrutura fortemente granular, subesférica, com presença de abundantes grãos de minerais primários, ricos em nutrientes, como fragmentos micáceos, ricos em K e Mg (mapas na Figura 2, Foto B), Ti-magnetita intercrescida (Figura 2, Foto C e Quadro 2) e perowskita/ilmenita intercrescidos, dentro de agregados maiores (Figura 2, Foto D). Análises microquímicas destes grãos corroboram a natureza ultramáfica-alcalina do domo Serra do Salitre, com composição do plasma tipicamente rico em argilas 2:1 (Quadro 1), com teores variáveis de P, K, Ti e Mg, mas sempre com valores totais relativamente elevados. A presença de minerais ricos em Ca e Mg, ao lado de K, ilustra a considerável riqueza química deste solo, a exemplo dos outros Cambissolos do Alto Paranaíba, estudados neste trabalho.

No Cambissolo do perfil 2, desenvolvido “in situ”, da rocha ultrabásica-alcalina, o horizonte Bi evidenciou uma estrutura atipicamente microgranular

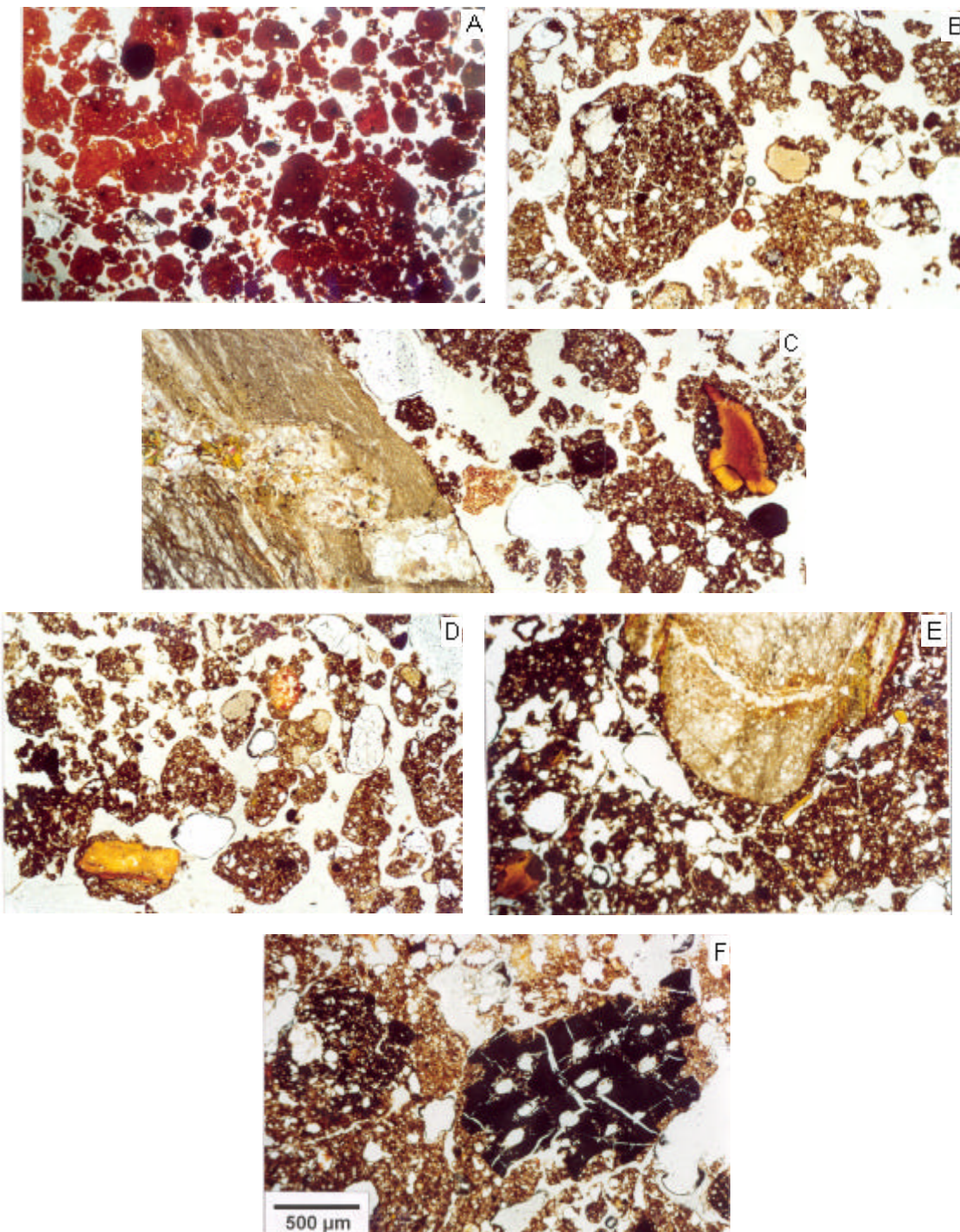


Figura 1 – Fotomicrografias do horizonte Bw2 (Foto A) do Perfil 1 de Latossolo Vermelho Ácrico típico e do horizonte Bi (Fotos B, C, D, E e F) do Perfil 2 de Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico.

Quadro 1 – Feições micropedológicas de horizontes selecionados de solos da Topolitosseqüência Serra do Salitre

Amostra	Feições					
	Microestrutura (tipo e grau)	Poros (quantidade e tipo)	Grãos	Plasma (tipo e cor)	Material orgânico	Estruturas associadas
P1 – Bw2	Microgranular forte	40%; canais intergranulares e, canais biológicos	Grãos de quartzo e titânio comuns; micronódulos opacos de Gb e Hm	Isotrópico; bruno avermelhado e vermelho escuro brunado	Microagregados de origem biológica; pelotas fecais; raras raízes; fragmentos comuns de carvão	Micronódulos; minerais opacos de Ti
P2 – Bi	Composta em microgranular e blocos subangulares	40%; canais intergranulares, canais biológicos e raros poros aplainados	Litorelíquias de metapelíticas, quartzo, anfibólios e micas degradadas; concreções ferruginosas; fragmentos de rochas vulcânicas; opacos diversos	Parte isotrópico com zonas estriadas anisotrópicas interagregado, pela presença de minerais micáceos; predominantemente bruno escuro avermelhado em partes	Microagregados de origem biológica; pelotas fecais; raízes e carvão abundantes	Micronódulos e ferruginização de cascalhos e grãos primários; grãos residuais ferruginizados de apatita, micas e titânio
P4 – Ap e BA	Composta em blocos subangulares e microgranular no Ap; microgranular no BA	35% em Ap; canais intergranulares, cavidades, poros aplainados; 50% em BA	Nódulos sesquioxídicos, grãos de quartzo e titânio comuns em Ap e BA	Isotrópico em Ap e BA; bruno avermelhado e amarelo brunado em Ap e vermelho escuro brunado em BA	Restos de raízes; microagregados coalescidos; pelotas fecais e carvão	Micronódulos degradados
P4 – Bw2	Microgranular forte, predominantemente entre 150 e 500 µm	50%; canais intergranulares e bioporos	Grãos de quartzo e titânio; nódulos sesquioxídicos	Isotrópico; bruno avermelhado e vermelho escuro	Microagregados de origem biológica; raras raízes; canais biológicos preenchidos	Micronódulos degradados
P4 – Bw3	Microgranular com massividade em partes; predominantemente com tamanho < 150 µm	45%; canais intergranulares e bioporos	Grãos de quartzo arestados, de titânio e raros nódulos sesquioxídicos	Isotrópico, com zonas com certa anisotropia, pelo preenchimento com argila dispersa	Microagregados de origem biológica; raras raízes; canais biológicos preenchidos	Micronódulos degradados

Gb = gibbsita; Hm = hematita

(Figura 1, Foto B), contendo abundantes minerais primários de natureza diversa, como quartzo, grãos micáceos degradados, hornblenda, grãos de apatita degradados, cascalhos de rochas metapelíticas e vulcânicas (Figura 1, Foto C) e carvões, indicando a mistura de materiais metapelíticos da rocha encaixante com a rocha ígnea intrusiva. O plasma é isotrópico quando rico em matéria orgânica, com zonas estriadas e anisotrópicas pela presença de grãos de minerais primários distribuídos nos microagregados, ou como em grãos individuais do esqueleto. A vigorosa ação biológica é evidenciada pelas abundantes pelotas fecais e restos

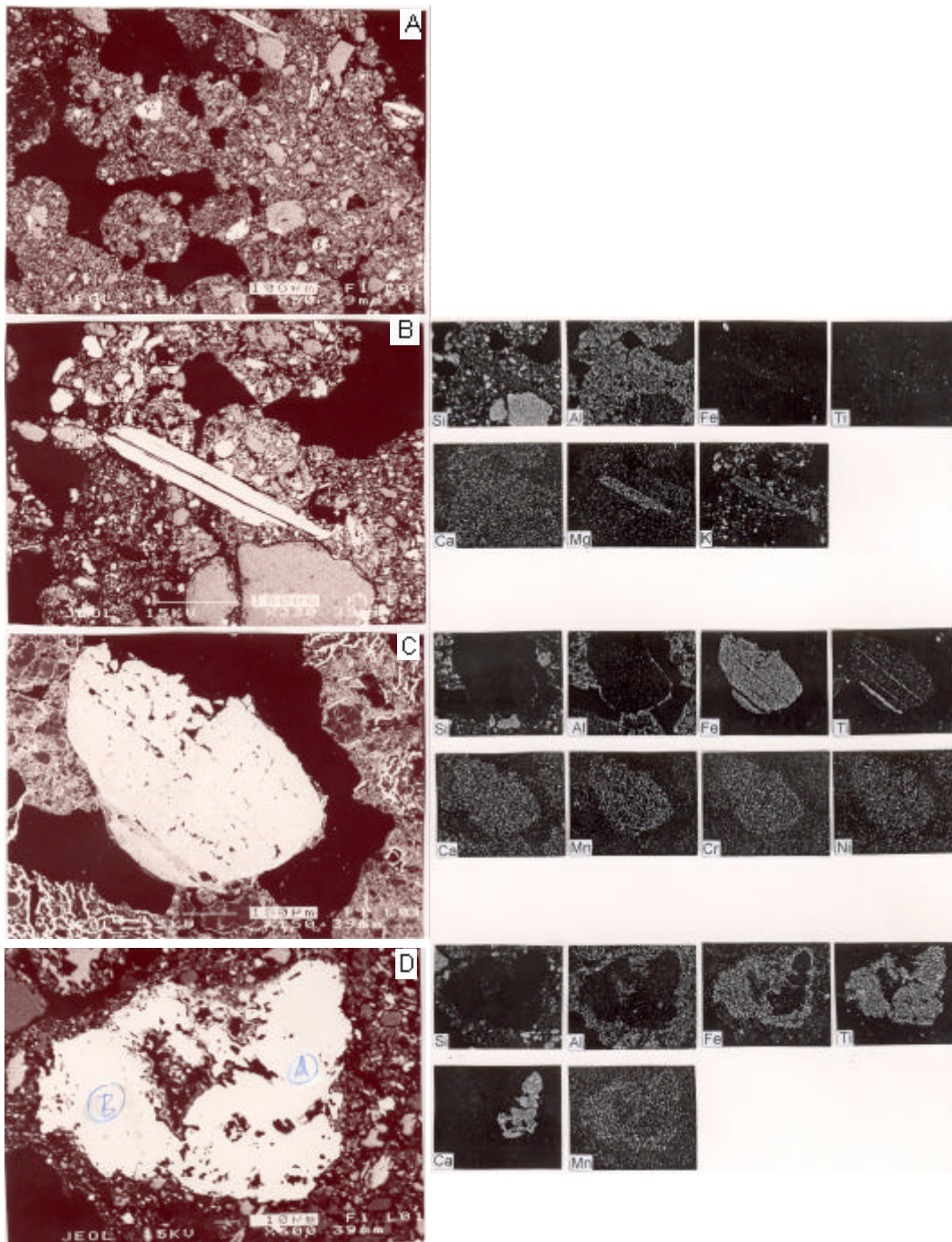


Figura 2 - Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte A do Perfil 2 de Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico.

orgânicos pouco humificados (Figura 1, Foto D e Quadro 1). O horizonte é tipicamente câmbico, pela presença de minerais primários, mas sem a estrutura incompleta típica de Cambissolos (AUROSSEAU et al., 1985).

No horizonte A, além da estrutura granular (Figura 2, Foto A) ocorrem diversos grãos minerais de natureza micácea (Figura 2, Foto B), ricos em K e Mg, litorelíquias de Ti-magnetita (Figura 2, Foto C), associados a elementos-traço, como Mn, Cr e Ni, e abundantes grãos de perowskita, às vezes intercrescidos com Ti-magnetita, como ilustrado na figura 2, Foto D. As análises microquímicas revelam sua composição química (Quadro 2).

Quadro 2 - Análises microquímicas de EDS/MEV de feições selecionadas do horizonte A do Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico (Perfil 2) da Topolitossequência Serra do Salitre

Óxidos (%) e Ki	Feições				
	Plasma do agregado maior (A)	Grão Ti-magnetita (B)	Perowskita Área 1 (C)	Agregado Ti-magnetita Área 2 (C)	Plasma (C)
MgO	2,84	2,42	0,03	0,25	2,10
Al ₂ O ₃	12,90	0,61	0,18	0,00	19,20
SiO ₂	38,50	0,02	0,00	0,05	19,80
P ₂ O ₅	0,45	0,22	0,55	0,00	1,25
K ₂ O	15,70	-	0,07	0,12	2,73
CaO	0,30	0,05	29,50	0,13	1,23
TiO ₂	0,60	4,93	35,40	31,40	2,27
Cr ₂ O ₃	-	0,20	0,00	0,00	-
MnO	-	1,12	0,00	3,95	0,10
Fe ₂ O ₃	6,60	83,60	1,35	34,70	17,50
CoO	0,06	0,15	0,04	0,04	0,03
NiO	0,00	0,25	0,08	0,06	0,02
CuO	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04
ZnO	0,12	0,12	0,00	0,09	0,04
NbO	0,00	0,55	0,85	-	-
Ki	5,07	0,06	0,00	-	1,75

Ki = (SiO₂ x 1,7)/Al₂O₃; - = valor não obtido

A estrutura microgranular detectada em microscopia ótica em Bi, atípica para Cambissolos, é também evidenciada nas fotomicrografias de retroespalhamento (Figura 3, Fotos A e C). Esse padrão indica intensa atividade pedobiológica da mesofauna (MIKLÓS, 1992; SCHAEFER, 2001), corroborando observações morfológicas de campo. Em meio ao arranjo estrutural microgranular, diversas feições pedológicas são observadas, como grãos residuais de titânio, nódulos ferruginosos, litorelíquias e inclusões de apatita (Figura 3, Foto B).

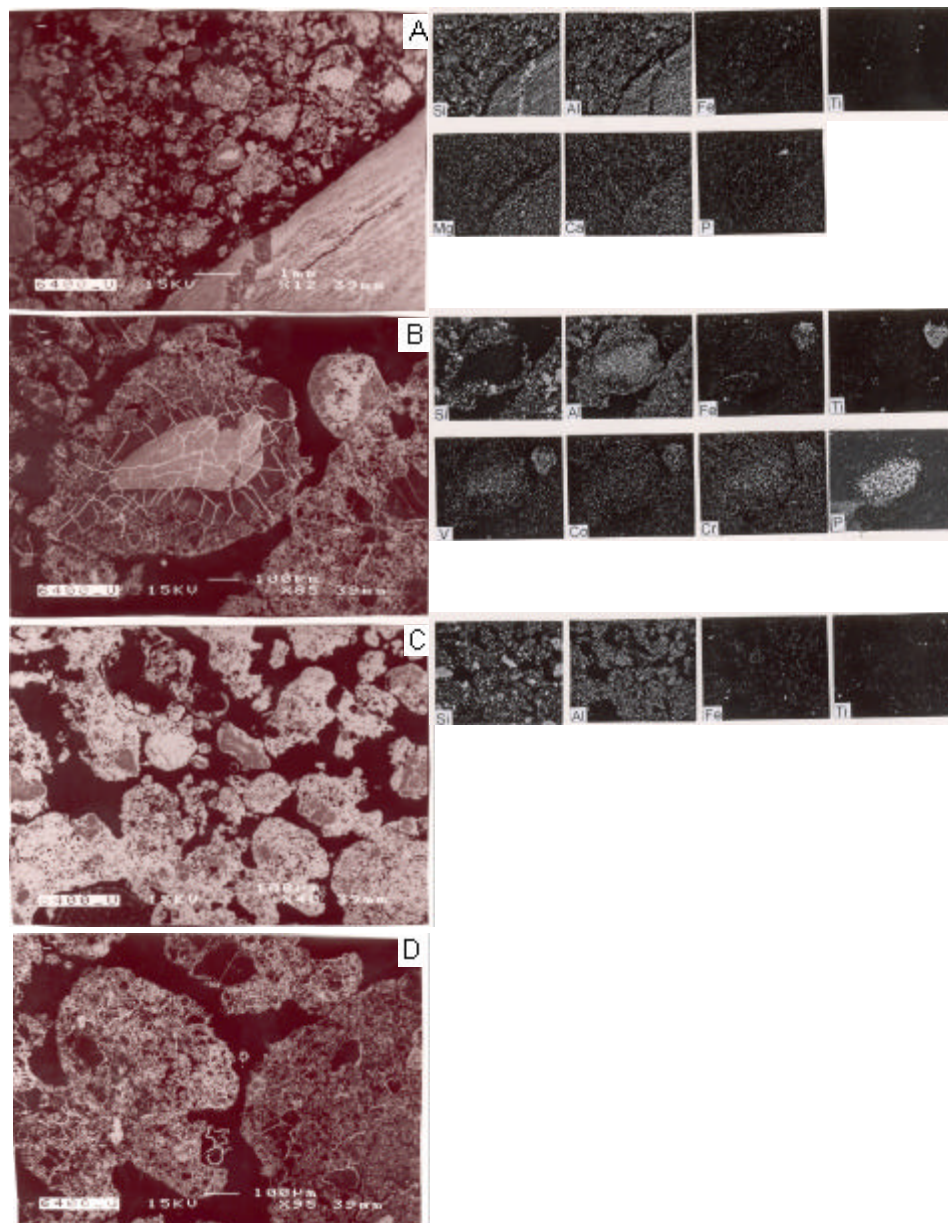


Figura 3 – Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas geoquímicos de EDS do horizonte Bi (Foto A) do Perfil 2 de Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico.

Os fragmentos de rocha mais comuns, como mostrados em escala ótica na microfotografia da Figura 1, Foto C, têm composição pelítica e micácea, com elevados valores de Fe, K e Mg, e baixos valores de Ca (Figura 3, Foto A), constituindo fragmentos típicos de metassiltitos do Grupo Bambuí, envolvidos pelo material vulcânico mais alterado e pedogenizado. A presença de micro-veios de quartzo nos fragmentos, conforme descrito na microscopia ótica, é observada nos mapas microquímicos (mapa de Si na Figura 3, Foto A e Quadro 3).

Quadro 3 - Análises microquímicas de EDS/MEV de feições selecionadas do horizonte Bi do Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico (Perfil 2) da Topolitosseqüência Serra do Salitre

Óxidos (%) e Ki	Rocha (A)	Nódulo P			Plasma de agregado (C)
		Interior (1)	Intermediária (2)	Plasma externo (3)	
MgO	3,20	0,66	0,52	0,40	2,50
Al ₂ O ₃	15,10	27,10	26,10	28,40	15,20
SiO ₂	37,20	5,10	6,20	36,60	25,40
P ₂ O ₅	0,16	18,10	12,70	0,26	0,40
K ₂ O	14,20	0,30	0,20	0,23	3,10
CaO	0,20	4,10	4,30	0,24	0,70
TiO ₂	1,61	5,20	2,10	0,28	2,80
CrO	0,04	0,00	0,00	0,20	0,20
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
Fe ₂ O ₃	8,20	8,80	12,80	8,40	13,30
CoO	0,00	0,10	0,00	0,14	0,00
NiO	0,04	0,20	0,00	0,00	0,20
CuO	0,10	0,00	0,00	0,20	0,07
ZnO	0,30	0,36	0,00	0,22	0,41
Ki	4,19	0,32	0,40	2,19	2,84

$$Ki = (SiO_2 \times 1,7)/Al_2O_3$$

Grãos acessórios de apatita degradada, observados sob microscópios ótico e eletrônico, encontram-se dispersos nos microagregados do horizonte Bi do Perfil 2 de Cambissolo (Figura 3, Foto A). Análises microquímicas desses grãos residuais (Quadro 3) indicam teores elevados de até 18% de P₂O₅ no núcleo mais preservado, decrescendo para 12,7% de P₂O₅ na borda mais alterada e ferruginizada, facilmente discernível na imagem de retroespalhamento (Figura 3, Foto B). O plasma argilo-orgânico circundante é bem mais enpobrecido em P. O estágio de degradação do grão pode ser avaliado pela substituição do Ca pelo Al, com valores bem mais baixos do Ca (4,1 – 4,3% CaO) em relação ao alumínio. Os valores de P₂O₅ do plasma ao redor do grão evidenciam liberação de P para o plasma argiloso.

Análises do plasma típico dos agregados maiores, com diâmetro de até 500 µm (Figura 2, Fotos C e D), indicam sua natureza ílítica/esmectítica ($K_i = 2,84$), com valores relativamente elevados de K, Mg e Fe, corroborando a riqueza química encontrada.

No Latossolo Vermelho Amarelo do perfil 4 o horizonte Ap mostrou uma estrutura microgranular fortemente coalescida (Figura 4, Foto A e Quadro 1), formando blocos subangulares (Quadro 1). No horizonte BA (Figura 4, Foto B) já ocorre a microagregação típica de Latossolos, com agregados mais arestados e de maior tamanho que em Bw2 (Figura 4, Foto C). No horizonte Bw3, os agregados são nitidamente menores (Figura 4, Foto D), com abundante plasma intergranular, à semelhança de argila dispersa, atravessado por abundantes canais biológicos (Figura 4, Fotos D e E). Os microagregados abrigam grãos de quartzo (Figura 4, Foto D), nódulos de Ti e Fe (Figura 4, Foto C) e microfragmentos de carvão (Figura 4, Fotos A, C e E).

Os mapas microquímicos, imagens de retroespalhamento eletrônico e análises microquímicas de feições selecionadas do horizonte Bw2 do Latossolo Vermelho (P4) estão ilustrados na Figura 5 e Quadro 4.

Em aumentos menores, o padrão de microagregação, típico dos Latossolos, é bem evidente (Figura 5, Foto A), em que se destacam grãos de quartzo desarestados (mapa de Si), concreções ferruginosas (mapa de Fe) e grãos minerais residuais de titânio (mapa de Ti), com ou sem Fe associado, e sempre enriquecidos em vanádio. Análises de alguns grãos revelam teores de Ti variáveis (Quadro 4, A, B1 e B2), assemelhando-os às fases complexas de degradação de ilmenita, ilmeno-rutilo, e caracterizando-os como leucoxeno (BATES e JACKSON, 1980). Nestes grãos, houve perda progressiva de Fe e concentração variável e polifásica de Ti. Análises microquímicas revelam a concentração residual de ferro nas bordas dos grãos de leucoxeno (mapas de Fe na Figura 5, Fotos B, C e D), o que deve aumentar a resistência destes residuais, frente ao intemperismo.

As fases titaníferas de leucoxeno são relacionadas a valores mais elevados de V^{3+} e Nb, com baixa associação a elementos geoquimicamente afins ao Fe (Cr e Mn). No caso das concreções ferruginosas (Figura 5, Fotos D e E), os mapas microquímicos revelam sua associação com Ni, Cr, Co, Cu, Mn e Zn, mas sem apresentar associação com o Ti (mapas da Figura 5, Foto E e Quadro 4, E).

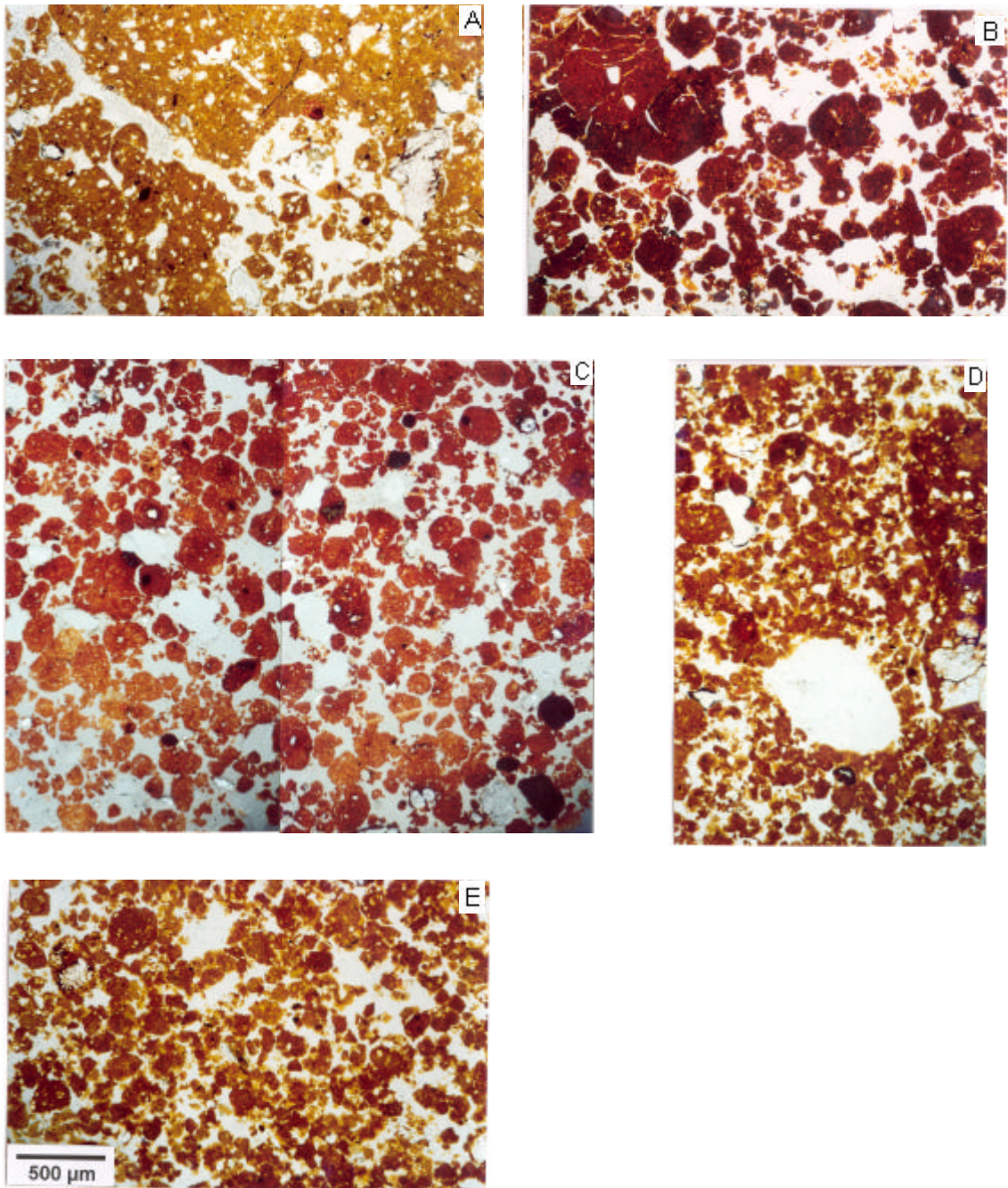


Figura 4 - Fotomicrografias dos horizontes Ap (Foto A), BA (Foto B), Bw2 (Foto C) e Bw3 (Fotos D e E) do Perfil 4 de Latossolo Vermelho Ácrico típico.

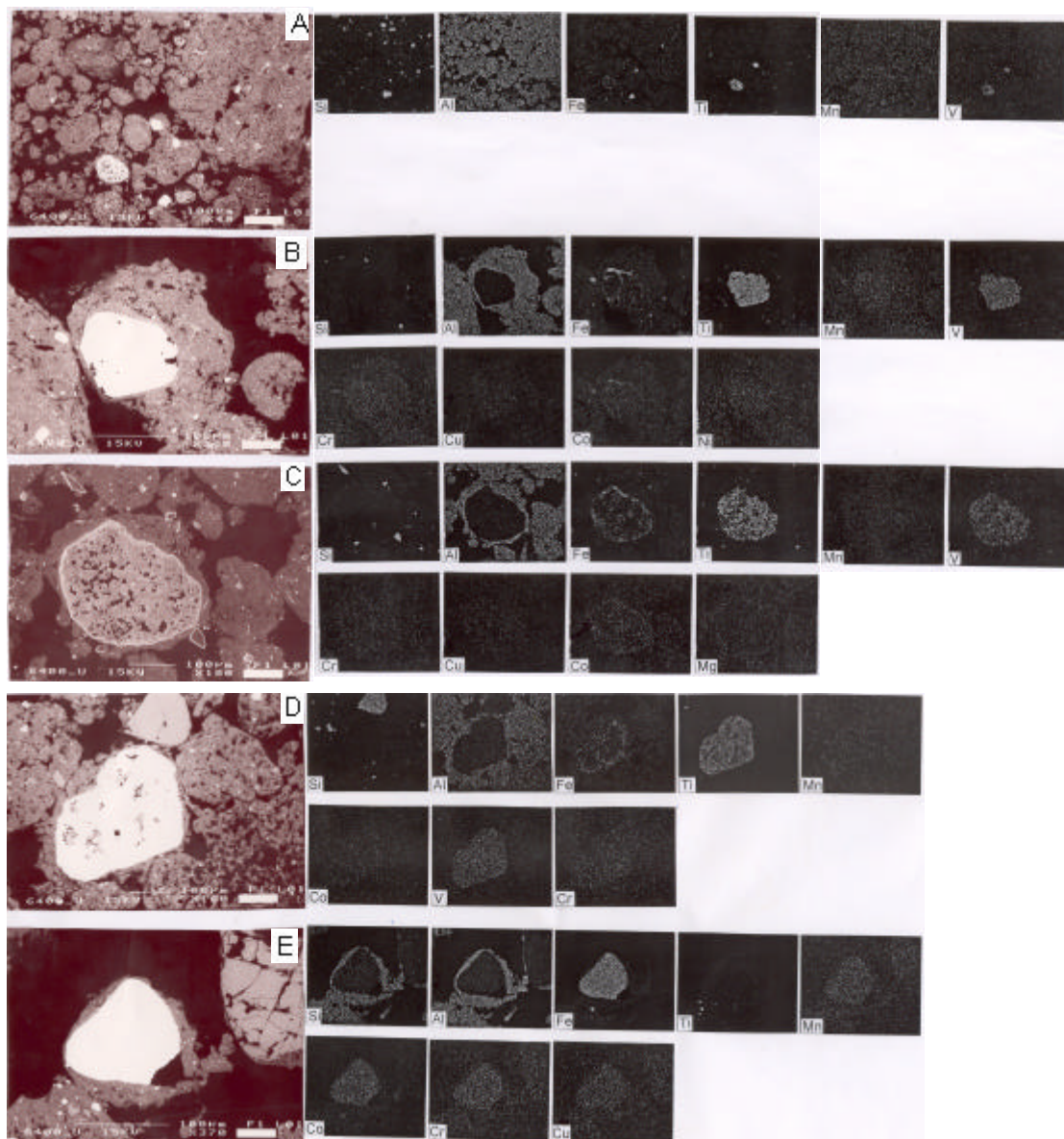


Figura 5 – Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte Bw2 do Perfil 4 de Latossolo Vermelho Ácrico típico.

Quadro 4 – Análises microquímicas em EDS/MEV do Latossolo Vermelho ácrico típico (Perfil 4) da Topolitossequência Serra do Salitre

Óxidos (%) e Ki	Grão de titânio (A)	Plasma do microagregado em (A)	Grão de titânio		Grão Ti-maguemita (C)	Grão de titânio (D)	Plasma do agregado (D)	Concreção ferruginosa (E)	Plasma ao redor de (E)
			Centro (B1)	Borda (B2)					
MgO	0,16	0,16	0,11	0,14	0,15	0,10	0,18	0,11	0,22
Al ₂ O ₃	0,10	30,2	0,32	0,31	1,51	0,45	30,5	3,40	29,30
SiO ₂	0,70	16,9	0,56	0,48	0,80	0,40	7,70	0,60	17,30
P ₂ O ₅	0,00	0,36	0,30	0,70	1,10	0,26	0,16	0,10	0,21
K ₂ O	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,13	0,00	0,12
CaO	0,14	0,03	0,07	0,13	0,00	0,08	0,02	0,09	0,02
TiO ₂	57,0	4,10	55,20	50,70	41,00	51,4	3,13	0,40	2,60
CrO	0,00	0,00	0,03	0,02	0,35	0,25	0,08	0,30	0,18
MnO	0,00	0,00	0,00	0,04	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	3,40	12,20	5,60	7,10	13,30	6,50	14,4	64,00	12,90
V ₂ O ₃	0,60	0,00	0,30	0,03	0,38	0,50	0,00	0,15	-
NbO ₄	0,40	0,00	0,60	0,55	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00
Ki	11,9	0,95	2,98	2,63	0,90	1,51	0,43	0,30	1,00

Ki = (SiO₂ x 1,7)/Al₂O₃; - = valor não obtido

O plasma que envolve os grãos de Ti, concreções ou nos microagregados, é tipicamente oxidico e aluminoso, com teores de Fe variáveis (com 12,2 a 14,4% de Fe₂O₃), e teores de Ti da ordem de 3 – 4% TiO₂, que devem corresponder ao anatásio ou rutilo, finamente disperso no plasma argiloso. Como o PCZ destes minerais (rutilo = 5,3; anatásio = 6,2) é relativamente elevado, seu papel na adsorção de fósforo, em função de sua abundância e do pH ácido do solo, deve ser levado em conta. A presença de leucoxeno como fase mineral típica de litologias de grau metamórfico mais baixo (MILNES e FITZPATRICK, 1989) ratifica a natureza derivada de sedimentos clásticos/pelíticos e metapelíticos, neste caso filiado ao Grupo Bambuí, conforme identificado no campo.

3.2. Topolitossequência Patrocínio

Em escala ótica, o horizonte Ap do Latossolo Vermelho Amarelo do perfil 6 mostra padrão de microagregação bimodal, com agregados > 300 µm e microagregados < 100 µm, dispersos (Figura 6, Foto A), com porosidade abundante. No horizonte Bw2, ocorrem canais biológicos (Figura 6, Foto B), atravessando o plasma fortemente microestruturado, sendo que estes canais estão preenchidos com agregados soldados, maciços, com grãos de quartzo e nódulos gibbsíticos e

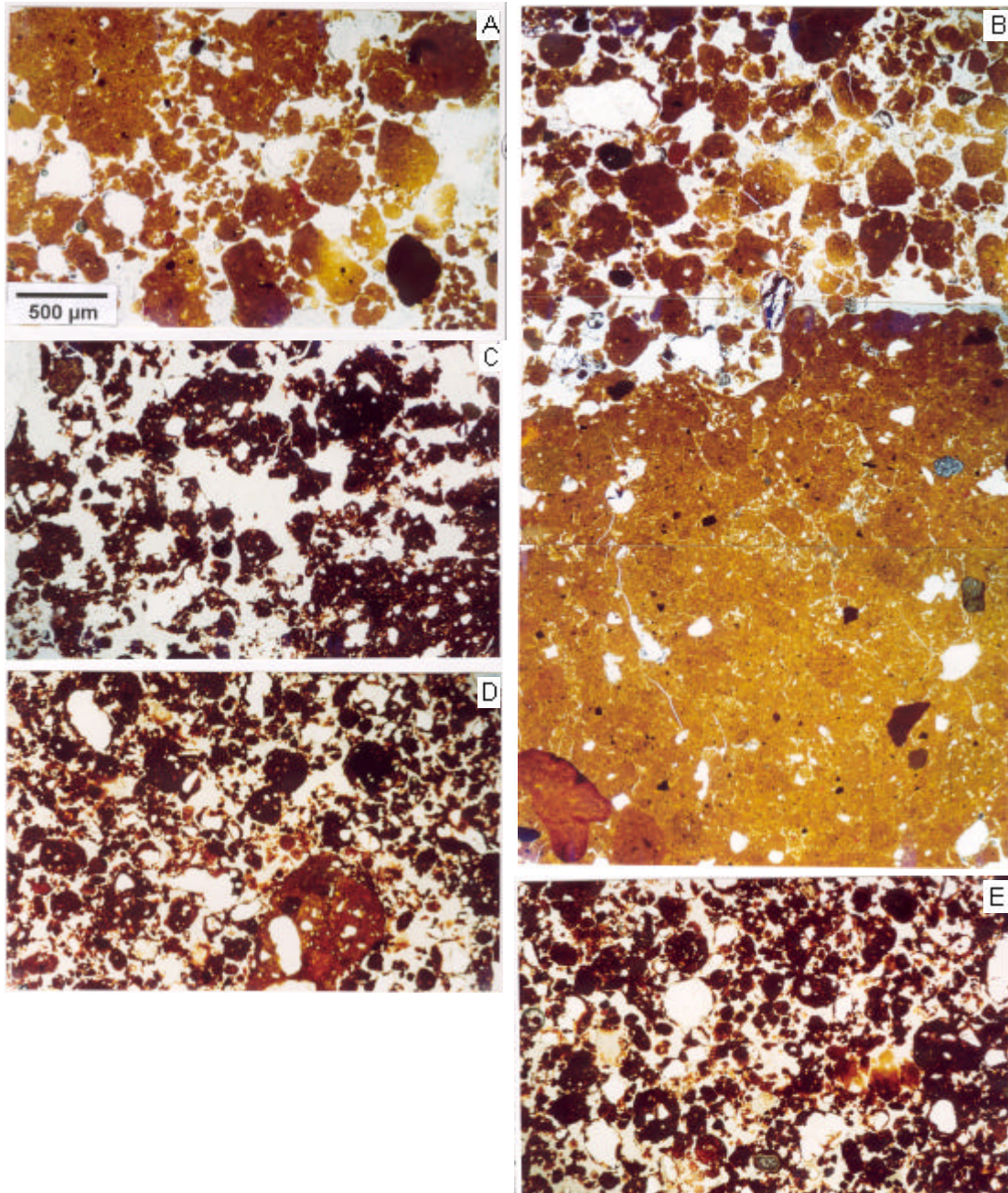


Figura 6 – Fotomicrografias dos horizontes Ap (Foto A) e Bw2 (Foto B) do Perfil 6 de Latossolo Vermelho Amarelo Ácrico típico e dos horizontes Ap (Foto C) e Bw2 (Fotos D e E) do Perfil 8 de Latossolo Vermelho Distrófico húmico.

titaníferos/ferríferos e perowskita, distribuídos de forma caótica (detalhes da Figura 6, Foto B).

Nas fotomicrografias do horizonte Bw2 (Perfil 6), ao microscópio eletrônico, a microestrutura granular é também típica, identificando-se a ocorrência de diversos grãos residuais de Ti e Fe, associados ou não. Grãos ferruginosos, ricos em Cr (Figura 7, Foto B) e titaníferos (Figura 7, Foto D) ocorrem como inclusões nos microagregados (Figura 7, Foto A). Sua composição extremamente variável mostra a intensa pedoturbação sofrida pelo solo (Quadro 5, A e B).

No LV (Perfil 8), em observações ao microscópio petrográfico, o horizonte Ap possui agregados maiores e mais arestados (Figura 6, Foto C) que Bw2 (Figura 6, Fotos D e E), com freqüentes inclusões de quartzo bem arredondado, com tamanho de areia (Figura 6, Fotos C e D), nódulos Ti/Fe e grãos de perowskita (Figura 6, Foto E). São comuns canais biológicos em Bw2, preenchidos com materiais plásmicos mais amarelados (Figura 6 Foto D), e alguma argila dispersa interagregado.

Estudos microquímicos do horizonte Bw2 do Perfil 8 permitiram identificar diversos minerais residuais, que sugerem natureza poligenética, com influência marcante de rocha ultrabásica na sua gênese. A microestrutura granular é típica de latossolos (Figura 8, Foto A), com abundantes grãos residuais de titânio, Ti/Fe e Fe, identificados como opacos em microscopia ótica (Figura 6, Fotos C, D e E). Análises microquímicas pontuais de grãos residuais (mapas de Ca, Ti e Fe na Figura 8, Foto B) permitem identificar a perowskita, um titanato de cálcio (CaTiO_3) com teores altos de Ba e Nb (Quadro 6, B). Não se trata de esfeno, pois apresenta teores de Si muito baixos. Apesar de representar uma importante reserva total de Ca nestes Latossolos, fato extremamente incomum para esta classe de solos (JACKSON, 1964), sua presença residual, pela extrema resistência ao intemperismo, aparentemente não havia sido reportada na literatura (JACKSON, 1964; MILNES e FITZPATRICK, 1989).

A presença de até 8% de perowskita nas rochas do clã ultrabásico-alcalino (WILLIAMS et al., 1970) e tufos vulcânicos alcalino-ultrabásicos (BARBOSA et al., 1970), e sua identificação comprovada em diversas rochas da província vulcânica do Alto Paranaíba, mostra a importância deste material residual nos solos da região.

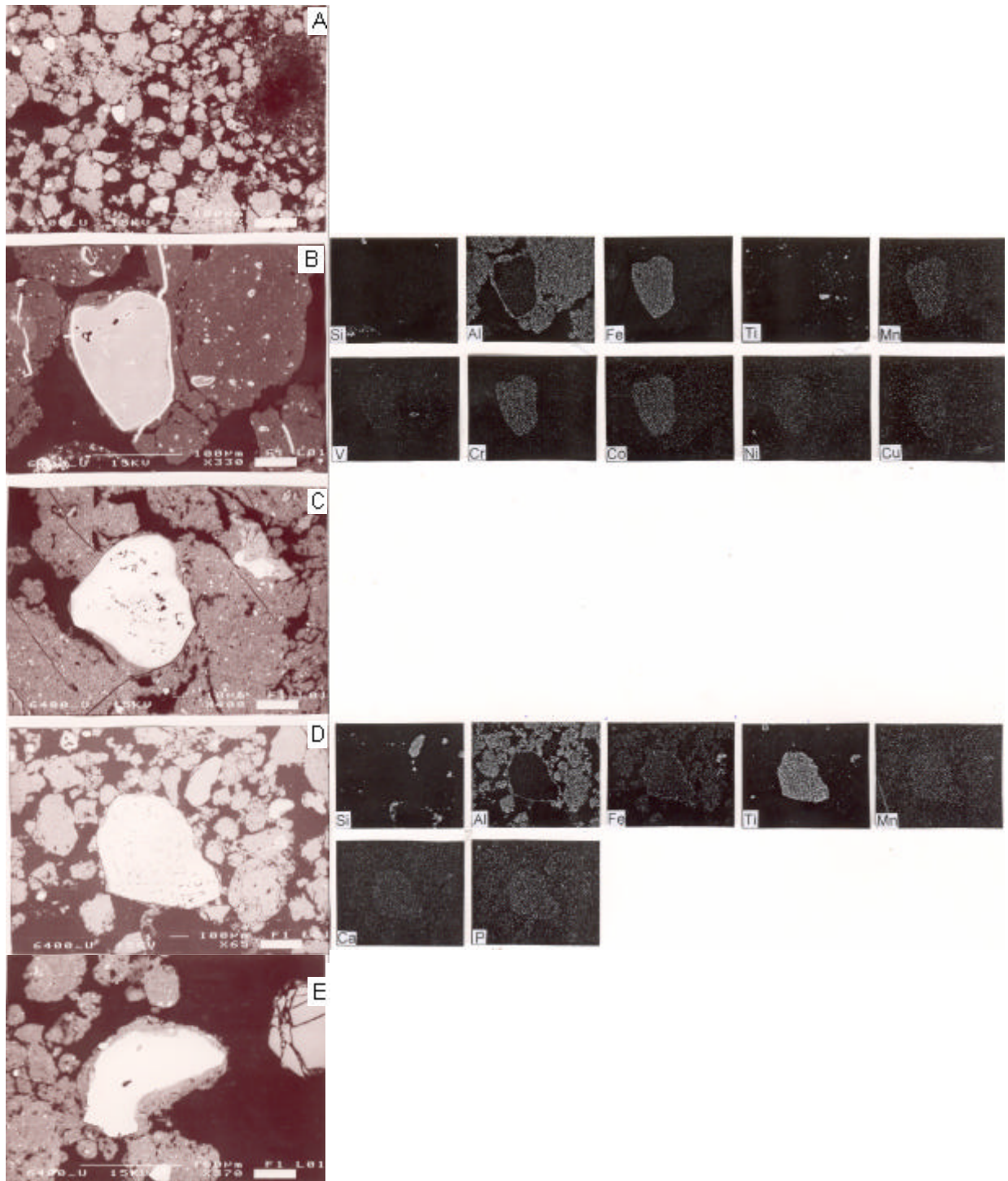


Figura 7 – Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte Bw2 do Perfil 6 de Latossolo Vermelho Amarelo ácrico típico.

Quadro 5 - Análises microquímicas em EDS/MEV do Latossolo Vermelho Amarelo ácrico (Perfil 6) da Topolitossequência Patrocínio

Óxidos (%) e Ki	Feições				
	Grão nodular Fe/Cr (A)	Grão Ti (B)	Plasma em (A) (C)	Plasma ao redor de (B) (D)	Plasma no agregado simples (E)
MgO	0,74	0,07	0,07	0,18	0,30
Al ₂ O ₃	2,85	0,16	32,20	31,70	33,40
SiO ₂	0,30	0,40	7,40	7,15	8,25
P ₂ O ₅	0,10	0,19	0,45	0,05	0,60
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05
CaO	0,10	0,05	0,12	0,12	0,05
TiO ₂	0,80	52,80	4,10	2,95	4,25
Cr ₂ O ₃	7,10	0,10	0,32	0,30	0,25
MnO	0,20	0,02	0,06	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	55,70	6,20	18,30	17,90	17,30
CoO	0,20	0,20	0,28	0,00	0,20
NiO	0,00	0,05	0,23	0,00	0,00
CuO	0,00	0,27	0,05	0,08	0,26
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	-
NbO	0,20	0,31	0,00	0,20	0,12
Ki	0,18	4,25	0,39	0,38	0,42

Ki = (SiO₂ x 1,7)/Al₂O₃; - = valor não obtido

Os grãos de perowskita são normalmente guarnecidos por nodulação ferruginosa externa, cuja análise microquímica revela teores bem mais baixos de Ca, com composição titanífero-ferruginosa. Também ocorrem concreções titanífero-ferruginosas (Ti-maguemita), derivadas da alteração de Ti-magnetita, com altos teores de Fe e Ti e também com baixos teores de Ca (Quadro 6).

O plasma argiloso que envolve os grãos é de composição oxídica-gibbsítica, com elevado teor de Ti (incorporado na estrutura dos óxidos ou como anatásio), Fe e alguns elementos-traço associados (Co, Ni, mas não Cr) – (Quadro 6, C e D). O plasma argilo-orgânico de canais biológicos termíticos (Figuras 8, Fotos C e D) mostra valores mais elevados de Ca e Mg (Quadro 6), com composição razoavelmente oxídica. Grãos de titânio, ricos em Fe (leucóxeno), com teores relativamente significativos de P e Nb (Quadro 6) são comuns nos microagregados, ou individualmente (Figura 8, mapa de Ti na Foto D e grão na Foto E). A intensa pedoturbação e microagregação de origem biológica é responsável pela presença de minerais residuais resistentes, com formas e composição química variadas, nos Latossolos poligenéticos mais oxídicos e intemperizados, ao lado de quartzo e fragmentos de carvão (ESCHENBRENNER, 1986; SCHAEFER, 2001).

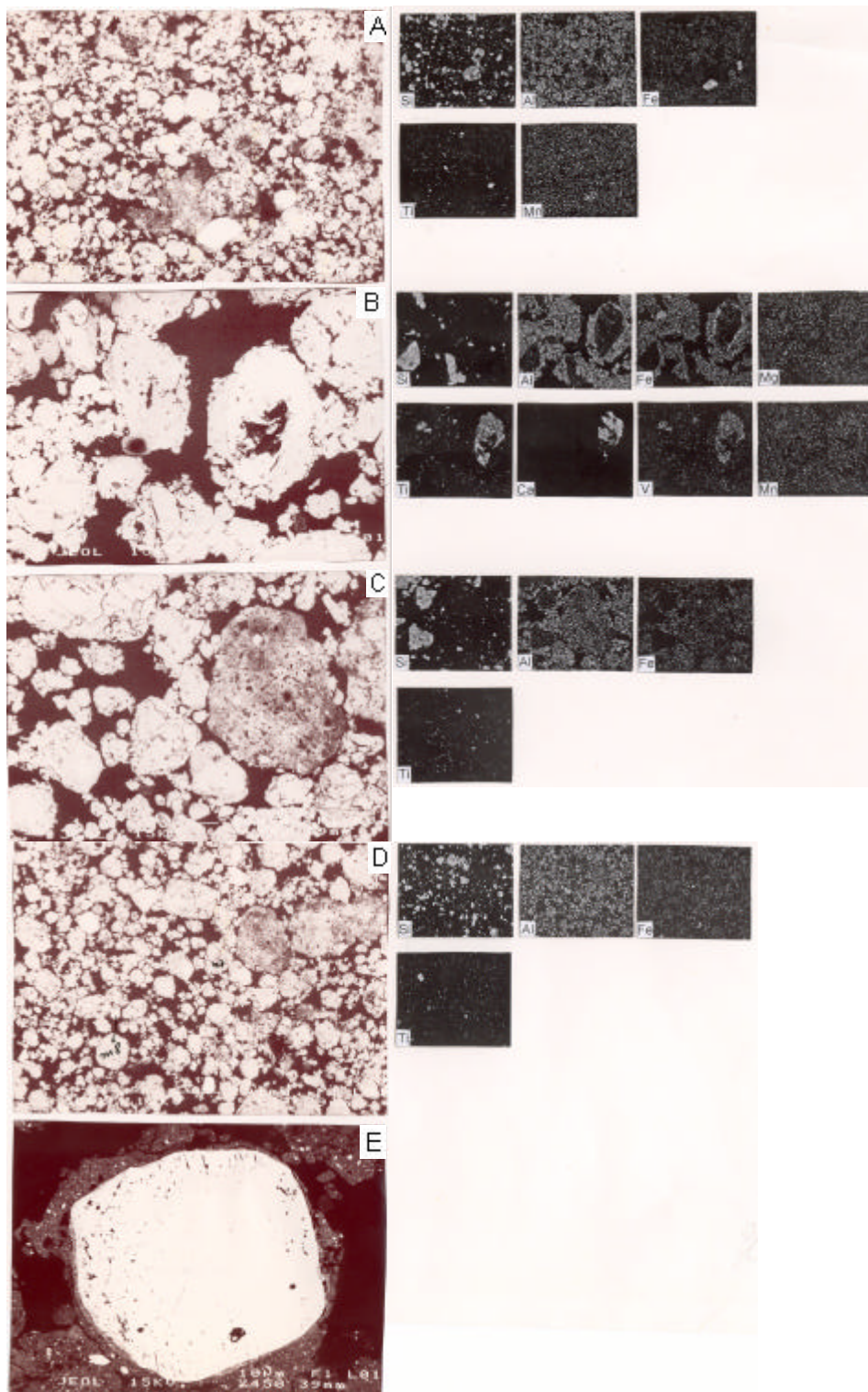


Figura 8 – Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte Bw2 do Perfil 8 de Latossolo Vermelho Distrófico húmico.

Quadro 6 – Análises microquímicas em EDS/MEV do horizonte Bw2 do Latossolo Vermelho distrófico húmico (Perfil 8) da Topolitossequência Patrocínio

Óxidos (%) e Ki	Feições							
	Grão de perowskita (B)	Borda ferruginosa (B)	Nódulo ferruginoso (B)	Plasma argiloso (C)	Canal biológico (agregado rico em MO) (D1)	Plasma agregado (D2)	Grão de titânio (E1)	Plasma externo (E2)
MgO	0,20	0,35	4,43	0,19	1,10	0,51	0,16	0,42
Al ₂ O ₃	0,22	19,40	0,80	34,50	28,20	25,20	1,92	24,10
SiO ₂	0,19	1,25	0,27	10,50	9,20	7,90	0,37	7,80
P ₂ O ₅	0,18	0,25	0,12	0,54	0,40	0,47	0,65	0,50
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,27	0,02	0,30
CaO	41,50	3,23	0,03	0,18	0,75	0,23	0,03	0,15
TiO ₂	49,10	28,40	40,10	4,10	2,70	4,25	59,10	4,15
Cr ₂ O ₃	0,00	0,08	0,00	0,00	0,04	0,08	0,00	0,10
MnO	0,00	0,55	1,94	0,00	0,08	0,05	0,08	0,06
Fe ₂ O ₃	0,61	35,30	30,70	25,30	20,10	20,40	8,90	21,30
CoO	0,10	0,24	0,30	0,28	0,00	0,01	0,00	0,02
NiO	0,13	0,07	0,08	0,15	0,00	0,01	0,30	0,02
CuO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,40	0,10	0,30
ZnO	0,16	0,02	0,01	0,00	0,06	0,03	0,03	0,02
BaO	2,30	0,08	0,00	0,00	-	-	-	-
NbO	0,40	0,30	0,60	0,00	-	-	0,60	-
Ki	1,47	0,11	0,57	0,52	0,55	0,53	0,33	0,55

Ki = (SiO₂ x 1,7)/Al₂O₃; - = valor não obtido

3.3. Topolitossequência Coromandel

No Cambissolo de tufito (P10), o horizonte Bi mostra uma estrutura granular forte (Figura 9, Foto B), rica em material orgânico humificado, ao lado de abundante esqueleto de fragmentos de tufo vulcânico, de textura ofítica, ferruginizado nas bordas e ao longo de fraturas, em que se formam ferrãs e mangãs (Figura 9, Foto A). No interior do tufito são observados grãos inalterados de magnetita (pontuações arestadas de cor negra e opaca), em meio à massa cinza-esverdeada de nontronita, substituindo cristais de piroxênios e mica, e grandes cristais prismáticos de olivina, fortemente alterados em argilominerais 2:1 (nontronita) ferruginizados. Essas zonas verde-escuras no interior dos fragmentos de tufo (Figura 9, Fotos B e C) são massas de nontronita. Na maioria dos casos, o plasma microagregado de Bi tem contato abrupto com os fragmentos (Figura 9, Foto B), mas ocorrem também zonas de transição, nas quais já se evidencia a fragmentação das litorelíquias de tufito, no plasma microestruturado (Figura 9, Foto B). São comuns os grãos de magnetita e perowskita, tanto nas litorelíquias preservadas quanto no plasma.

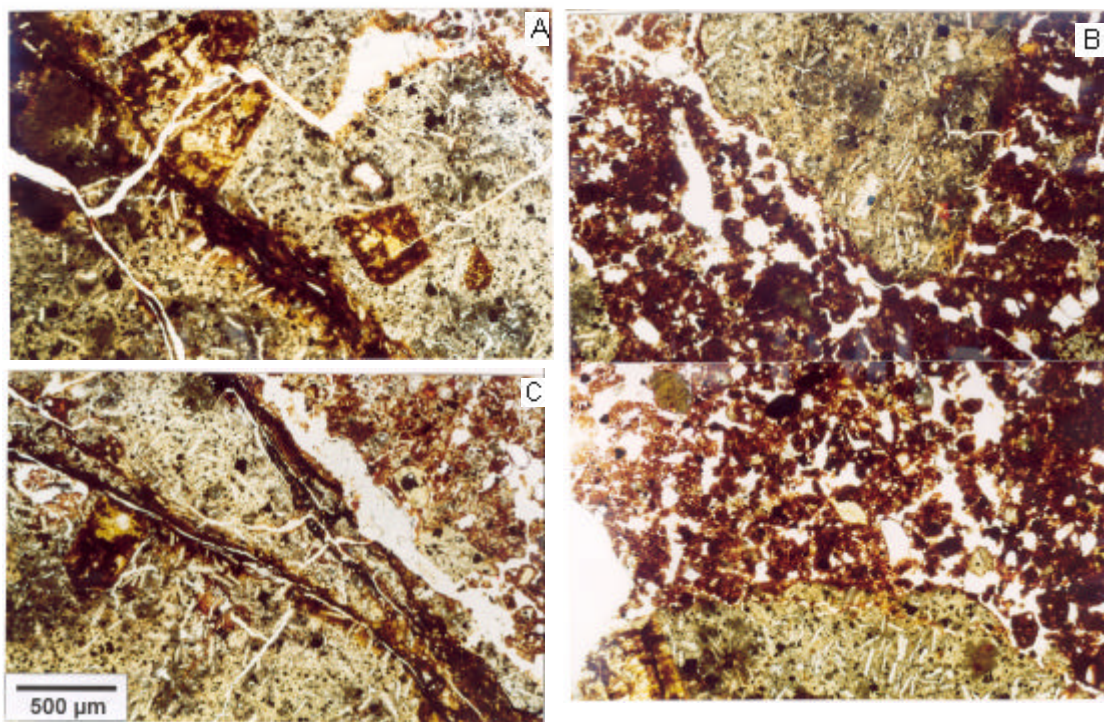


Figura 9 – Fotomicrografias do horizonte Bi do Perfil 10 de Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico.

Análises microquímicas de feições selecionadas no horizonte Bi do Cambissolo (P10) de tufito revelam um plasma rico em silício (30,1% de SiO_2 e 8,2% de Al_2O_3), com altos teores de MgO e Fe_2O_3 , envolvendo grãos de quartzo (mapa de Si, Figura 10, Foto A), minerais residuais de Ti (mapa de Ti na Figura 10, Foto A), litorelíquias ferruginosas no tamanho de areia, com cerca de 54,5% de Fe_2O_3 (Quadro 7, A1) e vidro vulcânico rico em Si e Ca. Ao lado destes, ocorrem abundantes grãos residuais de apatita degradada, em que o Ca está sendo progressivamente substituído por Al (Quadro 7, C e mapas de Al, Ca, e P na Figura 10). Ao longo dos contatos entre os pedos em blocos ocorrem mangãs e ferrãs (Figura 10, Fotos C, E e F), com composição variável, e cujas médias de análises estão descritas no Quadro 7 (D e E). Esses mangãs e ferrãs parecem constituir importante área de concentração de Cu, Ni, Co e P, com baixos teores de Si (Quadro 7, D e E).

No horizonte Bw do Perfil 11 ocorrem abundantes feições pedológicas, típicas de solos concrecionários (Figura 11, Fotos A, B, C e D), com fragmentos litoreliquiais e alteromorfos, arestados ou não, em diferentes graus de preservação, mas normalmente envolvidos por ferruginização (nodulação). Esses nódulos, de tipos e tamanhos diversos, abrigam alteromorfos de rochas pelíticas e quartzosas (Figura 11, Foto B), todos profundamente alterados, em que são comuns recobrimentos de ferrãs de hematita e goethita (Figura 11, Fotos A e C). Grãos residuais de magnetita (coloração escura) sugerem uma contribuição de materiais tufíticos, em mistura íntima aos materiais do Bambuí, sendo provavelmente retrabalhados na forma de depósitos coluviais.

As análises microquímicas e imagens de retroespalhamento eletrônico do horizonte Bw do Perfil 11 revelam micronódulos em tamanho de areia (~ 1,0 mm de diâmetro) – (Quadro 8, A1 e A2 e Figura 12), com composição predominantemente ferruginosa, de forma concrecionária, com teores de Fe_2O_3 de até 49,4%, enquanto o plasma argiloso externo mostra valores mais baixos de Fe_2O_3 (24,9%), associados a maiores valores de Al e baixos valores de P, denotando a natureza caulínica-oxídica do solo (Quadro 8). Algumas concreções e microagregados abrigam nódulos gibbsíticos protegidos (mapas de Al na Figura 12, Foto B e Quadro 8, B), com baixos teores de Fe e Si e composição aluminosa (39,8% de Al_2O_3).

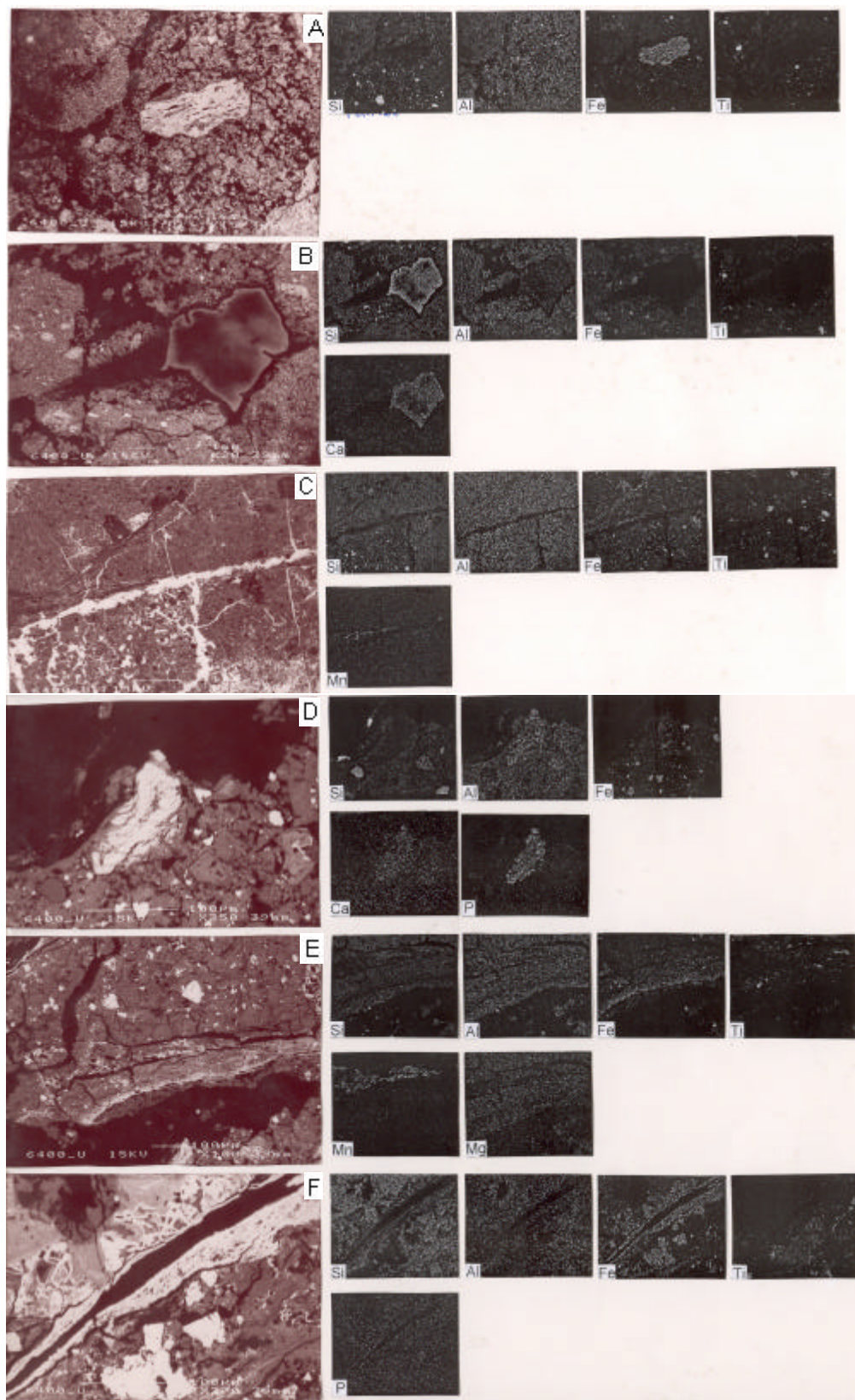


Figura 10 – Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte Bi do Perfil 10 de Cambissolo HáplicoTa eutrófico léptico.

Quadro 7 – Análises microquímicas em EDS/MEV em feições selecionadas no horizonte Bi do Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico (Perfil 10) da Topolitossequência Coromandel

Óxidos (%) e Ki	Feições					
	Litorelíquia ferruginosa (A1)	Plasma externo (A2)	Vidro vulcânico Si/Ca (B)	Nódulo Ca/P (C)	Mangás (D)	Ferrás (E)
MgO	0,09	3,10	2,60	1,55	0,80	1,90
Al ₂ O ₃	2,72	8,20	1,60	12,80	3,10	11,70
SiO ₂	2,68	30,1	44,40	2,65	5,90	2,40
P ₂ O ₅	0,00	0,05	0,00	12,20	1,60	0,36
K ₂ O	0,02	10,10	0,00	1,28	1,20	0,03
CaO	0,06	0,16	8,20	1,98	0,10	0,20
TiO ₂	0,25	1,60	0,00	1,77	1,05	0,60
VO ₂	0,30	0,04	0,08	0,00	0,40	0,04
CrO	0,35	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,06	0,00	0,00	32,80	0,40
Fe ₂ O ₃	54,5	18,80	0,04	12,60	15,20	53,90
CoO	0,08	0,28	0,07	0,00	0,85	0,55
NiO	0,06	0,06	0,05	0,00	0,65	0,02
CuO	0,00	0,06	0,00	0,09	0,63	0,50
ZnO	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
Ki	1,68	6,24	47,18	0,35	3,24	0,35

$$Ki = (SiO_2 \times 1,7)/Al_2O_3$$

Em maiores aumentos (Figura 12, Foto C), podem ser observados grãos residuais com altas concentrações de P₂O₅ (Quadro 8, C), cerca de 14,3%, associados a valores mais elevados de Al, com Fe e Ti associados. Esses grãos devem corresponder a residuais de intemperismo de inclusões de apatita, com diâmetro = 10 µm, provenientes de contribuição de minerais do tipo magnetita/ulvo-espínélio/ilmenita, considerados pedogeneticamente “inertes” por CESCAS e TYNER (1970), em relação às apatitas em grãos isolados, expostos ao intemperismo. Em vista do exposto, é possível que essas formas de P, inclusas em minerais residuais de Ti/Fe, sejam muito pouco solúveis, sem constituir reservas intemperizáveis potenciais para as plantas, em curto prazo.

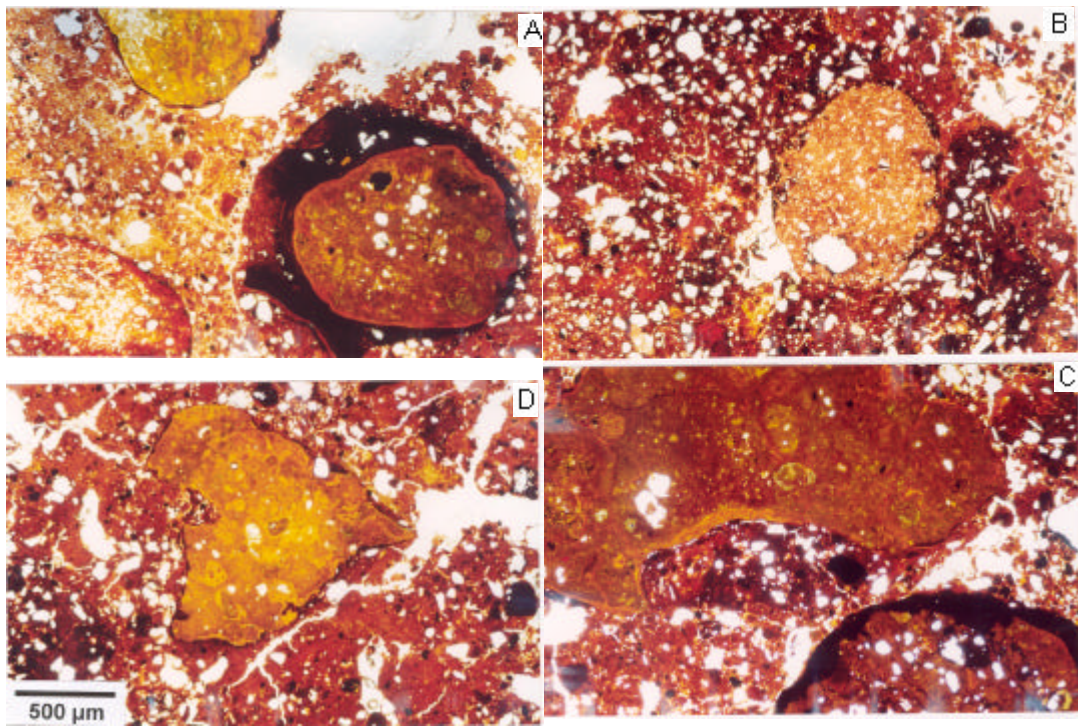


Figura 11 – Fotomicrografias do horizonte Bw2 do Perfil 11 de Latossolo Vermelho distroférico câmbico.

Quadro 8 – Análises microquímicas em EDS/MEV em feições selecionadas do Latossolo Vermelho distroférico câmbico (Perfil 11) da Topolitosseqüência Coromandel

Óxidos (%) e Ki	Feições				
	Concreção ferruginosa (A1)	Plasma externo à concreção A1 (A2)	Grão de gibbsita (B)	Nódulo Al- fosfático (C)	Plasma externo ao nódulo C (D)
MgO	1,25	0,51	0,08	0,08	0,42
Al ₂ O ₃	2,20	19,5	39,80	18,80	18,1
SiO ₂	1,60	15,5	1,90	3,20	17,2
P ₂ O ₅	0,50	0,05	1,20	14,30	0,05
K ₂ O	0,05	0,45	0,05	0,05	0,30
CaO	0,20	0,10	0,10	0,60	0,10
TiO ₂	1,20	2,25	0,08	1,85	2,72
CrO	0,06	0,10	0,00	0,00	0,12
MnO	0,28	0,10	0,00	0,10	0,10
Fe ₂ O ₃	49,40	24,9	0,80	6,50	23,6
CoO	0,65	-	-	0,24	0,15
CuO	0,55	0,05	-	-	0,01
MoO	-	-	-	2,20	-
Ki	1,24	1,35	0,08	0,29	1,62

Ki = (SiO₂ x 1,7)/Al₂O₃; - = valor não obtido

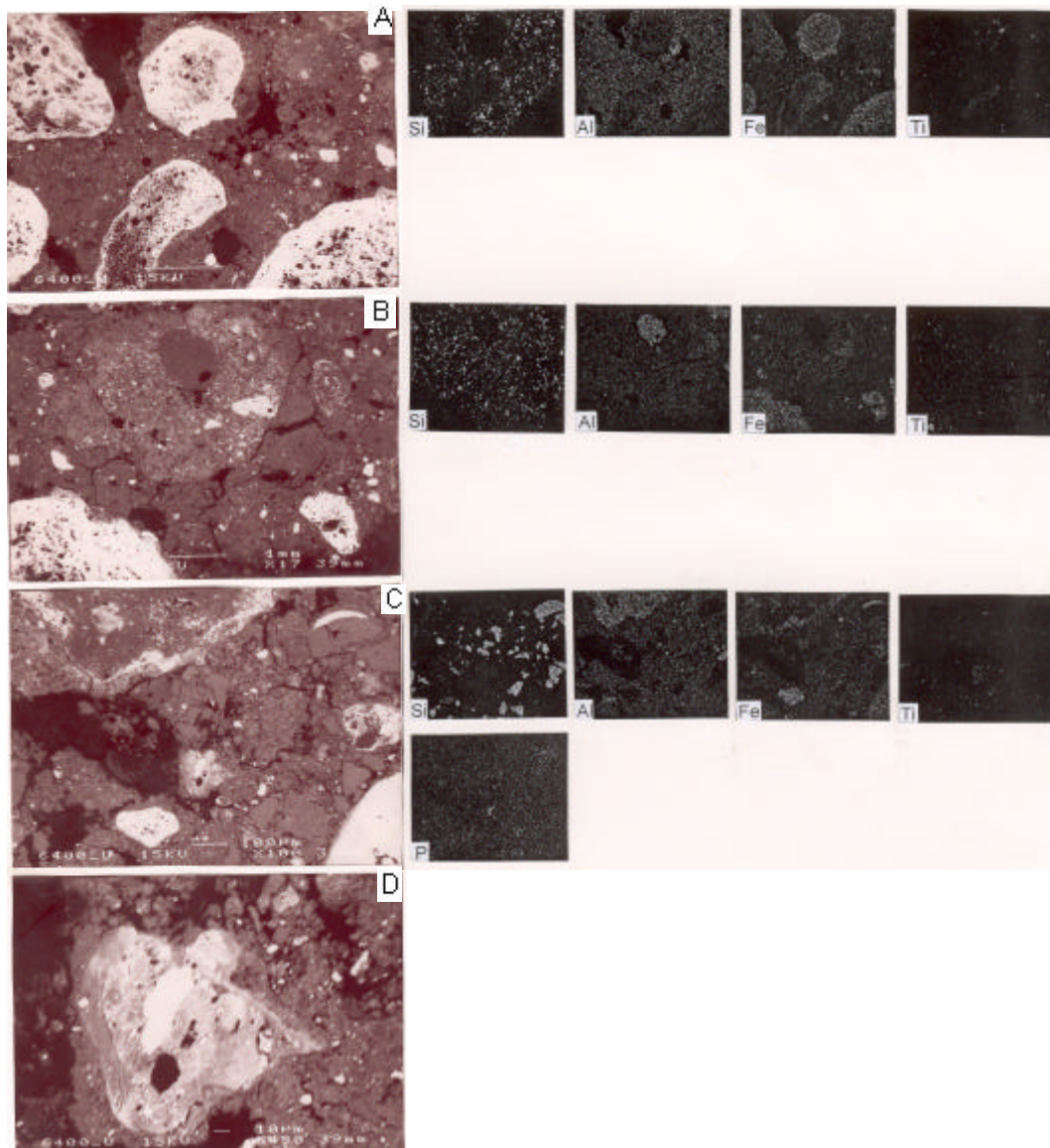


Figura 12 – Fotomicrografias em MEV (“backscattering”) e mapas microquímicos de EDS do horizonte Bw do Perfil 11 de Latossolo Vermelho distroférrico câmbico.

4. CONCLUSÕES

A análise ampla e integrada dos atributos micromorfológicos e microquímicos dos solos estudados permitiu concluir que:

1. Os Latossolos são poligenéticos e a natureza microquímica dos grãos residuais permite identificar e diferenciar a influência dos substratos máfico-ultramáficos na gênese. A microagregação é semelhante à dos Latossolos típicos, em que a ação biológica tem destaque. Nos agregados, estão incorporados desde grãos de quartzo e microfragmentos de carvão, até minerais primários residuais, tais como perowskita e Ti-magnetita.

2. Os horizontes B incipientes ou câmbicos dos Cambissolos mostram uma forte microestruturação granular de origem biológica, atípica para B câmbicos, favorecida pelas condições climáticas e de fertilidade natural, mesmo com plasma de composição química rica em argilominerais 2:1.

3. Os Cambissolos desenvolvidos de tufito e de rocha máfico-alcálica possuem grãos residuais de apatita primária, pouco alterada, associados a minerais ferromagnesianos, cálcicos e micáceos (ricos em potássio), evidenciando a mistura de materiais ígneos com as rochas pelíticas encaixantes, nos solos do Alto Paranaíba.

4. A ocorrência comum de grãos de perowskita (CaTiO_3) como residuais, até mesmo nos Latossolos mais intemperizados, indica uma reserva incomum em Ca associado a minerais titaníferos, até então desconhecidos nos Latossolos sesquioxídicos do Alto Paranaíba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, H., SCHAEFER, C.E.R., DEMATTE, J.L.I., ANDRADE, F.V. Pedogeomorfologia e micropedologia de uma sequência Latossolo - Areia Quartzosa Hidromórfica do sobre rochas cristalinas do Estado do Amazonas. **Geonomos**, 5:55-66, 1997.
- AUROSSEAU, P., CURMI, P., BRESSON, L.M. Microscopy of cambic horizon. In: DOUGLAS, L.A., THOMPSON, M.L. **Soil micromorphology and soil classification**. Madison: SSSA, 1985. Special Publication, 15, p.49-62.
- BAERT, J., Van RANST, E. Comparative micromorphological study of representative weathering profiles on different parent materials in the lower Zaire. In: SHOBA, S., GERASIMOVA, M., MIEDEMA, R., (Ed.) INTERNATIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORFOLOGY: SOIL MICROMORPHOLOGY - STUDIES ON SOIL DIVERSITY DIAGNOSTICS DYNAMICS, 10. 1977, Moscow, **Proceedings...**, Moscow – Wageningen: ISSS, 2000. p.28-40.
- BARBOSA, O., BRAUN, O.P.G., DYER, R.C., CUNHA, C.A.B.R. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1970. Bol. 136, 140p.
- BATES, R.L., JACKSON, J.A. **Glossary of geology**. 2.ed. Am Geol. Inst., Falls Church, VA. 1980.
- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York: John Wiley, 470p. 1964.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G., TURSINA, T., BABEL, U. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton: Waine Research publications, 1985. 152p.

- CAMPOS, J.C.F., SCHAEFER, C.E.R., KER, J.C., SAADI, A., ALBUQUERQUE FILHO, M.R. Genesis and micropedology of soils of Mid Jequitinhonha valley, from Turmalina to Pedra Azul, Minas Gerais. **Geonomos**, 5:41-53, 1997.
- CARMO, D.N., CURI, N., RESENDE, M. Caracterização e gênese de Latossolos da Região do Alto Paranaíba - MG. **R. Bras. Ci. Solo**, 8:235-240, 1984.
- CESCAS, M.P., TYNER, E.H. Distribution of apatite and other mineral inclusions in a rhyolitic pumice ash and beach sands from New Zealand: an electron-microprobe study. **Journal of Soil Science**, 21(1):78-84, 1970.
- DELVIGNE, J.E. **Atlas of micromorphology and mineralogy**. Ottawa: Orstom, Special Publication 3, 1998. 494p.
- DUARTE, M.N., RAMOS, D.P., LIMA, P.C. Caracterização e gênese de solos desenvolvidos de cobertura quaternária sobre embasamento cristalino na Baixada Litorânea do Estado do Rio de Janeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 20:291-304, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.
- ESCHENBRENNER, V. Contribution des termites à la microagrégation des sols tropicaux. Cah. ORSTOM, **Sér. Pédol.**, 22:397-408, 1986.
- FERREIRA, S.A.D., SANTANA, D.P., FABRIS, J.D., CURI, N., NUNES FILHO, E., COEY, J.M.D. Relações entre magnetização, elementos traços e litologia de duas seqüências de solos do Estado de Minas Gerais. **R. Bras. Ci Solo**, 18:167-174, 1994.
- FITZPATRICK, E.A. **Soil microscopy and micromorphology**. New York: John Wiley, 1993. 304p.
- JACKSON, M.L. Chemical composition of soils. In: BEAR, F.E. (Ed.) **Chemistry of the soil**. New York: Van Nostrand-Reinhold, 1964. p.71-141.
- JONGERIUS, P.D., Van der ANCKER, J.A.M., MUCHER, H.J. The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. **Catena**, 34:349-363, 1999.
- KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, 5:17-40, 1997.
- MELO MARQUES, J.J.G.S. **Trace elements distribution in Brazilian cerrado soils at the landscape and micrometer scales**. West Lafayette, Purdue University, 2000. (Tese Ph.D).
- MIKLÓS, A.A.W. **Biodynamique d'une couverture pédologique dans la région de Botucatu, Brésil**. Université Paris VI, France, 1992. (Doctorat thesis).

- MILNES, A.R., FITZPATRICK, R.W. Titanium and Zirconium minerals. In: DIXON, J.B., WEED, S.B., (Ed.). **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.1131-1194.
- MUGGLER, C.C., BUURMAN, P. Micromorphological aspects of polygenetic soils developed on phyllitic rocks in Minas Gerais, Brazil. In: SHOBA, S., GERASIMOVA, M., MIEDEMA, R. (Ed.). INTERNATIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORPHOLOGY: SOIL MICROMORPHOLOGY - STUDIES ON SOIL DIVERSITY DIAGNOSTICS DYNAMICS, 10., 1997, Moscow. **Proceedings...**, Moscow - Wageningen: ISSS, 2000. p.129-138.
- NUNES, W.A.G.A., SCHAEFER, C.E., KER, J.C., FERNANDES FILHO, E.I. Micropedological characterization of some soils of the Zona da Mata, Minas Gerais, Brazil. **J. Soil Sci.**, 24(1):103-116, 2000.
- RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**. West Lafayette, Purdue University, 1976. 237 p. (Tese Ph.D).
- SANTANA, D.P. **Soil formation in a toposequence of Oxisols from Patos de Minas region, Minas Gerais State, Brazil**. West Lafayette, Purdue University, 1984. 129p. (Tese Ph.D.)
- SCHAEFER, C.E.G.R. Brazilian Latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal Soil Res**, 39(5):909-926, 2001.
- STOOPS, G., MARCELINO, V., ZAUYAH, S., MAAS, A. Micromorphology of soils in humid tropics. In: RINGROSE-VOASE, A.J., HUMPHREYS, G.S. (Ed.). INTERNATIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORFOLOGY: SOIL MICROMORPHOLOGY: STUDIES IN MANAGEMENT AND GENESIS, 9., 1992, Townsville. **Proceedings...**, Townsville, Aus.: 1992. p.1-15.
- STOOPS, G., BUOL, S.W. Micromorphology of Oxisols. In: DOUGLAS, L.A., THOMPSON, M.L. (Ed.). **Soil micromorphology and soil classification**. Madison: Soil Science Society of America, Special Publication 15, 1985. p. 105-119.
- TARDY, Y., ROQUIN, C. Geochemistry and evolution of lateritic landscapes. In: MARTIN, I.P., CHESWORTH, W. (Ed.). **Weathering, soils and paleosols**. Amsterdam: Elsevier, 1992. p. 407-444.
- THOMAS, M.F. **Geomorphology in the tropics**. New York: John Wiley, 1994. 460p.
- Van WAMBEKE, A. **Soils of the tropics: properties and appraisal**. New York: McGraw-Hill, 1992. 343p.
- WILLIAMS, H., TURNER, F.J., GILBERT, C.M. **Petrografia**. São Paulo: USP, 1970.

ANEXOS

Anexo

Quadro 1A– Análises microquímicas (counts) em HRTEM (Microscópio Eletrônico de Transmissão de Alta Resolução) de cristais individuais de caulinita e argilominerais 2:1 em Cambissolo eutrófico sobre tufito

Mineral	Forma	Elemento e relações	Repetições de contagens de pontos										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Caulinita	Sub-euhedrais e degradados	Al	1932	5091	5869	1759	6075	2734	2616	2855	1450	2728	-
		Si	2468	6324	6590	2258	6960	3027	3012	3155	1669	3125	-
		Fe	307	555	645	288	566	295	308	547	317	310	-
		Si/Al	1,28	1,24	1,12	1,28	1,14	1,11	1,15	1,10	1,15	1,14	-
		% Fe/Al	15,89	10,90	10,99	16,37	9,32	10,79	11,77	19,16	21,86	11,36	-
	Euhedral (hexagonais)	Al	3327	5012	3327	5713	6026	2843	2497	1520	5932	3274	2293
		Si	4287	6294	4287	6651	6875	3045	2754	1725	6825	4015	2635
		Fe	522	526	522	455	528	474	237	320	524	412	241
		Si/Al	1,29	1,26	1,29	1,16	1,14	1,07	1,10	1,13	1,15	1,23	1,15
		% Fe/Al	15,69	10,49	15,69	7,96	8,76	16,67	9,49	21,05	8,83	12,58	10,51
2:1	Variados e degradados	Al	2533	3885	322	3636	2048	2354	2602	2462	495	3528	-
		Si	4569	6105	1161	6024	4220	4320	4432	4525	1291	5872	-
		Fe	915	341	531	420	615	515	703	634	475	415	-
		K	676 ¹	294	516	395	535 ¹	470	595 ¹	505 ¹	393	327	-
		Si/Al	1,80	1,57	3,61	1,66	2,06	1,83	1,70	1,84	2,60	1,66	-
		% Fe/Al	36,12	8,78	164,9	11,50	30,03	21,88	27,02	25,75	95,95	11,76	-

% Fe/Al = (Fe x 100)/Al; ¹ = mais escuro; - = valor não obtido

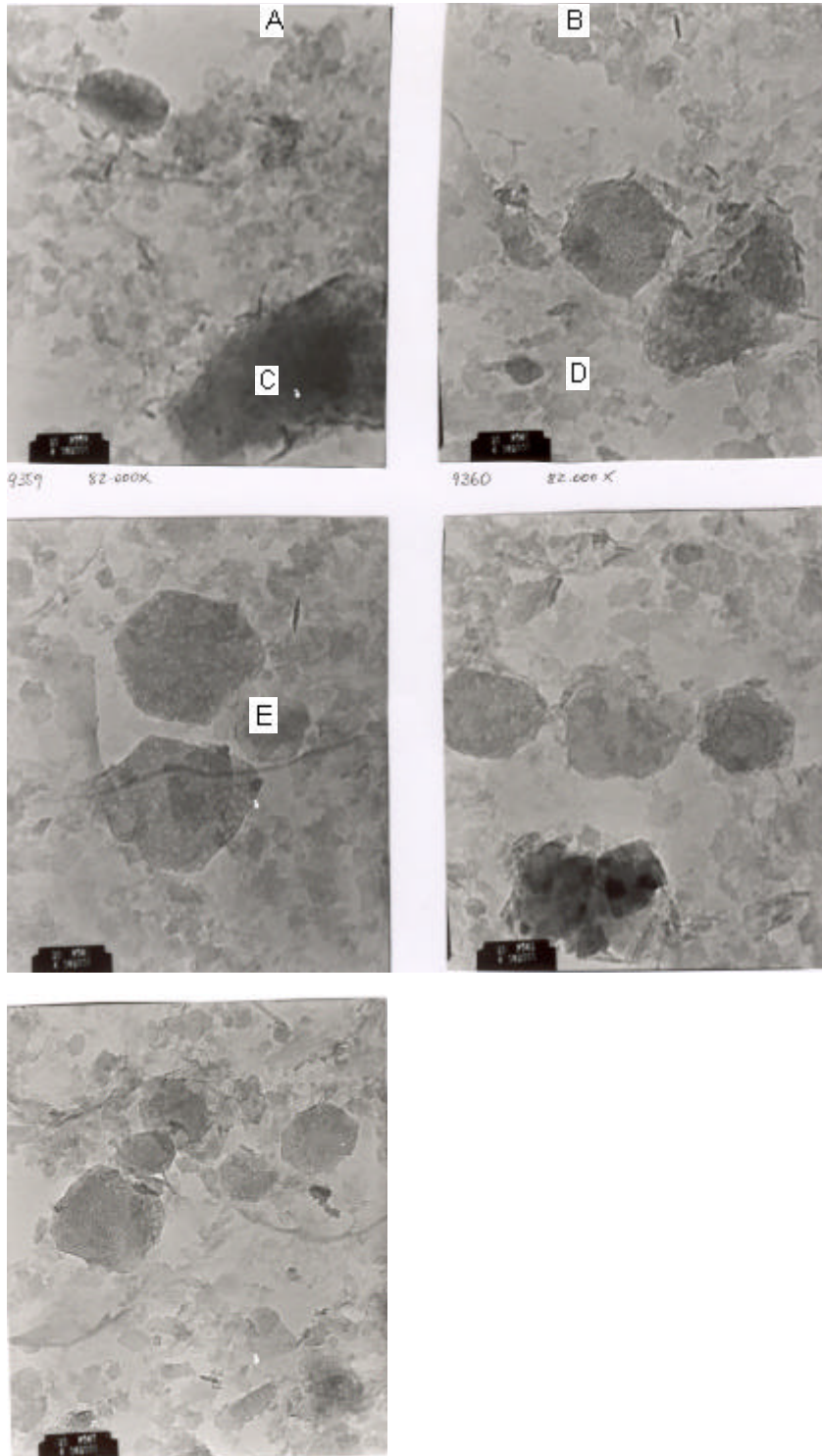


Figura 1A – Fotomicrografias em MET de argilominerais cristalinos e amorfos no horizonte Bi do Perfil 10 de Cambissolo de tufito (Aumento 28000x).

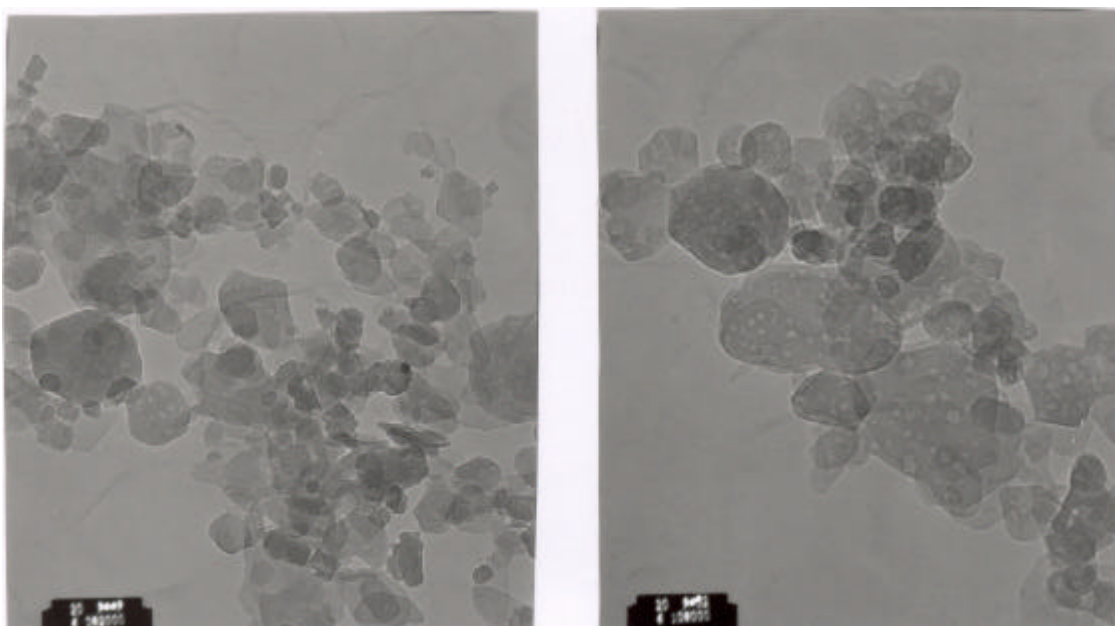


Figura 2A – Fotomicrografias em MET de caulinitas no horizonte Bw do Perfil 9 de Latossolo Vermelho de tufito (Aumento 28000x).

CAPÍTULO 4

FÓSFORO, SUPERFÍCIE ESPECÍFICA, CMAF E ATRIBUTOS MINERALÓGICOS DE ALGUNS SOLOS DO ALTO PARANAÍBA - MG

1. INTRODUÇÃO

Na maioria dos solos, o suprimento natural de fósforo é deficiente, fazendo com que sua disponibilidade seja baixa. Apesar de seu teor total no solo variar de 200 a 2000 kg ha⁻¹ e 1000 kg, em média (BRADY e WEIL, 1996), ou entre 200 e 3000 mg kg⁻¹ (NOVAIS e SMYTH, 1999), menos de 0,1% desse total está presente na solução do solo, cujos valores variam entre 0,002 e 2,0 mg L⁻¹ (FARDEAU, 1996). O nível de 0,2 mg L⁻¹ foi estabelecido por BECKWITH (1965) e FOX e KAMPRATH (1970) como a concentração de equilíbrio para o máximo crescimento da maioria das plantas.

Quando encontrado em altas concentrações, pode ser indicativo de uma área com influência animal e/ou humana em épocas pretéritas. É o caso dos solos denominados Terras Pretas de Índio encontrados no Brasil, principalmente na região Amazônica, onde o fósforo disponível pode atingir valores da ordem de 3000 mg kg⁻¹ (LIMA, 2001). Em ecossistemas naturais, não perturbados pelo homem, a existência de vários processos biológicos e químicos permite que as plantas, mesmo em condições de baixa disponibilidade, façam seu uso de maneira eficiente, podendo haver absorção direta de formas orgânicas de P, sem

que haja passagem do mesmo para a fase mineral do solo (NOVAIS e SMYTH, 1999). Adicionalmente, poucas perdas ocorrem com este nutriente pois, além de não formar gases que poderiam escapar para a atmosfera, ele não é facilmente lixiviado do solo através da água de drenagem. Por outro lado, adições através da atmosfera e chuvas são desprezíveis (BRADY e WEIL, 1996). Não obstante, NOVAIS e SMYTH (1999) afirmam que o P presente na solução pode ser submetido a perdas por erosão dos horizontes superficiais do solo, lixiviação em solos arenosos e, sob condições de altas temperaturas, volatilização.

No que se refere à fertilidade do solo, o fósforo apresenta três problemas: o primeiro é com relação ao seu baixo nível no solo, geralmente não mais do que 1/10 a 1/4, quando comparado com o nitrogênio, e 1/20 daquele do potássio; o segundo problema diz respeito à baixa solubilidade dos compostos de fósforo comumente encontrados nos solos, tornando-o indisponível à absorção pelas plantas; e, finalmente, o terceiro problema diz respeito às mudanças para formas não disponíveis (fixação), quando fontes solúveis de fósforo, na forma de fertilizantes e esterco, são adicionadas ao solo. Neste último caso, compostos altamente insolúveis são formados e, do total de fertilizante aplicado, em geral, somente uma pequena fração de fósforo (10 a 15 %) pode ser absorvido pelas plantas, no ano de aplicação. Para atenuar tal problema, agricultores procedem à prática da adubação pesada, aplicando de duas a quatro vezes mais do que seria removido pelas culturas, o que pode favorecer a eutroficação de lagos, estuários e rios, principalmente em solos pouco intemperizados e/ou arenosos (BRADY e WEIL, 1996).

O solo pode assumir o papel de fonte ou de dreno de fósforo, quando apresentar reservas favoráveis à planta ou quando competir com a planta, fixando parte do P adicionado como fertilizante. Com o aumento do intemperismo, principalmente em condições tropicais, os solos mudam de fontes para drenos, tornando-se eletropositivos e com grande capacidade de adsorver e reter ânions, tais como os fosfatos. Neste contexto, estão incluídos os Latossolos que, via de regra, apresentam-se bastante lixiviados, ácidos e muito pobres em P disponível. Em certos casos, como nos Latossolos argilosos do Cerrado brasileiro, o solo pode adsorver mais de $2 \text{ mg (cm}^3\text{)}^{-1}$ de P, o que equivale a 4000 kg ha^{-1} de P, ou seja, 9200 kg ha^{-1} de P_2O_5 , incorporado de 0–20 cm de profundidade. Metade deste valor pode ser fixada (P não-lábil) em até um mês de contato com o solo,

sendo este processo muito mais rápido que a difusão do P até a raiz da planta (NOVAIS e SMYTH, 1999).

A quantidade e constituição mineralógica da fração argila também assumem papel importante na caracterização de um solo como dreno ou fonte. Desta forma, solos muito intemperizados (oxídicos), com elevado teor de argila, exercerão predominantemente a função de drenos, enquanto aqueles pouco intemperizados (ricos em minerais primários silicatados) exercerão o papel de fontes (NOVAIS e SMYTH, 1999).

A interdependência entre o P-trocável ou lábil, denominado fator quantidade (Q), e o P-solução ou disponível, denominado fator intensidade (I), para cada condição de solo (quantidade e qualidade dos constituintes minerais, principalmente da fração argila), resulta no conceito de Fator Capacidade de P do solo ou Poder Tampão de P do solo (FCP). Este fator é obtido pela relação Q/I e definido como a resistência do solo em mudar o P-lábil como função do P-solução, ou vice-versa (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Outro aspecto, de relevante importância para o fósforo, diz respeito ao estudo de sua adsorção aos colóides do solo, a depender da quantidade e qualidade desses últimos. Para tal, os cientistas de solo desenvolveram o conceito de Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfato (CMAF).

A concentração de P em solução, normalmente considerada como de elevada disponibilidade às plantas, parece depender, em grande parte, do processo de adsorção de P na superfície dos constituintes do solo. A importância deste processo, de uma forma geral, levou FOX e KAMPRATH (1970) a sugerir a inclusão de critérios ligados ao mesmo, nos sistemas de classificação de solos, em níveis categóricos mais baixos.

Alguma diferenciação dos Latossolos brasileiros com base na CMAF tem sido estabelecida (CURI e CAMARGO, 1986), e sua quantificação despertou interesse e impulsos em trabalhos mais recentes (RESENDE, 1976; LOPES, 1977; BAHIA FILHO, 1982; CURI, 1983; KER, 1995; FERNANDES, 2000).

O objetivo deste trabalho foi o estudo de alguns dos processos de adsorção de P em solos selecionados da região do Alto Paranaíba – MG, estabelecendo suas relações com alguns atributos de solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Solos utilizados e sua localização

Foram escolhidas três topolitosseqüências de solos, localizadas na região da Bacia do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais. Foram avaliados um total de 11 perfis, situados na faixa do contato geológico entre os grupos Bambuí, Araxá e corpos ígneo-vulcânicos de natureza alcalina-ultramáfica.

A primeira topolitosseqüência (T1), com 4 perfis, está situada nas proximidades da Serra do Salitre, localizada no município de mesmo nome. A segunda (T2), também com 4 perfis de solos, encontra-se na Serra Negra, no município de Patrocínio, e a terceira (T3), com três perfis, nas imediações da sede do município de Coromandel. As topolitosseqüências foram identificadas com o nome dos municípios em que estão localizadas.

2.2. Caracterização dos solos

Para a descrição morfológica dos 11 perfis de solos, seguiram-se os procedimentos descritos por LEMOS e SANTOS (1996), empregando-se na nomenclatura dos horizontes as normas constantes em EMBRAPA (1988a). Amostras deformadas foram coletadas de cada horizonte, objetivando-se a realização de análises físicas, químicas e mineralógicas para a caracterização dos solos. Nas análises físicas e químicas de rotina, seguiram-se os procedimentos padrões do Manual de Métodos e Análise de Solo (EMBRAPA, 1979). Na classificação dos solos adotaram-se as normas dos levantamentos

pedológicos executados pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (EMBRAPA, 1988b) e do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Os dados completos de todos os perfis estudados encontram-se no anexo do capítulo 2.

De cada solo foi escolhido um horizonte diagnóstico, realizando-se no mesmo análises mais sofisticadas, a fim de se verificar as possíveis interrelações entre o status do fósforo e as características físicas, químicas e mineralógicas dos materiais constituintes envolvidos.

Foram realizados ataques triácido e sulfúrico (EMBRAPA, 1979) e extrações com oxalato ácido de amônio (McKEAGUE e DAY, 1966) e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (MEHRA e JACKSON, 1960) na TFSA e fração argila.

A fração argila com óxidos de ferro concentrados foi obtida mediante tratamento com NaOH 5 mol L⁻¹, segundo metodologia proposta por KÄMPF e SCHWERTMANN (1982).

2.3. P remanescente

O fósforo remanescente (P-rem) foi determinado na solução de equilíbrio, em amostras duplicatas, após agitação de uma amostra de 2,5 g de TFSA, pelo período de 1 hora, com solução de 50 mL de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na proporção 1:10 (ALVAREZ V. e FONSECA, 1990). A determinação nos extratos foi efetuada segundo MURPHY e RILEY (1962).

2.4. Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfato (CMAF)

A Capacidade Máxima de Adsorção de Fosfato (CMAF), Capacidade Tampão de Fósforo (CTP), energia de adsorção (a) e fator intensidade (I) foram determinados com base nos trabalhos de ALVAREZ V. e FONSECA (1990).

2.5. Superfície específica (métodos direto e indireto)

A superfície específica foi determinada no laboratório de Ciência da Partícula do Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade da Flórida, nas frações argila natural, argila desferrificada e argila com óxidos de ferro concentrados. Utilizou-se medição direta em atmosfera de nitrogênio, com equipamento NOVA 1200 Quantachrome, sendo os cálculos de área realizados

automaticamente pelo software NOVA Enhanced Data Reduction – versão 2.11, aplicando-se a equação BET (Brunauer, Emmett e Teller) a isotermas de adsorção de N₂ (GREGG, 1961).

A superfície específica calculada (método indireto) para a caulinita, goethita, hematita e gibbsita foi efetuada de acordo com a metodologia utilizada por KER (1995), RODRIGUES NETTO (1996) e FERNANDES (2000).

2.6. Quantificação dos constituintes mineralógicos na fração argila

Foi realizada a partir dos dados do ataque sulfúrico e de difração de raios X (Capítulo 2), segundo o método de alocação (RESENDE et al., 1987), com o programa computacional ALOCA (MOURA FILHO et al., 1995).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Superfície específica

Em todas as amostras, os valores de superfície específica (Quadro 1) evidenciam que houve uma diminuição quando do tratamento da argila com ditionito-citrato-bicarbonato e um aumento após o tratamento da argila natural para a concentração de óxidos de ferro. Tal fato fornece uma indicação da elevada área e da influência destacada destes óxidos nos fenômenos de geração de sítios favoráveis à adsorção (PARFITT, 1978; FROSSARD et al., 1994). Em adição, BORGGAARD (1982) relata que as propriedades físico-químicas dos óxidos de ferro são mais influenciadas pela superfície específica do que pelas feições mineralógicas que apresentam.

Em quase sua totalidade, os valores de superfície específica (Quadro 1) são inferiores aos encontrados por KER (1995), para Latossolos do Brasil, principalmente nas amostras de argila tratada para a concentração de óxidos de ferro. Esta diferença deve ser decorrente dos diferentes métodos empregados neste trabalho (BET N₂) e naquele utilizado pelo referido autor (EMEG – etileno glicol mono-etil éter), ou até mesmo de uma superestimação dos resultados, hipótese aliás conjecturada pelo autor citado.

Os valores de SE_{NAT} foram muito elevados em dois dos Cambissolos, sendo que, nestes solos, houve maior redução da superfície após o tratamento para a remoção dos óxidos de ferro. Nos Latossolos, a SE_{NAT} variou de 34 a 51,2 m² g⁻¹. Os valores de SE_{NAT}/SE_{DCB} foram maiores nos Cambissolos.

Quadro 1 – Superfície específica da fração argila com três tratamentos em horizontes diagnósticos dos solos das três topolitosseqüências estudadas

Perfil	Horizonte	Profundidade	Material de origem	SEA _{NAT} *	SEA _{DCB} *	SEA _{OXFe} *	SEA _{NAT} /SEA _{DCB}
		---- cm ----		----- m ² g ⁻¹ -----			
T1 – Topolitosseqüência Serra do Salitre							
LATOSSOLO VERMELHO ÁCRICO típico (húmico)							
P1	Bw2	100-150 ⁺	Cobertura sobre rochas alcalinas	51,22	21,56	102,53	2,42
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico							
P2	Bi	25-40	Alcalinas/ultramáficas	30,56	6,23	60,92	4,93
NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico							
P3	A	0-40	Alcalinas/ultramáficas	-	-	-	-
LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico							
P4	Bw2	75-110	Cobertura sobre clorita-xistos	41,91	21,42	70,12	1,95
T2 – Topolitosseqüência Patrocínio							
LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO húmico							
P5	Bw2	80-150	Cobertura sobre dunito	37,46	25,08	74,87	1,48
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Ácrico típico							
P6	Bw2	80-125	Cobertura sobre Dunito	39,58	24,17	90,25	1,62
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico							
P7	Bi	30-50	Dunito	56,30	7,59	59,44	7,46
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico							
P8	Bw2	120-150 ⁺	Colúvio de rochas ultrabásicas e psamíticas	34,37	25,79	73,49	1,30
T3 – Topolitosseqüência Coromandel							
LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico							
P9	Bw2	100-200 ⁺	Cobertura sobre tufito	33,74	13,78	78,36	2,45
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico							
P10	Bi	20-60	Tufito	69,88	18,22	107,97	3,90
LATOSSOLO VERMELHO Distroférico câmbico							
P11	Bw	50-80	Canga laterítica	45,61	23,39	71,85	1,95

* = calculada pelo método BET N₂; SEA_{NAT} = superfície específica da fração argila natural; SEA_{DCB} = superfície específica da fração argila tratada com ditionito-citrato-bicarbonato; SEA_{OXFe} = superfície específica da fração argila concentrada em óxidos de ferro

Comparando-se os valores de superfície específica da argila natural (Quadro 1) com aqueles resultantes da soma da superfície individual calculada de cada mineral (Quadro 2), constata-se uma diferença muito grande entre os mesmos, podendo-se afirmar que os valores calculados estão superestimados. A diferença poderia ser entendida, caso houvesse uma oscilação para mais ou para menos das diferenças; no entanto, ocorreu um aumento sistemático dos valores calculados, quando comparados aos obtidos pelo método direto (BET N₂), variando entre 6 e 11 vezes.

Quadro 2 – Superfície específica calculada dos principais constituintes mineralógicos encontrados na fração argila de horizontes diagnósticos das três toplotosseqüências estudadas

Topol.	Perfil	Horizonte	Hematita	Goethita	Gibbsita	Caulinita	Total
					m ² g ⁻¹		
T1	P1	Bw2	69,59	175,54	91,67	64,30	401,10
	P2	Bi	67,70	125,72	71,05	83,34	347,81
	P3	A	-	-	-	-	-
	P4	Bw2	64,89	125,62	102,03	64,29	356,83
T2	P5	Bw2	52,37	100,69	81,32	45,26	279,64
	P6	Bw2	50,04	138,06	91,67	45,26	325,03
	P7	Bi	76,06	100,89	81,50	73,82	332,27
	P8	Bw2	50,03	100,71	81,27	64,29	296,30
T3	P9	Bw2	43,54	88,24	70,99	45,26	248,03
	P10	Bi	22,17	75,79	-	26,23	-
	P11	Bw	37,02	113,13	91,70	45,26	287,11

Após o cálculo dos coeficientes de correlação (Quadro 3) entre os valores de superfície específica determinada diretamente e destes com os da superfície individual calculada, analisado apenas o grupo dos 7 Latossolos estudados, obteve-se uma indicação das relações existentes. Observou-se que a superfície específica da goethita correlacionou-se positiva e significativamente com a superfície específica total calculada ($r = 0,93^{**}$), com a superfície específica determinada na fração argila natural ($r = 0,84^*$) e com óxidos de ferro concentrados ($r = 0,81^*$). Isto pode ser explicado pelo menor tamanho e, conseqüentemente, maior área específica da goethita do que de outros óxidos, como assinalado por SCHWERTMANN e KÄMPF (1985), ANAND e GILKES (1987), BARRÓN et al. (1988), SCHWERTMANN (1988), MESQUITA FILHO e TORRENT (1993) e TORRENT et al. (1994).

Uma estimativa adequada da contribuição dos óxidos de ferro na superfície específica pode ser obtida pela relação SEA_{NAT}/SEA_{DCB} (Quadro 1). Os Latossolos mostraram relações entre 1,30 (P8) e 2,45 (P9), enquanto os Cambissolos apresentaram relações bem mais elevadas, de 3,90 (P10) até 7,46 (P7). O caráter mais reativo da fração oxídica dos Cambissolos do tufito é evidenciado pela superfície dos óxidos de Fe concentrados, que devem ter menor cristalinidade, por serem solos menos evoluídos.

Considerando-se os elevados valores de Ki (Quadro 4) dos perfis P2 e, especialmente, do P7, respectivamente, 1,71 e 7,88, constata-se que os mesmos

Quadro 3 – Correlações entre alguns dos valores de superfície específica determinados e calculados das amostras dos Latossolos das três topolitosseqüências estudadas (n = 7)

Correlações		r
SE _{SOMA}	x SE _{Gt}	0,93**
SE _{SOMA}	x SE _{Hm}	0,86*
SE _{SOMA}	x SE _{Gb}	0,74 ^o
SE _{SOMA}	x SE _{Ct}	0,68 ^o
SE _{NAT}	x SE _{Gt}	0,84*
SE _{NAT}	x SE _{Gb}	0,66 ^o
SE _{OXFe}	x SE _{Gt}	0,81*

SE_{SOMA} = soma das superfícies individuais calculadas (Quadro 2); SE_{NAT} = superfície específica da fração argila natural; SE_{OXFe} = superfície específica da fração argila com óxidos de ferro concentrados; SE_{Gt} = superfície específica calculada da goethita (Quadro 2); SE_{Hm} = superfície específica calculada da hematita (Quadro 2); SE_{Gb} = superfície específica calculada da gibbsita (Quadro 2); SE_{Ct} = superfície específica calculada da caulinita (Quadro 2); ** = significativo a 1% de probabilidade; * = significativo a 5% de probabilidade; ^o = significativo a 10% de probabilidade

Quadro 4 – Valores dos óxidos do ataque sulfúrico, relações Ki e Kr, fósforo extraído por Mehlich e pelo ataque triácido em várias frações de horizontes dos solos das três topolitosseqüências estudadas

Topol.	Perfil	Horizonte	Ataque sulfúricoTFSA ¹			Ki	Kr	PMehlich ³ TFSA	Ptotal ² TFSA	Ptotal ² areia	Ptotal ² argila
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃						
			-----dag kg ⁻¹ -----			-----mg kg ⁻¹ -----					
T1	P1	Bw2	8,3	17,7	6,2	0,80	0,65	0	1.340	280	1.540
	P2	Bi	13,0	12,9	6,2	1,71	1,31	3,5	1.740	660	3.200
	P3	A	1,9	5,0	2,0	0,65	0,51	535,6	6.000	3.060	16.000
	P4	Bw2	9,3	30,7	5,2	0,51	0,46	0,1	260	20	340
T2	P5	Bw2	10,6	36,7	9,9	0,49	0,42	0,5	1.020	580	980
	P6	Bw2	8,1	36,8	6,3	0,37	0,34	0,1	1.780	920	1.820
	P7	Bi	10,2	2,2	21,2	7,88	1,10	244,3	1.820	2.120	1.800
	P8	Bw2	5,4	21,4	10,0	0,43	0,33	1,01	1.560	520	1.960
T3	P9	Bw2	6,5	31,4	7,6	0,35	0,30	0,0	860	540	1.960
	P10	Bi	13,7	11,1	13,5	2,10	0,60	5,3	2.960	1.820	2.020
	P11	Bw	8,1	18,6	19,9	0,74	0,44	1,94	1.260	520	1.240

Topol. = topolitosseqüência; ¹ = determinado em absorção atômica; ² = determinado em plasma; ³ = determinado por colorimetria; Ki = relação %SiO₂.x 1,7 / %Al₂O₃; Kr = %SiO₂.x 1,7 / (%Al₂O₃ + %Fe₂O₃ x 0,64); TFSA = terra fina seca ao ar.

têm correspondência com os valores mais elevados de fósforo remanescente (Quadro 5), respectivamente, 17 e 22 mg kg⁻¹. Nestes perfis, incluindo o perfil P3 do Neossolo, a CMAF_{TFSA} apresenta-se com os menores valores (Quadro 5), pois o desenvolvimento incipiente (poucos óxidos) e a natureza do material de origem

Quadro 5 – Resultados da matéria orgânica (MO), percentagem de argila, fósforo remanescente (P-rem), capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAF), energia de adsorção (a), capacidade tampão (CTP) e fator intensidade em horizontes diagnósticos dos solos das três topolitosseqüências estudadas

Topol.	Perfil	Horizonte	MO	Argila	P Rem	CMAF _{TFSA}	CMAF _{ARGCO}	a	CTP	Intensidade
			g kg ⁻¹	dag kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg g ⁻¹	mg g ⁻¹	kg mg ⁻¹	nmoles/g/upF	(0,5 pCa + pH ₂ PO ₄)
T1	P1	Bw2	10,85	44	0	1,49	3,83	6,15	4.032 ⁽²⁾	8,61
	P2	Bi	38,93	26	17	1,12	4,32	0,67	1.873 ⁽²⁾	7,78
	P3	A	130,83	11	15	0,91	8,23	0,39	1.718 ⁽²⁾	7,58
	P4	Bw2	21,70	53	0	1,95	3,68	8,92	5.605 ⁽²⁾	8,01
T2	P5	Bw2	29,36	70	1	1,36	1,94	9,78	11.111 ⁽¹⁾	7,86
	P6	Bw2	22,34	68	0	2,98	4,38	2,30	14.286 ⁽¹⁾	8,00
	P7	Bi	22,34	10	22	0,55	5,52	2,32	1.205 ⁽²⁾	8,25
	P8	Bw2	21,70	40	2	1,24	3,10	2,04	5.030 ⁽²⁾	7,53
T3	P9	Bw2	15,96	65	0	1,55	2,39	3,14	14.286 ⁽¹⁾	7,70
	P10	Bi	15,96	60	1	1,90	3,16	1,54	10.000 ⁽¹⁾	7,90
	P11	Bw	7,66	23	1	1,38	5,99	3,19	9.091 ⁽¹⁾	7,96

Topol. = topolitosseqüência; CMAF_{TFSA} = capacidade máxima de adsorção de fosfato na terra fina seca ao ar; CMAF_{ARGCO} = capacidade máxima de adsorção de fosfato corrigida para argila, com base na textura do apêndice 1; ⁽¹⁾ ajuste linear; ⁽²⁾ ajuste quadrático

favoreceram a menor retenção de fósforo em relação aos demais. Apesar da elevada superfície específica do P7 (Quadro 1), que poderia contribuir para um valor menor de P-rem e bem mais alto de CMAF_{TFSA} (Quadro 5), o fato deste solo ser rico em fósforo trocável, com valor de 87,6 mg L⁻¹ (Quadro 4), evidencia o menor caráter dreno do mesmo.

Em contraste com os demais Cambissolos (P2 e P7), situação semelhante não ocorreu com o perfil P10 de Cambissolo, o qual mostrou baixo valor de P-rem e alto valor de CMAF (Quadro 5). Neste caso, por tratar-se de um solo produto do intemperismo de tufito, material de origem vulcânica com elevado teor de amorfos, possui alta capacidade de retenção de fósforo, como evidenciado por ALVAREZ V. (1982) e SHOJI et al. (1993).

3.2. P disponível

Os elevados valores de P-Mehlich encontrados nos perfis P3 e P7 (Quadro 4), aliados aos teores de argila (Quadro 5) são considerados como pertencentes às classes boa e muito boa, propostas por ALVAREZ V. et al. (1999). Estes valores de P disponível, bem como seus respectivos valores de P-total na TFSA, P-total na argila e P-total na areia, devem estar relacionados à

presença de apatita nos corpos ultrabásicos/alcalinos, como relatados por BARBOSA et al. (1970) e confirmados nas análises microquímicas (Capítulo 3). Ainda segundo ALVAREZ V. et al. (1999), o restante dos solos enquadra-se nas classes baixo (P10) e muito baixo (demais solos).

3.3. Capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAF) e P remanescente

Os valores de $CMAF_{TFSA}$ variaram entre 0,55 e 2,98 $mg\ g^{-1}$ (Quadro 5), com amplitude de 2,43 e média de 1,49 $mg\ g^{-1}$. Com exceção de 1,9 $mg\ g^{-1}$ (Perfil 10) e 2,98 $mg\ g^{-1}$ (Perfil 6), o restante dos valores se enquadra na faixa dos valores de CMAF encontrados por NOVAIS e SMITH (1999), ao estudarem Latossolos de Cerrado. Em solos da Amazônia, LIMA (2001) encontrou valores de CMAF variando entre 0,21 e 2,17 $mg\ g^{-1}$, enquanto SINGH et al. (1983) também trabalhando com solos da Amazônia, observaram valores entre 0,16 e 0,98 $mg\ g^{-1}$ de P.

A faixa de valores de $CMAF_{TFSA}$ encontrada (Quadro 5) está consistente com os valores de KER (1995) para Latossolos, com destaque para o Latossolo Vermelho Amarelo (P6), com valor mais elevado tanto da $CMAF_{TFSA}$ quanto da $CMAF_{ARGCO}$, respectivamente 2,98 e 4,38 $mg\ g^{-1}$. Esses valores são muito elevados e comparáveis àqueles de solos subtropicais de cinzas vulcânicas (FASSBENDER, 1966; ALVAREZ V., 1982), onde há presença de alofana.

A $CMAF_{ARGCO}$ corrigida para percentagem de argila (Quadro 5) evidenciou expressivos valores nos Cambissolos de rochas ígneas (P2 = 4,32; P7 = 5,52), à exceção daquele derivado do tufito (P10 = 3,16 $mg\ g^{-1}$). Estes valores elevados em P2 e P7 estão associados a valores de P-rem mais elevados, indicando que a dessorção de P nestes solos pode ser mais intensa, em virtude de sua constituição mineralógica não oxidica. No caso do P10, de tufito, o valor de $CMAF_{ARGCO}$ de 3,16 $mg\ g^{-1}$ deve está relacionado a P-rem baixo, indicando a influência de aluminossilicatos amorfos na adsorção, caso típico de solos desenvolvidos de cinzas vulcânicas.

Segundo os critérios sugeridos por CURI et al. (1988), os valores da $CMAF_{TFSA}$ (Quadro 5) variaram entre as classes média (1,0 – 2,5 $mg\ g^{-1}$) e alta (>2,5 $mg\ g^{-1}$) para os Latossolos, em que apenas o Bw2 do Latossolo Vermelho Amarelo (P6) apresentou valores superiores a 2,5 $mg\ g^{-1}$. Entre os Cambissolos, observou-se que aqueles desenvolvidos de rochas ígneas máficas/ultramáficas

cristalinas (Bi do P2 e P7) apresentaram valores mais baixos de $CMAF_{TFSA}$, pelos menores teores de óxidos de ferro e alumínio no primeiro e de óxidos de alumínio no segundo, e menor grau de desenvolvimento. Por outro lado, o Cambissolo desenvolvido do tufito (P10) exibiu valores mais elevados que o próprio Latossolo (P9) que lhe é associado na toposseqüência, fornecendo indícios da importância de formas amorfas de aluminossilicatos na adsorção de fósforo neste solos.

Em relação à posição na paisagem, os valores de $CMAF_{TFSA}$ foram variáveis nas três toposseqüências. Enquanto na T1 o Latossolo Vermelho de topo (P4) apresenta o maior valor, em T2 o Latossolo Vermelho Amarelo (P6) da parte intermediária mostrou maior $CMAF$ que o Latossolo Vermelho de topo (P5). Em T3, conforme comentado, o Cambissolo (P10), em posição intermediária, mostrou valor de $CMAF_{TFSA}$ maior que os Latossolos da seqüência, pelas razões supra-mencionadas. Portanto, mais importante que a posição topográfica é a natureza mineralógica e textural do solo e do substrato geológico, se tufáceo, vulcânico (P10) ou ígneo (P2 e P7).

Como assinalado por KER (1995) e FERNANDES (2000), o fenômeno da adsorção de P em solos é muito complexo, pois engloba uma interação entre os diversos minerais no solo e comportamento diferente de um mesmo mineral, quando em solos distintos. Assim, ressalvas devem ser feitas, principalmente ao serem analisadas informações geradas a partir de correlações, particularmente aquelas com um número pequeno de observações, como é o caso dos 7 Latossolos aqui avaliados (Quadro 6). Mesmo assim, tais correlações podem sugerir tendências da cinética do fósforo em reações com os constituintes mineralógicos dos solos.

Correlacionando-se a $CMAF_{TFSA}$ com alguns atributos dos solos (Quadro 6), foi encontrada apenas correlação significativa e negativa com o ferro extraído pelo ditionito-citrato-bicarbonato ($r = - 0,73^0$), indicando que as formas mais cristalinas de ferro podem não ter participação decisiva na adsorção de fosfatos. Caso isto fosse verdadeiro, esperar-se-ia correlação positiva e significativa com o ferro extraído pelo oxalato, indicativo de formas menos cristalinas e com maiores superfície específica e reatividade, pois, segundo relatos existentes na literatura (McLAUGHLIN et al., 1981; PARFITT, 1989), a baixa cristalinidade dos óxidos de ferro está associada a um maior potencial de adsorção de fosfato.

Quadro 6 – Coeficientes de correlação linear simples entre a CMAF_{TFSA} e algumas variáveis dos solos estudados (n = 7)

	Prem	a	CTP	I	MO	%arg	Gt	Hm	Hm/Gt+Hm
CMAF	- 0,56 ^{ns}	- 0,18 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,31 ^{ns}	- 0,63 ^{ns}	- 0,64 ^{ns}
	Gb	Ct	Si _s	Al _s	Fe _s	Ki	Kr	Fe _{OX}	Fe _{DCB}
CMAF	0,49 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,56 ^{ns}	- 0,43 ^{ns}	- 0,39 ^{ns}	- 0,21 ^{ns}	- 0,58 ^{ns}	- 0,73^o
	SE _{NAT}	SE _{DCB}	SE _{OXFe}	SE _{Gt}	SE _{Hm}	SE _{Gb}	SE _{Ct}		
CMAF	0,00 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,38 ^{ns}	- 0,22 ^{ns}		

TFSA = terra fina seca ao ar; MO = matéria orgânica; %arg = porcentagem de argila; Gt = goethita; Hm = hematita; Gb = gibbsita; Ct = caulinita; Si_s, Al_s e Fe_s = silício, alumínio e ferro do ataque sulfúrico; Ki = relação %SiO₂.x 1,7 / %Al₂O₃; Kr = %SiO₂.x 1,7 / (%Al₂O₃ + %Fe₂O₃ x 0,64); Fe_{OX} = ferro extraído com oxalato; Fe_{DCB} = ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; SE_{NAT} = superfície específica da fração argila natural; SE_{DCB} = superfície específica da fração argila tratada com ditionito-citrato-bicarbonato; SE_{OXFe} = superfície específica da fração argila com óxidos de ferro concentrados; SE_{Gt} = superfície específica calculada da goethita (Quadro 2); SE_{Hm} = superfície específica calculada da hematita (Quadro 2); SE_{Gb} = superfície específica calculada da gibbsita (Quadro 2); SE_{Ct} = superfície específica calculada da caulinita (Quadro 2); ^o = significativo a 10% de probabilidade; ^{ns} = não significativo

Mesmo com teores consideráveis de matéria orgânica, como nos casos dos Perfis P2 (3,89 dag kg⁻¹), P3 (13,08 dag kg⁻¹) e P5 (2,94 dag kg⁻¹) – (Quadro 5), não foi constatada correlação significativa entre esta e a CMAF. Na literatura, há trabalhos que ilustram tanto correlações positivas quanto negativas, sendo as positivas decorrentes de pontes de cátions (Al, Fe e Ca) adsorvidos, os quais retêm o P (SANYAL e De DATTA, 1991), enquanto as negativas seriam resultantes do bloqueio dos sítios de adsorção (oxidróxidos) por ácidos orgânicos (PARFITT, 1978; SANCHEZ e UEHARA, 1980; EVANS, 1985; FONTES, 1990).

As correlações mais expressivas encontradas envolvendo a CMAF estão ligadas à Gb, Al_s e % argila, porém, não são significativas. A quantidade de argila presente no solo poderia exercer influência, aumentando os valores de adsorção de P (NOVAIS e SMYTH, 1999; SILVA, 1999; LIMA, 2001), no entanto, não se constatou correlação significativa entre seu percentual e a CMAF. Tal fato é indicativo da maior influência da constituição mineralógica da fração argila, em detrimento de sua quantidade, sobre os valores de CMAF, conforme relatado em trabalhos como os de NOVAIS (1977), BAHIA FILHO (1982) e KER (1995).

Como observado anteriormente, a goethita correlacionou-se significativamente com a superfície específica total calculada (r = 0,93**), com a superfície específica determinada na fração argila natural (r = 0,84*) e com a superfície específica da fração argila concentrada com óxidos de ferro (r = 0,81*)

– (Quadro 3), evidenciando a importância da constituição mineralógica da fração argila na superfície de reação e, conseqüentemente, na adsorção de P.

Vale ressaltar ainda que foi constatada correlação positiva e significativa, a nível de 5% de probabilidade ($r = 0,85^*$), entre a percentagem de argila e a percentagem de gibbsita, indicando indiretamente a participação deste mineral na adsorção de P, reforçando a idéia de que a qualidade da argila é mais importante do que sua quantidade. Quando presente em grandes quantidades, a gibbsita pode ser o fator determinante no fenômeno da adsorção de fósforo em Latossolos brasileiros, assumindo mais importância do que os óxidos de ferro, como assinalado por BAHIA FILHO (1982), DICK (1986), CURI et al. (1988) e MESQUITA FILHO e TORRENT (1993). Mesmo tendo participação importante na adsorção de P, a gibbsita é menos efetiva do que a goethita (McLAUGHIN et al., 1981; FROSSARD et al., 1994).

Tem sido constatado na literatura que a goethita, pela sua quantidade e, principalmente, pela sua área específica mais elevada (menor tamanho do cristalito), assume papel preponderante nas fases rápida e lenta de adsorção, com a presença de um maior número de grupamentos OH, aumentando as reações da superfície desse mineral com o fósforo (PARFITT, 1989; BARROW, 1990; TORRENT et al., 1992).

As quantidades e superfícies específicas da caulinita e da hematita não apresentaram correlação significativa com a CMAF (Quadro 6), sugerindo que as mesmas têm pouca participação na adsorção de P. Há trabalhos em que é evidenciada a importância da participação desses minerais na adsorção de P, enquanto outros exibem resultados com baixa ou nenhuma correlação. Algumas especulações têm sido feitas; segundo uma delas, sendo interativo o fenômeno de adsorção de P, as presenças da goethita e da gibbsita, mais ativas e eficazes, seriam responsáveis quase que totalmente pela CMAF, reduzindo assim o efeito da caulinita e da hematita.

Por outro lado, os valores de P remanescente foram positiva e significativamente correlacionados com hematita e ferro extraído com oxalato e com ditionito-citrato-bicarbonato, e negativa e significativamente com a goethita (Quadro 7).

Quadro 7 – Coeficientes de correlação linear simples entre o fósforo remanescente (P rem) na TFSA e algumas variáveis dos solos estudados (n = 7)

	a	CTP	l	MO	%arg	Gt	Hm	Hm/Gt+Hm
P rem	- 0,21 ^{ns}	- 0,29 ^{ns}	- 0,58 ^{ns}	0,18 ^{ns}	- 0,42 ^{ns}	- 0,79**	0,94***	0,94**
	Gb	Ct	Si _s	Al _s	Fe _s	Ki	Kr	Fe _{ox}
P rem	- 0,13 ^{ns}	0,12 ^{ns}	- 0,33 ^{ns}	- 0,32 ^{ns}	0,53 ^{ns}	- 0,02 ^{ns}	- 0,29 ^{ns}	0,70^o
	Fe _{DCB}	SE _{NAT}	SE _{DCB}	SE _{OXFe}	SE _{Gt}	SE _{Hm}	SE _{Gb}	SE _{Ct}
P rem	0,85*	- 0,35	0,59 ^{ns}	- 0,48 ^{ns}	- 0,47 ^{ns}	- 0,38 ^{ns}	- 0,28 ^{ns}	0,11 ^{ns}

TFSA = terra fina seca ao ar; MO = matéria orgânica; %arg = porcentagem de argila; Gt = goethita; Hm = hematita; Gb = gibbsita; Ct = caulinita; Si_s, Al_s e Fe_s = silício, alumínio e ferro do ataque sulfúrico; Ki = relação %SiO₂.x 1,7 / %Al₂O₃; Kr = %SiO₂.x 1,7 / (%Al₂O₃ + %Fe₂O₃ x 0,64); Fe_{ox} = ferro extraído com oxalato; Fe_{DCB} = ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; SE_{NAT} = superfície específica da fração argila natural; SE_{DCB} = superfície específica da fração argila tratada com ditionito-citrato-bicarbonato; SE_{OXFe} = superfície específica da fração argila com óxidos de ferro concentrados; SE_{Gt} = superfície específica calculada da goethita (Quadro 2); SE_{Hm} = superfície específica calculada da hematita (Quadro 2); SE_{Gb} = superfície específica calculada da gibbsita (Quadro 2); SE_{Ct} = superfície específica calculada da caulinita (Quadro 2); ^o = significativo a 10% de probabilidade; ^{ns} = não significativo

Os dados de correlação entre CTP e os diversos componentes mineralógicos e a superfície específica (Quadro 8) permitiram verificar a importância dos teores de Al₂O₃ relacionados à gibbsita (r = 0,70^o), como fator mais relacionado com a retenção de P, enquanto os teores de hematita, goethita e caulinita não mostraram influência ou correlação significativa.

Quadro 8 – Coeficientes de correlação linear simples entre a capacidade tampão (CTP) na TFSA e algumas variáveis dos solos estudados (n = 7)

	Prem	a	l	MO	%arg	Gt	Hm	Hm/Gt+Hm
CTP	- 0,29 ^{ns}	- 0,26 ^{ns}	- 0,34 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,25 ^{ns}	- 0,45 ^{ns}	- 0,44 ^{ns}
	Gb	Ct	Si _s	Al _s	Fe _s	Ki	Kr	Fe _{ox}
CTP	0,68^o	0,64 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,70^o	0,03 ^{ns}	- 0,60 ^{ns}	- 0,64 ^{ns}	- 0,42 ^{ns}
	Fe _{DCB}	SE _{NAT}	SE _{DCB}	SE _{OXFe}	SE _{Gt}	SE _{Hm}	SE _{Gb}	SE _{Ct}
CTP	- 0,43 ^{ns}	- 0,49 ^{ns}	- 0,35 ^{ns}	- 0,06 ^{ns}	- 0,43 ^{ns}	- 0,60 ^{ns}	- 0,47 ^{ns}	- 0,90**^{ns}

TFSA = terra fina seca ao ar; MO = matéria orgânica; %arg = porcentagem de argila; Gt = goethita; Hm = hematita; Gb = gibbsita; Ct = caulinita; Si_s, Al_s e Fe_s = silício, alumínio e ferro do ataque sulfúrico; Ki = relação %SiO₂.x 1,7 / %Al₂O₃; Kr = %SiO₂.x 1,7 / (%Al₂O₃ + %Fe₂O₃ x 0,64); Fe_{ox} = ferro extraído com oxalato; Fe_{DCB} = ferro extraído com ditionito-citrato-bicarbonato; SE_{NAT} = superfície específica da fração argila natural; SE_{DCB} = superfície específica da fração argila tratada com ditionito-citrato-bicarbonato; SE_{OXFe} = superfície específica da fração argila com óxidos de ferro concentrados; SE_{Gt} = superfície específica calculada da goethita (Quadro 2); SE_{Hm} = superfície específica calculada da hematita (Quadro 2); SE_{Gb} = superfície específica calculada da gibbsita (Quadro 2); SE_{Ct} = superfície específica calculada da caulinita (Quadro 2); ^o = significativo a 10% de probabilidade; ^{ns} = não significativo

Os dados resultantes dos cálculos realizados no ALOCA (Quadro 9) permitem a visualização e, guardadas as devidas proporções, a confirmação de observações de campo e de dados de análises químicas, comentadas no Capítulo 2. Os valores da relação Al_2O_3/Fe_2O_3 , à exceção do P7 de Cambissolo, são superiores à unidade, assumindo o valor máximo de 9,24. Aliado a esses valores, percebe-se elevada percentagem de gibbsita, principalmente quando comparada à da hematita, indicando forte presença desse óxido de alumínio e sua influência no aumento de adsorção de P. De uma maneira geral, os maiores percentuais são de goethita e hematita, com alternância de valores, para mais ou para menos.

Com relação à substituição isomórfica do ferro (raio iônico = 0,065) pelo alumínio (raio iônico = 0,053), nos óxidos de ferro, constata-se que, à exceção dos Perfis P1 de Latossolo Vermelho e P7 de Cambissolo, os valores de 22,05 a 44,43 e 4,75 a 18,90 para goethita e hematita, respectivamente, situam-se dentro das faixas encontradas por CURI (1983), SCHWERTMANN e KÄMPF (1985), PALMIERI (1986) e KER (1995). Esses valores de substituição, mais altos na goethita, quando comparados aos da hematita, acarretam diminuição mais expressiva na sua célula unitária e, conseqüentemente, maior área específica e maior participação no fenômeno de adsorção de P, como relatado por PARFITT (1978), McLAUGHLIN et al. (1981) e FROSSARD et al. (1994).

Quadro 9– Quantificação, efetuada pelo Programa ALOCA, dos constituintes mineralógicos, substituição isomórfica e algumas relações na fração argila de alguns horizontes dos solos estudados, exceto do P3

Atributos	Perfis de solos e respectivos horizontes									
	P1 Bw2	P2 Bi	P4 Bw2	P5 Bw2	P6 Bw2	P7 Bi	P8 Bw2	P9 Bw2	P10 Bi	P11 Bw
Ct (%)	9,75	8,22	6,16	22,80	17,42	5,84	11,61	13,98	-30,44	9,15
Gt (%)	23,07	7,65	16,56	16,07	19,17	21,24	0,61	17,22	12,82	20,24
Hm (%)	6,63	8,88	4,07	9,77	0,80	13,18	29,78	5,46	0,99	14,23
Mag (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gb (%)	8,19	3,70	29,47	35,90	38,19	0,00	24,14	33,27	8,62	12,39
Mica (%)	7,38	18,00	12,62	-	-	-	-	-	54,62	7,54
%Si amorfa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,49	0,00	0,00	0,00	0,00
% mol Al na Gt	38,92	22,05	44,43	33,28	38,92	0,00	26,80	33,28	26,80	33,28
% mol Al na Hm	111,89	18,90	18,90	11,89	8,32	4,75	4,75	11,89	4,75	4,75
Hm / Hm + Gt	0,22	0,54	0,20	0,38	0,04	0,38	0,98	0,24	0,07	0,41
Al_2O_3/Fe_2O_3	4,47	3,26	9,24	5,80	9,14	0,16	3,35	6,46	1,29	1,46
SiO_2/Fe_2O_3	3,56	5,57	4,75	2,84	3,41	1,28	1,43	2,27	2,69	1,08

Ct = caulinita; Gt = goethita; Hm = hematita; Mag = maguemita; Gb = gibbsita; Si = sílica

4. CONCLUSÕES

Os valores de superfície específica determinados pelo método direto BET N₂ em todos os horizontes, nas frações argila natural, argila desferrificada e com óxidos de ferro concentrados são compatíveis com cada tratamento e com aqueles existentes na literatura.

Os valores de superfície específica, calculados individualmente para os minerais, quando somados e comparados aos obtidos pelo método direto BET N₂ da fração argila natural, apresentam-se superestimados.

No conjunto de Latossolos estudados, com texturas e filiação geológica variáveis, desde alcalino-básicas até ultrabásicas, a percentagem e área superficial dos óxidos de ferro e alumínio, respectivamente, goethita e gibbsita, têm participação no aumento da adsorção de fosfato.

Os Latossolos estudados mostraram comportamento de CMAF comparável aos Latossolos de outras regiões. Por outro lado, os Cambissolos apresentaram variações notáveis entre os atributos químicos, mineralógicos e comportamento do fósforo, função dos materiais de origens diferentes, tais como tufito e rochas ígneas alcalina-ultramáficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H. **Efeito de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfatos en la evaluación del fósforo disponible de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca.** Chapingo, Colégio de Posgraduados, 1982. 300p. (Tese Doutorado).
- ALVAREZ V., V.H., FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, 14:49-55, 1990.
- ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., CATARUTI, R.B., LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. (Ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 5 aproximação. Viçosa, MG. 1999. 359p.
- ANAND, R.R., GILKES, R.J. Iron oxides in laterict soil from Western Australia. **J. Soil Sci.**, 38:607-22, 1987.
- BAHIA FILHO, A.F.C. **Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolo do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas.** Viçosa, UFV, 1982. 179p. (Tese de Doutorado).
- BARBOSA, O., BRAUN, O.P.G., DYER, R.C., CUNHA, C.A.B.R. **Geologia da região do Triângulo Mineiro.** Rio de Janeiro: DNPM/DFPM, 1970. Bol. 136, 140p.
- BARRÓN, V., HERRUZO, M., TORRENT, J. Phosphate adsoption by aluminous hematites of different shapes. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 52:647-651, 1988.
- BARROW, N.J. Relating chemical processes to management system. In: SYMPOSIUM OF PHOSPHORUS REQUIREMENTS FOR SUSTEINABLE

- AGRICULTURE IN ASIA AND OCEANIA, 1., 1990, Manila. **Proceedings...** Manila: IRRI, 1990. p.199-209.
- BECKWITH, R.S. Sorbed phosphate at standard supernatant concentration as an estimate of the phosphate needs of soils. **Aust. J. Exp. Agric. An. Husb.**, 5:52-58, 1965.
- BORGGAARD, O.K. The influence of iron oxides on the surface area of soils. **J. Soil Sci.**, 33:443-449, 1982.
- BRADY. N.C., WEIL. R.R. **The nature and properties of soils.** 11.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 727 p.
- CURI, N. **Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil.** West Lafayette, Purdue University, 1983. 158p. (Tese Ph.D.).
- CURI, N., CAMARGO, O.A. Phosphorus adsorption characteristics of Brazilian Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: CLASSIFICATION, CHARACTERIZATION AND UTILIZATION OF OXISOLS, 8. 1986, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: EMBRAPA, SMSS, ATD, UPR, 1986. Pt.1, p.56-63.
- CURI, N., CAMARGO, O.A., GUEDES, G.A. de A., SILVEIRA, J.V. Sorção de fósforo em materiais de latossolos do Brasil sudeste. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3. 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA – SNLCS, SBCS, 1988. p.267-282.
- DICK, D.P. **Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos.** Porto Alegre, UFRS, 1986. 196p. (Tese de Mestrado).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Definição e notação de horizontes e camadas do solo.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1988a. 54p. (Documentos SNLCS, 3).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: normas em uso pelo SNLCS.** Rio de Janeiro, 1988b. 67p. (Documentos SNLCS, 11).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos e análises de solo.** Rio de Janeiro, 1979. 247p.

- EVANS, A.Jr. The adsorption of inorganic phosphate by a sandy soil as influenced by dissolved organic compounds. **Soil Sci.**, 140:251-255, 1985.
- FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils. An isotopic outlook. **Fert. Res.**, 45:91-100, 1996.
- FASSBENDER, H.W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la Isoterma de Langmuir. **Fitot. Lat. Am.**, 3:203-216, 1966.
- FERNANDES, R.B.A. **Atributos mineralógicos, cor, adsorção e dessorção de fosfatos em Latossolos do Sudeste brasileiro**. Viçosa, UFV, 2000. 265p. (Tese de Doutorado).
- FONTES, M.R. **Interactions of goethite and humic acid in some oxisols from Brazil**. Raleigh, North Carolina State University, 1990, 75p. (Tese Ph.D.)
- FOX, R.L., KAMPRATH, E.J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 34:902-907, 1970.
- FROSSARD, E., BROSSARD, M., HEDLEY, M.J., METHERELL, A. Reactions controlling the cycling of P in soils. In: Tiessen, H. (Ed.). **P cycling in terrestrial and aquatic ecosystem; a global perspective**. New York: John Wiley, 1994. p.1-65.
- GREGG, S.J. **The surface chemistry of solids**. New York: Reinhold Publishing, 1961. 393p.
- KÄMPF, N., SCHWERTMANN, U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays Clay Miner.**, 30:401-408, 1982.
- KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. Viçosa, UFV, 1995. 181 p. (Tese de Doutorado).
- LEMOES, R.C.de, SANTOS, R.D.dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 83p.
- LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, UFV, 2001. 176p. (Tese de Doutorado).
- LOPES, O.F. **Caracterização de um Latossolo Vermelho Escuro no Norte de Minas Gerais**. Viçosa, UFV, 1977. 89p. (Tese de Mestrado).
- McKEAGUE, J.A., DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil. **Can. J. Soil Sci.**, 46:13-22, 1966.
- McLAUGHLIN, R.R., RYDEN, J.C., SYERS, J.R. Sorption of inorganic phosphate by iron and aluminum containing components. **J. Soil Sci.**, 32:365-377, 1981.

- MEHRA, J.P., JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Miner.**, 7(4):317-327, 1960.
- MESQUITA FILHO, M.V., TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from Cerrado Region (Brazil). **Geoderma**, 58:107-123, 1993.
- MOURA FILHO, G., RESENDE, M., CRUZ, C.D. ALOCA – **Programa de estimativa de minerais do solo**. Versão 1.0. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. Viçosa: SBCS, 1995 (software)
- MURPHY, J., RILEY, J.P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Anal. Chim. Acta**, 27:31-36, 1962.
- NOVAIS, R.F. **Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils**. Raleigh, North Carolina State University, 1977. 153p. (Tese PhD).
- NOVAIS, R.F., SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399p.
- PALMIERI, F. **A study of a climosequence of soils derived from volcanic rock parent material in Santa Catarina and Rio Grande do Sul States, Brazil**. West Lafayette, Purdue University, 1986. 259p. (Tese Ph.D.).
- PARFITT, R.L. Anion adsorption by soil and soil materials. **Adv. Agron.**, 30:1-50, 1978.
- PARFITT, R.L. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. **J. Soil Sci.**, 40:359-369, 1989.
- RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**. West Lafayette, Purdue University, 1976. 237p. (Tese Ph.D.).
- RESENDE, M., BAHIA FILHO, A.F.C., BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **R. Bras. Ci. Solo**, 11:17-23, 1987.
- RODRIGUES NETTO, A. **Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos brasileiros**. Viçosa, UFV, 1996. 144p. (Tese de Doutorado).
- SANCHEZ, P.A., UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E., SAMPLE, E.C., KAMPRATH, E.J. (Ed.). **The rule of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.471-514.
- SANYAL, S.K., De DATTA, S.K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Adv. Soil Sci.**, 16:1-120, 1991.

- SCHWERTMANN, U. Some properties of soil and synthetic iron oxides. In: STUCKI, J.W., GOODMAN, B.A., SCHWERTMANN, U. (Ed.). **Iron in soils and clay minerals**. Dordrecht, Reidel, 1988. p.203-250.
- SCHWERTMANN, U., KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. **Soil Sci.**, 139:344-350, 1985.
- SHOJI, S., NANZYO, M., DAHLGREN, R. **Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization**. (Developments in soil science: 21), Amsterdam: Elsevier, 1993. 227p.
- SILVA, J.R.T. **Solos do Acre: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato**. Viçosa, UFV, 1999. 117p. (Tese de Doutorado).
- SINGH, R., MÖLLER, M.R.F., FERREIRA, W.A. Características da sorção do fósforo relacionadas com propriedades selecionadas de solos dos trópicos úmidos da Amazônia. **R. Bras. Ci. Solo**, 7:233-241, 1983.
- STATISTICA for Windows. StatSoft, Inc. Computer program manual. Tulsa, 1999.
- TORRENT, J., SCHWERTMANN, U., BARRÓN, V. Phosphate sorption by natural hematites. **European J. Soil Sci.**, 45:45-51, 1994.
- TORRENT, J., SCHWERTMANN, U., BARRÓN, V. Fast and slow phosphate sorption by goethite-rich natural materials. **Clays Clay Miner.**, 1:14-21, 1992.

ANEXOS

Quadro 1A – Diâmetro médio dos cristais nos principais picos de minerais secundários encontrados na fração argila de horizontes diagnósticos das três topolitossequências estudadas

Topol. Perfil Horizonte	Hematita		Goethita			Gibbsita		Caulinita		
	p (104)	p (110)	p (110)	p (111)	p (130)	p (002)	p (110)	p (001)		
----- nm -----										
T1	P1	Bw2	28,48	14,46	14,01	8,34	28,49	49,53	22,27	17,27
	P2	Bi	56,06	12,88	14,02	11,64	19,10	49,51	30,74	12,06
	P3	A	-	-	-	-	-	-	-	-
	P4	Bw2	19,12	19,23	12,47	11,65	28,48	30,66	22,27	17,28
T2	P5	Bw2	37,74	19,24	22,30	14,53	28,51	128,77	22,27	30,44
	P6	Bw2	28,48	23,03	22,31	10,60	37,81	49,53	22,27	30,44
	P7	Bi	28,48	12,88	14,01	14,51	37,75	12,15	129,33	14,20
	P8	Bw2	28,48	23,03	12,47	14,53	-	128,77	22,28	17,28
	P9	Bw2	28,48	28,67	12,47	16,58	55,99	49,53	30,77	30,44
T3	P10	Bi	55,93	56,31	11,23	19,31	-	49,53	-	127,83
	P11	Bw	28,48	38,00	27,78	12,94	37,81	49,53	22,26	30,44

Topol. = topolitossequência; - = valor não obtido

Quadro 2A – Regressões lineares múltiplas envolvendo algumas variáveis dos horizontes diagnósticos estudados nos solos das três topolitossequências abordadas

Equação de regressão	R ²
$SE_{NAT} = 64,59 - 0,26Gt - 0,57Hm - 0,21Ct - 0,65Gb$	0,88 ^{ns}
$SE_{NAT} = 11,262 + 0,093SE_{SOMA}$	0,60*
$CMAF = 3,12 - 0,05Gt - 0,07Hm - 0,01Ct + 0,004Gb$	0,55 ^{ns}
$CMAF = 0,46 + 0,01SE_{Hm} + 0,03SE_{Gb} - 0,04SE_{Ct} + 0,003SE_{Gt}$	0,40 ^{ns}
$CTP = - 30940,4 + 1140,9Gt + 717,2Hm - 117,9Ct + 612,2Gb$	0,78 ^{ns}
$CTP = 32978,57 + 109,38SE_{Hm} - 51,67SE_{Gb} - 431,15SE_{Ct} - 17,61SE_{Gt}$	0,85 ^{ns}
$I = 10,90 - 0,07Gt - 0,08Hm + 0,04Ct - 0,06Gb$	0,94 ^{ns}
$I = 6,92 - 0,008SE_{Hm} - 0,0006SE_{Gb} - 0,01SE_{Ct} + 0,01SE_{Gt}$	0,90 ^{ns}
$a = 12,02 - 0,21Gt - 0,27Hm + 0,15Ct - 0,11Gb$	0,13 ^{ns}
$a = - 5,42 + 0,44SE_{Hm} + 0,14SE_{Gb} - 0,24SE_{Ct} - 0,10SE_{Gt}$	0,77 ^{ns}

SE_{NAT} = superfície específica determinada na fração argila natural -método direto BET N₂ (Quadro 1); Gt = goethita; Hm = hematita; Ct = caulinita; Gb = gibbsita; SE_{SOMA} = soma da superfície específica calculada individualmente para cada mineral; CMAF = capacidade máxima de adsorção de fosfato; CTP = capacidade tampão de fósforo; I = fator intensidade; a = energia de adsorção