

RAFAEL CARDOSO TEIXEIRA

**PEDOGEOMORFOLOGIA EM ÁREA DE GNAISSE E CORPOS INTRUSIVOS DE
PEGMATITOS E DIABÁSIOS NA SERRA DA PIEDADE EM VISCONDE DO RIO
BRANCO - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Liovando Marciano da Costa

Coorientadores: André Luiz Lopes de Faria

José João Lelis Leal de Souza

**VIÇOSA – MINAS GÉRIAS
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

T266p
2020
Teixeira, Rafael Cardoso, 1990-
Pedogeomorfologia em área de gnaiss e corpos intrusivos
de pegmatitos e diabásios na Serra da Piedade em Visconde do
Rio Branco - MG / Rafael Cardoso Teixeira. – Viçosa, MG,
2020.

89 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Liovando Marciano da Costa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 82-89.

1. Mapeamento geomorfológico. 2. Solos - Classificação.
3. Geomorfologia. 4. Relevo (Geografia). I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 551.41

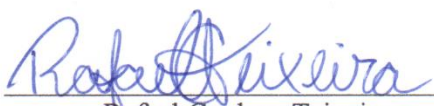
RAFAEL CARDOSO TEIXEIRA


**PEDOGEOLOGIA EM ÁREA DE GNAISSE E CORPOS INTRUSIVOS DE
PEGMATITOS E DIABÁSIOS NA SERRA DA PIEDADE EM VISCONDE DO RIO
BRANCO - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de setembro de 2020.

Assentimento:


Rafael Cardoso Teixeira
Autor


Liovando Marciano da Costa
Orientador

**Aos meu pais, Maria Eremita (*in memoriam*) e
Renato.
Aos meus irmãos, Marcos, Eliana (*in
memoriam*) e Gislene.
Aos meus sobrinhos.
À Mayara.
Aos meus amigos...**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Eremita (*in memoriam*) e Renato, pela dedicação que sempre tiveram por mim. Aos meus familiares, pela convivência e aprendizados.

Ao Prof. Dr. Liovando, pelos ensinamentos, oportunidades, convívio e exemplo. Além das suas contribuições à minha formação e orientação desta pesquisa.

Sou-lhe muito grato e tenho enorme satisfação em tê-lo tido como orientador.

Ao Prof. Dr. André Faria, pela coorientação, pelos ótimos ensinamentos, convívio, parceria, amizade, pelas grandes contribuições à minha formação e por todo auxílio no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. J.J. Lelis Leal de Souza, pela coorientação, pela excelente e prolongada história de colaboração nos meus estudos em solos, geomorfologia e pela ajuda na realização da leitura, análise e interpretação micromorfológica.

Ao Laboratório de Geomorfologia do Quaternário (DGE/UFV), pela parceria da sua equipe e ótima convivência. A estagiária Tatiana Custódio, por sua ajuda fundamental nos procedimentos laboratoriais.

Aos colegas e amigos de Pós-Graduação do Departamento de Solos, Raiza, Pablo, Carol, Miranda, Gaston e tantos outros que fizeram parte deste percurso.

A equipe da Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas e aos técnicos do Departamento de Solos da UFV: Ana Carolina (Carol), Helderson, Rosemeire, Cláudio, Evandro, Jorge, Nayan, Zélia e José Maurício, que sempre foram muito prestativos.

Aos colegas e amigos do IFMG-Ouro Preto, pela oportunidade de trabalho, aprendizado e convívio em um ano muito proveitoso.

Aos meus amigos, Fabrício, Raphael Fonseca, Maurício e Júlio César, que sempre me proporcionaram bons momentos e fizeram com que o meu percurso fosse mais prazeroso.

Ao povo brasileiro pelo financiamento dos meus estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de recursos aos trabalhos de campo e a realização das análises.

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

RESUMO

TEIXEIRA, Rafael Cardoso, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Setembro de 2020. **Pedogeomorfologia em área de gnaiss e corpos intrusivos de pegmatitos e diabásios na Serra da Piedade em Visconde do Rio Branco - MG.** Orientador: Liovando Marciano da Costa. Coorientadores: André Luiz Lopes de Faria e José João Lelis Leal de Souza.

Desde os primórdios da Ciência do Solo, o relevo e o material de origem são considerados importantes fatores de formação do solo. A relação entre a morfologia das vertentes (relevo), com seus padrões de formas, e o material de origem possuem uma dinâmica de influência mútua com os demais fatores, alterando diversos atributos dos solos. Onde a relação entre relevo e material de origem pode indicar a forma como ocorre o padrão de distribuição espacial dos atributos dos solos e suas relações diretamente dependentes a estes fatores de formação. Nesta pesquisa a vertente é a escala de detalhe utilizada por possibilitar avaliar as condições de base da evolução do relevo junto ao solo, no aspecto de suas tridimensionalidades, integrando as relações entre pedologia e topografia, tendo como auxílio a análise por pedossequência, que permite compreender a organização dos horizontes de solos ao longo da vertente. Dessa forma, o estudo objetiva analisar e classificar o relevo e também os solos representativos da APA Serra da Piedade e seu entorno, no município de Visconde do Rio Branco-MG, onde ocorrem uma diversidade de relevo, solos e litologias intrusivas (diabásio e pegmatito) sobre material metamórfico (gnaisse). Para o relevo, a pesquisa buscou avaliar as características morfométricas e morfológicas da área, a fim de realizar diversas classificações de base e a classificação final, o mapeamento geomorfológico da área de estudo. Quanto aos solos, a pesquisa buscou realizar o levantamento de solos representativos da área, avaliados em relação a diferença topográfica e do material de origem. Para compreender os solos representativos, a pesquisa utilizou análises físicas, químicas, mineralógicas, morfológicas e micromorfológicas. Nas questões geomorfológicas foram encontradas relações diretas entre os contatos litológicos e o grau de incisão dos vales, além de uma diversidade de modelados geomorfológicos em área relativamente pequena. Modelados de dissecação e acumulação, com valores de índice de dissecação do relevo que demonstram ambientes com morfogênese mais ativa associados com contatos litológicos e maior grau de declividade. Enquanto os solos analisados apresentam heterogeneidades influenciadas pela variabilidade litológica e de topografia. Apresentando variabilidade de valores físicos e químicos, mineralogia heterogênea e aspectos morfológicos (macro e micro) diversificados de acordo com os tipos de materiais de origem, intrusivo, metamórfico, autóctone ou alóctone. Apresentando também descontinuidade litológica e mais

duas propostas de classificação de descontinuidades, designadas como descontinuidades parental e pedogenética.

Palavras-chave: Mapeamento Geomorfológico. Classificação de Solos. Micromorfologia.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Rafael Cardoso, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2020. **Pedogeomorphology in gneiss area and intrusive bodies of pegmatites and diabases in the Serra da Piedade in Visconde do Rio Branco - MG.** Adviser: Liovando Marciano da Costa. Co-advisers: André Luiz Lopes de Faria and José João Lelis Leal de Souza.

Since the beginning of Soil Science, relief and parent material have been considered important factors in soil formation. The relationship between the slope morphology (relief), with its shape patterns, and the source material have a dynamic of mutual influence with the other factors, changing different soil attributes. The relationship between relief and parent material can indicate how the spatial distribution pattern of soil attributes occurs and its relationships directly dependent on these formation factors. In this research, the slope is the detail scale used to evaluate the basic conditions of the evolution of the relief close to the soil, in the aspect of its three-dimensionality, integrating the relations between pedology and topography, having as support the analysis by pedosequence, which allows to understand the organization of soil horizons along the slope. Thus, the study aims to analyze and classify the relief and also the representative soils of the APA Serra da Piedade and its surroundings, in the municipality of Visconde do Rio Branco-MG, where there is a diversity of relief, soils and intrusive lithologies (diabase and pegmatite) over metamorphic material (gneiss). For the relief, the research sought to evaluate the morphometric and morphological characteristics of the area, in order to perform various basic classifications and the final classification, the geomorphological mapping of the study area. As for the soils, the research sought to perform out the survey of representative soils of the area, evaluated in relation to the topographic difference and the parent material. To understand the representative soils, the research used physical, chemical, mineralogical, morphological and micromorphological analyzes. In geomorphological questions, direct relationships were found between lithological contacts and the degree of valley incision, in addition to a diversity of geomorphological models in a relatively small area. Modeling of dissection and accumulation, with values of dissection index that demonstrate environments with more active morphogenesis associated with lithological contacts and greater degree of slope. While the analyzed soils present heterogeneities influenced by lithological and topographic variability. Presenting variability of physical and chemical values, heterogeneous mineralogy and morphological aspects (macro and micro) diversified according to the types of parent materials, intrusive, metamorphic, autochthonous or allochthonous. Also presenting

lithological discontinuity and two more proposals for classification of discontinuities, designated as parental and pedogenetic discontinuities.

Keywords: Geomorphological Mapping. Soil Classification. Micromorphology.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	11
CAPÍTULO 1.....	16
MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA SERRA DA PIEDADE E SEU ENTORNO.....	16
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.1. Localização e caracterização da área de estudo.....	17
2.2. Procedimentos metodológicos.....	18
2.3. Base de dados.....	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
3.1. Taxonomia do Relevo da APA Serra da Piedade e entorno.....	21
3.2. Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente.....	23
3.3. Mapa de declividade.....	25
3.4. Índice de Dissecção do Relevo (IDR).....	26
3.4.1 Proposta Final de Classificação do IDR para a área de estudo.....	32
3.5. Classificação das vertentes.....	33
3.5.1. Perfil de Curvatura.....	34
3.5.2. Plano de Curvatura.....	35
3.5.3. Formas do Terreno.....	35
3.6. Modelados geomorfológicos da APA Serra da Piedade e seu entorno.....	38
4. CONCLUSÕES.....	42
CAPÍTULO 2.....	43
VARIABILIDADE GEOLÓGICA SUPERFICIAL EM RELAÇÃO ÀS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, MINERALÓGICAS, MACRO E MICROMORFOLÓGICAS DOS SOLOS DA APA SERRA DA PIEDADE E SEU ENTORNO.....	43
1. INTRODUÇÃO.....	43
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
2.1. Localização e caracterização da área de estudo.....	45
2.2. Procedimentos de coleta e análises.....	48
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.1. Propriedades Morfológicas.....	52
3.2. Propriedade Físicas.....	54
3.3. Propriedades químicas.....	58

3.3.1. Análise química de rotina do solo.....	58
3.3.2. Análise química por ICP-OES e ICP-MS.....	61
3.4 Composição mineralógica das frações areia e argila do solo	65
3.5. Análise Micromorfológica.....	67
3.5.1. Fundo Matricial e Fábrica: proporção entre material grosseiro, fino e poros...75	
3.5.2. Pedalidade	78
3.5.3. Feições Pedológicas.....	79
4. CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

INTRODUÇÃO GERAL

A área de proteção ambiental (APA) Serra da Piedade, localizada no município de Visconde do Rio Branco-MG, com área total de 44,497 km², contém um contexto pedogeomorfológico bastante diverso devido a eventos geológicos e geomorfológicos passados que ocasionaram particularidades bem explícitas na paisagem atual.

A paisagem da área de estudo apresenta desníveis abruptos do relevo e contatos litológicos entre a rocha encaixante, o gnaisse, e as rochas intrusivas, diabásios e pegmatitos espalhados pontualmente pela área da serra, sendo um fator estrutural bastante proeminente tanto no desenvolvimento das formas do relevo quanto no desenvolvimento dos solos da área.

A relação entre solos e relevo é discutida desde os primórdios da Ciência do Solo, quando Dokuchaev (1893), segundo Jenny (1941), considerou o relevo como um dos principais fatores de formação do solo. A partir destes autores e o posterior desenvolvimento dessa ciência, compreendeu-se que diversos atributos do solo são alterados e influenciados pelos padrões de formas das vertentes, que possuem uma dinâmica de influência mútua com os demais fatores, alterando os atributos físicos, químicos, mineralógicos e morfológicos dos solos (BELTRAME, 1997; BOCQUIER, 1971; ÁVILA e CARVALHO, 2012).

A relação entre solo e relevo pode indicar a forma como ocorre o padrão de distribuição espacial dos atributos do solo e suas relações diretamente dependentes do material de origem e da disposição do relevo (BUI *et al.*, 1999), especificamente na morfologia da vertente.

A morfologia da vertente é a referência do 5º Táxon da Taxonomia do Relevo proposta por Ross (1992), caracterizado como uma proposta norteadora para a realização do mapeamento geomorfológico, ao qual também passa a ser um dado morfométrico necessário para o mapeamento dos modelados geomorfológicos (IBGE, 2009).

É sobre a vertente que se insere o conceito de pedossequência, sendo este definido como uma sequência de solos considerando a vertente como fator genético predominante (CURI e FRANZMEIER, 1983). A vertente é também a escala espacial que possibilita avaliar as condições de base da evolução do relevo junto ao solo em nível multiescalar, de detalhe da vertente ao ultra detalhe dos solos (micromorfologia), com integração da topografia e pedologia (RUELLAN *et al.*, 1984; BOULET, 1988).

Em relação a perspectiva multiescalar, Campos *et al.* (2011) argumentam que o solo é um corpo de base tridimensional que possui uma dinâmica associada à paisagem ao qual está inserida (MINASNY e MCBRATNEY, 2006) e, portanto, ao aspecto visual, morfológico e funcional que se baseia na compreensão de que o relevo, a litologia e os solos são partes dos componentes que integram a paisagem (MOURA-FÉ, 2019).

Bui *et al.* (1999) complementam destacando que a relação entre o solo e a paisagem possibilita a compreensão da distribuição espacial dos solos e de seus atributos de acordo com a morfologia do relevo. Onde os estudos multiescalares, da geomorfologia (macroescala) à pedologia (escala local), ajudam a compreender a morfologia dos solos quando são corretamente somados às análises laboratoriais físicas, químicas e mineralógicas, pois estas são imprescindíveis para o entendimento da dinâmica e processos ocorrentes nas vertentes, portanto no relevo (ÁVILA e CARVALHO, 2012).

Quanto a distribuição espacial de solos na vertente, esta tem como base a variabilidade do material de origem e da topografia (Jenny, 1941), que dinamizam a variabilidade dos atributos do solo (SOMMER, 2006).

A vertente é influente na orientação do fluxo das águas e o conseqüente transporte e deposição de massa, solutos minerais e orgânicos ao longo da mesma (SOMMER, 2006) por migrações laterais (lateralidade) de montante para jusante, onde o acúmulo ocorre de jusante para montante (BOCQUIER, 1971) de acordo com a mudança na velocidade da água durante a drenagem, mais rápida na porção superior e mais lenta na porção inferior da vertente (GERRARD, 1981).

Já Zaslavsky e Rogowski (1969) e Gobin *et al.* (2001) complementam ao indicar que o fluxo da água nas vertentes é responsável pelo desenvolvimento do solo e pela distribuição de suas propriedades. Dessa forma a descrição e compreensão das formas do relevo, por classificação das vertentes, como por exemplo as nove unidades hipotéticas de vertentes de Dalrymple *et al.* (1968), é um fator primordial para o entendimento da distribuição dos atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo diante de suas pedoformas (SIRTOLI *et al.*, 2008a).

A distribuição dessas propriedades ao longo da vertente é decorrente da complexidade de relações entre o declive de suas formas e a relação com o lençol freático (GERRARD, 1981), proporcionando a formação de solos alóctones e solos autóctones, provenientes de distintos

materiais de origem associados à gênese eluvial ou coluvial, onde o estudo micromorfológico é uma análise que auxilia na compreensão dos solos relacionados aos seus fatores de formação.

Com relação as influências exercidas pelo relevo nos atributos do solo, destacam-se os aspectos físicos do solo (CEDDIA *et al.*, 2009; FACCO *et al.*, 2012; BATISTA, 2018), tal como a porosidade e fluxo hídrico (BELTRAME, 1997; JUHÁSZ *et al.*, 2007; MONTANARI *et al.*, 2010).

Nos aspectos químicos, o relevo influencia na distribuição e variabilidade química e mineralógica (BOCQUIER, 1971; GHIDIN *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2016) incluindo as bases trocáveis (QUEIROZ NETO, 2011).

Além dos aspectos físicos, químicos e mineralógicos, o relevo influencia a morfologia de solos (GERRARD, 1981; SANCHEZ *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2013) e estes influenciam concomitantemente as vertentes (DALRYMPLE *et al.*, 1968; ZASLAVSKY e ROGOWSKI, 1969).

Segundo Jenny (1941) e Queiroz Neto (2011), todo o desenvolvimento do solo, incluindo a distribuição e variabilidade de suas propriedades, está diretamente relacionado à circulação hídrica dos solos ao longo da vertente (relevo).

Essa circulação hídrica provoca a redistribuição de massa e energia, havendo, portanto, a migração, o transporte, a exportação e a acumulação de sedimentos e íons (TRICART e KILIAN, 1979) em determinadas porções da vertente de acordo com o grau de estabilidade/instabilidade, predominando a pedogênese ou morfogênese (ERHART, 1956).

Essa questão de movimentação de massa e energia, como a translocação e redeposição de constituintes químicos móveis na vertente, segundo Gerrard (1981), é apontando como uma questão de suma importância na compreensão da relação solos e relevo desde a proposta de Milne (1935), com o conceito de catena.

Dessa forma, os estudos da relação entre relevo e solos, simplificado nas propriedades dos solos ao longo das vertentes possuem sua importância. A relação entre relevo e solos e a sua correlação com o material de origem, quando este é bastante diverso, torna-se importante para a compreensão do desenvolvimento dos solos em sua tridimensionalidade, abrangendo desde estudo macromorfológicos (campo) até de maior detalhe, como a micromorfologia de solos.

Os solos da área de estudo possuem uma relação bastante próxima com a diversidade do relevo e do material de origem. De acordo com Espindola (2017), uma das dificuldades que o especialista em solos se depara é a questão de o material de origem ser de natureza autóctone (*in situ*) ou alóctone (coluvial). Algo comum em ambientes de variação comum do relevo e sua consequente declividade, onde a mineralogia, variabilidades físico-químicas ou datações vão responder a dúvida sobre a sua natureza de origem.

Segundo Espindola (2017), mudanças de padrões ambientais inseriram uma noção além do tempo zero referente ao material de origem, provocando pedogênese superposta em materiais alóctones e/ou autóctones. Essa superposição de materiais, segundo o autor, pode ser mais facilmente observada em solos pouco profundos e menos desenvolvidos do que em solos mais profundos e desenvolvidos.

Segundo Kuzila (1995), Novaes Filho *et al.* (2012) e IBGE (2015) algumas relações como a relação textural, a relação zircão/turmalina (ESPINDOLA, 2017) e mesmo propriedades morfológicas, como esfericidade, arredondamento e grau de seleção auxiliam na identificação do material de origem alóctones e/ou autóctones quanto a existência ou não de descontinuidade litológica (IBGE, 2015) ao qual o perfil de solo pode se desenvolver.

A área da pesquisa é caracterizada como uma zona de escarpa, sendo uma transição entre dois patamares caracterizados como planalto de Viçosa, pertencente ao Domínio das Colinas Policonvexas e a depressão de Ubá, ambos associados aos domínios estruturais (GRADIM *et.al.*, 2014)

Na área da escarpa existem contatos litológicos em diversos pontos. Souza (2017) argumenta de forma clara que contato geológico ou litológico é o que separa duas litologias distintas. Assim, na área de pesquisa foi constatado a presença de contatos litológicos entre três litologias, o gnaiss como material de origem predominante e corpos intrusivos, como pegmatitos e diabásio associados às fraturas.

Espacialmente espalhados ao longo da escarpa ou Serra da Piedade, há locais onde existe o contato litológico de gnaiss-pegmatito, gnaiss-diabásio, pegmatito-diabásio, além de contato triplo, com gnaiss-pegmatito-diabásio (Figuras 26 e 27). Nesses ambientes de contatos litológicos, em geral, foi observado a presença de processos erosivos mais contundentes, ocasionando a formação de vales em V ou vertentes mais declivosas onde solos menos desenvolvidos são geralmente encontrados.

O pegmatito, uma das litologias intrusivas da área de estudo, possui caráter granítico ou não granítico (LONDON, 2008), com constituição mineralógica característica de quartzo-feldspato potássico e plagioclásio sódico (DIAS *et al.*, 2013), podendo ser classificado de acordo com Correia Neves *et al.* (1986) como pegmatitos simples (mineralogia pouco diversificada) ou complexo (mineralogia bastante diversificada).

O diabásio, o segundo tipo de litologia intrusiva da área de estudo, ocorre encaixado em estrutura rúpteis com contatos abruptos sobre planos de fraturas, apresentando coloração escura (preta e esverdeada) quando inalterado e avermelhada quando intemperizado e sobre solos desenvolvidos (DIAS *et al.*, 2013). Segundo Williams *et al.* (1982), o diabásio possui granulação variando de fina a média e é constituído por plagioclásio, feldspato potássico, clinopiroxênio, ortopiroxênio e anfibólios como minerais essenciais, além de óxidos de Fe como minerais secundários.

Dessa forma, utilizando de análise em perspectiva multiescalar, da paisagem com a geomorfologia perante o seu mapeamento e compreensão da dinâmica geomorfológica, passando pela vertente e solos, de acordo com as suas características químicas, físicas, mineralógicas e morfológicas, e fechando com a escala micro, na micromorfologia ou micropedologia de solos (KUBIENA, 1938), o estudo busca analisar como alguns dos componentes pedogeomorfológicos da área de estudo estão relacionados.

CAPÍTULO 1

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA SERRA DA PIEDADE E SEU ENTORNO

1. INTRODUÇÃO

O relevo é produto da história climática, geológica e biológica de determinado ambiente, além de ser um fator controlador da pedogênese e, portanto, da dinâmica da água superficial e subsuperficialmente de acordo com a orientação das vertentes (GOMES JUNIOR, 2017).

Os estudos do relevo, das representações geomorfológicas, possuem na base cartográfica uma maneira de representar os fatos geomorfológicos. Os mapas, em múltiplas escalas, demonstram a espacialização das diferentes formas de relevo e suas relações com a estrutura e com a dinâmica dos processos pedogenéticos, considerando, segundo Casseti (2005), as suas particularidades em escala local.

O mapeamento geomorfológico possui a função primordial de apresentar o alicerce e a síntese dos processos relacionados à pesquisa geomorfológica e não somente o resultado em si do estudo (OLIVEIRA e CHAVES, 2010), onde Ross (1992), baseado em Tricart (1965), argumenta que o mapeamento geomorfológico compõe “a base da pesquisa e não a concretização gráfica de pesquisa já feita”.

Logo, a função do mapeamento geomorfológico é representar, em escala adequada, de forma clara e direta, os atributos e características do relevo, incluindo a razão da sua gênese, com os processos estruturais e climáticos, e os processos e formas atual.

Para o mapeamento geomorfológico, a construção da morfologia do relevo por meio de ambiente SIG é o processo de extração quantitativa dos atributos da topografia (MUÑOZ, 2009). Os métodos de classificação atuais possibilitam a subdivisão das formas em elementos do relevo, multiescalar, que são um conjunto de parcelas de um tipo de relevo relativamente homogênea em relação ao plano e perfil de curvatura, inclinação e posicionamento na paisagem (MACMILLAN E SHARY, 2009).

Assim, o presente capítulo busca realizar o mapeamento geomorfológico e a compreensão da dinâmica geomorfológica da Área de Proteção Ambiental (APA) Serra da Piedade e seu entorno, localizado no município de Visconde do Rio Branco-MG, área interfluvial entre as bacias hidrográficas dos rios Doce e Paraíba do Sul.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo está situada na divisa dos municípios de Visconde do Rio Branco e Paula Cândido, localizados na região da Zona da Mata de Minas Gerais, totalizando uma área de estudo de aproximadamente 44,497 km² (Figura 1). As áreas dos dois municípios pertencem, em sequência, aos seguintes domínios estruturais: Depressão de Ubá e ao Domínio de Colinas Policonvexas (GRADIM *et al.*, 2014).

Quanto ao contexto hidrológico, a área está inserida nas porções de alta montantes das bacias hidrográficas do Rio Paraíba do Sul e do Rio Doce, onde a APA é uma porção do divisor de água entre estas duas bacias hidrográficas.

A área mapeada da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul situa-se na área dos córregos Santa Maria, Milagres, Água Fria e São Francisco, que são tributários dos rios Xopotó, Pomba e Paraíba do Sul. Enquanto na bacia hidrográfica do Rio Doce, a área mapeada integra os córregos do Alto da Serra e Santa Rosa, tributários dos rios Turvo Limpo e Turvo Sujo, Piranga e Doce.

A área foi escolhida por apresentar uma heterogeneidade geomorfológica entre dois patamares (Figuras 1 e 2), por razão da presença de diferentes formas de relevo e também por apresentar fraturas e uma heterogeneidade litológica entre gnaisses e litologias intrusivas, com diques de rochas máficas do tipo diabásio (Era Mesozoica) e de pegmatito (Período Ediacarano) que pertencem a Suíte Pegmatítica Paula Cândido (GRADIM *et al.* 2014).

Na área mapeada, tanto no planalto de Viçosa (Domínio das Colinas Policonvexas) quanto na depressão de Ubá, a variação de altitude entre os topos de morros e o fundo dos vales pode chegar a 80 m (880 e 800m), enquanto na escarpa ocorre uma variação de altitude que pode chegar entre 935 m e 400 m.

Quanto aos solos, existe uma diversidade de pedons influenciado pela variabilidade litológica e geomorfológica na área de estudo. As classes de solos mais representativas da área são: latossolos, nitossolos, cambissolos e neossolos.

Quanto a relação dos solos com a geomorfologia e o material de origem, os latossolos estão presentes em áreas de menor declividade, desenvolvidos sobre gnaisses ou material coluvial. Os nitossolos são formados a partir de diabásio em superfície e em geral, menor declividade.

Os cambissolos estão presentes nas áreas de maior declividade ou em local de contato litológico, onde existe diversidade de materiais de origem. Enquanto os neossolos estão associados a ambientes de maior declividade ou material de origem mais grosseiro, como os pegmatitos.

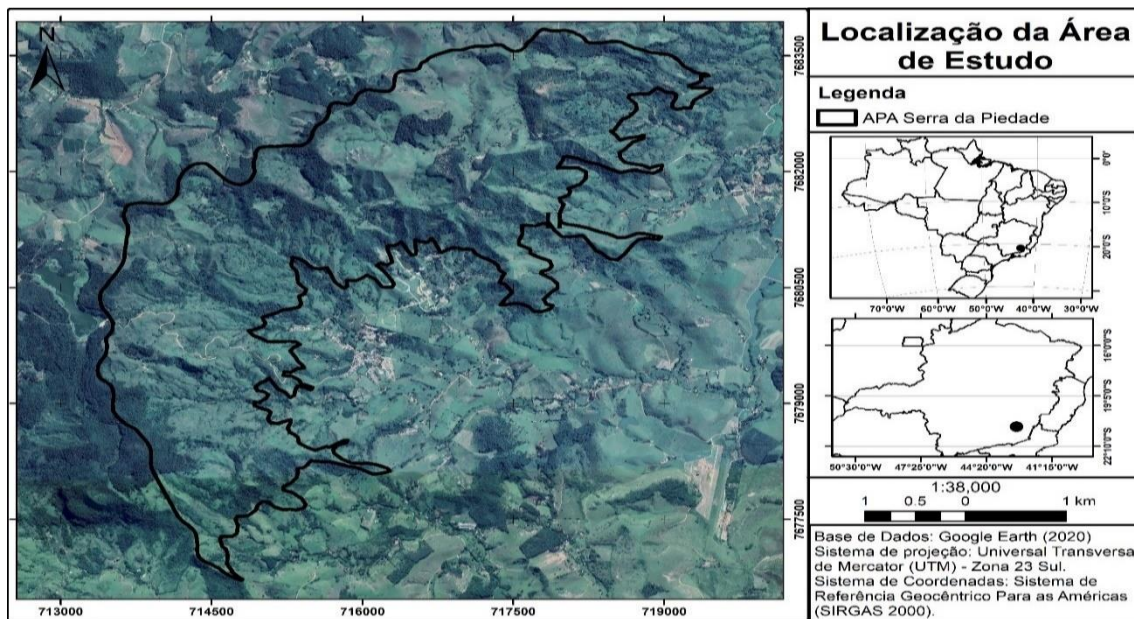


Figura 1: mapa de localização da área de estudo.

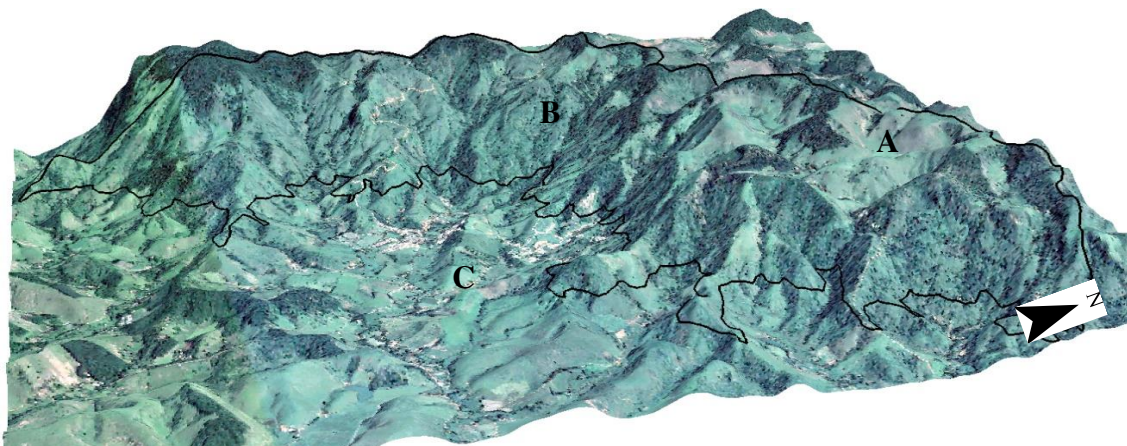


Figura 2: Modelo tridimensional da área da APA Serra da Piedade e seu entorno. A – planalto de Viçosa; B – escarpa tectônica da Serra da Piedade; C – depressão de Ubá.

2.2. Procedimentos metodológicos

Fez-se o download de imagens de digital elevation model (modelo digital de elevação - MDE) do sistema de satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite) e seu radar polarimétrico de abertura sintética de banda larga PALSAR (Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar), com resolução espacial de 12,5 m.

A partir dessas imagens foram produzidos os materiais de geoprocessamento, MDE, drenagem, declividade, modelagem do grau de entalhamento dos vales (GEV), dimensão

interfluvial média (DIM), índice de dissecação do relevo (IDR), formas do terreno e classificação das vertentes que vão possibilitar a confecção dos parâmetros necessários para a análise e mapeamento dos modelados geomorfológico.

A classificação geomorfológica foi baseada principalmente em Tricart (1965), nos táxons do relevo (ROSS, 1992; IBGE, 2009) e os parâmetros de mapeamento geomorfológico estabelecidos pelo Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009). Além dos trabalhos relacionados ao mapeamento geomorfológico, tais como Caseti (2005), Pavlopoulos *et al.* (2009), Passo *et al.* (2010), Rodrigues (2010), Augustin *et al.* (2011) e Marques Neto *et al.* (2015).

A caracterização das vertentes, formadas a partir do intemperismo na diversidade litológica que engloba gnaisse, diabásio e pegmatitos, foi feita a partir das variáveis morfográficas como perfil e plano de curvatura. A fim de diagnosticar as características semelhantes e diferentes das vertentes, a partir da compilação das curvaturas foi criado o mapa de classificação das vertentes (DIKAU, 1990; VALERIANO, 2008b).

A formulação final do mapeamento das classes geomorfológicas foi construída sobre quatro níveis hierárquicos dos compartimentos do relevo, baseando-se nos procedimentos metodológicos da proposição do IBGE (2009), denominado de Estrutura Taxonômica do Mapeamento Geomorfológico (Figura 3).

No primeiro nível de classificação ou primeira ordem de grandeza, está o táxon Domínios Morfoestruturais, que é em escala regional, composto pelos grandes compartimentos e agrupado em consonância com critérios geotectônicos (IBGE, 2009).



Figura 3: Proposta da estrutura taxonômica utilizada na área da pesquisa.

O segundo nível de classificação são as Regiões Geomorfológicas, que englobam as feições semelhantes. O terceiro nível corresponde às Unidades Geomorfológicas, que considera as semelhanças fisionômicas e altimétricas do relevo. Onde os processos de gênese, formação e os modelados possuem características singulares. O quarto nível de classificação são os

modelados, que abrangem um padrão de formas do relevo com definição geométrica semelhante e processos morfogenéticos atuantes comuns (IBGE, 2009).

A classificação geomorfológica da área foi verificada em duas etapas: a primeira foi para o reconhecimento do padrão das formas, subsidiando a interpretação visual das imagens; a segunda foi para a validação final do mapa geomorfológico (Figura 4).

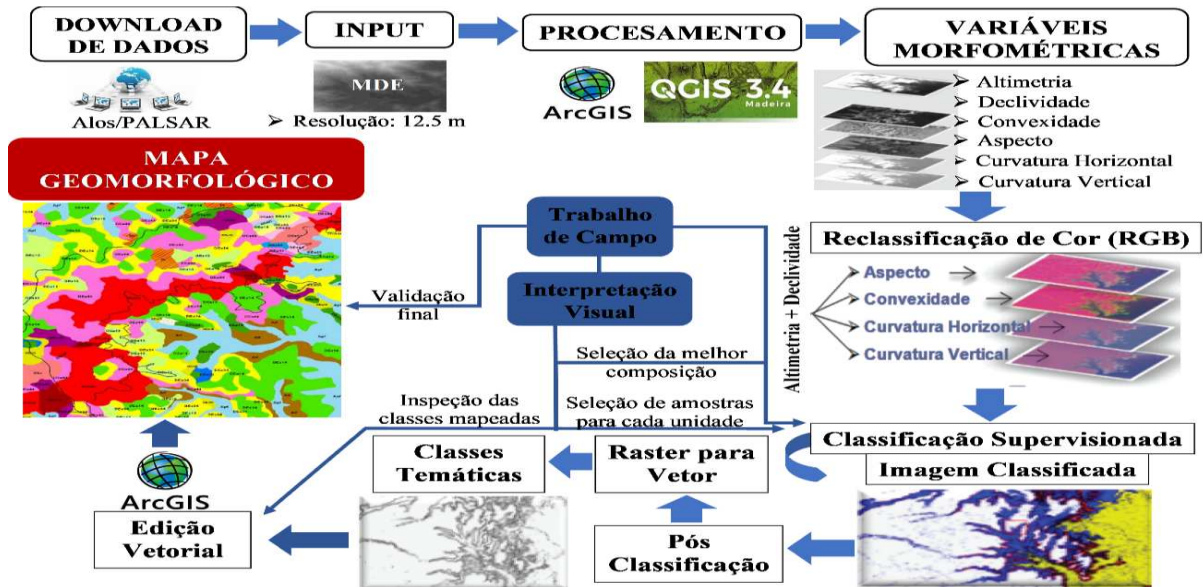


Figura 4: fluxograma representativo da chave de interpretação de ações e análises das principais etapas realizadas para o mapeamento geomorfológico.

Sobre uma área representativa de vales em V, foi traçado um voo de remot pilot aircraft (RPA), com obtenção de imagens para a formulação de um MDEhc com resolução espacial de 1 x 1 m, para obter um perfil topográfico representativo da área.

2.3. Base de dados

O mapa geomorfológico foi baseado nos seguintes dados: base geológica (compartimentação estrutural e tectônica), base hidrográfica (rede de drenagem), imagens ALOS PALSAR, para o modelo digital de elevação hidrológicamente consistente (MDEhc) e seus dados morfométricos derivados, entre os quais, declividade, índice de dissecação do relevo (IDR), perfil e plano de curvatura, e forma do terreno. De acordo com Valeriano (2008a), quando esses mapeamentos são combinados, servem para caracterizar o relevo de forma mais completa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista a importância da subdivisão da área em taxonomias distintas, o primeiro mapa geomorfológico (Figura 6) destaca as seguintes taxonomias: morfoestruturas, regiões geomorfológicas (RG) e unidades geomorfológicas.

As interpretações e análises dos mapeamentos possibilitaram a organização da chave de interpretação (Figura 4). Todos os mapeamentos foram estruturados para atender a compreensão dos aspectos morfométricos e morfológicos da área. Estes aspectos são processamentos base para a obtenção, interpretação e compreensão geomorfológica local ou regional, inclusive o mapa de modelados geomorfológicos (Figura 23).

Para isso, foram produzidos dez mapas ou conjuntos de mapas de base: mapa geológico (Figura 5), mapa de estrutura taxonômica até o terceiro nível de classificação geomorfológica (Figura 6), MDEhc (resolução espacial de 12,5 x 12,5 m) e MDEhc com Remot Pilot Aircraft (RPA) com resolução espacial de 1 x 1 m (Figura 7), declividade (Figura 9), grau de entalhamento dos vales - GEV, dimensão interfluvial média - DIM e índice de dissecação do relevo - IDR (Figuras 10, 13 e 14), perfil de curvatura (Figura 18), plano de curvatura (Figura 19), formas do terreno (Figura 20) e classificação das vertentes (Figura 21).

3.1. Taxonomia do Relevo da APA Serra da Piedade e entorno

O processo se iniciou pela análise e interpretação do material cartográfico existente. A primeira classe taxonômica geomorfológica foi o do Domínio Morfoestrutural Cinturão Móvel Neoproterozoico (DMCMN), que corresponde ao 1º táxon (IBGE, 2009) e de idade compreendida entre 1 bilhão a 542 milhões anos AP, identificado pela litologia (Figuras 5 e 6).

A área possui uma diversidade de litologias baseadas em rochas metamórficas, como o gnaisse e rochas de caráter magmático, como as intrusões de diques de diabásio e de pegmatitos. Essa variabilidade litológica é decorrente da intrusão da Suíte Paula Cândido (suíte pegmatítica), formada por cisalhamento e composta por rochas leucocráticas, com composição mineralógica básica de quartzo, feldspato potássico, muscovita, biotita e rara turmalina, apresentando textura gráfica localizada e granulação variando entre grossa a muito grossa (GRADIM *et. al.*, 2011).

Na base geológica, não existem mapas geológicos/litológicos detalhados para a área (Figura 5). Foram os levantamentos de campo para o reconhecimento da área que demonstraram

a diversidade litológica (gnaisse, pegmatito e diabásio), de contatos litológicos e falhas presentes na área de estudo.

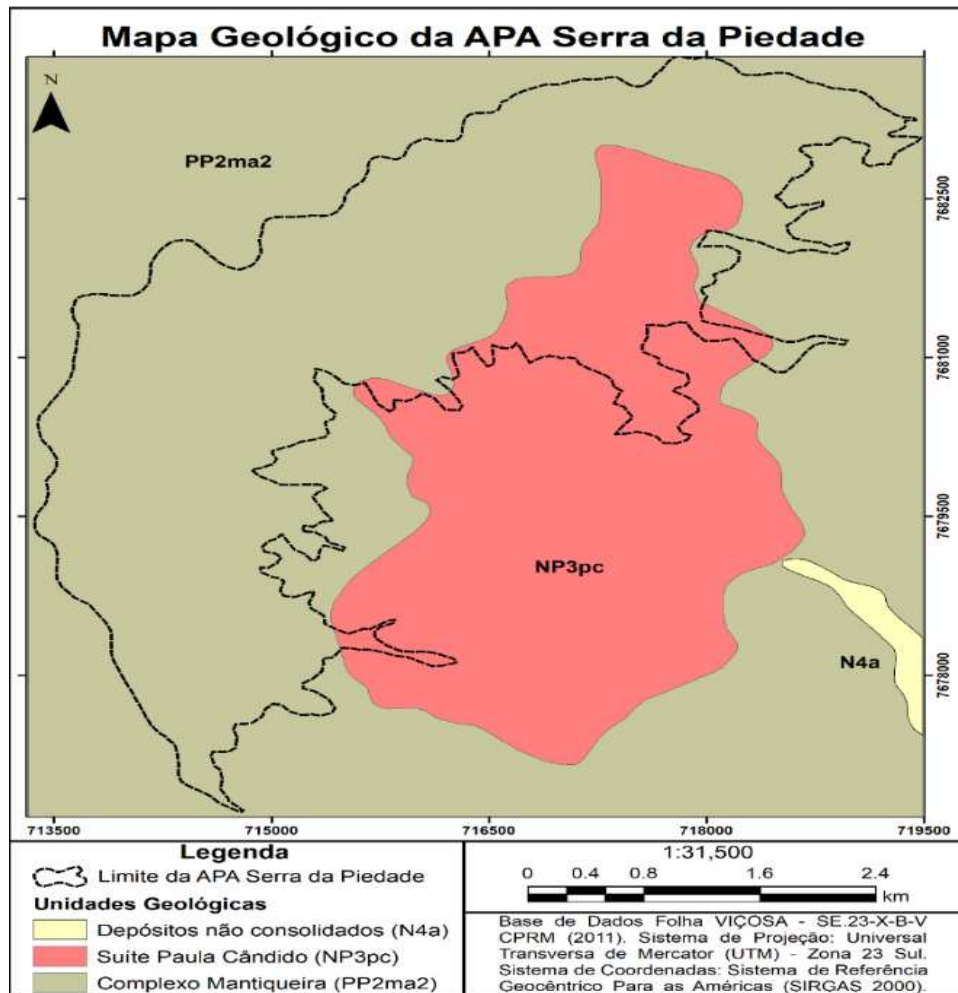


Figura 5: Mapa geológico da área de estudo.

Os segundo e terceiro táxons da área estão em contato entre três diferentes ambientes: i) RG Planaltos do Leste de Minas e UG Patamares do Alto Rio Doce, denominado também de planalto dissecado de Viçosa; ii) RG Depressões do Rio Paraíba do Sul e UG Depressões dos Rios Pomba e Muriaé, denominado também de depressão interplanáltica de Ubá, e iii) alinhamento serrano (área da APA), ao qual não é um táxon, porém, é um ambiente importante e distinguível geomorfologicamente do entorno.

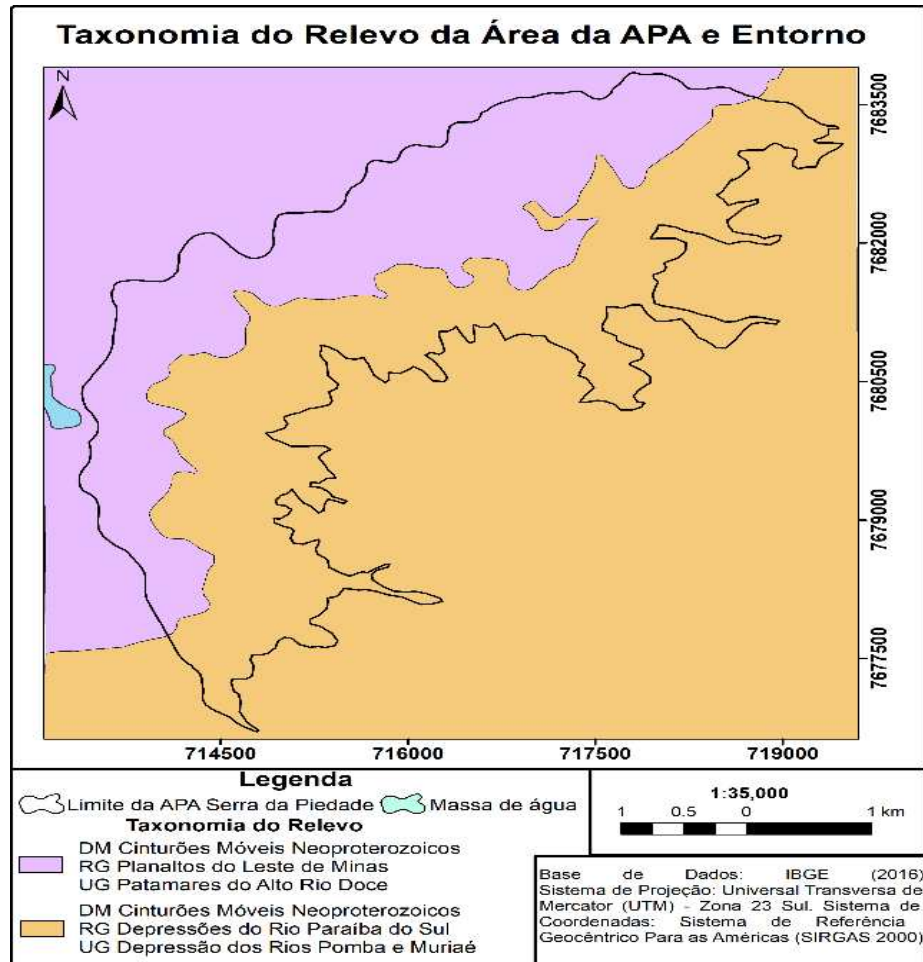


Figura 6: Taxonomia do relevo da área de estudo (IBGE, 2009; IBGE 2016).

3.2. Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente

O modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEhc) da área de estudo (Figura 7) foi obtido sobre a imagem ALOS-Palsar, com quadrante entre os seguintes limites: 7676668.207520 a 7683895.985718 m e 713330.126282 a 719471.425720 m (SIRGAS 2000, UTM zona 23S), referente a uma área 44,497 km².

O quadrante retangular foi selecionado para focar e abranger a área da APA e seu entorno, sendo recortado a partir da imagem original com um “buffer” de aproximadamente 2 km em todas as direções, para que os erros e ruídos de borda estejam fora da área de interesse mapeado e não afetem os algoritmos usados no processo de obtenção dos mapeamentos de direção e acumulação de fluxo, do IDR e outros dados morfométricos gerados.

Posteriormente, sobre o quadrante recortado, foi realizado o procedimento para a correção de erros sistemáticos da imagem, como valores errôneos e valores negativos contidos no raster, os quais são caracterizados como ruídos derivados de falhas na aquisição da mesma (FERNANDES FILHO *et al.* 2011).

Estes erros ocorrem principalmente em imagens de áreas com relevo montanhoso ou escarpado, como é a situação da área. A correção destes tipos de erros sistemáticos foi providencial para a obtenção sem erros do MDEhc (Figura 7), que é base para a sequência dos mapeamentos e análises da pesquisa geomorfológica local.

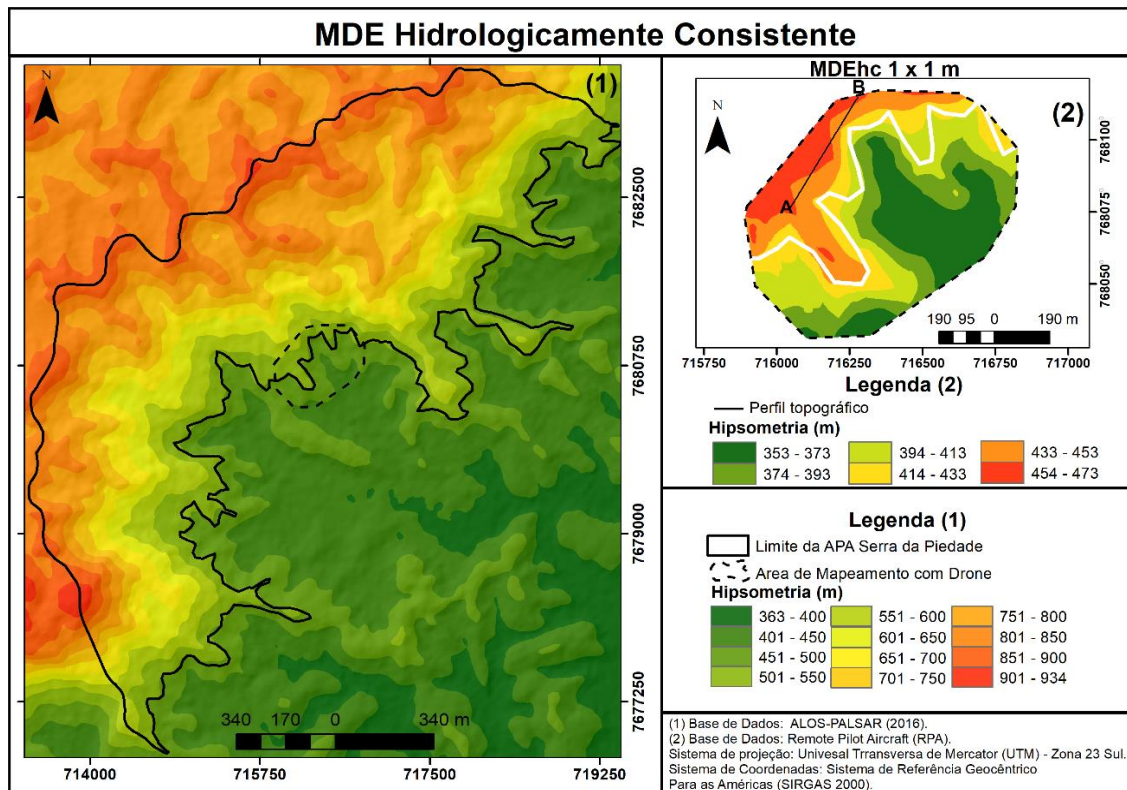


Figura 7: Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente da APA Serra da Piedade e seu entorno, com foco para a área mapeada com RPA.

Foi selecionado um local onde ocorre forte variação da topografia, principalmente com a presença de vales em V. Nesse local foi traçado um voo com Remote Pilot Airsoft (RPA), equipamento Phantom 4, a fim de obter melhores dados para a representação desses vales. Sobre essas imagens foi obtido um MDEhc e posteriormente foi traçado um perfil topográfico (Figuras 7 e 8) que demonstra esses vales em V detalhadamente.

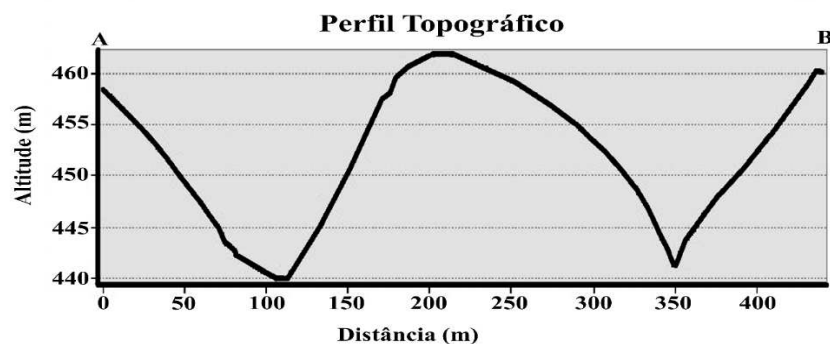


Figura 8: Perfil topográfico sobre a área de amostragem por RPA (1x1 m) na área de estudo.

3.3. Mapa de declividade

A declividade, calculada sobre o MDEhc, baseia-se na análise dos desníveis (diferencial altimétrico) entre pixels vizinhos e é considerada uma estimativa por ser dependente do tamanho do pixel e do valor da distância adotada no processamento.

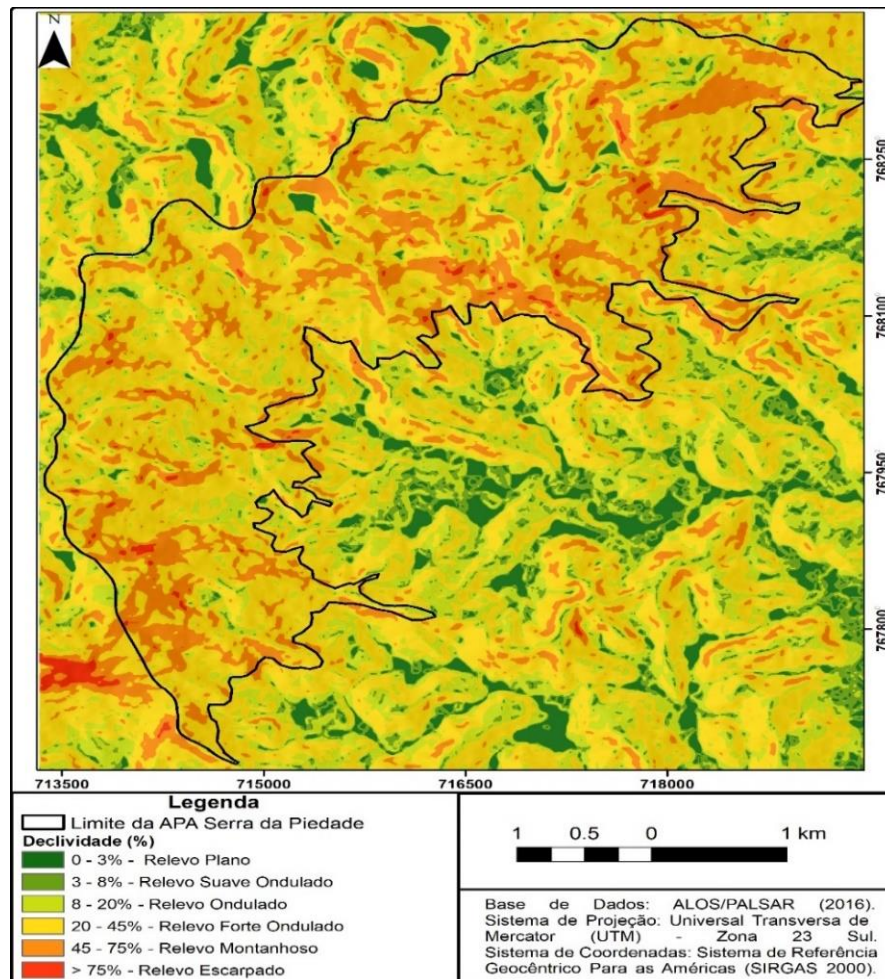


Figura 9: Declividade geral da APA Serra da Piedade e de seu entorno. Fonte: EMBRAPA (2018).

Segundo Valeriano (2008a), a declividade é uma figura de evidente e importante aplicação na interpretação geomorfológica devido a sua vinculação com o transporte gravitacional, como escoamento, erosão, deslizamentos, transporte de solução lateral e internamente aos solos sobre as vertentes.

No mapa de declividade da área de estudo (Figura 9 e Tabela 1), observa-se maior quantidade de relevos dos tipos ondulado (8 – 20%) e forte ondulado (20 - 45%), que representam juntas 73,80% da área de estudo. A porção da APA caracterizada como escarpa é o ambiente onde se encontram as áreas de maior declividade, superiores a 20% (relevos fortemente ondulado, montanhoso e escarpado), sendo mais susceptíveis a ações erosivas. Possuindo vales caracterizados em V, mais fechados e declivosos.

Tabela 1: tamanho e percentual das áreas representadas pelas classes de declividade e relevo.

Declividade (%)	Relevo	Área (km ²)	Percentual da área (%)
0 – 3	Plano	2,024	4,55
3 – 8	Suave ondulado	3,288	7,39
8 – 20	Ondulado	9,988	22,45
20 – 45	Forte ondulado	22,853	51,35
45 – 75	Montanhoso	6,095	13,70
> 75	Escarpado	0,249	0,56
Total		44,497	100

As áreas de menor declividade, com relevos do tipo plano (0-3%) e suave ondulado (3-8%) estão presentes principalmente na UG da Depressão dos Rios Pomba e Muriaé, onde os vales são maiores (maior DIM). Na área da UG dos Patamares do Alto Rio Doce também há esses vales, porém, em menor tamanho comparado a UG anterior. Assim, essas áreas de relevo plano e suave ondulado são as que possuem menor grau de processos erosivos na área de estudo.

3.4. Índice de Dissecação do Relevo (IDR)

O IDR é um atributo quantitativo, que segundo Ross (1994), é a junção dos dados da DIM, que é o afastamento horizontal médio de diferentes interflúvios (densidade de drenagem), mais o entalhamento médio dos vales ou GEV, que é a amplitude vertical do processo de dissecação (aprofundamento das incisões), mostrado no Quadro 1.

Em perspectiva aos dados topográficos (matemáticos), o GEV é uma variável essencial na interpretação dos processos erosivos, vinculada a dissecação. É definida como “a distância vertical entre os pontos da superfície topográfica e sua projeção numa superfície de referência arbitrária, conformada pelos pontos de altitudes máximas dentro de uma área de medição” (MUÑOZ e VALERIANO, 2009).

O GEV apresenta as seguintes classes de entalhamento: muito fraco, fraco, médio, grande e muito grande (Quadro 1). Onde o GEV depende e está relacionado ao estágio de maturidade do relevo no ciclo geomorfológico. Sendo menor GEV onde há menor atividade da morfogênese e maior GEV onde há maior atividade da morfogênese (QUEIROZ NETO, 2010).

Quadro 1: Matriz dos índices de dissecação do relevo.

Grau de entalhamento dos vales (classes)	Dimensão interfluvial média (Classes)				
	Muito grande (1) > 3750 m	Grande (2) 1750 a 3750 m	Média (3) 750 a 1750 m	Pequena (4) 250 a 750 m	Muito pequena (5) <250 m
Muito fraco (1) < 20 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20 a 40 m	21	22	23	24	25
Média (3) 40 a 80 m	31	32	33	34	35
Forte (4) 80 a 160 m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) > 160 m	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1992), Ross (1994), IBGE (2009) e Guimarães *et al.* (2017).

Seguindo a metodologia utilizada por Guimarães *et al.* (2017), considerou-se a superfície de referência igual ao limite de cada elevação. Cada pixel isolado contém um grau de entalhamento e este é a diferença altimétrica entre o valor do pixel e o valor da superfície de referência, que neste caso é o pico mais próximo. Desta forma, quantos metros o referido pixel está abaixo do pico determinado.

Em relação aos dados topográficos, a DIM é a distância média entre os divisores de águas (interflúvios) de uma determinada área (Sampaio e Augustin, 2008), sendo um valor inversamente proporcional ao GEV. A DIM é classificada de acordo com a sua dimensão em: muito grande, grande, médio, pequeno e muito pequeno (Quadro 1). A base fundamental para o cálculo do DIM é a delimitação das bacias hidrográficas (BH's), onde a DIM de cada BH é calculada pela distância euclidiana média de acordo com os seus divisores de águas (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

Segundo Guimarães *et al.* (2017), a etapa de definição do limiar de drenagem do mapeamento depende da escolha do analista, do tamanho do pixel do MDE e das características do relevo onde ocorre a análise. Dessa forma, a partir de vários testes, com limiares de 100, 150, 200, 250 e 300, o valor de limiar escolhido foi 200, que representa o número de células (pixels) para o fluxo acumulado, para posteriormente serem determinadas as bacias.

Esse valor de limiar 200 foi adotado por ser o que melhor representou a densidade de drenagem de acordo com as características do relevo da área. Com limiares maiores a densidade de drenagem ficou muito baixa e com limiares menores a densidade ficou exagerada.

Após a criação dos rasters (mapas) de GEV e DIM, o passo final foi a reclassificação em função do IDR inicialmente proposto por Ross (1994). O GEV foi segmentado em: 0 a 20 m (10); 20 a 40 m (20); 40 a 80 m (30); 80 a 160 m (40); > que 160 (50). Enquanto a DIM foi segmentada em: 0 a 250 m (5); 250 a 750 m (4); 750 a 1750 m (3); 1750 a 3750 m (2); > que 3750 m (1).

O IDR foi segmentado realizando a união binária, ou seja, unindo os valores: $GEV + DIM = IDR$ (Figura 10). Sendo que o GEV é o valor primário (dezena) e a DIM é o valor secundário (unidade). Assim, o IDR pode compreender até 25 possíveis valores binários, sendo os seguintes: 11 a 15, 21 a 25, 31 a 35, 41 a 45 e 51 a 55.

A partir destes dados, Ross (1994) apresentou uma proposta de classificação do IDR, criando as seguintes classes de IDR que aqui são utilizadas: muito fraca, fraca, média, forte e muito forte.

A área de trabalho possui dois ambientes distintos quanto ao GEV, um predominante na escarpa (15,8 km² - 35,59% da área mapeada), apresentando uma ampla extensão com o GEV das classes 40 e 50, sinalizando que esse ambiente possui um GEV de grau forte e muito forte, ou seja, onde o aprofundamento dos vales é o mais elevado em comparação a toda a área analisada.

Sobre esse GEV é onde está exatamente a zona de escarpa da “Serra” da Piedade (front da escarpa), sendo também a área de maior declividade (Figura 9). Nesse ambiente, com processos morfogenéticos atuantes, maior grau de morfogênese, é onde observou-se a presença de alguns pontos de contato litológico entre as litologias citadas, com a presença de vales em “V” (Figuras 8 e 11), ravinamentos e demais processos erosivos (Figura 12) que podem ser derivados deste contato litológico (SOUZA *et al.* 2020), com os consequentes cisalhamentos e também ao nível de intemperismo elevado.

O outro ambiente compreende duas áreas, que são a depressão e o planalto dissecado, representadas predominantemente por ambientes de GEV igual a 10, 20 e 30, sendo respectivamente, as classes muito fraco, fraco e moderado que se encontram exatamente nas áreas de vales abertos e mais planos, com menores valores de declividade, caracterizados como receptores de sedimentos das áreas mais elevadas. Fator que influencia na formação dos tipos de solos deste ambiente. O relevo é caracterizado como mamelonar nestas áreas.

A área de GEV igual a 10, 20 e 30 se divide em dois ambientes diferentes, sendo um mais elevado, pertencente a área a montante da bacia hidrográfica do rio Doce (UG dos Patamares do Alto Rio Doce), com altitude variando entre 850 a 900 m. Enquanto o outro ambiente é menos elevado, pertencente a área a montante da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (UG da Depressão dos Rios Pomba e Muriaé), com altitude variando entre 360 a 400 m. Portanto, mesmo estando em altitudes diferentes, as duas áreas são semelhantes em razão da classificação do GEV.

A DIM da área classifica-se em: média, pequena e muito pequena. Excluindo-se as classificações de muito grande e grande, pois estas ultrapassam a distância entre os interflúvios existentes na área: entre 1750 a 3750 m para a classe Grande e maior que 3750 m para a muito grande. Enquanto todas as classes de GEV são encontradas na área.

O IDR da área possui 15 classes entre as 25 possíveis, as quais podem ser englobadas em diversas propostas de classificação (Figura 12), tal como a de Ross (1994) e as propostas 1, 2 e 3 de Guimarães *et al.* (2017), apresentados na Tabela 2.

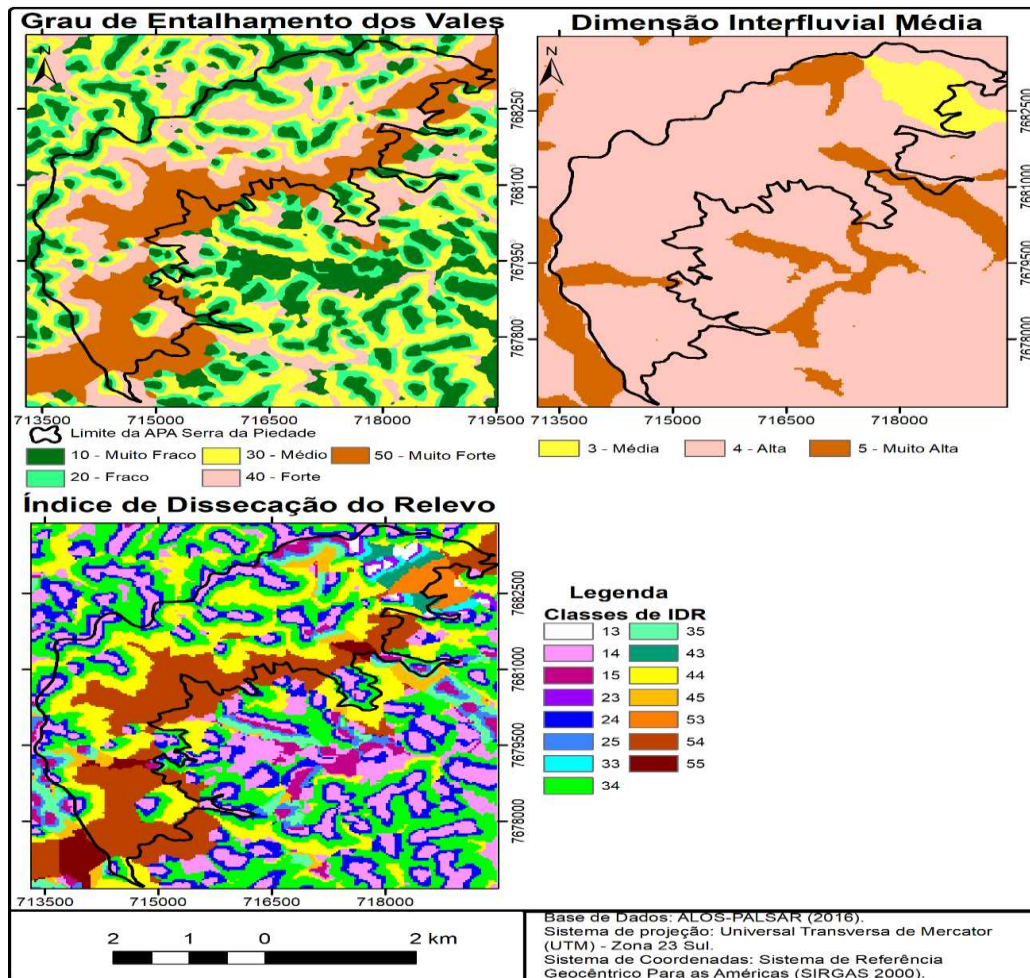


Figura 10: mapas de Grau de Entalhamento dos Vales, Dimensão Interfluvial Média e a união deles, o mapa de classes do Índice de Dissecação do Relevo da área de estudo.

O grau de dissecação da área é diferente de acordo com o padrão do relevo e de sua litologia, tendo maior dissecação em áreas onde ocorre a predominância de vales encaixados e profundos, em forma de vales em V (Figura 8 e 11), que apresentam dimensão interfluvial pequena e altas declividades. Do outro lado, a dissecação se torna menor quando a área tende a possuir relevos menos declivosos, que normalmente se apresentam morfologicamente com menor densidade de drenagem e maior homogeneidade litológica.

Tabela 2: Propostas de agrupamento em classes do IDR para a área de estudo.

Proposta de Ross (1994)	Proposta 1
Média = 13, 23, 33 (1,22%)	Muito Fraca = 13 (0,41%)
Forte = 14, 24, 34, 43, 44 (71,75%)	Fraca = 14, 15, 24, 25, 35 (38,42%)
Muito Forte = 15, 25, 35, 45, 53, 54, 55 (27,03%)	Moderada = 23, 33, 34, 43 (26,54%)
	Muito Forte = 44, 45, 53, 54, 55 = (34,63%)
Proposta 2	Proposta 3
Muito Fraca = 13 (0,41%)	Muito Fraca = 13 (0,41%)
Fraca = 14, 15, 23, 24, 25, 35 (38,77%)	Fraca = 14, 15, 23, 24, 25, 35 (38,77%)
Moderada = 33, 34 (25,30%)	Moderada = 33, 34 (25,30%)
Forte = 43 (0,82%)	Forte = 43, 44, 53 (18,06%)
Muito Forte = 44, 45, 53, 54, 55 (34,70%)	Muito Forte = 45, 54, 55 (17,46%)

Fonte Ross (1994) e Guimarães *et al.* (2017).

A classificação de IDR baseada na proposta de Ross (1994) utilizada para a área (Figura 13) deixou de inserir as classes muito fraca e fraca, mesmo havendo áreas onde o relevo possui menor declividade (vales e topos de morros).



Figura 11: vales em V da área da escarpa da Serra da Piedade.



Figura 12: processos erosivos na área da escarpa.

Nessa proposta, a classe moderada também ficou com valor percentual muito baixo (1,22%), enquanto as classes forte e muito forte, juntas corresponderam a 98,78%, o que não representa a realidade da área. Isso ocorre devido a proposta de Ross (1994) privilegiar as classes mais altas, onde muito forte e forte, respectivamente englobaram sete e cinco valores de IDR dentre as quinze que a área possui.

Já as propostas 1, 2 e 3 (Figura 13) apresentaram resultados mais compatíveis com o relevo da área, onde nas partes planas situadas nos topos dos morros, fora da escarpa, ao qual o relevo é menos declivoso, predominam as classes de dissecação muito fraca e fraca. Na área da escarpa, onde a densidade de drenagem é alta e os cursos d'água estão encaixados, com “vales em V” (Figuras 8 e 11), predominam as classes de dissecação forte e muito forte.

A proposta 1 apresentou uma caracterização do IDR melhor que a proposta de Ross (1994), porém, a mesma se limitou por não apresentar a classe forte, onde houve uma mudança abrupta da classe moderada para a muito forte, havendo então uma lacuna com a exclusão da classe forte nessa proposta.

Essa lacuna ocorre, segundo Guimarães *et al.* (2017), devido ao fato de que na área de estudo não existem valores de dissecação com modelados e altos níveis de entalhamento (maior que 60 m) aliados a vales de grande dimensão interfluvial (maior que 1750 m) que resultam nos valores de dissecação classificados como forte.

Na proposta 2 não ocorreu a ausência de nenhuma classe, porém a classe forte ficou pouco representada em relação a sua real ocorrência. Havendo neste caso uma superestimação

da classe muito forte. Isso ocorre devido a classe forte estar representada somente por uma classe de intersecção entre o GEV e a DIM, sendo o valor binário 43 (0,82% da área).

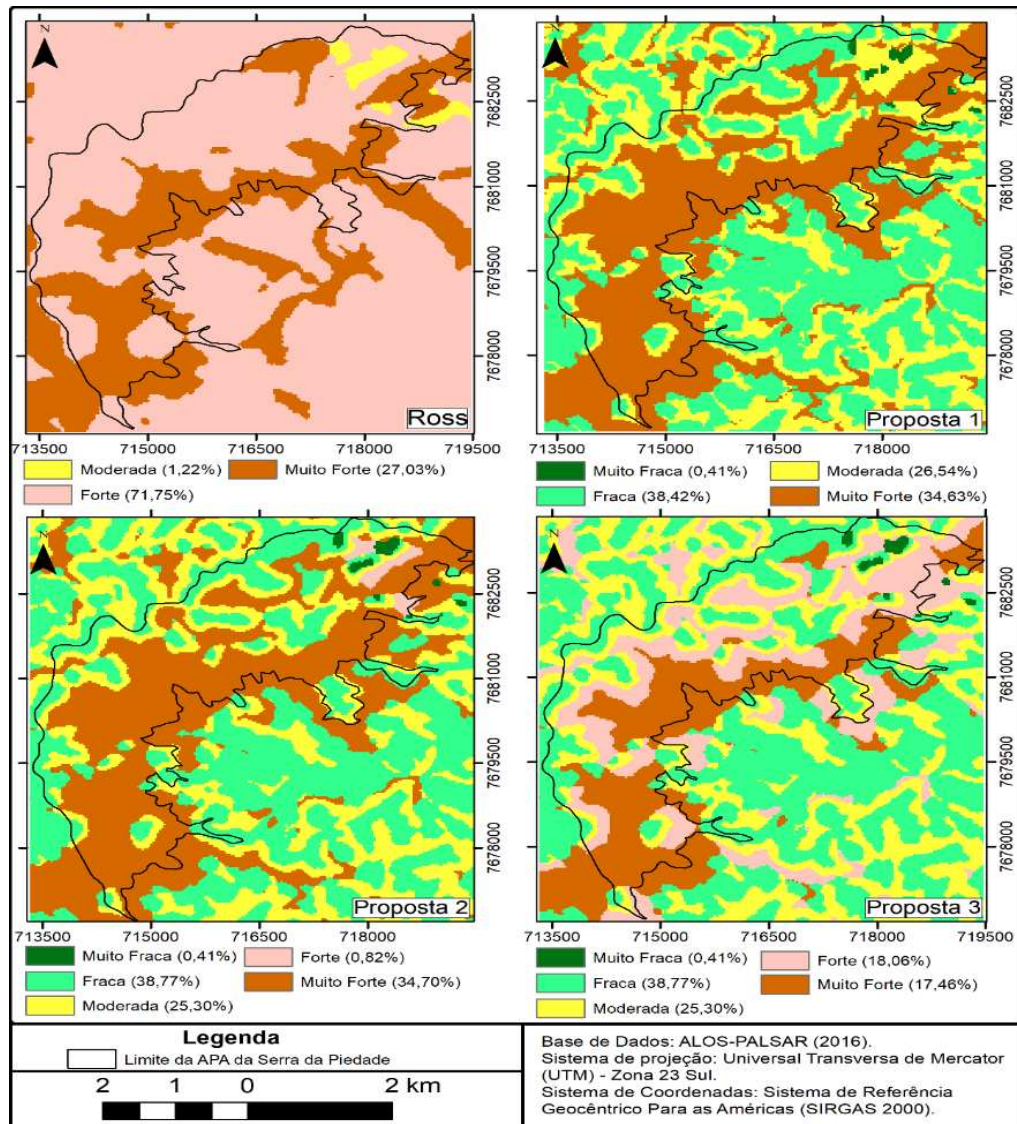


Figura 13: mapa de propostas de classificação do IDR da área de estudo.

Na proposta 3 houve uma melhor distribuição dos valores entre as classes. Onde a classe forte ficou mais bem representada na área, estando associada as áreas classificadas como moderada ou muito forte. Portanto, entre todas as propostas de Guimarães *et al.* (2017) utilizadas, a proposta 3 foi a que melhor representou a característica de IDR, tendo maior compatibilidade com as características do relevo observadas em campo e condizentes com a escala de mapeamento.



Figura 14: modelo tridimensional das quatro possibilidades de classificação do índice de dissecção do relevo; Propostas de Ross (1994) e propostas 1, 2 e 3 (GUIMARÃES *et al.* 2017).

3.4.1 Proposta Final de Classificação do IDR para a área de estudo

Pela aplicação do agrupamento das classes, a partir da soma do GEV e do DIM, a classificação do IDR pode chegar a 25 classes (5 classes de GEV e 5 classes de DIM). Na área, foram encontradas somente 15 classes, baseadas em três classes do DIM e cinco classes do GEV.

Na proposta final de agrupamento das classes (Figuras 15 e 16), em perspectiva de análise qualitativa, foi realizada a reclassificação das classes: muito fraco + fraco = fraco e forte + muito forte = forte. Onde os valores usados na união dessas três classes (Tabela 3) é baseada nos mesmos valores de cada classe da proposta 3.

Tabela 3: Proposta final, da união das classes do IDR para a área de estudo.

Proposta Final do IDR	Percentual
Fraco = 13, 14, 15, 23, 24, 25, 35	39,18%
Moderado = 33 e 34	25,30%
Forte = 43, 44, 45, 53, 54 e 55	35,52%

Essa união foi realizada com base na classificação em classes é qualitativa, portanto, a compreensão de que a área é composta pelas classes forte, moderada e fraca já indica a realidade quanto a dissecção. Ou seja, uma generalização que é satisfatória para a percepção do ambiente e facilita a leitura do IDR (morfográfica) de toda a área estudada.

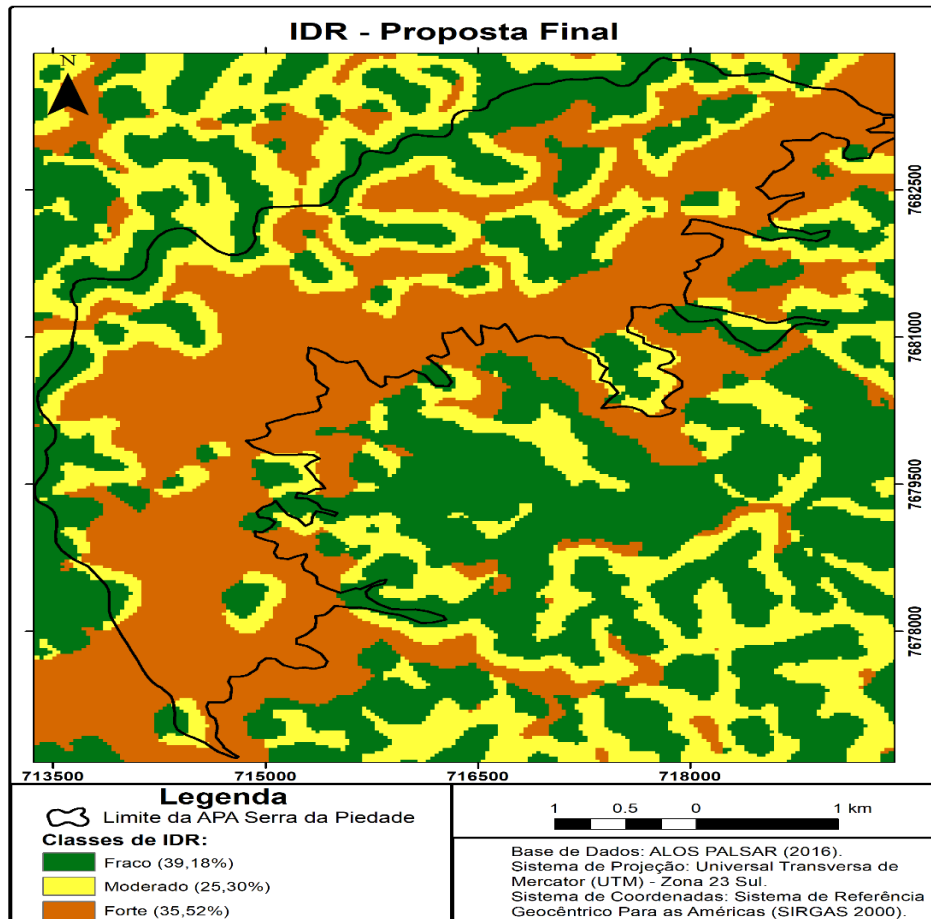


Figura 15: Mapas com as propostas final de classificação do IDR para a área de estudo.

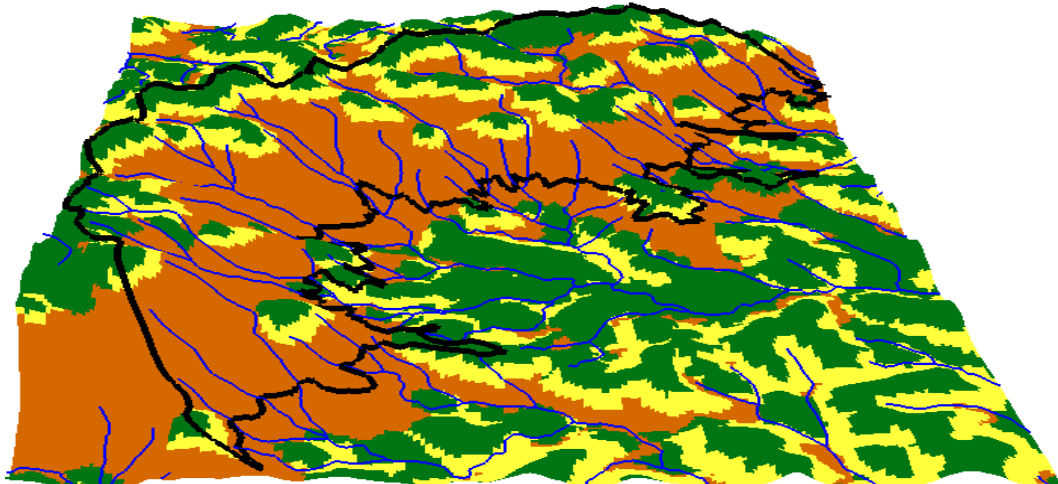


Figura 16: Modelo tridimensional da área da APA Serra da Piedade e seu entono classificada de acordo com a proposta final do IDR.

3.5. Classificação das vertentes

A metodologia para realizar a classificação das vertentes se baseia primeiro na classificação de acordo com as curvaturas: perfil de curvatura (vertical) e plano de curvatura (horizontal). Sendo realizado posteriormente a junção de ambas, 3 tipos de perfil de curvatura e 3 tipos de plano de curvatura (3x3), para a construção das 9 classes de vertente ou do que

Valeriano (2008b) denominou de formas do terreno (Figuras 17 e 20), derivadas da proposta de Dikau (1990) e Valeriano (2008b).

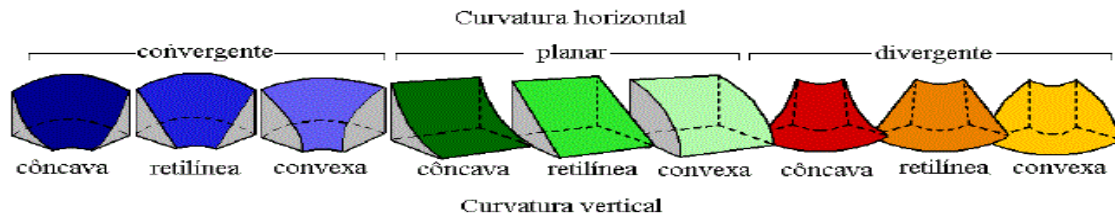


Figura 17: As nove classes de formas do terreno, Dikau (1990) e Valeriano (2008b).

As formas de perfil e plano de curvatura de uma vertente devem ser analisadas porque podem influenciar na distribuição lateral dos processos geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos. Segundo Chagas (2006), essa influência está relacionada aos processos morfogenéticos atuais e pretéritos, onde as formas do terreno exercem controle sobre a distribuição de água e matéria das partes mais elevadas para as mais baixas, superficial e subsuperficialmente de acordo com a dinâmica do fluxo de água.

Segundo Sirtoli *et al.* (2008b), as classificações de perfil e de plano de curvatura também representam as formas ou feições do relevo, sendo caracterizadas como importantes atributos aplicados na distinção das classes geomorfológicas, sendo relacionadas ao táxon dos modelados (IBGE, 2009).

3.5.1. Perfil de Curvatura

De acordo com Valeriano (2008b), o perfil de curvatura ou curvatura vertical é a expressão do formato da vertente quando observado em perfil. Sendo uma segunda derivada da altitude e pode ser descrito como a variação da declividade ao longo de uma distância definida. É dividida em três tipos de acordo com os valores representados nos pixels: côncavo (negativos), retilíneo (nulos) e convexo (positivos).

Segundo Valeriano (2008b), em ambiente SIG o cálculo do perfil de curvatura se faz pela comparação entre as diferenças altimétricas. Onde as curvas são expressas em valores nos pixels, que variam entre valores negativos, nulos e positivos. Para o perfil de curvatura retilíneo (valores nulos) foi necessário adotar e aplicar um intervalo de valores admitidos como nulos, no caso, o intervalo utilizado foi entre -0,111 e +0,111.

O mapa de perfil de curvatura da área de estudo (Figura 18) demonstra que a maioria das vertentes da área são classificadas como perfil de curvatura convexo e retilíneo, apresentando pouca quantidade de vertentes caracterizadas como perfil de curvatura côncavo.

3.5.2. Plano de Curvatura

O plano de curvatura ou curvatura horizontal, segundo Valeriano (2008b) é a expressão do formato da vertente quando observado horizontalmente. Também é uma segunda derivada, não da altitude, mas das linhas de curva de nível e pode ser descrito como a variação da orientação de vertentes em relação de uma determinada distância. Também é dividida em três tipos de acordo com os valores: convergente (negativos), planar (nulos) e divergente (positivos).

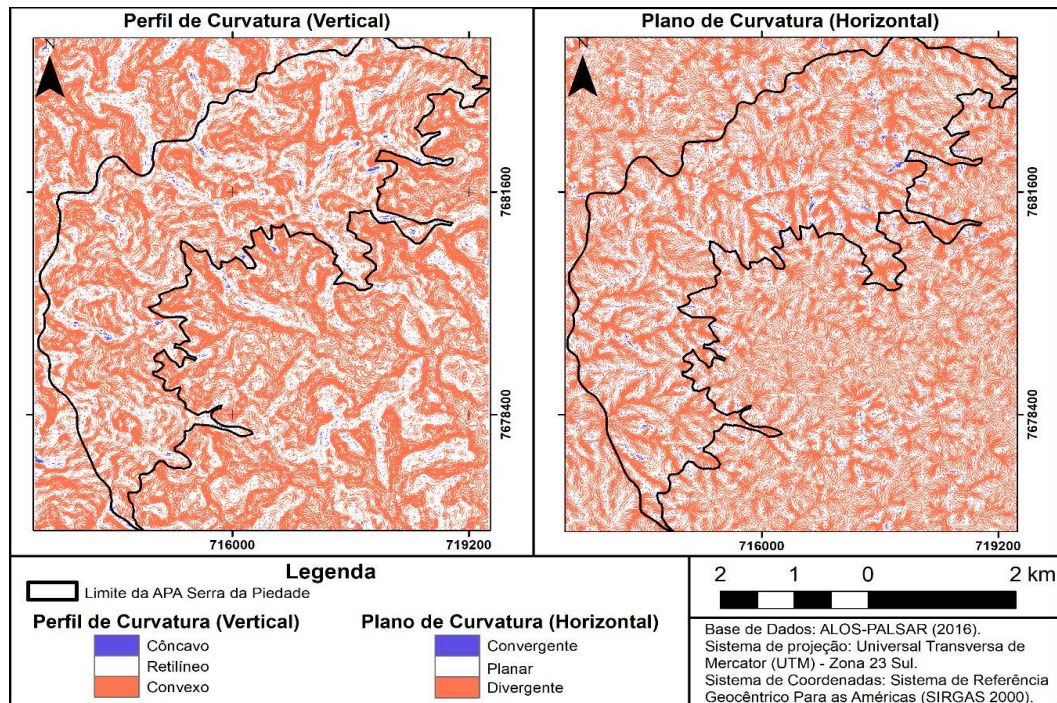


Figura 18: Mapas de Perfil e Plano de Curvatura da área de estudo.

Segundo Valeriano (2008b), o cálculo do plano de curvatura é realizado a partir da checagem entre as orientações de vertente na vizinhança do pixel ajustado, segundo o autor, “através de janelas móveis pela comparação entre as diferenciais altimétricas” observadas pelas curvas de nível. Para o plano de curvatura planar (valores nulos) também foi necessário adotar e aplicar um intervalo de valores admitidos como nulos, no caso, o intervalo também foi entre -0,111 e +0,111.

O mapa de plano de curvatura da área de estudo (Figura 18) demonstra que a grande maioria das vertentes com plano de curvatura divergente, seguido por planos de curvatura planar e em menor número o convergente.

3.5.3. Formas do Terreno

Após a confecção dos mapas de perfil e plano de curvatura foi realizado a construção do mapa de forma do terreno (Figuras 19), baseado na proposta de Dikau (1990) e Valeriano (2008b), que é utilizado para gerar a classificação do formato das vertentes. Para isso, foi

realizado um procedimento para a obtenção do modelo para realizar o agrupamento dos pixels em classes definidas de acordo com os valores derivados do perfil e do plano de curvatura (Tabela 3).

O modelo de agrupamentos de pixels gerou um arquivo com a união de 10 pixels, ao qual foi usado para a classificação das vertentes. O resultado deste procedimento foi o mapa de classificação das vertentes, ao qual facilitou a identificação e consequente análise de onde ocorre cada tipo de forma de terreno (Figura 19).

Os mapas de forma do terreno (Figura 19) e de classificação das vertentes (Figura 20) foram elaborados a partir da proposta de cores de Valeriano (2008b), a seguir:

Tabela 4: Níveis de intensidade dos canais R, G e B (vermelho, verde e azul) para a soma das curvaturas Horizontal e Vertical.

Plano de Curvatura		Perfil de Curvatura		Forma do Terreno / Classificação das vertentes		Canais		
						R	G	B
10	Convergente	1	Convexo	11	Convexo-Convergente	161	181	255
		2	Retilíneo	12	Retilíneo-Convergente	58	58	220
		3	Côncavo	13	Côncavo-Convergente	0	0	155
20	Planar	1	Convexo	21	Convexo-Planar	205	255	209
		2	Retilíneo	22	Retilíneo-Planar	0	205	0
		3	Côncavo	23	Côncavo-Planar	0	124	0
30	Divergente	1	Convexo	31	Convexo-Divergente	255	240	0
		2	Retilíneo	32	Retilíneo-Divergente	233	142	0
		3	Côncavo	33	Côncavo-Divergente	213	0	0

Fonte: Valeriano (2008b).

O padrão de cores da Tabela 3 foi inserido nos mapas de forma do terreno (Figura 19) e no mapa de classificação das vertentes (Figura 20). Onde Valeriano (2008b) realizou variados testes das combinações intermediárias, baseando-se na definição empírica das cores, tal como a classe côncavo-convergente, que ficou designada em azul devido a característica de acúmulo de água neste tipo de vertente.

Assim, a definição das cores propostas pelo autor e aqui aplicadas segue uma definição empírica e lógica da relação entre o tipo de vertente e o processo geomorfológico a ela associado.

A classificação das vertentes na área de estudo apresentou na porção da UG Depressão dos Rios Pomba e Muriaé um predomínio de vertentes retilíneo-planar, principalmente nas áreas de fundo de vale, e convexo-planar, principalmente nas áreas de topos de morros.

Na área da UG dos Patamares do Alto Rio Doce, há o predomínio de três classes de vertentes: côncavo-divergente, convexo-convergente e retilíneo-planar. Onde, da mesma forma

que na UG anterior, as áreas da classe retilíneo-planar são os vales, e as outras duas são as áreas de encosta.

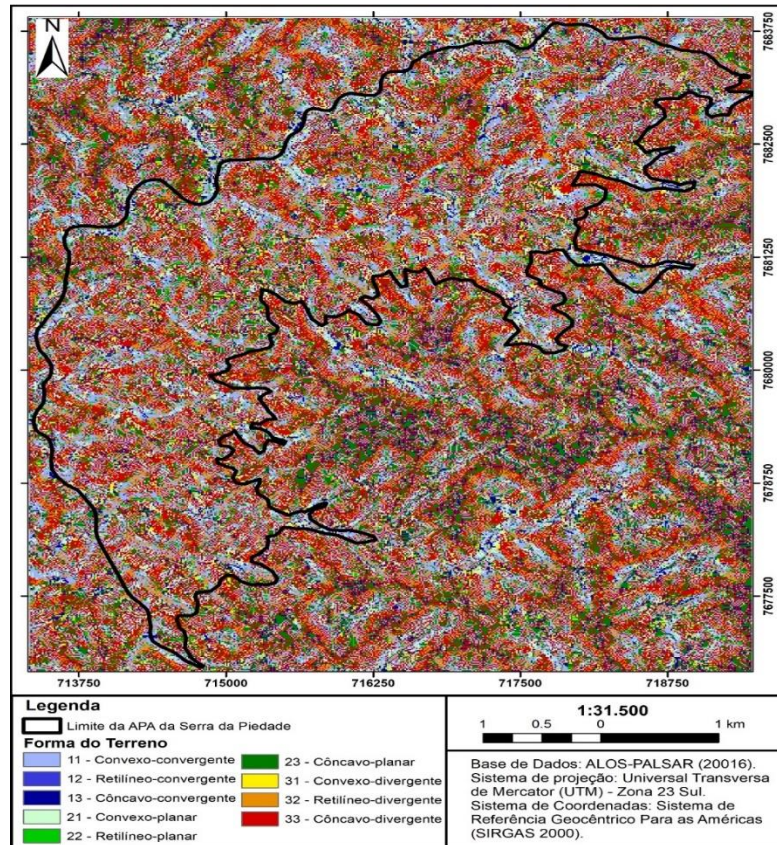


Figura 19: mapa das formas do terreno da área de estudo.

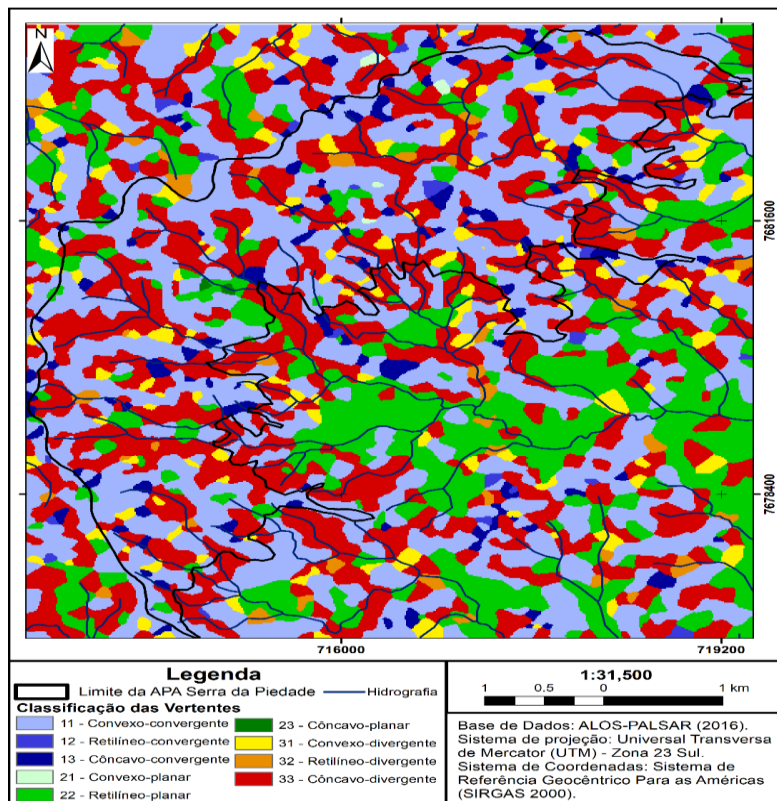


Figura 20: mapa de classificação das vertentes da área de estudo.

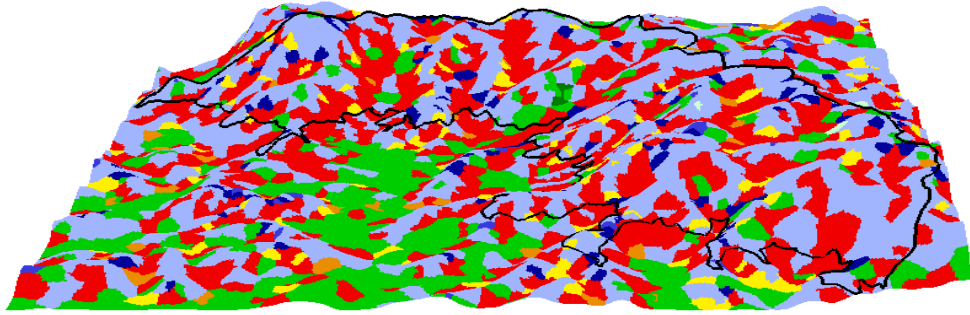


Figura 21: modelo tridimensional da área de estudo com a classificação das vertentes.

Como observado no mapa de classificação das vertentes (Figura 20), na Figura 21 e na Tabela 4, as classes convexo-convergente (azul acinzentado) e côncavo-divergente (vermelho) somam 70,13% de toda área de estudo. A classe convexo-convergente é majoritariamente representativa para as áreas de topo de morro e vertentes suaves, menos declivosas, onde os processos geomorfológicos tendem a ser menos intensos.

Tabela 5: tamanho e percentual das áreas representadas por cada tipo de vertente.

Forma do Terreno/Classificação das Vertentes	Área (km ²)	Percentual (%)
11 – Convexo-convergente	16,321	36,68
12 – Retilíneo-convergente	0,338	0,76
13 – Côncavo-convergente	1,433	3,22
21 – Convexo-planar	0,054	0,12
22 – Retilíneo-planar	8,510	19,12
23 – Côncavo-planar	0,025	0,05
31 – Convexo-divergente	2,121	4,76
32 – Retilíneo-divergente	0,815	1,84
33 – Côncavo-divergente	14,880	33,45
TOTAL	44,497	100

3.6. Modelados geomorfológicos da APA Serra da Piedade e seu entorno

Os Padrões de Formas Semelhantes (ROSS, 1992) ou modelados (IBGE, 2009), representam o 4º táxon e são extraídas a partir da matriz do IDR, proposto por Ross (1992) e IBGE (2009).

Os modelados de dissecação, estrutural ou homogênea, segundo o IBGE (2009) são identificados pela união entre as cinco classes do aprofundamento das incisões e as cinco classes de densidade de drenagem, resultando nas fácies de dissecação ou IDR (Figuras 13 e 15). A identificação e classificação dos modelados da classe de dissecação estrutural aguçada (DEa) são extraídas dos valores de IDR mapeados na área de estudo.

Os modelados de acumulação são representados pela letra “A” (maiúscula) somado de duas outras letras que designam a gênese e o processo de geração da forma de agradação

(exemplo, Apf - forma de acumulação de planícies fluviais), onde não são acompanhadas por Algarismos por não apresentar, normalmente, processo erosivo representativo.

Enquanto a formas Denudacionais, relativas à dissecação, são representadas pela letra “D” (maiúscula), que quando sozinha representa dissecação homogênea e quando acompanhada pela “E” significa um ambiente de dissecação estrutural (controle estrutural da litologia), o que é comum em rochas metamórficas, muito deformadas.

A forma Denudacional pode ser acompanhada de outras letras, as quais indicam o processo morfogenético causador da forma. Os quais na área de estudo podem ser: (a) topos aguçados ou (c) topos convexos. Existindo também a dissecação com alta densidade de incisões derivadas da erosão pluvial, em formas de ravinas, designada pela letra “r”.

Dessa forma, a nomenclatura é realizada pela somatória da letra maiúscula primária com as letras secundárias e/ou terciárias, que indicam o tipo e a forma da dissecação. Exemplo: DEa – dissecação estrutural aguçada.

Para a caracterização dos modelados geomorfológicos na área de estudo, quando necessário, somam-se os Algarismos do IDR para definir o tipo de modelado. Assim, foram identificadas 19 classes de modelados (Figura 22): i) acumulação – Apf; Atf; ii) dissecação – Dr, DEc, e DEa (DEa 13 a 15, DEa 23 a 25, DEa 33 a 35, DEa 43 a 45, DEa 53 a 55).

Tabela 6: Tamanho e percentual das áreas de cada tipo de Modelado Geomorfológico.

Modelado	Área (km ²)	Percentual (%)	Modelado	Área (km ²)	Percentual (%)
Apf	6,445.5	14,49	DEa43	0,327	0,73
Atf	1,869.5	4,20	DEa44	6,087	13,68
DEa13	2,886	6,47	DEa45	1,093	2,46
DEa14	7,919	17,80	DEa53	0,479	1,08
DEa15	1,037	2,33	DEa54	6,262	14,07
DEa23	0,187.5	0,42	DEa55	0,596	1,34
DEa24	0,084	0,19	DEc	0,519	1,17
DEa25	0,145.5	0,33	Dr	0,592	1,33
DEa33	0,199	0,45	Saibreira	0,059	0,13
DEa34	6,679	15,01	Corpo d'água	0,036	0,08
DEa35	0,995	2,24	Total	44,497	100,00

Na área de estudo também houve a necessidade de ser inserido uma feição (modelado) de origem antropogênica, ao qual recebeu o nome de Saibreira (Figura 22). O percentual em que cada Modelado representa para a área está na tabela 5.

As áreas de acumulação fluvial (Apf e Atf), representam 18,69% da área. Estes modelados estão majoritariamente representados na área da UG Depressão dos Rios Pomba e Muriaé (UGRPM), onde apresenta a maior porção de grau de IDR fraco. Tendo vales abertos e menos declivosos, o que proporciona maior potencialidade de acumulação.

As áreas de dissecação representam 81,10% da área total, contendo dissecação estrutural aguçada (DEa), que representa a maior parte (78,60%), em decorrência do processo morfotectônico de movimentação evidenciado pela escarpa erosiva. Ocorre a presença de um padrão de feições geomorfológicas de DEa devido ao maior grau de metamorfismo e mesmo pontuais inclusões de rochas magmáticas, tendo um grau de dobramento e movimentação que interfere de forma clara na presença desse tipo de modelado.

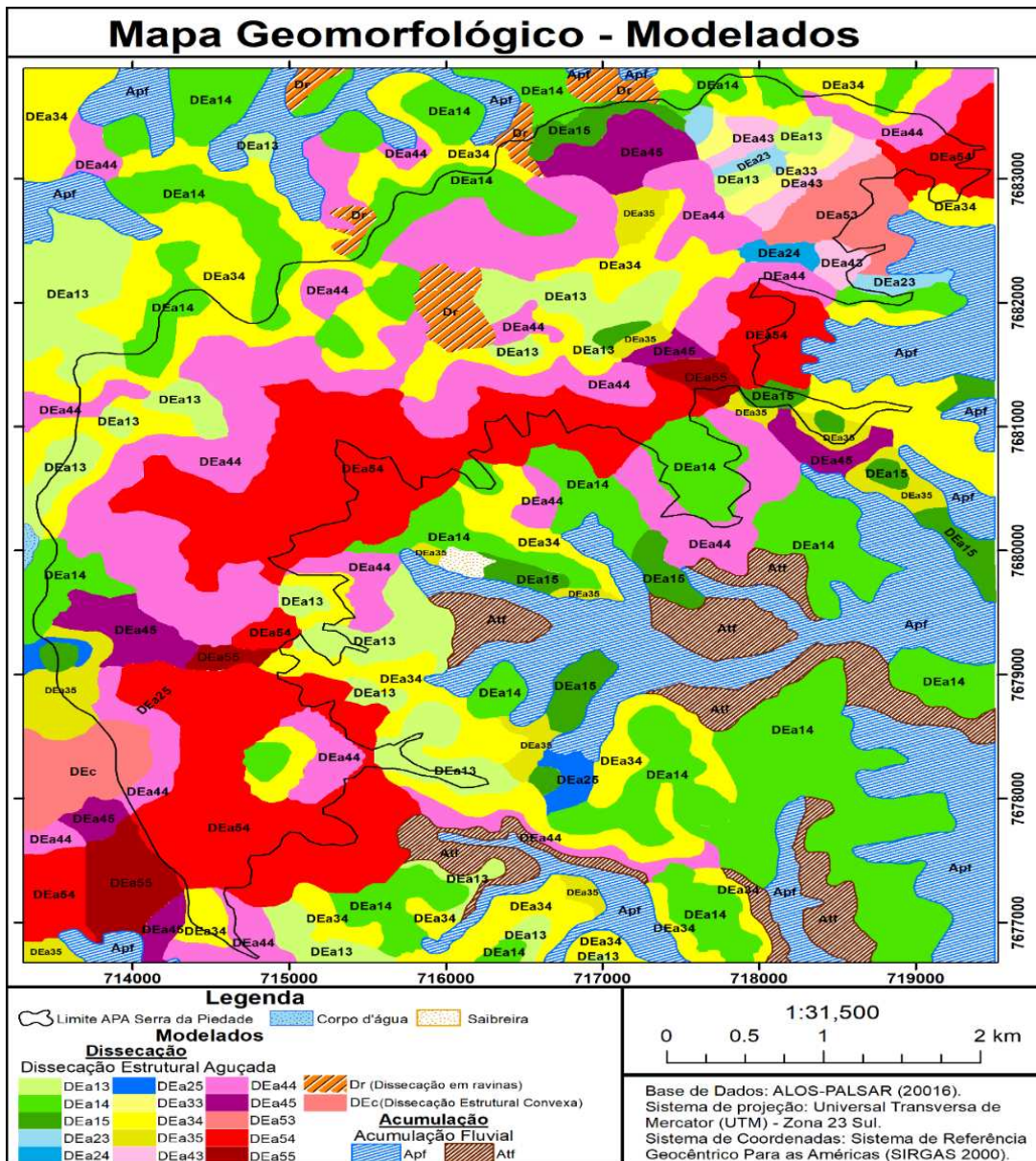


Figura 22: mapa geomorfológico de modelados do relevo.

A dissecação em ravinas (Dr) se apresenta em porções com declividade entre 20% a 75% (relevos ondulado, forte ondulado e montanhoso) e com IDR variando entre grau fraco a muito forte. Quando presente em grau fraco, está sempre em contato com grau mais elevado, evidenciando que a ravina tende a iniciar sobre o grau mais elevado e direcionar o desenvolvimento de sua feição para as áreas de IDR mais fraco.

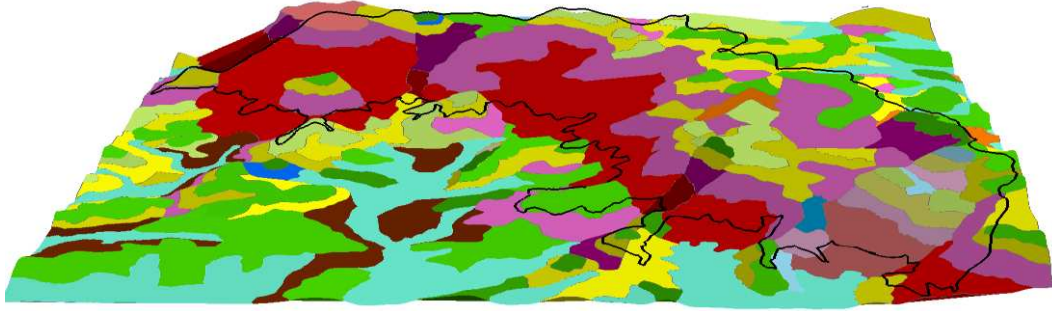


Figura 23: modelo tridimensional da área de estudo com a classificação dos modelados geomorfológicos.

Identificou-se a dissecação estrutural convexa (DEc), próximo ao ambiente com menor intensidade do soerguimento da escarpa, evidenciando que à medida que aumenta a distância da escarpa, a intensidade de metamorfismo tende a diminuir e aparecer os padrões de “meia-laranja”, comuns na região.

A feição Saibreira (Figura 24) foi o nome dado a área de extração de cascalho, com intensa retirada de material, provocando desconfiguração da vertente, que expôs as litologias presentes da área (Figura 25). A Saibreira é uma feição formada a partir da ação antropogênica na área de estudo. A denominação Saibreira foi incluída por não haver termos aplicados as ações antropogênicas na proposta de classificação dos modelados geomorfológicos (IBGE, 2009).



Figura 24: Saibreira na área de estudo.

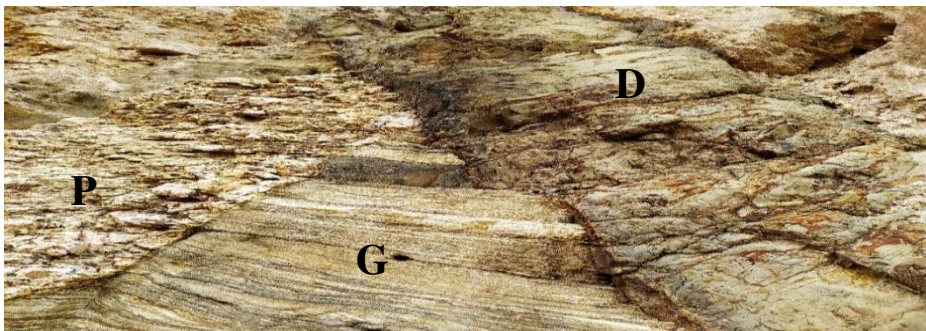


Figura 25: ponto dentro da Saibreira expondo o contato litológico das três principais litologias da área: gnaiss (G), pegmatito (P) e diabásio (D).

4. CONCLUSÕES

Os mapeamentos obtidos, com os aspectos morfográficos e morfológicos, e o mapeamento de modelados geomorfológicos serviram como uma ferramenta primordial para a compreensão dos processos geomórficos relacionados as questões morfoestruturais, tectônicas e litológicas.

A área mapeada, relativamente pequena, apresentou uma enorme diversidade de modelados geomorfológicos, com modelados de dissecação em 79,77% da área, modelados de acumulação em 18,69% e modelado caracterizado como antropogênico em 0,13%. Onde 78,60% dos modelados classificados se basearam nos dados de IDR, contemplando 15 classes de IDR dentre as 25 possíveis.

Os valores de IDR demonstraram como a área da escarpa, com sua morfogênese mais ativa, é associada a maior declividade e aos contatos litológicos, onde as classes de IDR são forte e muito forte no front da escarpa tectônica. Enquanto a divisão do IDR em somente 3 classes (fraco, moderado e forte) foi satisfatória para a compreensão e visualização dos ambientes mapeados.

Quanto as vertentes, para toda a área existe o predomínio de basicamente dois tipos, a convexo-convergente e a côncavo-divergente, que juntas representam 70,13% da área total mapeada. Na área da UGDRPM há o predomínio de vertentes dos tipos retilíneo-planar nos fundos de vale e convexo-planar nos topos de morros. Na área da UGPARD existem três tipos de vertentes com maior representatividade: côncavo-divergente, convexo-convergente e retilíneo-planar. Enquanto as classes convexo-convergente e côncavo-divergente representam 85,19% das vertentes dentro da área da APA.

Dessa forma, à medida que se aproxima da escarpa tectônica, há o aumento dos valores da dissecação, de fraturas e da presença de corpos intrusivos como o diabásio e pegmatitos.

CAPÍTULO 2

VARIABILIDADE GEOLÓGICA SUPERFICIAL EM RELAÇÃO ÀS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS, MINERALÓGICAS, MACRO E MICROMORFOLÓGICAS DOS SOLOS DA APA SERRA DA PIEDADE E SEU ENTORNO

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da Ciência do Solo (DOKUCHAEV, 1893 segundo JENNY, 1941) o relevo já era considerado um dos principais fatores de formação do solo. Através da morfologia das vertentes, diversos atributos do solo são alterados e influenciados por seu padrão de formas, que possuem uma dinâmica de influência mútua com os demais fatores (BOCQUIER, 1971; ÁVILA e CARVALHO, 2012), onde o solo é compreendido como corpo natural, de caráter tridimensional e dinâmico que se encontra inserido na paisagem (MINASNY e MCBRATNEY, 2006).

A relação entre solo e relevo pode indicar a forma como ocorre a distribuição espacial dos atributos do solo e suas relações diretamente dependentes (JENNY, 1941; BUI *et al.*, 1999), baseados na morfologia da vertente. É também sobre a vertente que se insere o conceito de pedossequência, sendo este definido como uma sequência de solo considerando o relevo como fator genético predominante (BUSHNELL, 1942; CURI e FRANZMEIER, 1983).

Essa relação entre solo e relevo, incluindo o material de origem que está associado, é influenciada pelo fluxo de água que dinamiza a variabilidade dos atributos do solo ao longo da vertente (SOMMER, 2006), pois esse fluxo de água é responsável pelo desenvolvimento do solo e pela distribuição de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas (ZASLAVSKY e ROGOWSKI, 1969; GOBIN *et al.*, 2001).

A relação entre os solos e o relevo também influencia a orientação do fluxo das águas e o seu conseqüente transporte e deposição de massa, solutos minerais e orgânicos ao longo da vertente (SOMMER, 2006; BARTHOLD *et al.*, 2008) por migrações laterais (lateralidade) de montante para jusante, onde o acúmulo ocorre de jusante para montante (BOCQUIER, 1971) de acordo com a mudança na velocidade da água de drenagem, mais rápida na porção superior e mais lenta na porção inferior da vertente (GERRARD, 1981).

Assim, a distribuição ao longo da vertente se baseia em uma alta complexidade de relações entre a sua morfologia, o declive e a relação com o lençol freático (GERRARD, 1981), proporcionando a formação de solos alóctones e solos autóctones, que são distintos devido à processos vinculados à gênese eluvial ou coluvial.

Segundo alguns autores, os estudos morfológicos integrados aos micromorfológicos (BREWER, 1976; BULLOCK *et al.*, 1985; CASTRO e SALOMÃO, 2000; CASTRO, 2002; CASTRO *et al.*, 2003; CASTRO E COOPER, 2019) podem ajudar a elucidar a gênese destes solos na vertente em razão de sua enorme significância pedogênica e geomorfológica.

Na APA da Serra da Piedade ocorre um valor expressivo de variabilidade topográfica e material de origem, com rochas encaixantes (gnaisse) e intrusivas (diabásio e pegmatito) que além da sua interferência estrutural no relevo, pode ocasionar variabilidade de solos e de seus componentes e propriedades morfológicas.

Em relação à constituição mineralógica dos materiais intrusivos, estes possuem uma diversidade mineralógica diferente da rocha encaixante, ao qual pode estar presente nos solos autóctones e alóctones da área de estudo, possibilitando variabilidade morfológica, química e física dos solos relacionados.

Os pegmatitos da área de estudo são rochas leucocráticas e possuem composição de quartzo, feldspato potássico, biotita, muscovita e turmalina (raramente) e podendo apresentar textura gráfica (GRADIM *et al.*, 2014), além de micas claras (DIAS *et al.* 2013). Além destes minerais, segundo Dias *et al.* (2013), os pegmatitos podem possuir elementos químicos como Li, Be, B, F, P, Sn, Ta, Nb e elementos terras raras (ETR's).

Já o diabásio, segundo Gradim *et al.* (2014), possui granulação fina, constituída pelos seguintes minerais: plagioclásio, piroxênios e agregados de anfibólio como pertences aos minerais essenciais e óxidos de ferro como acessório, possuindo composição basáltica e classificado como rocha ígnea plutônica máfica. Onde a sua trama é caracterizada com intergranular.

Assim, os objetivos desta pesquisa são analisar como a variabilidade topográfica e de material de origem influenciam as características físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas dos solos da APA Serra da Piedade e seu entorno.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo está situada no município de Visconde do Rio Branco–MG, na divisa com o município de Paula Cândido-MG. Quanto ao contexto hidrológico, a área está inserida a montante da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, sendo uma parte do divisor de águas entre esta bacia e a bacia hidrográfica do Rio Doce (Figura 1).

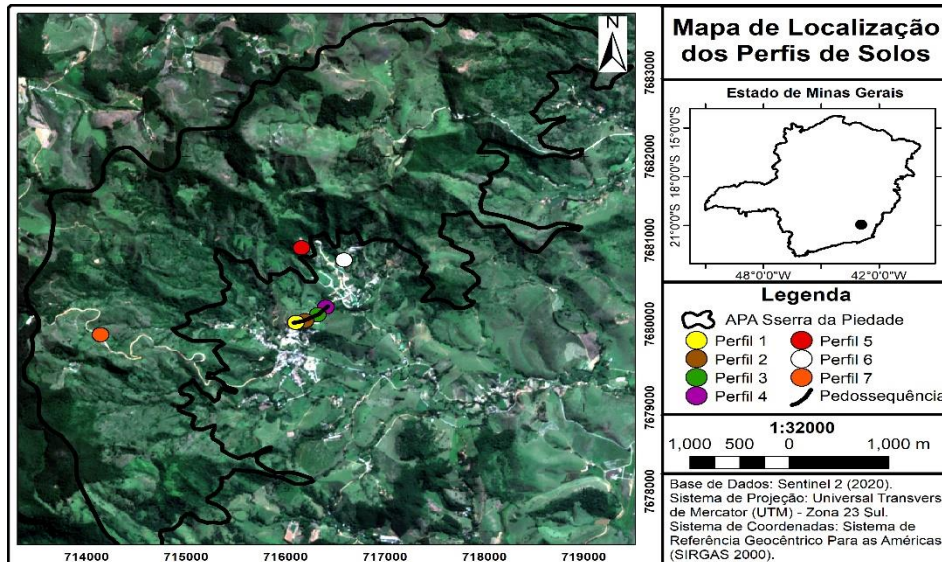


Figura 1: Mapa de localização dos perfis de Solos e da pedossequência na APA Serra da Piedade e seu entorno.

A área foi escolhida por apresentar uma heterogeneidade geomorfológica entre dois patamares planálticos por razão de uma escarpa e também uma heterogeneidade litológica entre gnaise, diabásio e pegmatito. Onde a heterogeneidade litológica e geomorfológica pode provocar heterogeneidade nos solos da área.

Foram coletados sete perfis (Tabela 1), sendo quatro perfis na pedossequência (Figuras 1 e 2), dois latossolos (perfis 2 e 3) e dois cambissolos (perfis 1 e 4), além de três perfis complementares e representativos da APA, sendo um nitossolo (perfil 7), um cambissolo (perfil 5) e um neossolo (perfil 6).

Em decorrência da variabilidade dos materiais de origem e posição na paisagem, os latossolos estudados possuem desenvolvimento pedogenético sobre gnaise ou em contato com material alóctone, com altitudes iguais a 489 e 458 m, estando na seguinte classificação de vertentes: retilíneo-planar (perfis 2 e 3). Quanto ao tipo de modelado geomorfológico, todos os perfis foram coletados em áreas classificadas como dissecação estrutural aguçada, sendo o tipo de modelado predominante na área de estudo.

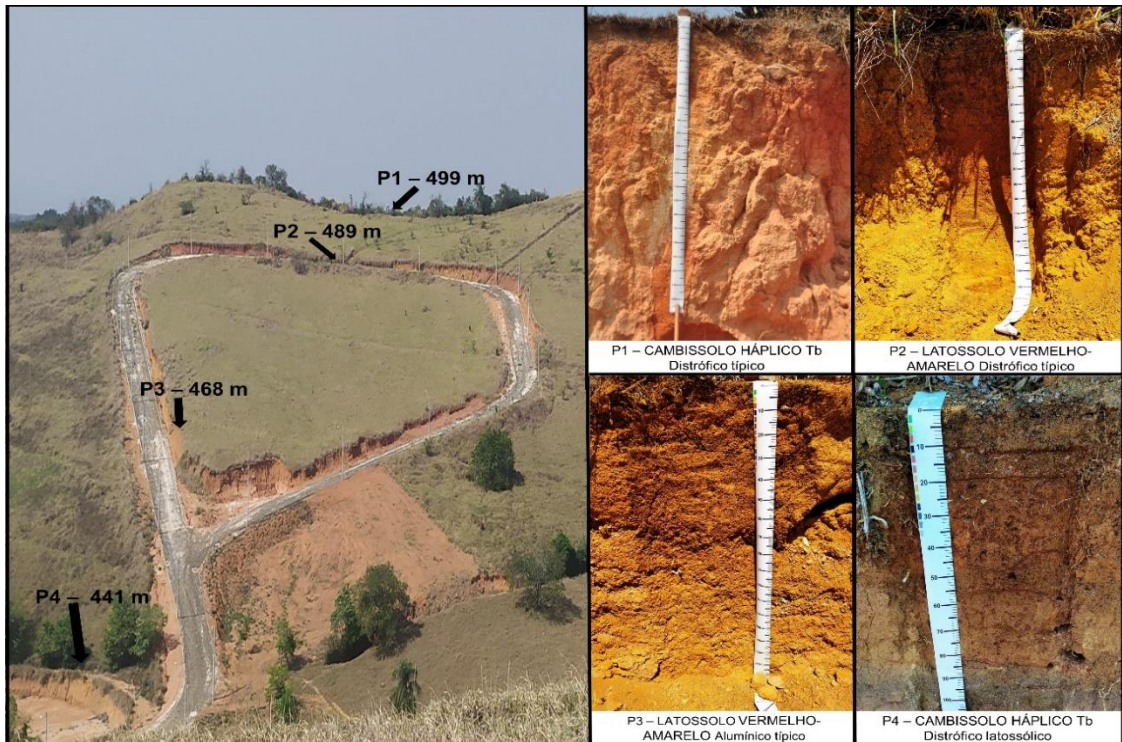


Figura 2: Vertente da pedossequência com a localização e fotos dos perfis 1, 2, 3 e 4.



Figura 3: Perfis 5, 6 e 7.

Os Cambissolos (perfis 1, 4 e 5) estão localizados em três porções de vertentes distintas: no topo (perfil 1) e base (perfil 4) da vertente base da vertente onde se traçou a pedossequência analisada. O terceiro se encontra na porção terço superior de outra vertente (perfil 5), localizado fora da pedossequência e é um solo representativo da APA.

O neossolo (perfil 6) se desenvolve sobre pegmatito, estando presente na porção superior de uma vertente classificada como convexo-convergente, em altitude 552 m paralela a vertente onde se encontra o perfil 1. O nitossolo se encontra no alto de uma vertente, estando a 730 m de altitude e se desenvolveu sobre diabásio. Em todos os perfis, a vegetação atual é pastagem, a natural de origem é fragmento de floresta semidecidual.

Tabela 1. Descrição geral dos pedons.

Pedon/ Perfil	Classificação do solo SiBCS	Coordenadas ¹	Altitude (m)	Descrição geral
SOLOS DA PEDOSSEQUÊNCIA				
1	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico, textura argilosa, fase ligeiramente pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo plano.	20°58'3.47"S 42°55'21"W	499	Solo desenvolvido em topo da vertente, de forma convexo-convergente. Solo bem drenado, sem aparente erosão. Derivado do contato de três materiais de origem distintos: topo do solo – gnaisse; porção intermediária – pegmatito; porção inferior: rocha máfica. Fragmento de floresta semidecidual (atual pastagem). Horizonte A fraco.
2	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A fraco, textura muito argilosa, fase não pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.	20°58'3.34"S 42°55'13.18"W	489	Solo desenvolvido na porção superior da vertente (alta vertente), de forma retilíneo-planar. Solo bem drenado, sem aparente erosão e derivado de gnaisse. Fragmento de floresta semidecidual (atual pastagem). Horizonte A moderado.
3	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico, A moderado, textura muito argilosa cascalhenta, fase pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.	20°58'1.49"S 42°55'9.61"W	458	Solo desenvolvido na média vertente, de forma retilíneo-planar. Solo bem drenado e sem aparente erosão. Derivado de gnaisse e material alóctone com linhas de seixos presentes em alguns horizontes. Fragmento de floresta semidecidual (atual pastagem).
4	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico, textura argilosa, fase pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.	20°57'57.86"S 42°55'6.79"W	441	Solo desenvolvido na baixa vertente, de forma retilíneo-planar. Solo moderadamente drenado, sem aparente erosão e derivado de material alóctone. Fragmento de floresta semidecidual (atual pastagem). Horizonte A moderado.
SOLOS REPRESENTATIVOS DA APA E SEU ENTORNO				
5	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, textura argilosa pouco cascalhenta, fase moderadamente pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.	20°57'34.93"S 42°55'15.62"W	552	Solo desenvolvido na porção superior da vertente (terço superior), de forma convexo-convergente. Solo bem drenado, erosão moderada (laminar), pedregosa e derivado de rocha máfica. Fragmento de floresta semidecidual (atual pastagem). Horizonte A fraco.
6	NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico, textura média-siltosa cascalhenta, A moderado, fase muito pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.	20°57'39.46"S 42°55'0.84"W	495	Solo desenvolvido no topo da vertente, de forma convexa. Solo excessivamente drenado, erosão moderada (laminar e sulcos) e derivado de pegmatito. Fragmento florestal semidecidual (atual pastagem). Horizonte A fraco.
7	NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.	20°58'9.52"S 42°56'25.06"W	730	Solo desenvolvido na média-alta vertente (terço médio), de forma convexo-convergente. Solo bem drenado, presença de cerosidade, moderada erosão laminar e derivada de material autóctone-alóctone, proveniente de diabásio. Fragmento florestal semidecidual (atual pastagem). Horizonte A moderado.

^{1/} World Geodetic System - SIRGAS 2000.

2.2. Procedimentos de coleta e análises

Foram descritas e coletadas amostras de horizontes de setes perfis de solos representativos da área da APA e seu entorno, incluindo uma pedossequência. A coleta seguiu a metodologia de Boulet (1988), que se baseia no levantamento de pedossequência com a abertura de perfis, tradagens e coleta de amostras de solos deformadas e indeformadas, além de sua classificação morfológica.

As amostras foram coletadas em solos desenvolvidos sobre materiais de origem autóctone (gnaisse, pegmatito e diabásio) e alóctone conforme proposto por Santos *et al.* (2015). Além da coleta de solos ao longo da vertente à jusante do corpo pegmatítico e de diabásio, na pedossequência em alta (topo), média (meia-encosta) e baixa vertente (sopé) a fim de realizar a compreensão da influência desse material de origem sobre os solos na vertente.

A classificação morfológica dos perfis de solos e dos horizontes baseou-se na proposta da EMBRAPA (2018). Aspectos como cor (MUNSELL, 1994) e estrutura foram descritas nos perfis momentaneamente à coleta.

Além da coleta de material deformado, foram selecionadas e coletadas amostras de padrão indeformado representativas para realização da análise e descrição micromorfológica, seguindo a metodologia de coleta proposta de Castro (2002), Santos *et al.* (2015) e Castro e Cooper (2019), sendo que as amostras indeformadas foram coletadas diretamente dos perfis de solo através da esculturação de micromonólitos com caixas de papel cartão (7 x 7 x 5 cm), preservando a estrutura *in natura* do material.

Os procedimentos laboratoriais utilizados foram: i) análise física, ii) análises químicas, iii) análises mineralógicas e iv) análise micromorfológica. Descritas a seguir.

i) Análise física

A análise física de rotina dos solos utilizada é a análise granulométrica pelo método do peneiramento e pipetagem (EMBRAPA, 2017) com posterior estabelecimento da classificação textural dos solos.

ii) Análises químicas

As análises químicas dos solos neste estudo têm o uso de duas metodologias: a primeira é a de rotina dos solos, também conhecida como análise de fertilidade, de acordo com a EMBRAPA (2017).

Nesta foram realizadas análises de pH em água e em KCl 1 mol L⁻¹ (relação solo:líquido de 1:2,5); de P e K disponíveis extraído com Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol

L^{-1}); Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} extraídos com KCl $1\ mol\ L^{-1}$, além de micronutrientes, como Cu , Mn , Fe , Zn e o teor disponível do metal Pb extraídos com Mehlich-1, e o B , micronutriente, extraído com água quente.

A acidez trocável (Al^{3+}) foi determinada por titulometria após extração com KCl $1\ mol\ L^{-1}$; a acidez potencial ($H + Al$) foi determinada por titulometria após extração com $Ca(OAc)_2$ $0,5\ mol\ L^{-1}$ a $pH\ 7,0$. A matéria orgânica (MO) foi determinado pelo processo de Walkley-Black ($MO = C. Org \times 1,724$). A determinação do fósforo remanescente (P-rem) foi realizada conforme Alvarez V *et al.* (2000).

Os resultados dessas análises posteriormente são calculados e interpretados através de indicadores, como CTC (Capacidade de Troca Catiônica), ΔpH , Soma de Bases (SB), Saturação por Bases (V%) e Saturação por Alumínio (m%).

As técnicas multielementares de base espectroanalíticas (KRUG *et al.* 2001), ICP-OES (espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente) e ICP-MS (espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente), foram usadas para a determinação dos elementos químicos metálicos e o Si (semi-metálico). O procedimento foi realizado nas amostras por fusão com metaborato de lítio ($LiBO_2$) e dissolução ácida com ácido tartárico e nítrico ($C_4H_6O_6$ e HNO_3).

Esta análise busca gerar uma compreensão quantitativa dos horizontes de solos analisados, da pedossequência e dos valores a longo dos ambientes de coleta. A partir destes dados também foi gerado o cálculo da relação entre os elementos zircônio e titânio, por uma simples razão Zr/Ti (TAYLOR e EGGLETON, 2001). Segundo Moreira e Oliveira (2008), esta relação tem sido usada como indicador da quantidade de material de origem intemperizado para se gerar o volume do solo e também se existe ocorrência de descontinuidade litológica no perfil.

iii) Análises mineralógicas

As análises mineralógicas foram utilizadas por meio da Difractometria de Raios X (DRX), com o objetivo de realizar a caracterização mineralógica em amostras das frações argila sem tratamento (argila natural) e areia segundo as recomendações da EMBRAPA (2017) para os horizontes diagnósticos e representativos selecionados.

As amostras de TFSA ($< 2\ mm$) foram submetidas à separação das frações areia, silte e argila (EMBRAPA, 2017). As lâminas de vidro da fração areia foram confeccionadas em pó, enquanto a fração argila foi confeccionada em lâminas orientadas, na forma de argila natural, sem desferrificação.

As lâminas foram confeccionadas em estado pastoso entre duas lâminas de vidro, de acordo com o método do esfregaço (EMBRAPA, 2017). Em seguida, as lâminas foram analisadas no difratograma de raios-x (DRX).

O equipamento utilizado na leitura das amostras foi o aparelho de difratômetro de raios-X PANalytical X'Pert Pro com tubo $\text{CoK}\alpha$, do laboratório de Mineralogia do Solo, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

iv) Análise micromorfológica

A análise micromorfológica foi realizada em amostras selecionadas posteriormente a classificação morfológica dos perfis de solos em campo, em perfis ou horizontes que demonstram a variabilidade do material de origem. Assim, as amostras foram coletadas nos perfis que podem demonstrar a diversidade dos solos também em escala micro, para complementar a análise de descrição morfológica a nível macro.

O procedimento adotado desde a coleta até a descrição das lâminas seguiu as seguintes etapas: i) coleta da amostra indeformada em campo; ii) secagem ao ar por 20 dias; iii) secagem em estufa a 35 °C por sete dias; iv) impregnação das amostras com uma mistura de resina poliéster, monômero de estireno e pigmento fluorescente, usando Butanox como catalisador para a polimerização da resina; v) polimento, e vi) análise e descrição das lâminas (CASTRO *et al.*, 2003; EMBRAPA, 2017).

A análise e descrição das lâminas foi realizada em microscópio petrográfico, de luz transmitida e refletida, com câmera digital acoplada. As descrições seguiram os critérios e terminologia propostos por Bullock *et al.* (1985), Stoops (2003), Stoops *et al.* (2010) e Castro e Cooper (2019).

Os critérios utilizados foram a avaliação da microestrutura e microporosidade, o fundo matricial e a fábrica com o padrão de distribuição relativa grosseiro/fino (g/f), a fração grosseira, a fração fina, o material orgânico, as pedofeições ou feições pedológicas e a pedalidade (CASTRO e COOPER, 2019).

Segundo Castro e Cooper (2019), os poros são os espaços abertos, com caráter volumétrico presente no solo e porosidade é o *continuum* de poros no solo, onde estão relacionadas a passagem de ar, de animais e raízes (bioturbação) e a percolação ou retenção de soluções.

Baseando-se na classificação de poros derivada de Bullock *et al.* (1985) e Stoops (2003), os poros podem ser classificados em: empacotamento complexo, empacotamento simples,

empacotamento composto, planares, vesículas, canais, cavidades, câmaras e fissurais. Quanto a gênese dos poros ou porogênese, Brewer (1976) classifica-os como: litoporos – herança textural da rocha; pedoporos – processos pedogenéticos; e bioporos – formados pela ação biológica, fauna e flora.

O fundo matricial, segundo Castro (2008) e Castro e Cooper (2019), compreende o material que se encontra interno aos agregados elementares e é o termo usado para descrever o material grosseiro, fino e os poros que formam a matriz do solo e seus componentes básicos, aos quais são descritas individualmente, excluindo-se as feições pedológicas.

A fábrica foi descrita e classificada de acordo com a posição de indivíduos semelhantes em relação a indivíduos diferentes (CASTRO e COOPER, 2019). A classificação da fábrica é baseada em Bullock *et al.* (1985) e Stoops (2003), onde se dá pelo padrão de distribuição relativa da fração grosseira e fração fina, que exprime a distribuição das partículas grosseiras (g) em razão às partículas finas (f), dando a razão g/f , que segundo Stoops e Jongerius (1975), é uma das características mais importantes do fundo matricial.

Segundo Bullock *et al.* (1985), Stoops (2003) e Castro e Cooper (2019), a razão g/f pode ser classificada em: gefúrica, quitônica, porfírica e enáulica. Onde o solo pode conter um intergrade de dois ou até quatro tipos de razão g/f . A pedalidade, segundo Castro e Cooper (2019) é composto pela constituição física do solo, baseando-se nos critérios de tamanho, arranjo e forma dos agregados primários do solo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades Morfológicas

Segundo o SiBCS (EMBRAPA, 2018) as propriedades morfológicas são um conjunto de características que estão presentes e são observáveis no solo, ao qual permitem distinguir e determinar qual é o tipo de solo. Entre as propriedades morfológicas do solo, este estudo selecionou as seguintes: profundidade, cor, consistência, transição e estrutura (Tabela 2).

Os latossolos coletados possuem uma variação média de profundidade de 108+ cm, com o valor máximo para o horizonte B latossólico a profundidade de 131 cm e a mínima de 85 cm, tendo a sequência de horizontes coletados apresentando A, AB, B (Bw1, Bw2 e Bw3) e BC, tendo a cor mais amarelada o perfil 2. A estrutura dominante nos horizontes Bw diagnósticos é a 2 Gr M (granular moderado médio).

Quanto a consistência dos latossolos, quando molhado, a plasticidade apresentou duas classes, plástico (PI) em sete horizontes e ligeiramente plástico (LPI) em cinco horizontes. A pegajosidade apresentou duas classes, ligeiramente pegajoso (LPe) em sete horizontes e pegajoso (Pe) em cinco horizontes.

Os cambissolos possuem uma variação da espessura do horizonte Bi entre 25 a 64 cm, com maior espessura para o horizonte Bi do perfil 1, com fraco desenvolvimento estrutural, e menor espessura no perfil 4. Apresentando cor mais amarelado no perfil 1 e mais avermelhada no perfil 5, onde ocorre a predominância de estruturas em blocos subangulares (Bl_s), ocorrendo em treze dos quinze horizontes dos cambissolos.

O perfil 4, mesmo possuindo espessura do horizonte Bi superior a 50 cm, apresenta características morfológicas que o definem como horizonte Bi. Tal como a presença de material grosseiro, como fragmentos de rocha no tamanho calhau (2 a 20 cm) com valor médio para os horizontes Bi igual a 5,29% do volume solo. Além de estrutura com menor grau de desenvolvimento, apresentando grau fraco/moderado nos horizontes Bi1 e Bi2.

Quanto a consistência dos cambissolos, a plasticidade se apresentou entre ligeiramente plástico (LPI) e plástico (PI), havendo a presença de horizontes muito plásticos (MPI) somente no perfil 5, ao qual também se apresentou quase inteiramente como muito pegajoso (MPe).

Tabela 2. Propriedades morfológicas dos perfis.

Horizonte	Prof. cm	Cor		Consistência		Transição	Estrutura
		Seca	Úmida	Plasticidade	Pegajosidade		
SOLOS DA PEDOSSEQUÊNCIA							
Perfil 1 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico, textura argilosa, fase ligeiramente pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo plano.							
AB	00-25	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/4	LPI	LPe	Gradual e ondulada. Clara e ondulada. Abrupta e irregular.	1 Bls P
Bi	25-70	7.5 YR 7/6	2.5 YR 4/6	LPI	NPe		1/2 Bls M
BC	70-160	7.5 YR 8/4	2.5 YR 3/6	LPI	NPe		1/2 Bls P
C	160+	2.5 YR 5/8	10 R 4/8	LPI	MPe		1 Bls P
Perfil 2 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A fraco, textura muito argilosa, fase não pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.							
A	00-07	2.5 Y 5/3	2.5 Y 3/2	PI	Pe	Clara e plana. Clara e plana. Gradual e plana. Gradual e plana. Clara e plana.	2 Gr P
AB	07-20	2.5 Y 5/4	2.5 Y 3/3	PI	Pe		2 Gr M
Bw1	20-40	10 YR 5/4	10 YR 4/4	PI	LPe		2 Gr M
Bw2	40-65	10 YR 6/6	10 YR 4/6	LPI	LPe		2 Gr M
Bw3	65-85	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/6	LPI	LPe		1 Gr P
BC	85+	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/6	PI	Pe		1 Gr P
Perfil 3 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico, A moderado, textura muito argilosa cascalhenta, fase pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.							
A	00-07/10	7.5 YR 6/4	7.5 YR 3/4	PI	LPe	Abrupta e irregular Clara e ondulada Abrupta e ondulada Gradual e ondulada Difusa e ondulada	2 Gr P
AB	07/10-28	7.5 YR 6/4	7.5 YR 3/4	PI	LPe		2 Gr M
Bw1	28-69	7.5 YR 6/4	7.5 YR 3/4	PI	LPe		2 Gr M
Bw2	69-107	5 YR 6/6	5 YR 4/6	LPI	Pe		2 Gr M
Bw3	107-131	5 YR 6/6	5 YR 4/6	LPI	Pe		1 Gr P
BC	131+	2.5 YR 6/6	2.5 YR 4/8	LPI	LPe		1 Gr P
Perfil 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico, textura argilosa, fase pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.							
A	00-11	7.5 YR 5/4	7.5 YR 4/4	PI	Pe	Clara e ondulada. Clara e ondulada. Clara e plana. Clara e plana. Gradual e plana. Abrupta e plana.	1/2 Gr P
AB	11-20	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/6	LPI	Pe		1/2 Gr P
Bi1	20-48	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/6	PI	Pe		1/2 Bls M
Bi2	48-55	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/6	LPI	LPe		1/2 Bls M
Bi3	55-69	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/6	PI	LPe		2 Bls M
Bi4	69-84	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/6	LPI	LPe		2 Bls M
Ab	84-105	10 YR 6/4	10 YR 4/4	PI	LPe		1 Bls P
SOLOS REPRESENTATIVOS DA APA E SEU ENTORNO							
Perfil 5 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, textura argilosa pouco cascalhenta, fase moderadamente pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.							
AB	00-12	2.5 YR 3/6	2.5 YR 2.5/4	PI	MPe	Clara e plana Clara e plana Abrupta e ondulada	1/2 Bls P
Bi	12-37	2.5 YR 4/6	2.5 YR 2.5/4	MPI	MPe		1/2 Bls P
BC	37-81	2.5 YR 4/6	2.5 YR 2.5/4	MPI	MPe		1 Bls MP
C	81-130	7.5 YR 6/6	10 YR 4/6	NPI	NPe		1 Bls MP
Perfil 6 – NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico, textura média-siltosa cascalhenta, A moderado, fase muito pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.							
A	00-30	5 Y 7/1	5 Y 3/1	PI	Pe	Gradual e Plana Gradual e Plana Clara e Plana	1 Ma NPI
C1	30-50	2.5 Y 7/1	2.5 Y 4/2	PI	LPe		1 Ma LPI
C2	50-130	2.5 Y 8/2	2.5 Y 5/4	NPI	NPe		1 Ma NPI
C3	130+	2.5 Y 7/3	2.5 Y 5/3	LPI	LPe		1 Ma LPI
Perfil 7 – NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.							
A	00-22	7.5 YR 6/6	7.5 YR 4/4	PI	LPe	Clara e plana. Gradual e plana. Difusa e plana. Difusa e plana.	1/2 Gr P
Bt1	22-63	5 YR 6/6	5 YR 4/6	PI	LPe		1 Bls P
Bt2	63-119	2.5 YR 6/6	2.5 YR 4/6	LPI	LPe		2 Bls MP
Bt3	119-143	2.5 YR 6/8	2.5 YR 4/6	LPI	LPe		1 Bls MP
BC	143+	2.5 YR 6/6	2.5 YR 4/6	LPI	LPe		1 Bls P

(1) Cor: amassada. Estrutura: 1- fraca 2 – moderada. 3 – forte. Gr – granular. Bas – blocos angulares. Bls – blocos subangulares. Blas – blocos angulares e subangulares. Co – colunar. Ma – maciça. Consistência: Plasticidade – Não-Plástico – NPI; Ligeiramente Plástico – LPI; Plástico – PI; Muito Plástico – MPI. Pegajosidade – Não pegajoso – Npe; Ligeiramente Pegajoso – LPe; Pegajoso – Pe; Muito Pegajoso – MPe. Ld – ligeiramente dura. Md – muito dura. Ed – extremamente dura. Fi – firme. MFi – muito firme. Ef – extremamente firme. ã – não. Lg – ligeiramente. Mt – muito. Pl – plástica. Pe – pegajosa. Transição: pl – plana. ond – ondulada. ab – abrupta. cl – clara. gr – gradual. Tamanho: MP – muito pequena. P – pequena. M – média. G – grande.

Essa mudança na classificação da pegajosidade ocorre devido a maior quantidade de material arenoso e grosseiro neste horizonte C, que possui classificação textural franco-arenosa para a TFSA, tendo uma mudança abrupta da quantidade de argila em relação aos seus horizontes sobrepostos e um percentual de 53,43% de material grosseiro (> 2 mm), provocando uma descontinuidade textural (Tabela 3) entre este horizonte C e os seus horizontes sobrepostos.

O neossolo (perfil 6) coloração amarelo-cinza (2,5 Y), apresenta na sua consistência a plasticidade variando entre PI, LPI e NPI e pegajosidade variando entre Pe, LPe e NPe. A estrutura de todo o perfil é categorizada como maciça (Ma).

O nitossolo (perfil 7) apresentou coloração avermelhada (2.5 YR), tendo na sua consistência plasticidade PI nos horizontes mais superficiais e LPI nos horizontes mais profundos. A classificação da pegajosidade neste perfil apresentou somente uma classe, a LPe. A estrutura do perfil foi classificada como blocos subangulares.

A profundidade máxima em que foram encontradas raízes foi no perfil 6, tendo presença de raízes até em torno de 70 cm (horizonte C2), diminuindo a quantidade à medida que aumenta a profundidade. Neste caso, devido a sua estrutura maciça com granulometria bastante arenosa, contendo média $384,8 \text{ kg kg}^{-1}$ de areia grossa e média de $483,5 \text{ kg kg}^{-1}$ de areia total. Neste solo, a estrutura e a porosidade são basicamente as mesmas nos horizontes C1, C2 e C3.

3.2. Propriedade Físicas

Quanto a textura, o solo que apresentou a textura mais arenosa foi o perfil 6, com média de $0,483 \text{ kg kg}^{-1}$ de areia, enquanto o solo mais argiloso foi o perfil 2, com média de $0,659 \text{ kg kg}^{-1}$ de argila. A partícula que domina entre todos os perfis é a argila, com média geral de $0,493 \text{ kg kg}^{-1}$, tendo o maior valor de $0,719 \text{ kg kg}^{-1}$ no horizonte Bw2 do perfil 2 e o menor valor o de $0,183 \text{ kg kg}^{-1}$ no horizonte C do perfil 5.

É importante destacar que o aumento da quantidade de argila até o horizonte B mais profundo ocorreu nos Latossolos Vermelho-Amarelos, perfis 2 e 3. Enquanto nos demais solos, derivados de rocha máfica (perfis 5 e 7), de pegmatito (perfil 6), de material alóctone (perfil 4) ou do contato entre eles, como no perfil 1, o padrão de aumento da quantidade de argila não se evidencia.

Tabela 3. Propriedades físicas dos solos.

Horizonte	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Silte / Argila	AF/AG	> 2mm (%)	> 2 cm (%)	Classificação Textural*
	cm	kg kg ⁻¹								
SOLOS DA PEDOSSEQUÊNCIA										
Perfil 1 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico, textura argilosa, fase ligeiramente pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo plano.										
AB	00-25	0,362	0,108	0,145	0,385	0,37	0,30	2,66	0,21	Argilosa
Bi	25-70	0,251	0,075	0,187	0,487	0,38	0,30	5,70	1,28	Argilosa
BC	70-160	0,296	0,043	0,294	0,368	0,79	0,15	7,10	1,30	Argilosa
C	160+	0,277	0,121	0,264	0,338	0,78	0,44	0,96	0,30	Argilosa
Perfil 2 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A fraco, textura muito argilosa, fase não pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.										
A	00-07	0,332	0,094	0,017	0,556	0,03	0,28	3,15	0,12	Argilosa
AB	07-20	0,228	0,095	0,040	0,636	0,06	0,42	2,53	0,36	Muito Argilosa
Bw1	20-40	0,189	0,082	0,041	0,688	0,06	0,43	1,85	0,00	Muito Argilosa
Bw2	40-65	0,204	0,065	0,012	0,719	0,01	0,32	3,22	0,00	Muito Argilosa
Bw3	65-85	0,220	0,074	0,016	0,690	0,02	0,34	8,26	0,53	Muito Argilosa pouco cascalhenta
C	85+	0,201	0,073	0,057	0,669	0,08	0,36	6,04	0,44	Muito Argilosa
Perfil 3 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico, A moderado, textura muito argilosa cascalhenta, fase pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.										
A	00-07/10	0,276	0,062	0,045	0,618	0,07	0,22	27,15	7,51	Muito Argilosa cascalhenta
AB	07/10-28	0,287	0,067	0,036	0,610	0,06	0,23	23,59	0,58	Muito Argilosa cascalhenta
Bw1	28-69	0,244	0,057	0,041	0,658	0,06	0,23	14,80	0,32	Muito Argilosa pouco cascalhenta
Bw2	69-107	0,186	0,045	0,064	0,705	0,09	0,24	50,40	22,05	Muito Argilosa muito cascalhenta
Bw3	107-131	0,165	0,043	0,076	0,715	0,10	0,26	47,22	12,27	Muito Argilosa cascalhenta
BC	131+	0,247	0,031	0,124	0,597	0,20	0,13	37,21	5,83	Argilosa cascalhenta
Perfil 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico, textura argilosa, fase pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.										
A	00-11	0,367	0,114	0,056	0,462	0,12	0,31	4,98	4,56	Argilosa
AB	11-20	0,390	0,138	0,050	0,422	0,12	0,35	15,25	9,71	Argilosa cascalhenta
Bi1	20-48	0,224	0,141	0,065	0,570	0,11	0,63	4,16	6,13	Argilosa
Bi2	48-55	0,311	0,114	0,052	0,522	0,09	0,37	5,40	5,19	Argilosa
Bi3	55-69	0,379	0,131	0,031	0,459	0,06	0,35	4,53	4,97	Argilosa
Bi4	69-84	0,341	0,131	0,064	0,464	0,13	0,38	2,41	4,89	Argilosa
Ab	84-105	0,322	0,120	0,072	0,486	0,15	0,37	9,03	4,77	Argilosa pouco cascalhenta
SOLOS REPRESENTATIVOS DA APA E SEU ENTORNO										
Perfil 5 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, textura argilosa pouco cascalhenta, fase moderadamente pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.										
AB	00-12	0,289	0,102	0,091	0,518	0,17	0,35	19,97	2,88	Argilosa cascalhenta
Bi	12-37	0,260	0,105	0,077	0,559	0,13	0,40	10,96	5,28	Argilosa pouco cascalhenta
BC	37-81	0,309	0,105	0,103	0,484	0,21	0,34	11,39	6,17	Argilosa pouco cascalhenta
C	81-130	0,445	0,156	0,216	0,183	1,18	0,35	53,43	12,04	Média-arenosa muito cascalhenta
Perfil 6 – NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico, textura média-siltosa cascalhenta, A moderado, fase muito pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.										
A	00-30	0,428	0,119	0,202	0,252	0,80	0,28	28,21	16,55	Média-argilosa cascalhenta
C1	30-50	0,331	0,108	0,232	0,330	0,70	0,33	26,59	12,85	Média-siltosa cascalhenta
C2	50-130	0,432	0,097	0,227	0,244	0,93	0,22	27,91	15,43	Média-argilosa cascalhenta
C3	130+	0,348	0,071	0,250	0,332	0,75	0,20	29,51	17,77	Média-siltosa cascalhenta
Perfil 7 – NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.										
A	00-22	0,355	0,166	0,142	0,337	0,42	0,47	0,35	0,00	Média-argilosa
Bt1	22-63	0,300	0,159	0,124	0,416	0,29	0,53	0,96	0,00	Argilosa
Bt2	63-119	0,248	0,123	0,138	0,491	0,28	0,50	0,41	0,00	Argilosa
Bt3	119-143	0,297	0,136	0,144	0,423	0,34	0,46	4,68	0,20	Argilosa
BC	143+	0,311	0,153	0,160	0,376	0,42	0,49	0,34	0,00	Argilosa

*De acordo com SiBCS (EMBRAPA, 2018).

Quanto à fração fina do solo (< 2mm), os perfis 1 e 4 possuem peculiaridades de serem perfis de descontinuidade litológica e pedogenética. O perfil 1 é de contato entre as três rochas da área e o perfil 4 é de material alóctone, demonstrando conseqüentemente variabilidades de textura. Dessa forma, a quantidade de areia é maior no perfil 4, seguido pelos perfis 1, 2 e 3. Para a argila, ocorre uma diminuição progressiva do perfil 2 ao perfil 4, onde o perfil 1 apresenta média quantidade relativamente pequena (0,395 kg kg⁻¹).

Na pedossequência não ocorreu um aumento gradual das frações granulométricas da parte mais elevada para o sopé da vertente, como é normalmente esperado, de acordo com Cunha *et al.* (2005). Essa diferença com o que os autores salientam para a vertente estudada pode ser devido a variabilidade do material de origem dos perfis (1 ao 4), não sendo derivados de um mesmo tipo de material de origem.

O perfil 3 apresentou percentual elevado da fração > 2mm, com 33,4% e variando entre 14,8% a 50,4%, sendo o solo que apresentou o maior percentual de fração grosseira, o que evidencia a sua base alóctone, material coluvial depositado na meia vertente (posição do perfil na vertente).

Com relação a quantidade de cascalhos ou maior (> 2mm) houve um pequeno aumento destes do perfil 1 para o perfil 2 e aumentando consideravelmente para o perfil 3: 4,11%, 4,17% e 33,4%. Voltando a diminuir no perfil 4 (6,54%), onde ocorre uma variabilidade da quantidade de material > 2mm ao longo dos horizontes, como observado na descrição morfológica em campo e confirmado nos dados das Tabela 3 e 4.

Tabela 4: médias de argila e areia dos perfis da pedossequência.

	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4
Areia	0,383 >	0,309 >	0,285 <	0,460
Argila	0,394 <	0,659 >	0,650 >	0,483

Quanto a presença de calhaus (2 a 20 cm), os perfis 1, 3, 4, 5 e 6 apresentam valores representativos. O perfil 1 apresentou média de calhaus igual a 0,77% (ligeiramente pedregosa) esparsamente distribuídos. O perfil 3, pela presença da linha de seixos, apresentou para todos horizontes média de 8,09% de calhaus na massa do solo (classe pedregosa) e para os horizontes Bw2 e Bw3 a média de 17,16% de calhaus na massa do solo (classe muito pedregosa), onde se encontra as linhas de seixos. Enquanto o horizonte AB também apresenta matações, e baixa quantidade com valor de 0,21%.

O perfil 4 apresentou maior proporção de calhaus no horizonte AB, com percentual igual a 9,71% (classe pedregosa) e média de calhaus igual 5,05% para os horizontes Bi (classe

pedregosa). Esse percentual define como uma característica de horizonte B incipiente (Bi), como resquício da rocha-mãe ou saprolito em valor superior a 5% do volume do horizonte (EMBRAPA, 2018).

O perfil 5 apresentou média de 5,84% de calhaus na massa do solo (classe moderadamente pedregosa) entre os horizontes B, Bi e BC com presença de fragmentos de rocha semi e não intemperizadas.

O perfil 6 apresentou média de 15,65% de calhaus na massa do solo (classe muito pedregosa). Para os cinco perfis, foi observado quanto a pedregosidade variação de classes entre os perfis de ordem semelhante, apresentando as classes não pedregosa (perfis 2 e 7), ligeiramente pedregosa (perfil 1), pedregosa (perfis 3 e 4), moderadamente pedregosa (perfil 5) e muito pedregosa (perfil 6).

A relação textural *site/argila* (RT-S/A) indica o grau de intemperismo do perfil, onde valores de RT-S/A menores que 0,6 em solos de textura argilosa ou com valor de RT-S/A menor que 0,7 em solos de textura média indicam intemperismo mais acentuado dos solos. Assim, o perfil 6 possui integralmente valor da RT-S/A maior que 0,7 (textura média ou superior), o que ocorre também nos horizontes C dos perfis 1 e 5 e no horizonte BC do perfil 1. Indicando que estes solos, em comparação aos demais analisados, são os menos desenvolvidos pedogeneticamente.

Segundo Novaes Filho *et al.* (2012), a utilização da relação textural entre areia fina/areia grossa (AF/AG) tem tido sucesso para indicar a homogeneidade ou heterogeneidade do material de origem. Cálculo que pode indicar a presença de descontinuidade litológica (IBGE, 2015) onde o solo se desenvolveu. De acordo com Kuzila (1995), é esperado que materiais mais homogêneos mantenham uma relação uniforme dos valores de AF/AG e nos materiais mais heterogêneos ocorra alteração nos valores da relação AF/AG de acordo com os horizontes/profundidade do perfil.

Existe um descompasso entre o conceito e a prática do termo descontinuidade litológica (IBGE, 2015), tanto para os perfis estudados quanto para as áreas observadas durante o levantamento de campo realizado anteriormente a coleta dos perfis. Na área, fica evidente que existe não só um tipo de descontinuidade litológica, que é definida como:

i) *descontinuidade litológica* – contato litológico de duas ou mais litologias no perfil (IBGE, 2015).

Para o conceito de descontinuidade litológica, o Perfil 1 é o que se encaixa neste conceito, pois possui contato litológico de gnaiss, pegmatito e diabásio à medida que a profundidade do perfil aumenta.

A partir deste conceito, associado as descrições morfológicas e a relação entre AF/AG, é proposto a divisão do conceito de descontinuidade litológica (IBGE, 2015) em mais dois novos conceitos, definidos e descritos a seguir:

ii) *descontinuidade parental* – contato de dois ou mais materiais parentais, derivados de processos diferentes de formação (alóctone e autóctone). O Perfil 3, com horizontes autóctones e alóctones, evidenciado pela linha de seixos, separando os materiais de origem apresenta esse tipo de descontinuidade;

iii) *descontinuidade pedogenética* – perfil de solo onde exista mais de um processo pedogenético predominante, ocasionado por alguma modificação ambiental, tal como deposição de colúvio, modificação do nível de base, entre outros processos que possam ocasionar a modificação do processo pedogenético atuante no solo. O Perfil 4 apresenta este tipo de descontinuidade.

3.3. Propriedades químicas

3.3.1. Análise química de rotina do solo

Os solos da área apresentam características químicas diferentes, relacionadas principalmente com a classificação do solo, com a variação do material de origem e com influência do relevo (Tabela 5).

Em relação ao pH, de modo geral, os solos apresentam caráter ácido e valores de ΔpH ($\text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$) negativos, indicando predominância de carga superficial líquida negativa em todos perfis e horizontes. As classes mais ácida e mais alcalina (Alvarez V *et al.* 1999) encontradas foram, respectivamente, muito fortemente ácido no horizonte Bi4 do perfil 4 ($\text{pH } 4,60$) e moderadamente ácido no horizonte BC do perfil 7 ($\text{pH } 5,93$).

Nos latossolos a acidez ativa, em relação ao pH em água, variou entre acidez elevada e média. Assim, estes perfis são classificados como acidez elevada (ALVAREZ V. *et al.* 1999). O nitossolo, perfil 7, formado sobre colúvio derivado de material máfico e gnáissico é classificado como acidez média.

Os cambissolos são distintos quanto à classificação da acidez, o perfil 4 é classificado em acidez elevada, formado sobre material coluvial proveniente de gnaiss e pegmatito,

enquanto o perfil 5 é desenvolvido sobre material autóctone máfico, sendo classificado como acidez média. O neossolo, perfil 6, é classificado como acidez média.

Quanto ao caráter de saturação por bases, eutrofia ou distrofia, entre os solos analisados, cinco perfis são classificados como distróficos, sendo os perfis 1, 2, 3, 4 e 6, desenvolvidos majoritariamente sobre gnaisse e pegmatito. Enquanto os perfis 5 e 7, desenvolvidos sobre diabásio, são classificados como eutróficos (média de V% igual a 73,07% e 74,02%).

Para os perfis distróficos, somente 2 horizontes apresentaram caráter eutrófico, os horizontes superficiais (A) dos perfis 4 e 6. Devido a diversidade dos materiais de origem e relevo, não houve a possibilidade de constatação de maior ou menor valor de pH do solo de acordo com o tipo de material de origem.

Os cátions, que são componentes da V%, possuem sua saturação específica, onde o cátion dominante nos solos analisados, em geral é o Ca^{2+} , possuindo o maior valor médio de saturação no perfil 7 (56,02%), devido ao seu material de origem, o diabásio. Os demais cátions possuem as seguintes médias de saturação: Mg^{2+} igual a 10,60% e K^+ igual a 2,16%. Onde as maiores médias de saturação de Mg^{2+} e K^+ foram, respectivamente, 19,62% no perfil 1 e 6,84% no perfil 6.

Nos latossolos, quanto aos componentes da V%, o perfil 2 (autóctone) apresentou os maiores teores médios de K^+ e Ca^{2+} dentro dessa classe de solo. Nos cambissolos, os perfis variam os valores dos componentes da V% de acordo com o material de origem. Onde os maiores valores de K^+ e Ca^{2+} estão nos perfis 5 e 4, que são, sequencialmente, provenientes de rocha máfica e de colúvio derivado de material máfico. O perfil 5 é também o que apresenta o maior conteúdo de Mg^{2+} , disponibilidade do material máfico.

No perfil 4, cambissolo de origem alóctone, ocorre uma variabilidade dos componentes da V%, com maiores valores nos dois horizontes mais superficiais, diminuindo até certa profundidade e aumenta no horizonte enterrado (Ab), indicando a variabilidade da origem do material coluvial neste perfil, a descontinuidade pedogenética.

O neossolo apresentou os maiores valores de K^+ , com valores bastante superiores aos demais perfis, tendo média de 144,3 mg dm^{-3} . Indicando que o pegmatito, em comparação as demais litologias da área, possui maior quantidade de K^+ em sua matriz geoquímica.

O teor de MO nos perfis, de modo geral, diminui à medida que aumenta a profundidade. Entre todos os horizontes A, em relação ao teor de MO, merecem destaque os perfis 2, 3, 4 e 6, respectivamente com valores de 2,34, 1,95, 2,02 e 2,02 dag kg^{-1} .

Tabela 5. Propriedades químicas da TFSA dos solos da pedossequência e dos solos representativos da APA Serra da Piedade e seu entorno.

Horiz.	Prof. cm	pH		P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	MO	P-rem	B	Cu	Mn	Fe	Zn	Ni	Pb
		H ₂ O	KCl	--- mg dm ³ --	----- cmolc dm ³ -----								-----% -----	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	----- mg dm ³ -----							
SOLOS DA PEDOSSEQUÊNCIA																							
Perfil 1 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico, textura argilosa, fase ligeiramente pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo plano.																							
AB	00-25	4,92	3,92	1,20	81,00	0,99	0,85	0,69	4,40	2,05	2,74	6,45	31,80	25,20	2,49	33,20	0,22	0,90	13,1	99,10	0,54	1,01	6,94
Bi	25-70	4,85	4,07	0,20	23,00	0,50	0,56	0,69	2,80	1,12	1,81	3,92	28,60	38,10	1,00	22,60	0,12	0,66	2,20	32,90	0,65	0,52	8,23
BC	70-160	5,15	4,17	0,10	19,00	0,22	0,44	0,69	1,80	0,71	1,40	2,51	28,30	49,30	0,37	22,90	0,10	0,30	0,50	16,60	0,37	0,00	6,21
C	160+	5,07	4,34	0,00	25,00	0,13	0,75	0,30	1,30	0,94	1,24	2,24	42,00	24,20	0,37	20,50	0,10	0,41	1,50	50,70	0,22	0,06	10,02
Perfil 2 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A fraco, textura muito argilosa, fase não pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.																							
A	00-07	5,4	4,39	2,20	145,00	1,83	1,26	0,20	5,40	3,46	3,66	8,86	39,10	5,50	4,04	30,60	0,38	0,44	13,30	52,40	1,20	0,08	1,70
AB	07-20	5,17	4,17	2,00	35,00	1,42	0,61	0,59	5,40	2,12	2,71	7,52	28,20	21,80	3,11	23,70	0,32	0,45	7,30	63,90	0,77	0,51	2,51
Bw1	20-40	5,1	4,17	0,80	21,00	0,97	0,32	0,69	4,90	1,34	2,03	6,24	21,50	34,00	2,49	20,90	0,28	0,39	3,60	74,50	0,62	0,59	1,71
Bw2	40-65	4,84	4,16	0,40	11,00	0,72	0,17	0,89	4,40	0,92	1,81	5,32	17,30	49,20	1,62	15,00	0,25	0,39	2,10	71,00	0,48	0,69	2,17
Bw3	65-85	5,07	4,22	0,30	15,00	0,60	0,18	0,69	3,90	0,82	1,51	4,72	17,40	45,70	1,24	14,00	0,24	0,33	2,10	50,50	0,42	0,68	2,30
BC	85+	4,98	4,24	0,20	3,00	0,41	0,09	0,89	3,70	0,51	1,40	4,21	12,10	63,60	1,00	8,80	0,15	0,30	0,90	24,40	0,44	0,85	2,14
Perfil 3 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico, A moderado, textura muito argilosa cascalhenta, fase pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.																							
A	00-07/10	4,67	4,04	3,50	73,00	0,98	0,54	0,89	6,20	1,71	2,60	7,91	21,60	34,20	3,36	24,30	0,36	0,63	13,60	101,40	0,98	1,03	4,05
AB	07/10-28	4,81	4,05	0,60	21,00	0,40	0,15	1,28	5,00	0,60	1,88	5,60	10,70	68,10	2,24	18,60	0,27	0,49	3,30	57,80	0,27	0,55	4,14
Bw1	28-69	4,75	4,02	0,30	11,00	0,31	0,05	1,48	5,40	0,39	1,87	5,79	6,70	79,10	2,24	17,60	0,33	0,41	1,80	77,50	0,63	0,54	3,53
Bw2	69-107	4,74	4,10	0,40	5,00	0,23	0,03	1,18	4,10	0,27	1,45	4,37	6,20	81,40	1,12	12,60	0,24	0,39	1,20	55,30	0,2	0,99	4,24
Bw3	107-131	4,85	4,19	0,30	5,00	0,38	0,02	0,69	2,80	0,41	1,10	3,21	12,80	62,70	0,75	14,40	0,18	0,26	0,60	19,00	0,25	0,96	3,05
BC	131+	4,87	4,21	0,40	21,00	0,40	0,03	0,69	2,40	0,48	1,17	2,88	16,70	59,00	0,75	15,60	0,14	0,20	0,50	19,20	0,44	1,08	2,99
Perfil 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico, textura argilosa, fase pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo suave ondulado.																							
A	00-11	5,79	5,02	3,80	219,00	3,05	1,36	0,00	2,40	4,97	4,97	7,37	67,40	0,00	3,48	35,30	0,44	0,80	48,30	41,00	3,30	1,26	2,40
AB	11-20	5,28	4,38	2,70	81,00	1,22	0,66	0,20	3,10	2,09	2,29	5,19	40,30	8,70	1,87	31,90	0,24	1,05	27,30	74,50	1,90	1,24	3,35
Bi1	20-48	5,02	4,19	0,60	27,00	0,93	0,38	0,79	3,60	1,38	2,17	4,98	27,70	36,40	1,62	23,10	0,21	0,80	15,30	66,50	1,40	0,80	4,04
Bi2	48-55	4,73	4,14	0,60	13,00	0,85	0,23	0,59	3,60	1,11	1,70	4,71	23,60	34,70	1,62	23,50	0,20	0,78	13,00	51,70	0,55	1,42	3,26
Bi3	55-69	4,67	4,16	0,60	5,00	0,68	0,13	0,49	3,30	0,82	1,31	4,12	19,90	37,40	1,37	24,90	0,17	0,56	10,10	61,20	0,52	0,86	2,89
Bi4	69-84	4,60	4,14	0,30	7,00	0,60	0,10	0,69	3,40	0,72	1,41	4,12	17,50	48,90	1,37	22,60	0,16	0,78	19,10	88,80	0,38	1,02	3,54
Ab	84-105	4,80	4,10	0,50	7,00	0,96	0,13	0,69	3,40	1,11	1,80	4,51	24,60	38,30	1,00	21,50	0,19	1,68	39,20	48,00	0,60	1,22	2,11
SOLOS REPRESENTATIVOS DA APA E SEU ENTORNO																							
Perfil 5 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico, textura argilosa pouco cascalhenta, fase moderadamente pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.																							
AB	00-12	5,28	4,57	0,30	91,00	3,61	1,39	0,00	2,30	5,23	5,23	7,53	69,50	0,00	1,00	17,70	0,15	5,68	66,10	73,10	1,71	1,74	0,93
Bi	12-37	5,39	4,71	0,70	33,00	3,98	1,32	0,00	2,30	5,38	5,38	7,68	70,10	0,00	0,75	15,00	0,09	4,87	36,00	65,80	1,58	1,31	0,11
BC	37-81	5,63	4,72	0,80	42,00	5,02	1,37	0,00	1,80	6,50	6,50	8,30	78,30	0,00	0,62	20,60	0,07	3,97	21,00	54,00	1,33	1,06	0,31
C	81-130	5,80	4,39	1,60	29,00	3,07	0,63	0,20	1,30	3,77	3,97	5,07	74,40	5,00	0,37	37,50	0,06	2,00	28,60	50,70	2,71	0,30	0,68
Perfil 6 – NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico, textura média-siltosa cascalhenta, A moderado, fase muito pedregosa, floresta tropical subperenifólia, relevo ondulado.																							
A	00-30	5,68	4,81	6,10	165,00	3,19	1,58	0,00	3,10	5,19	5,19	8,29	62,6	0,00	3,48	48,10	0,38	0,45	35,40	23,90	0,88	0,50	5,33
C1	30-50	4,98	3,96	3,50	145,00	1,02	0,63	0,69	3,60	2,02	2,71	5,62	35,9	25,50	1,37	40,10	0,23	0,31	5,90	85,00	0,94	0,08	14,68
C2	50-130	5,05	3,92	1,40	155,00	0,46	0,43	0,69	2,80	1,29	1,98	4,09	31,5	34,80	0,62	39,00	0,13	0,22	1,70	40,50	0,29	0,13	23,75
C3	130+	5,15	4,05	1,30	112,00	0,97	0,64	0,59	2,90	1,90	2,49	4,80	39,6	23,70	1,37	36,60	0,16	0,34	3,20	19,20	0,85	0,23	18,04
Perfil 7 – NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado.																							
A	00-22	5,59	4,42	1,30	75,00	4,48	1,57	0,00	2,80	6,24	6,24	9,04	69,00	0,00	2,24	31,90	0,20	1,21	32,30	81,70	1,52	0,42	0,72
Bt1	22-63	5,64	4,50	0,50	33,00	4,75	1,03	0,00	2,60	5,86	5,86	8,46	69,30	0,00	1,49	23,10	0,12	1,56	25,80	66,20	1,12	0,43	0,40
Bt2	63-119	5,80	5,10	0,80	17,00	4,25	0,92	0,00	1,80	5,21	5,21	7,01	74,30	0,00	0,87	11,50	0,07	1,26	11,90	49,20	1,09	0,28	0,92
Bt3	119-143	5,93	5,00	0,80	15,00	4,24	1,41	0,00	1,60	5,69	5,69	7,29	78,10	0,00	0,75	14,90	0,08	1,06	9,20	88,50	0,83	0,41	0,18
BC	143+	5,90	4,65	1,40	27,00	4,18	1,54	0,00	1,50	5,79	5,79	7,29	79,40	0,00	0,62	23,90	0,07	0,82	13,10	94,20	1,48	0,69	0,48

Quanto ao teor de P, o valor tende a diminuir com o aumento da profundidade em cinco perfis, padrão caracterizado como normal. Porém, os perfis 3 e 4 possuem a peculiaridade de o teor diminuir até as profundidades de 69 cm e 84 cm, respectivamente, e volta a aumentar ou variar nos horizontes mais profundos, sendo um indicativo da origem alóctone nestes perfis.

Para o Prem, ocorre outro padrão de variação dos valores. Nos perfis 1, 2 e 5 os valores diminuem à medida que a profundidade aumenta. Já, no perfil 3, posicionado na meia vertente, os teores de Prem diminuem até o horizonte Bw2 e posteriormente voltam a aumentar à medida que os horizontes se tornam mais profundos. Nesse caso, uma clara possibilidade de correlação ao processo de origem do perfil, sendo formados sobre material alóctone (coluvial) da alta vertente, depositados com provável intervalo temporal e diversidade do material proveniente entre a parte superior e inferior do perfil.

Para os valores de micronutrientes (B, Cu, Mn, Fe e Zn), nos cambissolos o padrão de valores se diferencia de acordo com o tipo de material de origem. No perfil 1 (contato litológico e autóctone), os teores de todos os micronutrientes decresceram com o aumento da profundidade dos horizontes até no horizonte C, onde houve a detecção de aumento do Cu, Mn e Fe, provavelmente decorrente da presença de material máfico (contato litológico) neste horizonte.

No cambissolo de origem alóctone (perfil 4), houve uma variabilidade dos valores de micronutrientes em todo o perfil. Onde o alto valor de Mn no horizonte Ab é um indicativo que este horizonte é um A enterrado. No perfil 5 (origem autóctone e máfica) houve a diminuição dos valores com o aumento da profundidade, provavelmente pela menor disponibilidade em profundidade devido ao menor grau de intemperismo dos minerais primários. O neossolo (perfil 6) também apresentou diminuição dos valores de micronutrientes à medida que se aumentou a profundidade no perfil.

O único perfil exclusivamente desenvolvido sobre pegmatito (perfil 6) apresentou um elevado valor de Pb comparado aos demais perfis analisados, algo que também Leite Junior (2002) e Dias (2012) detectaram, no caso deles, pela presença do mineral galena (PbS) em suítes pegmatíticas do estado de Rondônia.

3.3.2. Análise química por ICP-OES e ICP-MS

A análise química dos solos por meio de técnicas multielementares de base espectroanalíticas ICP-OES e ICP-MS foram realizadas em amostras dos horizontes

diagnósticos dos perfis 1, 2, 3, 5, 6 e 7, e de horizontes representativos dos perfis 1 e 4 (Tabela 7), por possuírem descontinuidades litológica e pedogenética.

Assim, essas análises multielementares foram usadas para detectar elementos químicos relacionados à diversidade litológica de origem dos solos, onde os pegmatitos geralmente possuem em sua composição elementos químicos como Lítio (Li), Berilo (Be), Boro (B), Flúor (F), Fósforo (P), Estanho (Sn), Tântalo (Ta), Nióbio (Nb) e ETR, sendo classificados em pegmatitos LCT, com base nos elevados teores de Li, Cs e Ta, NYF com base nos teores de Nb, Ítrio (Y) e F e mistos (Černý, 1990, 1991). Além dos elementos químicos e ETR associados às rochas máficas.

Segundo Cerný e Ercit (2005), outros elementos como Urânio (U), Tório (Th), Zircônio (Zr), Rubídeo (Rb), Bário (Ba) e Háfnio (Hf) são comuns em pegmatitos e em ambientes associados com este tipo de rocha. No solo ou horizontes desenvolvidos sobre este material de origem, somente os valores de Ba são representativamente maiores que em outras amostras, enquanto os outros elementos apresentam valores menores ou próximos aos demais horizontes analisados.

Para os latossolos analisados (perfis 2 e 3), os teores de Zr detectados foram expressivos em todos os perfis. O perfil 7, nitossolo, desenvolvido sobre diabásio, apresentou teores mais expressivos de alguns ETR's (Ce, La, Pr e Sm), portanto, o material de origem explica maior valor destes ETR's, correspondente a coloração mais avermelhada do perfil em comparação ao seu entorno.

Para os cambissolos, quanto aos valores de ETR's, o horizonte com destaque é o C do perfil 1, ao qual todos os ETR's tiveram valores maiores a qualquer outro horizonte, até mesmo em relação aos seus horizontes subjacentes, BC e Bi. Um valor maior esperado pelas observações feitas durante a descrição morfológica do perfil. O P5, como esperado por ser um solo menos desenvolvido, ainda com a presença de material grosseiro e formado sobre rocha máfica, também apresentou valores maiores aos solos mais desenvolvidos e sobre material predominantemente gnáissico (perfis 2 e 3).

Tabela 6. Análises químicas de TFSA dos solos, triturada em 0,106 mm, por ICP-OES e ICP-MS.

Amostras	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	U	Th	Nb	Zr	TiO ₂	Sn	Ta	Rb	Ba	Cs	Hf	
	g kg ⁻¹			ppm											
BRANCO	0,80	12,20	>90	0,09	0,70	1,26	16,00	<100	0,3	0,7	<0,2	<10	0,12	<0,05	
P1-Bi	205,10	45,60	588,10	6,39	31,10	34,04	197,00	5400	8,40	2,84	84,00	255,00	2,06	5,84	
P1-BC	200,70	29,20	627,60	6,33	28,50	43,46	109,00	2700	5,10	4,13	118,50	108,00	1,85	5,26	
P1-C	248,40	87,50	476,20	23,09	48,80	35,53	312,00	10700	5,70	3,81	88,70	658,00	3,16	8,19	
P2-Bw1+Bw2	269,90	72,30	480,50	7,40	38,70	26,33	397,00	11300	3,40	1,76	10,30	31,00	2,50	9,72	
P3-Bw3	245,60	55,80	564,00	4,81	31,90	24,38	267,00	7500	3,70	3,04	10,40	19,00	1,86	6,39	
P4-AB	166,00	47,30	717,80	7,67	25,50	14,67	558,00	7300	2,40	0,89	17,20	127,00	1,53	13,63	
P4-Ab	163,00	36,20	667,00	7,11	23,30	15,53	361,00	7500	2,10	1,17	54,00	251,00	2,11	9,74	
P5-Bi	199,50	100,00	551,90	9,94	26,60	23,71	275,00	9700	4,30	1,79	112,30	657,00	7,51	6,77	
P6-C1	176,10	14,90	682,90	3,64	17,70	13,24	104,00	1200	2,20	1,05	191,80	103,00	3,32	3,84	
P7-Bt2	184,40	71,50	586,10	2,52	17,70	13,55	332,00	9100	3,20	0,63	46,10	664,00	1,51	7,43	
Elementos Terras Raras (ETR's)															
Amostras	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
	ppm														
BRANCO	<0,1	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1	0,13	<0,05	0,1	<0,05	0,08	0,1	0,06	<0,1	0,12	0,86
P1-Bi	51,80	185,90	9,95	34,30	5,70	1,03	4,64	0,62	3,65	0,70	2,26	0,33	2,50	0,41	21,26
P1-BC	88,20	114,90	17,12	59,10	8,80	1,53	7,18	0,97	5,83	1,18	3,92	0,61	4,50	0,75	38,43
P1-C	228,10	203,60	50,62	180,60	29,50	5,18	21,08	2,51	13,89	2,47	7,63	1,04	7,40	1,13	68,34
P2-Bw1+Bw2	7,00	77,00	1,16	4,70	1,10	0,17	1,21	0,22	1,75	0,38	1,45	0,21	1,60	0,26	11,64
P3-Bw3	4,70	59,50	1,36	5,40	1,50	0,26	2,02	0,49	3,13	0,75	2,46	0,40	2,60	0,46	24,47
P4-AB	14,50	73,40	2,91	10,20	1,90	0,40	1,99	0,40	2,55	0,62	2,10	0,35	2,40	0,41	18,24
P4-Ab	12,90	51,70	2,10	7,60	1,40	0,28	1,51	0,26	1,89	0,40	1,37	0,19	1,50	0,24	12,05
P5-Bi	41,40	94,00	8,81	32,50	6,40	1,40	5,69	0,94	5,40	1,19	3,91	0,62	4,20	0,72	33,70
P6-C1	5,40	11,50	0,89	3,90	1,30	0,27	2,30	0,50	4,23	0,96	3,35	0,47	3,30	0,47	30,40
P7-Bt2	56,50	157,70	12,77	46,80	8,00	1,40	6,38	0,88	4,89	0,88	2,50	0,32	2,20	0,32	21,26

ICP-MS: U, Th, Y, Nb, Sn, Ta, Rb, Cs, Hf, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Ym, Yb e Lu.

ICP-OES: Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, Zr e Ba.

O horizonte C do perfil 1 apresentou os maiores valores de ETR's em razão do ambiente ser de contato entre duas litologias distintas e correlacionadas: diabásio, material máfico provavelmente rocha ígnea básica e pegmatito, provavelmente ígnea ácida. Onde o horizonte C apresenta maiores valores de ETR's em decorrência de menor grau de intemperismo, diferença litológica e menor grau de desenvolvimento pedogenético em comparação aos seus horizontes superiores.

Neste caso, existem três possibilidades para os altos valores químicos do horizonte C do perfil 1: i) origem da própria rocha máfica (ígnea básica); ii) derivado da compressão pelo contato entre a rocha máfica e o pegmatito; e iii) acúmulo químico entre o material lixiviado do pegmatito mais a quantidade *in natura* da rocha máfica.

Em qualquer uma das três possibilidades, o total de elementos químicos como o U, Th, Ba e ETR's detectados (Tabela 7) é muito maior no horizonte P1-C que nos demais horizontes analisados, de todos os perfis coletados, mesmo em perfil desenvolvido sobre material de origem compatível, o perfil 5, que também é desenvolvido sobre diabásio.

O horizonte Bi do perfil 5 também apresenta valores elevados de ETR's, devido a sua formação sobre diabásio, provavelmente ígnea intermediária. Apresentando maiores valores de Fe₂O₃ e de alguns elementos relacionados ao material magmático (Rb, Ba e Cs) e de alguns ETR's (La, Ce, Pr e Sm). Enquanto o horizonte C1 do perfil 6 não apresentou valores elevados de ETR's e nem de elementos característicos de pegmatito, onde possui elevada predominância de Al₂O₃ e SiO₂, condizente com os resultados das análises mineralógicas (Figuras 1 e 2).

Na tabela 7, consta a relação Zr/Ti dos horizontes analisados. Os valores de TiO₂ foram convertidos para a sua forma elementar, Ti, para que fosse possível o cálculo da relação zircônio/titânio (Zr/Ti) de acordo com Taylor e Egleton (2001) e Ávila (2009).

Tabela 7: Relação Zr/Ti dos horizontes analisados.

	P1-Bi	P1-BC	P1-C	P2-Bw1+Bw2	P3-Bw3	P4-AB	P4-Ab	P5-Bi	P6-C1	P7-Bt2
	----- % -----									
Zr	0,0197	0,0109	0,0302	0,0397	0,0267	0,0558	0,0361	0,0275	0,0104	0,0332
Ti	0,3236	0,1618	0,6413	0,6762	0,4495	0,4375	0,4495	0,5813	0,0719	0,5454
*Zr/Ti	6,09	6,74	4,87	5,86	5,94	12,75	8,03	4,73	14,46	6,09

*Zr/Ti = % Zr / % Ti x 10². Fonte: Taylor e Egleton (2001) e Ávila (2009).

Nos perfis 1 e 4, solos que possuem descontinuidades observa-se uma variação abrupta dos valores da relação Zr/Ti. Segundo Tonui *et al.* (2003), para sugerir sedimentação de material

alóctone associado com acréscimo de material de origens diversas, é necessário que os valores da relação Zr/Ti aumentem em direção ao topo do perfil e possuam mudança abrupta.

No perfil 1, o coeficiente de variação para os dados de Zr/Ti foi de 16,12%, indicando que ocorre uma média dispersão dos valores. A variação percentual nos três horizontes do perfil 1 analisados foram as seguintes: Bi-BC, igual a 11,01%; e BC-C, igual a 27,78%. Ocorrendo assim, uma mudança abrupta nos valores de Zr/Ti neste perfil.

No perfil 4, o coeficiente de variação entre os dois horizontes (AB e Ab) é igual a 32,14% e com variação percentual de 58,81%. Onde ocorre uma variação abrupta e o aumento do valor da relação Zr/Ti em direção ao topo, confirmando, junto as observações morfológicas e aos dados da relação AF/AG a presença de descontinuidade pedogenética neste perfil.

3.4 Composição mineralógica das frações areia e argila do solo

A remoção da matéria orgânica através do tratamento com hipoclorito de sódio (NaClO), foram separadas as amostras das frações areia e argila, aos quais foram moídas em almofariz de ágata para homogeneização.

A fração areia apresentou mineralogia diversificada entre os solos estudados e o quartzo foi identificado em todas elas. Outros minerais foram encontrados na fração areia, tal como feldspato potássico nos perfis 7 (Bw), 6 (C1), 5 (Bi) e 1 (C e BC), associado a origem intrusiva destes horizontes e perfis.

Nos horizontes Bi1 e Ab, do perfil 4, foi detectado na fração areia somente quartzo, sendo este solo derivado de material alóctone, mas sem aparente contribuição mineralógica de algum material diversificado, tal como do pegmatito ou de rocha máfica presente a montante do perfil.

No horizonte BC (perfil 1), derivado de rocha máfica em contato com gnaiss e pegmatito, apresentou maior diversidade mineralógica na fração areia, apresentando três minerais detectados: quartzo (Qz), feldspato potássico (Feld.K) e muscovita (Mv). Já nos horizontes C1 (perfil 6), derivado de pegmatito, e P1-BC, P5-Bi, P7-Bt2, derivados de rocha máfica, foram encontrados dois tipos de minerais, o quartzo e o feldspato potássico. Nestes casos, tanto a muscovita quanto o feldspato potássico são associados ao material de origem dos perfis, as rochas magmáticas intrusivas do tipo diabásio e pegmatito.

O feldspato potássico é comum em pegmatitos com composição granítica (DIAS *et al.* 2013) e em porções do solo onde ocorre a presença de minerais menos intemperizados ou mais profundos no perfil, sendo também um mineral comum em rochas máficas e gnaisses (LOZET e MATHEU, 2011). Assim, foi encontrada nos solos desenvolvidos de ambas litologias.

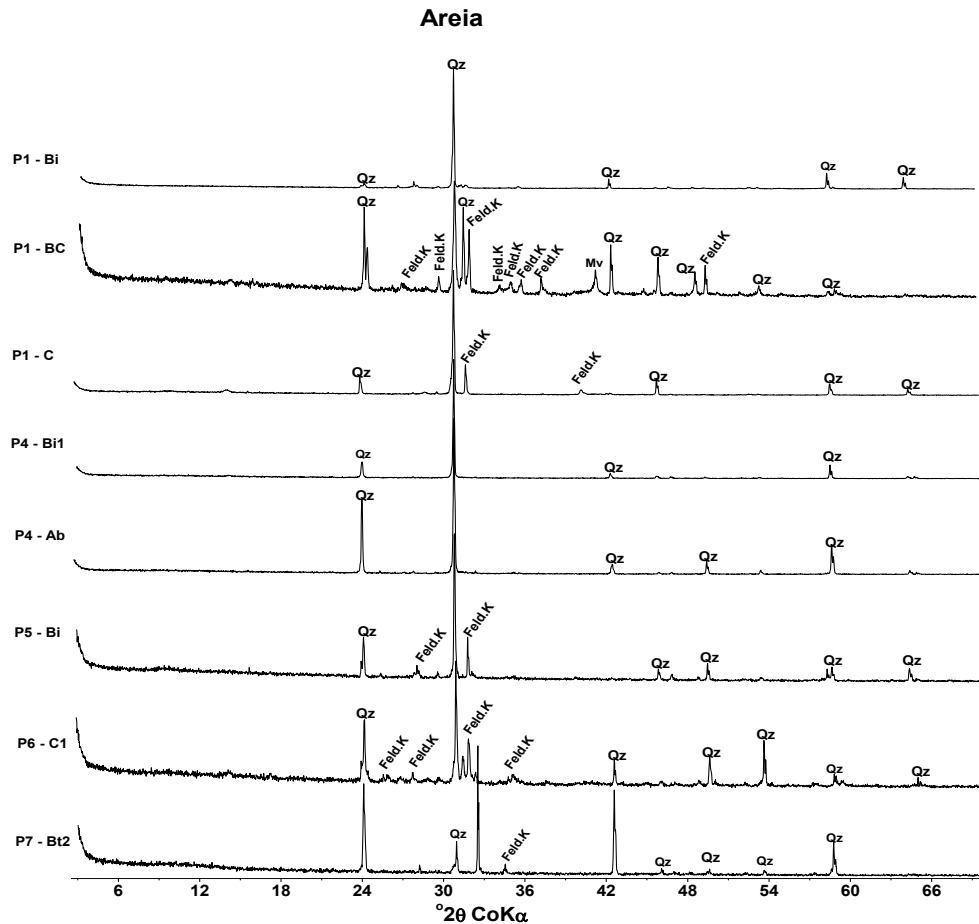


Figura 4: Difratomogramas de raios-x da fração areia de horizontes representativos dos perfis 1, 4, 5, 6 e 7. Mv = muscovita; Feld.k = feldspato potássico; Qz = quartzo.

A fração argila (argila natural) dos solos apresentou uma mineralogia diversificada, contendo caulinita em todos os horizontes analisados, devido ao alto intemperismo e forte drenagem, além de outros minerais de acordo com o solo e seu material de origem.

No perfil 1, nos horizontes Bi e BC foi detectado muscovita, comum no material de origem, tanto o gnaiss quanto os magmáticos, pegmatito hidrotermal e diabásio. Enquanto nos horizontes P1-BC e P5-Bi também foi detectado magnetita, influência da matriz máfica (diabásio) no perfil.

O perfil 4, horizontes Bi1 e Ab, apresentou somente caulinita no primeiro e caulinita e gibbsita no segundo horizonte, sendo estes minerais caracterizados como associados, onde a gibbsita

se forma sobre ambiente com intemperismo químico intenso e forte lixiviação. A presença da gibbsita no horizonte mais profundo pode indicar um grau de intemperismo avançado neste horizonte, que posteriormente foi recoberto por material alóctone.

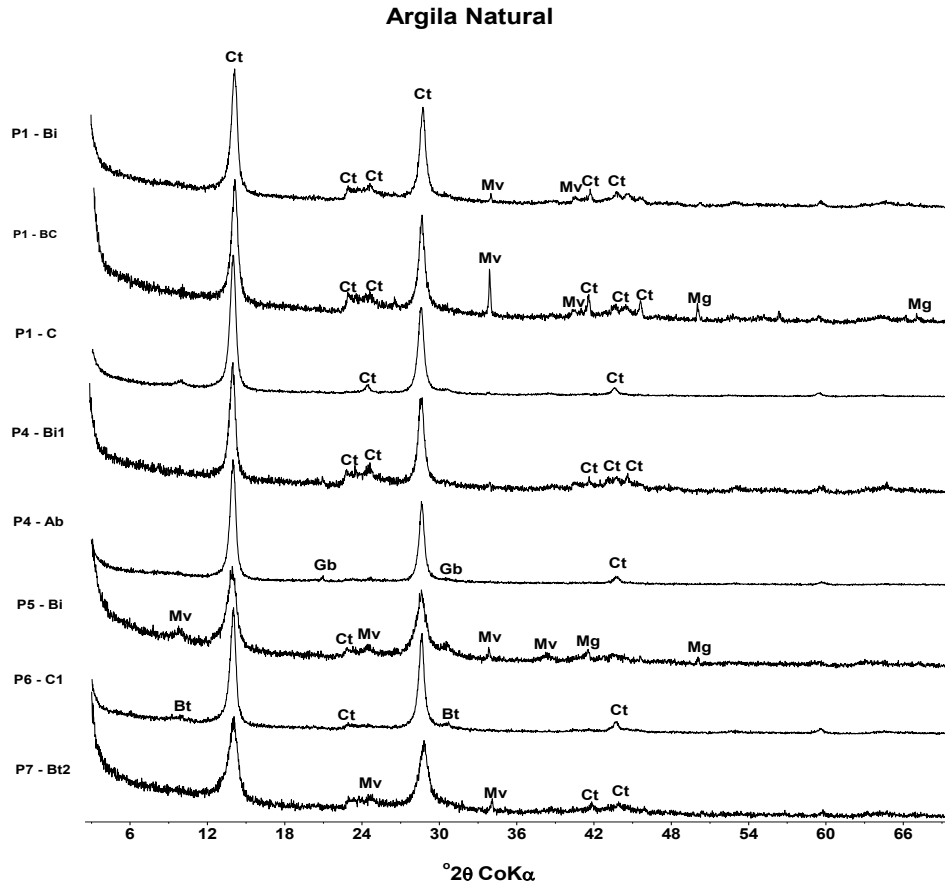


Figura 5: Difratoformas de raios-x da fração argila (natural) de horizontes representativos dos perfis 1, 4, 5, 6 e 7. Mv = muscovita; Bt = biotita; Ct = caulinita; Mg = magnetita; Gb = gibbsita.

Na fração argila (natural), o perfil 5 apresentou três minerais predominantes, tendo caulinita, muscovita e magnetita (origem máfica). O perfil 7 apresentou caulinita e muscovita. Já o perfil 6, horizonte C1, apresentou caulinita e biotita, esta é uma mica normalmente comum em pegmatitos.

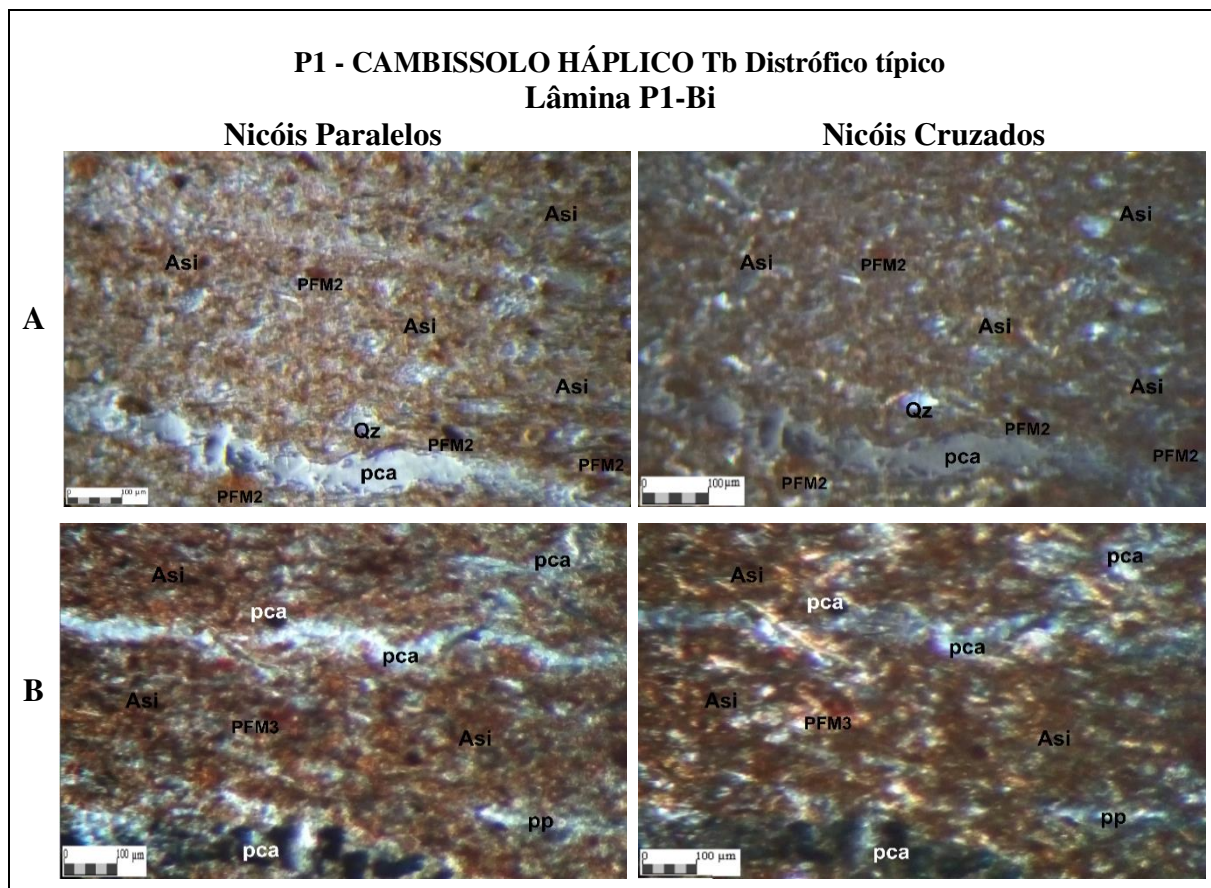
3.5. Análise Micromorfológica

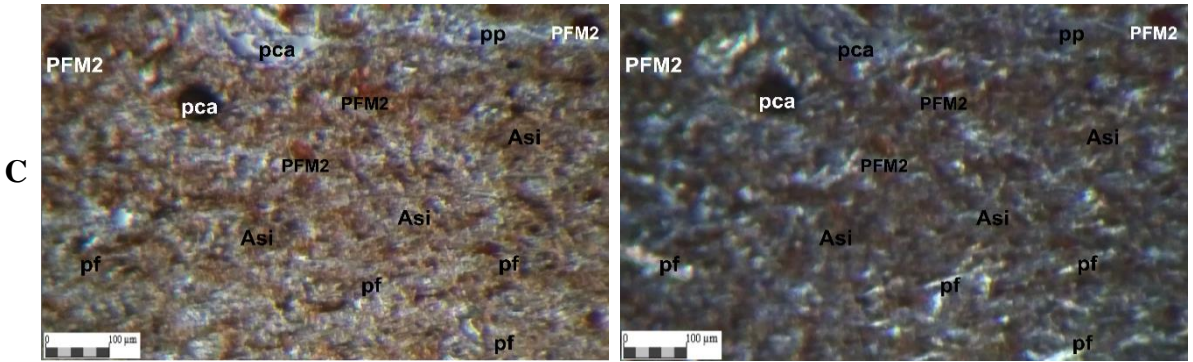
Os solos coletados possuem uma diversidade de materiais de origem e relevo na sua formação, com volumes de solos que se superimpõem, superpõem e justapõem dentre diferentes escalas, onde a micromorfologia, como o arranjo dos constituintes do solo em análise micrométrica (μm), compõem o fundo matricial que também pode destacar a diversidade local e sempre deve

estar associada não só ao solo que faz parte, mas também a paisagem ao qual se encontra (RESENDE *et al.*, 2014).

Desta forma, após as descrições das características morfológicas e de dados laboratoriais (análises físicas, químicas e mineralógicas), apresenta-se neste tópico as características micromorfológicas e sua discussão, referente a cinco perfis de solos e seis horizontes, da topossequência (P1-Bi, P2-Bw3, P3-Bw2, P4-Bi1 e P4-Ab) e um complementar desenvolvido sobre material máfico (P7-Bt2). O objetivo será demonstrar a diversidade, também em escala micro, dos solos estudados que representam a área de estudo.

Na análise micromorfológica, todas as imagens obtidas das lâminas foram feitas com 10 vezes de magnificação, com exceção para a fração grosseira das lâminas P2-Bw3 e P4-Ab e o material orgânico da lâmina P3-Bw2, registrados com 5 vezes de magnificação. As imagens selecionadas lâminas são apresentadas a seguir.

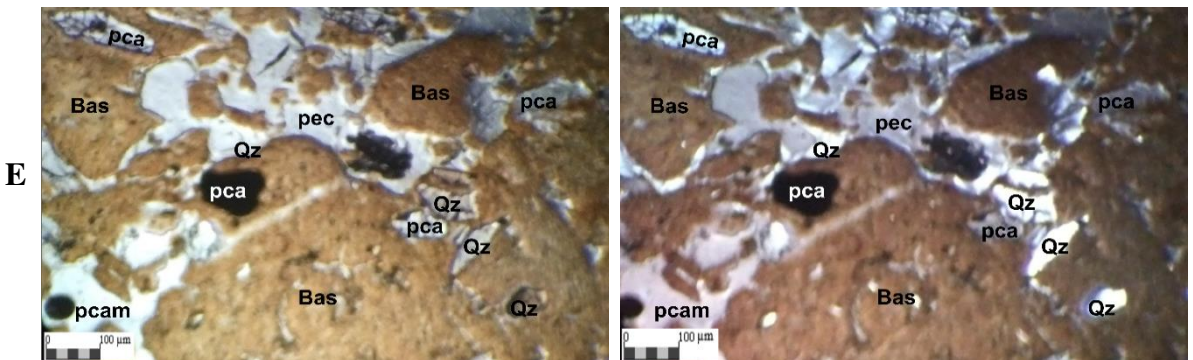
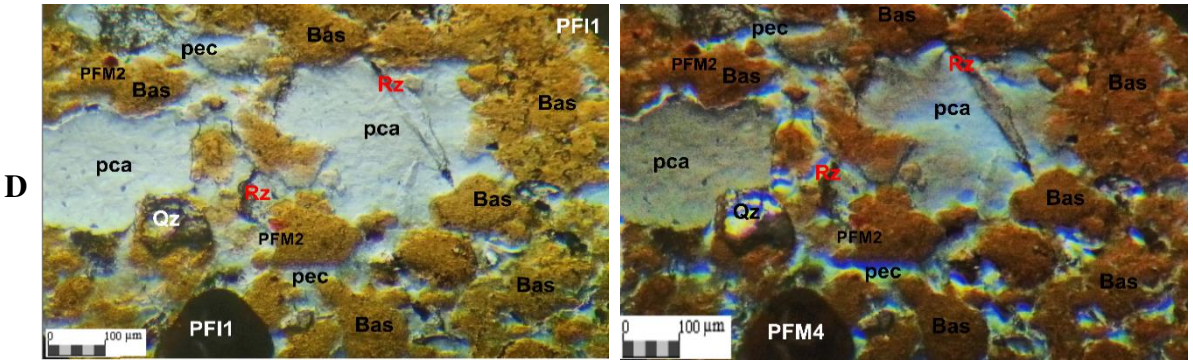




**P2 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico
Lâmina P2-Bw3**

Nicóis Paralelos

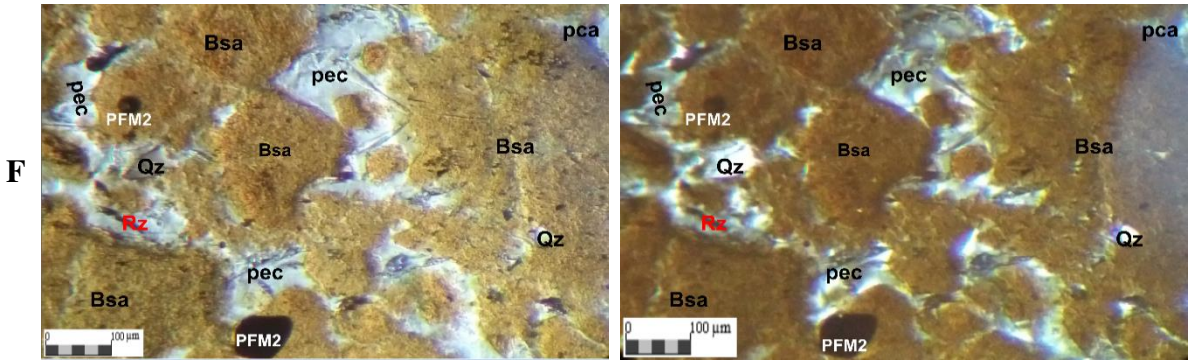
Nicóis Cruzados

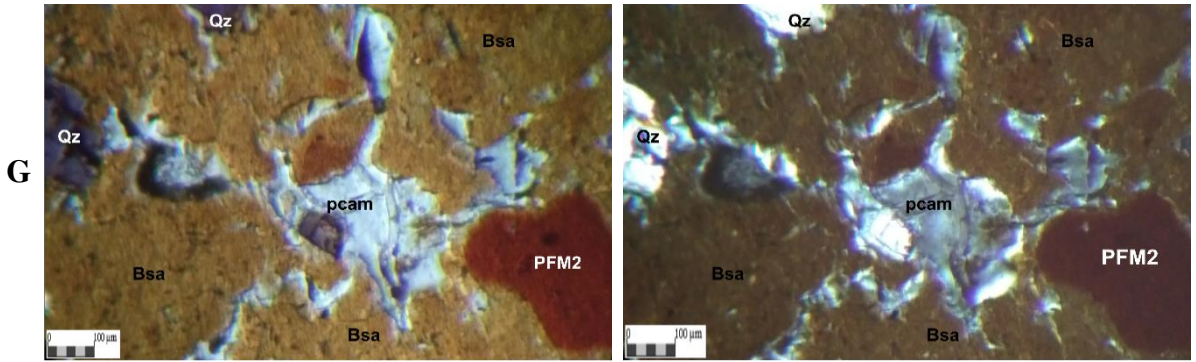


**P3 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico típico
Lâmina P3-Bw2**

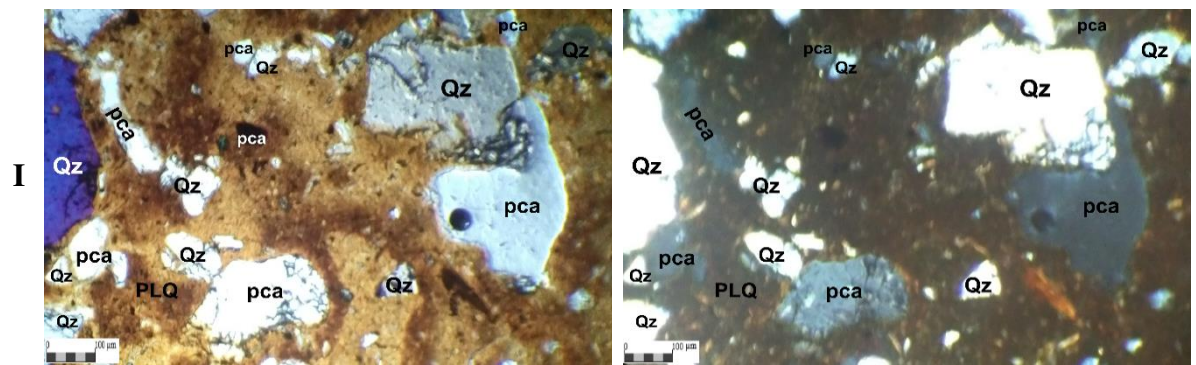
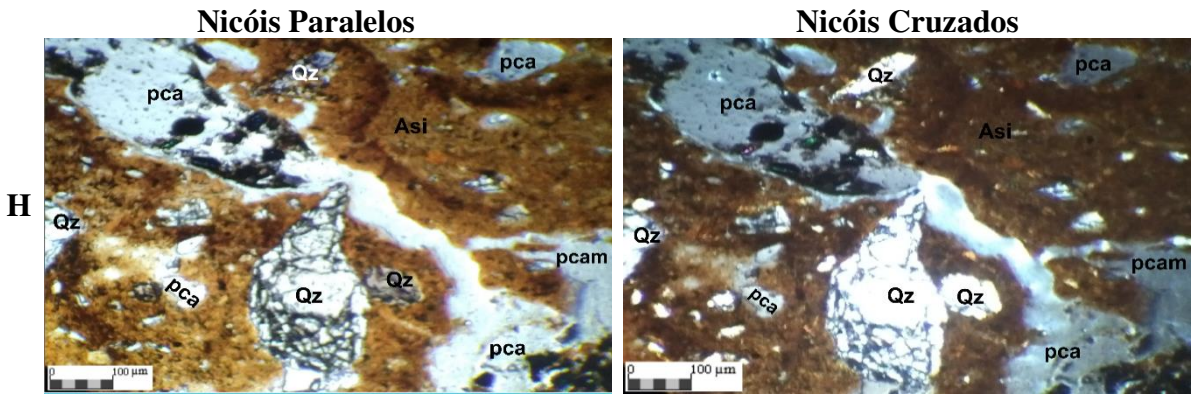
Nicóis Paralelos

Nicóis Cruzados

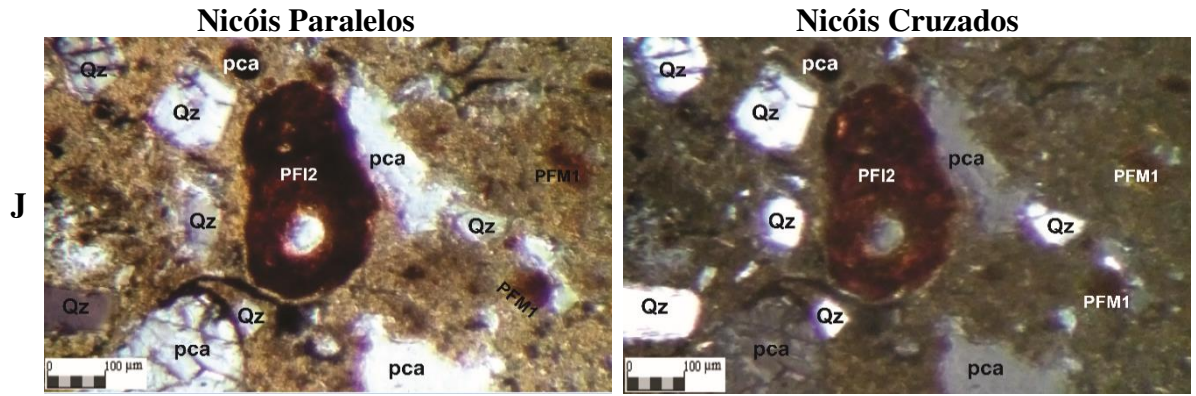


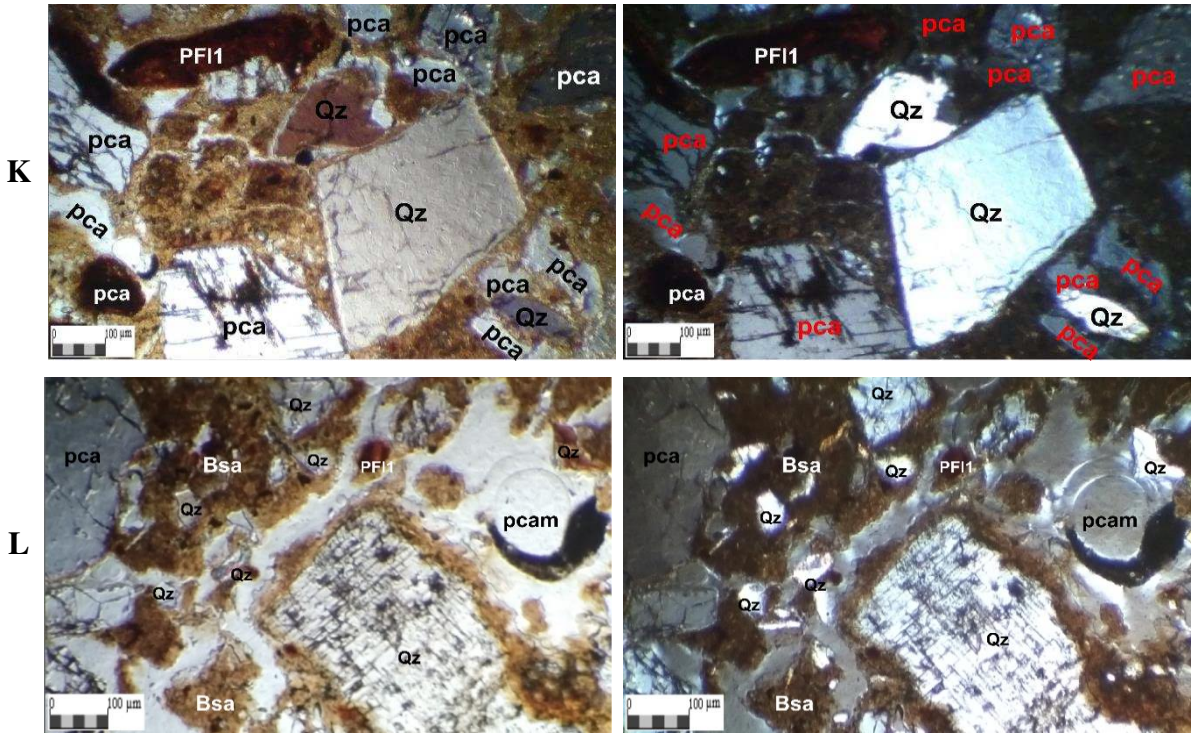


P4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico
Lâmina P4-Bi1



Lâmina P4-Ab

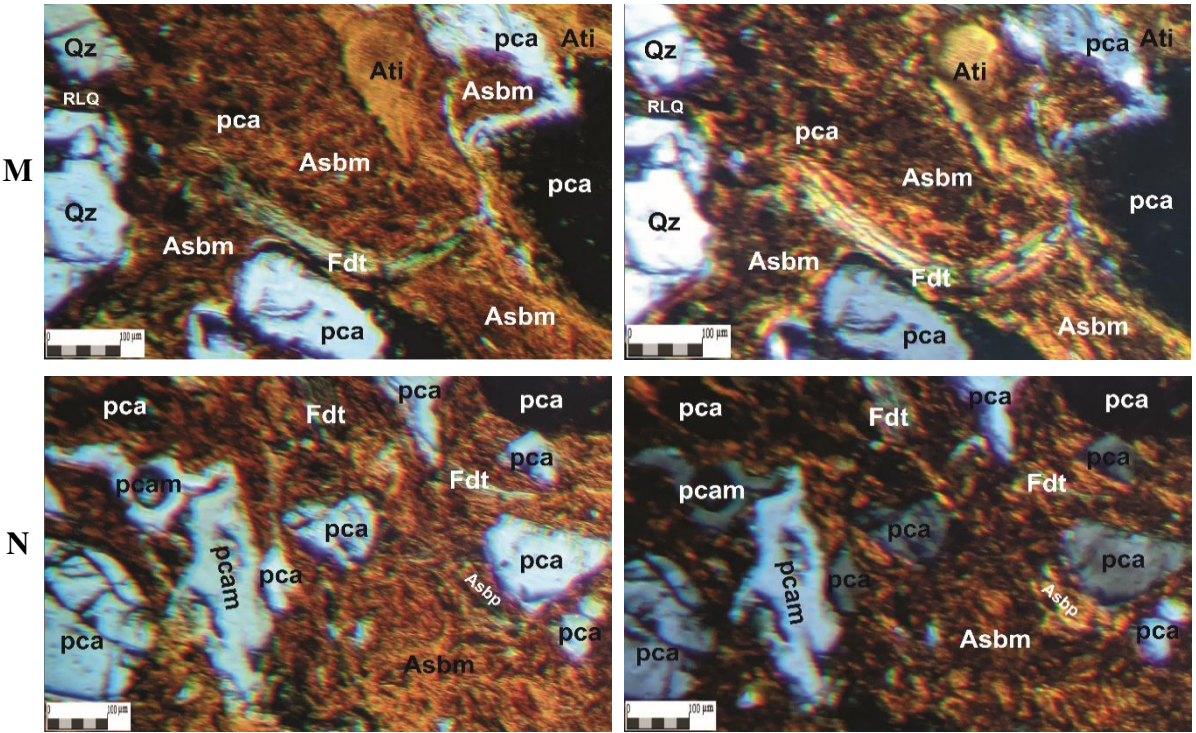


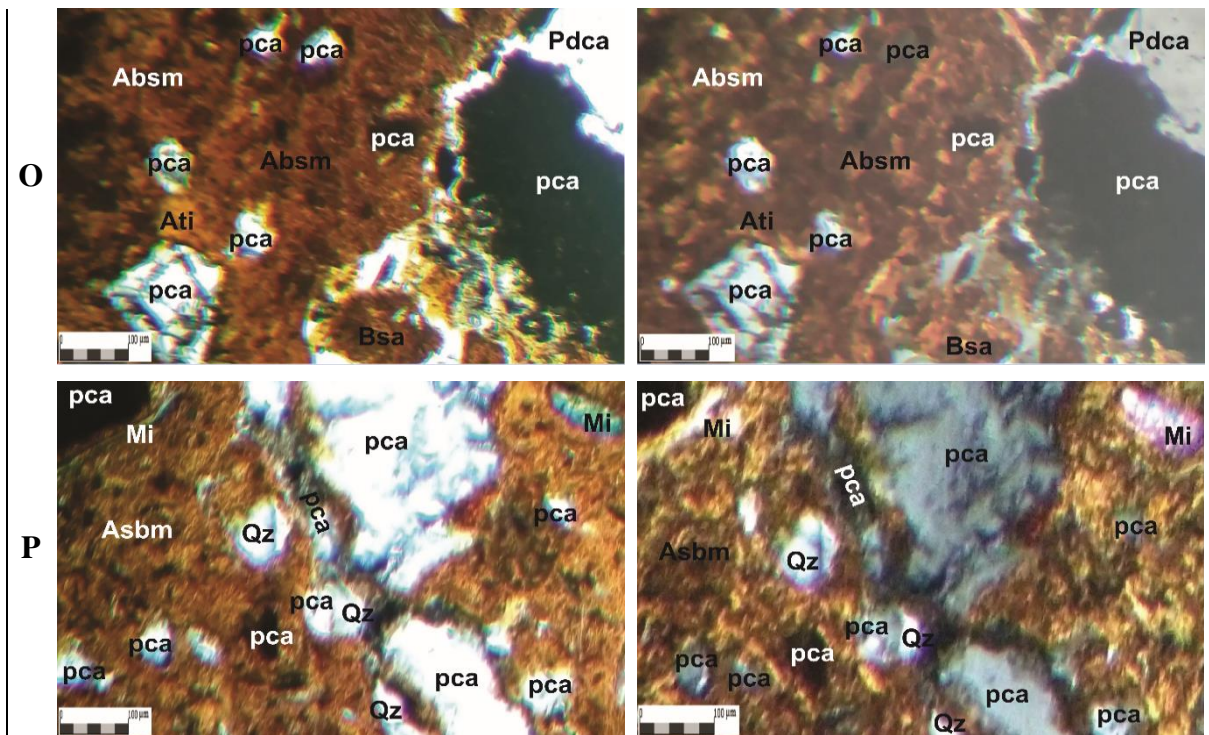


P7 – NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico
Lâmina P7-Bt2

Nicóis Paralelos

Nicóis Cruzados





Legenda

Poros: pca – canal; pcam – câmara; pec – empacotamento complexo; pf – fissural; pp – planar

Microestrutura: Bsa - bloco subangular.

Fundo matricial: i) Rz – raiz (material orgânico); ii) fração grosseira - Qz – grãos de quartzo; Mi – grão de mica; Fdt – grãos de feldspato; iii) fração fina - Ati – argila turva indiferenciada; Asbm – argila salpicada trama birrefringente em mosaico; Asbp – argila salpicada trama birrefringente poroestriada; Asbg – argila salpicada trama birrefringente granoestriada; Asi – argila salpicada indiferenciada.

Pedofeições: RLQ – revestimento de ligação entre grãos de quartzo; Pdca – preenchimento denso completo associado a canal; PFI1 – nódulo geóidico de ferro, intrusiva; PFM1 – nódulo típico de ferro matriz; PFM2 – nódulo típico de ferro, intrusiva; PFM3 – nódulo típico de Fe e Mn.

Figura 6: Imagens de algumas características micromorfológicas da pedalidade, trama, fundo matricial e Pedofeições das lâminas/horizontes analisadas.

A tabela 8, a seguir, apresenta as características micromorfológicas detectadas e classificadas das lâminas delgadas dos horizontes selecionados para a análise micromorfológica.

Tabela 8: Características micromorfológicas das lâminas delgadas dos horizontes selecionados.

P1 - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico.	
DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA	LÂMINA/HORIZONTE
	Bi
Microestrutura e Porosidade	Blocos subangulares, fracamente separados e bem encaixados de tamanho variando de $0,56 \times 10^4$ a $25,98 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ e média igual a $3,98 \times 10^4 \mu\text{m}^2$, com poros do tipo planar de diâmetro médio igual a $25,14 \times 10^1 \mu\text{m}$, do tipo canal de diâmetro e comprimento médios iguais a $12,17 \times 10^1 \mu\text{m}$ e $16,15 \times 10^1 \mu\text{m}$, e do tipo fissural de diâmetro e comprimento médios iguais a $35,13 \mu\text{m}$ e $54,20 \mu\text{m}$.
Padrão de distribuição relativa g/f $2 \mu\text{m}$	Porfírica fechada

Fundo matricial	Fração grosseira (natureza, tamanho, abundância, formato, arredondamento, alteração)	Grãos de quartzo com tamanho variando de $0,34 \times 10^2$ a $16,19 \times 10^2 \mu\text{m}^2$ e média igual a $3,99 \times 10^2 \mu\text{m}^2$, 5,20% (baixa), subangular a subarredondado, pelicular
	Fração fina (cor, limpidez, trama birrefringente)	Argila (2.5 YR 4/8), salpicada, trama birrefringente indiferenciada Argila (2.5 YR 4/6), límpida, trama birrefringente estrial
	Material orgânico	Não identificado
Pedofeições		Matriz, nódulos típicos de Fe e Mn variando de $20,21 \times 10$ a $14,98 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ e média igual a $22,51 \times 10^2 \mu\text{m}^2$.
P2 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.		
DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA		LÂMINA/HORIZONTE
		Bw3
Microestrutura e Porosidade		Blocos subangulares, fortemente separados e pouco encaixados, tamanho variando de $0,25 \times 10^4$ a $38,81 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ e média igual a $3,14 \times 10^4 \mu\text{m}^2$, com poros do tipo empacotamento complexo com diâmetro médio igual a $13,50 \times 10^1 \mu\text{m}$, do tipo canal com diâmetro e comprimento médios iguais a $91,34 \mu\text{m}$ e $10,98 \times 10^1 \mu\text{m}$ e do tipo câmara com diâmetro e comprimento médios iguais a $30,53 \times 10^1 \mu\text{m}$ e $39,24 \times 10^1 \mu\text{m}$
Fundo matricial	Padrão de distribuição relativa g/f $2 \mu\text{m}$	Enáulica fechada
	Fração grosseira (natureza, tamanho, abundância, formato, arredondamento, alteração)	Grãos de quartzo variando de $0,15 \times 10^2$ a $11,52 \times 10^2 \mu\text{m}^2$ e média igual a $1,46 \times 10^2 \mu\text{m}^2$, 13,29% (baixa), subangular a subarredondado, irregular
	Fração fina (cor, limpidez, trama birrefringente)	Argila (2.5 Y 8/6), turva, trama birrefringente indiferenciada Argila (2.5 Y 8/8), salpicada, trama birrefringente indiferenciada
	Material orgânico	Raízes
Pedofeições		Matriz, nódulos típicos de Fe e Mn variando de $26,85 \times 10^1$ a $15,49 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ e média igual a $16,79 \times 10^3 \mu\text{m}^2$. Intrusiva, nódulos típicos de Fe variando de $4,81 \times 10^2$ a $39,96 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ e média igual a $79,79 \times 10^2 \mu\text{m}^2$
P3 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico.		
DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA		LÂMINA/HORIZONTE
		Bw ₂
Microestrutura e Porosidade		Blocos subangulares, fortemente separados e pouco encaixados, variando de $0,27 \times 10^4$ a $19,67 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ e média igual $1,58 \times 10^4 \mu\text{m}^2$, com poros do tipo empacotamento complexo com diâmetro médio igual a $12,84 \mu\text{m} \times 10^1 \mu\text{m}$, do tipo canal com diâmetro e comprimento médios iguais a $14,07 \times 10^1 \mu\text{m}$ e $14,16 \times 10^1 \mu\text{m}$, e do tipo câmara com diâmetro e comprimentos médios iguais a $30,53 \times 10^1 \mu\text{m}$ e $48,14 \times 10^1 \mu\text{m}$
Fundo matricial	Padrão de distribuição relativa g/f $2 \mu\text{m}$	Enáulica aberta
	Fração grosseira (natureza, tamanho, abundância, formato, arredondamento, alteração)	Grãos de quartzo variando de $0,16 \times 10^2$ a $26,07 \times 10^2 \mu\text{m}^2$ e média igual a $3,13 \times 10^2 \mu\text{m}^2$, abundância 6,82% (baixa), arredondamento angular a subarredondado, irregular
	Fração fina (cor, limpidez, trama birrefringente)	Argila (2.5 Y 7/6), límpida, trama birrefringente indiferenciada
	Material orgânico	Excrementos e raízes

Pedofeições		Matriz, nódulos típicos de Fe e Mn variando de $37,26 \times 10$ a $15,43 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ e média igual a $20,81 \times 10^3 \mu\text{m}^2$.
P4 - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico.		
DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA		LÂMINA/HORIZONTE
		Bi ₁
Microestrutura e Porosidade		Blocos subangulares, moderadamente separados e moderadamente encaixados, variando de $0,91 \times 10^4$ a $19,90 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ e média igual a $4,64 \times 10^4 \mu\text{m}^2$, com poros do tipo canais com diâmetro e comprimentos médios iguais a $11,83 \times 10^1 \mu\text{m}$ e $16,00 \times 10^1 \mu\text{m}$ e câmaras com diâmetro e comprimento médio iguais a $17,76 \times 10^1 \mu\text{m}$ e $74,59 \times 10^1 \mu\text{m}$
Fundo matricial	Padrão de distribuição relativa g/f $2 \mu\text{m}$	Porfírica aberta
	Fração grosseira (natureza, tamanho, abundância, formato, arredondamento, alteração)	Grãos de quartzo variando de $2,37 \times 10^1$ a $53,58 \times 10^1 \mu\text{m}^2$ e média igual a $11,50 \times 10 \mu\text{m}^2$, abundância 13,20% (baixa), arredondamento subangular a subarredondado, irregular
	Fração fina (cor, limpidez, trama birrefringente)	Argila (2.5 Y 8/6), salpicada, indiferenciada
	Material orgânico	Não encontrado
Pedofeições		Hiporevestimento de poros do tipo canal e câmara Quasirevestimento de poros do tipo canal e câmara Intusiva, revestimento de ligação entre grãos de quartzo Matriz, impregnação
DESCRIÇÃO MICROMORFOLÓGICA		LÂMINA/HORIZONTE
		Ab
Microestrutura e Porosidade		Blocos subangulares, fracamente separados e pouco encaixados, variando de $0,48 \times 10^4$ a $20,46 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ e média igual a $3,41 \times 10^4 \mu\text{m}^2$, com poros do tipo canais com diâmetro e comprimentos médios iguais a $12,81 \times 10^1 \mu\text{m}$ e $15,19 \times 10^1 \mu\text{m}$, câmaras com diâmetro e comprimento médios iguais a $36,46 \times 10 \mu\text{m}$ e $29,93 \times 10^3 \mu\text{m}$, e fissurais com diâmetro e comprimento médios iguais a $35,87$ e $48,53 \mu\text{m}$
Fundo matricial	Padrão de distribuição relativa g/f $2 \mu\text{m}$	Porfírica aberta
	Fração grosseira (natureza, tamanho, abundância, formato, arredondamento, alteração)	Grãos de quartzo variando de $0,23 \times 10^2$ a $13,89 \times 10^2 \mu\text{m}^2$ e média igual a $1,98 \times 10^2 \mu\text{m}^2$, abundância 26,91% (frequente), arredondamento angular a arredondado, irregular
	Fração fina (cor, limpidez, trama birrefringente)	Argila (2.5 Y 8/4), turva, indiferenciada
	Material orgânico	Pigmento orgânico Raízes
Pedofeições		Intrusiva, nódulo geóidico de Fe Intrusiva, nódulo típico de Fe Matriz, nódulo típico de Fe Intrusiva, revestimento de capeamento de grãos de quartzo Matriz, quasirevestimento de poros do tipo câmara Intrusiva, revestimento pendente de grãos de quartzo

DESCRİÇÃO MICROMORFOLÓGICA		LÂMINA/HORIZONTE
		Bt2
Microestrutura e Porosidade		Blocos subangulares, moderadamente separados e bem encaixados, variando de $8,50 \times 10^3$ a $18,80 \times 10^4 \mu\text{m}^2$ e média igual a $44,29 \times 10^3 \mu\text{m}^2$, com poros do tipo canais com diâmetro e comprimento médios iguais a $23,24 \times 10^1 \mu\text{m}$ e $24,22 \times 10^1 \mu\text{m}$, e câmaras com diâmetro e comprimento médios iguais a $34,42 \times 10^1 \mu\text{m}$ e $79,63 \times 10^1 \mu\text{m}$
Fundo matricial	Padrão de distribuição relativa g/f $2 \mu\text{m}$	Porfírica aberta
	Fração grosseira (natureza, tamanho, abundância, formato, arredondamento, alteração)	Grãos de quartzo variando entre $3,10 \times 10^1$ a $96,59 \times 10^1 \mu\text{m}^2$ e média igual a $19,42 \times 10^1 \mu\text{m}^2$, abundância 18,87% (frequente), arredondamento angular a arredondando, irregular Grão de mica, tamanho igual a $47,66 \times 10^2 \mu\text{m}^2$, abundância 0,37% (baixa), alongado e arredondado, paralela Grãos de feldspato variando entre $13,11 \times 10^1$ a $42,54 \times 10^1 \mu\text{m}^2$ e média igual a $27,49 \times 10^1 \mu\text{m}^2$, alongados e arredondamento subangular, cruzada
	Fração fina (cor, limpidez, trama birrefringente)	Argila (7.5 YR 8/8), turva, indiferenciada Argila (5 YR 7/10), salpicada, trama birrefringente salpicada em mosaico Argila (7.5 YR 6/8), salpicada, trama birrefringente poroestriada e granoestriada
	Material orgânico	Não encontrado
Pedofeições		Intrusiva, Revestimento de ligação associado a grãos de quartzo Intrusiva, Revestimento pendente associado a grãos de quartzo Intrusiva, Preenchimento denso completo associado a poros do tipo canal e câmara

3.5.1. Fundo Matricial e Fábrica: proporção entre material grosseiro, fino e poros

De acordo com Stoops (2003), a fábrica somente é perceptível quando o material analisado é heterogêneo. Dessa forma, todas as amostras coletadas representam a heterogeneidade dos componentes básicos dos solos, observada na análise morfológica dos solos e complementada pela análise micromorfológica.

A heterogeneidade dos solos analisados é expressa pela distribuição relativa entre fração grosseira, fina e poros das lâminas, que se encontram demonstrados na tabela 9, a seguir.

Tabela 9: Distribuição relativa da fração grosseira, fração fina e poros das lâminas dos seis horizontes de solos analisados micromorfológicamente.

Horizontes	Prof. cm	Fração grosseira %	Fração fina %	Poros %
P1-Bi	25-70	17,71	58,74	23,55
P2-Bw3	65-85	4,25	59,31	36,44
P3-Bw2	69-107	8,13	52,46	39,41
P4-Bi1	20-48	9,85	61,70	28,45
P4-Ab	84-105	10,40	55,08	34,52
P7-Bt2	63-1190	3,08	58,36	38,56

A fábrica foi descrita e classificada de acordo com a posição de indivíduos semelhantes em relação a indivíduos diferentes (CASTRO e COOPER, 2019). A classificação da fábrica é baseada

em Bullock *et al.* (1985) e Stoops (2003), onde se dá pelo padrão de distribuição relativa da fração grosseira (g) e fração fina (f), ou seja, a razão g/f.

Assim, de acordo com terminologia de classificação da razão g/f, adotada por Bullock *et al.* (1985) e Stoops (2003) e aqui utilizada, foram encontrados dois tipos de razão g/f, a porfírica e a enáulica. A porfírica é quando ocorre a distribuição de partículas maiores numa matriz densa de material fino e a enáulica ocorre quando a distribuição os agregados de material fino estão dissociados do material grosseiro (CASTRO e COOPER, 2019).

A distribuição relativa porfírica foi detectada em quatro lâminas, sendo porfírica fechada na lâmina P1-Bi e porfírica aberta nas lâminas P4-Bi1, P4-Ab e P7-Bt2. Enquanto a distribuição enáulica foi detectada em duas lâminas, sendo fechada em P2-Bw3 e aberta em P3-Bw2. Caracterizando a enáulica como a distribuição relacionada a maior grau de desenvolvimento pedogenético.

Quanto ao material grosseiro, areia e silte, maiores que 2 mm, foram observados os seguintes grãos nas lâminas amostradas: quartzo em todas as lâminas; mica e grãos de feldspato na lâmina P7-Bt2. O percentual de material grosseiro no fundo matricial foi maior em duas distintas situações, a primeira foi derivado de gnaisse em contato com pegmatito na lâmina P1-Bi e derivado de material alóctone, lâminas P3-Bw2, P4-Bi1 e P4-Ab.

Segundo a classificação da composição dos constituintes grossos de acordo com Bullock *et al.* (1985) e Stoops (2003), a fração grosseira em todas as lâminas pode ser classificada como grãos de minerais simples.

Quanto a alteração dos grãos encontrados, baseando-se nos padrões morfológicos, de acordo com Delvigne (1998), os grãos de quartzo apresentam dois tipos de alteração: i) pelicular (P1-Bi), onde se iniciam na superfície e seguem em direção ao centro do mineral, até desaparecer (COOPER e CASTRO, 2019); e ii) irregular (P2-Bw3, P3-Bw2, P4-Bi1, P4-Ab e P7-Bt2), seguindo um padrão irregular de pontos de alteração resultando em pequenos resíduos isolados e dispersos, como observado em todas as lâminas com esse padrão morfológico de alteração.

Além do quartzo em padrão de alteração irregular na lâmina P7-Bt2, nesta também foi detectado a presença de grão de mica com alteração linear paralela, seguindo as linhas paralelas do mineral. Os grãos de feldspato possuem alteração linear cruzada, onde se formam linhas ortogonais cruzando as linhas lineares paralelas. Segundo Castro e Cooper (2019), estas duas

alterações lineares são comuns de ocorrerem em minerais de clivagem bem marcada, como é o caso da mica e do feldspato, ambas com classe de alteração 1, pouco alteradas.

Para o material orgânico, foram detectadas a sua presença em quatro lâminas, sendo: não identificado na lâmina P1-Bi, derivado de raízes em profundidade acima de 72 cm na lâmina P2-Bw3 e acima de 125 cm na lâmina P4-Ab; derivados de excrementos de insetos e raízes na lâmina P3-Bw2 (profundidade superior a 40 cm); e derivado de pigmento orgânico e raízes na lâmina P4-Ab. Enquanto nas demais lâminas, P4-Bi1 e P7-Bt2, não foi detectado a presença de material orgânico tanto na macro quanto na micromorfologia.

A presença de material orgânico nas lâminas P3-Bw2 e P4-Ab foram esperados devido à grande quantidade de formigas observado no perfil P3 e a presença de coloração mais escura no horizonte P4-Ab, que é um horizonte A enterrado, com material orgânico preservado em escala micro. Ambas presenças de material orgânico confirmam a partir das observações realizadas durante a coleta e descrição morfológica.

Quanto aos poros, seguindo a classificação de Bullock *et al.* (1985) e Stoops (2003, foram encontrados os seguintes nas amostras: empacotamento complexo, fissurais, planares e canais. Os do tipo empacotamento complexo foram encontrados sobre as lâminas dos perfis de latossolos, exatamente onde há a presença de agregados com maior grau de arredondamento e o fundo matricial é composto por grãos de quartzo e nódulos típicos de Fe e Mn.

Os poros fissurais foram encontrados nas lâminas P1-Bi e P4-Ab, os quais apresentaram morfologia e morfometria parecidos, além de uma representativa diversidade de constituintes, mesmo esses horizontes sendo de origem diversa, autóctone (P1-Bi) e alóctone (P4-Ab). Neste caso, este tipo de poro foi formado, provavelmente, a partir do intemperismo de pequenos grãos de minerais primários, observados durante a coleta.

Os poros planares, com paredes paralelas, pela contração do material, aparecem em P1-Bi, que apresenta heterogeneidade no seu fundo matricial, o que provavelmente ocasiona uma pequena movimentação por expansão e contração do solo, visível em escala micro.

Para os poros do tipo canais, presentes em todas as amostras, a sua formação aparentemente se dá, em geral, por bioturbação, havendo em partes destes, o preenchimento por excrementos, alisamento das paredes, raízes e pigmentos orgânicos, como identificados nestes poros. Já os poros

do tipo câmara, não encontrado somente na amostra P1-Bi, formaram-se, aparentemente, por processos pedogenéticos.

A classificação de gênese ou porogênese (BREWER, 1976; CASTRO e COOPER, 2019) dos poros analisados, são: litoporos, os fissurais e planares; bioporos, os canais; e os pedoporos, empacotamento complexo e câmaras.

Segundo Ávila (2009), onde a pedalidade é mais desenvolvida, existe tendência de haver maior proporção de poros. Essa relação entre pedalidade (tabela 10) e proporção de poros (tabela 9) foi também constatada nas lâminas analisadas. Nas lâminas com maior desenvolvimento da pedalidade, P2-Bw3 e P3-Bw2, a proporção de poros foi superior a 36%. Já a lâmina P7-Bt2 foi classificada com pedalidade moderado/forte devido ao grau moderado de desenvolvimento da microestrutura nesta lâmina. Enquanto a de menor desenvolvimento da pedalidade é exatamente a que possui menor proporção de poros, 24% na lâmina P1-Bi.

3.5.2. Pederalidade

Quanto ao desenvolvimento da pedalidade, baseando-se principalmente nos graus de desenvolvimento (forte, moderada e fraca) e acomodação da microestrutura (acomodados, parcialmente acomodado e não acomodados), estabelecidos por Castro e Cooper (2019), foram definidos os graus de pedalidade analisados nas lâminas.

Nas lâminas foram encontrados todos os graus de desenvolvimento e de acomodação (tabela 10). As lâminas apresentaram os graus de desenvolvimento fraco, moderado e forte e os graus de acomodação acomodado, parcialmente acomodado e não acomodado, ambos propostos por Bullock *et al.* (1985).

Os graus de pedalidade das lâminas foram classificados em fraco, moderado e forte de acordo Bullock *et al.* (1985), além das classes fraco/moderado e moderado/forte como proposto por Ávila (2009), onde o desenvolvimento da pedalidade possui um maior conjunto de características do que somente três classes. Portanto, os graus de pedalidade encontrados e classificados nas lâminas são cinco, o que constitui uma classificação mais detalhada, como demonstrado na tabela 10.

Quanto ao grau de desenvolvimento dos agregados (CASTRO e COOPER, 2019), nas lâminas constatou-se que todas possuem material de caráter pédico, variando entre grau de pedalidade fraca (P1-Bi), com grau de desenvolvimento fraco e acomodado, a pedalidade forte ou

desenvolvida (P2-Bw3 e P3-Bw2), com grau de desenvolvimento forte e parcialmente acomodados e não acomodados.

Tabela 10: Graus de desenvolvimento e de acomodação de cada horizonte analisado.

Perfil	Horizonte / Lâmina	Grau de desenvolvimento	Grau de acomodação	Grau de Pedalidade
P1	Bi	Fraco	Acomodado	Fraco
P2	BC	Forte	Parcialmente e não acomodados	Forte
P3	Bw2	Forte	Parcialmente e não acomodados	Forte
P4	Bi1	Moderada	Parcialmente acomodado	Moderado/Forte
	Ab	Fraco	Parcialmente e não acomodados	Fraco/Moderado
P7	Bt2	Moderado	Acomodado	Moderado/Forte

Nos horizontes com grau de pedalidade forte, P2-Bw3 e P3-Bw2, ambos apresentaram os agregados constatados com maior grau de arredondamento (esferoidais), onde os poros de empilhamento complexo se fazem presentes.

Utilizando os graus de pedalidade intermediários, de acordo com Ávila (2009), os horizontes P4-Bi1 e P7-Bt2 são classificados como grau de pedalidade moderada/forte e o horizonte P4-Ab é classificado como grau de pedalidade fraco/moderado.

Como o grau de acomodação é diretamente relacionado ao grau de arredondamento dos agregados, todos os horizontes tiveram seu grau de arredondamento verificados, onde foram classificados variando entre agregados arredondados e/ou subarredondados e cada grau de arredondamento está presente em maior ou menor proporção em todos os horizontes.

Assim, quanto ao grau de acomodação, os horizontes foram classificados em três tipos: acomodado (P1-Bi e P7-Bt2) com subarredondamento, parcialmente acomodados (P4-Bi1) e parcialmente e não acomodados (P2-Bw3, P3-Bw2 e P4-Ab), ambos com maior volume de agregados arredondados.

3.5.3. Feições Pedológicas

Nas lâminas foram encontradas feições pedológicas de gênero relacionadas e não relacionadas. Quanto a subdivisão, também foram encontradas feições pedológicas de matriz e intrusivas.

As feições pedológicas relacionadas intrusivas encontradas foram as seguintes: revestimento de ligação de quartzo (P4-Bi1, P4-Ab e P7-Bt2), pendente de quartzo (P4-Ab e P7-

Bt2) e de capeamento de quartzo (P4-Ab); de preenchimento denso completo associado a poros do tipo canal e câmara (P7-Bt2).

Os revestimentos ligados aos grãos de quartzo estão associados a grande quantidade destes grãos nas lâminas P4-Bi1 e P4-Ab. Já a ligação pendente e o preenchimento denso completo na lâmina P7-Bt2 estão relacionadas ao processo de lessivagem com a deposição de argila na superfície dos agregados que ocorre no horizonte desta lâmina.

Já as feições relacionadas de matriz encontradas foram exclusivamente na lâmina P4-Ab, com a presença de hiporrevestimento e quasi-revestimento de poros do tipo canal e câmara.

As feições não relacionadas encontradas foram exclusivamente de nódulos de Fe ou de Fe e Mn. As intrusivas foram as seguintes: nódulos típicos de Fe e Mn (P2-Bw3) e nódulos geóidicos e típicos de Fe (P4-Ab), ambos com origem parental. As de matriz foram nódulos típicos de Fe e Mn (P1-Bi, P2-Bw3 e P3-Bw2) com origem provavelmente parental e nódulos típicos de Fe (P4-Ab) com origem provavelmente alóctone, como é característico do perfil P4.

Quanto as feições pedológicas caracterizadas como excrementos, estes foram encontrados na lâmina P3-Bw2, onde a sua forma pode ser classificada como esferas, onde apresentam formato, de acordo com Castro e Cooper (2019), elipsoidal (formato oval) e mamelonado (corpos com superfícies esferoidais com interferência mútua).

4. CONCLUSÕES

Os solos representativos analisados da área de estudo apresentam uma diversidade relacionada com a variabilidade dos materiais de origem e do relevo presentes na área e também com a vertente na pedossequência. A heterogeneidade do relevo e do material de origem ocasionam a diversidade dos solos, mesmo entre os de mesma ordem de classificação.

Os dados físicos, químicos, mineralógicos associados aos caracteres morfológicos indicam que na área de estudo existem solos com descontinuidades que podem ser caracterizados além da descontinuidade litológica. Sendo proposto novas terminologias de classificação de descontinuidade, designadas e adotadas como descontinuidade parental e descontinuidade pedogenética, aplicadas aos perfis 3 e 4.

As análises espectralanalíticas ICP-OES e ICP-MS indicaram a maior quantidade de ETR's, como U, Th e Ba nos perfis ou horizontes desenvolvidos sobre diabásio e com menor desenvolvimento pedogenético. Estes dados também possibilitaram avaliar a relação Zr/Ti dos perfis 1 e 4, demonstrando mudança abrupta dos valores e confirmando a presença das descontinuidades litológica e pedogenética nestes perfis.

Os dados químicos e mineralógicos também demonstraram a influência do material de origem na diversidade química destes solos. Com caráter de maior fertilidade do solo nos perfis e horizontes desenvolvidos sobre o diabásio, classificados como eutróficos. A presença de gibbsita no horizonte P4-Ab indica o grau elevado de intemperismo deste horizonte. Em relação a mineralogia, os horizontes analisados apresentaram diversidade mineralógica de acordo com o tipo de material de origem.

A análise e interpretação micromorfológica complementou as informações morfológicas ao também apresentar heterogeneidade em escala micro. Apresentando diversidade em todos os seus componentes. Entre as quais, características distintas de acordo com o desenvolvimento do solo, como a constatação observada entre as distribuições relativas g/f enáulica e porfírica. Assim, apresentou distintas características nas frações fina, grosseira e pedofeições, relacionadas ao solo ou material de origem. Condizente com variabilidades apresentadas em análise de escala macromorfológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B., LOPES, A.S. **Interpretação dos resultados da análise de solos.** In: Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação. (Eds) RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. 1ed.Viçosa: Imprensa Universitária, v. 1, p. 289-302, 1999.
- ALVAREZ V, V.H.; NOVAIS, R.F.; DIA, L.E.; OLIVEIRA, J.A. **Determinação e uso do fósforo remanescente.** Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, n.1, p. 27-32, 2000.
- ÁVILA, F.F. **Análise da cobertura pedológica em uma topossequência na bacia do Córrego dos Pereiras – Depressão de Gouveia/MG.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Belo Horizonte-MG, 133p, 2009.
- ÁVILA, F.F.; CARVALHO, V.L.M. **Morfogênese, pedogênese e etchplanação:** análise integrada dos aspectos geoquímicos, mineralógicos e micromorfológicos dos solos de uma topossequência na depressão de Gouveia – Serra do Espinhaço - Minas Gerais. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.13, n.2, p. 223-233, 2012.
- AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, FONSECA, B.M.; ROCHA, L.C. **Mapeamento geomorfológico da Serra do Espinhaço Meridional:** primeira aproximação. Geonomos, 19(2), 50-69, 2011.
- BARTHOLD, F.K.; STALLARD, R.F.; ELSENBEER, H. **Soil nutrient–landscape relationships in a lowland tropical rainforest in Panama.** For. Ecol. Manag., 255:1135-1148, 2008.
- BATISTA, M. **Estudo morfopedológico de uma topossequência de solos no município de Terra Roxa-PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Marechal Cândido Rondon-PR, 91p, 2018.
- BELTRAME, A.V. **Estudo das propriedades físicas do solo, visando conhecer seu funcionamento hídrico (Sorocaba do Sul) Biguaçu (SC).** Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. São Paulo-SP, 159p, 1997.
- BOCQUIER, G. **Genèse et evolution de deux toposéquences de sol tropicaux du Tchad.** Interprétation biogéodynamique, Mém. ORSTOM, n. 62, Thèse Etat Université Louis-Pasteur Strasbourg, p. 350, 1971.
- BOULET, R. **Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia.** In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 21. Campinas: SBCS, 79-90, 1988.
- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils.** New York, Robert E. Krieger Publishing Company, 482p, 1976.

BUI, E.N.; LOUGHEAD, A.; CORNER, R. **Extracting soil-landform rules from previous soil surveys.** *Austr. J. Soil Res.*, 37:495-508, 1999.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T.; BABEL, U. **Handbook for Soil Thin Section Description.** Waine Research Publications, Wolverhampton, 152 p., 1985.

BUSHNELL, T.M. **Some aspects of the soil catena concept.** *Soil Science Society of America Journal*, v. 7, p. 466 – 476, 1942.

CASSETI, V. **Geomorfologia.** [S.l.]. 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2019.

CASTRO, S.S.; SALOMÃO, F.X.T. **Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas.** *GEOUSP, Espaço e tempo*, n. 7, p. 27-37, 2000.

CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL-TORRADO, P. **Micromorfologia do solo: bases e aplicações.** In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.107-164. 2003.

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

CASTRO, S.S.; COOPER, M. **Fundamento de Micromorfologia de Solos.** Viçosa (MG): SBCS, 240 p. 2019.

CEDDIA, M.B.; VIEIRA, S.R.; VILLELA, A.L.O.; MOTA, L.S.; ANJOS, L.H.C.; CARVALHO, D.F. **Topography and spatial variability of soil physical properties.** *Sci. Agric. (Piracicaba, Brazil)*, v.66, p.338-352, 2009.

ČERNÝ, P. **Distribution, affiliation and derivation of rare-element granitic pegmatites in the Canadian Shield.** *Geol. Rundschau*, 79, p.183-226. 1990.

ČERNÝ, P. **Fertile granites of Precambrian rare-element pegmatite fields: is geochemistry controlled by tectonic setting or source lithologies?.** *Precambrian Research*. 51, p.429-468. 1991.

ČERNÝ, P.; ERCIT, T.S. **The classification of granitic pegmatites revisited.** *The Canadian Mineralogist*, v. 43, p. 2005-2026, 2005.

CHAGAS, C.S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros.** Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 223p, 2006.

COELI, L. **Micromorfologia de Solos Modais do Estado de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 188p, 2016.

COOPER, M; CASTRO, S.S.; COELHO, M.R. **Micromorfologia do solo**. In: PAULO, P.C.; DONAGEMA, G.D.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de solo**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, p.527-561. 2017.

CORREIA NEVES, J.M.; SOARES, A.C.P.; MARCIANO, V.R.P.R.O. **A província oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais**. Revista Brasileira de Geociências, v. 16, p.106-118, 1986.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. **Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil**. Soil Science Society of America Journal, v. 48, p. 341–346, 1983.

DALRYMPLE, J.B.; BLONG, R.J.; CONACHER, A.J. **A hypothetical nine unit land a surface model**. Z. Geomorphol., v.12, p.60-76, 1968.

DELVIGNE, J. **Atlas of micromorphology mineral alteration and weathering**. The Canadian Mineralogist, Special Publication 3. Paris: Orstom éditions, 494p, 1998.

DIAS, C.A.T. **Geologia e mineralogia de pegmatito mineralizado em estanho e metais associados (Nb, Ta, Zn, Cu, Pb), Mina Bom Futuro, Rondônia**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 88p, 2012.

DIAS, C.A.T.; LEITE JUNIOR, W.B.; MUZZOLON, R.; BETTENCOURT, J.S. **Geologia e mineralogia do pegmatito estanífero Cascavel, mina Bom Futuro, Rondônia**. São Paulo, UNESP, Geociências, v.32, n.4, p. 731-745, 2013.

DIKAU, R. **Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods**. Zeitschrift für Geomorphologie, v. 80, p. 45-55, 1990.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro, 577p., 2017.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 3560., 2018.

ERHART, H. **La génèse des sols en tant que phénomène géologique**. Paris: Masson et Cie. Ed., 1956.

ESPINDOLA, C.R. **Material de origem do solo**. Revista do Instituto Geológico, v.1, n.38, p. 59-70, 2017.

FACCO, R.; NASCIMENTO, V.B.; WELANG, M.K.; AITA, R. **Propriedades físicas e cobertura pedológica de uma topossequência numa secção de vertente no distrito de Pains, município de Santa Maria-RS**. Revista GEONORTE, edição especial, v.2, n.4, p. 634-645, 2012.

FERNANDES FILHO, E.I.; SOUZA, E.; FARIA, M.M. **Apostila da disciplina SOL 681: Geoprocessamento Aplicado a Pedologia.** Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 105p., 2011.

GERRARD, A.J.W. **Soils and Landforms: An Integration of Geomorphology and Pedology.** London, Allen & Unwin, 162p, 1981.

GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C.; LIMA, J.M.J.C. **Topossequências de latossolos originados de rochas basálticas no Paraná.** II – Relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p. 307-319, 2006.

GOBIN, A.; CAMPLING, P.; FEYEN, J. **Soil-Landscape modelling to quantify spatial variability of soil texture.** *Physics Chem. Earth*, v.26, p.41-45, 2001.

GOMES JUNIOR, E.C. **Segmentação de vertentes como ferramenta auxiliar no mapeamento digital de solos.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017.

GRADIM, D.T.; QUEIROGA, G.N.; NOVO, T.A.; NOCE, C.M.; SOARES, A.C.P.; ROMANO, A.W.; MARTINS, M.; ALKMIM, F.F.; BASTO, C.F.; SULEIMAM, M.A. **Geologia da região de Jequeri-Viçosa (MG), Orógeno Araçuaí Meridional.** *Revista Geonomos*, n.19, v.2, p.107-120, 2011.

GRADIM, D.T.; NOCE, C.M.; NOVO, T.A.; QUEIROGA, G.N.; SOARES, A.C.P.; OLIVEIRA, M.A.S. **Geologia e recursos minerais da folha Viçosa - SF.23-X-B-V: estado de Minas Gerais** – Belo Horizonte : CPRM, 2014.

GUIMARÃES, F.S.; CORDEIRO, C.M.; BUENO, G.T; CARVALHO, V.L.M.; NERO, M.A. **Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 18, nº 1, p. 155-167, 2017.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Geomorfologia.** 2. Ed. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 182p, 2009.

IBGE. **Manual técnico de pedologia.** Manuais técnicos em geociências, nº 4, 3ª. Ed. Rio de Janeiro, IBGE, 425p, 2015.

IBGE. **Mapa de Geomorfologia da Folha SF.23 - Rio de Janeiro.** Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

JENNY, H. **Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology.** McGraw-Hill, New York, 281p, 1941.

JUHÁSZ, C.E.P.; COOPER, M.; CURSI, P.R.; KETZER, A.O.; TOMA, R.S. **Savana woodland soil micromorphology related to water retention.** *Sci. Agric (Piracicaba, Braz.)*. v.64, n.4, p. 344-354, 2007.

- KRUG, F.J.; NOBREGA, J.A.; NOGUEIRA, A.R.A.; OLIVEIRA, P.V. **Guia prático de perguntas e respostas sobre ICP-OES, ICP-MS e preparo de amostras.** Plasmas em Química Analítica e Preparo de Amostras. Anais Curso em Análise Química. São Carlos: DQ/UFSCar, 2001.
- KUZILA, M.S. **Identification of multiple loess units within modern soils of Clay County, Nebraska.** Geoderma, n 65, p. 45-57, 1995.
- LEITE JUNIOR, W.B. **A suíte intrusiva Santa Clara (RO) e a mineralização primária polimetálica (Sn, W, Nb, Ta, Zn, Cu, Pb) associada.** Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 303p, 2002.
- LONDON, D. **Pegmatites.** Can Mineral Spec Publ 10, Mineralogical Association of Canada, Québec, p.1–347, 2008.
- LOZET, J.; MATHEU, C. **Dictionnaire encyclopédique de science du sol.** Paris. Lavoisier, Editions Tech&Doc, 733p, 2011.
- MACMILLAN, R.A.; SHARY, P.A. 2009. **Chapter 9 Landforms and Landform Elements in Geomorphometry.** In Geomorphometry: Concepts, Software, Applications - Developments in Soil Science, v. 33, p. 227–254, 2009.
- MARQUES NETO, R.; ZAIDAN, R.T.; MENON JR., W. **Mapeamento geomorfológico do município de Lima Duarte (MG).** Revista Brasileira de Geomorfologia, v.16, p.123-136, 2015.
- MILNE, G. **Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils.** Soil Research, v. 4, p. 183-198, 1935.
- MINASNY, B.; McBRATNEY, A.B. **Mechanistic soil-landscape modelling as an approach to developing pedogenetic classifications.** Geoderma, 133:138-149, 2006.
- MONTANARI, R.; CARVALHO M.P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F.C.; LOVERA, L.H.; HONORATO, M.A. O. **Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributo físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p 1811-1822, 2010.
- MOREIRA, H.L.; OLIVEIRA, V.A. **Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário êutrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, v.32, n.4, 2008.
- MOURA-FÉ, M.M. **Paisagem e a aplicabilidade geomorfológica do conceito.** Rev. Bras. de Geografia Física, v.12, n.4, p. 1231-1237, 2019.
- MUNSELL soil color charts.** Baltimore: Munsell Color, 1994.

MUÑOZ, V.A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

MUÑOZ, V.A.; VALERIANO, M.M. **Modelagem da dissecação por geoprocessamento para delineamento de manchas de solo**. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal (RN). Anais... São José dos Campos: INPE, 2009.

NOVAES FILHO, J.P.; COUTO, E.G.; RODRIGUES, L.C.M.; CHIG, L.A.; JOHNSON, M.S. **Indicativos de descontinuidade litológica de regolitos derivados de granitos em uma microbacia sob floresta Amazônica, em Juruena - MT**. Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso), v. 36, p. 317-324, 2012.

OLIVEIRA, H.M.; CHAVES, J.M. **Mapeamento e caracterização geomorfológica: Ecorregião Raso da Catarina e Entorno NE da Bahia**. Mercator, v. 9, n. 20, 2010.

PASSO, D.P.; MARTINS, E.S.; GOMES, M.P.; REATTO, A.; CASTRO, K.B.; LIMA, L.A.S.; GOMES, R.A.T. **Caracterização geomorfológica do município de Barreiras, oeste baiano, escala 1:100.000**. EMBRAPA Cerrados, Brasília, 31p, 2010.

PAVLOPOULOS, K., EVELPIDOU, N., VASSILOPOULOS, A. **Mapping Geomorphological Environments**. 1st ed. Heidelberg, Germany: Springer. 2009.

QUEIROZ NETO, J.P. **O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas**. In: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, 2010, Coimbra. Anais do VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, 2010.

QUEIROZ NETO, J.P. **Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.12, n.13, 2011.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F.; KER, J.C. **Pedologia: base para a distinção de ambientes**. 6 ed. Lavras : Editora UFLA, 2014.

RODRIGUES, S.C. **Cartografia e simbologia geomorfológica: evoluindo da cartografia tradicional para o uso de simbologia digital**. Rev. Brasileira de Geomorfologia, v. 11, n° 1, 2010.

ROSS, J.L.S. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo**. Revista do Departamento de Geografia (USP), São Paulo, v.6, 1992.

ROSS, J.L.S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia (USP), n°8, São Paulo, 1994.

SAMPAIO, T.V.M., AUGUSTIN, C.H.R.R. **Análise das incongruências dos índices de dissecação e rugosidade**. Anais do VII Encontro Nacional de Geomorfologia. Belo Horizonte, 2008.

- SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. & MARTINS FILHO, M.V. **Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas**. *Bragantia*, 68:1095-1103, 2009.
- SANTOS, G.L.; PEREIRA, M.G.; LIMA, S.S.; CEDDIA, M.B.; MENDONÇA, M.M.; DELGADO, R.C. **Landform curvature and its effect on the spatial variability of soil attributes**, Pinheiral-RJ/BR. *CERNE*, v.22, n.4, p. 431-438, 2016.
- SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7 ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 102 p, 2015.
- SILVA, M.B.; ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; COOPER, M.; CAVASSANI, R.S. **Gênese e classificação dos solos de uma topossequência em área de carste na serra da Bodoquena, MS**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p. 1464-1480, 2013.
- SIRTOLI, A.E.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, C.R.; MANTOVANI, L.E.; RIBEIRO, S.R.A.; OKA-FIORI, C. **Atributos topográficos secundários no mapeamento de pedoformas**. *Geociências*, v. 27, n. 1, p. 63-77, 2008a.
- SIRTOLI, A.E.; SILVEIRA, C.T.S.; MANTOVANI, L.E.; SIRTOLI, A.R.A.; OKA-FIORI, C. **Atributos do relevo derivados de modelos digitais de elevação e suas relações com solos**. *Revista Scientia Agraria (UFPR)*, v. 9, p. 317-329, 2008b.
- SOMMER, M. **Influence of soil pattern on matter transport in and from terrestrial biogeosystems: a new concept for landscape pedology**. *Geoderma*, v.133, p.107-123, 2006.
- SOUZA, C.M.P.; FIGUEREDO, N.A.; COSTA, L.M.; VELOSO, G.V.; ALMEIDA, M.I.S.; FERREIRA, E.J. **Machine learning algorithm in prediction of geomorphic indices for appraisal the influence of landscape structure on fluvial systems, southeastern – Brazil**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, p. 365-380, 2020.
- SOUZA, L.F.T. **Modelagem de processos erosivos em área de contatos geológicos no Alto Paranaíba**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 133p, 2017.
- STOOPS, G. **Key to the ISSS “Handbook for Soil Thin Section Description”**. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, v. 78, p. 193-203, 1998.
- STOOPS, G. **Guidelines for Analyses and Description of Soil and Regolith Thin Sections**. Soil Society of America, 184 p, 2003.
- STOOPS, G; JONGERIUS, A. Proposal for a micromorphological classification in soil materials. I: A classification of related distribution of coarse and fine particles. *Geoderma*, v. 13, p. 189-200, 1975.

STOOPS, G.; MARCELINO, V., MESS, F. **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Amsterdam: Elsevier; 2010.

TAYLOR, G.; EGGLETON, R.A. **Regolith geology and geomorphology**. Chichester, England. John Wiley, 375p. 2001.

TONUI, E.; EGGLETON, T.; TAYLOR, G. **Micromorphology and chemical weathering of a K-rich trachyandesite and an associated sedimentary cover (Parkes, SE Australia)**. Catena, v.53, p.181-207, 2003.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la geomorphologie**. Paris: Masson Ed., 201p, 1965.

TRICART, J.; KILIAN, J. **L'éco-géographie**. Paris: ed. F. Maspero, 1979.

VALERIANO, M.M. **Dados topográficos**. In: Florenzano, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Texto, p. 72-104, 2008a.

VALERIANO, M.M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). São José dos Campos, SP: 72p., 2008b.

VIDAL-TORRADO, P; LEPSCH, I.F.; CASTRO, S.S. **Conceitos e aplicações das relações Pedologia-Geomorfologia em regiões tropicais úmidas**. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 145-192, 2005.

WILLIAMS, H.; TURNER, F.J.; GILBERT, C.M. **Petrography and introduction to the study of rocks in thin sections**. 2^a ed. San Francisco: W. H. Freeman, 626p, 1982.

ZASLAVSKY, D.; ROGOWSKI, A.S. **Hydraulic and morphological implications of anisotropy and infiltration in soil profile development**. Soil Sci. Soc. Am. Proc., v.33, p.594-599, 1969.