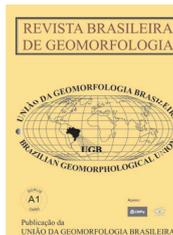


www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 2 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1762>



# USO DE ATRIBUTOS PEDOLÓGICOS NA COMPREENSÃO DA GÊNESE DE SUPERFÍCIES GEOMORFOLÓGICAS ESCALONADAS DA BORDA OESTE DO PLANALTO DO ESPINHAÇO MERIDIONAL / MINAS GERAIS – BRASIL

## USE OF PEDOLOGICAL ATTRIBUTES IN UNDERSTANDING THE GENESIS OF STAGGERED GEOMORPHOLOGICAL SURFACES IN WEST EDGE OF THE SOUTHERN ESPINHAÇO PLATEAU / MINAS GERAIS – BRAZIL

**Patrícia Mara Lage Simões**

*Departamento de Geociências, Serviço Geológico do Brasil  
Av. Brasil, 1731, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 30.140-002. Brasil  
ORCID: 0000-0002-1582-7786  
E-mail: patricia.simoes@cprm.gov.br*

**Roberto Célio Valadão**

*Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31.270-901. Brasil  
ORCID: 0000-0003-3449-7628  
E-mail: valadao@ufmg.br*

**Cristiane Valéria de Oliveira**

*Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31.270-901. Brasil  
ORCID: 0000-0002-9615-8915  
E-mail: crisval\_oliveira@yahoo.com.br*

**Fábio Soares Oliveira**

*Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31.270-901. Brasil  
ORCID: 0000-0002-1450-7609  
E-mail: fabiosolos@gmail.com*

### Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):  
02/09/2019  
Aceito (Accepted):  
15/01/2020

### Palavras-chave:

Escadaria Geomorfológica; Grau de Intemperismo; Geomorfogênese.

### Keywords:

Geomorphological Staircase; Degree of weathering; Geomorphogenesis.

### Resumo:

Investigações de campo efetivadas em trecho da borda oeste do Planalto do Espinhaço Meridional comprovaram que o seu relevo se encontra organizado em escadaria, cujos patamares modelados em rochas siliciclásticas, configuram distintas unidades geomorfológicas. Essa organização suscitou indagações acerca do grau de intemperismo dos solos que revestem essas unidades geomorfológicas, como também da possível relação verificada entre esse grau e a gênese e dinâmica do relevo. Na busca de responder a essas indagações foram coletadas vinte e nove amostras de solo em três perfis na Unidade Geomorfológica I, cuja altitude aproximada é de 1400m, e quatro amostras na Unidade IV, posicionada em altitude média de 1250m. As coletas ocorreram em litologias semelhantes em ambas as unidades com vistas a viabilizar a análise comparativa entre os resultados dos atributos pedológicos das amostras de solo. Em tais amostras foram elaboradas análises granulométrica, mineralógica, pH, fertilidade, ataque sulfúrico, extração de ferro livre e formas de baixa cristalinidade.

Além disso, este estudo utilizou métodos de análise da micromorfologia e de obtenção de imagens em microscópio petrográfico e MEV, empregados na investigação da estrutura dos agregados e da organização dos poros de lâminas de solo dos horizontes diagnósticos de três solos da Unidade I e seis da Unidade IV. Os resultados das relações silte/argila, Ki e de Fed/Fes indicam que os solos desenvolvidos na Unidade I registram maior grau intempérico e, conseqüentemente, sinaliza seu estágio mais evoluído quando comparados àqueles presentes na Unidade IV. Por meio da análise micromorfológica se observou que a organização e formação da porosidade e o desenvolvimento da estrutura plásmica dos solos da Unidade I, principalmente os horizontes 2C2 do P1 e C5 do P2, sugerem ser esses mais evoluídos, quando comparados aos solos da Unidade IV. Esses resultados reforçam a hipótese de que há uma relação morfogenética entre as referidas unidades de relevo, de modo que a superfície posicionada em altimetria mais rebaixada teve sua origem a partir do desmantelamento denudacional da superfície de cimeira sob forte condicionamento da estrutura geológica regional.

#### Abstract:

Field investigations carried out on a stretch of the western border of the Southern Espinhaço Plateau proved that its relief is organized in stairways, whose levels modeled in siliciclastic rocks, configure distinct geomorphological units. This organization raised questions about the degree of weathering of the soils that cover these geomorphological units, as well as the possible relationship between this degree and the genesis and dynamics of the relief. In order to answer these questions, twenty-nine soil samples were collected in three profiles in Geomorphological Unit I, whose approximate altitude is 1400m, and four samples in Unit IV, positioned at an average altitude of 1250m. The collections took place in similar lithologies in both units in order to make the comparative analysis between the results of the soil samples of the soil samples feasible. In such samples, granulometry, mineralogical, pH, fertility, sulfuric attack, free iron extraction and forms of low crystallinity of iron were analyzed. In addition, this study used methods of analyzing micromorphology and obtaining images in a petrographic microscope and SEM, used in the investigation of the structure of the aggregates and the organization of the pores of soil layers of the diagnostic horizons of three soils of Unit I and six of Unit IV. The results of the silt / clay, Ki and Fed / Fes relationships indicate that the soils developed in Unit I register a greater degree of weathering and, consequently, signals its more advanced stage when compared to those present in Unit IV. Through micromorphological analysis it was observed that the organization and formation of porosity and the development of the plasma structure of the soils of Unit I, especially the horizons 2C2 of P1 and C5 of P2, suggest that these are more evolved when compared to the soils of Unit IV. These results reinforce the hypothesis that there is a morphogenetic relationship between these geomorphological units, so that the surface positioned at a lower altimetry originated from the denudational dismantling of the summit surface under strong conditioning of the regional geological structure.

#### Introdução

A investigação geomorfológica busca nos materiais sobre os quais o modelado é esculpido indícios que contribuam para a reconstituição, no tempo e no espaço, do processo dinâmico de formação do relevo. Nesse sentido, alguns estudos têm empregado os atributos dos solos, em escala de vertente, como ferramentas valiosas dessa reconstituição (SCHAEFER *et al.*, 2002; CUNHA *et al.*, 2005; CAMPOS *et al.*, 2007; CAMPOS *et al.*, 2012). A relação que se verifica entre os solos e a organização do relevo comumente se fundamenta no grau de intemperismo e desenvolvimento dos primeiros, entendidos como aqueles que potencialmente guardam vestígios da configuração das muitas morfologias da superfície. É nesse contexto que se insere este trabalho, que investigou

em que medida os atributos dos solos podem auxiliar nos estudos da geomorfogênese de trecho da borda oeste do Planalto do Espinhaço Meridional, em Minas Gerais.

O estudo geomorfológico contempla, por vezes, as múltiplas e complexas mutações a que as formas de relevo são submetidas ao longo do tempo geológico. Essas mutações se configuram mediante relação que se verifica entre os materiais – que podem ser as rochas, os solos e as próprias formas – e uma variada gama de processos naturais e antrópicos que atuam na superfície terrestre (BARROS e VALADÃO, 2018). Alguns estudos da evolução do relevo fazem uso de instrumentos de investigação já bastante empregados pela Pedologia, a exemplo da micromorfologia dos solos, na tentativa de elucidar, por meio dos vestígios presentes nos materiais, assinaturas que auxiliem na compreensão da evolução

da paisagem geomorfológica. Diante dessa premissa, alguns estudos cujo objeto de análise foi o Planalto do Espinhaço Meridional buscaram inter-relacionar investigações geomorfológicas e dos solos por meio de procedimentos que incluem análises macroscópicas desses últimos (DINIZ *et al.*, 2004; SANTOS, 2012; AUGUSTIN e ARANHA, 2006).

A micromorfologia dos solos busca compreender a organização dos constituintes dos solos a partir da análise de suas microestruturas, as quais contemplam minerais primários e secundários, material orgânico e poros (CASTRO, 2008). Os estudos de investigação geomorfológica a partir da escala de análise da micromorfologia dos materiais, embora ainda escassos, já se mostraram também eficientes no Planalto do Espinhaço Meridional, a exemplo daqueles conduzidos por Rocha (2004), Menezes (2006), Ramos (2008), Ávila (2009) e Nunes *et al.* (2015).

Todavia, não obstante a contribuição desses trabalhos, como também de outros que utilizam assinaturas pedológicas em seu processo analítico de pesquisa, há questões que ainda persistem, sobretudo, no que se refere à organização geomorfológica regional nas áreas cujo arcabouço litoestrutural é majoritariamente composto por rochas siliciclásticas. Este trabalho busca, por meio da análise dos atributos do solo e da aplicação de método de análise da microscopia, reunir indícios que possam auxiliar na compreensão de tal organização do relevo.

O Planalto do Espinhaço Mineiro apresenta relevo que, segundo Valadão *et al.* (2012), organiza-se regionalmente em escadaria composta por unidades geomorfológicas situadas em patamares altimétricos distintos. Compreender a relação geomorfogenética verificada entre essas unidades, por meio da análise do material pedológico, constitui a questão central aqui discutida.

### **Caracterização do meio físico da área de estudo**

O Planalto do Espinhaço Meridional se destaca no cenário regional das terras altas do Sudeste brasileiro como importante divisor hidrográfico entre as bacias dos rios São Francisco, Jequitinhonha e Doce. A área de estudo deste trabalho se estende por trecho da borda oeste desse planalto (Figura 1).

As rochas siliciclásticas proterozoicas do Supergrupo Espinhaço (formações Galho do Miguel, Sopa Brumadinho, São João da Chapada e Grupo Costa Sena indiviso) ocupam extensa área nessa região (ABREU, 1995). Em razão de sua composição mineralógica, es-

sas rochas sustentam superfícies geomorfológicas que chegam a alcançar mais de 1400 metros de altitude. Mais especificamente, na área de estudo, destacam-se as rochas siliciclásticas da Formação Galho do Miguel, as quais são mais resistentes ao intemperismo devido ao alto teor de quartzo em sua composição (LIMA, 2004). Segundo Simões *et al.* (2016), na área de estudo, por ser caracterizada pela significativa presença de afloramentos, a cobertura pedológica é distribuída de forma descontínua e se expressa espacialmente segundo os padrões linear e zonal, o que comprova ser essa distribuição fortemente influenciada pela estrutura geológica.

Esta área é caracterizada por seu relevo organizado em patamares escalonados, cujo patamar de altimetria mais elevada (Unidade I) posiciona-se entre 1300 e 1400 metros, onde rampas suavemente inclinadas e modeladas em formações superficiais se prolongam até fundos de vale com fraca incisão vertical dos talvegues (Figura 2). No patamar de altimetria mais rebaixada, entre 1000 e 1100 metros de altitude, rampas de baixo gradiente se repetem (Unidade IV). Ambos os patamares são separados por faixa de transição marcada pela ocorrência de escarpas e vertentes de alto gradiente, cuja altitude média aproximada é de 1200 metros (unidades II e III).

Na região investigada foram reconhecidas, mapeadas e caracterizadas quatro unidades geomorfológicas (Figura 2). A Unidade I é aquela em que ocorrem os remanescentes das mais altas superfícies do planalto, cuja altitude está comumente acima dos 1300 metros. Essa superfície de cimeira conserva, em extensões consideráveis, aplanamentos de baixo gradiente em litologias diversas, sobretudo nos quartzitos da Formação Galho do Miguel. Sua cobertura pedológica é composta principalmente por Neossolos Quartzarênicos. Nas unidades II e III o caráter geomorfológico se baseia na ocorrência de rampas de gradiente significativamente mais elevado que na unidade anterior, que convergem para vão central ocupado pela drenagem, numa comprovação clara de que esses vales têm sido escavados por vigorosa incisão vertical da rede hidrográfica conjugada ao recuo à montante, notadamente no intervalo altimétrico de 1100 a 1300 metros. A incisão desses vales é marcadamente controlada por lineamentos estruturais que, regionalmente, acompanham a direção ONO-ESE. Uma outra superfície de morfologia aplanada se situa, também, em cotas altimétricas mais baixas, entre 1050 a 1100 metros, compondo a Unidade IV. Essa unidade configura o piso de depressão que se estende ao longo do médio e baixo vale dos principais canais fluviais da região.

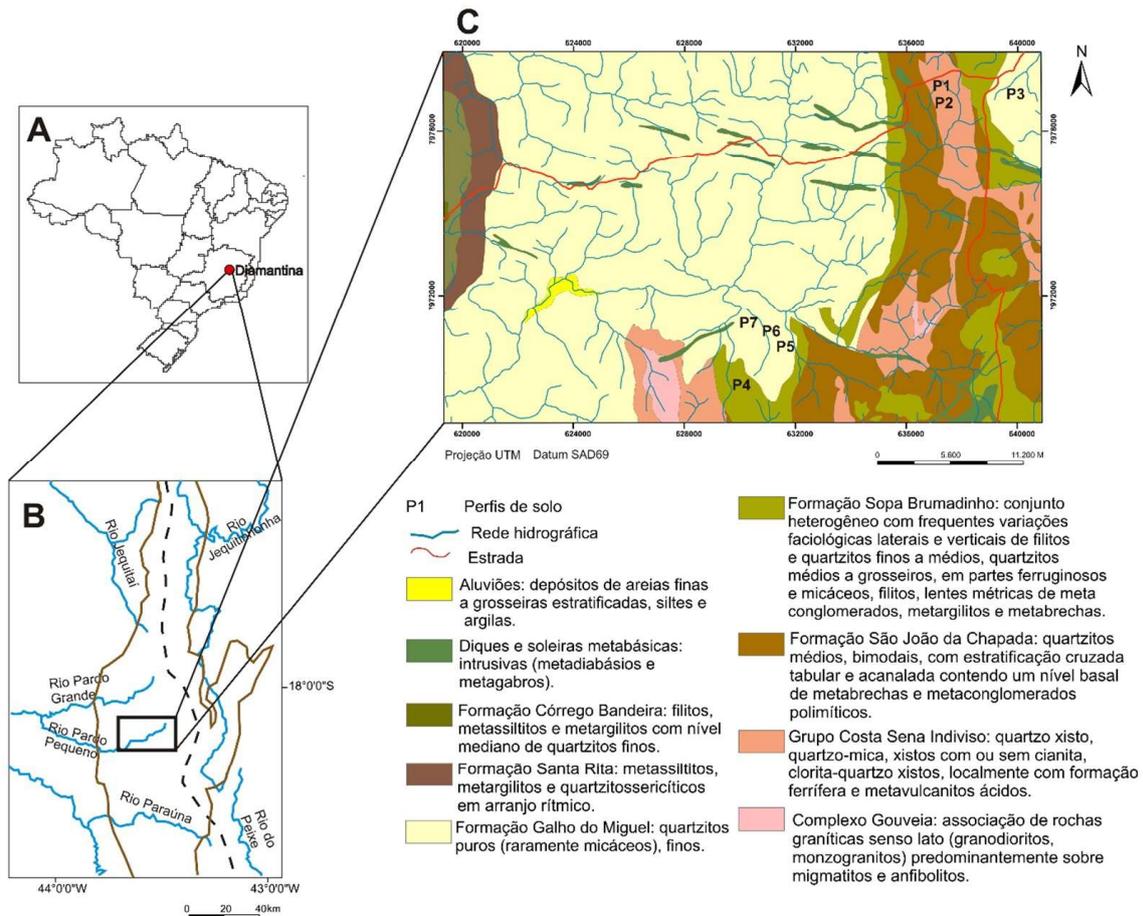


Figura 1 – Localização da área de estudo. A: localização da área investigada no município de Diamantina, no Brasil; B: localização do trecho da borda oeste estudado no Planalto do Espinhaço Meridional; C: Geologia, rede hidrográfica e principais vias de acesso da área de estudo (geologia segundo COMIG, 1996).

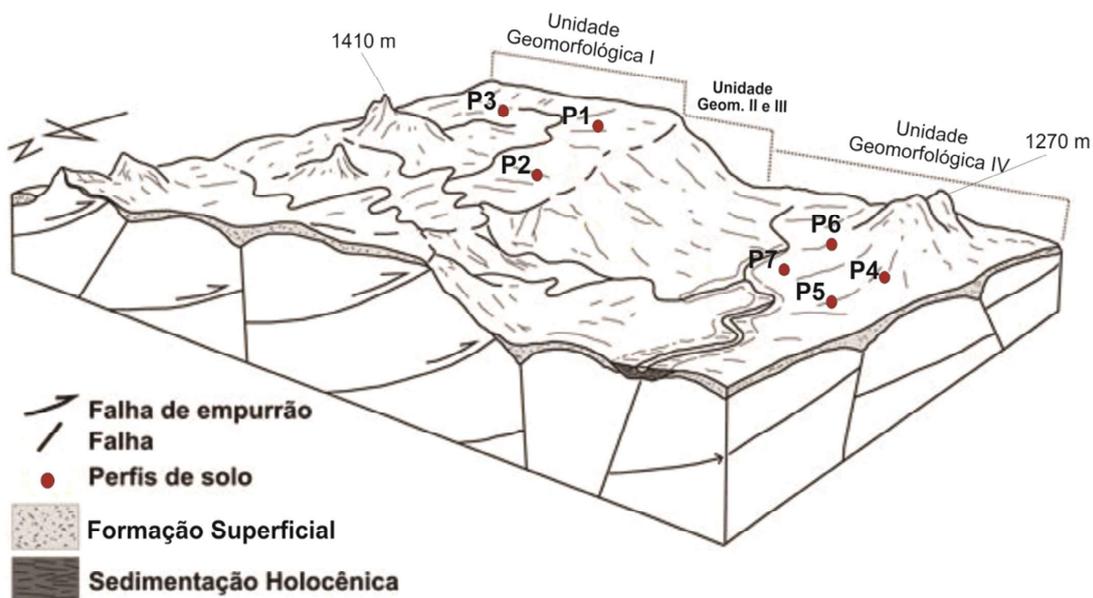


Figura 2 – Representação esquemática da organização do relevo em escadaria que caracteriza trecho da borda oeste do Planalto do Espinhaço Meridional, o qual revela superfícies geomorfológicas escalonadas de diferentes altimetrias (modificado de Nunes et al., 2015). Observe que os perfis em que as amostras de solo foram coletadas se localizam nas unidades geomorfológicas I e IV.

Tais unidades se justapõem por meio do embutimento, estando essas articuladas em planta e perfil. Esse embutimento apresenta organização espacial semelhante a uma escadaria, cuja disposição é de patamares escalonados. Essa organização espacial e altimétrica das unidades I, II, III e IV sugere entre elas uma relação geomorfogenética.

Parte-se do princípio, neste trabalho, que o processo de evolução do relevo na área investigada pode ser reconstruído a partir da contribuição advinda da análise dos atributos pedológicos dos solos que revestem suas distintas unidades geomorfológicas. Essas unidades, por se organizarem em planta e perfil segundo escadaria geomorfológica, guiaram a definição das unidades I e IV como as áreas de coleta das amostras de solo (Figura 2). As concepções geomorfológicas que tratam da evolução do relevo continental comumente se fundamentam no princípio de que superfícies rebaixadas e por vezes embutidas em superfícies elevadas são de elaboração mais recente, com destaque para as contribuições de Davis (1899), Penk (1953) e King (1956, 1962). Todavia, há concepções que advogam que, embora escalonadas, superfícies altimétricas distintas podem ser elaboradas em mesma temporalidade, a exemplo da concepção preconizada por Hack (1960, 1975). Esse autor argumenta que superfícies geomorfológicas posicionadas lado a lado (em planta), porém em distintas altimetrias (em perfil), podem ter sua gênese associada à denudação diferencial decorrente de um diversificado substrato geológico. É na busca por contribuir quanto aos questionamentos de ordem cronológica que envolvem a escadaria geomorfológica que caracteriza a área aqui investigada que se optou por analisar o material pedológico nela presente.

## **Materiais e métodos**

O contexto geomorfológico anteriormente descrito subsidiou a definição dos locais e a quantidade de amostras de solo a serem coletadas. As coletas ocorreram nas unidades I e IV (Figura 2), uma vez que essas corresponderiam, respectivamente, aos estágios inicial e final do processo de evolução do relevo, no caso de suas superfícies geomorfológicas revelarem distintas assinaturas diacrônicas quanto à sua gênese. Partiu-se, então, do princípio de que possíveis indicadores quanto à sincronicidade ou ao diacronismo evolutivo dessas superfícies estariam impressos no grau de evolução de seu

material pedológico. Em razão da morfologia aplanada vigente em ambas as unidades, e considerando que essas se encontram submetidas às mesmas condições climáticas, buscou-se coletar as amostras de solo em litotipos homogêneos, cuja recorrência dos quartzitos é notória (Formações Galho do Miguel e Sopa Brumadinho e Grupo Costa Sena) (Quadro 1). O emprego do critério de homogeneidade litológica na coleta das amostras visou reduzir, na medida do possível, o tratamento de indicadores pedológicos contaminados por materiais de origem marcados pela heterogeneidade de seu acervo mineralógico.

Durante a execução dos trabalhos de campo foram analisados sete perfis de solos em trincheiras; três deles na Unidade I e quatro na Unidade IV (Figura 1), em média vertente, totalizando 29 amostras de solo coletadas e descritas de acordo com Santos *et al.* (2005). Em seis perfis, três em cada unidade geomorfológica, procedeu-se a coleta de 12 amostras de solo indeformadas para a confecção de lâminas delgadas, mediante execução de procedimentos propostos por Kubiena (1938) (Quadro 1).

As amostras de solo foram submetidas às análises granulométrica, mineralógica, pH, fertilidade, ataque sulfúrico e química total. Foram elaboradas ainda a identificação de componentes por difração de raio-X na amostra de TFSA e a extração do ferro livre e de formas de baixa cristalinidade. As análises de granulometria, argila dispersa em água e pH foram realizadas no Laboratório de Geomorfologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), de acordo com método da Embrapa (1997), o qual permite a quantificação da fração terra fina (menor que 2 mm) em areia, silte e argila. A análise de pH foi realizada de acordo com método descrito pela Embrapa (1997), mediante emprego de H<sub>2</sub>O e KCl.

As análises de fertilidade e matéria orgânica foram executadas no Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV) a partir de método descrito pela Embrapa (1997). A mineralogia das amostras de solo foi realizada na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), mediante Difratômetro *Panalytical Empyrean* para as amostras de pó total. A extração por ataque sulfúrico foi feita no laboratório de solos da UFV, para se identificar os teores de Al, Fe e Si. O ferro livre foi extraído por ditionito-citrato-bicabornato e as formas de baixa cristalinidade por oxalato ácido de amônio, na UFV.

**Quadro 1: Localização, geomorfologia e geologia dos perfis de solo. Observe a variabilidade das altitudes dos pontos de coleta em razão de sua localização em distintas unidades geomorfológicas.**

Perfil	Unidade Geomorfológica	Localização	Altitude (m)	Geologia	Amostra Indeformada	Horizonte de coleta
P1	I	636816/7979593	1467	Grupo Costa Sena	2	C1; 2C2
P2	I	636825/7979700	1463	Grupo Costa Sena	3	C1; C3; C5
P3	I	639872/7979202	1401	Fm. Galho do Miguel	1	C2
P4	IV	630102/7969711	1200	Fm. Sopa Brumadinho	3	C1; C3; C4
P5	IV	630094/7970089	1229	Fm. Galho do Miguel	0	-
P6	IV	629889/7970112	1218	Fm. Galho do Miguel	1	C2
P7	IV	629741/7970309	1201	Fm. Galho do Miguel	2	E; Bh1

Considerando as análises acima, foram utilizados os seguintes indicadores para estimar e comparar o grau evolutivo dos solos nas unidades geomorfológicas: 1) indicadores baseados na análise física – relação silte/argila; 2) indicadores baseados na análise química de fertilidade:  $\Delta$ pH, saturações por base e alumínio; 3) indicadores baseados na extração seletiva de ferro: razão Fed/Fes e Fed/Fes; e 4) indicadores baseados no ataque sulfúrico: relação Ki/Kr. A razão Fed/Fes é um indicativo do estágio de intemperismo do solo, uma vez que apresenta a proporção de ferro liberado pelo intemperismo (MELO *et al.*, 1988; VASCONCELOS *et al.*, 2013).

As amostras indeformadas foram secas e impregnadas a vácuo com resina de poliéster Polilyte (Reforplás T208), de acordo com metodologia descrita por Castro (1985) e Filizola e Gomes (2004). A interpretação micromorfológica elaborada a partir da terminologia de Stoops (2003) ocorreu em microscópio trinocular Zeiss, modelo Axioskop 40, com câmera fotográfica. A análise comparativa quanto ao possível grau de intemperismo entre as lâminas das amostras de cada unidade buscou considerar, principalmente, aspectos relacionados à microestrutura, fundo matricial e ao tipo e desenvolvimento dos poros.

Nas lâminas dos horizontes diagnósticos de cada perfil de solo (2C2 do P1; C5 do P2; C2 do P3; C4 do P4; C2 do P6; e Bh1 do P7), utilizou-se a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mediante uso de micros-

cópio Zeiss LS15, no Laboratório de Análise Mineral da Superintendência Regional de Belém (LAIMIN-BE) da CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Para tal procedimento, utilizou-se o modo de Alto Vácuo ( $3,0 - 1,5 \cdot 10^{-5}$  mPa) e filamento de Tungstênio. As lâminas delgadas de solos foram cobertas por uma película de ouro de 20  $\mu$ m de espessura usando metalizadora de alto vácuo. As imagens de elétron retroespalhado (*Backscattered Electron* – BSE) dos minerais e texturas foram obtidas com voltagem de aceleração de 20 kV, corrente de chegada entre 70 e 90 pA, distâncias de trabalho de 8,5 mm e ampliação entre 50 e 500 vezes.

As análises da composição química dos minerais foram obtidas por espectrometria por dispersão de energia (*Energy Dispersive Spectrometry* – EDS), em raio X de detector X-Act SSD 10mm<sup>2</sup>, da Oxford Instruments. Os resultados analíticos foram adquiridos a uma distância de trabalho de 8,5mm, com voltagem de 20kV, corrente de chegada de 330 a 400 pA na busca por manter taxa de contagem de saída de cerca de 2000 cps nas análises pontuais. Os resultados obtidos foram padronizados por espectros de energia de padrões do programa AZTec, também da Oxford Instruments. Os resultados com desvio padrão acima de 10% da concentração do elemento foram descartados do cálculo da composição dos minerais, podendo esses estar presentes nos minerais em baixas concentrações como impurezas aprisionadas no retículo cristalino, ou marcar incipiente alteração secundária dos minerais analisados.

## Resultados

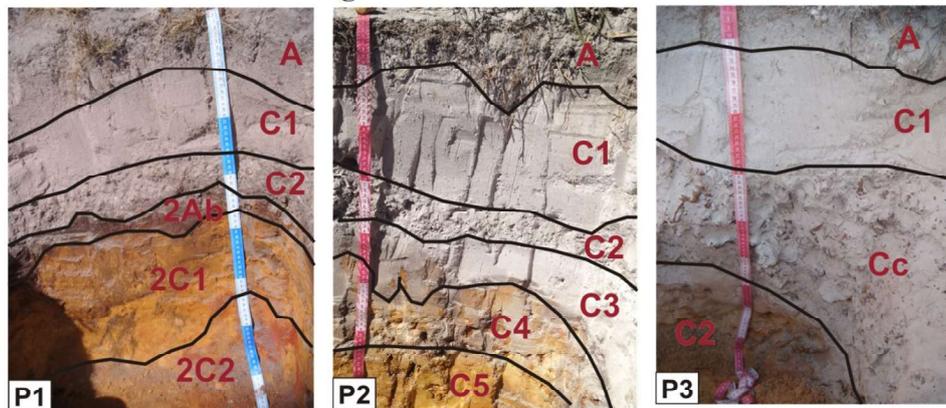
Os solos descritos na área de estudo estão situados em vertentes suavemente aplanadas, com baixas declividades. Os perfis de ambas as unidades apresentam solos pouco espessos, que não ultrapassam mais de 1 metro (Figura 3). Todos os perfis são caracterizados por material arenoso, uma vez que a rocha de origem desses solos é o quartzito, o qual apresenta baixa capacidade de produção de argila.

A Unidade I se caracteriza pela presença dos Neossolos Quartzarênicos Órticos Típicos e o Plintossolo Pétrico Concrecionário Típico; já na Unidade IV, além dos mesmos Neossolos que ocorrem na Unidade I, destacam-se

o Neossolo Litólico Distrófico Típico e o Espodossolo Humilúvico Órtico Típico. Nos solos da Unidade I se observa que o P1 (Neossolo Quartzarênico) apresenta horizonte A enterrado a 34 cm da superfície, um indicativo de que o material que se desenvolveu sobre esse horizonte tem origem alóctone. Deve-se ressaltar a presença no P3 de Plintossolo Pétrico, marcado por horizonte com concreção de ferro, localizado a 30 cm de profundidade.

Nos solos da Unidade IV observa-se, além dos Neossolos, um Espodossolo Humilúvico com um horizonte E caracterizado pela coloração clara devido à perda de matéria orgânica, matéria essa também presente em alguns horizontes Bh marcados por coloração mais escura.

### Unidade Geomorfológica I



### Unidade Geomorfológica IV

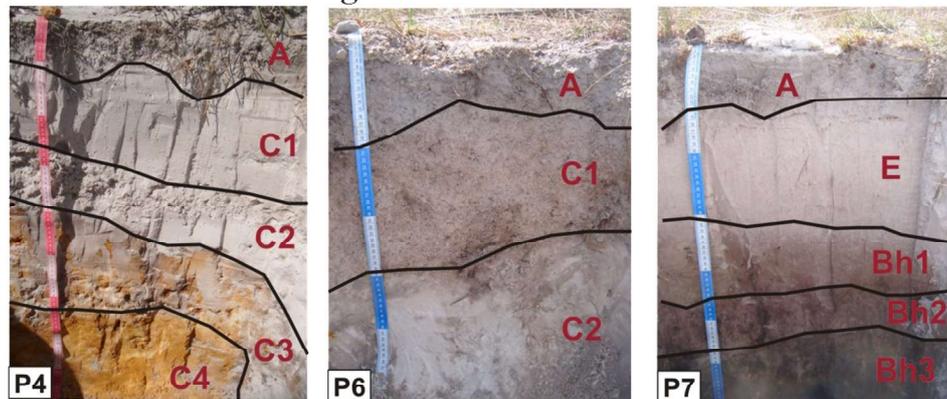


Figura 3 – Fotografias dos perfis de solo, com a delimitação e identificação dos horizontes dos mesmos presentes nas unidades geomorfológicas I e IV. P1: Neossolo Quartzarênico Órtico Típico; P2: Neossolo Quartzarênico Órtico Típico; P3: Plintossolo Pétrico Concrecionário Típico; P4: Neossolo Quartzarênico Órtico Típico; P6: Neossolo Quartzarênico Órtico Típico; P7: Espodossolo Humilúvico Órtico Típico.

A análise granulométrica dos perfis das unidades I e IV demonstra que o material coletado apresenta textura arenosa, sendo acima de 600 g/kg de areia em todos os solos (Quadro 02). Tal composição é

condizente com o material de origem, os quartzitos, que apresentam marcante presença da sílica em sua composição. Os valores da relação silte/argila são menores nos solos da Unidade I, em comparação com a

Unidade IV, o que sugere maior grau de intemperismo dos primeiros em relação aos últimos (CAMPOS *et al.*, 2011). Contudo, vale ressaltar que é preciso relativizar a eficiência deste indicador para a área investigada,

uma vez que nela os solos são arenosos e apresentam pequena concentração de argila devido à composição mineralógica de seu material de origem (CAMARGO *et al.*, 1987).

**Quadro 2: Granulometria e mineralogia da TFSA dos perfis de solo das unidades geomorfológicas I e IV.**

Unidade Geomorf.	Horizonte	Profundidade (cm)	Granulometria (g/kg)			Relação Site/Argila	Mineralogia
			Areia	Site	Argila		
<b>Perfil 1: Neossolo Quartzarênico Órtico Típico</b>							
I	A	0 – 11	897,94	72,15	30,10	2,40	Qt
	C1	11 – 23	892,30	88,10	19,60	4,50	Qt
	C2	23 – 34	864,29	105,96	29,75	3,56	Qt
	2Ab	34 – 37	784,57	113,31	102,12	1,11	Qt, Mus
	2C1	37 – 45	682,19	186,67	131,13	1,42	Qt, Mus, Gb
	2C2	45 – 67	787,16	121,10	91,74	1,32	Qt, Mus, Gb
<b>Perfil 2: Neossolo Quartzarênico Órtico Típico</b>							
I	A	0 – 14	896,56	83,76	19,67	4,26	Qt, Zeo
	C1	14 – 60	913,75	71,70	14,54	4,93	Qt, Zeo, Mus
	C2	60 – 70	855,47	128,19	16,34	7,84	Qt, Zeo, Mus
	C3	70 – 91	717,92	256,75	25,33	10,14	Qt, Zeo, Mus
	C4	91 – 97	804,91	166,33	28,76	5,78	Qt, Zeo, Mus
	C5	97 – 105+	747,30	233,08	19,61	11,89	Qt, Zeo, Mus
<b>Perfil 3: Plintossolo Pétrico Concrecionário Típico</b>							
I	A	0 – 10	888,82	89,15	22,03	4,05	Qt
	C1	10 – 30	923,22	57,02	19,76	2,89	Qt
	Cc	30 – 60					
	C2	60 – 94	828,58	132,83	38,59	3,44	Qt
<b>Perfil 4: Neossolo Quartzarênico Órtico Típico</b>							
IV	A	0 – 8	827,93	159,33	12,74	12,51	Qt
	C1	8 – 28	845,54	143,73	10,73	13,40	Qt
	C2	28 – 38	802,11	187,10	10,79	17,34	Qt
	C3	38 – 53	717,93	255,41	26,67	9,58	Qt
	C4	53 – 81	628,06	281,70	90,25	3,12	Qt, Mus, Zeo
<b>Perfil 5: Neossolo Litólico Distrófico Típico</b>							
IV	A	0 – 14	788,71	177,64	33,65	5,28	Qt
<b>Perfil 6: Neossolo Quartzarênico Órtico Típico</b>							
IV	A	0 – 18	816,88	160,24	22,87	7,01	Qt
	C1	18 – 37	848,12	135,20	16,68	8,11	Qt
	C2	37 – 54	779,74	209,49	10,77	19,45	Qt
<b>Perfil 7: Espodossolo Humilúvico Órtico Típico</b>							
IV	A	0 – 11	815,68	160,77	23,54	6,83	Qt
	E	11 – 32	875,67	113,61	10,72	10,6	Qt
	Bh1	32 – 53	853,49	128,30	18,21	7,05	Qt
	Bh2	53 – 64	849,98	127,47	22,55	5,85	Qt
	Bh3	64 – 90+	634,86	320,17	44,98	7,12	Qt

TFSA: terra fina seca ao ar (Embrapa, 1997); Qt: quartzo; Mus: muscovita; Gb: gibsita; Zeo: zeólita.

Com relação ao ΔpH, todos os solos das unidades I e IV apresentam pH negativo, com exceção dos horizontes C1 do Perfil 1 e C4 do Perfil 2, que registraram valores de 0,0 e 0,84, respectivamente (Quadro 3). Apesar dos resultados indicarem solos carregados

negativamente, a pouca quantidade de argila presente também relativiza a utilização do índice para avaliar o grau de intemperismo dos solos nas condições em que se apresentam (CORINGA e WEBER, 2008; BENEDETTI *et al.*, 2011; EMBRAPA, 2013).

Quadro 3: Análise química dos perfis de solo das unidades geomorfológicas I e IV.

Unidade Geom.	Horiz.	Prof. (cm)	PH			Al	Al+H	SB	CTC	V	m	MO
			KCL	H <sub>2</sub> O	ΔpH							
<b>Perfil 1 – Neossolo Quartzarênico Órtico Típico</b>												
I	A	0 – 11	3,74	5,20	-1,46	0,59	4	0,61	1,2	13,2	49,2	2,18
	C1	11 – 23	4,86	4,86	0,0	0,39	1,8	0,28	0,67	13,5	58,2	0,51
	C2	23 – 34	3,83	4,82	-0,99	0,88	4,8	0,41	1,29	7,9	68,2	1,28
	2Ab	34 – 37	3,93	4,85	-0,92	2,93	23,3	0,57	3,5	2,4	83,7	5,5
	<b>2C1</b>	<b>37 – 45</b>	<b>4,55</b>	<b>5,29</b>	<b>-0,74</b>	<b>0,49</b>	<b>9,7</b>	<b>0,31</b>	<b>0,8</b>	<b>3,1</b>	<b>61,3</b>	<b>2,94</b>
	<b>2C2</b>	<b>45 – 67</b>	<b>5,31</b>	<b>5,46</b>	<b>-0,15</b>	<b>0</b>	<b>2,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>8,7</b>	<b>0</b>	<b>0,38</b>
<b>Perfil 2 – Neossolo Quartzarênico Órtico Típico</b>												
I	A	0 – 14	3,61	4,34	-0,73	0,39	2,1	0,28	0,67	11,8	58,2	0,9
	C1	14 – 60	3,84	4,69	-0,85	0,2	0,8	0,24	0,44	23,1	45,5	0,13
	C2	60 – 70	4,13	5,02	-0,89	0,29	10,9	0,25	0,54	2,2	53,7	0,13
	C3	70 – 91	4,25	4,99	-0,74	0,39	11,4	0,25	0,64	2,1	60,9	0
	<b>C4</b>	<b>91 – 97</b>	<b>4,21</b>	<b>3,37</b>	<b>-0,84</b>	<b>0,59</b>	<b>10,8</b>	<b>0,25</b>	<b>0,84</b>	<b>2,3</b>	<b>70,2</b>	<b>0,38</b>
	<b>C5</b>	<b>97–105</b>	<b>4,41</b>	<b>5,06</b>	<b>-0,65</b>	<b>0,29</b>	<b>10,8</b>	<b>0,26</b>	<b>0,55</b>	<b>2,4</b>	<b>52,7</b>	<b>0,26</b>
<b>Perfil 3 – Plintossolo Pétrico Concrecionário Típico</b>												
I	A	0 – 10	3,69	4,82	-1,13	0,39	8	0,21	0,6	2,6	65	0,64
	C1	10 – 30	3,30	4,90	-1,60	0,29	4,8	0,26	0,55	5,1	52,7	0,26
	Cc	30 – 60										
	C2	60 – 94	4,48	5,23	-0,75	0,29	10,5	0,25	0,54	2,3	53,7	0,13
<b>Perfil 4 – Neossolo Quartzarênico Órtico Típico</b>												
IV	A	0 – 8	3,73	5,04	-1,31	0,29	1,6	0,2	0,49	11,1	59,2	0,26
	C1	8 – 28	4,19	5,09	-0,90	0,29	0,8	0,18	0,47	18,4	61,7	0,13
	C2	28 – 38	4,27	5,23	-0,96	0,1	0,8	0,23	0,33	22,3	30,3	0,13
	<b>C3</b>	<b>38 – 53</b>	<b>4,20</b>	<b>4,83</b>	<b>-0,62</b>	<b>0,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,21</b>	<b>0,31</b>	<b>11,6</b>	<b>32,3</b>	<b>0,13</b>
	<b>C4</b>	<b>53 – 81</b>	<b>4,42</b>	<b>4,95</b>	<b>-0,43</b>	<b>0,2</b>	<b>1,8</b>	<b>0,22</b>	<b>0,42</b>	<b>10,9</b>	<b>47,6</b>	<b>0,26</b>
<b>Perfil 5 – Neossolo Litólico Distrófico Típico</b>												
IV	A	0 – 14	3,36	4,67	-1,31	0,59	3,9	0,33	0,92	7,8	64,1	1,92
<b>Perfil 6 – Neossolo Quartzarênico Órtico Típico</b>												
IV	A	0 – 18	3,44	4,52	-1,08	0,59	3,4	0,32	0,91	8,6	64,8	1,54
	C1	18 – 37	3,65	4,55	-0,71	0,29	1,3	0,26	0,55	16,7	52,7	0,38
	C2	37 – 54	4,26	5,02	-0,76	0,1	0,8	0,23	0,33	22,3	30,3	0,13
<b>Perfil 7 – Espodossolo Humilúvico Órtico Típico</b>												
IV	A	0 – 11	3,18	4,29	-1,10	0,59	3,2	0,3	0,89	8,6	66,3	2,18
	E	11 – 32	3,65	4,55	-0,90	0,1	1,2	0,22	0,32	9,5	31,3	0,26
	Bh1	32 – 53	4,31	5,22	-0,91	0,39	1,8	0,26	0,65	12,6	60	0,26
	<b>Bh2</b>	<b>53 – 64</b>	<b>4,46</b>	<b>5,59</b>	<b>-1,14</b>	<b>0,39</b>	<b>2,4</b>	<b>0,26</b>	<b>0,65</b>	<b>9,8</b>	<b>60</b>	<b>0,38</b>
	<b>Bh3</b>	<b>64 – 90</b>	<b>4,28</b>	<b>5,04</b>	<b>-0,76</b>	<b>0,88</b>	<b>6,8</b>	<b>0,25</b>	<b>1,13</b>	<b>3,5</b>	<b>77,9</b>	<b>1,02</b>

SB: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca catiônica efetiva; V: índice de saturação de bases; m: índice de saturação de alumínio; MO: matéria orgânica: carbono orgânico x 1,724.

Ao analisar os índices de saturação por base, saturação por alumínio e capacidade de troca catiônica efetiva (CTC) observa-se que os solos das unidades I e IV apresentam condições semelhantes. Esses solos apresentam índices muito baixos de saturação por base, abaixo de 25%, caracterizando solos distróficos. Além disso, os perfis demonstram altos índices de saturação por alumínio, acima de 30%, exceto no horizonte 2C2 do P1 que é 0. A CTC dos solos de ambas as unidades são abaixo de 5 cmol/dm<sub>3</sub>, indicando material com baixo teor de argila (SOBRAL *et al.*, 2015).

Na figura 4 se observa que os solos da Unidade I apresentam índices Ki menores, sendo que P1 e P3 registram Ki abaixo de 1,0, um outro indicativo quanto ao maior grau intempérico desses solos que aqueles presentes na Unidade IV (RESENDE e SANTANA, 1998; IBGE, 2007).

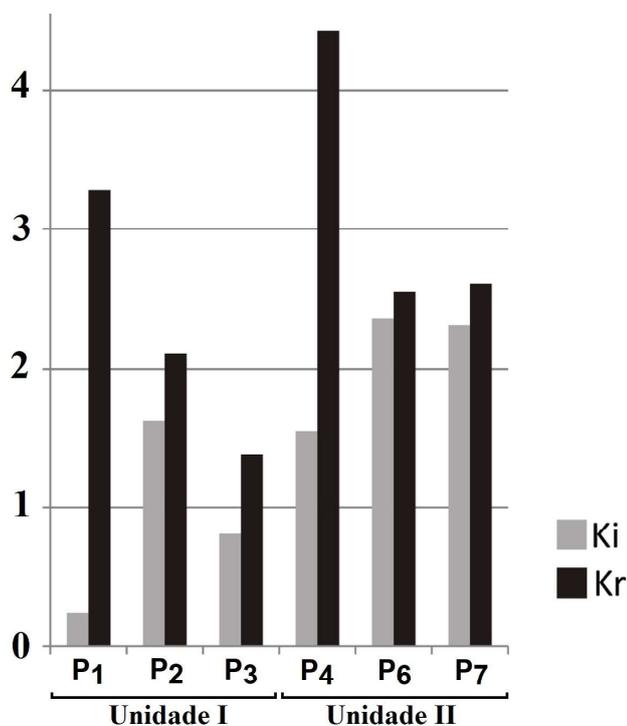


Figura 4 - Índices Ki (relação molar  $1,7x(SiO_2/Al_2O_3)$ ) e Kr (relação molar  $1,7(SiO_2/[Al_2O_3+(0,64Fe_2O_3)])$ ) dos solos que revestem as unidades geomorfológicas posicionadas altimetricamente nos degraus superior (perfis P1, P2 e P3) e inferior (P4, P6 e P7).

Com relação aos teores de ferro (Figura 5), a relação Fed/Fes é de maneira geral maior nos solos da Unidade I, sendo a taxa mais elevada registrada no P1 e, a menor que 1g/kg, no P3; o P2, embora apresente Fed/Fes elevado, registra valor inferior ao P4 da Uni-

dade IV. Esse resultado demonstra maior concentração de óxidos de ferros cristalizados nos solos da Unidade I e, conseqüentemente, sugere maior grau intempérico de sua cobertura pedológica (PEREIRA e ANJOS, 1999; VASCONCELOS *et al.*, 2013). No que se refere à relação Feo/Fed, os resultados não são conclusivos quanto a ocorrência de assinatura capaz de diferenciar notório grau de intemperismo dos solos da Unidade I, pois no P1 é baixo o valor dessa relação decorrente do predomínio de óxidos de ferro cristalinos na fração argila. Não obstante, nos demais perfis se registram oscilações nas taxas, a exemplo dos perfis P3 e P7 cujas razões Feo/Fed elevadas – acima de 0,14 –, sugerem seu posicionamento em ambientes redutores que favorecem tanto a dissolução dos óxidos de ferro cristalinos, quanto sua reprecipitação em formas menos estáveis de ferro (KÄMPF *et al.*, 2005, VASCONCELOS *et al.*, 2013).

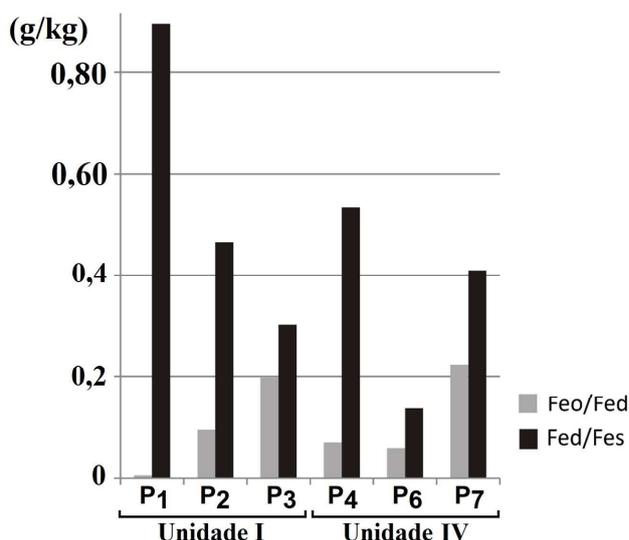


Figura 5 - Comparação entre as relações Feo/Fed e Fed/Fes dos perfis de solo que revestem as unidades geomorfológicas posicionadas altimetricamente nos degraus superior (perfis P1, P2 e P3) e inferior (P4, P6 e P7).

A análise micromorfológica dos solos nas Unidades Geomorfológicas reitera sua jovialidade, sendo eles constituídos predominantemente por material de textura grossa. Os solos da Unidade IV (P4, P6 e P7) revelam alta concentração de grossos na composição do fundo matricial, acima de 40% (Quadro 4), sendo essa maior que a dos horizontes dos solos da Unidade I (P1, P2 e P3). Esses, por sua vez, mesmo tendo as frações grossas como principais componentes, possuem maior

participação da micromassa, o que sugere maior grau de intemperismo.

Observa-se na relação  $c/f_{2\mu}$  (STOOPS, 2003), que os horizontes C1 dos Perfis 1 e 2, e o C2 do P3, na Unidade I, apresentam baixa quantidade de material fino (1:0,33), contudo esses são horizontes constituídos

basicamente de grãos de quartzo em todos os perfis de solo da Unidade I. Os demais horizontes analisados na Unidade I (2C2, C3, C5) têm relação  $c/f_{2\mu}$  que indica concentração mais elevada de material fino, sendo mais elevada no C5, com 1:1,1, reforçando o estado mais intemperizado dos materiais dessa unidade.

**Quadro 4: Características do fundo matricial e relação  $c/f_{2\mu}$  das lâminas delgadas de amostras indeformadas dos horizontes de solos das unidades geomorfológicas I e IV.**

Unid. Geomorf.	Perfil	Horizonte	Fundo Matricial (%)			Relação $c/f_{2\mu}$
			Material Grosso	Material Fino	Poros	
I	P1	C1	45	15	40	1:0,33
		2C2	40	35	15	1:0,87
	P2	C1	45	15	40	1:0,33
		C3	35	30	35	1:0,85
	C5	35	40	25	1:1,1	
P3	C2	45	15	40	1:0,33	
IV	P4	C1	40	25	35	1:0,63
		C3	45	35	20	1:0,77
	C4	45	35	20	1:0,77	
	P6	C2	55	15	35	1:0,27
	P7	E	50	20	30	1:0,4
Bh1		45	35	20	1:0,77	

$c/f_{2\mu}$ : relação entre materiais grossos e finos com limite de separação de  $2\mu$  (Stoops, 2003).

Os solos são apédicos nas duas unidades, com microestruturas determinadas pela distribuição relativa entre os constituintes do fundo matricial e pela porosidade. Assim, na Unidade I predominam solos com microestrutura Mônica a Gefu-mônica Básica na superfície e Cavitária em profundidade (Quadro 5, Figuras 6, 7 e 8). Ainda que ocorram eventualmente feições de revestimento nos horizontes profundos, a micromassa compõe o fundo matricial e possui grãos grossos imersos nela, indicando distribuição relativa porfirica. Esse fato sugere que os horizontes subsuperficiais não são de natureza iluvial, e que o contato marcado pela mudança de cor nos perfis pode significar uma descontinuidade de material de origem dos solos. Esse caso se aplica para os perfis P1 e P2. Na Unidade IV, o mesmo se aplica ao perfil P4. No caso específico de P3, ainda que com a mesma organização microestrutural, o horizonte C2 representa a cimentação

de um antigo nível arenoso, constituindo uma couraça por enriquecimento absoluto (ferricrete) na base. P5 e P6, ao contrário, não mostram essa descontinuidade, e apresentam feições claras da migração de constituintes orgânicos, que se acumulam nos horizontes inferiores revestindo grãos ou como pequenas nodulações orgânicas.

A porosidade dos solos é determinada pelo espaço inter-grãos (Quadro 5). Poros de empilhamento simples predominam nos horizontes superiores, associados ao espaço entre grãos de quartzo, principalmente. Na Unidade I também ocorrem poros cavitários em profundidade, interpretados como resultado da abertura de uma microestrutura maciça (Figura 6 e 8). Comparativamente, as cavidades ocorrem em maior número e com sinais de maior conexão nos solos da Unidade I, ocorrendo já alguns poros planares associados à abertura da porosidade.

Quadro 5: Aspectos micromorfológicos dos perfis de solos das unidades geomorfológicas I e IV.

Unid.	Perfil	Horiz.	Microestrutura	Fundo Matricial			Distribuição relativa c/f	Pedofeições
				Material Grosso	Material Fino	Poros		
I	P1	C1	Mônica Básica (grãos simples)	Quartzo subangular, areia grossa a média	Rara. Fábrica birrefringente indiferenciada	Empilhamento simples	Mônica e Gefúrica rara	-
		2C2	Gefu-mônica Básica (grãos simples com eventuais pontes de finos)	Quartzo subangular, areia grossa a média, minerais opacos	Amarelado. Fábrica birrefringente indiferenciada com tendência a monoestriada	Empilhamento simples	Mônica e Gefúrica	Revestimentos típicos raros
	P2	C1	Mônica Básica (grãos simples)	Quartzo subangular, areia grossa a média	Rara. Fábrica birrefringente indiferenciada	Empilhamento simples	Mônica e Gefúrica rara	-
		C3	Cavitária	Quartzo subangular, areia média, minerais opacos	Amarelado Fábrica birrefringente indiferenciada	Cavidades e alguns poros planares nao conectados	Porfírica	Revestimentos típicos raros
		C5	Cavitária	Quartzo subangular, areia média, minerais opacos	Amarelado a Bruno-amarelado Fábrica birrefringente indiferenciada a monoestriada	Cavidades e poros planares retos	Porfírica fechada	Revestimentos típicos e crescentes
P3	C2	Cavitária / Maciça	Quartzo subangular a subarredonda do Areia média a fina	Vermelho-escuro (opaco) Fábrica birrefringente indiferenciada	Cavidades	Porfírica fechada	Revestimentos típicos e crescentes	
IV	P4	C1	Mônica Básica (grãos simples)	Quartzo subangular, areia grossa a média	Rara. Fábrica birrefringente indiferenciada	Empilhamento simples	Mônica e Gefúrica rara	-
		C3	Gefu-mônica Básica (grãos simples com eventuais pontes de finos)	Quartzo subangular, areia grossa a média, minerais opacos	Amarelado. Fábrica birrefringente indiferenciada com tendência a monoestriada	Empilhamento simples	Mônica e Gefúrica	-
		C4	Cavitária	Quartzo subangular, muscovita, areia média, minerais opacos	Amarelado pálido. Fábrica birrefringente indiferenciada	Cavidades e poros planares retos	Porfírica fechada	Revestimentos típicos
	P6	C2	Mônica Básica (grãos simples)	Quartzo subangular, muscovita, areia média a fina.	Rara. Fábrica birrefringente indiferenciada	Empilhamento simples	Mônica e porfírica rara	-
	P7	E	Mônica Básica (grãos simples)	Quartzo subangular, areia média a fina.	Rara. Fábrica birrefringente indiferenciada	Empilhamento simples	Mônica	-
	Bh1	Euno-mônica	Quartzo subangular, muscovita, minerais opacos, areia média a fina	Preto, composição orgânica. Fábrica birrefringente indiferenciada	Empilhamento complexo	Enaulica	Revestimentos típicos e nódulos, ambos orgânicos	

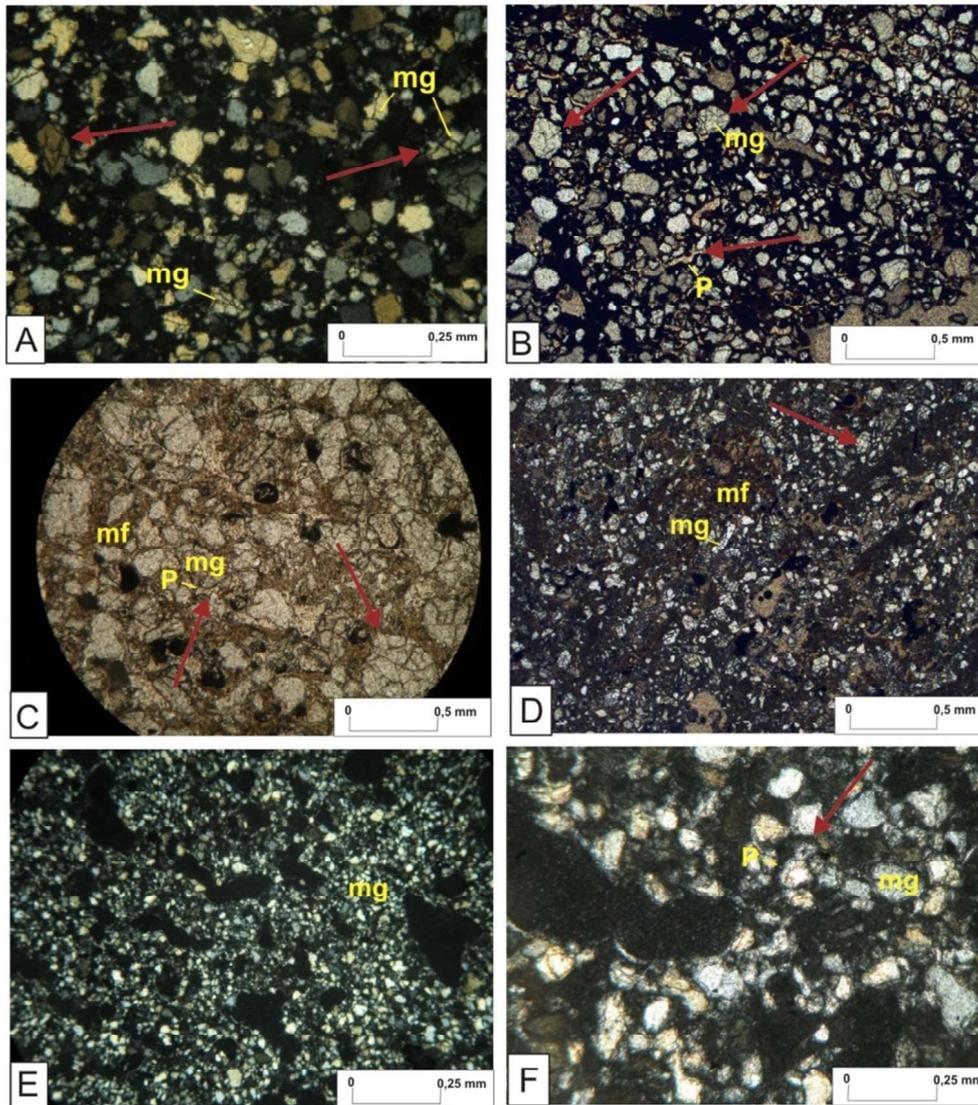


Figura 6 - Imagens de microscópio petrográfico de lâminas de amostras de solo da Unidade I. Onde A: fotomicrografia (nicóis cruzados) de lâmina do horizonte C1 (P1), que revela o estado fraturado dos minerais grossos; B: fotomicrografia (nicóis paralelos) de lâmina do horizonte 2C2 (P1), com presença de poros com empilhamento simples e minerais grossos fraturados; C: fotomicrografia (nicóis paralelos) de lâmina do horizonte C3 (P2), com presença de poros entre os grãos e destaque para o estado fraturado dos minerais grossos; D: fotomicrografia (nicóis cruzados) de lâmina do horizonte C5 (P2), com presença de material fino e poros planares retos; E: fotomicrografia (nicóis cruzados) de lâmina do horizonte C2 (P3), com presença de material grosso menor; F: fotomicrografia (nicóis cruzados) de lâmina do horizonte C2 (P3), exibindo poros entre os grãos, além dos poros em cavidades.

Os constituintes dos solos são semelhantes nas duas unidades, com material grosso dominado por quartzo e opacos, na Unidade I, e quartzo, muscovita e opacos na Unidade IV (Quadro 5). A micromassa apresenta cores e fábricas birrefringentes mais diversificadas na Unidade I. O mesmo ocorre para a distribuição relativa do fundo matricial. Em conjunto, esses aspectos sugerem maior grau de desenvolvimento para os solos dos perfis P1, P2 e P3.

As análises pontuais de investigação da composição química das lâminas demonstraram a presença nos solos da Unidade IV de elementos químicos menos estáveis frente ao processo intempérico sob condições climáticas tropicais, tais como: Mg, K, Ca e Na. Esses elementos se revelam menos frequentes nas análises dos solos da Unidade I, onde é mais comum a ocorrência de Fe, Al, Ti e Zr (PATTON, 1978).

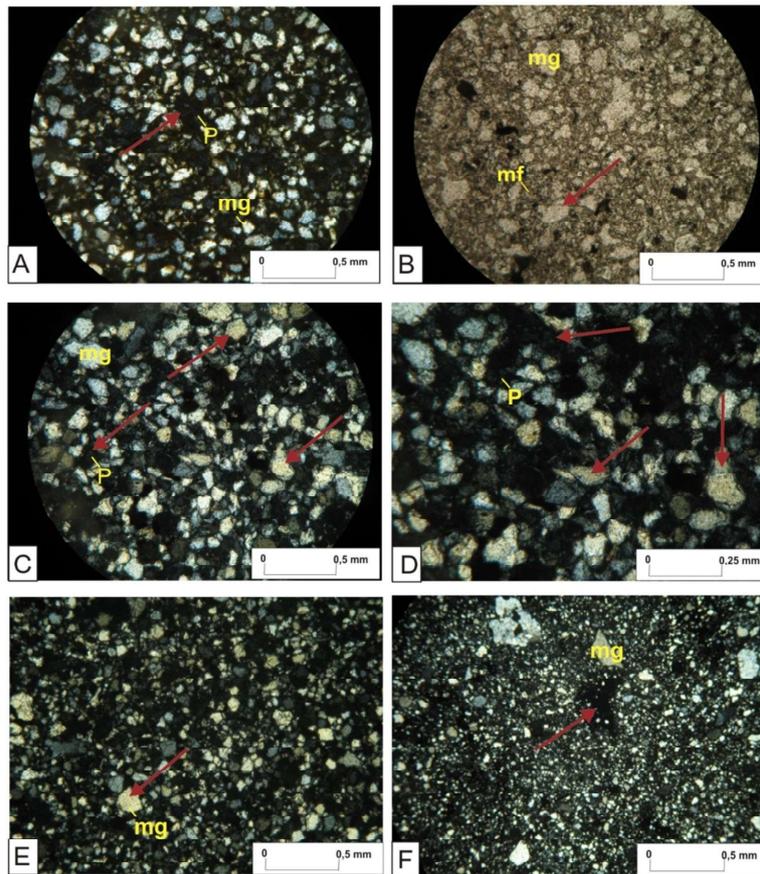


Figura 7 – Imagens de microscópio petrográfico de lâminas de amostras de solo da Unidade IV. Onde A: fotomicrografia (nicóis cruzados) de lâmina do horizonte C3(P4), com presença de poros empilhamento simples; B: fotomicrografia (nicóis paralelos) de lâmina do horizonte C4 (P4), com materiais grossos maiores e sem fraturas; C: fotomicrografia (nicóis cruzados) de lâmina do horizonte C2 (P6), materiais grossos maiores e sem fraturas, e o material fino raro com fábrica birrefringente indiferenciada; D: fotomicrografia (nicóis cruzados) de lâmina do horizonte C2 (P6) contendo poros em cavidade e material grosso sem desgastes e fraturas; E: fotomicrografia (nicóis cruzados) de lâmina do horizonte E (P7), com materiais grossos em bom estado, com pouca ou nenhuma fratura. F: fotomicrografia (nicóis cruzados) de lâmina do horizonte Bh1(P7) exibindo poros em cavidade em meio aos de empilhamento complexo.

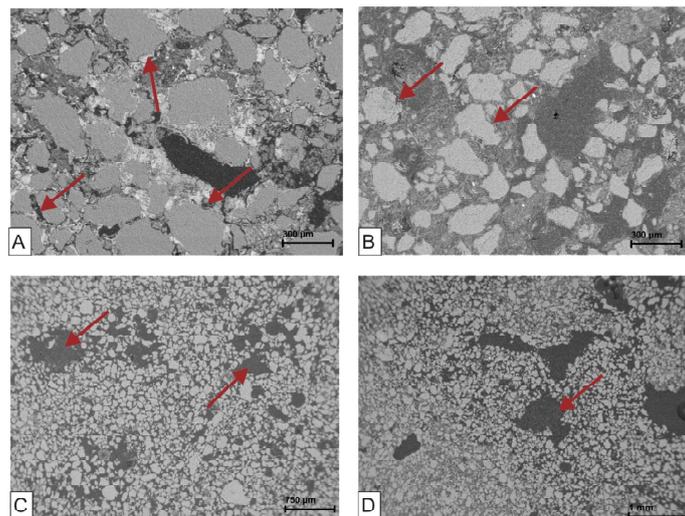


Figura 8 – Fotomicrografias dos solos das unidades geomorfológicas I (imagens A e B) e IV (C e D), obtidas no MEV. Onde: A: fotomicrografia do horizonte 2C2 do P1, que mostra a borda desgastada de quartzos e a formação de poros entre os grãos; B: fotomicrografia do horizonte C5 do P2, com presença de quartzos com borda desgastada; C: fotomicrografia do horizonte C4 do P4, contendo poros de cavidade; D: fotomicrografia do horizonte C2 do P6, contendo poros de cavidade.

## **Discussão**

Os resultados anteriormente apresentados subsidiam algumas correlações que se verificam entre a evolução das distintas unidades que compõem a configuração geomorfológica da área de estudo e o grau intempérico de sua cobertura pedológica.

As relações silte/argila e Fed/Fes, bem como os valores de  $K_i$ , sugerem que os solos da Unidade I se apresentam mais intemperizados e evoluídos quando comparados àqueles da Unidade IV. A investigação microscópica dos solos respalda essa condição pedogeomorfológica, notadamente no que se refere: (i) à distribuição dos materiais que compõem os solos expressa pela relação  $c/f_{2\mu}$ ; (ii) ao estágio de desenvolvimento dos materiais de granulação fina, segundo o qual os horizontes 2C2 do P1 e C5 do P2 da Unidade I se revelam mais desenvolvidos por apresentarem fábrica birrefringente indiferenciada, mas com tendência a se transformar em monoestriada. E, ainda, a assinatura vinculada (iii) à porosidade intergranular mais desenvolvida inerente aos materiais da Unidade I, assim como (iv) o estado de desgaste, e por vezes de fraturamento, dos quartzos observados no material da unidade IV, o que reforça a distinção do grau de intemperismo vigente nas unidades I e IV. Esse conjunto de assinaturas, aqui empregado no reconhecimento de possíveis diferentes graus intempéricos, decorre da aplicação de métodos de investigação pedológica empregados por demais pesquisadores em outras áreas no Brasil (MARQUES JÚNIOR, 1995; MOTTA *et al.*, 2002; CUNHA *et al.*, 2005; VIDAL-TORRADO *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2010; CAMPOS, 2012), e mesmo do globo (DANIELS *et al.*, 1971; ESWARAN e DAUD, 1980; RAHARDJO *et al.*, 2004; WIEDERHOLD *et al.*, 2007).

As assinaturas dos solos aqui explicitadas constituem indícios de que a evolução espaço-temporal das superfícies geomorfológicas que integram as unidades geomorfológicas I e IV ocorreu em situação de diacronismo. O mais acentuado grau de intemperismo dos solos presentes na superfície de cimeira do trecho investigado do Planalto do Espinhaço Meridional (Unidade I), comparado àquele registrado nos solos que ocupam a superfície altimetricamente mais rebaixada (Unidade IV), sugere que ambas as superfícies se estabeleceram em temporalidades distintas. Essas superfícies, dispostas em degraus individualizados, são separadas por unidades geomorfológicas constituídas por rampas de

alto gradiente que convergem para vão central ocupado pela drenagem (unidades II e III) (Figura 2), de modo que seus vales em vigorosa incisão vertical desmantelam e reduzem a extensão da superfície de cimeira. Concomitante ao recuo paralelo dessas rampas, a superfície geomorfológica que ocupa o degrau inferior é gradativamente formada e tem sua área expandida, originando solos mais recentes e, conseqüentemente, de menor grau intempérico que revestem a Unidade IV. Esse processo evolutivo se coaduna mais prontamente às concepções explicativas do relevo em que o recuo paralelo de escarpas constitui elemento fundamental na gênese e dinâmica das formas, bem como nas suas organizações espacial e altimétrica, tal como preconizado por Davis (1899), Penk (1953) e King (1956, 1962).

Há de se considerar também a marcante contribuição de aspectos geotectônicos para a evolução do relevo escalonado aqui investigado. No Planalto do Espinhaço Meridional, as estruturas tectônicas herdadas do Brasileiro e já amplamente descritas na literatura das geociências (OLIVEIRA e ALKMIM, 1994; ABREU, 1995; SAADI, 1995; ABREU e RENGGER, 2002; KNAUER, 2007), subsidiaram o estudo de Simões *et al.* (2016) voltado para o reconhecimento de estreita relação entre a distribuição espacial de suas formações superficiais e a configuração geológica regional, notadamente falhas, fraturas e nucleações anticlinais e sinclinais.

## **Considerações Finais**

Os resultados das análises dos atributos dos solos e da investigação das lâminas delgadas fundamentaram a compreensão da evolução geomorfológica da borda oeste do Planalto do Espinhaço Meridional. A organização em escadaria dessa paisagem, verificada tanto em planta como em perfil, teve sua origem associada a processo de dissecação transcorrido em longa temporalidade, mediante desmantelamento e rebaixamento parciais da Unidade I, resultando na elaboração da Unidade IV em posição altimétrica mais rebaixada. Tal origem foi aqui confirmada pelos resultados das análises pedológicas que revelam maior grau de intemperismo nos solos da Unidade I. Este estudo demonstra o quanto análises voltadas para a evolução do material pedogenético podem revelar acerca dos processos de formação e evolução do relevo, o que amplia o conhecimento e a acuidade de métodos de investigação destinados à compreensão da organização da paisagem geomorfológica.

## Referências Bibliográficas

- ABREU, P. A. A. Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): o rifte, a bacia e o orógeno. **Geonomos**, v. 3, n. 1, p. 1-18, 1995. DOI: 10.18285/geonomos.v3i1.211
- ABREU, P. A.; RENGER, F. E. Serra do Espinhaço Meridional: um orógeno de colisão do mesoproterozóico. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 32, n.1, p.1 – 14, 2002.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. A Ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: características e processos associados. **Geonomos**, v. 14, n. 2, p. 75-86, 2006. DOI: 10.18285/geonomos.v14i2.112
- ÁVILA, F. F. de **Análise da cobertura pedológica em uma toposequência na Bacia do Córrego dos Pereiras – Depressão de Gouveia/MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2009. 133p.
- BARROS, P. H. C. A.; VALADÃO, R. C. Aquisição e produção do conhecimento em Geomorfologia: a investigação geomorfológica e seus conceitos fundantes. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, v. 22, n. 2, p. 416-436, 2018. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2018.123896
- BENEDETTI, U. G.; VALE JÚNIOR, J. F. do; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos plioleustocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 299-312, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200002
- CAMARGO, M. N.; KLÄMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo SBCE**, v. 12, n. 1, p. 11-33, 1987.
- CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**, v. 8, n. 3, p. 963- 982, 2012. DOI: 10.5777/ambiencia.2012.05.01rb
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L. A. Relações solo-paisagem em uma litosequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 519-529, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000300012
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. da C. de Relações solo-superfícies geomórficas em uma toposequência várzea-terra firme na região de Humaitá (AM). **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 325-336, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000200002
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C. de Relações solo-paisagem em uma toposequência sobre substrato granítico em Santo Antônio do Matupi, Manicoré (AM). **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 13-23, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000100002
- CASTRO, S. S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. **Boletim Informativo da SBCE**, v. 10, n. 2, p. 1-44, 1985.
- CASTRO, S. S. **Micromorfologia de Solos: bases para descrição de lâminas delgadas**. 2a ed. Goiânia/Campinas: UFG-IESA, UNICAMP-IG-DGEO, 2008. 54p.
- COMIG. **Projeto Espinhaço**. Belo Horizonte, Cia. Mineradora de Minas Gerais (inclui 23 mapas geológicos na escala de 1:100.000). 1996. Disponível em: <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- CORINGA, E. A. O.; WEBER, O. L. dos S. Ponto de efeito salino nulo de Latossolos da Microbacia Chico Nunes, Mato Grosso. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 441-448, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000100042
- CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J. C. N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basáltica na região de Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 81-90, 2005. DOI: 10.1590/S0100-06832005000100009
- DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. E.; CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**, v. 23, p. 51-88, 1971. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60150-9
- DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **Geographical Journal of Royal Society**, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899. Disponível em: <[http://geomorphology.sese.asu.edu/Papers/Davis\\_1899.pdf](http://geomorphology.sese.asu.edu/Papers/Davis_1899.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- DINIZ, A. D.; OLIVEIRA, C. V. de; AUGUSTIN, C. H. R. R. Relação entre relevo, classes de solo e erosão no Espinhaço Meridional. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia / I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, V/I, 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM. 2004. p. 1-13. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/5/5/Alisson%20Duarte%20Rodrigues.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2018.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2a ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p. Disponível

- em:[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos\\_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf)>. Acesso em: 23 fev. 2018.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3a ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.
- 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, n. 4, p. 855-861, 1980. DOI: 10.2136/sssaj1980.03615995004400040040x
- FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F. Coleta e impregnação de solos para análise micromorfológica. **Comunicado Técnico EMBRAPA**, n. 20, p. 1-4, 2004. Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/download/comunicado\\_20.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/comunicado_20.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2018.
- GOLDICH, S. S. A study in rock weathering. **Journal of Geology**, v. 46, n. 1, p. 17-58, 1938. DOI: 10.1086/624619
- HACK, J. T. (1975) Dynamic equilibrium and landscape evolution. In: MELHORN, W.; FLEMAL, R. (ed.) **Theories of Landform Development**. Bringhamton: Suny: p. 91-102.
- HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**, v. 258A, p. 80-97, 1960.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2a ed. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2007. 316p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2018.
- KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P.; MELLO, P. F. Alterações mineralógicas em sequência Vertissolo-Litossolo na região da Campanha do Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 19, p. 349-357, 1995.
- KING, L. C. Geomorfologia do Brasil Oriental. **Rev. Bras. de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 147-265, 1956. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/RBG/RBG%201956%20v18\\_n2.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/RBG/RBG%201956%20v18_n2.pdf)>. Acesso em: 11 ago. 2018.
- KING, L. C. **Morphology of the Earth**. London: Oliver and Boyd, 1962. 799p.
- KNAUER, L. G. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: considerações sobre a sua estratigrafia e seu arranjo estrutural. **Geonomos**, v. 15, n.1, p. 81-90, 2007. DOI: 10.18285/geonomos.v15i1.109
- KUBIENA, W. L. **Micropedology**. Ames: Collegiate Press, 1938. 242p.
- LIMA, V. C. **Fundamentos de Pedologia**. Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2004. 233p.
- MARQUES JÚNIOR, J. **Distribuição e atributos dos solos em relação à forma e evolução de uma vertente em Monte Alto, SP**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura 'Luís de Queiroz', Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP. 1995. 226p.
- MELO, M. E.; JOHAS, R. A. L.; DURIEZ, M. A. M. Teores de ferro na fração terra fina e na argila por ataques sulfúrico e triácido e extração pelo DCB. In: III Reunião de Classificação e Correlação de solos e Interpretação de Aptidão Agrícola, 3, 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa. 1998. p. 211-232.
- MENEZES, M. L. **Caracterização micromorfológica das formações superficiais da bacia do Córrego do Quebra, Depressão de Gouveia, MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2006. 103p.
- MOTTA, P. E. F. da; CARVALHO FILHO, A. de; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JÚNIOR, W. de ; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 869-878, 2002. DOI: 10.1590/S0100-204X2002000600017
- NUNES, M. S.; CARVALHO, V. L. M.; OLIVEIRA, F. S.; SIMÕES, P. M. L.; VALADÃO, R. C. Indicadores micropedológicos da evolução do relevo no Planalto do Espinhaço Meridional, MG. **Rev. Bras. de Geomorfologia**, v. 16, n. 2, p. 201-218, 2015. DOI: 10.20502/rbg.v16i2.661
- OLIVEIRA, F.V.C. e ALKMIM, F. F. Estilo estrutural e curvatura da porção sul do front do Espinhaço. In: Cong. Bras. Geol., 38, 1994, Camboriu-SC. **Anais...** Camboriu:SBG, 1994. P. 259-260.
- PATON, T. R. **The Formation of Soil Material**. London: George Allen & Unwin, 1978. 143p.
- PENK, W. **Morphological analysis of landforms**. London: MacMillan and Co., 1953. 424p.
- PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Formas extraíveis de ferro em solos do Estado do Rio de Janeiro. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 371-382, 1999. DOI: 10.1590/S0100-06831999000200020
- RAHARDJO, H.; AUNG, K. K.; LEONG, E. C.; REZAUR, R. B. Characteristics of residual soils in Singapore as formed by

- weathering. **Engineering Geology**, v. 73, n. 1-2, p. 157-169, 2004. DOI: 10.1016/j.enggeo.2004.01.002
- RAMOS, A. L. L. de 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). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008. 139p.
- RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Uso das relações  $K_i$  e  $K_r$  na estimativa da mineralogia para classificação dos latossolos. In: III Reunião de Classificação e Correlação de solos e Interpretação de Aptidão Agrícola, 3, 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa. 1998. p. 225-232.
- ROCHA, L. C. **Caracterização pedológica em duas vertentes na bacia do Córrego do Quebra – Gouveia/MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2004. 110p.
- SAADI, A. A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. **GEONOMOS – Revista de Geociências**, v. 3, n. 1, p. 41-63, 1995. DOI: <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v3i1.215>
- SANTOS, A. do C.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; BERNINI, T. de A.; COOPER, M.; NUMMER, A. R.; FRANCELINO, M. R. Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio vale do Paraíba do Sul, RJ. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1297-1314, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000400027
- SANTOS, E. C. **Levantamento Pedológico e perda geoquímica na Bacia do Rio Pardo Pequeno**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2012. 91p.
- 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**. 5a ed. Viçosa: SBCS, 2005. 92p.
- SCHAEFER, C. E. R.; KER, J. C.; GILKES, R. J.; CAMPOS, J. C.; COSTA, L. M. da; SAADI, A. Pedogenesis on the upland of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. **Geoderma**, v. 107, n. 3, p. 43-269, 2002. DOI: 10.1016/S0016-7061(01)00151-3
- SIMÕES, P. M. L.; VALADÃO, R. C.; OLIVEIRA, C. V.; OLIVEIRA, F. S.; SANTOS, P. Distribuição espacial de formações superficiais geneticamente associadas a rochas siliciclásticas – Planalto do Espinhaço Meridional (MG) – Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 28, n. 1, p. 161-170, 2016. DOI: 10.1590/1982-451320160111
- SOBRAL, F. L.; BARRETO, M. C. de V.; SILVA, A. J. da; ANJOS, J. L. dos **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análise de Solos**. Aracaju: EMPRABA, 2015. 13p.
- STOOPS, G. **Guidelines for the analysis and description of soil and regolith thin sections**. Madison: SSSA, 2003. 184p.
- 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. In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia, 9, 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UGB/UFRJ. 2012. p. 1-5. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/7/7-583-85.html>>. Acesso em: 11 ago. 2018.
- VASCONCELOS, V.; MARTINS, E. de S.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; COUTO JÚNIOR, A. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; REATTO, A. Modelo de evolução pedogeomorfológica na Serra da Canastra, MG. **Rev. Bras. de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 197-212, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i2.379
- VIDAL-TORRADO, P.; MACIAS, F.; CALVO, R.; CARVALHO, S. G. de; SILVA, A. C. Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentinizadas no sudoeste de Minas Gerais. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 523-541, 2006. DOI: 10.1590/s0100-06832006000300013
- WIEDERHOLD, J. G.; TEUTSCH, N.; KRAEMER, S. M. A.; HALLIDAY, A. N.; KRETZSCHMAR, R. Iron isotope fractionation in oxic soils by mineral weathering and podsolization. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 71, n. 23, p. 5821-5833, 2007. DOI: 10.1016/j.gca.2007.07.023