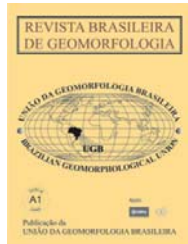




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 16, nº 2 (2015)



# INDICADORES MICROPEDOLÓGICOS DA EVOLUÇÃO DO RELEVO NO PLANALTO DO ESPINHAÇO MERIDIONAL, MG

## MICROPEDOLOGICAL INDICATORS OF THE RELIEF EVOLUTION IN SOUTHERN ESPINHAÇO PLATEAU, MG

**Malena Silva Nunes**

*Departamento de Geografia e História, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
Av. Amazonas, 5253. Nova Suiça, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP 30421-169. Brasil  
Email: malenanunes@deii.cefetmg.br*

**Vilma Lúcia Macagnan Carvalho**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627. Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP 31270-901. Brasil  
Email: vilmageografia97@gmail.com*

**Fábio Soares de Oliveira**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627. Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP 31270-901. Brasil  
Email: fabiosolos@gmail.com*

**Patrícia Lage Simões**

*Superintendência de Belém, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
Av. Dr. Freitas, 3645. Bairro do Marco, Belém, Pará. CEP: 66095-110. Brasil  
Email: patriciamlage28@gmail.com*

**Roberto Célio Valadão**

*Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627. Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP 31270-901. Brasil  
Email: valadao@geo.igc.ufmg.br*

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
07/01/2015  
Data de Aprovação:  
04/04/2015

### Palavras-chave:

Micropedologia;  
Superfícies Geomórficas;  
Pedogeomorfologia.

### Resumo:

A evolução do relevo está associada às formações superficiais nas vertentes e vales, envolvendo os diferentes níveis de organização da cobertura pedológica. Nesse sentido, este estudo objetivou realizar a caracterização micropedológica de coberturas na borda oeste do Planalto do Espinhaço, buscando verificar a existência de indicadores que traduzam a evolução da paisagem em escala regional. A partir de uma compartimentação da área em três superfícies geomórficas (SG1, SG2 e SG3), foram selecionados quatro perfis derivados do mesmo material de origem. As descrições micromorfológicas foram feitas a partir da caracterização das microestruturas (agregados e porosidade associada), do fundo matricial e das feições pedológicas. A partir delas, foram selecionados indicadores capazes de

**Keywords:**

Micropedology; Geomorphic Surfaces; Pedogeomorphology.

traduzir o grau evolutivo das coberturas em cada superfície. Dentre os indicadores, destacam-se: i) a presença de microagregados granulares de origem termítica; ii) a mineralogia e distribuição (do topo à base e dentro ou fora dos agregados) dos grãos grossos; iii) a cor e mineralogia da micromassa, bem como as transformações

ao longo do perfil das tramas birrefringentes e iv) a presença, distribuição, grau evolutivo e composição (mineral) de nódulos. A partir do que foi observado por tais indicadores, a SG1 é mais antiga, a SG2 possui coberturas mais recentes que a SG1, o que pode indicar uma exposição mais recente de tais rochas à alteração e pedogênese; e a SG3 sugere ser, em razão das características da cobertura, a superfície mais recente e mais sujeita à deposição de materiais. Em conjunto, tais observações refletem uma íntima associação entre o grau evolutivo dos compartimentos do relevo, das coberturas pedológicas neles contidas e dos atributos micropedológicos dessas coberturas.

**Abstract:**

The relief evolution is associated with surface formations on slopes and valleys, involving different levels of organization of soil covering. In this sense, this study aimed into perform micropedological characterization of covers in the western edge of the Espinhaço Plateau, seeking verify the existence of indicators reflecting the landscape evolution on a regional scale. From subdivision of the area into three geomorphic surfaces (SG1, SG2 e SG3), were selected four profiles derived from the same parent material. Micromorphological descriptions were made from the characterization of microstructures (aggregates and associated porosity), of groundmass and pedofeatures. From these, we selected indicators able to translate the evolutionary degree of coverages. Among the indicators, i) presence of granular microaggregates of termite origin; ii) mineralogy and distribution (from top to bottom and inside or outside of aggregates) of coarse materials; iii) color and mineralogy of micromass, as well as the transformations along the profile of b-fabric and iv) presence, distribution, evolution degree and mineral composition of the nodules are importante to be highlighted. From what has been observed for these indicators, SG1 is older, SG2 has more recent covers than SG1, which may indicate a more recent exposure of these rocks to weathering and pedogenesis; and SG3 suggests that, in view of characteristics cover, the youngest surface and more susceptible to materials deposition. Such observations reflect a close association between evolution degree of relief compartments, soil covers and micropedological properties of those coverage.

**Introdução**

O estudo do solo é de fundamental importância para o entendimento da formação e evolução do relevo, especialmente quando estabelecida a relação entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos. Tricart (1968) aponta que a geomorfologia de uma área interfere diretamente na pedologia local, sendo esta um elemento de formação e evolução das coberturas superficiais. O autor destaca, porém, que a geomorfologia revela apenas parte dos dados relativos à análise pedológica, não atuando de maneira exclusiva na definição de determinado tipo de solo. Da mesma maneira, a evolução do relevo está diretamente associada aos processos e materiais nas vertentes e vales, fazendo com que a morfologia e os aspectos pedológicos (ou estratigráficos, se for o caso) revelem características importantes da paisagem de uma região. Nesse sentido, diversos trabalhos têm sido elaborados com o intuito de evidenciar tais relações, caracterizando uma área de conhecimento de interface,

comumente chamada de Pedogeomorfologia.

Considerando que a análise das coberturas pedológicas deve ser realizada em diferentes escalas, indo das sequências de horizontes nas vertentes em distintos compartimentos morfopedológicos da paisagem até escalas nanométricas (uma partícula de argila, por exemplo), a Micromorfologia de Solos se destaca como a área do saber que estuda as organizações ou arranjos dos constituintes do solo em escala microscópica, envolvendo as microestruturas formadas pelos minerais primários e secundários, materiais orgânicos e os espaços porosos. Para isso, a Micromorfologia faz uso de técnicas sofisticadas, como as microscopias óptica (OMP), de varredura (MEV) e de transmissão (MET), incluindo, além de análise de imagens, a interpretação das propriedades ópticas dos constituintes e a interpretação por microsondagens geoquímicas. A partir desse instrumental, a Micromorfologia torna possível analisar perfis pedológicos como forma de identificar processos

ocorrentes e seus efeitos sobre a organização do solo na paisagem.

Mesmo que tenha se difundido bastante desde sua criação na década de 1930 (KUBIENA, 1938), a caracterização das microestruturas em diferentes tipos de solos, bem como a relação dessas com as paisagens em que esses solos estão inseridos, é um exercício a ser praticado em muitos perfis e em diversos contextos. Algumas áreas que, durante muitos anos, tiveram suas paisagens pesquisadas em escala regional, carecem de estudos de detalhe que se relacionem aos conhecimentos e observações já obtidos. Nesse contexto se insere o Espinhaço Meridional, no estado de Minas Gerais.

O Espinhaço Meridional é tema de interesse de pesquisadores desde o período colonial, quando foi revelado ao mundo em decorrência da descoberta de bens minerais, como o diamante. Desde então, tem sido palco de estudos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, biogeográficos, turísticos e de muitas outras áreas do conhecimento. Em se tratando, especificamente, da interação entre solos e relevos, alguns trabalhos realizados em escalas de detalhe fizeram uso da micromorfologia dos solos e obtiveram resultados importantes (ROCHA, 2004; MENEZES, 2006; RAMOS, 2008; ÁVILA, 2009). Tais estudos, que se concentraram

principalmente na região da Depressão de Gouveia, foram complementares às pesquisas de caráter regional e permitiram elucidar questões até então não respondidas e cujas soluções dependiam de uma análise multiescalar. Contudo, a ampliação de tais conhecimentos sempre demandou que as pesquisas avançassem em direção ao planalto que bordeja a depressão, incorporando outros contextos geomorfológicos e coberturas derivadas de rochas supracrustais, já que até então tinham sido estudados apenas mantos de alteração associados às rochas granito-gnáissicas. Nesse contexto se insere este estudo, cujo objetivo central foi realizar a caracterização micropedológica de coberturas na borda oeste do Planalto do Espinhaço, buscando verificar a existência de indicadores que traduzam processos de interesse da Pedologia e, da mesma maneira, da Geomorfologia.

### Área de estudo

A área de estudo está inserida no alto curso da bacia do rio Pardo Pequeno, que drena parte dos municípios de Diamantina, Gouveia e Monjolos, em Minas Gerais. Diamantina dista aproximadamente 300 km da capital, Belo Horizonte, sendo que o acesso é feito, basicamente, por meio das rodovias BR 040, BR 135, a partir de Paraopeba, e BR 259, após Curvelo (Figura 1).

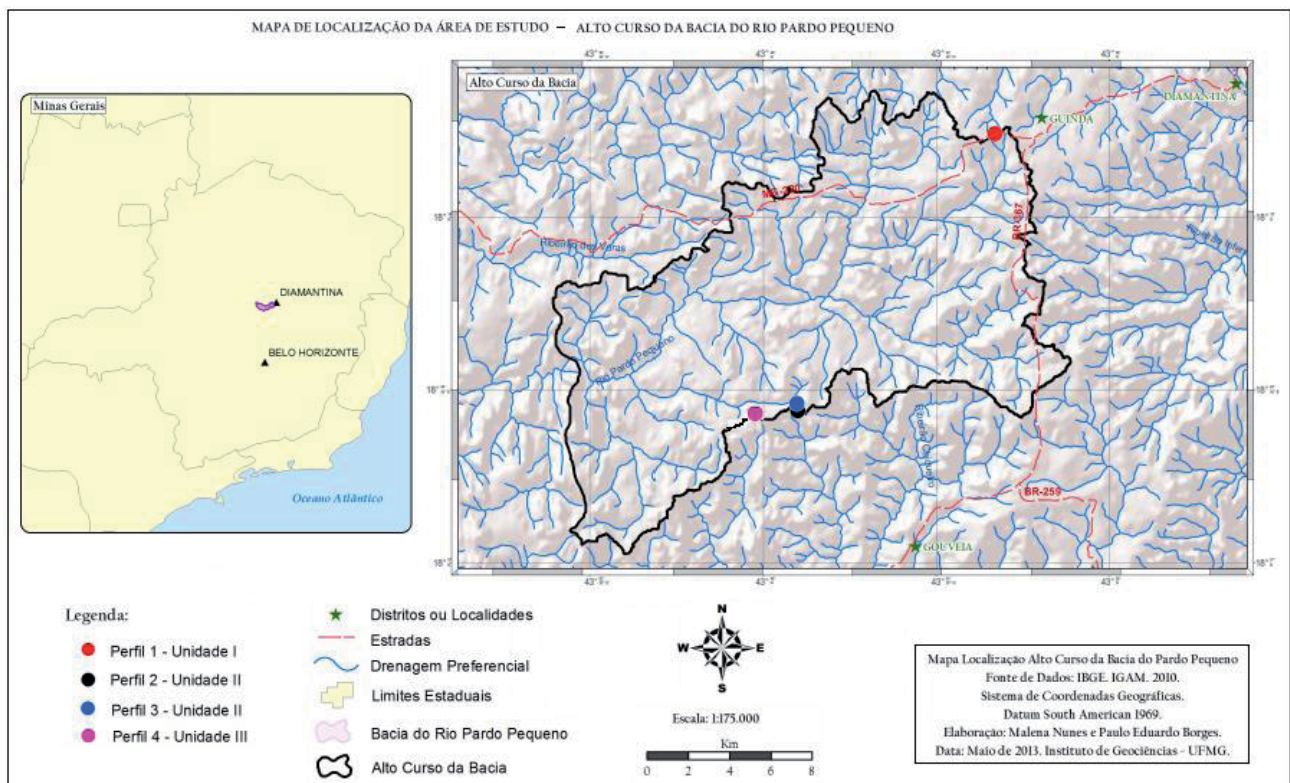


Figura 1 - Localização da área de estudo e dos perfis descritos e amostrados.

A geologia do contexto, segundo Almeida-Abreu (1995), é marcada pela presença dos metassedimentos proterozoicos do Supergrupo Espinhaço, rochas do Grupo Costa Sena e Complexo Gouveia. Em se tratando do Supergrupo Espinhaço, a maior parte da bacia se insere na Formação Galho do Miguel, ocorrendo, também, as Formações Sopa Brumadinho e São João da Chapada. A Serra do Espinhaço constitui uma faixa orogênica antiga com extensão superior a 1.200 km (se estendendo desde o centro de Minas Gerais até o norte da Bahia), com convexidade orientada para oeste, podendo ser subdivida em planalto setentrional e planalto meridional, se diferenciando pela litoestrutura e pela morfologia (SAADI, 1995). A Bacia do Rio Pardo Pequeno localiza-se na porção meridional da Serra do Espinhaço, caracterizada pela presença de planaltos elevados, interceptados por escarpas quartzíticas (GROSSI-SAD *et al.*, 1997).

O clima tropical de altitude é, segundo a classificação de Köppen, denominado Cwb-mesotérmico (NIMER, 1989). É marcado pela presença considerável de chuvas e temperaturas moderadamente elevadas. Segundo Ayoade (1996), há uma estação seca no inverno e, no verão, mais chuvoso, o mês mais quente apresenta temperatura média abaixo de 22°C. A vegetação da área de estudo é o Cerrado, sendo que também há campos de altitude e rupestres nos trechos mais escarpados e nas áreas de maiores altitudes. Nos fundos de vale, há matas ciliares e galerias, destacando-se o porte arbóreo. O uso do solo se dá, basicamente, para pastagens, descaracterizando a vegetação original.

## Materiais e métodos

A realização desse estudo se deu a partir de uma série de procedimentos metodológicos que envolveram trabalhos de gabinete, com levantamento bibliográfico e de material cartográfico, realização de trabalho de campo, caracterização e coleta de amostras em perfis de solos, além de confecção e descrição de lâminas delgadas em laboratório.

A escolha das coberturas a serem estudadas foi orientada pela sua localização em distintas superfícies geomórficas, tal como proposto por Ruhe (1956). Valadão *et al.* (2012) propuseram a organização do relevo regional em três unidades distintas. Mesmo que tais unidades tenham sido propostas com a finalidade de iniciar um ensaio de compartimentação do relevo, elas se adequam à necessidade deste estudo (Figura 2).

A unidade I, ou Superfície Geomórfica 1 (SG1), tal como será tratada neste estudo, corresponde a uma superfície aplanada com remanescentes de porções mais altas do planalto, com altitudes comumente superiores a 1.300m. Na Unidade II (SG2), é comum a ocorrência de rampas com declividade mais elevada que na Unidade I, convergindo para o vão central ocupado pela rede de drenagem, com altitudes variando entre 1.100 a 1.300m. As superfícies de morfologia aplanada estão presentes também em cotas mais baixas, entre 1.050 a 1.100 m, circunscritas à Unidade III (SG3). Essa terceira unidade, segundo Valadão *et al.* (2012, p.3), “configura o piso de depressões que se estendem ao longo do médio e baixo vale dos principais canais fluviais da região”.

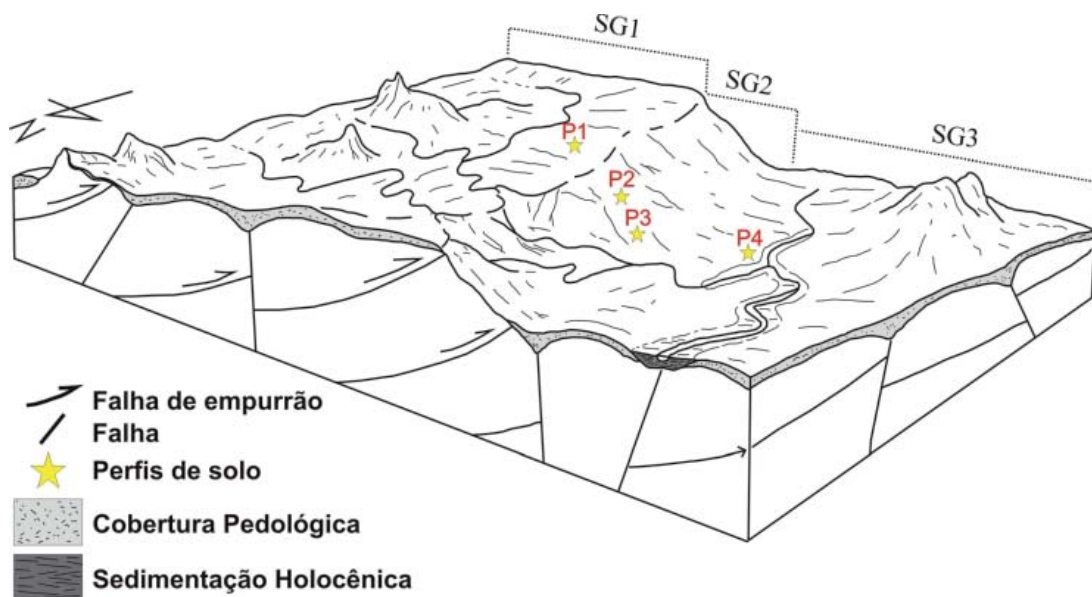


Figura 2 - Bloco-diagrama ilustrativo das superfícies geomórficas (SG) 1, 2 e 3 e os respectivos perfis de solo estudados.

Com base nessas superfícies, foram selecionadas coberturas desenvolvidas de um mesmo conjunto litológico. Considerando que frequentemente a formação geológica de maior ocorrência na área, Galho do Miguel, é constituída de quartzitos puros muito resistentes e, por isso, ocorrendo na forma de afloramentos, e que as Formações São João da Chapada e Sopa Brumadinho são espacialmente muito diversificadas e de difícil separação, foi selecionado o Grupo Costa Sena para amostragem, sobretudo por ser constituído majoritariamente por quartzo-mica-xistos (CODEMIG/CPRM, 2003). Assim, foram descritos quatro perfis (Santos *et al.*, 2013), estando um na SG1 (P1), dois na SG2 (P2 em alta e P3 em média vertente) e um na SG3 (P4) (Figura 2). Na SG2 foram selecionados dois perfis porque é justamente nessa superfície que se localizam as vertentes de maior declividade e, por isso, passíveis de conduzirem a transformações pedológicas por transferências de materiais.

Considerando todos os perfis, foram coletadas 18 amostras indeformadas (KUBIENA, 1938) para os estudos micropedológicos. Castro (2008) destaca a importância da coleta de amostras indeformadas de todos os horizontes visando “esclarecer discontinuidades litológicas ou filiação genética com a rocha ou com horizontes de solo pré-existent”, além de contribuir para o entendimento da sequência da evolução pedológica. Os monolitos foram esculpidos nas dimensões 7 x 9cm, sendo coletados em caixas de cartolina. Cada amostra foi devidamente identificada com informações do horizonte, perfil e a superfície geomórfica pertencente. Em laboratório, as amostras indeformadas foram secas ao ar e impregnadas a vácuo com resina de poliéster Polilyte (Reforplás T208) pré-acelerada (CASTRO, 1985; FILIZOLA & GOMES, 2004). Adicionalmente, em apoio à descrição microscópica, foram realizadas, com as mesmas amostras, as análises textural e mineralógica.

A análise textural considerou a granulometria do material e foi realizada no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da UFMG. Tal análise seguiu os procedimentos adotados pela EMBRAPA (1997). A análise mineralógica, por sua vez, foi realizada por Difratomia de Raios-X, em Difrátometro X’Pert Panalytical com radiação de  $\text{CuK}\alpha$ , no intervalo de 2 a  $70^\circ 2\theta$  para a fração pó total (TFSA). Os difratogramas foram interpretados no Software X’Pert HighScore Plus. A análise foi realizada no Laboratório de Difração de Raios-X do Departamento de Geologia da UFOP.

Na análise micromorfológica foram descritas características relativas à pedalidade, ao fundo matricial, envolvendo a caracterização de seus constituintes (materiais grossos, finos e poros) e sua organização (trama ou distribuição relativa), além das estruturas plásmicas (tramas birrefringentes) e eventuais feições pedológicas presentes. As descrições foram feitas em fichas-modelo utilizando as terminologias de Stoops (2003). Nesses termos, o fundo matricial constitui a organização dos constituintes minerais e orgânicos com sua porosidade associada. Os constituintes minerais podem ocorrer na granulometria grossa (simbolicamente representados por “c”, da expressão *coarse material*), ou fina (representado por “f”, de *fine material*), neste último caso também chamado de micromassa. O limite adotado neste estudo entre os constituintes minerais grossos e finos foi de  $2\mu\text{m}$  (c/f $2\mu\text{m}$ ), considerando ser este o limite ideal para solos tropicais (STOOPS, 2003). As traduções dos termos tiveram como referência o trabalho de Castro (2008). Foram consideradas a ordenação e orientação das lâminas, a observação de cada lâmina em microscópio seguindo aumentos progressivamente maiores sob luz natural e polarizada e a posterior seleção de campos representativos das organizações para registro fotográfico. Todas as descrições micromorfológicas foram realizadas em microscópio óptico polarizante trinocular (modelo Axioskop 40, Zeiss) com câmera digital integrada.

## **Resultados**

### **Caracterização micropedológica dos perfis**

A partir das características macromorfológicas, texturais e mineralógicas os perfis foram classificados como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO (P1), CAMBISSOLO HÁPLICO (P2 e P3) e ARGISSOLO VERMELHO AMARELO (P4). Pela análise granulométrica (Tabela 1), os horizontes de P1 apresentaram maior porcentagem de argila em detrimento das outras frações, sendo os valores superiores a 500g/kg, indicando texturas majoritariamente argilosas. No P2, semelhante ao que ocorre em P1, há maior presença de argila nos três horizontes, porém com valores menores e maior equilíbrio entre as frações silte e areia. No horizonte Bi, o conteúdo de areia é levemente maior que nos outros horizontes, possuindo textura franco-argilosa. Em relação ao P3, o horizonte A possui maior concentração de areia (textura franca) e, nos horizontes Bi e C, as frações

argila e areia são semelhantes, com leve destaque para a argila. O P4, diferentemente dos demais, apresentou em todos os horizontes maiores teores de areia, chegando a possuir textura franco-arenosa em superfície com

aumento de argila em profundidade. Por tal motivo, P4 apresentou gradiente textural (EMBRAPA, 2013), sendo que a concentração de argila é menor em todos os seus horizontes na comparação com os outros perfis.

**Tabela 1: Granulometria e mineralogia da TFSA dos perfis estudados**

Perfis		Areia	Silte	Argila	Classe Textural	Silte / Argila	Mineralogia
Hor.	Prof. (cm)						
P1 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO – SG1							
A	0 - 26	336,7	162	501,3	Argilosa	0,32	K+Gb+Qz+Go
AB	26 - 49	292	181,8	526,2	Argilosa	0,35	Gb+K+Qz+Go
Bw1	49 - 85	248,8	173,47	577,73	Argilosa	0,30	Gb+K+Qz+Go
Bw2	85 - 100	260,3	146,2	593,5	Argilosa	0,25	Gb+K+Qz+Go
BC	109 - 119+	120	155,6	724,4	Muito argilosa	0,21	K+Gb+Go+Qz+Mc
P2 – CAMBISSOLO HÁPLICO – SG2							
A	0 - 35	285,9	262,6	451,5	Argilosa	0,58	K+Qz+Gb+Mc+Go
Bi	35 - 79	304,2	324,06	371,72	Franco-Argilosa	0,87	K+Qz+Gb+Mc+Go
C	79 - 120+	262,4	265,80	471,80	Argilosa	0,56	K+Qz+Mc+Go
P3 – CAMBISSOLO HÁPLICO – SG2							
A	0 - 25	443,2	317,75	239,05	Franca	1,33	K+Qz+Go+Gb+Mc
Bi	25 - 90	332,4	304,03	363,65	Franco-Argilosa	0,84	K+Qz+Gb+Go+Mc
C	90 - 115+	323,7	287,3	389,0	Franco-Argilosa	0,74	K+Qz+Gb+Go+Mc
P4 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO – SG3							
A	0 - 17	559,2	327,97	112,84	Franco-arenosa	2,91	Qz+Mc+K
AB	17 - 39	566,0	302,13	131,86	Franco-arenosa	2,29	Qz+K+Go
Bt1	39 - 64	451,8	294,05	254,14	Franca	1,16	K+Hm+Qz+Go
Bt2	64 - 83	468,1	270,44	261,54	Franca	1,03	K+Hm+Qz+Go
Bt3	83 - 107	495,6	203,29	301,14	Franco-argilo-arenosa	0,68	K+Hm+Qz+Go
BC	107 -118+	473,5	245,33	281,21	Franco-argilo-arenosa	0,87	K+Hm+Qz+Go

TFSA = Terra Fina Seca ao Ar (EMBRAPA, 1997); Hor.=Horizonte; Prof.= Profundidade (em cm); K = caulinita; Gb = gibbsita; Qz = quartzo; Go = Goethita; Mc = mica; Hm = hematita

A relação silte/argila, conforme a EMBRAPA (2013), é utilizada para avaliar o estágio de intemperismo de solos em regiões tropicais. Dessa forma, alto grau de intemperismo é verificado em solos com textura média que possuem valores para relação silte/argila menores que 0,7 na maior parte do horizonte B, e em solos com textura argilosa ou muito argilosa cujo valor seja inferior a 0,6. Considerando os resultados obtidos, P1, cuja textura é argilosa, apresentou relação silte/argila variando entre 0,21 a 0,35 (Tabela 1), evidenciando alto grau de intemperismo. No Horizonte Bi de P2, cuja textura também é argilosa, os valores foram superiores a 0,6, sugerindo menor grau evolutivo. Para os horizontes B de P2 e P3, nos quais ocorre textura média, os valores também indicaram menor grau de intemperismo, sendo superiores ou próximos de 0,7.

A relação  $c/f_{2\mu}$  (STOOPS, 2003) revela aspectos

importantes e distintos nos perfis (Tabela 2). Em P1, o volume de materiais finos é sempre maior que o de grossos, não ocorrendo variações consideráveis ao longo do perfil. P2, por sua vez, revela uma inversão na porção intermediária do perfil, na qual o volume de grãos grossos é maior que aquele ocupado por finos; diferente do que ocorre nos horizontes A e C. Tais resultados corroboram com as análises texturais (Tabela 1). Da mesma maneira, tanto em P3 quanto em P4, são observadas diferenças entre os horizontes, considerando que o volume de grãos grossos é maior nos horizontes superiores se comparado com aqueles em profundidade. Em P3 essa inversão é sutil, considerando que a relação passa de 1:0,85 para 1:1,5. Em P4, contudo, o horizonte superior apresenta, para cada volume de material grosso, apenas 0,3 de material fino. Abaixo, para o mesmo volume de material grosso, o volume de material fino é 1,1 vezes maior, confirmando a mudança textural.

Tabela 2: Relação  $c/f_{2\mu}$  dos horizontes em cada perfil de solo estudado

Perfil	Horizonte	Fundo Matricial (%)			Relação $c/f_{2\mu}$
		Material Grosso	Material Fino	Poros	
1	A	20	30	50	1:1,5
	AB	25	45	30	1:1,8
	Bw1	25	45	30	1:1,8
	Bw2	30	50	20	1:1,6
	BC	30	55	15	1:1,8
2	A	33	35	35	1:1,06
	A/Bi*	40	35	25	1:0,8
	Bi	45	30	25	1:0,6
	C	30	50	20	1:1,6
3	A	35	30	40	1:0,85
	A/Bi*	30	40	30	1:1,1
	Bi	30	45	25	1:1,5
	C	30	45	25	1:1,5
4	A	50	15	35	1:0,3
	AB	30	35	35	1:1,1
	Bt1	30	50	20	1:1,6
	Bt2	40	45	15	1:1,6
	Bt3	40	45	15	1:1,1
	BC	40	45	15	1:1,1

$c/f_{2\mu}$  = relação entre materiais grossos (coarse material) e finos (fine material) com limite de separação entre ambos de  $2\mu$  (STOOPS, 2003); \* Amostra indeformada na transição entre os horizontes A e Bi

A síntese da descrição micromorfológica de cada perfil, por horizontes agrupados conforme suas similaridades micropedológicas, é apresentada no Quadro 1.

No P1 os dois horizontes superficiais (A e AB) possuem aspecto visual semelhante quanto à distribuição e composição dos constituintes grossos e coloração da micromassa (Figura 3a). São compostos por grãos de quartzo fraturados e geralmente individualizados do material fino, que, por sua vez, possui coloração bruno-amarelado-escuro, ocorrendo na forma de microagregados arredondados de composição gibbsítica e caulínica. Entre ambos ocorre um sistema poroso do tipo empilhamento complexo. Tais horizontes são claramente marcados pela influência da bioturbação. Além da presença de rizofeições e restos de raízes, as fotomicrografias evidenciam o preenchimento de poros e/ou canais biológicos por microagregados (pedotúbulos), contendo, também, pelotas fecais quase sempre com alto grau de arredondamento. É comum a presença de carvão como constituinte do material orgânico.

Entre os horizontes inferiores, Bw1 (Figura 3b) e Bw2 (Figura 3c) se diferem de BC (Figura 3d) pela composição do material grosso e cor dos constituintes finos, havendo, entre eles, um nível de acumulação de nódulos. Em BC ocorrem, além de quartzo fraturado, pequenas paletas de muscovita, geralmente muito alteradas. Pseudomorfs de gibbsita de cor amarelada são igualmente comuns. Em decorrência disso, a micromassa possui coloração heterogênea, com porções amareladas e avermelhadas, perceptível, inclusive, em nível macroscópico. Nos horizontes Bw (1 e 2), por sua vez, a coloração da micromassa é mais homogênea, com matiz 5YR predominante. Em termos da pedalidade, observa-se um processo de agregação em diferentes estágios. No horizonte BC é possível constatar a presença de blocos pequenos a médios subarredondados, com trama porfirica. Nos horizontes Bw1 e Bw2, a presença de microagregados granulares é bem mais comum, sendo que os mesmos encontram-se dissociados dos grãos de quartzo, caracterizando uma trama enáulica (Figuras 3b

**Quadro 1: Aspectos micromorfológicos dos perfis estudados com horizontes agrupados por suas similaridades micropedológicas**

Perfil	Hors.	Microestrutura	Fundo Matricial			Trama	Feições Pedológicas
			Material Grosso	Material Fino	Poros		
1	A e AB	Fortemente desenvolvido, fortemente selecionado. Microagregados granulares.	Areia média. Subarredondados e fragmentados. Quartzo abundante.	Bruno-amarelado-escuro (10YR 3/6) Orientação relativa, estrutura plásmica asséptica, do tipo argilasséptica com tendência a masséptica.	Macroporos, empilhamento complexo. Pedoporos e Bioporos	Enáulica.	Pedotúbulos e excrementos
	Bw (1 e 2)	Fortemente desenvolvido, Forte para moderadamente selecionado. Microagregados granulares.	Areia média e fina. Subarredondados e fragmentados. Quartzo abundante.	Vermelho-amarelado (5YR 5/8). Orientação relativa, estrutura plásmica séptica, do tipo masséptica.	Macroporos, empilhamento complexo. Pedoporos e Bioporos	Enáulica.	Pedotúbulos e nódulos
	BC	Moderadamente desenvolvido, médio para fracamente selecionado. Microagregados granulares e blocos subarredondados.	Areia média e fina. Subarredondados e fragmentados. Quartzo abundante e mica pouco frequente.	Vermelho-amarelado (5YR 5/8). Orientação relativa, estrutura plásmica séptica, do tipo bimasséptica.	Macroporos, empilhamento composto. Pedoporos.	Enáulica e Porfírica.	Nódulos
2	A e A/Bi	Moderadamente desenvolvido, moderadamente a mal selecionado. Microagregados granulares e blocos angulosos	Areia fina a grossa. Subangulares, fragmentados e cariados. Quartzo abundante e mica pouco frequente.	Bruno-amarelado (2,5YR 4/4). Orientação relativa asséptica, do tipo silasséptica tendendo a masséptica.	Macroporos, empilhamento complexo a fissurais. Pedoporos e Bioporos.	Enáulica e porfírica nos agregados maiores.	Pedotúbulos
	Bi	Fraco para moderadamente desenvolvido, moderadamente selecionado. Blocos angulosos e microagregados granulares na porção superior.	Areia grossa a muito grossa. Subangulares e katamorfs, fragmentados e cariados. Quartzo e mica abundantes.	Amarelo-brunado (10YR 6/8). Orientação relativa asséptica, do tipo silasséptica.	Macroporos, empilhamento complexo a fissurais. Pedoporos e Bioporos.	Porfírica, tendendo a enáulica.	Pedotúbulos
	C	Fraco para moderadamente desenvolvido, mal selecionado.	Areia média e grossa. Subangulares e fragmentados. Quartzo e mica abundantes.	Bruno-forte (7,5YR 5/8). Orientação relativa asséptica, do tipo silasséptica.	Macroporos, empilhamento simples e fissurais. Pedoporos e Litoporos	Porfírica predominante	-
3	A e A/Bi	Moderadamente desenvolvido, moderadamente selecionado. Microagregados granulares.	Areia média. Subangulares e fragmentados. Quartzo comum.	Bruno-amarelado-escuro (10YR 3/6). Orientação relativa séptica, do tipo masséptica.	Macroporos, empilhamento complexo a fissurais. Pedoporos e Bioporos.	Enáulica.	Pedotúbulos
	Bi	Moderadamente desenvolvido, moderadamente selecionado. Microagregados granulares com alguns blocos subarredondados.	Areia grossa a fina. Subangulares e fragmentados. Quartzo e mica comum.	Amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8) Orientação relativa asséptica, do tipo argilasséptica tendendo a masséptica.	Macroporos, empilhamento complexo a fissurais. Pedoporos e Bioporos.	Porfírica.	Pedotúbulos
	C	Moderadamente desenvolvido, moderadamente selecionado. Blocos angulares a subarredondados e maciça.	Areia fina a média. Subarredondados e subangulares, fragmentados. Quartzo e mica abundante.	Vermelho-amarelado (5YR 5/8). Orientação relativa asséptica, tendendo a masséptica	Macroporos, empilhamento simples e fissurais. Pedoporos e Litoporos	Porfírica	Nodulação rara.



4	A	Moderadamente desenvolvido, moderadamente selecionado. Microagregados em algumas porções e blocos maiores que a área de abrangência da lâmina	Areia média. Subangulares e fragmentados. Quartzo abundante e micas ocasionalmente	Bruno (10YR 4/3). Orientação relativa asséptica, do tipo argilasséptica.	Macroporos, empilhamento complexo. Pedoporos.	Enáulica ocasional e porfírica predominante.	-
	AB	Moderadamente desenvolvido, moderadamente selecionado. Microagregados granulares pouco arredondados e blocos subarredondados	Areia média. Subangulares e fragmentados. Quartzo abundante	Vermelho (2,5YR 5/6). Orientação relativa asséptica, do tipo argilasséptica.	Macroporos, empilhamento complexo. Pedoporos e Bioporos	Enáulica ocasional e porfírica predominante.	-
	Bt (1, 2 e 3)	Pobrememente desenvolvido, moderadamente selecionado. Blocos maiores que a área de abrangência da lâmina.	Areia média. Subangulares e fragmentados. Quartzo abundante	Bruno-amarelado (10YR 5/6), com presença de manchas avermelhadas. Orientação relativa asséptica, do tipo argilasséptica.	Macroporos intergranulares. Pedoporos.	Porfírica.	Nódulos
	BC	Moderadamente desenvolvido, pobrememente selecionado. Blocos maiores que a área de abrangência da lâmina.	Areia média e grossa. Subangulares e fragmentados. Quartzo abundante	Bruno-amarelado (10YR 5/6). Orientação relativa séptica, do tipo mosséptica.	Macroporos intergranulares cavitários. Pedoporos.	Porfírica.	Nódulos.

e 3c). Muitos dos agregados maiores representam, na verdade, a junção de microagregados, revelando diferentes graus evolutivos da microestrutura. No interior desses, o conteúdo de matéria orgânica e a presença de fragmentos de carvão são comuns.

Nódulos representam uma das principais feições pedológicas em P1 (Figura 3c). Como dito, concentram-se na transição entre os horizontes BC e Bw2, constituindo uma camada de aproximadamente 9cm. Em termos microscópicos, são grandes a médios, de formato arredondado, com grãos de quartzo angulosos envolvidos por uma micromassa vermelho-escuro, além de poros cavitários. Conforme proposto por Stoops (2003), enquadram-se como nódulos típicos, com fábrica interna indiferenciada. Como a referida fábrica é constituída pelos mesmos materiais pedológicos adjacentes, trata-se de nódulos pedoreliquiais, tendo sua origem associada ao concrecionamento da própria matriz do solo. Mineralogicamente, são constituídos por quartzo, gibbsita, goethita e hematita. Acima do nível em que se acumulam, ocorrem de maneira dispersa no horizonte Bw2 e são praticamente inexistentes em Bw1 e horizontes organo-minerais. O tamanho dos nódulos é menor em direção à superfície e muitas vezes apresentam bordas digitadas e feições de depleção em seu interior, sugerindo sua desintegração.

Em P2 observam-se microagregados granulares nos horizontes A (Figura 4a), contato A/Bi (Figura 4b) e porção superior do Bi (Figura 4c), sendo pouco arredondados e concentrados ao longo de canais biológicos

(pedotúbulos), intercalados com pelotas fecais. Ocorrem também blocos angulosos, com bordas disformes, por vezes fragmentadas, sugerindo sua desintegração. Internamente, os agregados maiores (blocos) possuem trama porfírica, com grãos grossos constituídos majoritariamente por quartzo e algum conteúdo de mica. A micromassa possui coloração bruno-amarelada a avermelhada, composição caulinito-goethítica e orientação relativa do tipo silasséptica a masséptica. Os grãos de quartzo se tornam maiores e mais angulosos em direção à base do perfil, aumentando também a ocorrência de aglomerados de micas ou de paletas isoladas, todos com algum grau de alteração, mas cujas propriedades ópticas, como hábito e cor, são ainda perceptíveis. Os agregados menores são constituídos quase que exclusivamente por minerais finos, com eventual ocorrência de grãos diminutos de quartzo e/ou carvão. No horizonte C (Figura 4d), a microestrutura é em blocos angulares ou maciça, com os mesmos constituintes dos horizontes superiores. O sistema poroso é predominantemente do tipo fissural na base do perfil e de empilhamento complexo na porção superior.

Muitos dos aspectos de P2 são também observados em P3. O primeiro e mais significativo deles diz respeito ao domínio de microagregados granulares na porção superior do perfil em detrimento de blocos e microestrutura maciça nos horizontes inferiores. Em P3, contudo, os microagregados são mais arredondados e ocupam a maior parte dos horizontes A (Figura 5a), contato A/Bi (Figura 5b) e Bi (Figura 5c). Outra similaridade entre os

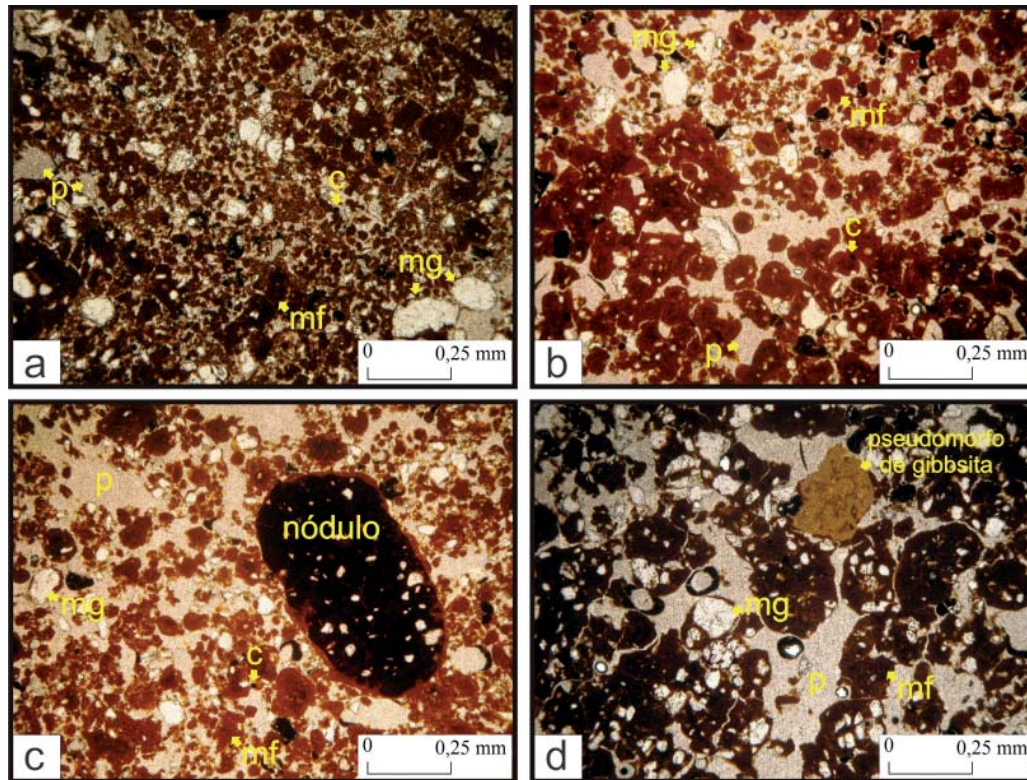


Figura 3 - Fotomicrografias (níveis paralelos) apresentando aspecto geral da fábrica dos horizontes A e AB (3a); Bw1 (3b); Bw2 (3c) e BC (3d) de P1, localizado na SG1. mg = material grosso ( $>2\mu$ ); mf = material fino ( $>2\mu$ ); p = poro; c = carvão.

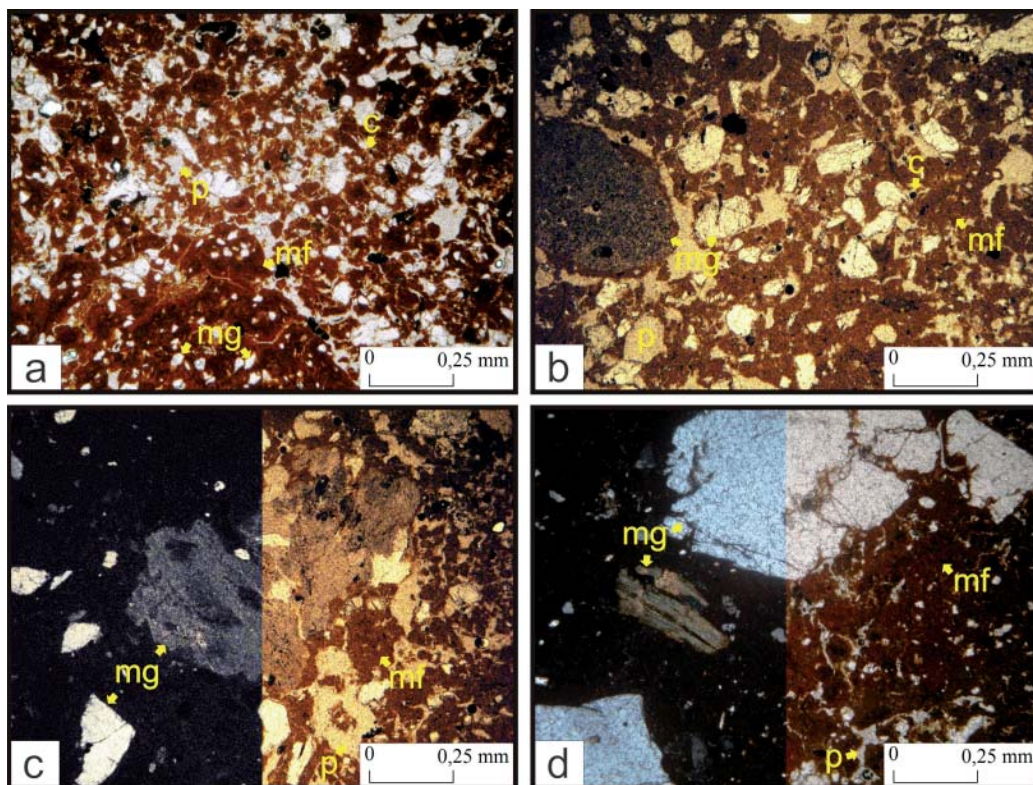


Figura 4 - Fotomicrografias (níveis paralelos em a e b e níveis cruzados + paralelos em c e d) apresentando aspecto geral da fábrica dos horizontes A (4a); transição A/Bi (4b); Bi (4c) e C (4d) de P2, localizado na SG2. mg = material grosso ( $>2\mu$ ); mf = material fino ( $>2\mu$ ); p = poro; c = carvão.

perfis é a composição do fundo matricial, qual seja: grãos grossos de quartzo e mica, tão maiores e mais abundantes quanto mais profundo no perfil e uma micromassa de composição caulinitica-gibbsítica-goethítica. Destaca-se a presença da gibbsita como mineral acessório, ausente em P2. Nos horizontes C (Figura 5d) e Bi (Figura 5c), a distribuição relativa do fundo matricial é do tipo porfírica. No horizonte A, essa trama tende a ser principalmente enáulica, individualizando os grãos grossos dos finos. A transição da trama porfírica para enáulica reitera a abertura da micromassa por bioturbação. Esse comportamento pode ser igualmente percebido pelas tramas

birrefringentes. Enquanto, no horizonte A, a orientação relativa dos grãos finos é massépica, havendo separações entre os domínios compostos por cristais finos, nos horizontes Bi e C, ela é assépica, com domínios não orientados, mas já demonstrando tendência a massépica. Isso sugere que a pedogênese tem conduzido à formação de agregados menores. Adicionalmente, no horizonte C (Figura 5d), foi observada a presença de raras nodulações vermelho-escuro, constituídas quase exclusivamente por micromassa. Apenas nesse horizonte as nodulações foram reconhecidas, não havendo uma sequência como aquela descrita no P1.

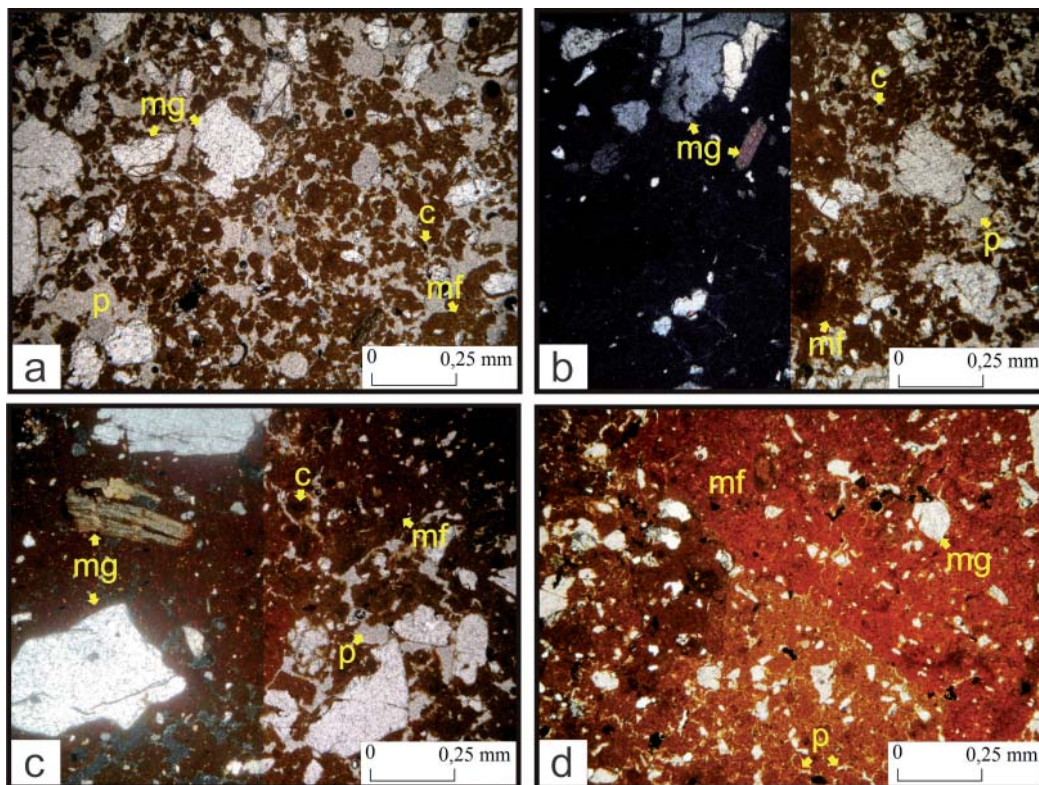


Figura 5 - Fotomicrografias (níveis paralelos em a e d e níveis cruzados + paralelos em b e c) apresentando aspecto geral da fábrica dos horizontes A (5a); transição A/Bi (5b); Bi (5c) e C (5d) de P3, localizado na SG2. mg = material grosso ( $>2\mu$ ); mf = material fino ( $>2\mu$ ); p = poro; c = carvão.

Micromorfologicamente, P4 é o perfil que apresenta a maior proporção de material grosso no fundo matricial de todos os horizontes (Figura 6), corroborando com a classe textural. Os grãos de quartzo ocorrem em tamanhos diferentes, sendo maiores no horizonte A (Figura 6a), onde também ocorrem minerais micácios. A micromassa, por sua vez, possui diferentes formas de organização e apresenta coloração mais amarelada e manchas avermelhadas nos horizontes mais profundos (Figuras 6b a 6d), sendo constituída por caulinita e,

principalmente, por óxidos de ferro (goethita e hematita). No horizonte Bt1, foi observada a presença de micromassa mais desbotada, vermelho-amarela, com manchas avermelhadas mais escuras, bem definidas e indefinidas, distribuídas pela lâmina. Os poros, que diminuem de forma considerável com a profundidade (Figura 6), são principalmente do tipo intergranular, ocorrendo no interior dos agregados cujo tamanho é maior que a área da lâmina e, em alguns casos, no interior dos nódulos. Isso faz com que o solo seja, em

nível da lâmina, mais pédico na porção superior do perfil e mais apédico em profundidade, já que não há como individualizar a microestrutura. Em relação às feições pedológicas, nota-se em P4 a presença de nódulos desde a parte superior até a base do perfil, sendo que eles ocorrem de maneira diferenciada, inclusive no tamanho, sendo maiores nos horizontes mais profundos. De modo

geral, possuem semelhanças morfológicas com os outros perfis, sobretudo pela coloração vermelha escura no interior, pela presença de grãos grossos quartzosos e porosidade cavitária acentuada (Figuras 6b a 6d). Ao contrário, diferenciam-se dos nódulos encontrados em P1 por serem maiores e por terem composição eminentemente ferruginosa, e não aluminosa como naquele caso.

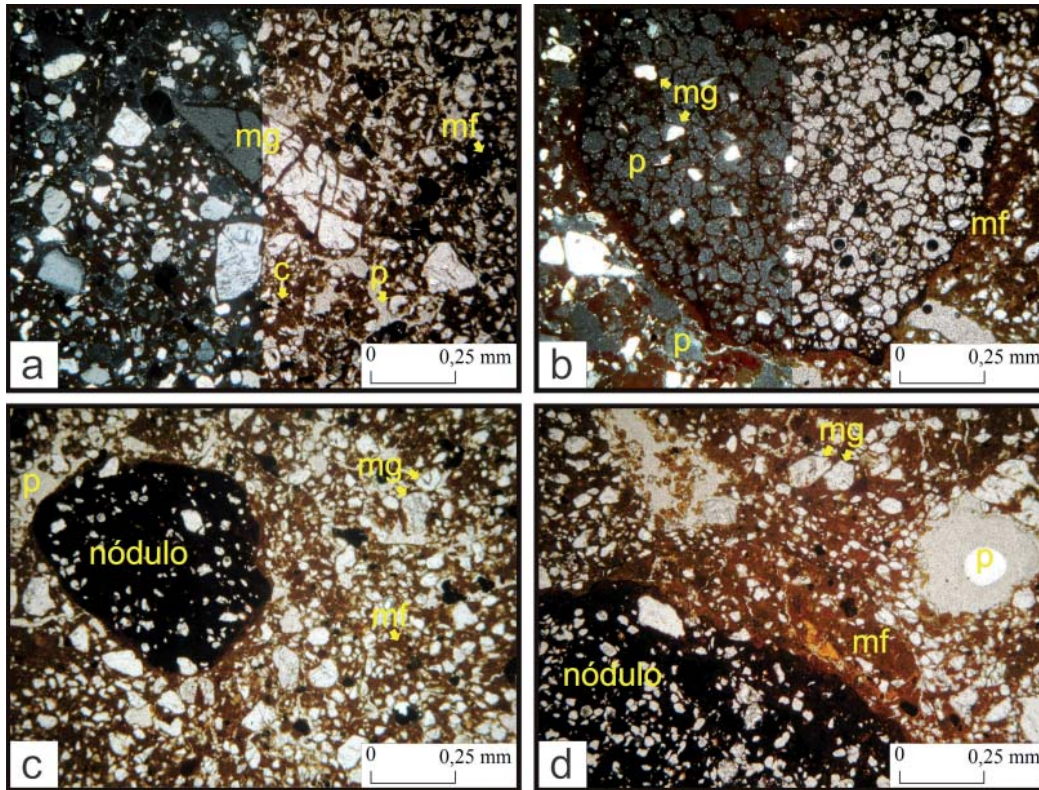


Figura 6 – Fotomicrografias (níveis cruzados + paralelos em a e b e níveis paralelos em c e d) apresentando aspecto geral da fábrica dos horizontes A (6a); Bt1 (6b); Bt2 (6c) e BC (6d) de P4, localizado na SG3. mg = material grosso (>2 $\mu$ ); mf = material fino (>2 $\mu$ ); p = poro; c = carvão.

## Discussão

### Indicadores micropedológicos e o grau evolutivo dos solos nas distintas superfícies geomórficas

A partir da caracterização micropedológica, tornou-se possível selecionar alguns indicadores que podem ser utilizados para a compreensão genética dos solos e para estudos da evolução geomorfológica do contexto em que se inserem. Esses indicadores dizem respeito à microestrutura, ao fundo matricial e às feições pedológicas, sendo reflexo do grau de evolução em que tais solos se encontram em função da evolução das próprias superfícies geomórficas que ocupam.

### Indicadores relacionados à microestrutura

As estruturas em nível microscópico da cobertura pedológica têm muito a dizer sobre seu grau evolutivo. Geralmente, quando há uma presença marcante de grãos grossos quartzosos lito-herdados, torna-se mais difícil a microagregação granular dos constituintes. Além disso, a microagregação de materiais finos cuja composição é essencialmente gibbsítica não foi amplamente comprovada por mecanismos físico-químicos, considerando que os diversos estudos que defendem essa origem postulam que é a partir da interação entre a caulinita e os óxidos de ferro, em condições de extrema lixiviação, que as estruturas granulares se formam (BEAUDOU,

1972; PÉDRO *et al.*, 1976; CHAUVEL *et al.*, 1978; CHAUVEL & PÉDRO, 1978; BUOL & ESWARAN, 1978; ESWARAN & DAUD, 1980; CHAUVEL *et al.*, 1983; SANTOS *et al.*, 1989; BITOM & VOLKOFF, 1991). Numa outra perspectiva, a origem biológica dessas microestruturas é defendida (BENAYAS & PINTO RICARDO, 1973; VERHEYE & STOOPS, 1975; GARNIER-SILLAN *et al.*, 1985; ESCHENBRENNER, 1986; TRAPNELL & WEBSTER, 1986; KOOYMAN & ONK, 1987; STOOPS, 1991; JUNGIERUS *et al.*, 1999; NUNES *et al.*, 2000; SCHAEFER, 2001; SCHAEFER *et al.*, 2004; REATTO *et al.*, 2009), sobretudo face aos processos de pedobioturbação associados aos térmitas, conhecidos como engenheiros do sistema pedológico (ESCHENBRENNER, 1986). Sustentam essa hipótese aspectos micromorfológicos ligados à uniformidade das estruturas, sua estabilidade, a seletividade dos grãos grossos que as constituem internamente (muito pequenos) e os que as circundam (maiores), além da presença de carvão e pelotas fecais.

Considerando: i) o contexto geomorfológico e litológico em se inserem as coberturas descritas neste estudo; ii) a composição de seus constituintes grossos e finos e iii) sua organização macro e micromorfológica, a presença dos microagregados granulares nos perfis corrobora com a hipótese de uma origem biológica e sugere que a pedogênese nas superfícies geomórficas tem uma estreita relação com a maior ou menor colonização da cobertura pela fauna endopedônica. Isto é, os microagregados granulares parecem representar o estado evolutivo mais avançado das microestruturas. Sua gênese estaria ligada à bioturbação seletiva e transformação de antigas estruturas em blocos ou maciças que, por sua vez, seriam formadas pela agregação físico-química dos constituintes em níveis alteríticos (horizontes BC e C). A transformação de um sistema poroso fissural e/ou de empilhamento composto, predominantes na base dos perfis, num sistema de empilhamento composto nas porções superiores reitera essa evolução das microestruturas.

Em linhas gerais, as descrições micromorfológicas revelam que, uma vez formada uma micromassa caulinito-gibbsítica primária através do intemperismo do material de origem, com cristais grossos de quartzo, os mecanismos de pedoplasmação conduziram à agregação em blocos e/ou formação de nódulos pedogenéticos gibbsíticos. Tanto os nódulos quanto os agregados possuem, no seu fundo matricial, os referidos grãos quartzo-

so grossos. Com a colonização biológica e seletividade de transporte dos térmitas, os grãos de quartzo mais grossos teriam sido desconectados dos constituintes finos, havendo a formação de microagregados entre os mesmos. Apenas diminutos grãos de quartzo fazem parte do fundo matricial dos microagregados. Essa mesma seletividade no transporte teria sido responsável pela gênese de níveis de acumulação dos nódulos gibbsíticos na base dos horizontes pedoplasmados, como em P1, e de níveis de acumulação de quartzo grosso, como no horizonte Bi em P2.

Face ao exposto, a presença e o desenvolvimento dos microagregados granulares de origem termítica sugere um importante indicador micromorfológico do grau evolutivo das coberturas nas superfícies geomórficas. Nesse caso, P1 apresenta os microagregados mais bem desenvolvidos, contendo, inclusive, uma segunda geração de agregados granulares maiores formados pela coalescência de microagregados. P2 e P3, por sua vez, apresentam microagregação moderada, restrita aos horizontes superiores ou em horizontes pedoplasmados incipientes. P4 demonstrou níveis restritos de microagregação, em subsuperfície, e na interface entre os horizontes A e Bt. Em complementaridade, a espessura dos horizontes microagregados revela-se igualmente importante para o entendimento do grau evolutivo das coberturas. Na comparação entre os horizontes B dos perfis 1 e 3, apesar de haver microagregação em ambos, há diferença nítida quanto à sua espessura, maior em P1 que P3. A própria classificação dos solos refletiu isso, na medida em que a espessura do horizonte B de P3 não foi suficiente para classificá-lo como um Latossolo, embora revele, em nível microscópico, tendência evolutiva nesse sentido. Por tais vias, P1 evidencia que a colonização biológica, e consequente estabilização das microestruturas construídas, é mais antiga que nas demais superfícies, sugerindo, a partir disso, que a SG1 também represente uma superfície mais antiga que as demais.

#### ***Indicadores relacionados ao fundo matricial***

A distribuição e composição dos materiais grossos e finos no fundo matricial é um aspecto importante a considerar para elucidar questões relativas ao grau de evolução das coberturas.

Em primeiro lugar, considerando que o material grosso é formado por partículas maiores que 2 $\mu$ m

(areia e silte), sendo, em climas tropicais, constituído por minerais primários resistentes, aproximando-se do conceito de esqueleto (BREWER, 1976), sua distribuição relativa ao longo de um perfil tenderia a ser maior e sua composição mais diversificada com o aumento da profundidade, sobretudo em virtude da maior proximidade da rocha matriz. Da mesma maneira, quanto mais evoluída a cobertura, menor seria a participação de grãos minerais grossos na composição do fundo matricial, principalmente em se tratando de coberturas derivadas de rochas com potencial para a formação de argilominerais.

Para os perfis analisados, o material grosso tem menor participação na composição do fundo matricial em P1 se comparado com P2; e menor em P2 em relação a P3. Em alguns perfis, contudo, observam-se variações na distribuição do mesmo ao longo do perfil, como em P2 e P4. No caso específico de P2, a acumulação relativa dos grãos grossos ocorre na transição entre o domínio das microestruturas em blocos e as granulares, indicando ser um nível de seleção biológica, conforme discutido anteriormente. Corrobora com esse argumento o fato de que os grãos localizados nesse contexto são maiores e mineralogicamente idênticos às demais porções do perfil, refutando a possibilidade de uma variação composicional que incluísse algum mineral mais resistente. No P4, contudo, a posição do perfil em área de recepção de sedimentos e a descontinuidade textural provocada por essa maior ocorrência de grãos grossos na superfície, sugerem que o material de origem do solo possa ser um pacote sedimentar ou, pelo menos, que o perfil contém contribuição sedimentar na parte superior. Soma-se a isso o fato de que não foram identificadas feições de iluviação de argilas em profundidade, como cutans. Por tais condições, SG3 parece testemunhar a ocorrência eventual de solos menos evoluídos associados ainda a traços marcantes dos processos de sedimentação.

Em se tratando da composição mineralógica dos constituintes grossos, de acordo com modelos clássicos de evolução e formação dos solos, espera-se que quanto maior a profundidade, maior a probabilidade de ocorrência de minerais primários menos resistentes à alteração (GOLDICH, 1938). Assim, a tendência é a de que os horizontes superficiais apresentem apenas aqueles minerais mais resistentes, como o quartzo, ao passo que minerais como as micas deixariam de existir com o avanço do intemperismo. Nos perfis em análise, P1 seguiu esse padrão, apresentando poucos grãos grossos

de mica e apenas em profundidade, muitos deles como pseudomorfos de gibbsita. Em P2 e P3, por sua vez, todo o perfil continha na fração grosseira plaquetas de mica ou até mesmo fragmentos de micaxisto, indicando um menor grau evolutivo. Em P4, porém, foram observados fragmentos de mica apenas no horizonte A. Tal característica reitera que P4 pode ser um solo formado a partir da pedogênese de um pacote sedimentar, sendo, portanto, mais novo que os demais.

Ainda considerando o fundo matricial, as características da micromassa também são importantes para prever sobre o grau evolutivo das coberturas. A diferença na sua coloração pode ser, por exemplo, indicativo de determinados processos. Assim como uma coloração mais escura nos horizontes superficiais é atribuída, basicamente, à presença de matéria orgânica (GERASIMOVA & LEBEDEVA-VERBA, 2010), cores mais avermelhadas ou mais amareladas são reflexos de determinadas composições mineralógicas. Nos perfis em estudo, a principal diferença diz respeito à homogeneidade ou heterogeneidade de cores vermelhas e amarelas ao longo do perfil. Enquanto em P1 apenas o horizonte BC apresentava essa heterogeneidade, nos demais perfis ela pôde ser percebida também nos horizontes pedoplasmados Bi e Bt. Em se tratando dos horizontes superiores, P4 apresentou os horizontes mais brunados, com reflexos numa maior acumulação de matéria orgânica considerando sua proximidade no nível freático regional.

Mineralogicamente, a micromassa também revelou alguns aspectos interessantes. Enquanto em P1 ela é gibbsítica, nos demais perfis a gibbsita está presente apenas como mineral acessório (Tabela 1), sendo a micromassa eminentemente caulinítica. A presença da gibbsita nos Latossolos Vermelho-Amarelos nas áreas altas do planalto de Diamantina já foi reconhecida por Schaefer *et al.* (2002) como sendo um importante indicativo do alto grau de intemperismo dessas coberturas. Conforme esses autores, como sua gênese direta a partir do intemperismo de filossilicatos é improvável (HSU, 1989 apud SCHAEFER *et al.*, 2002), seria a dessilicificação processual das micas, com uma fase intermediária caulinítica, sua fonte de origem. Assim, a atuação do intemperismo a longo termo seria necessária para que uma cobertura predominantemente gibbsítica, como é o caso de P1, fosse formada, além de climas mais úmidos que os atuais.

Em termos da distribuição relativa entre os consti-

tuintes grossos e finos, na medida em que a pedogênese atua, ocorre a transição de uma trama porfírica para uma trama enáulica. Assim, a individualização entre agregados e grãos mais grossos, acompanhada pela transformação da orientação relativa da micromassa de assépica para massépica, é mais um importante indicador do grau evolutivo das coberturas nas distintas superfícies.

#### **Indicadores relacionados às feições pedológicas**

As nodulações como feições pedológicas podem ser compostas por diferentes materiais, sejam eles análogos ao entorno ou mesmo transportados e reprecipitados em outras posições da paisagem. A drenagem pode influenciar na ocorrência de nódulos, tanto pelas oscilações do nível freático quanto pela própria migração, ao longo da vertente, de constituintes da cobertura, sobretudo íons dissolvidos nas soluções. Nesse contexto, a caracterização dos nódulos torna possível estabelecer correlações com os seus fatores genético-evolutivos e, conseqüentemente, com processos associados à formação e desenvolvimento do solo.

Os nódulos em P1 ocorrem em distintos estágios de evolução, incluindo nódulos degradados e cujos constituintes são incorporados à matriz do solo. Seus aspectos micromorfológicos e sua composição mineralógica gibbsítica (com grãos de quartzo) sugerem uma formação *in situ*, laterítica, através da acumulação de alumínio. O próprio alumínio liberado na parte superior do perfil pela destruição da gibbsita pode ser a fonte de precipitação nas porções inferiores (NAHON, 1986; 1991; TARDY, 1993; LARIZZATTI & OLIVEIRA, 2005). Em contrapartida, em P4 os nódulos identificados não revelam uma sequência evolutiva, mas um padrão disperso e não coerente, com tamanhos variados e com muito envolvimento de grãos quartzosos em seu interior. São de formato mais irregular e consideravelmente maiores, com cimentação constituída mineralogicamente por óxidos de ferro. O fundo matricial interno revela zonas lineares crescentes, envolvendo os grãos de quartzo, sugerindo que a deposição e precipitação do ferro ocorreram através de soluções em zonas de oscilação de nível freático. Assim, enquanto os nódulos em P1 indicam uma origem por *residuum* (GOUDIE, 1973; MC FARLANE, 1976) e, possivelmente, já numa condição

geomórfica mais alta, os nódulos em P4 sugerem uma formação por acumulação em áreas baixas, com muita dependência da migração do ferro das áreas vizinhas. O fato de muitos nódulos de P1 estarem sendo decompostos indica que as condições de laterização são pretéritas e que a pedogênese tem ocasionado a reversão do processo de concrecionamento, como efeito de um tipo processo de degradação de couraças (BEAUVAIS, 2009; NAHON, 1991; TARDY, 1993).

#### **Considerações finais**

Os resultados permitiram o levantamento de indicadores micropedológicos capazes de evidenciar o grau evolutivo das coberturas provenientes de um mesmo contexto litológico. Esses indicadores se aplicam para a área em estudo, em particular, e podem representar norteadores para análises em outros contextos. São eles:

- presença de microagregados granulares de origem termítica, considerando sua distribuição, relação com outras estruturas presentes e abrangência com a qual ocorrem no perfil;
- mineralogia e distribuição (do topo a base e dentro ou fora dos agregados) dos grãos grossos ao longo do perfil, considerando a presença ou ausência de minerais de fácil alteração;
- cor e mineralogia da micromassa, bem como as transformações ao longo do perfil das tramas birrefringentes, sobretudo a partir da transição de uma trama assépica para alguma sépica, significando reorientação dos cristallitos.
- presença, distribuição, grau evolutivo e composição (mineral) de nódulos, sobretudo considerando a abrangência dos processos lateríticos que lhes dão origem.

Embora de um mesmo contexto litológico, esses indicadores revelam o grau evolutivo de coberturas que estão situados em distintos compartimentos morfológicos. Por isso, tornam possível considerar que:

- Em conformidade com o que foi apresentado por Valadão *et al.* (2012), a Unidade I parece indicar uma superfície mais antiga (SG1), relicto na paisagem de uma condição geomórfica pretérita. Essa maior idade se reflete no maior grau evolutivo de sua cobertura pedológica em comparação com as demais.
- SG2 apresenta solos menos evoluídos em relação a SG1, o que pode indicar uma exposição mais recente de

tais rochas à alteração e pedogênese. Alguns atributos micromorfológicos que caracterizam suas coberturas sugerem que o caminho evolutivo das coberturas é semelhante a P1, embora em termos macroscópicos esses aspectos não sejam suficientes para enquadrá-las numa mesma classe.

- SG3 indica ser, em face das características de sua cobertura, a superfície mais recente e mais sujeita à deposição de materiais. Não se sabe, ao certo, se tal deposição seria suficiente para caracterizá-la como uma superfície geomórfica deposicional (DANIELS *et al.*, 1971; SCHAETZL & ANDERSON, 2005), mas é inegável que essa deposição esteja influenciando em suas coberturas e as torne, do ponto de vista pedogenético, as menos evoluídas do contexto, uma vez que suas coberturas trazem mais aspectos da influência sedimentar e menos de uma pedogênese sobre tais sedimentos.

- A relação entre as coberturas nas três superfícies até o momento, considerando os indicadores micropedológicos, sugere uma relação genética entre elas, em que SG2 e SG3 estariam associadas a SG1, podendo ser SG2, inclusive, uma fase intermediária, transicional da transformação da SG1 na SG3. Essa associação se daria pela exposição das rochas em diferentes contextos no tempo geológico, justificada pela dinâmica geomorfológica regional. É provável que fatores de ordem tectônica e estrutural estejam também influenciando essa exposição, de maneira que não é possível elucidar sua influência a partir do que foi realizado neste estudo.

- A indicação da relação entre as distintas superfícies é um passo importante para o entendimento da evolução do relevo no contexto regional. A utilização das coberturas pedológicas e de seus atributos, nesse caso os micropedológicos, é igualmente fundamental porque complementa a multiplicidade que os estudos geomorfológicos devem ter, multiplicidade essa que envolve a necessidade da análise em diversas escalas, espaciais e temporais, e sob um enfoque eminentemente espacial.

## Referências Bibliográficas

ALMEIDA-ABREU, P. A. **O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): o rifte, a bacia e o orógeno.** Geonomos. Número 1. vol. 3. julho, p. 1-18, 1995.

ÁVILA, F. F. **Análise da cobertura pedológica em uma topossequência na Bacia do Córrego dos Pereiras – Depressão de Gouveia/MG.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - IGC/

UFMG, Belo Horizonte, 2009. 135 p.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 350 p.

BEAUDOU, A.G. Expression micromorphologique de la micro-agrégation et de l'illuviation dans certains horizons de sols ferrallitiques centrafricains et dans les sols hydromorphes associés. **Cahiers ORSTOM, Série Pédologie**, v. 10, p. 357–371, 1972.

BEAUVAIS, A. Ferricrete biochemical degradation on the rainforest savannas boundary of Central African Republic. **Geoderma**, v. 150, p. 379-388, 2009.

BENAYAS, J.; PINTO RICARDO, R. Aspectos micromorfológicos de solos de uma topossequência ocorrendo em zona tropical húmida (Superfície da Quibala - Angola). **Anais do Instituto Superior de Agronomia**, v. 34, p. 181–203, 1973.

BITOM, D.; VOLKOFF, B. Mise en évidence de deux modes de microstructuration dans une couverture de sols ferrallitiques rouges du Sud-Cameroun. **Science du Sol**, v. 29, p. 289–300, 1991.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils.** Huntington, New York: Robert E. Krieger Publications Co., 1976. 482p.

BUOL, S.W.; ESWARAN, H. The micromorphology of Oxisols. In.: DELGADO, M. (ed.). **Soil Micromorphology.** Spain: University of Granada, p. 325–347, 1978.

CASTRO, S. S. **Micromorfologia de Solos: bases para descrição de lâminas delgadas.** 2ª ed. Goiânia/Campinas: UFG-IESA, UNICAMP-IG-DGEO, 2008. 143 p.

CASTRO, S.S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. **Boletim Informativo da SBCS**, nº 31, p. 44, 1985.

CHAUVEL, A.; PÉDRO, G. Genèse de sols beiges (ferrugineux tropicaux lessivés) par transformation des sols rouges (ferrallitiques) de Casamance (Sénégal). **Cahiers ORSTOM, Série Pédologie**, v. 16, p. 231–249, 1978.

CHAUVEL, A., BOCQUIER, G.; PÉDRO, G. La stabilité et la transformation de la microstructure des sols rouges ferrallitiques de Casamance (Sénégal). Analyse microscopique et données expérimentales. In.: DELGADO, M. (ed.). **Soil Micromorphology.** Spain: University of Granada, p. 779–813, 1978.

CHAUVEL, A., SOUBIES, F.; MELFI, A. Ferralitic soils from Brazil: formation and evolution of structure. In.: NAHON, D.; NOACK, Y. (eds.). **Pétrologie des Altérations et des Sols.**



- Sciences Géologiques Mémoire. v. 72, p. 37–46, 1983.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS - CODEMIG. **Mapa Geológico de Minas Gerais**. CODEMIG, Governo do Estado e CPRM. 2003.
- DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. E.; J. G. CADY. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**, v. 23, p. 51–88, 1971.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- ESCHENBRENNER, V. Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux. **Cahiers ORSTOM, Série Pédologie**, v. 22, p. 397–408, 1986.
- ESWARAN, H.; DAUD, N. A scanning electron microscopy evaluation of the fabric and mineralogy of some soils from Malaysia. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 855–861, 1980.
- FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. Coleta e impregnação de solos para análise micromorfológica. **Comunicado Técnico EMBRAPA**, v. 20, 2004. 4 p.
- GARNIER-SILLAN, E., VILLEMIN, G., TOUTAIN, F., RENOUX, J. Formation de micro-agrégats oragno-minéraux dans les feces de termites. **Comptes Rendus de l'Académie des Science**, v. 301, p. 213–218, 1985.
- GERASIMOVA, M.; LEBEDEVA-VERBA, M. 2010. Topsoils, mollic, takyric and yermic horizons. In.: STOOPS, G., MARCELINO, V., MEES, F. **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Elsevier Publications, p. 351-368, 2010.
- GOLDICH, S.S. A study in rock weathering. **Journal of Geology**, v. 46, p. 17–58, 1938.
- GOUDIE, A. **Duricrust in tropical and subtropical landscapes**. Oxford: Clarendon Press, 1973. 174p.
- GROSSI-SAD, J.H.; MOURÃO, M.A.A.; GUIMARÃES, M.L.V.; KNAUER, L.G. Geologia da Folha Conceição do Mato Dentro. In: GROSSI-SAD, J.H.; LOBATO, L.M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; SOARES-FILHO, B.S. (Coord. e Ed.), **Projeto Espinhaço** (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais. p. 2533 – 2693, 1997.
- HSU, P. H. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides. In.: DIXON, J.B., WEED, S.B. (Eds.), **Mineral in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, p. 331–378, 1989.
- JUNGERIUS, A.; VAN DEN ANCKER, J. A. M.; MUCHER, H. J. The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. **Catena**, v. 34, p. 349–363, 1999.
- KOOYMAN, C.; ONK, R. F. M. Distribution of termite (Isoptera) species in southwestern Kenya in relation to land use and themorphology of their galleries. **Biology and Fertility of Soils**, v. 3, p. 69–73, 1987.
- KUBIENA, W. L. **Micropedology**. Ames: Collegiate Press, 1938. 243 p.
- LARIZZATTI, J. H.; OLIVEIRA, S. M. B. Evolução geoquímica e balanço de massa na formação e degradação de perfis lateríticos encouraçados na área da Fazenda Pison, Vale do Rio Tapajós, Amazônia Central. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35:2, p. 273-284, 2005.
- McFARLANE, M. J. **Laterite and landscape**. London: Academic Press, 1976. 151 p.
- MENEZES, M. L. **Caracterização micromorfológica das formações superficiais da bacia do Córrego do Quebra, Depressão de Gouveia, MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - IGC/UFGM, Belo Horizonte, 2006. 103 p.
- NAHON, D. B. Evolution of iron crust in tropical landscape. In.: COLEMAN, S. M.; DETHIER, D. P. (Eds.). **Rates of chemical weathering of rocks and minerals**. London: Academic Press, p. 169-191, 1986.
- NAHON, D. B. **Introduction to the petrology of soils and chemical weathering**. New York: John Wiley and Sons, 1991. 313 p.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 421 p.
- NUNES, W. A. G. A., SCHAEFER, C. E. G. R., FERNANDES FILHO, E. I. Caracterização micropedológica de alguns solos da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 103–115, 2000.
- PÉDRO, G.; CHAUVEL, A.; MELFI, A. J. Recherches sur la constitution et la genèse des Terre Roxa Estruturada du Brésil. **Annales Agronomiques**, v. 27, p. 265–294, 1976.

- RAMOS, A. L. L. S. **Características micromorfológicas de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos da porção norte da Bacia do Córrego do Rio Grande, em Gouveia (MG)**. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental). Belo Horizonte: IGC/UFMG. 2008.
- REATTO, A.; BRUAND, A.; SILVA, E. M.; GUÉGAN, R.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; MARTINS, E. S. Shrinkage of microaggregates in Brazilian Latosols during drying: significance of the clay content, mineralogy and hydric stress history. *European Journal of Soil Science*, v. 60 (6), p. 1106–1116, 2009.
- ROCHA, L. C. **Caracterização pedológica em duas vertentes na bacia do Córrego do Quebra – Gouveia/MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental). Belo Horizonte: IGC/UFMG. 2004.
- RUHE, R. V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. *Soil Science*, v. 82, p. 441-445, 1956.
- SAADI, A. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. *Geonomos*, v. 3 (1), p. 41-63, 1995.
- SANTOS, M. C. D.; MERMUT, A. R.; RIBEIRO, M. R. Submicroscopy of clay microaggregates in an Oxisol from Pernambuco, Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 53, p. 1895–1901, 1989.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 6.ed. Viçosa: SBCS, 2013. 100p.
- SCHAEFER, C. E. G. R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. *Australian Journal of Soil Research*, v. 39, p. 909–926, 2001.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; GILKES, R. J.; FERNANDES, R. B. A. EDS/SEM study of microaggregates of Brazilian Latosols in relation to P adsorption and clay fraction attributes. *Geoderma*, v. 123, p. 69–81, 2004.
- SCHAEFER, C. E. R.; KER, J. C.; GILKES, R. J.; CAMPOS, J. C.; DA COSTA, L. M.; SAADI, A. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. *Geoderma*, v. 107, p. 243–269, 2002.
- SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. **Soil Genesis and Geomorphology**. Cambridge: University Press, 2005. 833 p.
- STOOPS, G. **Guidelines for the analysis and description of soil and regolith thin sections**. Madison: SSSA, 2003. 184 p. + CD.
- STOOPS, G. The influence of the fauna on soil formation in the tropics. Micropedological aspects. *Bulletin des Séances de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer*, v. 36, p. 461–469, 1991.
- TARDY, Y. **Pétrologie des latérites et des sols tropicaux**. Paris: Masson, 1993. 535p.
- TRAPNELL, C. G.; WEBSTER, R. Microaggregates in red earths and related soils in East and Central Africa, their classification and occurrence. *Journal of Soil Science*, v. 37, 109–123, 1986.
- TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. *Notícia Geomorfológica*, v. 8, p. 5-18, 1968.
- VALADÃO, R. C., SILVEIRA, J. S., SIMÕES, P. M. L., SANTOS, P. R. O., OLIVEIRA, C. V., CARVALHO, V. L. M., AUGUSTIN, C. H. R. R. Geomorfogênese da borda de uma faixa móvel neoproterozóica: o atual Planalto do Espinhaço Meridional. **Anais do IX Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Rio de Janeiro. 2012.
- VERHEYE, W.; STOOPS, G. Nature and evolution of soils developed on the granite complex in the subhumid tropics (Ivory Coast). *Pedologie*, v. 25, p. 40–55, 1975.