

# MORFOPEDOGÊNESE DE ZONA ESCARPADA NA ALTA BACIA RIO DAS VELHAS, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG: ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS

Fernanda de Oliveira COSTA<sup>1</sup>, Luis de Almeida Prado BACELLAR<sup>2</sup>, Selma Simões de CASTRO<sup>3</sup>, Fabricio Ribeiro Maia de RESENDE<sup>4</sup>, Simone Ferreira SILVA<sup>5</sup>

(1) Doutoranda do Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). CEP 35.400-000 Ouro Preto (M.G), Brasil. Endereço eletrônico: ferolivercosta@gmail.com.

(2) Professor associado do Departamento de Geologia, UFOP. Endereço eletrônico: bacellar@degeo.ufop.br.

(3) Professora titular do Instituto de Estudos Sócio-ambientais, Universidade Federal de Goiás, Campus II Samambaia, Caixa postal 131, CEP 74001-970 Goiânia (GO), Brasil. Endereço eletrônico: selma@iesa.ufg.br.

(4) Mestrando do programa de Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia, UFOP, Email: fabricio\_rmr@yahoo.com.br.

(5) Geólogo do Departamento de Geologia, Escola de Minas, UFOP. Endereço eletrônico: sisifs\_sl@yahoo.com.br.

Introdução  
Área de estudo  
Materiais e Métodos  
Resultados e Discussão  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – Na região escarpada da alta bacia do Rio das Velhas a unidade geológica dominante é o Supergrupo Rio das Velhas (SGRV), sobre o qual se desenvolve uma cobertura pedológica, onde predominam Cambissolos Háplicos. Considerando-se a importância do estudo da evolução da cobertura pedológica em *continuum* de vertentes em condições geológico-geomorfológicas de zonas escarpadas, o objetivo foi avaliar a dinâmica pedogeomorfológica de uma topossequência de solos nesta região, localizada na alta bacia do córrego São Bartolomeu, tributária da sub-bacia do alto Rio das Velhas. Para isso, foram escolhidas e coletadas amostras de solo de cinco perfis de Cambissolos Háplicos para análises físicas e químicas de rotina e análises mineralógicas. Os resultados indicaram que os solos são derivados de transformação vertical do xisto pertencente ao SGRV, sendo os horizontes basais, litodependentes, separados do superior, coluvionar, por uma linha de pedras. Estas linhas são constituídas por fragmentos de quartzo, xisto, couraça ferruginosa e, secundariamente, por itabiritos, e foram datadas como de idade holocênica por luminescência opticamente estimulada (LOE). Constatou-se que os Cambissolos podem ser agrupados em dois grandes compartimentos pedológicos, com graus de desenvolvimento pedogenéticos distintos, o que sugere que a evolução pedomorfológica da escarpa teria sido marcada por duas grandes fases erosivas.

**Palavras chave:** Topossequência, Cambissolos, Luminescência opticamente estimulada, Supergrupo Rio das Velhas.

**ABSTRACT**- Given the importance of studying the evolution of the soil cover, *in continuum*, of slopes of escarpment zones, this study aimed to evaluate the pedogeomorphological dynamics of a soil topossequence. The topossequence is located in the Upper Rio das Velhas Basin, Rio das Velhas Supergroup (SGRV), in the southeastern part of Ferriferous Quadrangle (MG). Some soil samples were collected in five selected Cambisols profiles along the topossequence, localized at the upper São Bartolomeu River, sub-watershed at the upper Rio das Velhas River. These samples were subjected to mineralogical analysis and physical and chemical analysis. The results showed that the soils are derived from vertical transformation of the SGRV schists, with the lower horizons showing lithodependence. These horizons are separated from the upper colluvium by a stone line, composed of quartz, schist and ferruginous crust fragments and, to a lesser extent, by itabirites. The stone line was of holocen age, accordingly some OEL datings. It was found out that the soil profiles can be grouped into two large compartments, with different degrees of pedogenetical development. These features suggest that the pedogenetical evolution of the escarpment have been marked by two major morphogenetical erosive phases.

**Keywords:** Topossequence, Cambisols, Optically stimulated luminescence, Rio das Velhas Supergroup.

## INTRODUÇÃO

A dinâmica das paisagens tropicais úmidas e sub-úmidas origina sistemas ambientais complexos, onde os fluxos de matéria e energia são intensos, resultantes de intemperismo geoquímico avançado do material de origem das coberturas pedológicas, nos quais os processos de monossilatização e ferralitização prevalecem (Budel, 1982; Summerfield, 1991; Thomas, 1994). As coberturas pedológicas também não são homogêneas, pois algumas

variáveis, como o relevo, podem interferir mais que outras na escala local, promovendo a formação de diferentes sistemas pedológicos.

A compreensão do modo como estes sistemas se desenvolveram no tempo e no espaço requer a utilização de estudos de detalhe da cobertura pedológica em *continuum*, isto é, ao longo de transectos longitudinais dos interflúvios. Esta técnica permite identificar a geometria de horizontes pedológicos, ou seja, a

forma de superposição e justaposição, em relação à topografia atual e entre si, além de sua constituição, pode contribuir para seu desenvolvimento (Boulet *et al.*, 1982 a,b; Queiroz Neto, 2000, 2001).

A região do Quadrilátero Ferrífero exibe arcabouço litológico variado, representado por rochas arqueanas e proterozóicas (Alkimin & Marshak, 1998), com diferentes graus de resistência ao intemperismo físico e químico, que condicionam os processos de formação do solo e evolução geomorfológica da paisagem. O modo como a evolução da paisagem se deu sempre foi um assunto controverso, embora, atualmente, seja mais aceito que a morfogênese da área é controlada pela estrutura geológica e pelos processos de erosão diferencial (Salgado, 2004, Salgado *et al.*, 2007; Salgado *et al.*, 2008; Varajão *et al.*, 2009).

Contudo, não se pode descartar a influência dos pulsos tectônicos cenozoicos, que tiveram reconhecidamente, um importante papel na configuração das geoformas atuais da região (Saadi, 1991; Valadão, 1998), contribuindo, inclusive, para que a pedogênese não alcançasse sua plenitude, por conduzir os materiais de alteração autóctone a perfis de solo predominantemente imaturos, sugerindo que o relevo da região é fruto de constante e intenso processo erosivo, mais do que pedogenético (Varajão *et al.*, 2009).

Em decorrência destes pulsos, que ocorreram no final do Oligoceno e início do Mioceno (Lipski, 2002), evidências de coluvionamento foram registrados nas vertentes do Quadrilátero Ferrífero em depósitos argilosos cenozóicos ocorrentes nos sinclinais Moeda e Dom Bosco. Corroborando esta ideia,

Figueiredo *et al.*, (2004) acrescentam que a neotectônica cenozóica (Pleistoceno Superior/Holoceno Médio) também teria provocado fluxos gravitacionais de sedimentos, com deposição preferencial nos compartimentos de meia vertente na região.

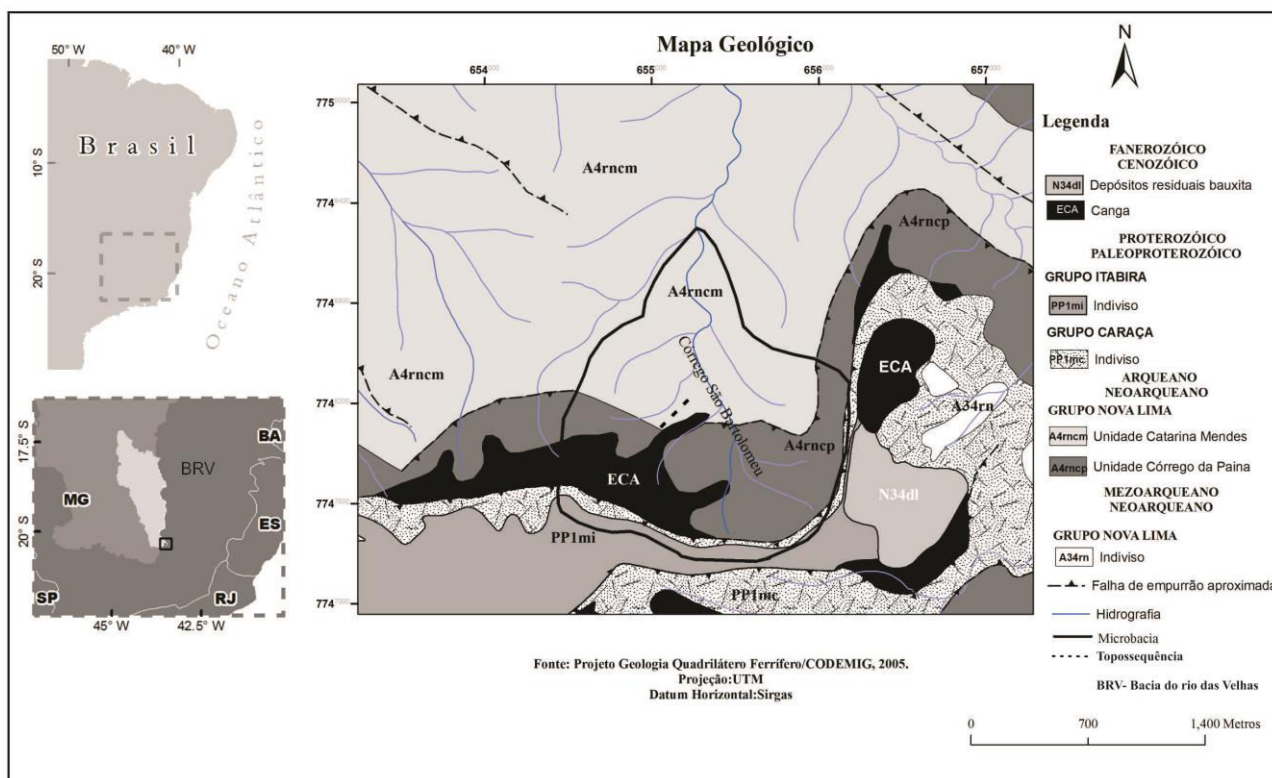
Numerosos estudos vêm sendo realizados na região do Quadrilátero Ferrífero com o objetivo de investigar essas reativações tectônicas cenozóicas (Saadi, 1991; Saadi, 2003; Saadi, 2005; Magalhães Júnior & Saadi, 1994; Sant'Anna *et al.*, 1997; Salgado *et al.*, 2007; Varajão *et al.*, 2009; Lana & Castro, 2010). Tais estudos sugerem que soerguimentos cenozóicos resultaram em mudanças significativas na paisagem e nos cursos fluviais, que incidiram verticalmente os vales das cabeceiras do alto Rio das Velhas (Magalhães Júnior & Saadi, 1994; Magalhães Júnior *et al.*, 2011). A incisão fluvial teria desencadeado o aumento do gradiente topográfico, sobretudo na porção basal das vertentes, proporcionando sucessivos reajustes hidráulicos nas encostas (Figueiredo *et al.*, 2004) e, conseqüentemente, da dinâmica pedogenética (Queiroz Neto, 2000, 2001).

A complexidade da gênese das formas da região do Quadrilátero Ferrífero contrasta com a falta de estudos de detalhe que avaliem a relação entre a evolução das vertentes e a cobertura pedológica, principalmente no alto rio das Velhas. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a dinâmica pedogeomorfológica de uma vertente situada na alta bacia do Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero (MG), de modo a contribuir para o entendimento da evolução do modelado da região.

## ÁREA DE ESTUDO

A área estudada está localizada na alta bacia do córrego São Bartolomeu, tributária da sub-bacia do alto Rio das Velhas, situada no sudeste do Quadrilátero Ferrífero, em Ouro Preto- MG (Figura 1). A alta bacia, com 191 ha de área, desenvolve-se sobre rochas metamórficas proterozóicas e arqueanas (Alkmim & Marshak, 1998). Nas cabeceiras desta bacia, com área de cerca de 20 ha, afloram quartzitos e filitos do

Grupo Caraça e itabiritos do Grupo Itabira (Supergrupo Minas, com 2,4 Ga de idade), constituindo o domínio geomorfológico de serras (IEF, 2005). Este é separado por uma marcante quebra negativa de relevo do domínio de cristas alinhadas (IEF, 2005), onde ocorrem xistos do Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas, com 2,6- 2,7 Ga de idade), com área de 171 ha.



**Figura 1.** Mapa de localização e mapa geológico da bacia do Córrego São Bartolomeu.

O Grupo Nova Lima é representado na área por duas unidades litologicamente similares, a Córrego da Paina e a Catarina Mendes (Baltazar *et al.*, 2005), estando a toposequência localizada quase em sua totalidade nesta última (Figura 1). No divisor da bacia do São Bartolomeu ocorre, ainda, uma ferricrete (couraça ferruginosa) relacionada à cobertura terciária-quadernária detrítico-laterítica da superfície cimeira regional, mapeada como canga, que cobre preferencialmente os itabiritos do Grupo Itabira (Baltazar *et al.*, 2005).

O clima da região é caracterizado por dois tipos que, de acordo com a classificação de Köppen, correspondem ao tropical de altitude com verões quentes (Cwa) e com verões brandos (Cwb) nos dois segmentos

geomorfológicos citados. A pluviosidade média é de 1.670 mm/ano, com período mais chuvoso entre os meses de outubro e abril (CEMIG, 2002). A temperatura média anual oscila em torno de 18 °C, sendo que a temperatura média mensal nos meses mais quentes varia entre 20 °C e 22 °C e nos mais frios entre 13 °C e 15 °C (Antunes, 1986).

De modo geral, os solos no Quadrilátero Ferrífero variam de acordo com o substrato, altitude e topografia (Salgado *et al.*, 2004; Varajão *et al.*, 2009). No domínio de serras, sobre unidades do Supergrupo Minas, predominam Neossolos Litólicos ou afloramentos de rocha, ao passo que os Cambissolos são típicos do domínio geomorfológico de cristas alinhadas, sobre rochas do Grupo Nova Lima (IEF, 2005).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, procedeu-se à interpretação das fotos aéreas de 1966 (Escala 1:60.000 - CPRM) e ortofotos de 1986 (escala 1:10.000 - CEMIG) para, juntamente com os trabalhos de campo de reconhecimento dos solos e relevos, definir a área de trabalho. Posteriormente, esta recaiu na alta bacia do córrego São Bartolomeu, afluente do rio das Velhas, na qual foram escolhidas três

vertentes para um levantamento exploratório das formas e materiais. Com base nos resultados destes estudos preliminares foi definida a toposequência para realização do levantamento bidimensional da distribuição de solos, tendo como referência o procedimento da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (Boulet, 1975; Boulet *et al.*, 1982 a,b).

Na topossequência foram executadas cinco tradagens para o reconhecimento dos solos e de possíveis transições laterais entre os respectivos horizontes. Posteriormente, foram abertas cinco trincheiras (denominadas P1, P2, P3, P4 e P5) para descrição e coleta de amostras dos perfis de solo, em pontos selecionados como representativos dos segmentos da topossequência e suas transições. O estudo da topossequência abrangeu somente os segmentos médio e inferior da vertente (Figura 2), pois o segmento superior corresponde à afloramentos rochosos ou, excepcionalmente, a solos pouco desenvolvidos (Neossolos Litólicos) sobre o domínio geomorfológico de serras.

A descrição morfológica dos solos seguiu as recomendações de Santos *et al.*, (2005) e a classificação dos solos foi feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006). Na base dos perfis foram realizadas tradagens profundas (T1 a T5) até atingir o topo rochoso. Foram coletadas 26 amostras deformadas nos perfis de solo para determinações físicas, químicas e mineralógicas de todos os horizontes pedológicos.

A classificação textural das amostras foi feita conforme recomendações de Ruiz (2005), enquanto que a determinação das características físico-químicas e químicas foi baseada nos procedimentos sugeridos pela Embrapa (1997): pH em H<sub>2</sub>O e KCl; Na<sup>+</sup> e P<sup>+</sup>, após extração com HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> (Mehlich-1); Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, por espectroscopia de absorção atômica; Al<sup>3+</sup> por titulometria, após extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; e acidez

potencial (H+Al), por titulometria, após extração com Ca (CH<sub>3</sub>COO<sub>2</sub>) 0,5 L<sup>-1</sup> a pH 7,0. O carbono orgânico (CO) foi determinado conforme procedimentos recomendados por Yeomans & Bremner (1988). A análise química total, na forma de óxidos, foi realizada a partir de ataque sulfúrico por método também recomendado pela Embrapa (1997), com obtenção dos elementos (Si, Al, Fe e Ti) por espectrofotometria de emissão óptica de plasma indutivamente acoplado (ICP/OES, marca Spectro / Modelo: Ciros CCD).

As análises mineralógicas foram feitas na fração argila (< 2 µm) e os difratogramas foram obtidos com difratômetro de marca X'Pert Panalytical, com radiação de CuKα, no intervalo de 2 a 35° (2θ) e a identificação mineralógica obedeceu às tabelas de conversão do fabricante.

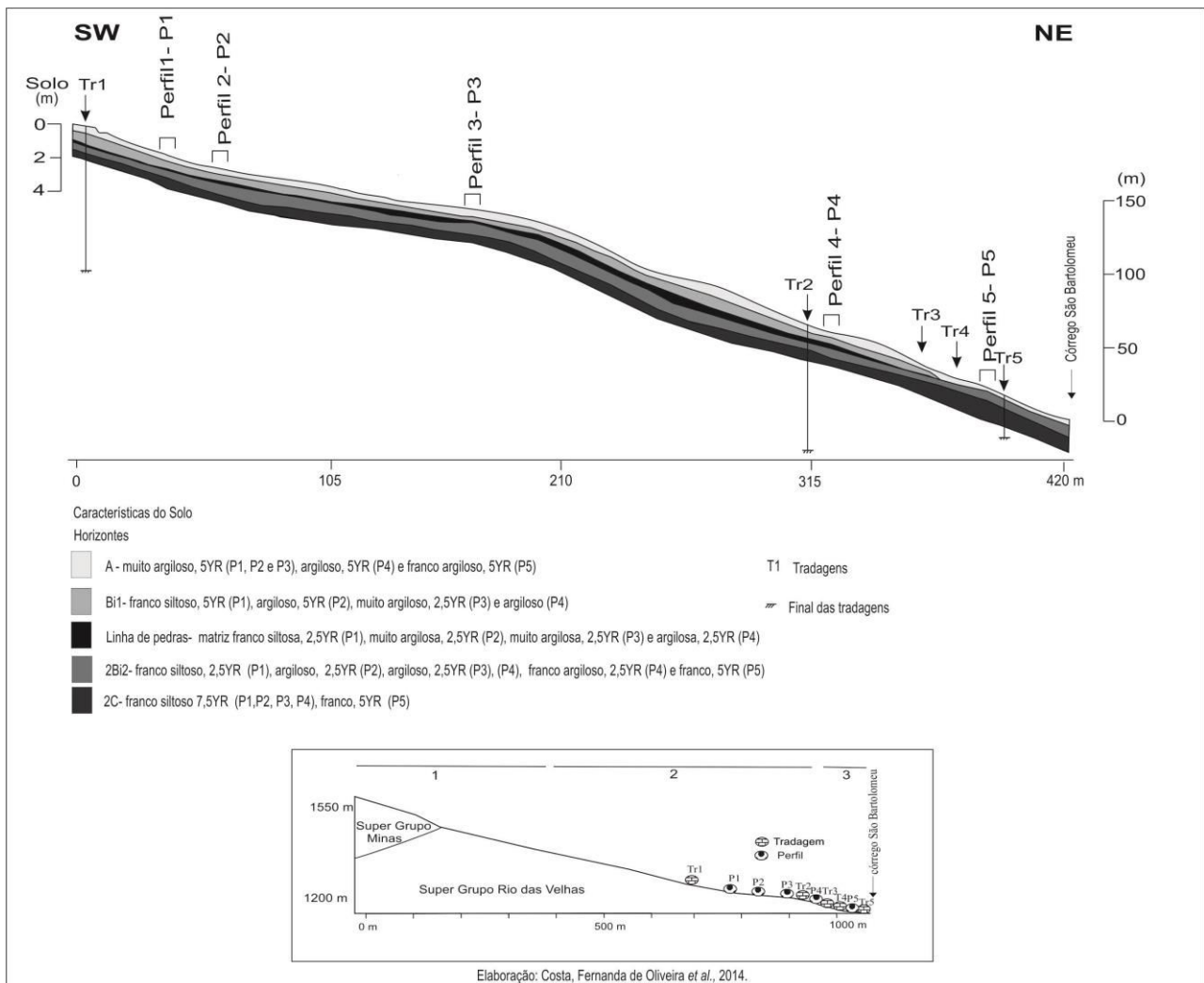
O topo da camada da linha de pedras foi amostrado em todos os perfis para determinação de idade pelo método de luminescência opticamente estimulada (LOE), totalizando 4 amostras. As amostras passaram por pré-tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (20%), HF (20%) e HCl (10%). Após este processo as amostras foram peneiradas, obtendo-se os grãos de quartzo e feldspato (entre 100-160 µm) que foram processados sob luz vermelha de baixa intensidade.

As amostras foram preparadas e analisadas no laboratório da empresa Datação Comércio e Prestação de Serviços LTDA (São Paulo), utilizando o protocolo SAR (Wallinga *et al.*, 2000), com 10 alíquotas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A topossequência São Bartolomeu estende-se de NE para SW por 1082 m, apresentando desnível de 331 m e declividade média de 32 %. Os segmentos estudados em detalhe correspondem ao médio e inferior da vertente, com aproximadamente 420 m de comprimento, 36 % de declividade média e desnível de 136 m, sendo composta por Cambissolos desenvolvidos sobre os xistos do Grupo Nova

Lima (Figura 2). O perfil da topossequência não é retilíneo, pois se observa pequena concavidade entre os perfis P1 e P3, convexidade entre P3 e P4 e nova concavidade do P4 até o córrego. Tal configuração sugere maior ação erosiva no primeiro, provável regularização no segundo e novo processo erosivo (atual) na base.



**Figura 2.** Toposequência do sistema pedológico formado por Cambissolos Háplicos e desenvolvidos sobre xistos do Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas). Os números 1, 2 e 3 indicam os compartimentos superior, médio e inferior da vertente. A figura superior representa uma ampliação dos compartimentos médio e inferior, onde os estudos se desenvolveram. A escala de solo foi ampliada em relação à escala vertical para facilitar a visualização das relações entre os horizontes pedológicos.

Os Cambissolos são profundos, o *solum* ultrapassa 100 cm e o perfil total pode alcançar até 8 m de profundidade no limite com a rocha sã, para a qual transicionam progressivamente (transição tendendo a difusa).

Morfologicamente apresentam dois horizontes B incipientes (Bi) superpostos e separados por uma linha de pedras (*stone line*) contínua por quase toda a topossequência, cujas espessuras variam entre 0,70 e 0,90 m, desaparecendo a jusante entre os perfis P4 e P5, sendo constituída por fragmentos centimétricos e milimétricos de micaxisto, quartzo e ferricrete (couraça ferruginosa) subarredondados. A jusante de P4, são encontrados fragmentos destes materiais na superfície, evidenciando-se que a linha de pedras (e os horizontes

pedológicos superiores) foram erodidos no segmento inferior da vertente. No P2 foi identificado um fragmento de itabirito ( $\varnothing$  20 cm) a aproximadamente 70 cm de profundidade, sugerindo provável origem alóctone dos horizontes superiores à linha de pedras, pois essa rocha provém do Grupo Itabira, aflorante nos divisores da bacia do córrego São Bartolomeu.

A linha de pedras acompanha a topografia da vertente e sua composição sugere uma descontinuidade pedogenética, onde o horizonte superior, classificado como Bi (Bi1), e o horizonte inferior, 2Bi2, mostram similaridades nas características morfológicas, sobretudo na cor, estrutura e consistência. Os solos da topossequência, compostos pelos perfis P1, P2,

P3, P4 e P5 (Tabela 1), apresentam, predominantemente, matizes 5 YR (vermelho amarelo) nos horizontes superiores dos perfis (A1, A2, Bi1), 2,5 YR (vermelho) na matriz da linha de pedras e nos horizontes inferiores (2Bi2), e 7,5 YR (bruno amarelado) no horizonte 2C, esta última atribuída à goethita, também detectada nas análises mineralógicas (Tabela 3).

A estrutura dos horizontes Bi1 e 2Bi2 é similar, com blocos angulares a subangulares médios e moderadamente desenvolvidos, o que inicialmente, poderia sugerir que os processos pedogenéticos não puderam alcançar ainda sua plenitude em ambos horizontes. Já o horizonte 2C apresenta apenas blocos subangulares médios e moderadamente desenvolvidos, às vezes contendo relíquias do material de origem (xisto), como esperado. Os Cambissolos apresentam consistência predominantemente friável, quando secos, plástica e ligeiramente pegajosa, quando úmidos.

Confirmando a consistência molhada das observações de campo, as análises granulométricas mostraram horizontes A e Bi1 com textura variando entre a muito argilosa a franco siltosa. Os horizontes 2Bi2 apresentam um predomínio de texturas argilosas, sendo o horizonte 2C predominantemente franco siltoso. Em um primeiro momento, não foi possível observar qualquer padrão vertical ou tendência que permitisse distinguir horizontes acima ou abaixo da linha de pedras. Os teores de areia (grossa+ fina) e argila, no entanto, ao serem agrupados por similaridade, permitem reconhecer igualmente dois compartimentos pedológicos, o superior (P1 a P3) com proporções menores do que 0,11 kg kg<sup>-1</sup> e maiores que 0,57 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que no inferior (P4 e P5) estas mesmas proporções são maiores do que 0,16 kg kg<sup>-1</sup> e menores que 0,50 kg kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 1.** Características macromorfológicas dos solos da topossequência.

Horiz	Prof (cm)	Cor Munsell	Text <sup>(1)</sup>	Estrutura <sup>(2)</sup>			Consistência <sup>(4)</sup>			Transição
				Forma	Tam <sup>(3)</sup>	Grau	Seca	Úmida	Mol <sup>(5)</sup>	
<b>P1- Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>										
A	0-35	5 YR 3/2	Margi	Grumosa	PM	Forte	Dura	Friável	NPLP	Abrupta
Bi1	35-81	5 YR 3/4	Frsilto	BAS	PM	Forte	Friável	Friável	PLP	Gradual
Linha	81-90	2,5 YR 3/6	Frsilto	-	-	-	-	-	-	-
2Bi2	90-135	2,5 YR 3/6	Frsilto	BASA	M	MD	Macia	Friável	PLP	Gradual
2C	135-200 <sup>+</sup>	7,5 YR 4/4	Frsilto	BSB	M	MD	Macia	Friável	PLP	-
<b>P2- Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>										
A1	0-15	2,5YR 3/3	Margi	Grumosa	PM	Forte	Dura	Friável	NPLP	Abrupta
A2	15-35	5YR 3/2	Margi	Grumosa	PM	Forte	Dura	Friável	PLP	Abrupta
Bi1	35-74	5YR 3/4	Argi	BASA	M	MD	Friável	Friável	PLP	Gradual
Linha	74-90	2,5YR 3/4	Margi	-	-	-	-	-	-	-
2Bi2	90-157	2,5YR3/4	Argi	BASA	M	MD	Friável	Friável	PLP	Gradual
2C	157-200 <sup>+</sup>	7,5 YR 4/4	Frsilto	BSB	M	MD			PLP	-
<b>P3- Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>										
A1	0-30	5YR 2.5/2	Margi	Grumosa	PM	Forte	Dura	Friável	LPLP	Clara
A2	30-45	5YR 2.5/1	Margi	Grumosa	PM	Forte	Dura	Friável	LPLP	Clara

Bi1	45-70	2,5YR 3/3	Margi	BASA	M	MD	Friável	Friável	MPLP	Clara
Linha	70-80	2,5YR 3/4	Margi	-	-	-	-	-	-	-
2Bi2	80-155	2,5YR 3/4	Argi	BASA	M	MD	Friável	Friável	MPLP	Clara
2C	155-200 <sup>+</sup>	7,5YR 4/4	Frsilto	BSB	M	MD	Friável	Friável	PLP	-
<b>P4-Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>										
A1	0-10	5YR 2.5/2	Argi	Grumosa	PM	Forte	Dura	Friável	PLP	Abrupta
A2	10-30	5YR 3/4	Argi	Grumosa	PM	Forte	Dura	Friável	PLP	Gradual
Bi1	30-70	2,5YR 4/6	Argi	BASA	M	MD	Friável	Friável		Gradual
Linha	70-90	2,5YR 3/6	Argi	-	-	-	-	-	-	-
2Bi2	90-122	2,5YR 3/6	Frargi	BASA	M	MD	Friável	Friável	PLP	Gradual
2C	122-200 <sup>+</sup>	7,5 YR 3/6	Frsilto	BSB	M	MD	Friável	Friável	PLP	-
<b>P5- Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>										
A	0-20	5 YR 3/6	Frargi	Grumosa	PM	Forte	Dura	Friável	LPP	Clara
2Bi2	20-70	5 YR 3/6	Arg	BASA	M	MD	Friável	Friável	NPP	Clara
2C	70-200 <sup>+</sup>	5 YR 3/6	Fr	BSB	M	MD	Friável	Friável	LPP	-

(1) Classe Textural: (Margi-muito argiloso; Frargi- franco argiloso; Frsilto- franco silteoso; Fr- franco; Arg- argiloso; (2) Estrutura: BASB- blocos angulares e subangulares, BSB= blocos subangulares; (3) Tamanho: PM – pequena a média; M- média; Grau: MD- moderada; (4) Consistência: PLP- plástica e ligeiramente pegajosa; NPLP- não plástica e ligeiramente pegajosa; LPLP- ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; LPP- ligeiramente plástica e pegajosa; MPLP- muito plástica e ligeiramente pegajosa; PP- plástica e pegajosa; (5) Mol-molhada.

Tal tendência se repete nas relações silte/argila (Tabela 2), reduzidas nos horizontes acima da linha de pedras (A1, A2 e Bi1) no compartimento pedológico superior, sugerindo um grau de intemperismo mais avançado (Embrapa 2006), em comparação ao compartimento inferior, que apresenta valores mais elevados. Os horizontes inferiores (2Bi2 e 2C), apresentam relações mais elevadas, sugerindo uma filiação genética destes com o xisto, não permitindo uma diferenciação, já que o material de origem dos horizontes basais é o mesmo.

Os resultados das determinações químicas (Tabela 2) mostram que todos os solos da topossequência são predominantemente ácidos

e distróficos. Os teores de  $Al^{3+}$  trocável, presente em todos os horizontes, foram baixos, sugerindo a presença da gibbsita, comum na faixa de pH (entre 4,52 (P1) e 5,27 (P5)) registrado, quando o alumínio é praticamente insolúvel, se tornando indisponível no complexo de troca (Figura 3).

Os resultados de  $\Delta$  pH (Tabela 2) indicam o predomínio de cargas negativas nos perfis P1, P2, P4 e P5, e de cargas positivas no P3, sugerindo que este último passou por um processo de lixiviação das bases ligeiramente maior que os demais. Isto pode ser atribuído à posição topográfica de P3 imediatamente acima de uma ruptura de declive, a partir da qual os



fluxos subsuperficiais laterais tendem a se intensificar, devido ao aumento do declive.

A CTC, de modo geral, é baixa ou não foi detectada, estando em consonância com os dados reportados por Ker & Schaefer (1995) e IEF (2005), indicando baixa fertilidade dos solos e de cátions nos complexos de troca. Isto se deve ao material de origem ser naturalmente pobre em bases, como confirmado por análises químicas em amostras de rocha sã em unidade correlata também do Grupo Nova Lima (Unidade Córrego da Paina), que evidenciaram baixos teores de cálcio, sódio, potássio, e altos de sílica, ferro, alumínio e magnésio (Varajão *et al.*, 2009).

Geoquimicamente, no entanto, os perfis se diferenciam ao longo da topossequência (Tabela 3). As concentrações de silício no P1, P2, P3 e P4 aumentam em profundidade, o que pode ser considerado esperado em direção ao xisto, rico em sílica. De modo inverso, no P5 houve forte queda nos teores do horizonte A em direção ao horizonte 2C, o que permite supor que o mecanismo de dessilicificação está em pleno avanço na base da topossequência (Tabela 3).

Já as concentrações do óxido de alumínio (Tabela 3) no P1, P2 e P3 aumentam em profundidade entre os horizontes A a 2Bi2, exceto no horizonte 2C mais rico em sílica, onde decaem para valores entre 21,17 dag kg<sup>-1</sup> (P1) e 16,02 dag kg<sup>-1</sup> (P3). De modo contrário, o P4 mostra uma ligeira queda nos valores deste óxido em direção ao horizonte 2C (13,20 dag kg<sup>-1</sup> e 15,76 dag kg<sup>-1</sup>), além de evidenciar uma ligeira queda dos teores, quando comparados aos perfis do compartimento pedológico superior, mostrando uma mudança com relação a composição química total deste óxido na topossequência. As concentrações mais baixas podem ser verificadas no P5.

De modo semelhante ao óxido de alumínio, as concentrações do óxido de ferro, no P1, P2 e P3, também aumentam em profundidade, apresentando uma queda no horizonte 2C. O P4 evidencia uma queda dos teores de ferro do topo para o horizonte 2Bi2, contudo, quando estes são comparados aos dos demais perfis do compartimento superior, mostram mais uma vez, uma mudança com relação a composição química total, estando os teores de P5 mais próximos ao de P4.

Em síntese, esses resultados permitem corroborar a idéia de dois compartimentos pedológicos distintos de Cambissolos na topossequência, separados por uma transição, representada por P4. O primeiro é composto dos perfis P1, P2 e P3, cuja semelhança permite deduzir uma evolução pedológica concomitante. Já o segundo compartimento, composto por P5, mais jovem, apresenta apenas os horizontes A, 2Bi2 e 2C desenvolvidos *in situ*, o que demonstra que os horizontes superiores foram removidos por processos erosivos relacionados ao processo de retração da escarpa.

Os valores mais elevados de Ki e Kr foram encontrados nos horizontes 2C do P2 (1,42 e 0,83) e A do P3 (1,66 e 0,96) e os mais baixos no P5 (0,23 e 0,15). Os valores de Ki e Kr em P1, P2 e P3 são próximos, seguidos de uma queda em P4 a partir do horizonte Bi1 (1,10 e 0,71) e em P5 a partir do horizonte A (0,76 e 0,47), revelando comportamento diferenciado ao longo da topossequência, com perfis de jusante indicando menor desenvolvimento pedogenético do que os solos de montante. Nesse sentido, a análise conjunta dos índices Ki e Kr da fração argila (Tabela 3/Figura 3) indica que parte do alumínio encontra-se livre na forma de óxido, justificando os levados teores deste nos solos (Tabela 3) e confirma a subdivisão da topossequência em compartimentos, na medida em que indica sucessão de solos que variam de cauliniticos a caulinitico-oxídicos, como mostram também os DRX (Figura 3).

A fração argila destes solos (Figura 3) é composta por caulinita, gibbsita, goethita e, secundariamente, muscovita (P5). A caulinita e a gibbsita foram detectadas em todos os perfis, caracterizando processo de monossilicificação, corroborando dados apresentados por Ker & Schaefer (1995), sobre os processos pedogenéticos que levaram à formação dos Cambissolos da região, também derivados de xistos do Supergrupo Rio das Velhas. Notou-se ainda que os picos dos oxihidróxidos de Fe e Al são coincidentes da base ao topo em todos os perfis, ficando cada vez mais evidentes em profundidade, com destaque para o horizonte 2C, mostrando que o material de origem é o mesmo para todos os horizontes da topossequência.



**Tabela 2. Características físicas e químicas dos solos da topossequência**

Horiz	Areia		Silte	Argila	Silte/ argila	pH		$\Delta$ pH	H+Al <sup>3+</sup>	S	T	t	V	CO	P
	Grossa	Fina				H <sub>2</sub> O	KCl								
kg kg <sup>-1</sup>															
<b>P1- Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>															
Ap	0,04	0,05	0,29	0,62	0,46	3,90	3,78	-0,12	17,1	0,23	17,33	3,20	1,30	5,62	6,94
Bi1	0,03	0,04	0,36	0,57	0,63	4,69	4,35	-0,34	6,60	0,05	6,65	0,67	0,80	2,25	1,60
Linha <sup>(1)</sup>	0,02	0,06	0,23	0,69	0,33	4,93	4,60	-0,33	4,60	0,04	4,64	0,55	0,90	1,42	1,10
2Bi2	0,02	0,14	0,63	0,21	3,00	5,09	4,92	-0,17	2,40	nd*	2,40	0,10	nd*	0,45	0,90
2C	0,04	0,18	0,59	0,19	3,10	5,10	4,73	-0,37	1,70	nd*	1,70	0,31	nd*	0,30	1,30
<b>P2- Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>															
A1	0,03	0,05	0,30	0,62	0,48	3,62	3,66	0,04	18,6	0,19	18,79	2,96	1,00	5,99	2,00
A2	0,04	0,07	0,28	0,61	0,45	4,94	3,94	-1,00	13,5	0,29	13,79	2,44	2,10	4,64	4,80
Bi1	0,03	0,06	0,32	0,59	0,54	4,64	4,36	-0,28	5,90	0,04	5,94	0,76	0,70	2,17	2,00
Linha <sup>(1)</sup>	0,03	0,07	0,23	0,67	0,34	4,71	4,54	-0,17	4,90	0,06	4,96	0,47	1,20	1,57	1,10
2Bi2	0,04	0,15	0,28	0,53	0,52	4,84	4,62	-0,22	2,00	0,02	2,02	0,33	1,00	0,38	1,10
2C	0,04	0,15	0,55	0,26	2,11	4,90	5,23	0,33	1,20	0,02	1,22	0,02	1,60	0,15	1,40
<b>P3- Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>															
A1	0,03	0,05	0,21	0,71	0,29	3,58	3,84	0,26	14,9	0,22	15,12	2,68	1,50	6,37	1,10
A2	0,04	0,07	0,21	0,68	0,30	3,99	4,28	0,29	8,50	0,09	8,59	1,22	1,00	3,67	1,40
Bi1	0,03	0,06	0,29	0,62	0,46	4,26	4,48	0,22	4,20	0,02	4,22	0,43	0,50	1,87	0,90
Linha <sup>(1)</sup>	0,03	0,06	0,25	0,66	0,37	4,46	4,49	0,03	3,20	0,03	3,23	0,24	0,90	1,20	0,90
2Bi2	0,05	0,12	0,39	0,44	0,88	4,77	5,04	0,27	1,00	0,03	1,03	0,03	2,90	0,38	1,10
2C	0,11	0,19	0,51	0,19	2,68	5,05	5,32	0,27	0,80	0,03	0,83	0,03	3,60	0,38	1,70
<b>P4- Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>															
A1	0,07	0,16	0,27	0,50	0,54	5,40	4,37	-1,03	11,0	4,02	15,02	4,33	26,8	5,31	5,90
A2	0,06	0,17	0,29	0,48	0,60	5,14	4,20	-0,94	8,10	0,31	8,41	1,54	3,70	2,47	2,70
Bi1	0,04	0,17	0,33	0,46	0,71	5,17	4,43	-0,74	4,90	0,31	5,21	1,13	6,00	1,20	1,50
Linha <sup>(1)</sup>	0,04	0,23	0,25	0,48	0,52	5,02	4,50	-0,52	3,20	0,16	3,36	0,67	4,80	0,67	1,00
2Bi2	0,04	0,28	0,40	0,28	1,42	5,02	4,43	-0,59	2,50	0,15	2,65	0,97	5,70	0,30	0,90
2C	0,04	0,23	0,56	0,17	3,29	5,10	4,76	-0,34	1,70	0,89	2,59	1,30	34,4	0,22	1,10
<b>P5- Cambissolo Háplico Tb distrófico</b>															
A	0,09	0,22	0,34	0,35	0,97	4,52	4,23	-0,29	7,90	0,19	8,09	1,26	2,30	2,70	3,30
2Bi2	0,07	0,20	0,33	0,40	0,60	4,90	4,53	-0,37	4,50	0,14	4,64	0,53	3,00	0,82	1,20
2C	0,09	0,27	0,46	0,18	0,58	5,27	5,29	0,02	1,40	0,11	1,51	0,11	7,30	0,30	0,40

(1) Linha de pedras.

Os resultados permitiram interpretar que o *continuum* de solos é um sistema pedológico de transformação vertical do xisto (sem transferências laterais internas de matéria) para os horizontes abaixo da linha de pedras (2Bi2 e 2C). Mas, acima desta, estaria associado ao coluvionamento.

Os fragmentos encontrados na linha de pedras, especialmente os de couraça e de itabiritos evidenciam contribuição de materiais provenientes do segmento superior da vertente.

As datações por LOE de amostras da linha de pedras indicaram idades (em anos) de 3.110 ± 415 (P1), 6.000 ± 940 (P2), 3.660 ± 570 (P3) e 2.880 ± 465 (P4). Confirmou-se desta forma que

a linha de pedras foi exposta no Holoceno e que os horizontes pedológicos superiores se tratam de colúvios pedogenizados.

Resta esclarecer como estes fragmentos foram transportados, mas não há dúvida de que este transporte está associado a processos de regularização da vertente, que atualmente está em processo de dissecação.

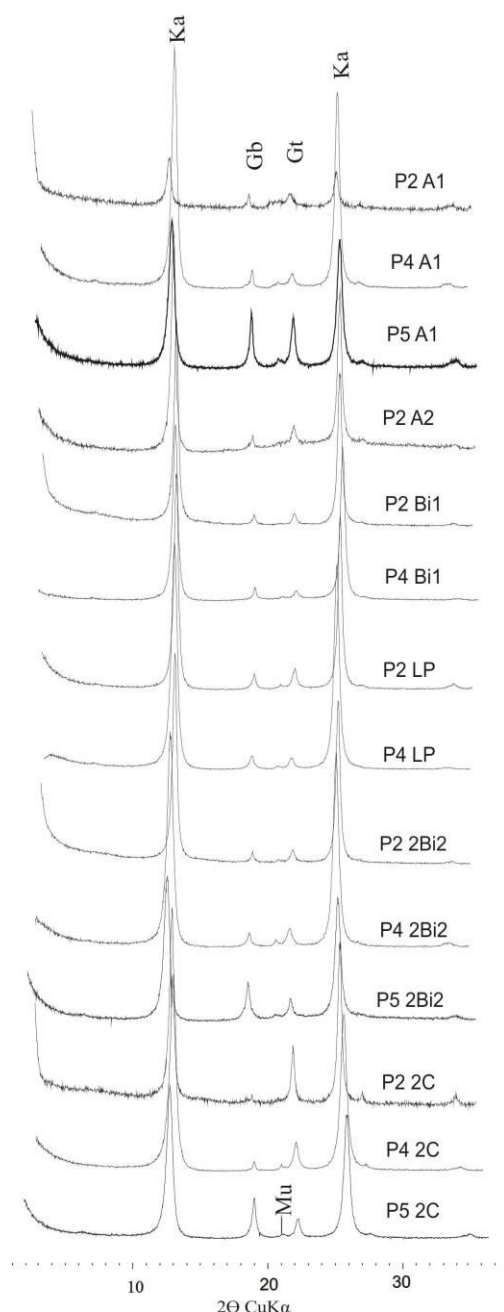
A evolução pedomorfofogenética da escarpa teria sido marcada, portanto, por duas grandes fases morfofogenéticas erosivas (regressivas), possivelmente associadas ao processo de dissecação erosiva e ao aprofundamento do nível de base local. O compartimento superior da topossequência pode ser representativo de

uma encosta mais antiga, correlacionada a um compartimento inferior, mais íngreme, a um nível de base pretérito mais alto, e o nível de base mais atual.

**Tabela 3.** Totais de elementos na forma de óxidos dos horizontes pedológicos dos solos da topossequência.

Horiz	Prof. cm	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub> Ki Kr					
		dag kg <sup>-1</sup>					
<b>P1- Cambissolo Háptico Tb distrófico</b>							
A	0-35	13,13	18,70	13,21	0,60	0,71	0,41
Bi1	35-81	20,45	21,49	14,97	0,68	0,95	0,36
Linha <sup>(1)</sup>	81-90	20,64	21,97	15,34	0,67	0,94	0,55
2Bi2	90-135	20,59	22,90	22,90	0,71	0,90	0,45
2C	135-200 <sup>+</sup>	28,79	21,17	13,02	0,63	1,36	0,84
<b>P2- Cambissolo Háptico Tb distrófico</b>							
A1	0-15	18,13	19,61	13,27	0,79	0,93	0,55
A2	15-35	16,57	19,66	13,25	0,80	0,94	0,55
Bi1	35-74	19,00	20,87	14,18	0,81	0,91	0,54
Linha <sup>(1)</sup>	74-90	21,01	20,77	14,14	0,82	1,01	0,60
2Bi2	90-157	24,09	19,02	12,43	0,75	1,27	0,77
2C	157-200 <sup>+</sup>	24,34	17,14	12,07	0,77	1,42	0,83
<b>P3- Cambissolo Háptico Tb distrófico</b>							
A1	0-30	21,68	13,05	9,58	0,24	1,66	0,96
A2	30-45	22,28	19,40	13,83	0,66	1,15	0,67
Bi1	45-70	22,69	19,53	14,13	0,68	1,16	0,67
Linha <sup>(1)</sup>	70-80	24,20	21,15	15,15	0,73	1,14	0,67
2Bi2	80-155	26,90	22,56	15,29	0,69	1,19	0,71
2C	155-200 <sup>+</sup>	22,86	16,02	10,79	0,68	1,43	0,85
<b>P4- Cambissolo Háptico Tb distrófico</b>							
A1	0-10	16,78	13,20	7,00	0,39	1,27	0,83
A2	10-30	17,67	15,54	8,28	0,45	1,14	0,74
Bi1	30-70	17,80	16,18	8,86	0,47	1,10	0,71
Linha <sup>(1)</sup>	70-90	17,22	15,50	7,81	0,41	1,11	0,74
2Bi2	90-122	19,83	14,09	5,53	0,31	1,41	1,01
2C	122-200 <sup>+</sup>	21,15	15,76	8,66	0,54	1,34	0,87
<b>P5- Cambissolo Háptico Tb distrófico</b>							
A	0-20	8,27	10,84	6,77	0,35	0,76	0,47
2Bi2	20-70	9,28	14,98	9,41	0,50	0,61	0,38
2C	70-200 <sup>+</sup>	4,50	18,86	10,88	0,52	0,23	0,15

(1) Linha de pedras.



**Figura 3.** DRX da fração argila de P2 (compartimento superior), P4 (transição) e P5 (compartimento inferior). Onde: Ka – caulinita; Gb- gibbsita; Mu- muscovita; Gt – goethita. LP- Linha de pedra. Radiação  $K\alpha Cu$  ( $2\theta$ ).

### CONCLUSÕES

No alto Rio das Velhas, em domínio de rochas do Grupo Nova Lima, a cobertura pedológica é tradicionalmente descrita como dominada pela classe dos Cambissolos. O estudo pedogeomorfológico detalhado ao longo da topossequência evidenciou uma situação muito mais complexa, com dois horizontes câmbicos separados por uma linha de pedras (*stone line*), de idade holocênica. O horizonte câmbico inferior mostra-se ainda fortemente

filiado ao xisto subjacente (litodependente), diferentemente do horizonte câmbico superior, desenvolvido a partir de colúvio.

As características pedogeomofológicas observadas permitem separar a topossequência em dois grandes compartimentos pedológicos, o superior, mais antigo (P1, P2 e P3), e o inferior, mais novo (P5), separados por uma transição (P4). Tais compartimentos mostram graus de desenvolvimento distintos, embora tenham

evoluído segundo um mesmo processo pedogenético cambissólico correlativo da evolução geomorfológica da encosta escarpada. Reforça essa interpretação o fato do primeiro conjunto, em trecho menos íngreme da vertente, apresentar forte analogia pedomorfológica entre os perfis, indicando integrar um mesmo momento de evolução da encosta. O P4 representaria a transição para o compartimento inferior, formado por P5, que apresenta apenas

os horizontes A, 2Bi2 e 2C desenvolvidos *in situ*, já que os horizontes superiores foram removidos por erosão, associado aos processos de retração da escarpa e aprofundamento do nível de base local do córrego São Bartolomeu.

Os resultados comprovam a importância deste tipo de análise para o melhor entendimento da evolução pedogeomorfológica regional.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPEMIG (Projeto CRA PPM0271-10) pelo financiamento da pesquisa, e à FAPEMIG pela bolsa de doutorado da primeira autora.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informações Agropecuárias**, 12:9-13. 1986.
2. ALKMIM, F.F. & MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidences for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Reserch**. 90: 29-58. 1998.
3. BALTAZAR, O. F.; BAARS F.J.; LOBATO, L. M.; REIS, L.B.; ACHTSCHIN, A.B.; BERNI, G.V.; SILVEIRA, V. D. **Mapa Geológico Ouro Preto na escala 1:50.000 com nota explicativa. In: Projeto Geologia Quadrilátero Ferrífero – Integração e correção cartográfica em SIG com nota explicativa.** Belo Horizonte, CODEMIG. 68p., 2005.
4. BOULET, R. Toposéquence de sols tropicaux en Haute-Volta équilibres dynamiques et bioclimats. **Cah. Orstom, Sér. Pédol.**, XIII, 1:3-6. 1975.
5. BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. II- une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cah. Orstom, Sér. Pédol.**, XIX, 4:323-339, 1982a.
6. BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. III- passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. **Cah. Orstom, Sér. Pédol.**, XIX, 4:341-351, 1982b.
7. BUDEL, J. **Climatic Geomorphology**. Princeton, Princeton University Press. 443p. 1982.
8. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS- CEMIG. **Relatório de controle ambiental (RCA), Usina Hidrelétrica de Rio das Pedras, Itabirito MG.** Belo Horizonte, Consultoria Ambiental e Engenharia LTDA. 112p., 2002.
9. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 212p. 1997.
10. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 306p. 2006.
11. FIGUEIREDO, M.A.; VARAJÃO, A.F.D.C.; FABRIS, J.D.; LOUTFI, I.S.; CARVALHO, A.P. Alteração superficial e pedogeomorfológica no sul do Complexo Baía-Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. (28): 713-729. 2004.
12. INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS - IEF. Zoneamento ecológico da área de proteção ambiental estadual Cachoeira da Andorinhas, Ouro Preto, Minas Gerais. **Relatório do Meio Físico**. Viçosa, UFV. 94p. 2005.
13. KER, J.C. & SCHAEFER, C.E.G.R. Roteiro de excursão pedológica Viçosa-Sete Lagoas. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, UFV. 47p. 1995.
14. LANA, C. E. & CASTRO, P. T. A. Variabilidade morfológica em níveis de base do rio Maracujá (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): influências litológicas, estruturais e de reativações Cenozóicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. 11, 21-30. 2010.
15. LIPSKI, L. **Tectonismo Cenozóico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Universidade Federal de Ouro Preto. 2002.** (Dissertação de mestrado).
16. MAGALHAES JUNIOR, A.P. & SAADI, A. Ritmos da dinâmica fluvial neo-cenozóica controlados por soerguimentos regionais e falhamentos: o vale do rio das Velhas, na região de Belo Horizonte. **Geonomos**. 2: 42-54p. 1994.
17. MAGALHÃES JUNIOR, A.P.; CHEREM, L.F.; BARROS, L.F.P.; SANTOS, G.B. OSL dating of sediments from a mountainous river in southeastern Brazil: late Cenozoic tectonic and climatic implications. **Geomorphology** (Amsterdam), v. 131, p. 132-155, 2011.
18. QUEIROZ NETO, J.P. Geomorfologia e Pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. VI. N°1. p.59-67. 2000.
19. QUEIROZ NETO, J.P. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, 22:65-78, 2001.
20. QUEIROZ NETO, J.P. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, 15:77-90, 2002.
21. RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 29: 297-300, 2005.
22. SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais: tensões intra-placa, descontinuidades crustais e morfogênese**. Universidade Federal de Minas Gerais. 1991. 263p. (Tese de professor titular).
23. SAADI, A. Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretações preliminares. **Geonomos**. 1: 1-15p. 2003.

24. SAADI, A.; BEZERRA, F.H.R.; COSTA, R.D.; IGREJA, H.L.S.; FRANZINELLI, E. Neotectônica da plataforma brasileira. In: SOUZA, C.R.G. SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.(Eds) **Quaternário do Brasil**. Holos. Ribeirão Preto, SP. 211-234p. 2005.
25. SALGADO, A.A.R.; COLIN, F.; NALINI Jr., H.A. BRAUCHER, R. VARAJÃO, A.A.R.; VARAJÃO, C.A.C. O papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. 1:55-69, 2004.
26. SALGADO, A.A.R.; VARAJÃO, C.A.C.; COLIN, F.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, A.A.R.; NALINI Jr., H.A.; CHEREM, L.F.S.; MARENT, B. R.; BRINDUSA, C.B. Estimativa das taxas de erosão das terras altas da alta bacia do rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: implicações para a evolução do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. 8:3-10, 2007.
27. SALGADO, A.A.R.; BRAUCHER, R. VARAJÃO, C.A.C. COLIN, F.; VARAJÃO, A.A.R.; NALINI Jr., H.A. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of <sup>10</sup>Be cosmogenic nuclei. **Zeitschrift Für Geomorphologie**. 52, 317-323 p. 2008.
28. SANT'ANNA, L.G.; SCHORSCHER, H. D.; RICCOMINI, C. Cenozoic tectonics of de Fonseca basin region, eastern Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. **Journal of South American Earth Science**. 10 (3-4), 275-284. p. 1997.
29. SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5.ed. Viçosa, SBCS/EMPRAPA/CNPS, 100p. 2005.
30. SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology**. London: Pearson Education Limited. 537 p. 1991.
31. THOMAS, M.F. **Tropical Geomorphology**. New York: The MacMillan Press LTD. 332 p. 1974.
32. VALADÃO, R. C. **Evolução de longo-termo do relevo do Brasil oriental (desnudação, superfícies de aplainamento e soerguimentos crustais)**. Universidade Federal da Bahia, Salvador. 243p., 1998. (Tese de doutorado).
33. VARAJÃO, C.A.C.; SALGADO, A.A.R.; VARAJÃO, A.A.R.; BRAUCHER, R.; COLIN, F.; NALINI Jr., H.A. Estudo da evolução da paisagem no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (<sup>10</sup>Be) e da pedogênese. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 33:1409-1425. 2009.
34. WALLINGA, J.; MURRAY, A.; WINTLE, A. The single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol applied to coarse-grained feldspar. **Radiation Measurements**. 32: 529-533. 2000a.
35. YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal**. 19: 1467-1476. 1988.

*Manuscrito recebido em: 21 de Março de 2014  
Revisado e Aceito em: 21 de Julho de 2014*