

***Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais***

***Programa de Pós-Graduação em Geografia –  
Tratamento da Informação Espacial***

**“Caracterização e aspectos genéticos de  
formações superficiais do Planalto de Diamantina,  
Espinhaço Meridional-MG.”**

**Área de Concentração:** Análise Espacial

**Orientador:** Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno

**Mestrando:** Éverton Sena Santos

***PUC-MG  
Belo Horizonte  
2013***

Éverton Sena Santos

**CARACTERIZAÇÃO E ASPECTOS GENÉTICOS DE FORMAÇÕES  
SUPERFICIAIS DO PLANALTO DE DIAMANTINA, ESPINHAÇO MERIDIONAL-  
MG.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia: Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Guilherme Taitson Bueno

Belo Horizonte  
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

S237c Santos, Éverton Sena  
Caracterização e aspectos genéticos de formações superficiais do Planalto de Diamantina, Espinhaço Meridional - MG / Éverton Sena Santos. Belo Horizonte, 2013.  
160f.: il.

Orientador: Guilherme Taitson Bueno.  
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial.

1. Solos – Composição – Diamantina (MG). 2. Mineralogia - Diamantina (MG). I. Bueno, Guilherme Taitson. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 549(815.1)

Éverton Sena Santos

**CARACTERIZAÇÃO E ASPECTOS GENÉTICOS DE FORMAÇÕES  
SUPERFICIAIS DO PLANALTO DE DIAMANTINA, ESPINHAÇO MERIDIONAL-  
MG.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia: Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

---

Guilherme Taitson Bueno (Orientador) – PUC Minas

---

Vania Silvia Rosolen – UNESP

---

Vilma Lucia Macagnan Carvalho – UFMG

Belo Horizonte, 25 de setembro de 2013.

*Desde os tempos em que percorria longas estradas de chão com os pés cheios de barro, para chegar à escola, não sabia, mas já era geógrafo. Aventureiro por definição, humilde pelos traços da vida e eterno sonhador.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por guiar os meus passos nesta longa jornada.

À minha mãe, Dona Helena pelo apoio e incentivo.

Aos meus irmãos Karine, Braúlio e Daniel, sobrinhos, afilhados e meu pai Omar, agradeço o incentivo e a paciência pelas ausências nesses dois anos de estudos.

Ao companheirismo da minha noiva Rosane Lucas pelas horas ausentes dedicadas aos trabalhos de campo, coleta e análise de material.

Ao meu orientador Guilherme Tatson por guiar este trabalho com atenção, ética e, sobretudo, com respeito. Obrigado pela confiança, motivação e dedicação com nossa pesquisa.

Aos meus colegas do mestrado, por horas a fio de discussões teóricas e pesquisas nos trabalhos de campo, coletando material e discutindo as análises. Especialmente aos amigos Bruna Fernandes e José Alves, que foram grandes companheiros nesses dois anos.

Aos amigos Robson Caldeira e Roberta Parreira, participantes do projeto como alunos da graduação, hoje, Geógrafos; presentes em diversos trabalhos de campo em Diamantina, e participando efetivamente na elaboração de artigos científicos, frutos deste e de outros trabalhos.

À Luciana Anísio Felício e família, pelo apoio à logística dos trabalhos de campo em Diamantina e pela hospitalidade e gentileza em nos receber em sua casa, nas diversas idas à cidade.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Geografia: Tratamento da Informação da PUC Minas, especialmente aos professores Luiz Eduardo Panisset Travassos e Oswaldo Bueno Amorim Filho, que ressaltam a importância de desenvolvermos pesquisas com seriedade e responsabilidade, visando aprimorar cada dia mais as áreas de conhecimento relacionadas à geografia.

À Professora Dr<sup>a</sup>. Nádia Regina do Nascimento, do IGCE da UNESP, Campus Rio Claro-SP, pela condução de tão grandioso projeto, do qual tive a honra de participar.

À amiga Bruna Rossin pelos inúmeros dias despendidos no apoio às análises no laboratório LAFS, no IGCE da UNESP, Campus Rio Claro-SP. Por nos receber em sua casa, sempre com muita hospitalidade e simpatia.

Aos funcionários do IGCE da UNESP Campus Rio Claro, em especial à laboratorista Sueli Theodoro pelos imensuráveis ensinamentos e parceria nas análises realizadas no LAFS.

Às Professoras Dr<sup>a</sup>. Celia Regina Montes e Dr<sup>a</sup>. Débora Ayumi Ishida, da USP-ESALQ, Piracicaba-SP, por todo o apoio nas análises mineralógicas de DRX.

Ao Instituto Estadual de Florestas pelo apoio logístico nos trabalhos de campo, e incentivo à pesquisa no Parque Estadual do Biribiri.

Aos gestores do Parque Estadual do Biribiri, e aos demais funcionários que compõem o corpo técnico do Instituto Estadual de Florestas.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro a esta pesquisa.

## RESUMO

O Espinhaço meridional é uma das mais importantes unidades geológicas e geomorfológicas do Brasil, cuja paisagem predominante é constituída, principalmente, de afloramentos quartzíticos e vegetação típica de grandes altitudes. Contudo, pode-se encontrar, nas suas superfícies aplanadas, desde resíduos de coberturas latossólicas e couraças ferruginosas até solos hidromórficos em depressões e em cabeceiras mal drenadas. Esta diversidade de ambientes implica em áreas com riquezas ambientais inestimáveis, que necessitam de preservação, como é o caso do Parque Estadual do Biribiri, localizado no município de Diamantina, em Minas Gerais. Todavia, essa diversidade de paisagens e ambientes não é revelada nos documentos hoje disponíveis, quase sempre produzidos em escalas mais abrangentes. Assim, nota-se que há uma necessidade de mais estudos em nível de detalhe. Nesse contexto, esta dissertação tem como objetivo contribuir para o conhecimento das formações superficiais do Planalto de Diamantina e no entendimento de sua gênese. Seis perfis de solo foram estudados; destes, cinco estão inseridos no Parque Estadual do Biribiri (N de Diamantina), e um encontra-se situado no entroncamento da BR-367 e MG-220, ao sul de Diamantina. Os perfis de solo aqui estudados estão em um mesmo compartimento altimétrico (Planalto de Diamantina), próximo dos 1400 metros de altitude. Amostras representativas de cada perfil foram coletadas e enviadas para análises físicas, químicas e mineralógicas: granulometria, química total por espectrometria de fluorescência de raios X, difração de raios X, micromorfologia e de pH. Os resultados apontaram uma grande diversidade de tipos de solos, expressa por importante heterogeneidade morfológica, principalmente em termos de cor e textura. Este fato foi atribuído à presença de diferentes litologias (filitos, filitos hematíticos e quartzitos) e às diferenças nas condições de drenagem a que estão submetidos os perfis, devido, principalmente, às características topográficas locais. Constatou-se que a Laterização é o processo dominante na gênese dos perfis estudados, mas em alguns deles o processo de Hidromorfia, associado ou não à Lessivagem, transforma os materiais lateríticos em materiais empalidecidos e/ou arenosos. Dos seis perfis estudados, cinco foram considerados como tendo se formado a partir da rocha subjacente (autóctones), sendo que para um deles (P-6) uma condição de subautoctonia não foi descartada. O P-5 foi considerado como formado a partir de material transportado (aloctonia).

**Palavras-chave:** Planalto de Diamantina. Formações Superficiais. Autoctonia. Aloctonia.

## ABSTRACT

Southern Espinhaço is one of the most important geological and geomorphological units in Brazil, whose predominating landscape consists mainly of quartzitic outcrops and typical vegetation of high altitude. However, it is possible to find on its plain surfaces residue of latosolic coverage and ferruginous cuirasse, along with hydromorphic soil in depressions and badly drained headlands. This diversity of environment occurs in areas with immeasurable environmental resources in need of preservation, similarly to the case at Biribiri State Park, located at the city of Diamantina, in Minas Gerais. On the other hand, this diversity of landscape and environment is not revealed in documents currently available, almost always produced in a broader range scale; it is thus evident the need of further study with the necessary level of detail. In this context, the present dissertation intends to contribute to the understanding of superficial formations at the Diamantina Plateau and of its genesis. Six soil profiles were studied; among those, five are inserted at Biribiri State Park (north of Diamantina), and one is located at the junction of federal and state roads, respectively, BR-367 and MG-220, south of Diamantina. The studied soil profiles are set in the same altimetrical sharing (the Diamantina Plateau), nearing 1 400 m high. Representative samples of each profile have been collected and sent for physical, chemical and mineralogical analysis, granulometry, total chemistry by spectrometry of X ray fluorescence, X ray diffraction, micromorphology and pH. Results point to a great diversity of soil types, expressed by an important morphological heterogeneity, especially in terms of colour and texture. This fact has been attributed to the presence of different lithology (phyllites, hematitic phyllites and quartzites) and to the differences in draining conditions to which profiles are subjected due, mainly, to local topographical characteristics. It was proven that laterization is the predominating process in the genesis of the studied profiles, even though in some of them the process of hydromorphism associated or not to lessivage transforms lateritic materials in pale and/or arenaceous. From the six studied profiles, five have been seen to have formed from the subjacent rock (autochthonous), whereas one of them (P-6) showed a condition of subautochtony which was not discarded. P-5 was considered as formed from transported material (allochthonous).

**Keywords:** Diamantina Plateau. Superficial Formations. Autochthonous. Allochthonous.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> FOTOMICROGRAFIA DE LAMINA DELGADA DE AFLORAMENTO HEMATÍTICO.....	30
<b>FIGURA 2:</b> FOTOMICROGRAFIA DE LÂMINA DELGADA DE AFLORAMENTO DE QUARTZITO.....	31
<b>FIGURA 3:</b> PROCESSO DE DISSOLUÇÃO AGINDO SOBRE A ROCHA NO PLANALTO DE DIAMANTINA.....	38
<b>FIGURA 4:</b> VISTA DO CÓRREGO DO SOBERBO (A) E VISTA DO CÓRREGO DA RODA (B), EM TRECHO A JUSANTE DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
<b>FIGURA 5:</b> VISTA PANORÂMICA DE UMA TÍPICA PAISAGEM DO PLANALTO DE DIAMANTINA-MG.....	43
<b>FIGURA 6:</b> PERFIL DE UM CAMPO RUPESTRE REPRESENTANDO UMA FAIXA DE 40M DE COMPRIMENTO E 10 DE LARGURA.....	43
<b>FIGURA 7:</b> RELAÇÕES DAS FORMAÇÕES SUPERFICIAIS COM O SUBSTRATO ROCHOSO.....	47
<b>FIGURA 8:</b> DESENVOLVIMENTO DO PERFIL DE SOLO, COM BASE NAS ALTERAÇÕES DO REGOLITO.....	50
<b>FIGURA 9:</b> SÉRIE DE GOLDICH DEMONSTRANDO A ORDEM DE ESTABILIDADE DOS MINERAIS FRENTE À VELOCIDADE DO INTEMPERISMO.....	54
<b>FIGURA 10:</b> I) LINHA DE PEDRAS AUTÓCTONE E II) LINHA DE PEDRAS ALÓCTONE.....	59
<b>FIGURA 11:</b> DIAGRAMA DE UM PERFIL DE SOLO PARA ILUSTRAR O PROCESSO DE LESSIVAGEM.....	65
<b>FIGURA 12:</b> FLUXOGRAMA DE TÉCNICAS E MÉTODOS.....	67
<b>FIGURA 13:</b> FOTOMICROGRAFIAS DAS AMOSTRAS DE QUARTZITO A) QTZ-1, B) QTZ-2, C) QTZ-3, D) QTZ-4, E E) QTZ-5.....	79
<b>FIGURA 14:</b> FOTOMICROGRAFIAS DA AMOSTRA DE QUARTZITO, QTZ-1.....	80
<b>FIGURA 15:</b> FOTOMICROGRAFIAS DA AMOSTRA DE QUARTZITO, QTZ-2.....	81
<b>FIGURA 16:</b> FOTOMICROGRAFIAS DA AMOSTRA DE QUARTZITO, QTZ-3.....	82
<b>FIGURA 17:</b> FOTOMICROGRAFIAS DAS AMOSTRAS DE FILITO A) FIL-1 E B) FIL-2.....	83
<b>FIGURA 18:</b> FOTOMICROGRAFIAS A, B, C E D DA AMOSTRA DE FILITO, FIL-1...	84
<b>FIGURA 19:</b> FOTOMICROGRAFIAS DA AMOSTRA DE FILITO, FIL-2.....	85

<b>FIGURA 20:</b> FOTO DO PERFIL DE SOLO 1 COM OS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS E SUAS PROFUNDIDADES EM CM. ....	87
<b>FIGURA 21:</b> FOTO DO PERFIL DE SOLO 2.....	90
<b>FIGURA 22:</b> FOTOMICROGRAFIA DE AMOSTRA INDEFORMADA DO SOLO EXTRAÍDA DO PERFIL DE SOLO 2.....	91
<b>FIGURA 23:</b> FOTO PERFIL DE SOLO 3. ....	92
<b>FIGURA 24:</b> FOTO DE PERFIL DE SOLO 4. ....	95
<b>FIGURA 25:</b> PERFIL DE SOLO 5.....	96
<b>FIGURA 26:</b> FOTO DO PERFIL DE SOLO 6.....	98
<b>FIGURA 27:</b> FOTOMICROGRAFIA DE AMOSTRAS EXTRAÍDAS DO HORIZONTE DE CANGA DO PERFIL DE SOLO 6.....	99
<b>FIGURA 28:</b> ÁREA DE CONTATO ENTRE OS HORIZONTES CQ E C NO PERFIL DE SOLO 6.....	100

## LISTA DE MAPAS

<b>MAPA 1:</b> BRASIL, MESORREGIÕES DE MINAS GERAIS, MUNICÍPIO DE DIAMANTINA, LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. ....	25
<b>MAPA 2:</b> MAPA DE GEOLOGIA – DISTRIBUIÇÃO DOS PERFIS DE SOLO, PLANALTO DE DIAMANTINA, ESPINHAÇO MERIDIONAL. ....	28
<b>MAPA 3:</b> HIPSOMETRIA - DISTRIBUIÇÃO DOS PERFIS DE SOLO, PLANALTO DE DIAMANTINA, ESPINHAÇO MERIDIONAL. ....	34
<b>MAPA 4:</b> DECLIVIDADE – DISTRIBUIÇÃO DOS PERFIS DE SOLO, PLANALTO DE DIAMANTINA, ESPINHAÇO MERIDIONAL. ....	37
<b>MAPA 5:</b> MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS SOLOS NA BACIA DO RIBEIRÃO DAS PEDRAS DAS PEDRAS. ....	40
<b>MAPA 6:</b> REDE DE DRENAGEM NO PLANALTO DE DIAMANTINA-MG. ....	41
<b>MAPA 7:</b> DISTRIBUIÇÃO DOS PERFIS DE SOLO P-1, P-2, P-3, P-4, P-5 E P-6 E, DAS AMOSTRAS DE ROCHA QTZ-1, QTZ-2, QTZ-3, QTZ- 4, FIL-1 E FIL-2 NO PLANALTO DE DIAMANTINA – ESPINHAÇO MERIDIONAL. ....	71

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO 1:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS TEORES DE ARGILA, SILTE, AREIA GROSSA E AREIA FINA DO PERFIL DE SOLO 1.....	101
<b>GRÁFICO 2:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS TEORES DE ARGILA, SILTE, AREIA GROSSA E AREIA FINA DO PERFIL DE SOLO 2.....	102
<b>GRÁFICO 3:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS TEORES DE ARGILA, SILTE, AREIA GROSSA E AREIA FINA DO PERFIL DE SOLO 3.....	103
<b>GRÁFICO 4:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS TEORES DE ARGILA, SILTE, AREIA GROSSA E AREIA FINA DO PERFIL DE SOLO 4.....	104
<b>GRÁFICO 5:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS TEORES DE ARGILA, SILTE, AREIA GROSSA E AREIA FINA DO PERFIL DE SOLO 5.....	105
<b>GRÁFICO 6:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS TEORES DE ARGILA, SILTE, AREIA GROSSA E AREIA FINA DO PERFIL DE SOLO 6.....	106
<b>GRÁFICO 7:</b> CLASSES TEXTURAIS DOS PERFIS DE SOLO DE 1 A 6. OS NÚMEROS AO LADO DOS PONTOS SE REFEREM À PROFUNDIDADE DA AMOSTRA. ....	108
<b>GRÁFICO 8:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE PH NOS PERFIS DE SOLO DE 1 A 6.	109
<b>GRÁFICO 9:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS ELEMENTOS QUÍMICOS $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , ZR E DO SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ NO PERFIL DE SOLO 1 .....	113
<b>GRÁFICO 10:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS ELEMENTOS QUÍMICOS $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , ZR E DO SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ NO PERFIL DE SOLO 2 .....	114
<b>GRÁFICO 11:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS ELEMENTOS QUÍMICOS $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , ZR E DO SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ NO PERFIL DE SOLO 3 .....	115
<b>GRÁFICO 12:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS ELEMENTOS QUÍMICOS $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , ZR E DO SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ NO PERFIL DE SOLO 4 .....	117
<b>GRÁFICO 13:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS ELEMENTOS QUÍMICOS $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , ZR E DO SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ NO PERFIL DE SOLO 5 .....	118

<b>GRÁFICO 14:</b> DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS ELEMENTOS QUÍMICOS $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $TiO_2$ , ZR E DO SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ NO PERFIL DE SOLO 6.....	119
<b>GRÁFICO 15:</b> VALORES OBTIDOS COM A FT PARA $Fe_2O_3$ , $Al_2O_3$ , $TiO_2$ E SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ .....	121
<b>GRÁFICO 16:</b> VALORES OBTIDOS COM A FT PARA $Fe_2O_3$ , $Al_2O_3$ , $TiO_2$ E SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ .....	123
<b>GRÁFICO 17:</b> VALORES OBTIDOS COM A FT PARA $Fe_2O_3$ , $Al_2O_3$ , $TiO_2$ E SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ .....	124
<b>GRÁFICO 18:</b> VALORES OBTIDOS COM A FT PARA $Fe_2O_3$ , $Al_2O_3$ , $TiO_2$ E SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ .....	125
<b>GRÁFICO 19:</b> VALORES OBTIDOS COM A FT PARA $Fe_2O_3$ , $Al_2O_3$ , $TiO_2$ E SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ .....	127
<b>GRÁFICO 20:</b> VALORES OBTIDOS COM O FT PARA $Fe_2O_3$ , $Al_2O_3$ , $TiO_2$ E SOMATÓRIO $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ .....	128
<b>GRÁFICO 21:</b> DIFRATOGRAMAS REPRESENTATIVOS DO PERFIL DE SOLO 1... 130	
<b>GRÁFICO 22:</b> DIFRATOGRAMAS REPRESENTATIVOS DO PERFIL DE SOLO 2... 131	
<b>GRÁFICO 23:</b> DIFRATOGRAMAS REPRESENTATIVOS DO PERFIL DE SOLO 3... 132	
<b>GRÁFICO 24:</b> DIFRATOGRAMAS REPRESENTATIVOS DO PERFIL DE SOLO 5... 133	
<b>GRÁFICO 25:</b> DIFRATOGRAMAS REPRESENTATIVOS DO PERFIL DE SOLO 6... 134	
<b>GRÁFICO 26:</b> AGRUPAMENTO DOS MATERIAIS FRIÁVEIS E DO SUBSTRATO ROCHOSO DOS PERFIS ESTUDADO FUNÇÃO DOS TEORES DE $Al_2O_3$ , $Fe_2O_3$ , $SiO_2$ E $MgO+CaO+Na_2O+K_2O$ .....	135

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1:</b> GRUPO, FORMAÇÃO E LITOLOGIA DO SUPERGRUPO ESPINHAÇO..	27
<b>QUADRO 2:</b> FORMAÇÃO E LITOLOGIA DO GRUPO MACAÚBAS. ....	29
<b>QUADRO 3:</b> LITOLOGIA DOS DEPÓSITOS DE ALUVIÕES E COBERTURAS DETRITO-LATERÍTIAS. ....	29
<b>QUADRO 4:</b> AMOSTRAS UTILIZADAS COMO REFERÊNCIA DE MATERIAL ORIGEM PARA OS CÁLCULOS DE FT. ....	77

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

**ESALQ** – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

**IGCE** - Instituto de Geociências e Ciências Exatas .

**IEF** – Instituto Estadual de Florestas.

**IGAN** – Instituto Nacional de Gestão das Águas.

**LAFS** – Laboratório de Análise e Formação Superficial.

**LEA** – Laboratório de Estudos Ambientais Professor Heinz Charles Kohler.

**P-1** – Perfil de solo 1.

**P-2** – Perfil de solo 2.

**P-3** – Perfil de solo 3.

**P-4** – Perfil de solo 4.

**P-5** – Perfil de solo 5.

**P-6** – Perfil de solo 6.

**PUC MINAS** – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

**TFSA** – terra fina seca ao ar.

**UFV** – Universidade Federal de Viçosa.

**UNESP** – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

**USP** – Universidade de São Paulo.

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>23</b>
1.1 Localização e situação geográfica.....	23
1.2 Geologia.....	26
1.3 Geomorfologia .....	32
1.4 Formações Superficiais .....	38
1.5 Hidrografia.....	41
1.6 Vegetação.....	42
<b>2 REFERENCIAL TÉORICO.....</b>	<b>45</b>
2.1 Formações Superficiais e sua Gênese .....	45
2.1.1 <i>Gênese das Formações Superficiais: Processos</i> .....	49
2.1.1.1 <i>Intemperismo e pedogênese</i> .....	49
2.1.1.1.1 <i>Intemperização Química</i> .....	52
2.1.1.1.1.1 <i>Si, Al, Fe e Zr: características gerais e comportamento no perfil de solo</i> .....	55
2.1.2 <i>Erosão</i> .....	56
2.1.3 <i>Gênese de Linha de Pedra</i> .....	58
2.2 Grandes vias de alteração e pedogênese no meio tropical úmido.....	60
2.2.1 <i>Laterização</i> .....	60
2.2.2 <i>Hidromorfia</i> .....	63
2.2.3 <i>Lessivagem</i> .....	64
<b>3 MÉTODOS E TÉCNICAS DE TRABALHO .....</b>	<b>66</b>
3.1 Trabalho de Gabinete .....	68
3.1.1 <i>Interpretação de Imagens Orbitais</i> .....	68
3.2 Trabalho de Campo .....	70
3.3 Análises Laboratoriais.....	72
3.4 Extração de Argila.....	73
3.5 Química Total.....	73
3.6 Difração aos Raios X .....	74
3.7 Micromorfologia .....	74
3.8 Determinação do potencial de Hidrogênio (pH) em água.....	75
3.9 Tratamento dos dados .....	76

<b>4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, QUÍMICAS, MINERALÓGICAS E MICROMORFOLÓGICAS DOS PERFIS ESTUDADOS.....</b>	<b>78</b>
4.1 Substrato dos perfis de solo estudados.....	78
4.2 Caracterização dos perfis de solos .....	86
4.2.1 <i>Morfologia</i> .....	86
4.2.2 <i>Granulometria</i> .....	100
4.2.3 <i>pH do solo</i> ... ..	109
4.2.4 <i>Química Total</i> .....	112
4.2.4.1 <i>Distribuição vertical dos elementos químicos por perfil</i> .....	112
4.2.4.2 <i>Perdas e acumulações de elementos químicos</i> .....	120
<b>5 GÊNESE E EVOLUÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS .....</b>	<b>135</b>
5.1 Processos maiores de intemperismo/pedogênese .....	135
5.2 Solos Lateríticos .....	137
5.3 Solo lateríticos transformados por hidromorfia .....	138
5.4 Solo hidromórficos lessivados .....	139
5.5 Os fatores de formação dos solos e a gênese dos perfis estudados .....	140
5.6 Filiação vertical entre <i>solum</i> , saprolito e rocha nos perfis estudados .....	142
5.6.1 <i>Solos interpretados como formados a partir da rocha sã subjacente (autoctonia)</i> ...	142
5.6.2 <i>Solo interpretado como formado a partir de material transportado (aloctonia)</i> .....	143
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>144</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>156</b>

## APRESENTAÇÃO

Esta dissertação é parte integrante da linha de pesquisa *meio ambiente*, grupo temático *geodinâmica ambiental*, do Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC MINAS).

Os idealizadores deste trabalho são Éverton Sena Santos e o Professor Orientador Dr. Guilherme Taitson Bueno. O estudo contou com o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio de bolsa de Mestrado durante os dois anos em que foram desenvolvidas as pesquisas; além do apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do projeto de pesquisa: Transferência de matéria, evolução das formações superficiais e vulnerabilidade ambiental, das paisagens da Alta Bacia do Rio Preto (Parque Estadual do Rio Preto – Serra do Espinhaço, MG); coordenado pela Professora Dra. Nádia Regina do Nascimento – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Rio Claro, São Paulo.

O tema desta dissertação é: Gênese das Formações Superficiais do Planalto de Diamantina – Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil. A relevância deste estudo está condicionada ao pouco conhecimento sobre as características em nível de detalhe e sobre a gênese dos solos do Planalto de Diamantina. Por sua vez, o referido planalto está inserido em uma importante unidade de paisagem – o Espinhaço.

Dessa forma, algumas áreas representativas do Planalto de Diamantina foram escolhidas e utilizadas nesta dissertação para estudo e amostragem de material de solo e rocha. Uma das áreas escolhidas está dentro dos limites do Parque Estadual do Biribiri. Assim, para prosseguimento dos estudos foi necessário selar um acordo de cooperação técnica com o Instituto Estadual de Florestas (IEF) – responsável pelo gerenciamento da unidade de conservação; a licença para realização de pesquisa em unidades de conservação é UC: 005/11.

## INTRODUÇÃO

As paisagens naturais do Planalto de Diamantina – Espinhaço Meridional – são resultantes da combinação entre a resistência das rochas lá existentes, as estruturas tectônicas e suas direções com os fatores climáticos (SAADI, 1995). Esta configuração, associada a fatores como clima, vegetação e topografia fazem com que haja nesta importante unidade de relevo solos com características e gênese particulares.

A Serra do Espinhaço atrai exploradores e pesquisadores há séculos. A beleza cênica e as condições ambientais desta cordilheira funcionam como fatores atrativos para realização de estudos científicos. Mas, o que motivou de fato as primeiras pesquisas foi à descoberta das riquezas minerais, principalmente a do diamante, no século XVII, em áreas que hoje estão inseridas dentro do município de Diamantina.

A Serra do Espinhaço em sua parte meridional foi objeto de vários estudos, sobretudo no campo geológico – obras como as de Pflug (1965), Dussin et al (1987 e 1994) e Dussin e Dussin (1995) contribuíram para a identificação dos compartimentos paisagísticos da região. Do ponto de vista geomorfológico, os estudos de King (1956), Abreu (1982), Saadi (1995) e Augustin (2011) começaram a construir um mapeamento de unidades de relevo da região.

Estudos pedológicos vêm sendo desenvolvidos nas últimas décadas, mas a região continua carente de estudos em nível de detalhe. O estudo de Schaefer et al., (2001) é um exemplo recente de estudo detalhado dos solos do Planalto de Diamantina. Todavia, pesquisas sobre os solos em áreas próximas ao Planalto, e também inseridas na Serra do Espinhaço Meridional (SEdM), foram e ainda são desenvolvidas por profissionais ligados a inúmeros centros de educação superior, ou mesmo de pesquisa, deste país. Dessa forma, as principais contribuições estão inseridas nos estudos de: Augustin (1995a, 1995b e 1999), Abreu (1982); o Plano de Manejo do Parque Estadual do Biribiri (Instituto Estadual de Florestas, 2004); levantamento de Silva, Pedreira e Abreu (2005); as teses de Neves (2005) e Michelin (2011); as dissertações de Lages (2005), Cruz (2006), Ramos (2008), Ávila (2009), Rocha (2011) e Ferreira Neto (2012).

Os avanços, tanto conceituais como técnicos, das pesquisas de cunho pedológico proporcionaram o entendimento sobre as organizações das formações superficiais; bem como de sua estrutura nas três dimensões espaciais e na dimensão temporal, de acordo com Queiroz Neto (2010). Estes avanços também refletiram nas escalas de análise, que passaram a ser utilizadas desde o microscópio, até o nível da paisagem.

Os estudos que procuraram estabelecer o entendimento da gênese das formações superficiais e das superfícies de aplainamento contribuíram para o desenvolvimento da pedologia e geomorfologia. Segundo Queiroz Neto (2010), integrar as contribuições desses importantes campos do conhecimento não foi tarefa fácil; por muito tempo, seus interesses não convergiram para um mesmo caminho.

Dessa forma, com base em interpretações genéticas de dados geoquímicos, físicos e mineralógicos, esta dissertação busca caracterizar do ponto de vista genético formações superficiais do Planalto de Diamantina. E, de modo específico, pretende:

- i. Analisar, do ponto de vista morfológico, físico, químico e mineralógico solos de áreas representativas do Planalto de Diamantina;
- ii. Discutir a gênese dos perfis estudados com foco nos processos pedogenéticos dominantes, nos fatores de formação do solo e na relação entre solos e o substrato geológico subjacente;
- iii. Contribuir com novas informações para o conhecimento e para o aprimoramento do mapeamento de solos do Planalto de Diamantina.

Os levantamentos pedológicos fornecem informações para o acervo de conhecimentos especializados na área de ciências do solo; estas informações, por sua vez, contribuem de imediato nos prognósticos sobre o comportamento dos solos em relação às práticas de conservação e de manejo (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007). A aplicação desses conceitos e práticas, na importante unidade paisagística que é o Espinhaço Meridional, fomenta a realização de novas pesquisas, assim como valoriza toda a região. O Instituto Estadual de Florestas considera a parte mineira do Espinhaço como uma área prioritária para a conservação da biodiversidade.

Destaca-se, ainda, que os resultados obtidos por esta dissertação certamente serão divulgados para além da comunidade acadêmica para, assim, atender a uma demanda local e regional de conhecimento do Espinhaço. Estes resultados, somados às pesquisas de Schaefer et al., (2001), Neves (2005), Ferreira Neto (2012) e Soares (2013) trarão novas informações para a formação de conhecimento sobre a dinâmica do relevo e das formações superficiais do Planalto de Diamantina; conseqüentemente, poderão contribuir para a adoção de políticas de conservação e de desenvolvimento de uma área de reconhecida riqueza ambiental.

## 1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com o objetivo de caracterizar a área de estudo, este capítulo abará os seguintes temas: localização, geomorfologia, geologia, solos, hidrografia e vegetação.

### 1.1 Localização e situação geográfica

Foco deste estudo, o Planalto de Diamantina está situado na Serra do Espinhaço Meridional (SdEM). A SdEM é parte integrante da Serra do Espinhaço – que constitui um conjunto de terras altas, com forma de bumerangue e de direção geral N-S e convexidade orientada para oeste (SAADI, 1995).

A Serra do Espinhaço possui aproximadamente 1400 km de extensão e pode ser subdividida em: i) Serra do Espinhaço Setentrional (SdES) e Chapada Diamantina – porção norte; e ii) Serra do Espinhaço Meridional (SdEM) – porção sul. Esta última localiza-se dentro dos limites do Estado de Minas Gerais e abrange as zonas adjacentes a leste (Vale do Rio Doce e Jequitinhonha) e a oeste (Vale do Rio São Francisco) segundo Pflug (1965).

De acordo com Pflug (1965) e Saadi (1995), o maior volume topográfico é representado por um planalto de aspecto maciço, cuja altitude média é de 1300 m. A parte central deste planalto – também a mais elevada – é correspondente ao Planalto de Diamantina (ABREU, 1982).

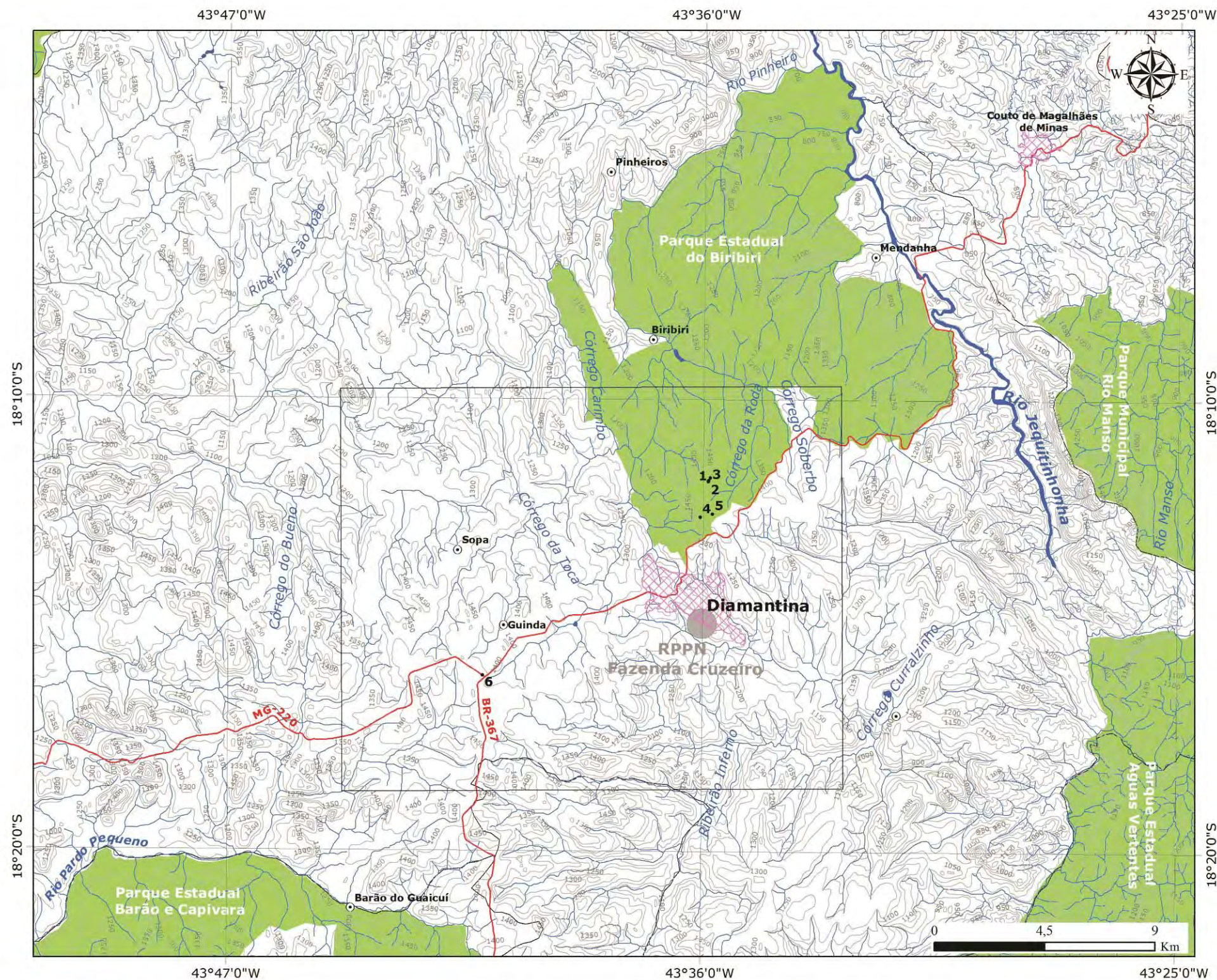
Os perfis de solo e áreas representativas do Planalto de Diamantina analisadas por esta dissertação podem ser visualizadas no Mapa 1 (Mapa de Localização). Pode-se observar, ainda, que estradas pavimentadas e vicinais cortam a área de estudo em vários sentidos, mas principalmente na direção SW-NE. Destacam-se: a BR-367 – que faz a ligação entre as cidades de Diamantina e a capital mineira Belo Horizonte; e a MG-220 – que liga Diamantina à cidade de Monjolos.

A cidade de Diamantina, principal centro urbano do Espinhaço Meridional, possui área de unidade territorial de 3.891,654 km<sup>2</sup> e população de 45.880 habitantes (INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010). Com base nesses dados, e segundo os critérios estabelecidos por Amorim Filho e Sena Filho (2005), a cidade de Diamantina pode ser considerada uma *cidade média*.

A dinâmica de transformação da morfologia urbana da cidade de Diamantina, analisada por estudos recentes como os de Corrêa (2011) e Soares e Rodrigues (2012), determinam períodos distintos de crescimento, estagnação e novo crescimento da população.

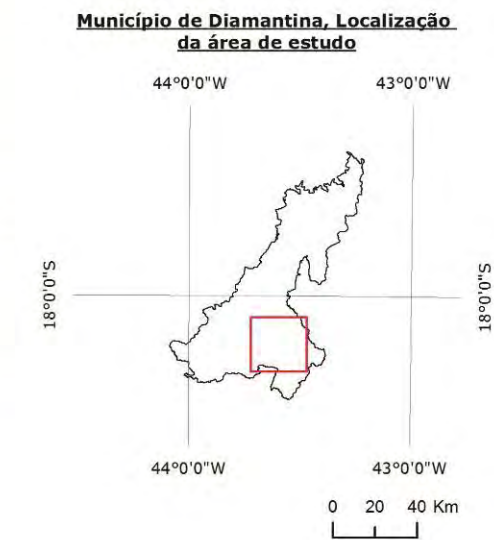
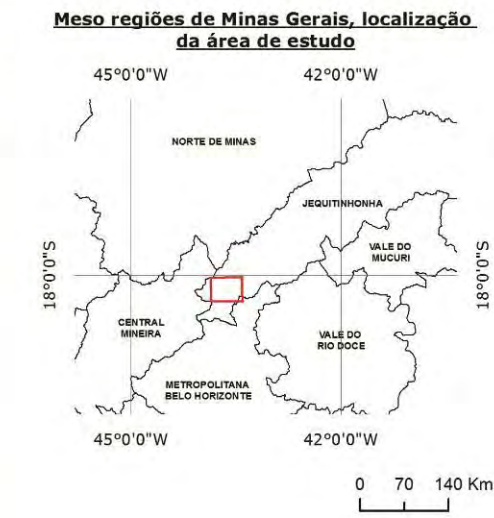
Fatores estes motivados pelos processos de exploração extrativista de ouro e Diamante – que tiveram início nos séculos XVII e XVIII; o fim deste processo e o consequente período de estagnação; a obtenção do título de Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade decretado pela UNESCO em 1999 – apontando, assim, o turismo, como um novo fator de crescimento econômico; e, por último, a criação da Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), um equipamento urbano especial que atrai pessoas oriundas de diversas partes do Brasil.

Mapa 1: Brasil, Mesorregiões de Minas Gerais, Município de Diamantina, Localização da área de estudo.



- |  |                |  |            |  |   |
|--|----------------|--|------------|--|---|
|  | Área urbana    |  | Localidade |  | Reserva Particular do Patrimônio Nacional |
|  | Perfil de solo |  | Rodovia    |  | Unidade de Conservação                    |
|  | Área de Estudo |  | Drenagem   |  |   |

Fonte: EMBRAPA, (2005); IEF, (2004); SEMADI, (2010); ICM-IBAMA, (2010)  
 Sistema de Referência: GCS South American 1969  
 Datum: D South American 1969  
 Elaboração: FERREIRA NETO, SANTOS & SOARES.  
 Laboratório de Estudos Ambientais - PPGIE - PUC Minas



## 1.2 Geologia

A Serra do Espinhaço apresenta feições com direções preferencialmente Norte-Sul, bordejando a leste do Cráton do São Francisco. (FOGAÇA *in* GROSSI-SAD et al,1997; INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS, 2004; ALMEIDA-ABREU, FRAGA & NEVES *in* SILVA, PEDREIRA & ABREU, 2005). Estende-se por mais de 1400 km desde a parte norte de Belo Horizonte até o norte do Estado da Bahia.

A formação da referida Serra está associada a um sistema de forças, que conduziu a litosfera continental, durante o Mesoproterozoico, a um estreitamento. Tal estreitamento se refletiu na fraturação e ruptura da crosta, o que posteriormente ocasionou o *rifting*, que, por sua vez, resultou no depósito do Super Grupo Espinhaço. Os substratos rochosos mais comuns na área de abrangência da Serra do Espinhaço são os quartzitos com intercalações de metasiltitos e filitos e conglomerados (DUSSIN & DUSSIN, 1995).

Geologicamente, o Planalto de Diamantina é composto principalmente por litologias do Super Grupo Espinhaço (Mapa 2), das quais se destacam as seguintes formações: Rio Pardo Grande, Córrego Pereira, Córrego Bandeira, Córrego dos Borges, Formação Santa Rita, Galho do Miguel, Sopa Brumadinho e São João da Chapada. (FOGAÇA *in* GROSSI-SAD et al,1997). No entanto, de acordo com Abreu (1995), outros dois conjuntos tectônicos merecem destaque, o Complexo Basal e o Super Grupo Paraúna.

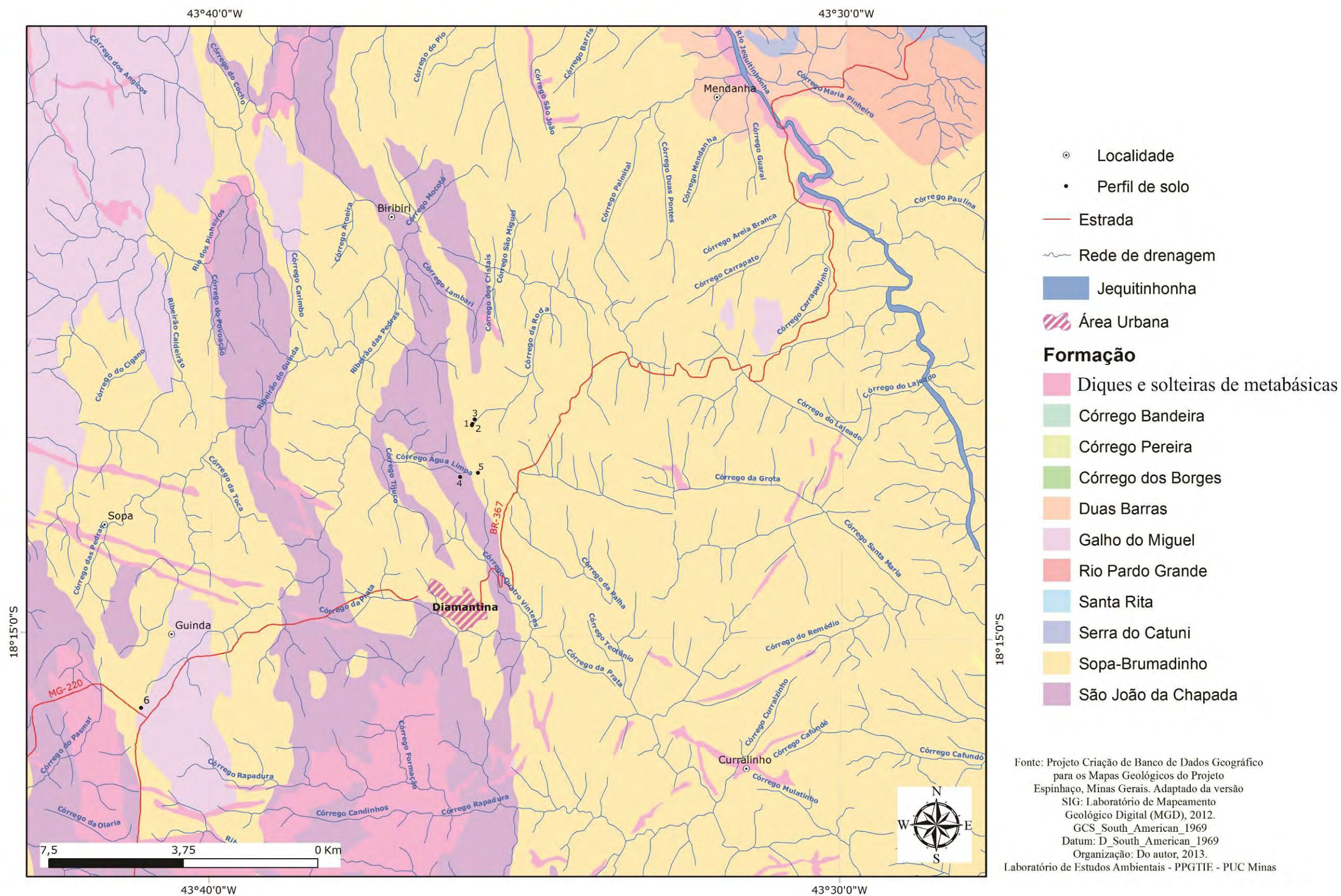
Com base na literatura consultada e, principalmente, no Mapa Geológico da Folha Diamantina (1996), folha SE-23-Z-A-III, foi possível correlacionar os Super Grupos, os grupos, as formações e as respectivas litologias, que aparecem em destaque no Planalto de Diamantina. Quadros 1, 2 e 3, a seguir:

**Quadro 1: Grupo, formação e litologia do Supergrupo Espinhaço**

<b>Grupo</b>	<b>Formação</b>	<b>Litologia</b>
Guinda	Formação São João da Chapada	Arenitos puros, eventualmente micáceos, localmente com seixos e finas lentes de pelitos, conglomerado basal descontínuo e filitos hematíticos.
	Sopa-Brumadinho	Arenitos puros, micáceos ou ferrugionosos, conglomerados polimíticos, pelitos, brecha quartzítica, xistos verdes e filitos hematíticos.
	Galho do Miguel	Arenitos, localmente com níveis pelíticos
Conselheiro Mata	Santa Rita	Metassiltitos, metargilitos e quartzitos sericíticos com arranjo rítmico
	Córrego dos Borges	Quartzitos laminados com canais de erosão e quartzitos micáceos
	Córrego Bandeira	Filitos, metassiltitos e metargilitos com nível mediano de quartzitos finos
	Córrego Pereira	Quartzitos médios a grosseiros, puros ou micáceos
	Rio Pardo Grande	Metassiltitos e metargilitos

**Fonte: Adaptado de Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, 2006.**

Mapa 2: Mapa de Geologia – Distribuição dos perfis de solo, Planalto de Diamantina, Espinhaço Meridional.



O Grupo Macaúbas (Quadro 2) ajusta-se divergentemente sobre o Super Grupo Espinhaço, expondo foliação e eixos de dobras com orientação geral Nordeste/Sudeste. O referido grupo é datado Proterozoico Superior (FOGAÇA *in* GROSSI-SAD et al, 1997).

**Quadro 2: Formação e litologia do Grupo Macaúbas.**

<b>Grupo</b>	<b>Formação</b>	<b>Litologia</b>
Macaúbas	Duas Barras	Quartzitos médios a grosseiros com bandas decimétricas de microconglomerados monomíticos
	Serra do Catuni	Metadiamicritos de matriz quartzosa e micácea com intercalações de metassilito e quartzito fino a médio.

**Fonte: Adaptado de Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, 2006.**

Os depósitos de aluviões e coberturas detrítico-lateríticas, também inseridos no Planalto de Diamantina, são apresentados no Quadro 3. Os depósitos de aluviões possuem idade quaternária e são encontrados nos diversos cursos d'água existentes na região; já as coberturas detrítico-lateríticas podem ser caracterizadas como formações relictuais de um relevo pretérito, que constituem principalmente exemplares de superfícies pediplanizadas (Planaltos) – são mais antigas, de idade terciária (FOGAÇA *in* GROSSI-SAD et al, 1997).

**Quadro 3: Litologia dos depósitos de aluviões e coberturas detrítico-lateríticas.**

<b>Depósitos</b>	<b>Litologia</b>
Aluviões	Depósitos de areias finas e grosseiras estratificadas, siltes e argilas e horizontes de cascalhos diamantíferos/auríferos
Coberturas detrítico-lateríticas	Depósitos arenosos ou coberturas métricas de solos lateríticos com concentrações

**Fonte: Adaptado de Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, 2006.**

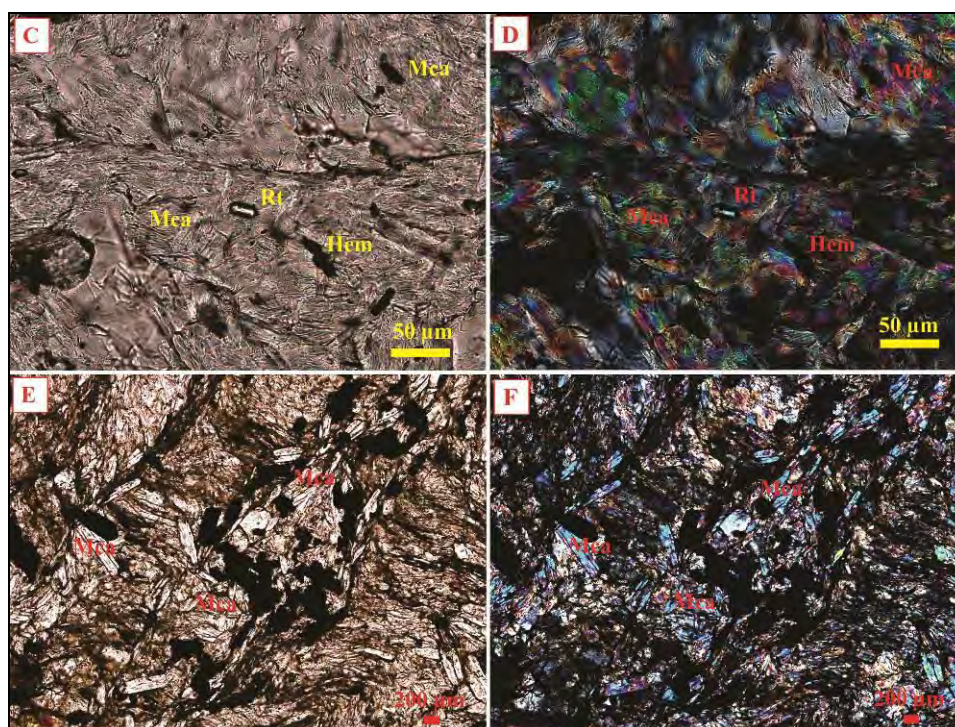
Destacam-se outras duas Unidades Geológicas, que são substrato do Planalto de Diamantina: o Grupo Costa Sena Indiviso e o complexo Gouveia. O Grupo Costa Sena Indiviso é datado do Proterozoico Inferior, e as rochas que o compõem apresentam certo grau de milonitização. Neste grupo, destacam-se as litologias: quartzo xistos, quartzo mica, xistos, clorita-quarzo xistos e quartzitos mecáceos (FOGAÇA *in* GROSSI-SAD et al., 1997); o complexo Gouveia é datado do Arqueano. Fogaça *in* Grossi-Sad et al, (1997) pontuam que a principal característica mesoscópica/macrosópica, de acordo com viés estrutural deste

complexo é representada por zonas de cisalhamento dúctil de extensão quilométrica. As seguintes litologias são observadas nesta unidade: rocha granítica, migmatito, anfibólito, tomilonito, milonito, ultramilonito e filonito.

Ferreira Neto (2012), em seus estudos e em escala microscópica, analisou amostras de duas importantes litologias do Planalto de Diamantina: o quartzito e o filito da formação Sopa Brumadinho. As amostras utilizadas neste estudo foram coletadas no Parque Estadual do Biribiri e imediações.

Com as fotomicrografias de amostra de filito hematítico (Figura 1), Ferreira Neto (2012) destacou a predominância das micas muscovita, além da presença do mineral rutilo – apesar da sua pouca expressão. Ainda segundo o pesquisador, é possível identificar em microscópio a presença do mineral turmalina; já facilmente observáveis nas fotomicrografias são os minerais hematita e goethita (presença de opacos), além das micas.

**Figura 1: Fotomicrografia de lamina delgada de afloramento hematítico**



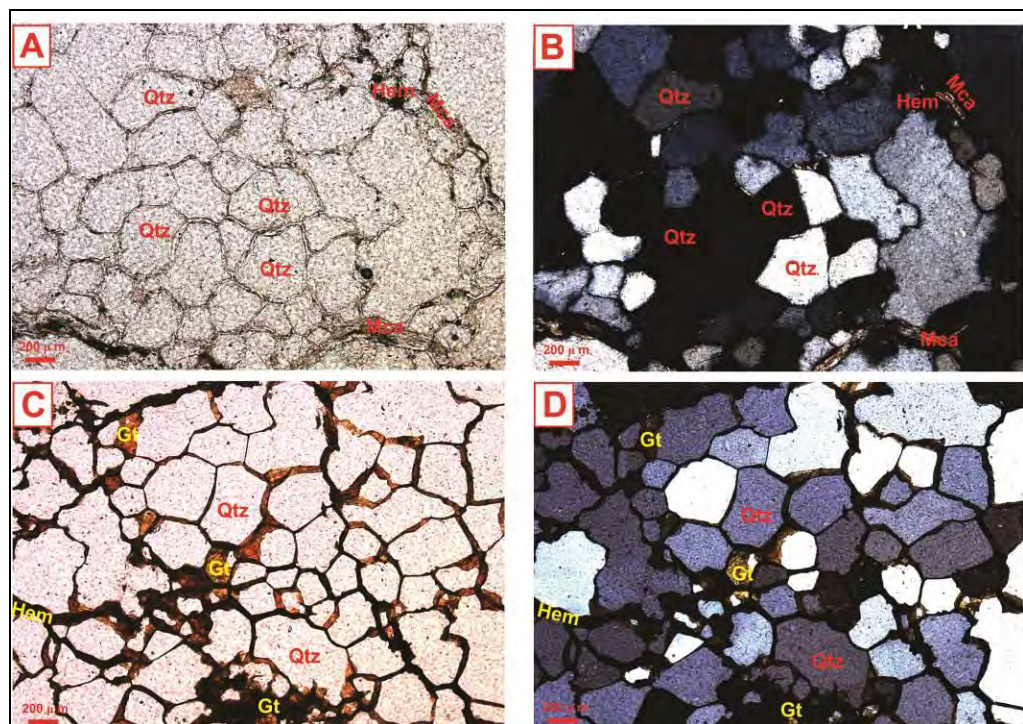
**Fotomicrografia C: luz normal, aumento 50X; fotomicrografia D: luz polarizada, aumento 50X; fotomicrografia E: luz normal, aumento 20X; fotomicrografia F: luz polarizada, aumento 20X. Fonte: Adaptado de Ferreira Neto (2012, p. 94)**

Os filitos são constituídos prioritariamente por sericita/muscovita e óxidos de ferro; são considerados usualmente como produtos do metamorfismo sobre rochas ígneas (SCHOLL; FOGAÇA, 1979; FOGAÇA; SCHOLL, 1984 *apud* KNAUER; SCHRANK,

1993). Knauer e Schrank (1993) pesquisaram a origem dos filitos hematíticos da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM), Minas Gerais; na caracterização petrográfica de uma amostra de filito coletada nas proximidades de Diamantina, concluíram que havia uma distribuição mais ou menos uniforme de hematita e sericita, com pequenas concentrações do primeiro mineral. Ainda de acordo com os pesquisadores, é possível identificar o aparecimento de quantidade variável do mineral turmalina, seja como cristais isolados orientados, seja na formação de agregados fibrorradicais. As observações de Knauer e Schrank tiveram reciprocidade no estudo recente de Ferreira Neto (2012).

Na fotomicrografia a partir de lâmina delgada de amostra de quartzito, Ferreira Neto (2012) observou a prevalência do mineral quartzo, além da presença de outros minerais na composição da assembleia mineralógica, como micas e hematitas.

**Figura 2: Fotomicrografia de lâmina delgada de afloramento de quartzito**



**Fotomicrografia: Aumento 10X, A: luz normal; B: luz polarizada; C: luz normal; D: luz polarizada**  
**Fonte: adaptado de Ferreira Neto (2012, p. 98). Observação: as fotomicrografias C e D referem-se à amostra de quartzito ferruginizado.**

Segundo Michelin (2011), que estudou amostras de quartzito da Formação da Supradinho em nível microscópico, em uma vertente do Alto Rio Preto-MG (área adjacente ao Planalto de Diamantina), as fotomicrografias demonstraram que os quartzos e muscovitas estão abundantemente incrustados por mineral de titânio (Ti). As interpretações feitas a partir

das fotomicrografias justificaram os resultados obtidos nos gráficos de balança de massa, expostos pela autora em seu estudo – evidenciou-se o ganho de Ti no nível de cascalho de veio.

### 1.3 Geomorfologia

A Serra do Espinhaço, de acordo com Neves, Abreu e Fraga (2005), apresenta diferentes compartimentos morfológicos, cujas paisagens foram descritas primeiramente por Freyberg (1934), Pflug (1965), Cobra (1969) e Uhlein (1991) – desde então, diversos pesquisadores fazem desta Serra seu objeto de estudo. Saadi (1995), por exemplo, descreve que a parte da Serra do Espinhaço que se situa no Estado de Minas Gerais, a SdEM, é composta basicamente por um conjunto de terras altas, com forma de bumerangue, direção geral norte-sul e convexidade para oeste.

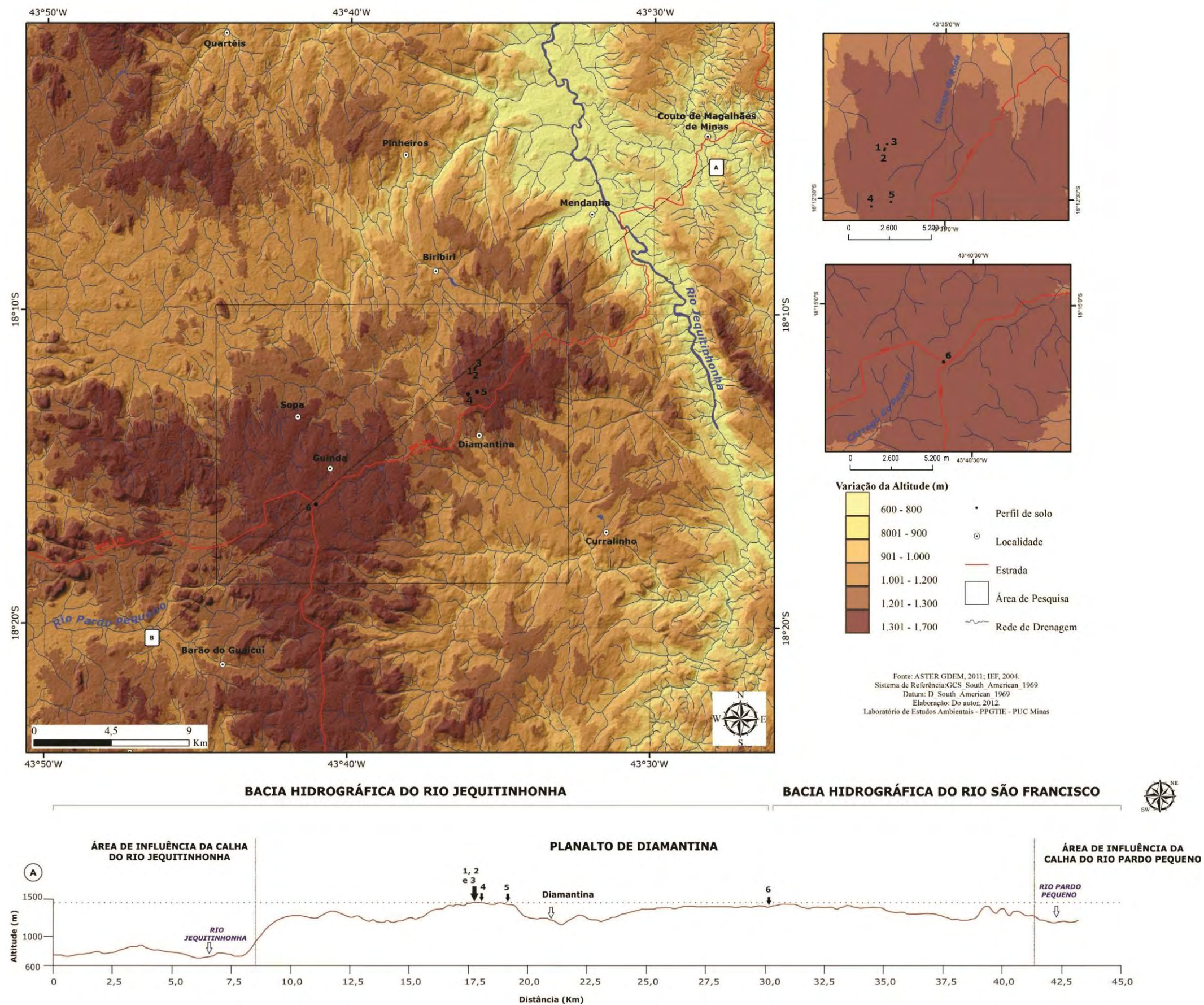
Ainda segundo Saadi (1995), a denominação “Serra” esconde a realidade fisiográfica, que seria mais bem definida pelo termo planalto. Sobre este fato, Pflug (1965) reforça que a paisagem predominante na Serra é caracterizada por uma morfologia de planaltos elevados, interrompidos por escarpas rochosas – como é o caso do Planalto de Diamantina e da área de estudo, respectivamente, que se encontra em seus domínios.

O mapa hipsométrico (Mapa 3) abaixo, bem como a seção traçada (perfil topográfico) a partir do ponto “A” ( $18^{\circ}10'04.17''S$  e  $43^{\circ}35'08.11''W$ ) com término no ponto “B” ( $18^{\circ}18'42.67''S$  e  $43^{\circ}42'54,64''W$ ), explicitam algumas das características morfológicas da área de estudo: uma área que apresenta relevo dissecado com afloramentos de quartzitos e superfícies aplainadas com gênese das formações superficiais mais espessas – comuns em vertentes de baixa declividade.

Com o auxílio do perfil topográfico e do mapa hipsométrico (Mapa 4), observa-se a presença de três áreas mais elevadas (com altitudes superiores a 1300 m): i) pode ser considerada a maior, situa-se na parte sudoeste, onde se encontra o perfil de solo 6, se divide em um eixo para oeste e outro para o sul; ii) uma segunda área, que pode visualizada na parte central do mapa, ao norte da cidade de Diamantina e parcialmente situada nos domínios do Parque Estadual do Biribiri, onde estão localizados os demais perfis de solo estudados; iii) a última área, à noroeste, no mapa, que não foi estudada nesta dissertação. As três áreas são remanescentes do Planalto de Diamantina e separadas pelos vales dos ribeirões afluentes do Rio Jequitinhonha e do Rio das Velhas, níveis de base da área. Assim, pode-se afirmar que as

menores altitudes se encontram na parte leste e nordeste do mapa (entre 600 e 800 m), correspondendo á área de influência da calha do Rio Jequitinhonha.

Mapa 3: Hipsometria - Distribuição dos perfis de solo, Planalto de Diamantina, Espinhaço Meridional.



Diante do número crescente de pesquisas que englobam as superfícies de aplainamento e suas posições no Planalto Brasileiro, surgem, também, muitas classificações. Estas classificações têm como objetivo diferenciar tais superfícies, tendo como referência sua posição, independentemente de sua morfogênese (AB'SÁBER, 1960). Segundo o autor, tais superfícies seriam: i) superfícies de cumiada ou de cimeira, ii) superfícies intermontanas, iii) superfícies fósseis em exumação e iv) superfícies de erosão.

i) De acordo com Queiroz Neto (2001), os níveis de cimeira, que podem ser classificados como pediplanos, corresponderiam geralmente às vastas e sucessivas planícies de erosão terciárias, elaboradas até o final do Plioceno, em climas secos. Os planos de cimeira correspondem a antigas áreas de erosão, atualmente distribuídas em níveis elevados, como é o caso do Planalto de Diamantina – acima dos 1000 m de altitude, em face dos processos tectogenéticos, como descreve Ab'Sáber *apud* Ross (1991);

ii) As superfícies intermontanas ou interplanálticas correspondem às grandes depressões periféricas que circundam as bacias sedimentares (Ab'Sáber *apud* Ross, 1991). Ab'Sáber (1960) afirma que tais superfícies estão distribuídas justamente na zona de contato entre as bacias sedimentares e o embasamento cristalino;

iii) Para Ross (1991), as superfícies fósseis são superfícies de aplainamento que foram recobertas por sedimentos de grandes bacias sedimentares e que, atualmente, encontram-se em fase de exumação;

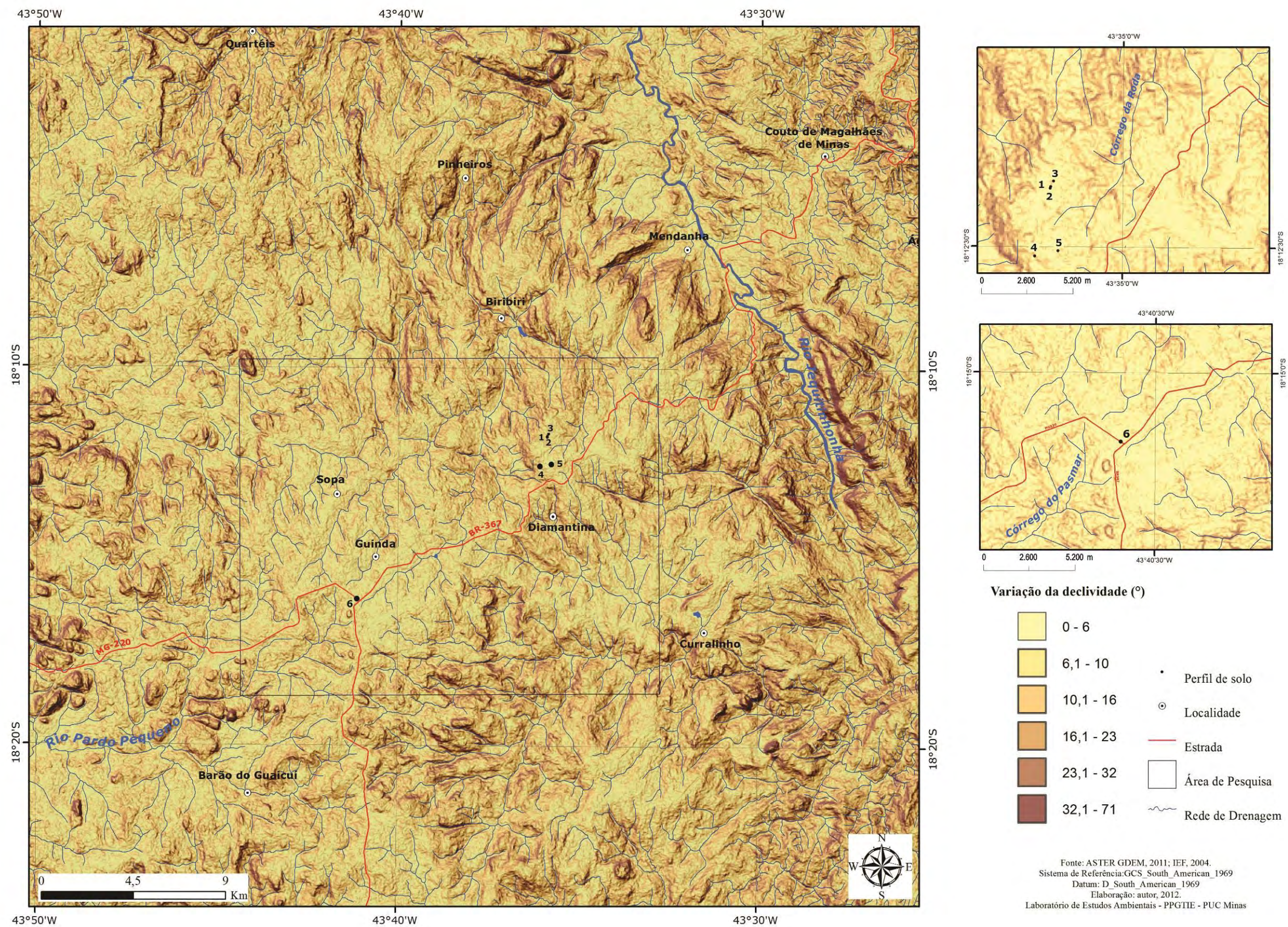
iv) As superfícies de erosão correspondem às superfícies de aplainamento que anteriormente se encontravam recobertas por sedimentos. Ou seja, passaram pelo processo de exumação e encontram-se hoje expostas aos fatores modificadores de relevo. Seguindo este contexto, Volkoff (1984-1985) *apud* Queiroz Neto (2001) afirma que a maior parte do Brasil está tomada por superfícies de erosão terciárias (pliocênicas). Dessa forma, apresentam diversas modalidades de latossolos muito evoluídos e estáveis.

O mapa de declividade (Mapa 4) a seguir ilustra bem o quadro de algumas das superfícies de aplainamento que estão posicionadas na SdEM. A variação da declividade reforça as descrições de Saadi (1995), que aponta um planalto de aspecto maciço, cujo teto encontra-se em altitude média de 1300m, na região de Diamantina. No centro deste planalto, a parte mais elevada, situa-se o Planalto de Diamantina. Abreu ainda identificou em seus estudos níveis altimétricos que correspondem às Superfícies Gondwana, Sul Americana, e Ciclo Velhas (ABREU, 1982). Algumas dessas superfícies foram mapeadas primeiramente por King (1956).

Com base no Mapa de Declividade (Mapa 4), observa-se que na parte central predominam relevos planos e suavemente ondulados (de 0° a 6°). Já nas bordas, há um declínio para as cotas médias de 900 m ao norte, e 1200 m, ao sul (SAADI, 1995); dessa forma, temos: i) relevos ondulados, ii) relevos fortes e ondulados e iii) montanhosos e/ou escarpados – de 16° a 71° de variação de altitude.

As áreas mais elevadas são, ao lado das menos elevadas (ao longo do Rio Jequitinhonha), as de menor declividade (classes de 0° a 16°); já as áreas de maior declividade são as que separam os núcleos mais elevados, correspondendo aos vales dos ribeirões que dissecam o planalto. Os perfis de solo de 1 a 5, distribuídos no centro do mapa, estão situados em relevo plano, ou seja, apresentam baixa declividade, com variação de 0° a 10°, assim como o perfil de solo 6, a sudoeste no mapa, próximo ao entroncamento da MG-220 e BR-367.

Mapa 4: Declividade – Distribuição dos perfis de solo, Planalto de Diamantina, Espinhaço Meridional.



O Planalto de Diamantina e nossa área de estudo situam-se em uma zona onde há a predominância de litologias do Super Grupo Espinhaço, e em um relevo que apresenta um quadro de dissecamento, bem como superfícies de aplainamento. Tais características associadas tornam a área propícia à ocorrência de afloramentos, principalmente do quartzito, que, expostos aos processos intempéricos, assumem aspectos característicos, tanto em superfície, quanto no subterrâneo. Tais aspectos podem ser denominados *feições cársticas* (ANDREYCHOUK et al., 2009) como ilustra a Figura 3.

**Figura 3: Processo de dissolução agindo sobre a rocha no Planalto de Diamantina**



Fonte: Do autor, 2011.

#### **1.4 Formações Superficiais**

As formações superficiais do Planalto de Diamantina são, ainda hoje, pouco conhecidas. Este fato está condicionado a três motivos principais: i) a carência de estudos em nível de detalhe, ii) a intensa atividade mineradora que há séculos ocorre em toda a região, responsável pela baixa importância agrônômica dos mesmos e iii) a baixa importância econômica, uma vez que tais formações superficiais são, em geral, rasas, arenosas e pobres em nutrientes.

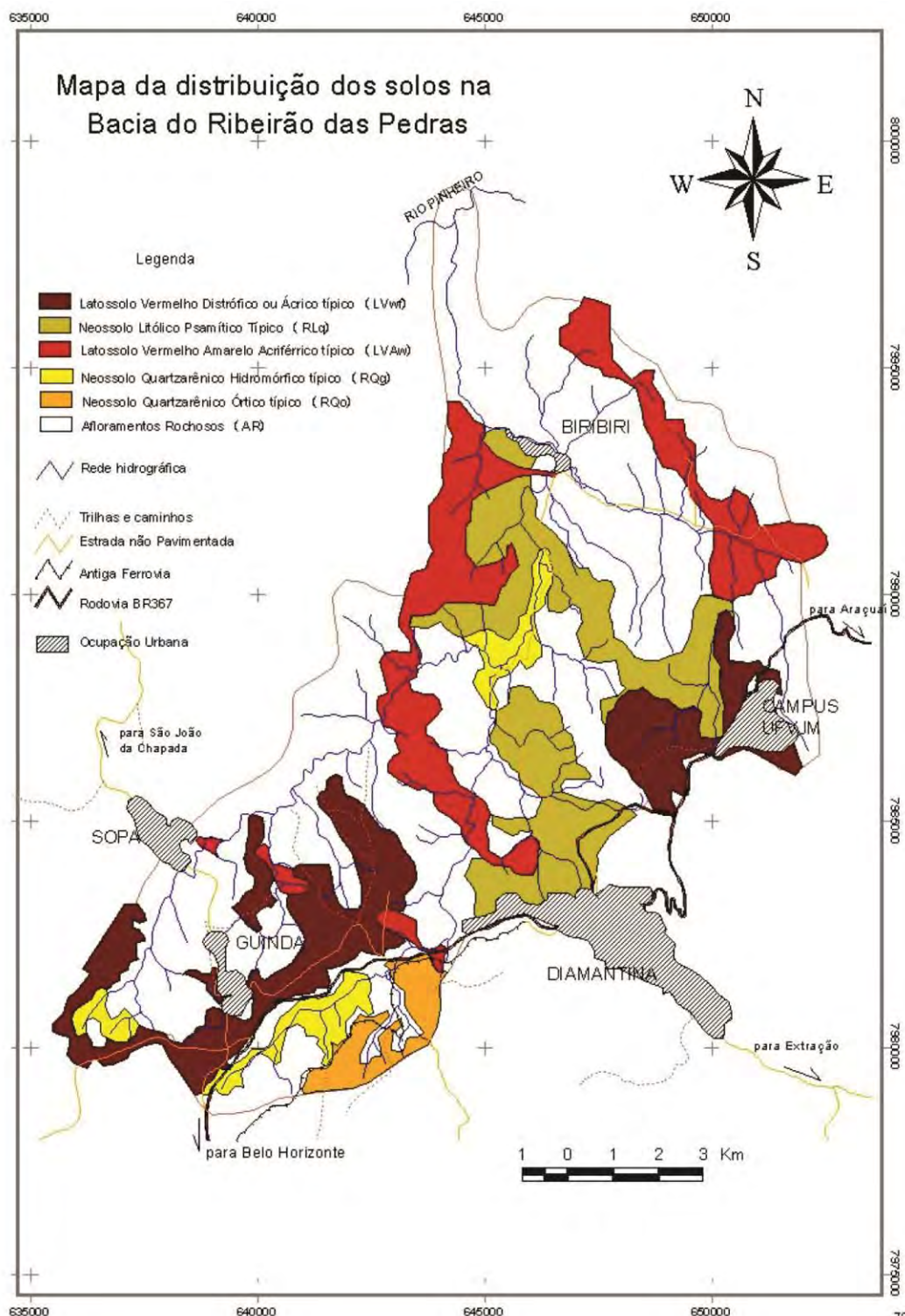
Schaefer et al., (2002) consideram que no Planalto de Diamantina desenvolvem-se latossolos profundamente intemperizados, lado a lado, com solos quartzíticos. Ainda segundo

estes autores, os latossolos ocorrem em altitudes de 1300m ou mais, sobrepostos em conformidade com saprolitos quartzíticos.

Em consonância com os estudos de Schaefer (2002), Silva (2005), Mendonça Filho *et al.*, (2004), Neves (2005) e Ferreira Neto (2012), que estudaram os solos do Planalto, e baseando-se nos critérios estabelecidos no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2009), as seguintes classes de solo podem ser atribuídas aos solos encontrados na área de pesquisa: i) Latossolo vermelho distrófico ou Ácrito típico (LVwf), ii) Neossolo Litólico Psamítico Típico (RLq), iii) Latossolo Vermelho Amarelo Acriférrico típico (LVAw), iv) Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), v) Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico (RQg).

Os locais de ocorrências desses solos variam de acordo com altitude e de acordo com as formas de relevo encontradas. Segundo Neves (2005), nas superfícies de aplainamento – nas cotas acima de 1200m – predominam os Latossolos Vermelho Ácrito Distrófico típicos (LVAw) associados com cangas lateríticas; já nas cotas abaixo de 1200m predominam: Neossolo Litólico Psamítico Típico (RLq), Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo); e nas proximidades das cabeceiras de drenagem o Neossolo Quartzarênico Hidromórfico típico (RQg). Essas informações podem ser visualizadas no mapa de distribuição dos solos (mapa 5), na Bacia do Ribeirão das Pedras (Adaptado de Neves, 2005), a seguir:

**Mapa 5: Mapa de distribuição dos solos na bacia do Ribeirão das Pedras das Pedras.**



Fonte: Adaptado de Neves (2005).

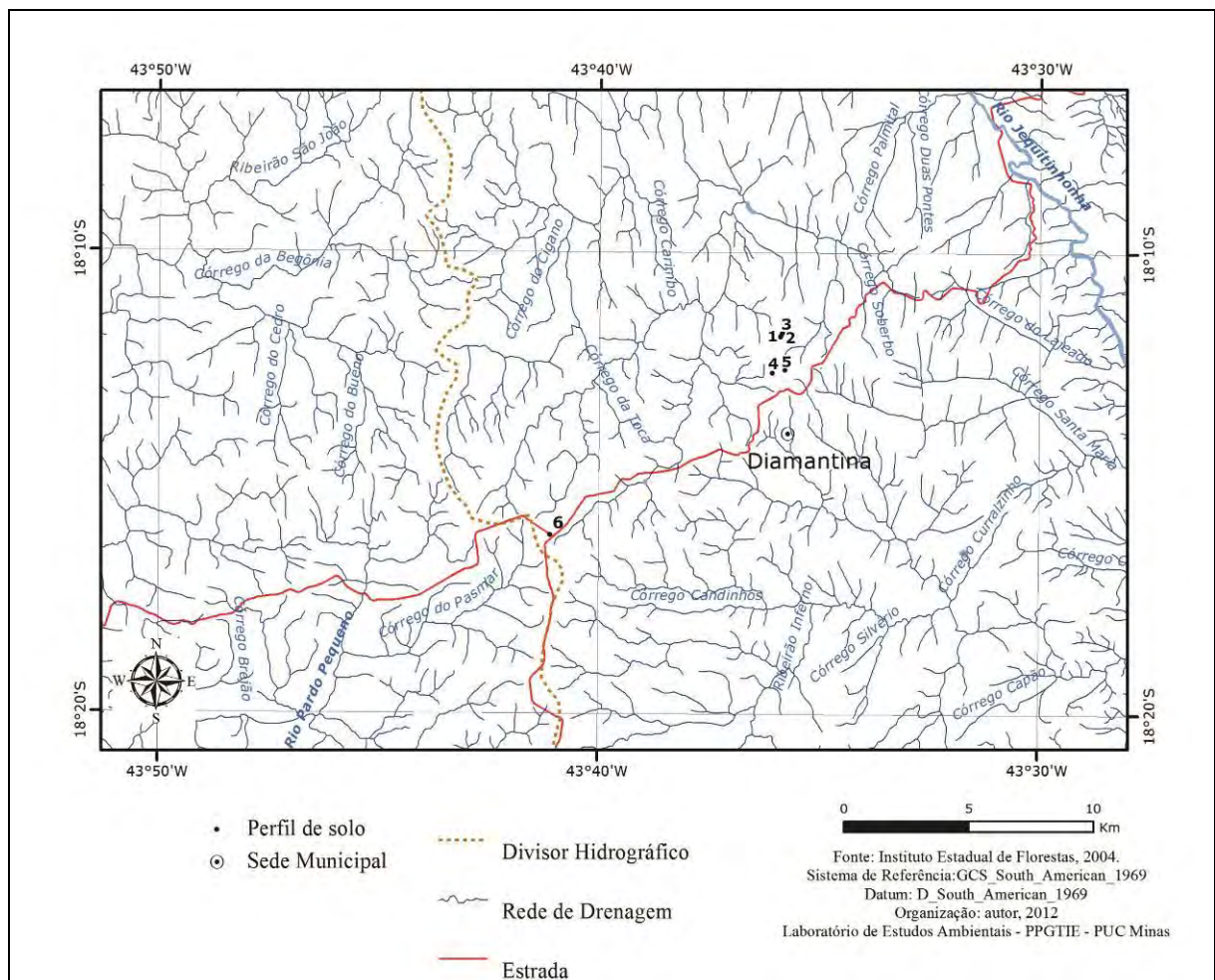
Além das referidas classes de solo, destacam-se na SdEM os Afloramentos Rochosos (AR) que estão distribuídos por toda SdEM. De acordo com Saadi (1995), toda superfície

acima dos 1400 m de altitude – divisor hidrográfico – comporta *inselbergs* quartzíticos, couraças ferruginosas associadas a afloramentos de filitos hematíticos e regiões hidromórficas.

## 1.5 Hidrografia

A Serra do Espinhaço é um importante divisor de águas, separando duas grandes Bacias Hidrográficas Brasileiras: Bacia do São Francisco e Bacia do Atlântico – trecho leste. (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2010). Compõe a Bacia Hidrográfica do Atlântico – trecho leste, as Bacias do Rio Doce, Mucuri, Jequitinhonha (bacias estas a oeste da Serra do Espinhaço) e Pardo (a leste). As nascentes estabelecidas na serra surgem em locais de superfícies rochosas, normalmente associadas à estrutura geológica de diferentes ordens (FRAGA; ABREU; NEVES, 2005).

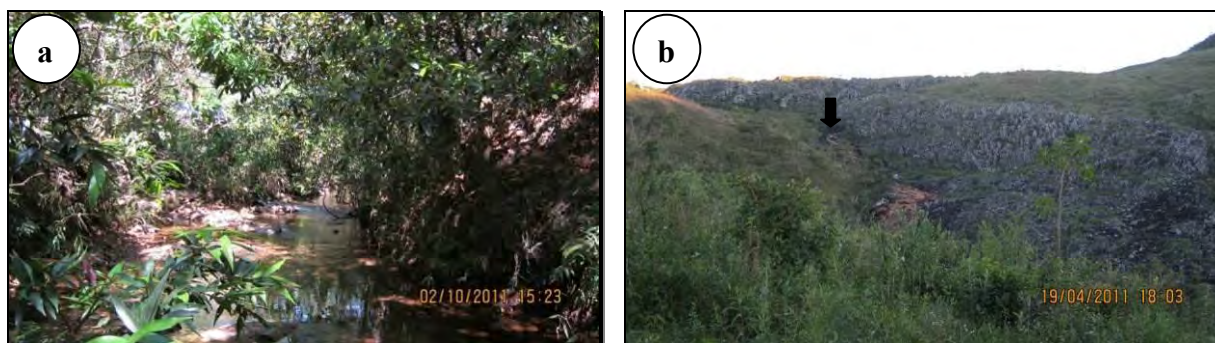
**Mapa 6: Rede de drenagem no Planalto de Diamantina-MG**



O padrão de drenagem da área de estudo pode ser definido como *dendrítico* e *retangular* e pode ser influenciado por diversos fatores, incluindo as variáveis climáticas, litológicas e estruturas geológicas (HOWARD, 1967). Os referidos padrões de drenagem desenvolvem-se tipicamente sobre substratos rochosos cuja resistência é uniforme, como é o caso do Quartzito da formação Sopa Brumadinho. Dessa forma, a drenagem distribui-se em todas as direções, às vezes apresentando canais fluviais de ângulo reto (fato que pode estar associado às falhas geológicas), que se unem a um curso d'água principal, caso dos Rios Jequitinhonha e Pardo Pequeno (Mapa 6).

Os perfis de solo de 1 a 5 se localizam nas proximidades da cabeceira de drenagem do Córrego da Roda, que corre em direção ao Rio Jequitinhonha – nível de base da área. No perfil de solo 6, encontra-se faixa de divisor hidrográfico, responsável por dividir duas importantes bacias hidrográficas: São Francisco e Jequitinhonha; está próximo ao Córrego do Pasmarr e do Rio Pardo Pequeno, mas em vertente que drena para o primeiro eixo de drenagem, pertencente à bacia do Jequitinhonha.

**Figura 4: Vista do Córrego do Soberbo (a) e Vista do Córrego da Roda (b), em trecho a jusante da área de estudo.**



Fonte: Do autor, 2011.

A figura 4 a e b, acima, ilustram dois importantes cursos d'água da área de estudo, o Córrego do Soberbo e o Córrego da Roda.

## 1.6 Vegetação

Em cada bioma há um tipo de vegetação (fitofisionomia) que ocupa a maior parte da área, e que é determinada, principalmente, pelo clima (RIBEIRO; WALTER, 2005-2007). Este fato também é observado no Planalto de Diamantina, inserido no Bioma Cerrado, e cuja

fitofisionomia predominante são as vegetações campestres e, mais especificamente, o Campo Rupestre. A Figura 4 a seguir apresenta uma típica paisagem do Planalto de Diamantina.

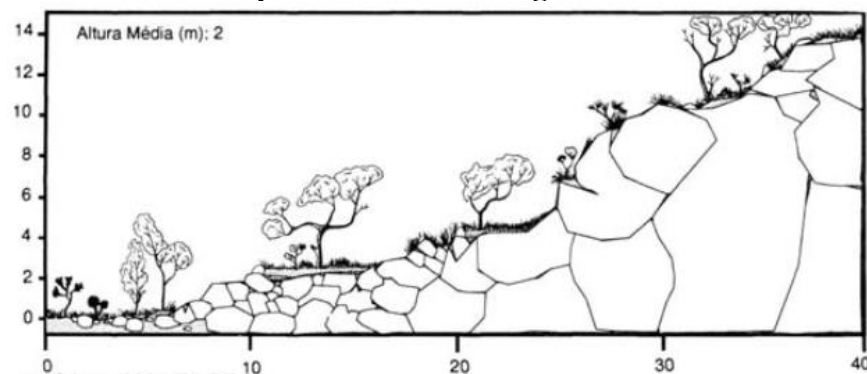
**Figura 5: Vista panorâmica de uma típica paisagem do Planalto de Diamantina-MG.**



Fonte: Do autor, 2012.

O Campo Rupestre constitui um subtipo com vegetação arbóreo-arbustiva, que ocorre em ambientes rupestres, com cobertura variável de 5% a 20% e altura média de 2 a 4m e estrato arbustivo-herbáceo destacado (MENDONÇA FILHO, 2005). Ocorre, geralmente, em solos ácidos, pobres em nutrientes em frestas de afloramentos rochosos – típico em regiões cujo substrato rochoso é o quartzito. A figura 6 a seguir ilustra bem este quadro.

**Figura 6: Perfil de um Campo Rupestre representando uma faixa de 40m de comprimento e 10 de largura**



Fonte: Adaptado de Cavalcante *In* Ribeiro e Walter (2005-2007).

A diversidade de unidades vegetais é considerável no Planalto e pode variar em poucos metros de distância. Esta variação está condicionada a mudança de substrato rochoso, tipo de solo, disponibilidade de água e posição topográfica. Em sua extensão é possível identificar matas ciliares, capões, matas galerias (representantes da Floresta Estacional Semidecidual); além de outras fitofisionomias campestres, como é o caso do Campo Sujo e

Campo Limpo – esta ultima cobrindo os perfis de solo que estão localizados nos domínios do Parque Estadual do Biribiri.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar conceitos e aspectos teóricos desenvolvidos, principalmente, nos ramos da pedologia e geomorfologia, os quais servem como eixos norteadores para a discussão dos resultados. Para tal, serão discutidos os seguintes conceitos e aspectos: a gênese das formações superficiais, a gênese de linhas de pedra, os processos envolvidos, as grandes vias de alteração e pedogênese em meio tropical úmido e os fatores de formação dos solos.

### 2.1 Formações Superficiais e sua Gênese

Solo, formação superficial, ou mesmo regolito representam os avanços conceituais e terminológicos do objeto de estudo de pedólogos e tantos outros estudiosos. Uma definição de ampla aceitação para a palavra “solo” está exposta no manual técnico de pedologia (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007), sendo oriunda do *Soil Taxonomy* (1975) e do *Survey Manual* (1984):

Solo é a coletividade de indivíduos naturais, na superfície da terra, eventualmente modificado ou mesmo construído pelo homem, contendo matéria orgânica viva e servindo ou sendo capaz de servir à sustentação de plantas ao ar livre. Em sua parte superior, limita-se com o ar atmosférico ou águas rasas. Lateralmente, limita-se gradualmente com rocha consolidada ou parcialmente desintegrada, água profunda ou gelo. O limite inferior é talvez o mais difícil de definir. Mas, o que é reconhecido como solo deve excluir o material que mostre pouco efeito das interações de clima, organismos, material originário e relevo, através do tempo (IBGE, 2007, p. 9).

O regolito, resultante do intemperismo da rocha fresca, é comum em algumas áreas do planeta, menos no deserto e nas áreas geladas, particularmente sobre as massas continentais entre latitudes 35° N e 35° S. Evidencia-se que nas zonas intertropicais os regolitos serão espessos. O regolito engloba resíduos e sedimentos continentais que recobrem o embasamento, e podem variar de alguns metros até 150 m, dependendo da idade e das formas do relevo, atividade tectônica, clima, história climática e da natureza da rocha (BUTT, LINTERN; ANAND, 2000).

O relevo desempenha um papel importante, afetando grandemente os processos de formação dos solos, além de influir na drenagem interna e externa do solo, bem como modificando as condições microclimáticas locais onde o solo se desenvolve (BIGARELLA, 1996). Ainda segundo o autor:

As propriedades dos solos variam lateralmente de acordo com a sua posição na topografia. A orientação das vertentes nas quais os solos formados afetam o microclima, a vegetação, e conseqüentemente o próprio solo. Outro fator atuante é a declividade da encosta, devido aos efeitos que o escoamento superficial e a erosão exercem sobre o solo, os quais variam com a inclinação da vertente. (BIGARELLA, 1996, p. 461).

Nesse contexto, a terminologia “formação superficial”, utilizada por esta dissertação como denominação geral, se refere ao material oriundo da desagregação da rocha. Para Trescases (1978) são adicionadas às formações superficiais um conjunto de materiais oriundos do *bedrock*, que sofrem ações diretas dos mecanismos geodinâmicos supergênicos. Dentre estes mecanismos destacam-se a meteorização e as evoluções pedogenéticas.

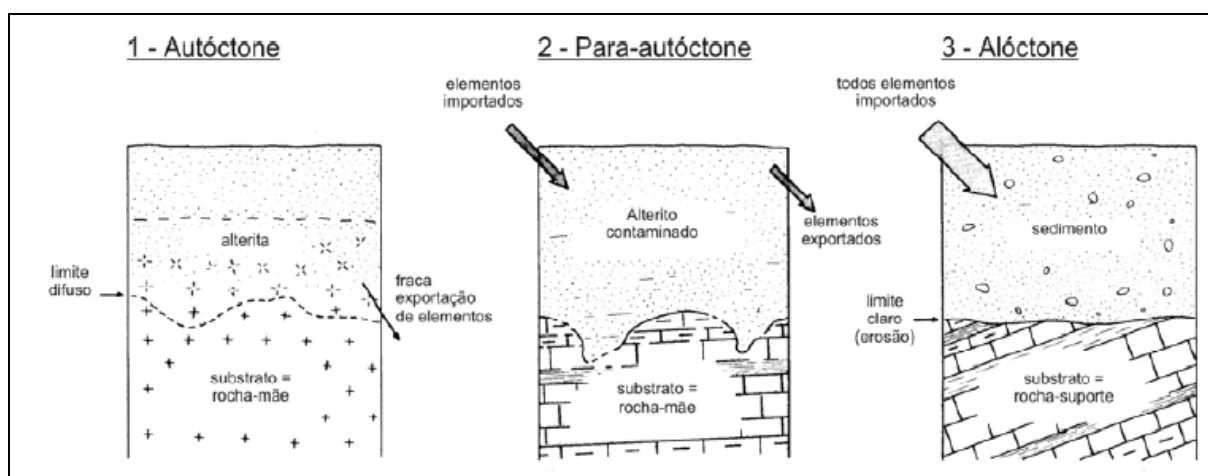
Com o objetivo de se entender a distribuição geográfica das formações superficiais, bem como das diferenciações de suas propriedades, leis e teorias foram criadas desde as primeiras pesquisas pedológicas. Jenny (1941), por exemplo, em seus estudos, atribui a formação dos solos a cinco fatores: i) material de origem, ii) clima, iii) organismos, iv) relevo e v) tempo.

- Antes mesmo do advento das teorias climáticas, o material de origem foi considerado como o principal fator na formação dos solos (JENNY, 1941). Estudos recentes acerca da desintegração da rocha e, conseqüentemente, da resistência dos minerais, têm contribuído para o entendimento da gênese de formações superficiais situadas em zonas tropicais;
- O clima pode ser considerado como principal agente na determinação das propriedades do solo. Os chamados elementos do clima: temperatura do ar, humidade, precipitação e o vento, afetam profundamente o aspecto da paisagem, especialmente o tipo de vegetação e a natureza dos solos;
- Os organismos correspondem à micro e macro fauna e flora e agem internamente e externamente no perfil de solo, alterando suas propriedades e contribuindo em sua formação (CRIVELENTI, 2009). Apesar do pouco conhecimento sobre a atuação dos micro-organismos na formação dos solos, sabe-se que cada solo tem sua população microbiana característica (JENNY, 1941).
- O relevo como fator de formação dos solos não tem recebido a atenção que merece (JENNY, 1941). Sua dinâmica está associada principalmente aos elementos do clima local e condição de drenagem, e sua posição topográfica condicionará a existência de diferentes tipos de solos.

- E, por último, o fator tempo, que condicionará a ação de todos os processos citados anteriormente, na formação dos solos.

Com o intuito de estabelecer as relações do solo com o substrato rochoso, surgem estudos com propostas de classificações genéticas das formações superficiais, como as de Gèze (1959), Compy e Macaire (1989). Assim, tem-se: i) solos autóctones, resultantes diretos da desintegração ou alteração do substrato rochoso; ii) solos alóctones, que não possuem qualquer tipo de relação com o substrato rochoso, formados a partir de materiais originários de outras áreas e que passaram por algum momento pelos processos de transporte e deposição; iii) solos para autóctones, constituídos de resíduos do substrato rochoso atual somados aos resíduos de rochas que se situavam acima do substrato atual e que, devido aos fatores intempéricos, não existe mais. A figura 7 a seguir ilustra este quadro. Há, ainda, a proposição de Dewolf (2008), que sugere o termo subautóctone para designar materiais que sofreram transportes a curtas distâncias, na escala da vertente.

**Figura 7: Relações das formações superficiais com o substrato rochoso**



Fonte: COMPY; MACAIRE, 1989.

A característica principal dos solos autóctones é a conservação *in situ* dos produtos da transformação e dos minerais residuais do substrato rochoso. Esses solos podem estar associados à intensidade dos processos erosivos, indicando geralmente um processo intenso e constante de erosão química (COMPY; MACAIRE, 1989).

Os solos alóctones (GÈZE, 1959) são formados sobre materiais que sofreram transportes por maiores distâncias, como, por exemplo, depósitos de origem aluvial. A natureza alóctone não é fácil de estabelecer em campo, principalmente quando solos analisados possuem características parecidas com as do substrato rochoso. Linhas de pedra

constituídas de seixos arredondados ou subarredondados geralmente servem como indicadores de descontinuidades entre solo e rocha (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007).

Solos para-autóctones formam um grupo de origem mista, ou seja, são formados da desagregação, *in situ*, de um tipo de rocha que, ao ser totalmente intemperizada, desapareceu, deixando para trás apenas seus resíduos, que se misturam no *solum* e, por sua vez, com os resíduos das rochas subjacentes atualmente em degradação na área (GÈZE, 1959).

Ao longo das vertentes, ainda podem ser constituídas as formações subautóctones (Dewolf, 2008). Esse material pode ser transportado por pequenas distâncias, por agentes erosivos como água, vento ou gelo; outro fator que pode ocasionar o transporte e a gênese deste tipo de formação é o movimento de massa – em busca de um estágio de equilíbrio, o material que está na parte mais alta da vertente movimenta-se para áreas que estejam na baixa vertente ou no nível do talvegue; este movimento é ocasionado pela força da gravidade (CRUZ, 2006).

No Brasil, na acepção de Queiroz Neto (2001), duas grandes tendências se manifestaram para o estudo das formações superficiais e de suas relações com o substrato rochoso: autoctonista e aloctonista. A primeira surgiu com a pedologia (década de 1950), mais precisamente com os mapeamentos de solo, e preconizava que os solos se originavam do substrato rochoso; a segunda, com os geomorfólogos (década de 1960), a partir de pesquisas sobre os depósitos sedimentares, estabelecendo que os solos pudessem ser formados por materiais oriundos de outros lugares, e que por algum motivo sofreram transporte.

Nesse contexto, o papel de pedólogos e geomorfólogos era demonstrar as descontinuidades litológicas entre material de origem e solos. Entretanto, nem sempre seus interesses convergiam, já que ambos os profissionais utilizavam-se de métodos e técnicas diferenciadas e específicas em seus estudos. Enquanto os geomorfólogos atentavam-se aos mapeamentos geomorfológicos, principalmente, os pedólogos dedicavam-se as análises laboratoriais.

Estudos recentes utilizam um aparato considerável de análises laboratoriais e aparelhagem tecnológica de última geração. As características petrográficas, mineralógicas, físicas e químicas podem apontar, com uma porcentagem de acerto confiável, as relações entre solo e rocha. Lepsch et al., (1977) *apud* Queiroz Neto (2001), por exemplo, utilizavam-se da mineralogia da fração argila, o pH em água, a saturação em bases e a relação textural entre os horizontes A e B para estabelecer as referidas relações.

### ***2.1.1 Gênese das Formações Superficiais: Processos***

As formações superficiais se originam da destruição ou desgaste das rochas. Entretanto, a destruição das rochas não implica necessariamente na destruição de seus componentes minerais. Segundo a *American Geological Institut* (1973), num ambiente de intemperismo podem ser formados novos minerais – estes são também denominados de componentes inorgânicos dos solos, de acordo com Fassbender e Elemer (1994).

Os componentes inorgânicos dos solos são divididos em dois grupos: i) minerais primários e ii) minerais secundários. Os primeiros existem em solos pouco intemperizados, e, normalmente, constituem a fração areia do solo; os segundos resultam da destruição dos minerais primários, com posterior recombinação dos produtos resultantes deste processo.

Diante do exposto, faz-se necessário abordar alguns dos processos que estão diretamente ligados à gênese das formações superficiais, e que têm, de alguma maneira, ocorrência em áreas representativas do Planalto de Diamantina, Minas Gerais. Dentre esses processos, destacam-se pedogênese, intemperismo e erosão.

#### **2.1.1.1 Intemperismo e pedogênese**

Os processos de intemperismo atuam em diferentes escalas, desde o mineral até a evolução da paisagem (RUELLAN; DOSSO, 1993 e ROSOLEN; HERPIN, 2008). Segundo Kampf, Curi e Marques (2009), a porção superficial da crosta terrestre (litosfera) é constituída de uma camada de espessura variável, produzida pela alteração das rochas e minerais em temperatura ambiente por meio de processos físicos, químicos e biológicos. Tal alteração, que pode variar de acordo com as condições do ambiente, é denominada de intemperismo. Penteado (1974) apresenta a seguinte definição para intemperismo proposta por Reiche (1945, p.12): “Intemperismo é a resposta dos materiais que estavam em equilíbrio no interior da litosfera às solicitações da atmosfera, hidrosfera e talvez ainda da biosfera”. O referido processo está associado a diversos fatores, como aborda Penteado (1974), dentre eles: o tamanho das partículas da rocha, relevo, temperatura, composição e quantidade de água subterrânea, volume de precipitação, entre outros.

O intemperismo, processo geológico exógeno, é o primeiro passo para uma série de processos geológicos, geomorfológicos e bioquímicos e, especialmente, para dois processos, denominados por Penteado (1974) como processos de dinâmicas externas do globo: a formação de rochas sedimentares e a gênese dos solos (FONTES *in* KER et al, 2012). Para

este último processo, o intemperismo tem importância considerável, já que age diretamente na desintegração da rocha, transformando-a em materiais fragmentados. Sobre os materiais fragmentados atuarão os diferentes fatores abarcados na formação dos solos.

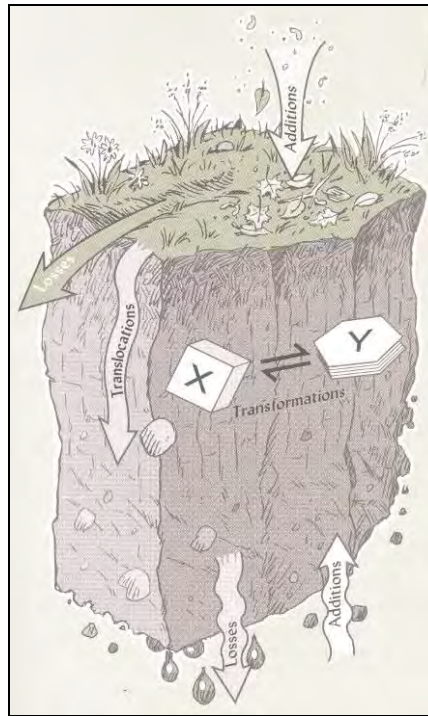
A inter-relação entre os fatores ambientais (material de origem, clima, biota, relevo e tempo) desencadeia os processos formadores do solo, processos denominados de pedogênicos (SOKOLOV, 1996 *apud* KAMPF & CURI *in* KER, J. et al, 2012). As diversas combinações que podem ocorrer entre os fatores ambientais agem diretamente no substrato rochoso, ou no material fragmentando originado ou não da rocha, fazendo com que ocorram as ações pedogênicas que podem ser avaliadas desde a escala microscópica até as bacias hidrográficas (KAMPF & CURI *in* KER, J. et al, 2012).

Do ponto de vista das formações superficiais, a pedogênese representa a continuidade do processo de intemperismo. Esta continuidade tem referência na ação dos mesmos processos químicos e por meio da intensificação dos processos biológicos (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009). Para Bigarella, Becker e Passos (1996), em sentido amplo, o termo pedogênese abrange todos os processos de desenvolvimento do solo, caracterizado como um sistema natural aberto. As concepções de Gaucher (1971) *apud* Bigarella, Becker e Passos (1996) são as mais adequadas, quando este considera o solo como um meio em constante evolução, resultante de fenômenos de decomposição, migração e acumulação de substâncias diversas.

Ambos (pedogênese e intemperismo) possuem um papel determinante no surgimento e evolução das formações superficiais e no modelado do relevo nas Regiões Tropicais (PENTEADO, 1974; BIGARELLA; BECKER; PASSOS, 1996; KAMPF; CURI; MARQUES, 2009; TOLEDO; OLIVEIRA; MELFI *In* TEIXEIRA, 2000; BUENO, 2007 e 2010). Tais processos levam à formação de um *perfil de alteração*, onde fazem parte *saprolito* e o *solum*.

A espessura do perfil de solo está condicionada, principalmente, às condições climáticas (PENTEADO, 1974). Nas regiões próximas aos círculos polares, a espessura do manto de alteração será rasa, em regiões de clima temperado este será pouco espesso e, em regiões onde se predomina climas equatoriais e tropicais, a sua espessura pode chegar a dezenas de metros (BIGARELLA, 1994).

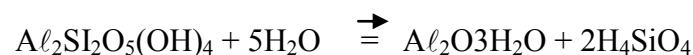
**Figura 8: Desenvolvimento do perfil de solo, com base nas alterações do regolito.**



Fonte: Adaptado de Brady e Well, 2008, p. 65.

A formação de regolito está associada ao desenvolvimento dos horizontes de um perfil de solo (BRADY; WELL, 2008). Durante a gênese das formações superficiais, tratada neste capítulo como resultante do intemperismo e da pedogênese, o regolito sofre alterações consideráveis – tais alterações podem ser definidas como: adição, perdas, transformação e translocações, como ilustra a Figura 9.

Os melhores exemplos de intemperismo químico são os solos tropicais, que possuem uma concentração considerável de óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), como os materiais lateríticos e a bauxita (BLOOM, 1996). De acordo com o autor, a reação química abaixo exemplifica o tipo de transformação por intemperismo que a rocha pode sofrer, em condições onde a pluviosidade anual é elevada:



A reação química acima retrata uma ocorrência comum em zonas tropicais. A caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) passa por um processo de hidrólise, transformando-se em um óxido de alumínio hidratado ( $\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$ ). Tal óxido, segundo Bloom (1996), tende a cristalizar-se, como um componente da bauxita, por exemplo.

As alterações, transformações e neoformações de minerais que ocorrem no ambiente do solo no decurso da intemperização são condicionadas por numerosos fatores físicos, químicos e biológicos. (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009). Ainda segundo os autores:

Cada ambiente difere quanto aos fatores que controlam a alteração mineral e assembleias mineralógicas presentes. Diante do exposto, os fatores que determinam a intemperização dos minerais são: i) estabilidade estrutural intrínseca do mineral; ii) pH (concentração de prótons) da solução; iii) presença de ligantes complexantes (ácidos orgânicos, ânions inorgânicos); iv) área superficial específica do mineral; v) eficiência da remoção dos produtos solúveis da intemperização (por precipitação, lixiviação, etc). (KAMPF; CURI e MARQUES, 2009, p. 356).

Em climas equatoriais e tropicais o principal agente intempérico é a água da chuva. Quanto maior a quantidade de água no sistema, maior a tendência dos minerais primários serem intemperizados, e maior é a formação dos minerais secundários. Todas as reações do intemperismo envolvem a água, seja como reagente ou como portador dos produtos da reação (BLOOM, 1996).

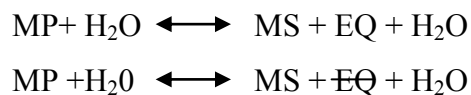
As análises da distribuição vertical, principalmente das frações argila (<0,002 mm) e silte (0,002 - <0,05mm), advindas do método de granulometria, podem apontar o grau de intemperismo do solo de regiões tropicais, ou seja, podem ser utilizados como indicadores pedoambientais. Solos mais siltosos, por exemplo, são considerados, em geral, menos intemperizados. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2007; SIVA NETO, 2010).

#### **2.1.1.1.1 Intemperização Química**

A fase sólida da maioria dos solos é constituída principalmente por substâncias inorgânicas de diferentes composições químicas. Algumas destas mesclas de compostos são constituintes de rochas, cuja intemperização química, incluindo aquelas de origem biológica, condicionam os tipos de minerais primários e secundários e a formação dos solos (FASSBENDER; BORNEMISZA, 1975; KAMPF; CURI; MARQUES, 2009).

A intemperização química se dá quando materiais oriundos principalmente do substrato rochoso são expostos à atmosfera e submetidos à ação da água, do O<sub>2</sub>, do CO<sub>2</sub> e de algumas substâncias orgânicas. De acordo com Kampf, Curi e Marques, (2009), as alterações promovidas por tais agentes intempéricos dependem da natureza da rocha ou do mineral, dos reagentes (composição, pH, concentração) e de condições que condicionam o equilíbrio

químico – as reações químicas são reversíveis, e, no solo, este procedimento não é diferente. A reação química abaixo exemplifica como ocorre o processo de intemperismo químico:



A água em climas tropicais é o principal agente do intemperismo, como afirmou, por exemplo, Bloom (1996), e, na reação química acima, possui papel determinante, pois quanto maior a quantidade de água no sistema, maior é a tendência de minerais primários (MP) serem intemperizados, e maior é a formação de minerais secundários (MS). Em síntese, com a entrada da água no sistema alguns elementos químicos (EQ) são lixiviados, assim, a reação perde seu equilíbrio e deixa de ser reversível. Diante disso, busca-se um novo equilíbrio, onde mais minerais primários (MP) são intemperizados até se esgotarem, na tentativa de liberar novos elementos químicos (EQ) no ambiente; posteriormente, a reação retoma o equilíbrio.

As identificações dos processos atuantes no intemperismo químico podem contribuir para identificação do comportamento do solo, bem como as especificidades ligadas à sua gênese. Os processos em destaque são: solução, hidrólise, e oxidação e redução.

A *solução* está associada à integração de grupos de  $\text{OH}^-$ , ou moléculas de água com alguns tipos de minerais. A *hidrólise*, como o próprio o nome indica, tem ocorrência a partir da dissolução da água, possibilitando, assim, a reação entre íons de  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  e, conseqüentemente, o rompimento das ligações – tem-se a substituição dos íons alcalinos, como K, Na, Ca pelo  $\text{H}^+$ . A *oxidação* pode ocorrer na fase sólida e em solução e atua na intemperização de minerais, que possuem considerável teor de Fe. Nos minerais primários, o Fe ocorre sob a forma de  $\text{Fe}^{2+}$ , pois estes minerais são formados em ambientes onde não há a presença de  $\text{O}_2$ . Ao entrar em contato com o  $\text{O}_2$ , o  $\text{Fe}^{2+}$  sofre oxidação, transformando-se em  $\text{Fe}^{3+}$  – a oxidação pode ser evidenciada com a mudança de coloração das rochas alteradas e nos sedimentos, as cores decorrentes deste processo são geralmente avermelhadas e amareladas. A *redução* está diretamente relacionada à saturação de água no ambiente, onde a disponibilidade de  $\text{O}_2$  é baixa, e a presença de MO (matéria orgânica) é elevada, propiciando, então, a redução de alguns minerais, como o  $\text{Fe}^{3+}$  e o  $\text{NO}_3^-$  – ocorrem principalmente na alteração de minerais secundários (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009).

A velocidade com que age o intemperismo será determinada pela estabilidade dos minerais. Minerais menos estáveis, como Halita ( $\text{NaCl}$ ), Calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e Olivina ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ), por exemplo, são mais suscetíveis aos fatores do intemperismo, enquanto os

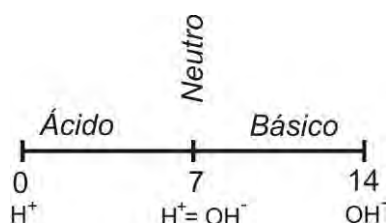
minerais mais estáveis, como os Óxidos de ferro ( $\text{Fe}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ ), Hidróxido de alumínio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) e Quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) apresentam uma resistência maior ao processo, como ilustra a Figura 10 a seguir:

**Figura 9: Série de Goldich demonstrando a ordem de estabilidade dos minerais frente à velocidade do intemperismo.**



Fonte: adaptado de TOLEDO; OLIVEIRA & MELFI, 2003, p.151.

Do ponto de vista das reações do solo, o pH (potencial de hidrogênio) também pode indicar o grau de intemperismo. Quanto maior o grau de acidez do solo, maior deve ser o grau de intemperismo. Em síntese, em ambientes ácidos há uma tendência de acúmulo de  $\text{H}^+$ ; em ambientes básicos haverá excesso de óxidos de  $\text{OH}^-$ ; já em ambientes neutros a quantidade de óxidos de  $\text{H}^+$  é igual à quantidade de óxidos de  $\text{OH}^-$ . Dessa forma, tem-se:



O pH do solo indica também o número de cargas negativas. O acúmulo de cargas negativas contribui para a qualidade do solo, pois favorece a capacidade de troca catiônica (CTC), isto é, a capacidade do solo de adsorver cátions ( $\text{Na}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$  e  $\text{K}$ ), que são nutrientes para as plantas. No entanto, em solos ácidos, que apresentam elevado grau de intemperismo,

há uma maior concentração de cargas positivas, logo, tem-se uma CTC baixa – solos mais evoluídos.

#### **2.1.1.1.1 Si, Al, Fe e Zr: características gerais e comportamento no perfil de solo**

Este tópico busca descrever as características gerais e o comportamento no perfil de solo de quatro grupos de minerais inseridos nas classes de óxidos: Si (Silício), Al (alumínio), Fe (Ferro) e Zr (Zircônio). Dentre estes, Si, Al e Fe estão inseridos em um grupo com mais cinco elementos (O, Ca, Mg, K e Na), que constituem uma quantidade considerável de rochas que compõem a litosfera. De maneira geral, os óxidos são encontrados em solos desde a região polar à equatorial, mas óxidos de Al e Fe só se concentram de forma significativa em solos muito intemperizados – ou seja, os cátions básicos já foram lixiviados e restam apenas o  $Fe^{3+}$  e o Al. Já o óxido Zr tem sua distribuição nos perfis analisados por ser um elemento que, por sua estabilidade no solo, contribui para a discussão de questões importantes relacionadas à pedogênese, ao intemperismo e à relação entre rocha subjacente e formação superficial (SUDON; ARNAUD, 1971; BRIMHALL; DIETRICH-PARAHYBA, 1987; COLIN; VICILLARD, 1993; SANTOS; ROLIM NETO, 2009). Em cada grupo, destacam-se espécies de minerais que ocorrem comumente no solo (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009).

O óxido Si (Silício) ligado por átomos de O (oxigênio) é o cátion mais comum em rochas sedimentares, metamórficas ou ígneas, gerando, devido a sua importância, uma classificação das rochas baseada em seu teor. Assim, temos: rochas ácidas, com teor de  $SiO_2$  superior a 66%; rochas semiácidas, com teor de  $SiO_2$  entre 62 e 66%; semibásicas, com teor de  $SiO_2$  entre 52 e 62%; básicas, com teor de  $SiO_2$  entre 45 e 52%; e ultrabásicas, com teor de  $SiO_2$  inferior a 44% (FASSBENDER; BORNEMISZA, 1994). Constituído por óxidos de Si, o mineral quartzo é também utilizado para estabelecimento das relações entre material de origem e solo, pois possui elevado grau de resistência ao intemperismo e baixa mobilidade (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009).

Depois do Si, o Al é o elemento químico mais comum na composição química das rochas da litosfera (FAURE, 1991 *apud* COSTA; BIGHAM, 2009). No solo, os óxidos de Al ocorrem em condições ambientais específicas. Originalmente, são oriundos dos aluminossilicatos primários e são liberados pelo intemperismo (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009). O óxido de Al forma o mineral gibbsita, que em teores elevados facilita a estrutura granular muito pequena, possibilitando a maior infiltração de água – este processo ocorre nos

latossolos argilosos das chapadas das regiões do cerrado, conforme abordaram Kampf, Curi e Marques (2009).

O Fe é o quarto elemento químico mais abundante da crosta terrestre, depois de O, Si e Al. No entanto, pode ser considerado o óxido metálico mais abundante no solo (COSTA; BIGHAM, 2009). Nos minerais primários, o Fe ocorre sob a forma de  $Fe^{2+}$ , pois estes minerais são formados em ambientes onde não há oxigênio. Ao entrar em contato com o oxigênio, o  $Fe^{2+}$  sofre oxidação se tornando  $Fe^{3+}$ , que pode ser encontrado em rochas, sedimentos e poeira desde o tamanho coloidal até o macroscópico; já nos solos ocorre em partículas muito pequenas e podem atuar na formação de agregados, cimentação de outros componentes do solo, dentre outras funções (COSTA; BIGHAM, 2009). Os óxidos de Fe mais comuns nos solos são o mineral hematita e o mineral goethita. O primeiro gera solos vermelhos, pois tem um alto poder de pigmentação; o segundo é responsável pela cor amarela do solo, e pode ocorrer tanto em solos amarelos, quanto vermelhos.

O óxido de Zr não é abundante na composição das rochas que compõem a litosfera, ou mesmo no solo, ao contrário dos demais óxidos Si, Al e Fe descritos neste tópico. Entretanto, serve com um parâmetro para se avaliar as alterações pedogenéticas em solos, que envolvem diretamente a comparação do *solum* com o material de origem (SUDOM; ARNAUD, 1971). Estudos comprovam a eficácia da utilização do óxido de Zr para avaliar as perdas e ganhos que ocorrem durante a pedogênese (SUDON; ARNAUD, 1971; BRIMHALL; DIETRICH; PARAHYBA, 1987; COLIN; VICILLARD, 1993; SANTOS; ROLIM NETO, 2009). No entanto, nas zonas tropicais estes estudos ainda são pouco comuns, e o comportamento do Zr no perfil do solo não está totalmente elucidado (PEREZ et al., 1997).

### 2.1.2 Erosão

As paisagens do nosso cotidiano são produzidas por processos geológicos superficiais, exemplificados pelos cenários naturais que costumamos observar. A morfologia desses ambientes vem sendo esculpida há milhões de anos – essas áreas são de retirada de rocha decomposta, ou seja, de erosão. (GIANNINI; MELO In TEIXEIRA et al., 2009).

A literatura sobre *erosão* é extensa, e o estudo dos processos erosivos é realizado há décadas, em todo o mundo. Os pesquisadores dedicados à investigação do tema têm lançado mão de uma série de métodos e técnicas, dependendo dos objetivos propostos, dos recursos financeiros, recursos humanos, dentre outros fatores. (GUERRA, 2005).

Para El-Swaify, Dangler e Armstrong (1982), a expressão *erosão* é utilizada para definir diferentes tipos de fenômenos, inclusive o esgotamento dos constituintes do solo por dissolução e lixiviação. Ainda de acordo com os autores:

[...] é o processo inexorável e contínuo de evolução da superfície da Terra por agentes geológicos, tais como chuva, escoamento superficial, derretimento da neve, correntes, e assim por diante. O processo de erosão pode ser acelerado por práticas humanas como floresta de compensação, o cultivo de plantações e animais domésticos, mineração e construção. (Traduzido e adaptado DE EL-SWAIFY; DANGLER; ARMOSTRONG, 1982, p. 1)

A *erosão* é confundida com a *denudação*. Apesar de os termos estarem semanticamente próximos, o primeiro refere-se aos processos de desgaste da superfície do terreno com a retirada e o transporte dos grãos minerais e o segundo às consequências, ou seja, refere-se à remoção do material solto resultante da intemperização da rocha. (BIGARELLA et al., 2007).

Conforme Schultz (1983), a erosão, quanto a sua natureza, pode ser dividida em: i) erosão natural ou geológica e ii) erosão antrópica. Todos os solos do planeta estão submetidos à erosão geológica ou natural, que, agindo sobre a rocha, provocam a formação dos solos. Contudo, a atuação do homem, por intermédio da agricultura, por exemplo, provoca a retirada da camada protetora do solo – o que favorece a ação dos agentes erosivos.

Em seus estudos na região de Marília, São Paulo, Queiroz Neto (1975) verificou em alguns perfis de solo, a suscetibilidade de alguns horizontes aos processos erosivos. Concluiu que o horizonte A constitui, quase sempre, a parte mais frágil e menos resistente. Quando desprovidos da proteção de vegetação, o horizonte A torna-se suscetível ao escoamento superficial, por exemplo. Ainda segundo o autor:

Esses horizontes A constituem material em trânsito sobre os B, que lhe serve de formação de suporte. Os processos pedológicos prosseguem de forma praticamente ininterrupta, havendo grande analogia entre as características de todos os horizontes. (QUEIROZ NETO, 1975, p. 145).

O Planalto Atlântico, objeto de estudo de Queiroz Neto (1975), apresenta perfis de solos argilosos, e mais estruturados nos horizontes próximos a superfície. As *stone lines* identificadas pelo referido autor indicam a ação da pedogênese, além de tendências às migrações, sobretudo de argila e ferro. Tais especificidades demonstram similaridades com o Planalto de Diamantina, recorte geográfico abordado por esta dissertação.

### 2.1.3 Gênese de Linha de Pedra

O estudo das linhas de pedra oferece uma contribuição considerável à compreensão dos processos envolvidos na gênese e na evolução das vertentes e das formações superficiais. Conhecida internacionalmente como *stone line*, no Brasil é conhecida como linha de seixos (HIRUMA, 2007) e linha de pedra (MOUSINHO; BIGARELLA, 1965a; QUEIROZ NETO, 2001 e 2010; AB'SABER, 1979 e 2000).

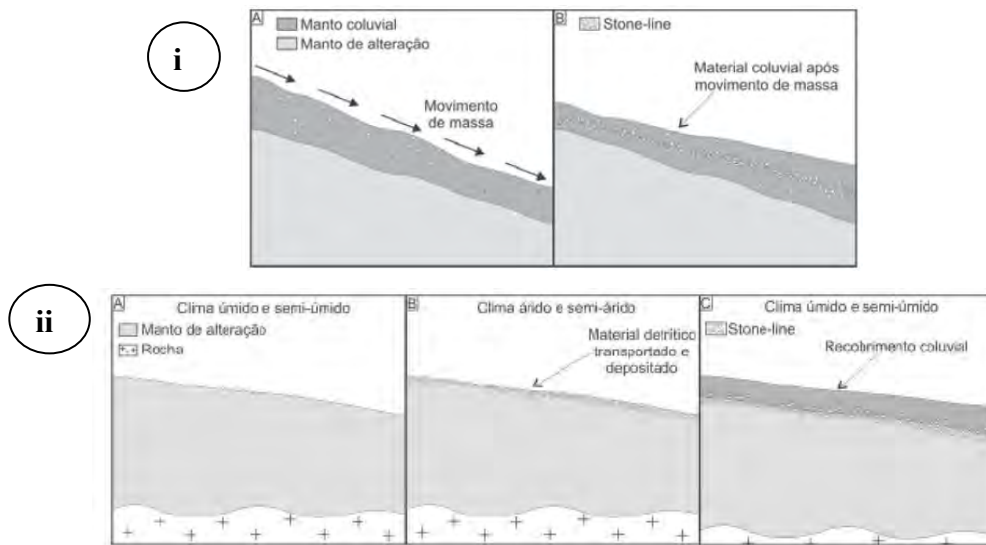
Hiruma (2007) define “linha de seixos” como correspondente a um horizonte de fragmentos angulosos e subângulos, às vezes arredondados, de quartzo de veio, quartzitos, couraças lateríticas, minerais pesados, ou de outros materiais resistentes à alteração química, no interior de coberturas pedológicas das zonais intertropicais. Seguindo este mesmo raciocínio, para Mousinho e Bigarella (1965a), as “linhas de pedra” (Figura 8) são feições, geralmente encontradas em superfície, e acompanham a morfologia das vertentes; são compostas por grãos de quartzo e concreções ferruginosas, além de apresentarem espessura variável.

De acordo com Queiroz Neto (2010), existe um paralelismo frequente entre “*stone lines*” com as vertentes. Isso indica que a gênese e a evolução das linhas de pedra estão relacionadas à evolução das vertentes e dos solos. Ainda segundo o autor:

[...] A atuação da atividade biológica dos solos na fabricação de agregados e na migração ascendente vertical de materiais, enterrando as “*stone lines*”, leva a reinterpretação da gênese dos solos e da evolução das vertentes, no sentido da autoctonia dos materiais de origem, da evolução conjunta dos solos e das vertentes além de também trazerem a noção de manutenção da funcionalidade. Apontam ainda para a importante contribuição da atividade biológica na construção das formas de relevo. (QUEIROZ NETO, 2010, p. 14).

As discussões a respeito da gênese das linhas de pedra, e do material que a recobre, ainda hoje é tema de discussões. Teorias surgem no mesmo compasso dos avanços da ciência pedológica, e de estudos há nível de detalhe de vertentes, e das respectivas formações superficiais. Segundo Hiruma (2007), a questão principal que diz respeito aos debates existente, está relacionada ao seu caráter autóctone ou alóctone (Figura 8). Nos casos das linhas de pedras, considera-se como autóctone aquela que possuiu desenvolvimento *in situ* e que sofreram pequeno transporte; linhas de pedras alóctones são aquelas constituídas por material submetido a um longo transporte (SANTOS et al., 2010).

**Figura 10: i) linha de pedras autóctone e ii) linha de pedras alóctone.**



Fonte: Adaptado de Santos et al., (2010).

Na figura 8, i e ii ilustram duas hipóteses para o desenvolvimento das linhas pedras. A primeira trata da hipótese do coluvionamento, onde a parte superior da vertente desloca-se para base (movimento de massa) formando um manto coluvial, possibilitando, assim, o acúmulo de material que forma a linha de pedras; a segunda hipótese de material transportado em superfície, onde uma sucessão de fases climáticas desencadearia uma série de fatos, como alteração química do material parental, transporte e sedimentação, o que daria origem as linhas de pedras alóctones (SANTOS et al., 2010).

Em seus estudos, AB'SABER, (1979) faz algumas considerações a respeito das ocorrências de linhas de pedra no Brasil, dentre elas destaco as seguintes:

- As linhas de pedra são formações superficiais, preferencialmente formadas por fragmentos de rocha ou de crostas duras. Podem apresentar, de permeio, com os demais fragmentos, restos de ossadas de animais pleistocênicos;
- As ocorrências de linha de pedra documentam um mesmo período de clima seco, de grande amplitude espacial, em que as condições, em termos pluviais, deviam situar-se entre subúmido, rústico e subárido;
- Em termos genéticos, as linhas de pedra inclusas na estrutura superficial das paisagens constituem depósitos clásticos, ligados a fases acentuadas de *resistasia*.

## 2.2 Grandes vias de alteração e pedogênese no meio tropical úmido

Bigarella, Becker e Santos (1996) afirmam que o manto de intemperismo, ou de alteração, formado em condições climáticas úmidas, assinala a importância da decomposição química de parte das formas de relevo. Ainda de acordo com os autores, os produtos de alteração resultantes do intemperismo químico profundo em ambientes tropicais úmidos podem ser diferenciados em perfil, por meio de suas características morfológicas.

Os solos tropicais possuem características mineralógicas bem específicas. Mas, de acordo com Toledo, Oliveira e Melfi (2000), estes solos apresentam uma série de atributos bem comuns, como predomínio do quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) e oxi-hidróxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al).

As formações superficiais situadas em regiões tropicais vêm se tornando, há tempos, temas de estudos de inúmeros pesquisadores. Tais estudos buscam entender a gênese das referidas formações, além de diferenciar, do ponto de vista físico, químico e morfológico os diversos tipos que podem ser encontrados. Dessa forma, discutiremos aqui três grandes vias de alteração e pedogênese que estão associados à formação dos solos do Planalto de Diamantina: laterização, hidromorfia e lessivagem.

### 2.1.1 Laterização

Segundo Vieira (1975), a laterização é um processo de formação do solo que envolve intensa lixiviação e, por conseguinte, apresenta-se somente onde a precipitação é maior que evapotranspiração potencial durante a maior parte do ano. A denominação laterização advém da palavra “laterita” (do latim *later* = tijolo), e de acordo com Melfi (1997) o termo foi utilizado primeiramente nas regiões montanhosas da Costa do Malabar no sul da Índia, pelo Geógrafo F. Buchan, em 1807.

Buchanan (1807) *apud* McFarlane (1976) descreveu a laterita como um material inicialmente macio o suficiente para ser cortado em blocos por instrumentos de ferro, mas que se torna duro como tijolo após ficar exposto ao ar. Esta primeira definição teve como base observações feitas por Buchanan em uma pequena aldeia na Índia, onde os seus moradores utilizavam a laterita para a construção de casas, muros etc. Apresentando uma evolução no conceito, Melfi (1997) define laterita como manto de alteração, normalmente espesso e de cor vermelha, endurecido ou friável que, nos países tropicais, recobre o substrato rochoso.

Desse ponto de partida, inúmeros estudos foram desenvolvidos com o intuito de caracterizar a laterita, principalmente sob ponto de vista genético, por pesquisadores de distintas formações. Ainda hoje, a literatura que trata desse assunto é pouco clara e contraditória, devido às múltiplas interpretações existentes, como cita Bigarella (1994). Melfi (1997) conceitua que o significado de laterita foi, ao longo dos tempos, ampliado por uns (solos, formações superficiais, couraças, carapaças, etc.), e restringido por outros (somente formações ferruginosas endurecidas).

O consenso que existe na literatura consultada é de que o processo de laterização, ou mesmo latolização (termo mais atual), é característico de regiões intertropicais de clima úmido. Segundo Bigarella (1994), os processos de laterização englobam uma sequência de fenômenos que se sucedem à alteração da rocha subjacente, favorecendo a acumulação de óxidos de Fe, Al, Mn e Ti, num horizonte superficial. Ainda segundo o autor:

Os solos lateríticos, segundo Costa (1975), contêm na fração mineral elevadas concentrações de óxidos de ferro e alumínio, podendo, muitas vezes, apresentar horizontes cimentados com sesquióxidos de ferro e alumínio. Frequentemente, pelo efeito da aeração e dissecação, esses solos endurecem uniformemente ou representam concreções, impedindo ou dificultando a penetração das raízes. (BIGARELLA, 1975, p. 547).

A atualização do termo para latolização surgiu da necessidade de estudos recentes indicarem as características físicas, químicas e mineralógicas dos latossolos (solos lateríticos) – termo criado e empregado por Kellogg (1949) *apud* Bigarella (1994). Os solos oriundos desse processo apresentam um horizonte B LATOSSÓLICO, ou seja, são solos antigos que ocupam as partes expostas da paisagem – em geral, ocupam os planaltos, superfícies mais elevadas. (RESENDE et al., 1999). Ainda segundo o autor:

Os LATOSSOLOS são solos profundos, com pouca diferenciação entre horizontes, bastante intemperizados; apresentam, portanto, argilas de baixíssima atividade, pouca retenção de bases e virtual ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis. Como a sílica e outros elementos vão sendo lixiviados, há um enriquecimento relativo em óxidos de Fe e de Al. (RESENDE et al., 1999, p. 130).

De acordo com Vieira (1975), na laterização os processos pedogenéticos podem se apresentar da seguinte maneira:

- Adição: a matéria orgânica (MO), produzida em grandes quantidades nas florestas tropicais úmidas e muito úmidas, se decompõe rapidamente devido à

ação microbiana proporcionada pela elevada temperatura e precipitação. Na mesma velocidade também ocorre o processo de mineralização;

- Remoção: em condições climáticas ideais, constitui um importante processo da laterização. Na ocorrência de um volume considerável de lixiviação, há uma rápida separação de sais solúveis: Ca, Mg, Na e K (que podem ser eliminados pela drenagem);
- Translocação: devido ao elevado processo de lixiviação, todas as substâncias móveis são perdidas no lençol freático. Com isso, os quelatos (responsáveis pela atividade de translocação do Fe) são destruídos;
- Transformação: a formação dos latossolos é pouco considerável, já que os minerários primários (gipsita, óxido de Ferro hidratado) desse processo se encontram decompostos. A coloração dos perfis pode variar de vermelho ao vermelho escuro, e a diferenciação entre o horizonte B e C não é clara.

A respeito das couraças lateríticas e ferruginosas, existentes também no Planalto de Diamantina, Minas Gerais, Penteado (1974) faz a seguinte consideração: “tem papel importante no relevo e nos processos morfogenéticos da zona tropical”. Segundo a autora, este papel associam-se as características da couraça quanto à espessura, natureza química e textura compacta.

A posição altimétrica peculiar das lateritas (1350 a 1250 m), no Planalto de Diamantina, sugere que as mesmas constituam restos de uma superfície de aplainamento antiga, correspondente à superfície Pós-Gondwana de King (1956), ao nível 3 de Abreu (1982) ou ainda ao 1º nível de Saadi e Valadão (1987), desenvolvida entre o Cretáceo e o início do Terciário. Elas são muito distintas daquelas extensas e espessamente desenvolvidas nas chapadas das bordas da Serra do Espinhaço, sobre a superfície Sul-Americana, conforme Chaves e Bottino (2000). A laterização incipiente dos depósitos colúviais estudados é um processo recente e desenvolvido apenas parcialmente, embora ainda atuante.

Segundo os estudos recentes de Benitez (2004) e Chaves e Benitez (2005), a fase de laterização do depósito foi superposta aos sedimentos, constituindo um processo moderno e atuante no presente. Além disso, análises por termoluminescência em quartzo, ora fornecidas, indicaram a formação dos colúvios entre 29000-31000 anos A.P., durante o último máximo glacial. Isso indica que tal deposição ocorreu muito depois da fase de laterização que testemunha a superfície de peneplanização Pós-Gondwana.

As couraças podem atingir dezenas de metros, geralmente são insolúveis e apresentam poucas fissuras. Essas características fazem desta um escudo protetor, que permite

a conservação de velhas superfícies de erosão desenvolvidas em ambientes tropicais. Além disso, propiciam o escoamento superficial, reduzem a erosão mecânica e criam paisagens de superfícies aplainadas (PENTEADO, 1974).

### **2.1.2 Hidromorfia**

A hidromorfia é uma importante condição para desenvolvimento dos solos nas regiões tropicais (ROSOLEN; HERPIN; MELFI, 2007). Ainda de acordo com os referidos autores, estudos do sistema pedológico que correlacionam coberturas lateríticas e hidromórficas ocorreram em diversas partes do mundo, ocasionando, no mesmo contexto, modelos para entendimento deste quadro pedológico.

Rosolen e Herpin (2008), em seus estudos na Amazônia, verificaram que os processos pedogenéticos podem ser considerados como responsáveis pelo rebaixamento topográfico. Nesse processo de transformação da paisagem, a hidromorfia foi considerada o principal agente envolvido.

O processo de hidromorfia está diretamente ligado à saturação da água no solo. Em ambientes cujo grau de saturação for elevado se desenvolverão solos hidromórficos, ou seja, solos que se encontram permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. Esses solos vão se desenvolver nas baixadas, várzeas e depressões, sob condições de clima úmido. (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1999). Sob tais condições, a solubilidade dos óxidos de ferro é aumentada em várias ordens de magnitude relativas às de óxidos de alumínio e silício. Durante o processo, o ferro pode ser redistribuído, adicionado ou removido do perfil do solo, dependendo de sua posição na paisagem e do movimento da água (BREEMEN; BUURMAN, 2003).

As mudanças no fluxo hídrico ocasionam alterações na composição química e estrutural através do transporte seletivo das partículas, principalmente de material fino – dissolvido ou particulado. Nesses casos, a dinâmica dos óxidos de ferro, em perfis de solo distribuídos numa paisagem laterítica, acarreta a formação de uma sequência de horizontes de cor vermelha, amarelo e branco – propiciado pela redução dos óxidos de ferro (ROSOLEN; HERPIN; MELFI, 2007).

Montes et al., (2007) *apud* Yshida (2010) afirmam que em solos encharcados, sob condições redutoras, bactérias irão agir de forma a esgotar o oxigênio disponível. E na ação seguinte utilizará os íons nitratos, seguidos dos óxidos de Mn e Fe – ambiente propício à

acumulação de matéria orgânica (MO). A ausência de Fe (III) (Fe oxidado) ou a presença de Fe (II) (Fe reduzido) faz com que o solo tenha um aspecto acinzentado, esverdeado ou azulado abaixo da camada de matéria orgânica (RESENDE et al., 1999).

Solos orgânicos (ricos em MO) podem possuir pH abaixo de 3,5. Assim, os óxidos de Al podem ser lixiviados para certa profundidade no perfil, por serem mais solúveis que óxidos de Si e Fe nessas condições (BREEMEN; BUURMAN, 2003). Apesar disso, nesses solos, o excesso de acidez não prejudica crescimento da vegetação, pois como a matéria orgânica é muito reativa, retém parte dos átomos de H<sup>+</sup>. Logo, grande parte da acidez desses solos não é efetiva. Esse comportamento diferenciado dos solos orgânicos ocorre tanto com os átomos de H<sup>+</sup>, quanto com os átomos de Al. Por isso, pode-se afirmar que o excesso de acidez em solos orgânicos é menos problemático que em solos de composição mineral.

### 2.2.3 *Lessivagem*

O termo *lessivage*, de origem francesa, refere-se a um processo bruto para os solos em que se destacam em seu perfil, um horizonte (E) e um horizonte eluvial, associados a um iluvial de acumulação de argila silicatada (Bt, nomenclatura que pode variar de acordo com a taxonomia utilizada). A base conceitual desse processo advém de teóricos estrangeiros, e as discussões a respeito da “lessivagem” no Brasil, ainda são incipientes.

De acordo com Duchaufour et al, (1970), a lessivagem pode ser definida como um processo de lixiviação de acionamento mecânico de argila e ferro em baixa acidez e biologicamente ativa. Ao contrário da argila oriunda da podzolização, que é alterada quimicamente, exceto em certas formas de transição (solos pozólicos lixiviados) – que se instala em torno, formando unidades estruturais, às vezes chamado de catena.

Seguindo essa mesma linha de raciocínio, Lozet e Mathieu (1997) afirmam que o termo *lessivage* refere-se ao transporte mecânico em suspensão de argila e, em menor quantidade, de argila grossa e silte ao longo de fendas e vazios fora de um volume definido. Esse processo apresenta uma diminuição no teor de argila no horizonte E, e um enriquecimento no horizonte B – além de se caracterizar preferencialmente em materiais sedimentares argilosos e siltosos.

A figura 11 abaixo, extraída da obra de Fanning (1989), ilustra o referido processo:

**Figura 11: Diagrama de um perfil de solo para ilustrar o processo de lessivagem.**



**Fonte: Adaptado de Fanning (1989, p. 94).**

Segundo Fanning e Fanning (1989), o diagrama acima retrata uma floresta estacional decidual sobre um sítio bem drenado. Nos horizontes mais profundos como o Bt ocorre uma acumulação de argila iluviada. Tais argilas podem estar situadas na parte inferior do horizonte B (na transição para um horizonte BC), em fissuras de rochas, ou mesmo no saprolito. Fanning e Fanning (1989) ainda relatam que em condições ideais o horizonte C é composto por materiais calcários de teor de argila moderada.

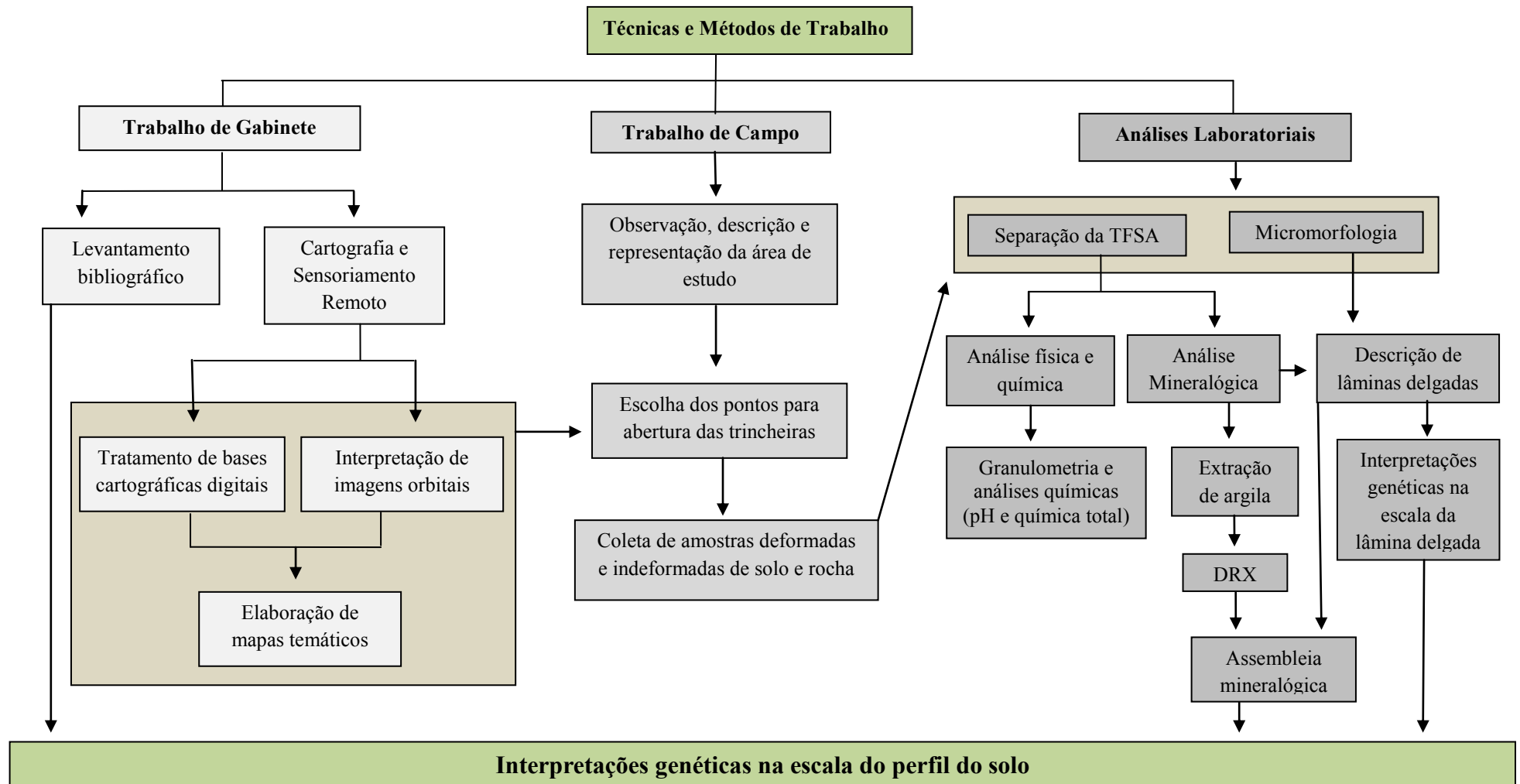
### 3 MÉTODOS E TÉCNICAS DE TRABALHO

Os procedimentos metodológicos e técnicos descritos a seguir, em síntese, constituem a base dessa dissertação. Tratar de aspectos condicionados à geografia física, especialmente a pedologia, envolve imediatamente o uso de uma metodologia de pesquisa estruturada.

Seguindo os preceitos estabelecidos no Manual Técnico de Pedologia (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007), a referida pesquisa enquadra-se no método de caminho livre. Este método propõe que o pesquisador use de sua experiência, de seu conhecimento sobre a área, da fotointerpretação e das correlações para definir os pontos de observação e de amostragem. Para sua aplicação, ainda é necessário o uso de material cartográfico e imagens de satélite em escalas combinantes com o nível de detalhe da área de estudo.

A figura 12 a seguir explicita o fluxograma de Técnicas e Métodos, no qual é possível identificar as três maiores etapas necessárias para o cumprimento dos objetivos propostos por esta dissertação: i) trabalho de gabinete, ii) trabalho de campo e iii) análises laboratoriais.

Figura 12: Fluxograma de Técnicas e Métodos.



Fonte: Do autor, 2012.

### 3.1 Trabalho de Gabinete

O trabalho de gabinete consiste em uma importante etapa da metodologia da pesquisa em geografia. Esta etapa foi dividida em dois passos: i) levantamento bibliográfico e ii) cartografia e sensoriamento remoto.

A pesquisa bibliográfica abarcou os conteúdos básicos e específicos que serviram como norte para a realização das etapas posteriores, além da busca por material cartográfico digital ou impresso em escalas regionais e locais. Os assuntos mais buscados durante este processo foram: Pedologia, Geoquímica, Geomorfologia, Cartografia, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Como citado no Fluxograma de Técnicas e Métodos (Figura 10), a etapa correspondente à Cartografia e Sensoriamento Remoto foi responsável pelo tratamento e processamento das bases cartográficas digitais em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), bem como na interpretação de imagens orbitais. Em ambos os processos, dois *softwares* foram utilizados: i) *ArgGis* (versão 10.0) e *Spring* (versão 5.1.7). Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório de Estudos Ambientais Professor Heinz Charles Kohler, no Programa de Pós Graduação em Geografia: Tratamento da Informação Espacial, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

#### 3.1.1 Interpretação de Imagens Orbitais

No apoio ao reconhecimento da área de estudo e nas escolhas dos perfis de solo analisados, duas imagens orbitais foram utilizadas: i) *LANDSAT – 5 TM (Land Remote Sensing Satellite)* e ii) *GEDM (Global Digital Elevation Map Announcement)*. A escolha dos perfis de solo levou em consideração as formas de relevo, a declividade e as formas das vertentes: foram escolhidos perfis em posições de topo ou alta vertente, sempre em declividades baixas, próximas de 0°. Dessa forma, as imagens orbitais aqui utilizadas não apenas subsidiaram os trabalhos de campo, como também serviram para validar algumas informações no pós-campo.

A primeira imagem proporcionou um mapeamento multiespectral em alta resolução da superfície da Terra. A imagem *LANDSAT – 5 TM* é obtida por satélite homônimo, e seu sensor TM possui 7 bandas. A maior parte das bandas possui resolução de 30 metros, ou seja, cada pixel da imagem representa uma área de 0,09 ha de terreno; com exceção da banda 6, que possui resolução de 120 metros e cada pixel representa um 1,4 ha.

A imagem GEDM é obtida pelo Satélite Aster (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*). Tal imagem cobre a superfície da Terra entre 83° N e 83° S e fornece uma série de dados altimétricos. Disponibilizada gratuitamente na internet pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), a imagem está em formato GeoTIFF, com coordenadas geográficas, resolução espacial de 30 metros e referenciamento ao geoide WGS84/EGM96.

### **3.1.2 Elaboração dos Mapas Temáticos**

Os mapas temáticos elaborados por este estudo contribuíram para a caracterização geomorfológica do Espinhaço Meridional e, mais especificamente, do Planalto de Diamantina. Como base para elaboração dos mapas, foi utilizada a imagem orbital ASTER GEDM, além de dados cartográficos digitais disponibilizados gratuitamente por instituições governamentais, na internet.

Dessa forma, os seguintes mapas temáticos foram apresentados:

- Hipsometria: identifica o Planalto de Diamantina entre as cotas altimétricas de 1200 m e 1700 m, assim como também é explicitado pela literatura consultada (PFLUG, 1965; SAADI, 1995 e ABREU, 1982);
- Localização: apresenta a posição dos perfis aqui estudados em relação às áreas urbanas, localidades, rodovias, drenagem, curvas de nível e unidades de conservação;
- Declividade: a interpolação das cotas altimétricas gerou classes em graus, as quais permitem distinguir desde os compartimentos de relevos planos até os mais ondulados;
- Hidrográfico: explicita a rede de drenagem da área de estudo e seus respectivos níveis de base.

Ao confeccionar os mapas temáticos, foram utilizadas as mesmas escalas, ou mesmo escalas aproximadas, com intuito de facilitar o estabelecimento das correlações, permitindo, assim, uma boa leitura e interpretação dessas correlações. A projeção geográfica utilizada foi a GCS – *South American*, 1969 e *datum D- South American*, 1969; e todos os tratamentos foram realizados no LEA (Laboratório de Estudos Ambientais Professor Heinz Charles Kohler), situado no Programa de Pós Graduação em Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Quanto ao perfil topográfico, este foi elaborado com base na utilização do *software Spring* (versão 5.1.7). No ambiente do *software* citado foi realizado um perfil longitudinal (trajetória), seguindo a orientação NE-SW, e partindo da coordenada geográfica 43°, 28'11.10''S e 18°,05'12.26''O (ponto a); terminando a seção nas coordenadas 43°,46'40.91''S e 18°, 20'44.28''O (ponto b).

### **3.2 Trabalho de Campo**

O trabalho de campo constitui uma ferramenta ímpar na descrição física e interpretação da paisagem. Sua aplicabilidade está condicionada à necessidade de realização de estudos em uma escala em nível de detalhe: i) observação, ii) descrição, iii) registro e representação, iv) monitoramento, v) amostragem e vi) levantamento.

Cinco trabalhos de campo com um roteiro pré-estabelecido foram realizados no Planalto de Diamantina, entre os anos de 2011 e 2013; com o auxílio de um aparato técnico, do qual fazem parte: GPS (*Global Positioning System*), cartas topográfica, geológica, geomorfológica e de solos, imagens orbitais, além de outros. Os primeiros trabalhos de campo foram fundamentais na escolha dos locais de amostragem representativos desta unidade geomorfológica – que é o planalto; para abertura de trincheiras, bem como para a escolha e limpeza de cortes de estrada; para a descrição e amostragem dos perfis de solo, analisados por esta dissertação.

Ao todo, seis perfis de solo representativos do Planalto de Diamantina, e inseridos em um mesmo compartimento altimétrico, foram escolhidos. A distribuição espacial dos perfis pode ser visualizada no Mapa 7 a seguir, assim como o posicionamento geográfico das amostras de rocha que foram coletadas e analisadas.

Mapa 7: Distribuição dos perfis de solo P-1, P-2, P-3, P-4, P-5 e P-6 e, das amostras de rocha QTZ-1, QTZ-2, QTZ-3, QTZ-4, FIL-1 e FIL-2 no Planalto de Diamantina – Espinhaço Meridional.



- Topossequência
- Amostra de Rocha
- Localidade
- Estrada



Fonte: Imagem Cnes/Spot, 17/11/2006;  
IEF, 2004.  
GCS\_South\_American\_1969  
Datum: D\_South\_American\_1969  
Organização: SANTOS, SOARES e FERREIRA NETO, 2013.  
Laboratório de Estudos Ambientais - PPGTIE - PUC Minas

De acordo com o Manual Técnico de Pedologia (2007), a descrição do solo no campo compreende o registro das características do perfil do solo em seu meio natural. Para isso, foi necessária a caracterização dos horizontes, espessura, cor, textura, estrutura e consistência de todos os perfis estudados. As descrições morfológicas dos perfis de solo foram realizadas com o apoio do Manual Técnico de Pedologia de 2007, Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos de 2006, bem como a tabela de *Munsell* de 1998.

### 3.3 Análises Laboratoriais

As análises laboratoriais contribuem para a caracterização do ambiente pedológico. Os resultados obtidos por meio de análises físicas, químicas e mineralógicas de amostras representativas de solo e rocha, de cada perfil de solo aqui analisado, contribuíram para a construção das hipóteses de formação dos solos de áreas representativas do Planalto de Diamantina.

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Análise de Formação Superficial (LAFS), no Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Rio Claro, São Paulo. O método utilizado para determinação das frações granulométricas dos solos dos perfis selecionados foi o da pipeta, de acordo com Camargo et al. (1986).

Nessa análise, foi possível obter as características texturais do solo, ou seja, obter sua quantificação de acordo com o diâmetro das partículas. Foram considerados os diâmetros de 2,00-0,20 mm para a fração de areia grossa; 0,20-0,05 mm para a fração de areia fina; 0,05-0,002 mm para a fração silte; e menor que 0,002 mm para a fração argila.

Para obter as frações granulométricas de silte, argila, areia fina e areia grossa, os seguintes processos técnicos foram realizados: i) separação de um quartil do total da amostra de solo; ii) pesagem de 10 g de TFSA e sua posterior transferência para a garrafa de *stohmann*, juntamente com 50 ml de solução dispersante (hidróxido de sódio, hexametáfosfato de sódio e água destilada); iii) agitação em Mesa Reciprocante Marconi, em rotação média alta, por um período de 16 horas; iv) peneiração do material em malha com abertura de 0,2 mm, usando o volume máximo de 500 ml; v) pipetagem das frações argila e silte na profundidade determinada pela temperatura (aplicação da Lei de Stockes) vi) secagem do material em Estufa de Secagem e Esterilização Modelo 315 SE; e vii) pesagem do conteúdo em balança de precisão Labor L\_160DTP; viii) tratamento dos dados e elaboração

dos gráficos no *software Excel*. A relação de amostras utilizadas, assim como os percentuais obtidos de areia, silte e argila estão no Anexo A (p. 157).

### 3.4 Extração de Argila

Os procedimentos utilizados para extração de argila foram baseados no *Méthode de Préparation des Argiles de Sols, pour des études minéralogiques* de Robert, M et al., Tessier, 1974). Dezesesseis amostras de solos, dos perfis aqui estudados, foram selecionadas e posteriormente analisadas por meio do DRX (Difração ao Raio X).

Com o intuito de se obter a argila das amostras de solo selecionadas, as seguintes técnicas foram realizadas no Laboratório de Análise de Formação Superficial (LAFS), no Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Rio Claro, São Paulo: i) obtenção de 100 g de TFSA; ii) adição de 150 ml de água destilada; iii) adição de 5 gotas de Hidróxido de Amônia P.A. (NH<sub>4</sub>OH); iv) mistura de todo o conteúdo e posterior repouso por uma noite; v) agitação em Mesa Reciprocante Marconi, em rotação média alta, por 20 minutos; vi) peneiração do material em malha com abertura de 0,053 mm, usando o volume máximo de 100 ml de água destilada; vii) medição da temperatura em suspensão; viii) agitação do conteúdo por 2 minutos; ix) repouso do conteúdo por 8 horas; x) sifonação da argila na profundidade determinada pela temperatura (aplicação da Lei de Stockes); xi) centrifugação do conteúdo em Centrífuga NT 810, em velocidade de 2300RPM e tempo de centrifugação de 20 minutos; e, por fim, xii) separação da argila floculada em recipientes menores e etiquetados. A relação de amostras utilizadas nesta etapa está explícito no Anexo B (p.158).

### 3.5 Química Total

Os procedimentos da análise de Química Total foram realizados no Laboratório de Geoquímica, do Departamento de Petrologia e Metalogenia, do Instituto de Geociências, da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo. Para tal, 44 amostras de solo e rochas foram selecionadas. As determinações foram realizadas por Espectrometria de Fluorescência de Raios X, empregando amostras fundidas em matriz de borato.

Dois pacotes de análises de química total foram realizados, o primeiro objetivando os elementos maiores: SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, LOI; e o

segundo com o intuito de determinar os elementos traços: Cr, Ni, Ba, Rb, Sr, La, Ce, Zr, Y, Nb, Cu, Zn, Co e V.

Os dados obtidos com a referida análise foram tratados e representados por meio de gráficos, com a utilização de dois *softwares*: i) *Excel* e ii) *Kaleida Graph*. A listagem das amostras utilizadas e os respectivos teores dos elementos químicos estão explícitos no Anexo C (p.159).

### 3.6 Difração aos Raios X

Os ensaios por DRX foram realizados no Laboratório de Mineralogia do Nupegeo, na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Estado de São Paulo.

As análises mineralógicas por DRX foram realizadas em amostras de argila em solução (água destilada e argila) – ao todo, 16 amostras. Para tal, foi utilizado o difratômetro Philips PW 1877 operado em potencial de 40 kV, corrente de 40 mA, fonte de Cu (radiação  $K\alpha$ ,  $\lambda=1,54186 \text{ \AA}$ ), com monocromador para eliminação da radiação  $K\beta$ , com varredura de passo de  $0,02^\circ$  ( $2\theta$ ) e tempo de acumulação de 1 segundo por passo.

Para obtenção da assembleia mineralógica, as amostras de argila em solução foram depositadas em lâmina de vidro e analisadas em amplitude de varredura de  $3^\circ$  a  $65^\circ$  ( $2\theta$ ). Os dados obtidos com os ensaios foram organizados em difratogramas – que, por sua vez, apresentavam picos de valores que podem ser decifrados com base no *Mineral Powder Diffraction File: Data Book* de 1991.

### 3.7 Micromorfologia

A micromorfologia é uma técnica de estudo de amostras não deformadas de solo e de rochas que permite, com a ajuda de técnicas microscópicas, identificar os constituintes elementares e suas diversas associações (FILIZOLA; GOMES, 2004). Ainda segundo os autores, o objetivo dessa técnica é descrever o arranjo dos constituintes do solo ou da rocha e identificar os processos responsáveis pela sua formação e transformação.

As amostras de solo, canga e rocha analisadas nesta dissertação foram coletadas em seis trincheiras e um corte de estrada. As amostras de solo foram coletadas e armazenadas em potes revestidos de plástico, e com algodão em seu interior – já que o solo ou material

proveniente da alteração da rocha é friável; as amostras de rocha foram coletadas e armazenadas em sacos plásticos identificados.

A impregnação dessas amostras, assim como a interpretação das lâminas delgadas, se deu no Laboratório de Análise de Formação Superficial (LAFS), no Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Rio Claro, São Paulo. Já o desbaste das amostras e a confecção de lâminas foram realizados no Laboratório de Laminação, da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, Minas Gerais.

O procedimento de impregnação consiste em introduzir resina líquida (Araldite Industrial GY-257) nos espaços porosos da rocha alterada ou do solo, que endurece em seu interior por polimerização. Esta operação é feita introduzindo-se a amostra no interior de um dessecador onde o ar e os fluidos nela contidos são retirados por vácuo. Ainda sob vácuo, despeja-se a resina no recipiente com as amostras; posteriormente, ao se estabelecer a comunicação com a pressão atmosférica, a resina é injetada no interior da amostra por diferencial de pressão.

Em média, as lâminas delgadas possuem espessura de 30  $\mu\text{m}$  e tamanho de 1,8x30x40mm. As observações, descrições e fotografias das referidas lâminas de solo e rocha foram realizadas em microscópio Zeiss Axioskop 40, alocado no Laboratório de Análise de Formação Superficial (LAFS), no Instituto de Geociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Rio Claro, São Paulo.

### **3.8 Determinação do potencial de Hidrogênio (pH) em água**

Com base no Manual de métodos de análise de solo (EMBRAPA, 1997) e com apoio logístico do Laboratório de Química, do departamento de Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais foi realizada a leitura do pH das amostras de solo em água. A utilização dessa técnica auxiliou nas interpretações sobre a fertilidade, grau de intemperismo, via de intemperismo/pedogênese dominante, potencial do uso do solo.

Os procedimentos técnicos utilizados para leitura do pH em síntese foram: i) medir 10  $\text{cm}^3$  de amostra de solo; ii) acrescentar 25 ml de água destilada; agitar a mistura; iii) aguardar 60 minutos para que a acidez ativa do solo fosse liberada para a água; iv) agitar novamente antes de realizar a leitura a fim de evitar o efeito de suspensão e calibrar o aparelho pHmetro com amostras de pH conhecidos (4, 7 e 9); v) ambientar o aparelho pHmetro com a amostra sob análise; vi) realizar a leitura das amostras de solo no pHmetro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA., 1997).

### 3.9 Tratamento dos dados

Os resultados obtidos com os procedimentos laboratoriais destacados acima serão apresentados no formato de gráficos e tabelas. O *software* base utilizado para tal tratamento foi o *Excel*. Além das representações gráficas dos teores de elementos químicos Al e Fe, principalmente, ao longo das sequencias verticais para que se detectem as perdas em comparação com elemento imóvel (Zr), as análises permitem a elaboração de cálculos de balanço de massa (CHADWICK; BRIMHALL; HENDRICKS, 1990).

Três tipos principais de representação dos dados estatísticos foram utilizados: i) representação dos teores de frações granulométricas e de alguns elementos químicos mais importantes em perfis verticais, de acordo com a profundidade; ii) representação em diagramas triangulares dos teores das frações granulométricas e de alguns elementos químicos mais importantes; e iii) representação dos balanços de massa (função transporte), em perfis verticais, para alguns elementos químicos mais importantes, visando a identificação das áreas de perdas e acumulações relativas desses elementos em relação a um elemento de maior estabilidade no perfil (elemento menos móvel).

Para realização dos cálculos, foi utilizado uma função de transporte para sistemas químicos abertos, desenvolvida por Chadwick, Brimhall e Hendricks (1990). A fração de massa do elemento  $j$  ganha ou perdida do solo durante a pedogênese em comparação com a massa de  $j$  originalmente presente no material parental é calculada pela equação:

$$\tau_{j,w} = (C_{j,w}/C_{j,p} \cdot C_{i,p}/C_{i,w})^{-1}$$

Onde  $w$  se refere ao material intemperizado,  $p$  se refere ao material parental e  $i$  se refere ao elemento de referência, menos móvel. O elemento utilizado como referência para realização dos cálculos foi Zr (Zircônio). Estudos comprovam que o Zr como índice de intemperização pode fornecer meios para a avaliação da uniformidade de depósitos, além de mudanças ocorridas durante a pedogênese (SUDON; ARNAUD, 1971; BRIMHALL; DIETRICH; PARAHYBA, 1987; COLIN; VICILLARD, 1993; SANTOS; ROLIM NETO, 2009). As amostras selecionadas para servirem de referência para o material parental ( $i$ ) e associação com os perfis de solo, aqui analisados, estão no Quadro 4 a seguir:

**Quadro 4: Amostras utilizadas como referência de material origem para os cálculos de FT.**

<b>Amostra</b>	<b>Perfil de solo</b>
FIL-1	P-1, P-3 e P-5
P2-380	P-2
FIL-2	P-4
P6-170	P-6

**Fonte: Dados da pesquisa, 2012.**

Ressalta-se, ainda, uma restrição ao uso do balanço de massa (Função Transporte): sendo as rochas muito heterogêneas, as amostras podem apresentar importantes diferenças nos teores dos elementos químicos em distâncias de poucos centímetros. Assim, as amostras de rochas usadas como referência podem não apresentar de forma ideal a composição do material de origem das formações superficiais a elas sobrepostas. Trata-se, assim, de aproximações.

#### **4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, QUÍMICAS, MINERALÓGICAS E MICROMORFOLÓGICAS DOS PERFIS ESTUDADOS**

Os resultados, a seguir descritos, apresentam as características morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e micromorfológicas de amostras deformadas e indeformadas de solo e rocha de seis perfis de solo, situados em áreas representativas do Planalto de Diamantina, Minas Gerais. Com a integração dos resultados obtidos em campo e com os dados laboratoriais, objetivou-se uma visão integrada das formações superficiais estudadas, a qual permitiu-nos realizar inferências acerca de sua formação e comportamento.

##### **4.1 Substrato dos perfis de solo estudados**

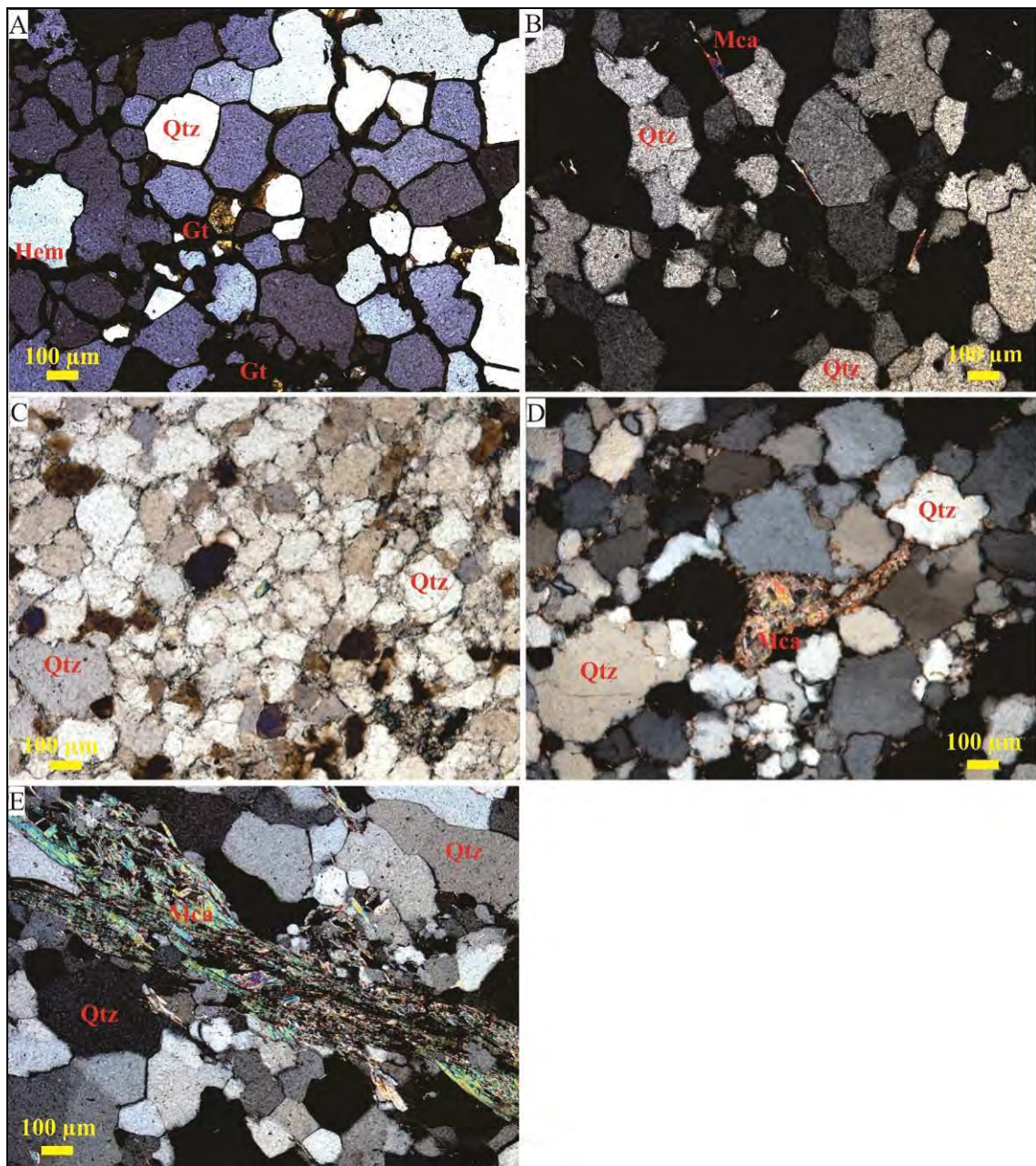
Assim como foi tratado na caracterização da área, especificamente no tópico “geologia”, evidenciou-se com o Mapa de Geologia (Mapa 4) que os perfis de solo, aqui estudados, estão distribuídos sobre as formações São João da Chapada, Sopa Brumadinho e Galho do Miguel. Em campo, amostras correspondentes ao quartzito e filito foram coletadas nas proximidades dos perfis de solo, analisados por esta dissertação – ao todo, cinco amostras de quartzito e duas de filito.

As amostras de quartzito QTZ-1, QTZ-2 e QTZ-5 foram coletadas na Unidade de Conservação de Proteção Integral do Parque Estadual do Biribiri, nas coordenadas geográficas 18°11'56.4"S/ 43°36'00.0"W, 18°12'59.1"S/ 43°35'43.7"W, e 18°11'46.2"S/ 43°36'03.9"W, respectivamente. As amostras de QTZ-3 e QTZ-4 foram coletadas às margens da MG-220, próximo ao entroncamento com a Rodovia BR-367, nas coordenadas geográficas 18°16'07.7"S/ 43°41'06.7"W e 18°16'07.08"S/ 43°41'06.7"W. Quanto às amostras de filito FIL-1 e FIL-2, estas foram coletadas na Unidade de Conservação de Proteção Integral do Parque Estadual do Biribiri, nas coordenadas geográficas 18°12'1.5"S/ 43°36'00.0"W e 18°12'13.6"/ 18°12'13.6".

A figura 13 a seguir apresenta fotomicrografias das seguintes amostras: QTZ-1, QTZ-2, QTZ-3, QTZ-4 e QTZ-5. A partir do estudo das referidas fotomicrografias, algumas observações podem ser feitas: i) o grau de semelhança entre as fotomicrografias; ii) a predominância do mineral quartzo em ambas fotomicrografias, com faixas de micas muscovita; iii) presença de minerais acessórios; e iv) a cimentação dos grãos de quartzo, principalmente na Figura C.

Em campo foi constatado que as amostras QTZ-3 e QTZ-4 correspondem ao substrato rochoso do perfil de solo 6. As demais amostras QTZ-1, QTZ-2 e QTZ-5 foram extraídas de lentes de quartzitos em meio a filito, por vezes identificadas por meio de afloramentos rochosos.

**Figura 13: Fotomicrografias das amostras de quartzito a) QTZ-1, b) QTZ-2, c) QTZ-3, d) QTZ-4, e) QTZ-5.**



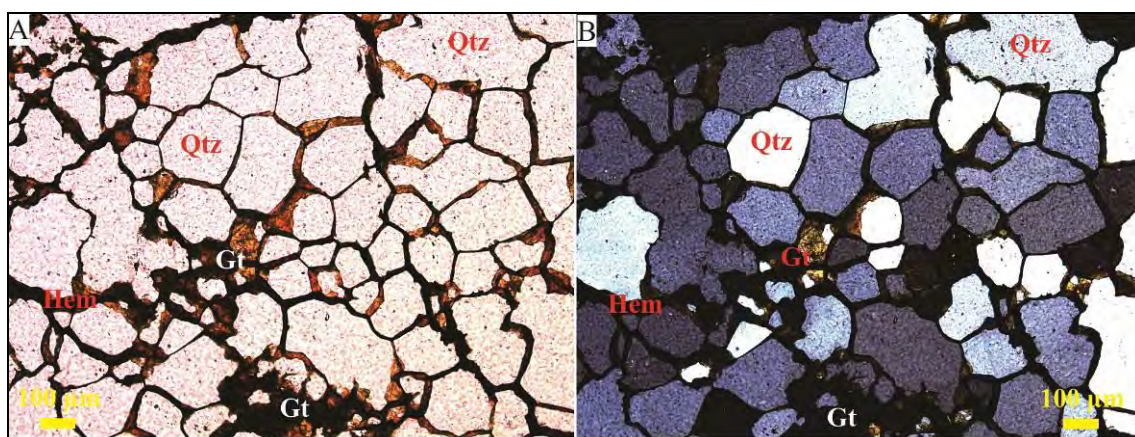
Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

Fotomicrografias A, B, C e D com Luz Polarizada (LP), com aumento de 10x. A amostra QTZ-1 (Fotomicrografia A) foi retirada numa zona de plintossolos, na base da vertente que tem, no seu topo, os perfis de solo 1 e 2; a amostra QTZ-2 (Fotomicrografia B) foi coletada em um afloramento próximo ao perfil de solo 5; as amostras QTZ-3 e QTZ-4 (Fotomicrografias C e D) foram extraídas de um afloramento próximas ao perfil de solo 6; e a amostra QTZ-5 (Fotomicrografia E) coletada no topo da vertente,

próximo ao perfil de solo 3. O quartzo em todas as Fotomicrografias é o mineral quase exclusivo. A Fotomicrografia “A” mostra a ferruginização do cimento entre os grãos de quartzo. Abreviações: Hematita (Hem), Goethita (Gt), Quartzo (Qtz) e Mica (Mca).

As análises das Fotomicrografias A e B (figura 14) correspondentes à amostra de quartzito (QTZ-1) – extraída de quartzito intercalado em meio a uma área com predominância da litologia filito – apontaram os seguintes minerais: quartzo, goethita e hematita. Observou-se, com o auxílio das fotomicrografias, que o mineral predominante na seção delgada é o quartzo, que sob luz normal é translúcido e sob luz polarizada apresenta uma variação de tons de cinza. Os grãos de quartzo possuem formato irregular, e sua cimentação é realizada principalmente pelos minerais goethita e hematita. O quartzito apresentava-se ferruginizado nesse ponto de afloramento.

**Figura 14: Fotomicrografias da amostra de quartzito, QTZ-1.**



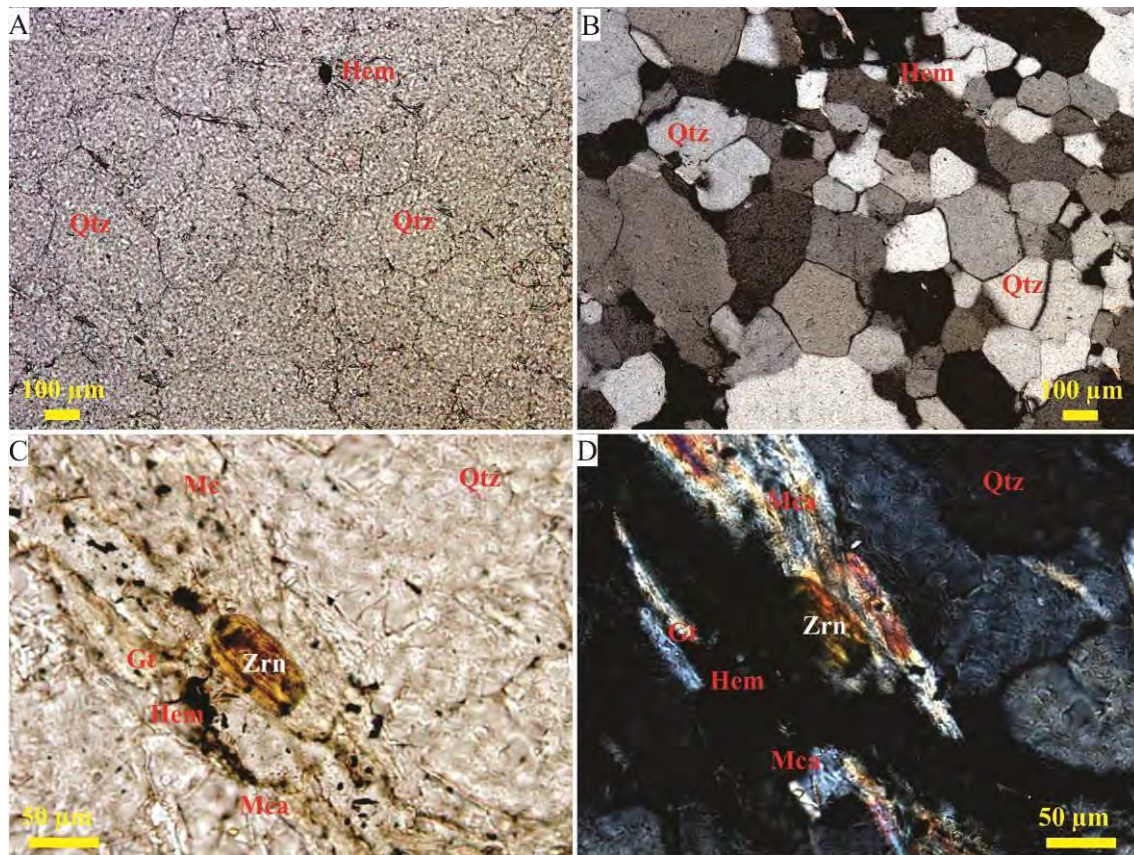
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Fotomicrografias “A” com Luz Normal (LN) e “B” com Luz Polarizada, com aumento de 10x.

Abreviações: Mica (Mca), Goethita (Gt), Quartzo (Qtz) e Hematita (Hem). O mineral quartzo é predominante nas seções delgadas. Observa-se a ferruginização do cimento entre os grãos.

Com base nas fotomicrografias A, B, C e D, da amostra de quartzito (QTZ-2, Figura 15), os seguintes minerais foram identificados: quartzo, mica, hematita, goethita e zircão. Predominante nas seções delgadas analisadas, o mineral quartzo possui grãos com formatos irregulares, e não foi ferruginizado como na amostra QTZ-1. O mineral zircão também pode ser observado nas fotomicrografias C e D, apesar de sua expressão pouco considerável nas seções delgadas descritas. O zircão apresenta um formato arredondado, como o padrão de cores associado a tons de castanho, tanto sob influência de luz normal, quanto de luz polarizada – apesar de ser mais nítido sob luz normal. A mica, possivelmente o mineral muscovita, apresenta tons de verde e azul sob luz polarizada (Figuras A e B).

**Figura 15: Fotomicrografias da amostra de quartzito, QTZ-2.**



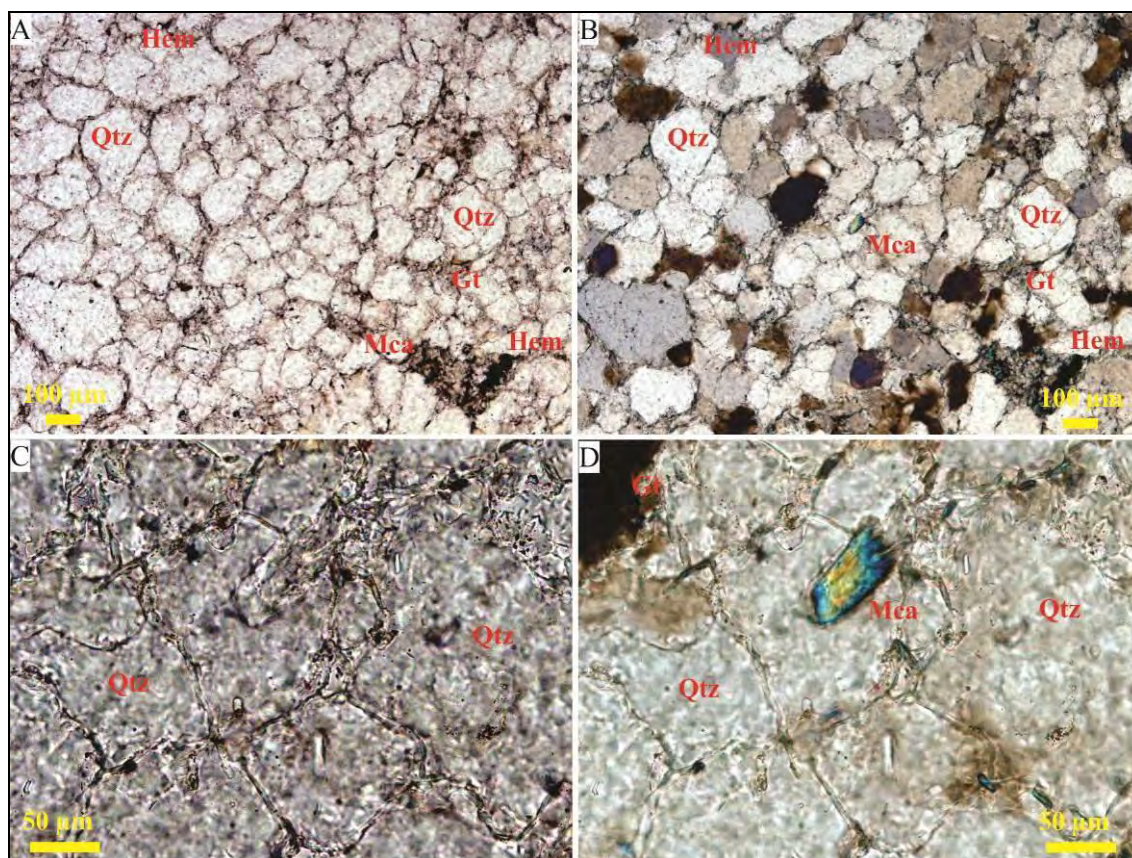
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Fotomicrografia “A” com Luz Normal (LN), aumento de 10x; fotomicrografia “B” com Luz Polarizada (LP), aumento de 10x; fotomicrografia “C” com Luz Normal (LN), aumento de 5x; fotomicrografia “D” com Luz Polarizada (LP), com aumento de 5x. Observa-se a predominância do mineral quartzo em ambas as seções delgadas. Presença de micas, possivelmente muscovita/Sericita. Presença do mineral acessório zircão.

Abreviações: Mica (Mca), Quartzo (Qtz), Zircão (Zrn), Goethita (Gt) e Hematita (Hem).

As fotomicrografias A, B, C e D (Figura 16) apresentam a assembleia mineralógica identificada a partir das seções delgadas da amostra de quartzito (QTZ-3), correspondente ao substrato rochoso do perfil de solo 6. Os minerais identificados são: mica, quartzo, hematita e goethita. Observou-se o amplo predomínio do mineral quartzo em ambas as fotomicrografias analisadas; quanto às áreas opacas, estas correspondem à hematita. Já a goethita apresenta tons de marrom claro sob influência de luz polarizada (Figuras C e D).

**Figura 16: Fotomicrografias da amostra de quartzito, QTZ-3.**



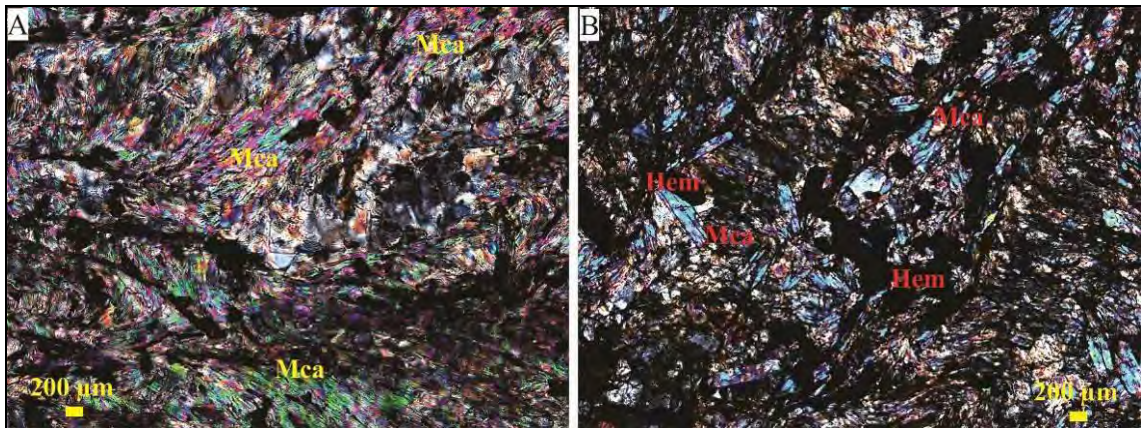
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Legenda: Fotomicrografia “A” com Luz Normal (LN), aumento de 10x; fotomicrografia “B” com Luz Polarizada (LP), com aumento de 10x; fotomicrografia “C” com Luz normal, aumento de 5x; fotomicrografia “D”, com Luz Polarizada (LP), aumento da 5x Predominância do mineral quartzo em ambas as seções delgadas. Presença do mineral acessório turmalina.

Abreviações: Mica (Mca), Quartzo (Qtz), Hematita (Hem) e Goethita (Gt).

As seções delgadas das amostras de filito FIL-1 e FIL-2 constam na figura 17. Observou-se, com o auxílio das fotomicrografias A e B, que as micas, possivelmente muscovitas/sericita são dominantes, porém há uma quantidade significativa de hematita entre elas, principalmente na amostra A. De acordo com as observações em campo, a amostra FIL-1 equivale ao substrato rochoso dos perfis de solo 1, 2, 3 e 5, enquanto a amostra FIL-2 corresponde ao substrato rochoso do perfil de solo 4.

**Figura 17: Fotomicrografias das amostras de filito a) FIL-1 e b) FIL-2.**

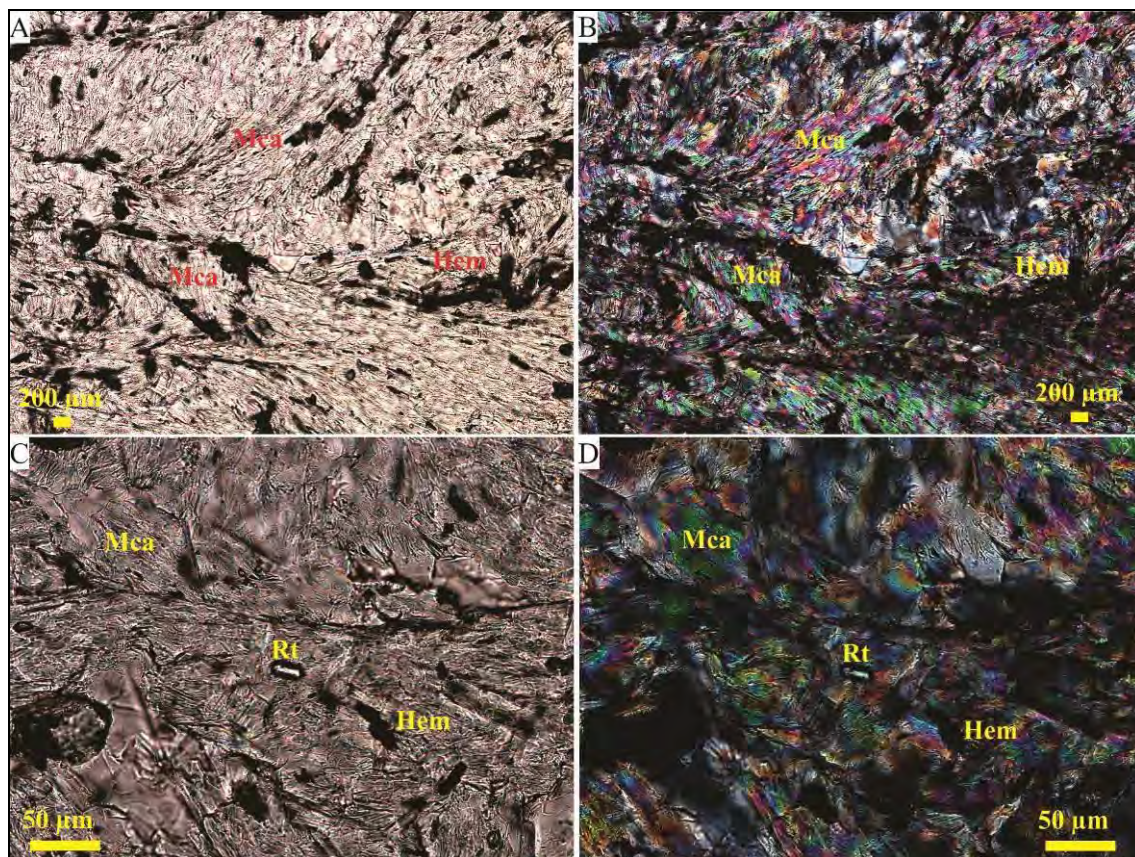


Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

Fotomicrografias com Luz Polarizada (LP), e aumento de 20x. A fotomicrografia “A” representa a amostra de filito cinza, com a predominância de micas, provavelmente muscovita/sericita. A fotomicrografia “B” corresponde ao filito hematítico, as áreas opacas correspondem ao mineral hematita. Abreviações: Mica (Mca) e Hematita (Hem).

Os resultados obtidos com análises das fotomicrografias A, B, C e D (Figura 18 da amostra de filito – FIL-1) apontaram os seguintes minerais: micas, goethita, hematita e rutilo. Com o auxílio do microscópio petrográfico, foi possível identificar também o mineral turmalina, porém não foi possível destacá-lo nas fotomicrografias. Observou-se, ainda, que os espaços opacos em ambas as imagens, sob luz normal e plana, correspondem, principalmente, aos minerais hematita e goethita. As micas estão em boa parte da seção delgada, sob luz normal são translúcidas ou apresentam um tom próximo ao marrom claro, e sob luz polarizada o padrão muda para tons de verde e azul. O mineral rutilo pode ser observado nas fotomicrografias C e D – apesar da pouca expressão na fotomicrografia. O rutilo é translucido com uso de luz normal e apresenta tons de verde e azul.

**Figura 18: Fotomicrografias A, B, C e D da amostra de filito, FIL-1.**



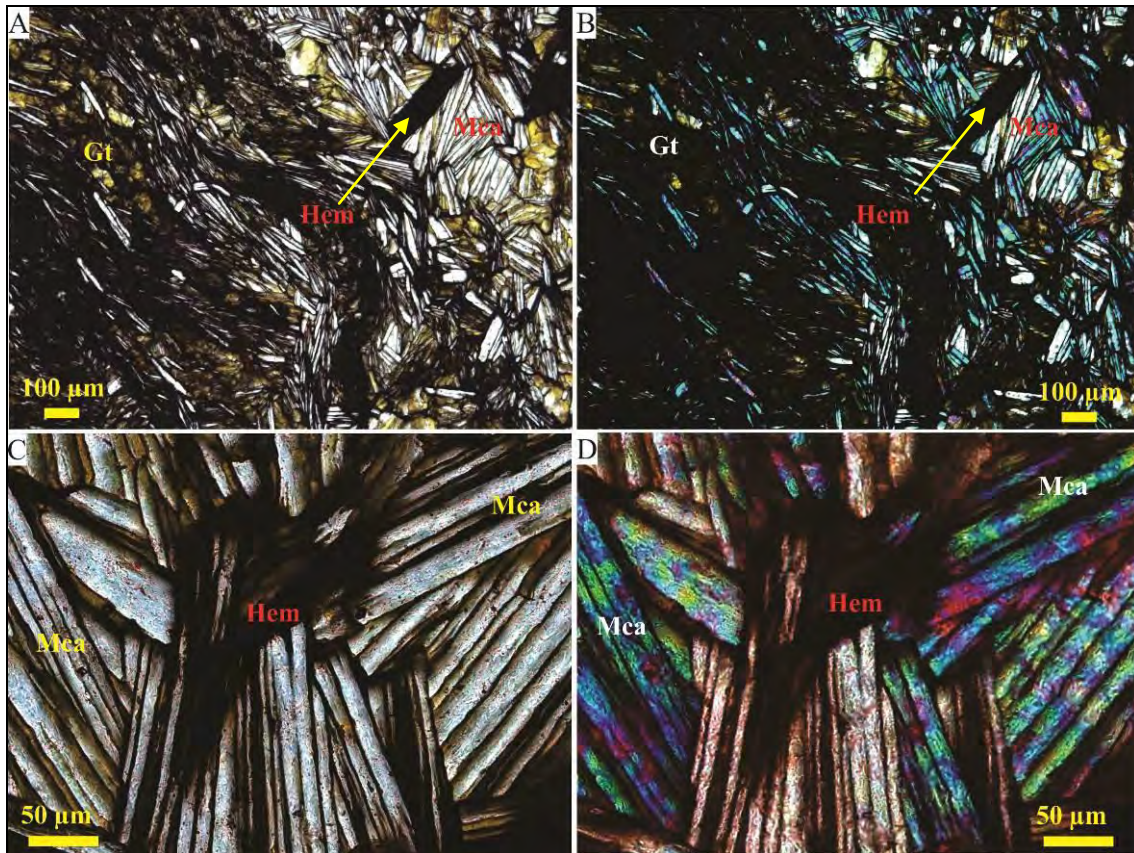
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Fotomicrografia “A” com Luz Normal (LN) e aumento de 20x; fotomicrografia “B” com Luz Polarizada(LP) com aumento de 20x; fotomicrografia “C” Luz Normal (LN) e aumento de 5x; fotomicrografia “D” com Luz Polarizada (LP) e aumento de 5x.

Abreviações: Mica (Mca), Goethita (Gt), Hematita (Hem) e Rutilo (Rt).

A amostra FIL-2 (Figura 19) foi coletada na base do perfil de solo 4 a aproximadamente 140 cm. Os seguintes minerais foram identificados a partir das fotomicrografias A, B, C e D: micas, hematita e goethita. As áreas opacas, principalmente nas fotomicrografias C e D, sob efeito de luz polarizada constituem os minerais goethita e hematita – a amostra FIL-2 apresenta maior concentração de hematita que FIL-1. A goethita sob luz normal pode ser translúcida bem como apresentar tons de marrom claro (fotomicrografia A). As micas apresentam tons de verde e azul com uso da luz polarizada.

**Figura 19: Fotomicrografias da amostra de filito, FIL-2.**



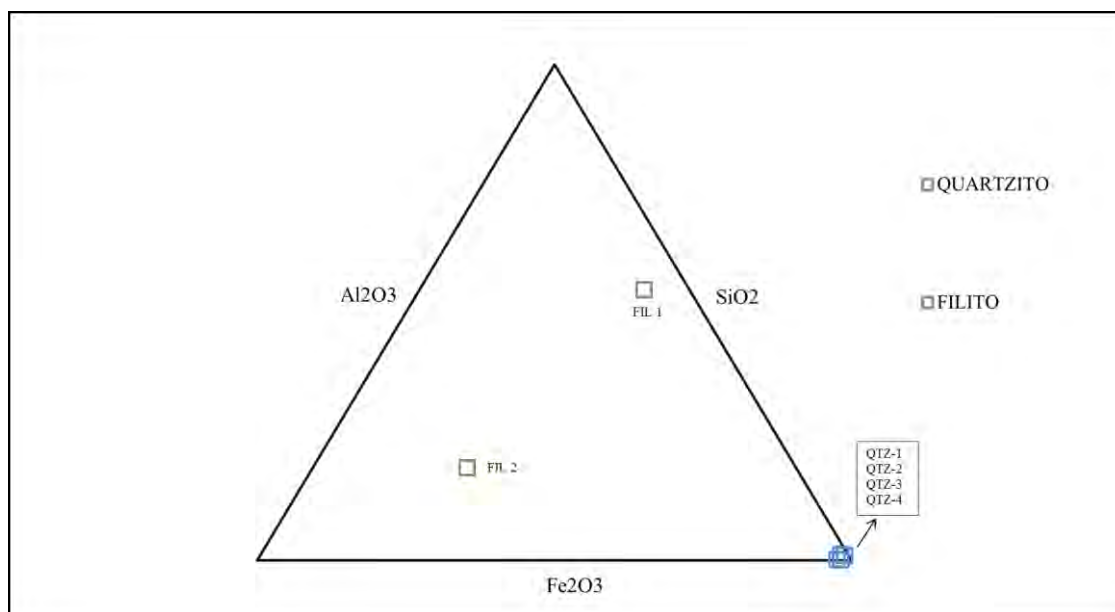
Fonte: da pesquisa, 2013.

Fotomicrografia “A” com Luz Normal (LN) e aumento de 10x; fotomicrografia “B” com Luz Polarizada(LP) com aumento de 10x; fotomicrografia “C” Luz Normal (LN) e aumento de 5x; fotomicrografia “D” com Luz Polarizada (LP) e aumento de 5x.

Abreviações: Mica (Mca), Goethita (Gt) e Hematita (Hem).

Os resultados de química total das amostras de quartzito e de filito (gráfico 18), demonstram a distribuição dos teores de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$ . As amostras QTZ-1, QTZ-2, QTZ-3 e QTZ-4, concentradas na base do triângulo, à direita, possuem elevada concentração de  $SiO_2$ , e, em contrapartida, teores baixos de  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$ . As amostras de filito possuem aproximadamente a mesma quantidade de  $SiO_2$ , o que as difere é que FIL-1 é mais aluminosa, possuindo teores baixos de  $Fe_2O_3$ , e a FIL-2 é mais ferruginosa com teores baixos de  $Al_2O_3$ .

**Gráfico 18: Triângulo de distribuição dos teores de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$  das amostras de rocha QTZ-1, QTZ-2, QTZ-3, QTZ-4, FIL-1 e FIL-2.**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

## 4.2 Caracterização dos perfis de solos

Este tópico tem como objetivo apresentar uma descrição geral dos seis perfis de solo analisados por esta dissertação, quanto à morfologia, à química total, ao pH e à mineralogia. As descrições apresentadas a seguir tiveram como base os levantamentos de campo, as fotografias e as análises laboratoriais.

### 4.2.1 Morfologia

- **Perfil 1:**

Descrições morfológicas do perfil de solo 1 (Figura 20) já foram anteriormente apresentadas por Eloy et al.,(2011) – em seus estudos, que denominaram o referido perfil, de TR-1. Possui altitude de 1443 m. Está localizado na Unidade de Conservação de Proteção Integral do Parque Estadual do Biribiri, na porção sudeste do município de Diamantina, nas coordenadas geográficas S18°11'46 / W43° 35'.

A vegetação predominante nas proximidades do perfil de solo 1 é o Campo Limpo; o relevo é plano, o substrato rochoso identificado é o filito, da Formação Sopa-Brumadinho, Grupo Guinda.

O perfil de solo 1, um PLINTOSSOLO de cor bruno amarelada (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006), tem 100 cm de profundidade. Durante as observações em campo identificou-se a manifestação de atributos que propiciam a formação de plintita – a segregação de ferro está localizada na base do perfil. Os horizontes identificados neste perfil são: A, AE, stone line, BC e C..

**Figura 20: Foto do perfil de solo 1 com os pontos de coleta de amostras e suas profundidades em cm.**



Fonte: Do autor, 2012.

A 0-11cm, bruno-amarelado (10YR 5/6); transição gradual em relação ao

horizonte inferior, quanto à cor e textura; classe textural franco-argiloso-arenoso; a estrutura é granular pequena, fraca, moderada.

AE 11-16 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6); transição gradual, quanto à cor; classe textural franco-argiloso-arenoso; a estrutura é granular pequena, com blocos pequenos.

SL 16-31 cm, bruno-amarelado (10YR 5/5); transição abrupta quanto à cor e textura; classe textural franco-arenosa a matriz é granular pequena e blocos muito pequenos. O cascalho é formado por nódulos de ferro e secundariamente por quartzo (de 3 a 5 mm).

BC 31-38/50 cm; apresenta matriz rosada (7,5YR 8/4) com algumas manchas em vermelho escuro (10YR4/8) - consistência dura, e relíquias do horizonte C; a transição é gradual quanto à cor e abrupta em relação ao material; a classe textural é silto-argilosa. Observou-se a presença de alguns fragmentos de quartzo de até 5 mm, principalmente no topo do horizonte que está em contato com a *stone line*.

C 38/50 a 100+ cm, cor heterogênea, predominando o vermelho-claro (2,5YR 6/6), com zonas brancas ao longo de fissuras e poros tubulares; classe textural siltosa; Observou-se a presença considerável de material primário e estrutura petrográfica bem preservada.

- **Perfil 2:**

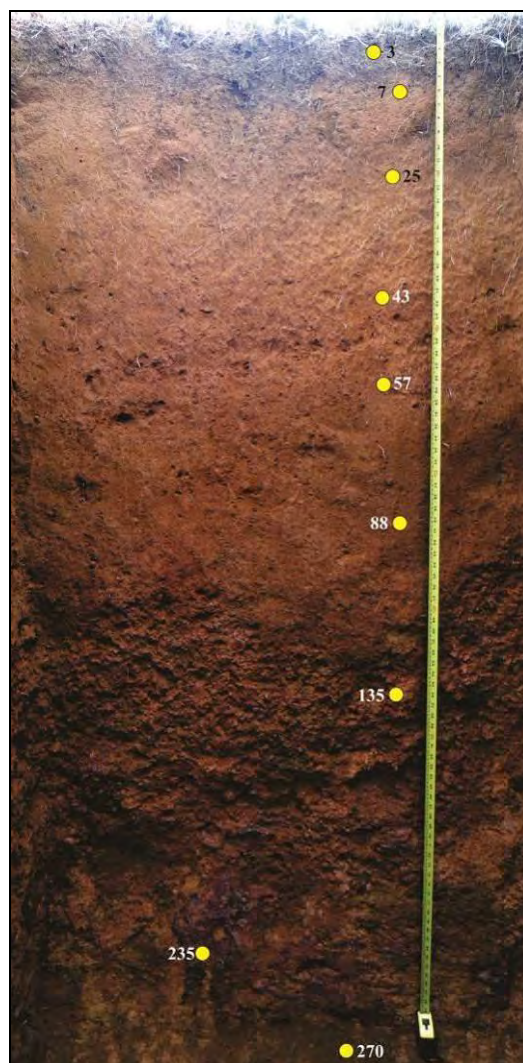
Assim como o perfil de solo 1, descrições morfológicas do perfil de solo 2 já foram anteriormente apresentados por Eloy et al.,(2011) e Ferreira Neto (2012) – ambos, em seus estudos ,denominaram o referido perfil de TR-2.

O perfil de solo 2 (Figura 21) possui 1425 m de altitude e está localizado na Unidade de Conservação de Proteção Integral do Parque Estadual do Biribiri, nas coordenadas geográficas S18°11'47.6"/ W 43°35'51.5". A profundidade do perfil é de 270 cm, o qual pode ser classificado como LATOSSOLO de cor vermelho-amarelo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006) composto pelos horizontes A, BA, B2, SL, BC1,

BC2, BCc e C Situa-se em relevo plano; a vegetação predominante nas imediações do perfil é o Campo limpo; a litologia identificada é o filito, pertencente à Formação Sopa-Brumadinho, Grupo Guinda.

- A11 0-4 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4); transição gradual quanto à cor e textura; a textura é franco-argilo-arenosa; a estrutura é granular pequena.
- A12 4-11 cm, bruno-amarelado-escuro (10YR 4/5); transição gradual quanto à cor e textura; a textura é franco-argiloso-arenosa; a estrutura pequena e média.
- BA 11-34cm, bruno-amarelado (10YR 5/8); transição clara e plana; classe textural é franco-argiloso-arenosa; a estrutura apresenta blocos grandes.
- B2 34-54 cm, bruno-forte (7,5YR 5/8); transição plana e gradual; classe textural argilo-arenosa; a estrutura apresenta blocos grandes, grânulos pequenos.
- SL 54-61, vermelho-Amarelo (5YR 4/6); este horizonte é marcado pela presença de uma estreita linha pedras; transição em relação ao horizonte inferior é plana e gradual; classe textural argilo-arenosa; a estrutura apresenta blocos médios, grânulos pequenos a muito pequenos, nódulos esparsos de até 1cm.

**Figura 21: Foto do perfil de solo 2.**



**Fonte: Do autor, 2012.**

BC1 68-78/123, vermelho amarelo (5YR 4/6), com matriz vermelho-amarelo-brunado e presença de nódulos de ferro esparsos que podem chegar a 1 cm; transição plana; classe textural caracterizada como argilo-arenosa;

BC2 78-123 cm, vermelho-escuro (2,5YR 3/6), observou-se ainda, a presença de domínios de cor ocre; a transição é difusa em relação à cor, e gradual ao tratar-se do material fragmentado; a classe textural assinala-se como argila-arenosa.

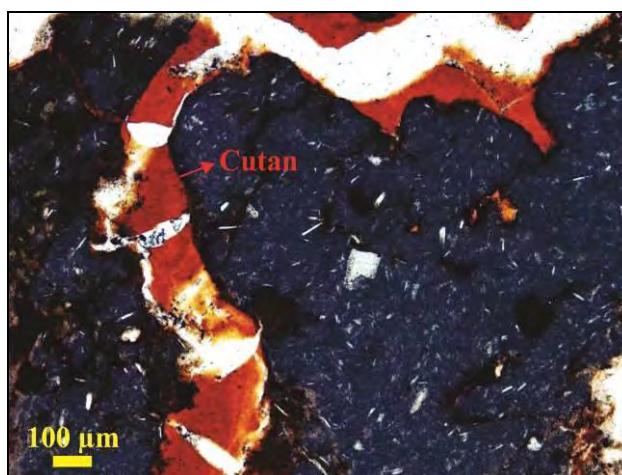
126-270 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8), com domínios de amarelo-

avermelhado; quatro amostras foram coletadas neste horizonte, nas profundidades: 135, 195, 237 e 270 cm; assim, a classe textural apresentou algumas variações, dentre elas: argila (270cm), argilo-arenosa (237cm), argilo-arenosa (195cm) e argilo-arenosa (135cm); a estrutura apresenta concreções ferruginosas (até 5 cm), que predominam na matriz.

271-380 cm, amarelo-avermelhado (5YR 6/6), com zonas rosa claro e amarelo claro; a classe textural apresentou-se como franco-arenosa (380 cm) e franco-argilo-arenoso (325 cm); duas amostras foram coletadas por meio de tradagem neste horizonte, a 325 cm e 380 cm

A fotomicrografia (Figura 22), obtida a partir de amostra situada na base do perfil de solo 2 (horizonte C), mostra a presença, em meio à matriz do horizonte, de cor acinzentada, com presença de fragmentos de minerais primários pouco intemperizados (micas, sobretudo, na forma de pequenas “agulhas”), de um poro fissural parcialmente preenchido por cutan de cor vermelho-amarelada, ferruginoso.

**Figura 22: Fotomicrografia de amostra indeformada do solo extraída do perfil de solo 2.**



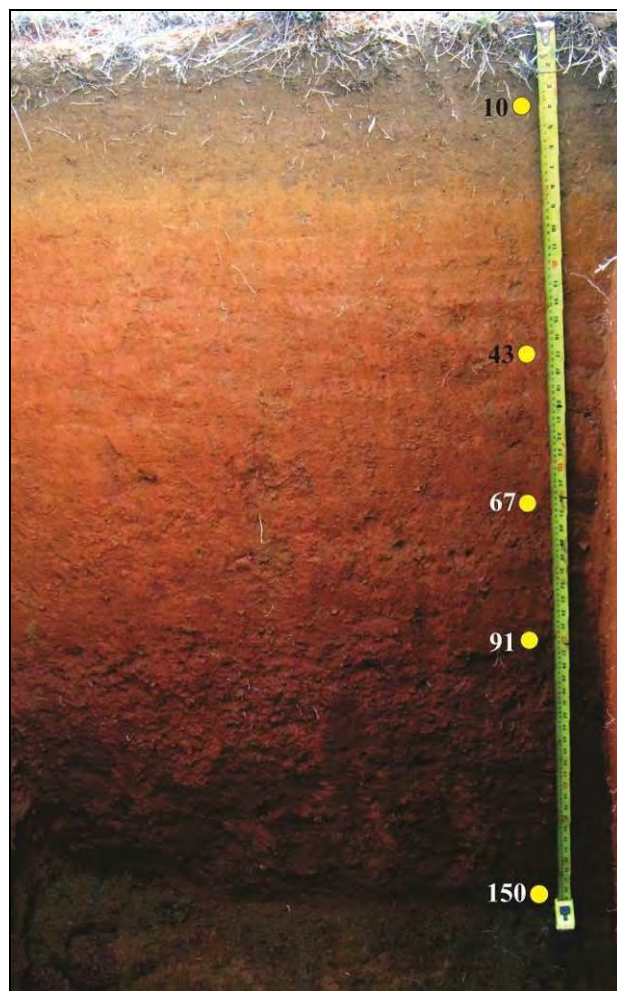
**Fotomicrografia com Luz Polarizada (LP) e aumento de 10x. A micrografia apresenta um poro fissural preenchido por cutan ferruginoso.  
Fonte: Dados da pesquisa, 2012.**

- **Perfil 3:**

O perfil de solo 3 (Figura 23) possui 150 cm de profundidade, altitude de 1423 m e está localizado na Unidade de Conservação de Proteção Integral do Parque Estadual do Biribiri, nas coordenadas geográficas S18°11'44.3"/W43°35'50.4. A vegetação predominante no local onde se encontra o perfil é o Campo Limpo; o relevo é plano; do ponto de vista geológico, a formação identificada é a Sopa-Brumadinho; o substrato rochoso é o filito.

O referido perfil pode ser classificado como LATOSSOLO de cor vermelho-amarelo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006). Os seguintes horizontes foram identificados: A1, A3, B1, B2, B2c, B3c e BC.

**Figura 23: Foto perfil de solo 3.**



Fonte: Do autor, 2012.

A12 1-17 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8); transição difusa quanto à cor;

textura franco-argilosa; a estrutura foi definida como granular.

- A3 17-25 cm, bruno-amarelado (10YR 5/8); transição gradual quanto à cor; textura franco-argilosa; a estrutura apresentou-se em blocos.
- B1 25-47 cm, bruno-forte (7,5YR 5/8); transição difusa com referência à cor e textura; classe textural argila; estrutura em blocos.
- B2 47-75 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8); transição difusa no que se refere à cor; classe textural argila; estrutura em blocos
- B2c 75-95 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8); transição difusa em relação à cor; classe textural argila; a estrutura é maciça. Observa-se a presença de material concrecionário, ferruginoso.
- B3c 95-150 cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8); classe textural argila; ainda há nódulos de ferro esparsos com diâmetro de até 1 cm; estrutura maciça.
- C 150-225+ (profundidade alcançada por meio de tradagem), vermelho (2,5YR 4/8); classe textural franco-arenosa; estrutura maciça.

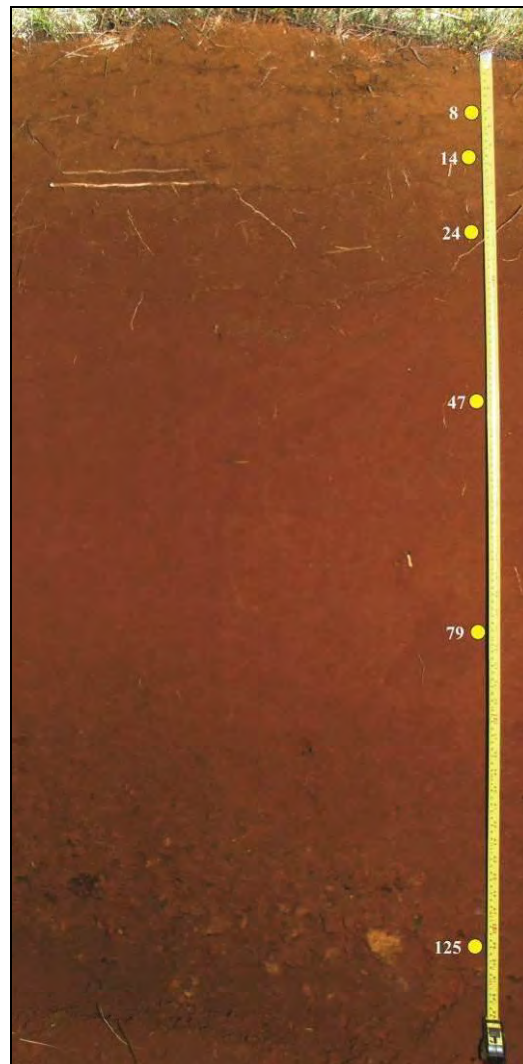
- **Perfil 4:**

O perfil de solo 4 (Figura 24) possui 1423 m de altitude, e localiza-se na Unidade de Conservação de Proteção Integral do Parque Estadual do Biribiri, nas coordenadas geográficas S18°11'44.3"/ W43°35'50.4. O perfil de solo possui 150 cm de profundidade. A vegetação predominante em seus arredores é de Campo Cerrado; o relevo é plano, com declividade variando entre 0 e 3°; a litologia predominante é o filito-hematítico, pertencente à Formação Sopa-Brumadinho, Grupo Guinda.

Trata-se de um LATOSSOLO de cor vermelho escuro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006). Neste sistema, como caracterizou Resende et al., (1999), os solos geralmente são profundos, com pouca diferenciação entre os horizontes. Os horizontes do perfil de solo 4, identificados, são: A12, A13, A3, B1, B2, Bc e CR.

- A12 1-10 cm, bruno-forte (7,5YR 4/6); transição gradual quanto cor; classe textural franco-argiloso-arenoso; estrutura granular.
- A13 10-18 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6); transição gradual em relação à cor; classe textural franco-argiloso-arenoso; estrutura granular.
- A3 18-30 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6); transição difusa com referência à cor; classe textural franco-argiloso-arenoso; estrutura granular.
- B1 30-65 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6); transição difusa quanto a cor; classe textural franco-argiloso-arenoso; estrutura em blocos e microagregados.
- B2 65-97 cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6); transição difusa quanto à cor e textura; classe textural franco-argilosa; estrutura em blocos com presença de microagregados.
- Bc 97-135 cm, vermelho (2,5YR 4/8); transição difusa em relação cor e estrutura; classe textural argila; estrutura em blocos com presença de microagregados; observou-se a presença de concreções ferruginosas maiores que 1cm;
- CR 135-150+ cm, vermelho (2,5YR 4/8); classe textural argila; estrutura em blocos com presença de microagregados; identificaram-se fragmentos de filito pouco intemperizados.

**Figura 24: Foto de perfil de solo 4.**



**Fonte: Do autor, 2012.**

- **Perfil 5:**

O perfil de solo 5 (Figura 25) está localizado na Unidade de Conservação de Proteção Integral do Parque Estadual do Biribiri, na coordenada geográfica S18°12'32.7"/W43°35'46.8", em altitude de 1431 m. O perfil possui 150 cm de profundidade e está localizado em meio a uma vegetação de Campo Limpo; o relevo é predominantemente plano, com de declividade próxima dos 0°; o substrato rochoso é o filito, da Formação São João da Chapada, Grupo Guinda.

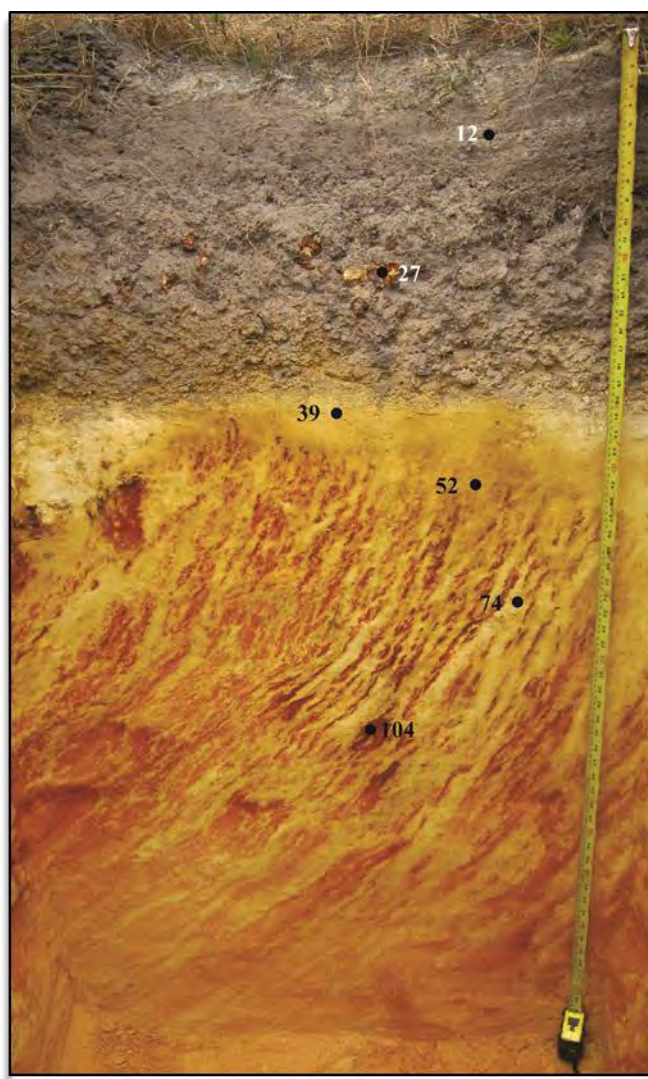
Assim como o perfil de solo 1, o referido perfil de solo pode ser classificado como um PLINTOSSOLO com saprolito predominantemente amarelo, com mosqueados e solum cinza (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006). Suas características,

principalmente dos horizontes próximos à base, apresentam expressiva plintização. Os horizontes identificados neste perfil foram: AE, *stone line*, BC e C1.

1-20 cm, cinza (10YR 5/1); transição gradual quanto à cor e textura;  
 AE classe textural areia; estrutura granular.

20-37 cm, cinza (10YR 5/1); classe textural areia; foi possível identificar  
 SL nódulos de ferro e fragmentos de canga que podem chegar a 3 cm.

**Figura 25: Perfil de solo 5.**



**Fonte: Do autor, 2012.**

2BC 37-40 cm, castanho-acinzentado (10YR 5/2); transição abrupta e plana

sugerindo descontinuidade; classe textural areia; estrutura maciça;

2C 40-150+ cm; é possível identificar materiais de três cores distintas, amarelo (10YR 8/6), bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/3) e amarelo-avermelhado (7,5YR 8/4); a textura é franco-arenosa, e areia-franca; estrutura herdada da rocha.

- **Perfil 6:**

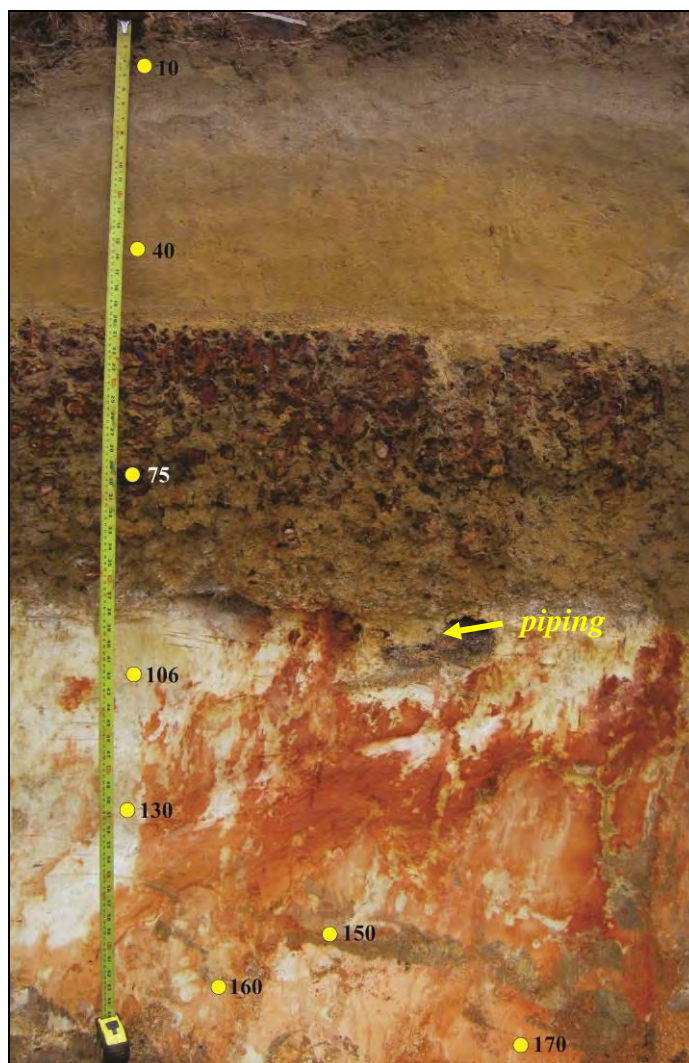
O perfil de solo 6 (Figura 26), um PLINTOSSOLO PLINTOSSOLO de cor dominante amarelo brunado, com camada de couraça ferruginosa, formado a partir de quartzito (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006) possui 170 cm de profundidade. Localiza-se nas coordenadas geográficas S18°16'08.1"/ W43°41'05.5", em um corte de estrada da MG-220, próximo ao entroncamento com a Rodovia BR-367. A vegetação predominante na área é o Campo Cerrado; o referido perfil de solo se situa na parte alta de uma vertente, em segmento de baixa declividade (variando entre 3 e 6°) – neste ponto o relevo não é predominantemente plano. Do ponto de vista geológico, está em uma zona de transição entre duas formações do Grupo Guinda: Galho do Miguel e Sopa-Brumadinho; o substrato rochoso identificado em campo é o quartzito. Os horizontes identificados no referido perfil são: A, E, B1, F, Cq e C.

A 1-12 cm, bruno-claro-acinzentado (10YR 6/3); transição gradual quanto à cor e textura; classe textural areia franca; estrutura granular a sem estrutura (grãos soltos).

E 12-23 cm, cinza claro; transição gradual quanto à cor e à nitidez; arenoso, sem estrutura (grãos soltos).

B 23-50 cm, amarelo-acastanhado (10YR 6/6); transição plana e abrupta quanto à cor e nitidez; classe textural areia franca; estrutura maciça.

**Figura 26: Foto do perfil de solo 6.**



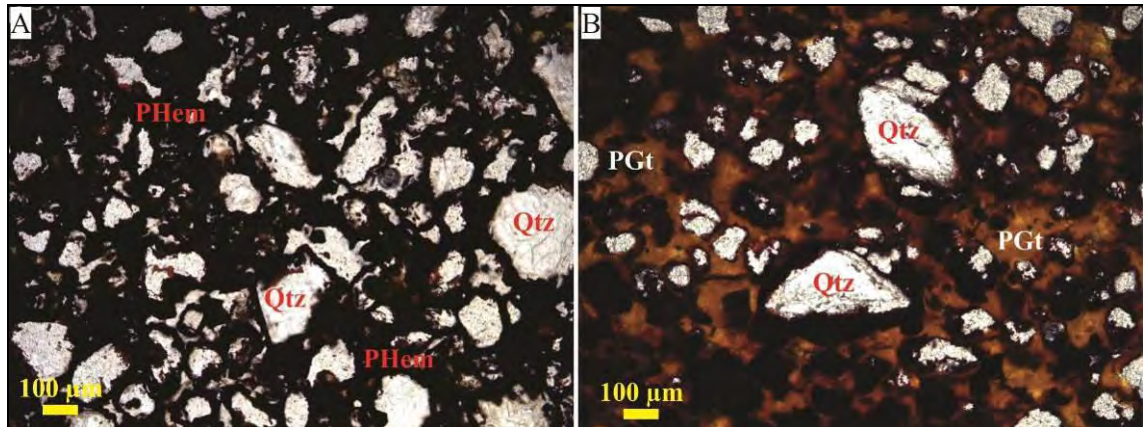
**Fonte: do autor, 2012.**

F 50-95 cm; este horizonte é formado por uma espessa camada de canga, com aproximadamente 45 cm; nódulos de Fe e fragmentos de quartzo de até 3 cm; a transição em relação ao horizonte inferior é plana e abrupta.

De acordo com a figura 27, a seguir, a fotomicrografia “A” apresenta a parte central de um nódulo, onde os grãos de quartzo aparecem em meio a um plasma muito escuro, ferruginoso, hematítico. A fotomicrografia “B” refere-se à borda do nódulo, mostra que o plasma ferruginoso se desfaz em fragmentos dando lugar a um plasma bruno amarelado, provavelmente mais goethítico – isso sugere que esse horizonte encontra-se em processo de desferruginização e dismantelamento.

Ambas fotomicrografias (A e B) ilustram uma sequência de perda de ferro do nível endurecido, correspondente à espessa canga, encontrado no perfil de solo 6.

**Figura 27: Fotomicrografia de amostras extraídas do horizonte de canga do perfil de solo 6.**



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Fotomicrografias A e B com Luz Normal (LN), e aumento de 10x. Sequência de perda de Fe do nível endurecido, no caso, em destaque, o plasma hematítico e plasma goethítico.

Abreviações: Quartzo (Qtz), Plasma Hematítico (PHem) e Plasma goethítico (PGt).

95-108 cm. Dois materiais distintos de cores distintas foram identificados neste horizonte: amarelo-claro-acinzentado (2,5 YR 8/3) a 106 cm e bruno-claro (5 YR 6/4) a 130cm de profundidade; a textura de ambas as amostras coletadas é areia; o material não tem estrutura (grãos soltos); transição abrupta; a 95cm; assim como está explícito na figura 23, é possível observar a formação de *piping* no contato desse horizonte com o horizonte F.

A figura 28 a seguir mostra o material mais claro, esbranquiçado, dominante no horizonte Cq, que “corta” o material de cor avermelhada, que é dominante no horizonte C, subjacente. Verifica-se que o material esbranquiçado aparece ao longo de fissuras e poros tubulares que existem em meio ao material avermelhado.

**Figura 28: Área de contato entre os horizontes Cq e C no perfil de solo 6.**



**Fonte: Dados da pesquisa, 2012.**

C 108-165+ cm. Três materiais de cores distintas foram identificados neste horizonte: amarelo-avermelhado (5 YR 6/8) a 150 cm, Bruno muito claro-acinzentado (10 YR 7/4) a 160 cm e amarelo-avermelhado (7,5 YR 8/6); a textura identificada foi areia franca, franco arenosa e areia franca, respectivamente; a estrutura é maciça desfazendo-se em grãos soltos.

Verifica-se que os seis perfis de solo são muito heterogêneos, com morfologias bastante diferentes. Em todos há material concrecionário de Fe, às vezes compondo ao lado do quartzo as linhas de pedra, ou em horizontes contínuos, como no saprolito de P-2 ou no horizonte F de P-6. A observação da morfologia sugere um processo geral de desferruginização, como indicado no saprolito e no horizonte F (canga) de P-6 e no saprolito de P-1.

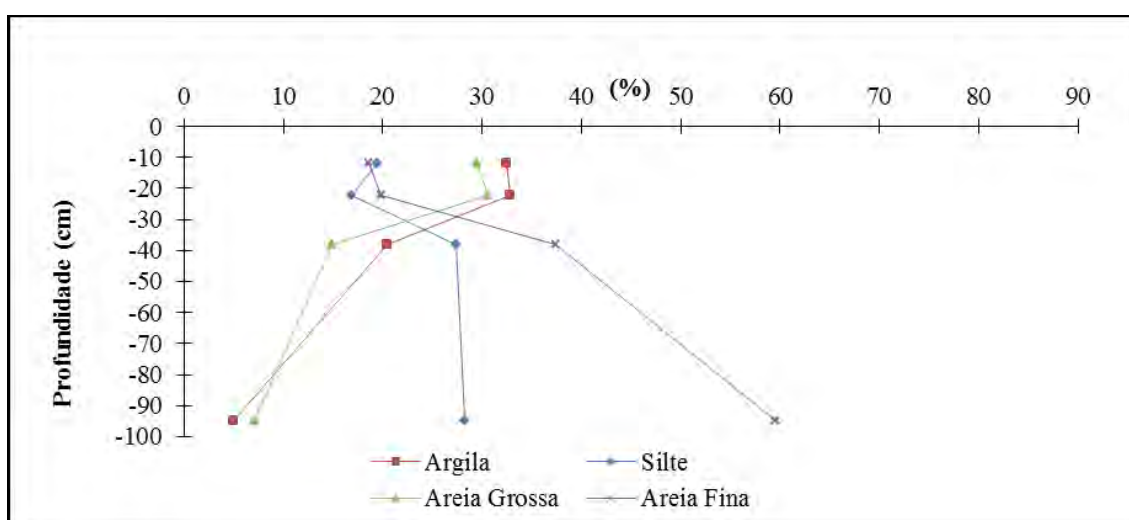
#### **4.2.2 Granulometria**

Para compreensão das características texturais em nível de detalhe dos perfis de solo de 1 a 6, fez-se necessário o estudo da distribuição vertical dos teores de areia, silte e argila de cada perfil de solo, individualmente.

- **Perfil 1:**

Nesse contexto, o gráfico 1 a seguir apresenta a distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina no perfil de solo 1. De acordo com o gráfico 1 há um aumento do teor de argila da base para o topo do perfil, ou seja, partindo-se do horizonte de alteração C (95cm), com 5%, em direção ao horizonte superficial AE (12cm), com 32,45%. O comportamento do silte é oposto ao da argila, pois apresentou concentração maior no horizonte C, com 28,25%, em comparação com o horizonte AE, com 19,50%.

**Gráfico 1: Distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina do perfil de solo 1.**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

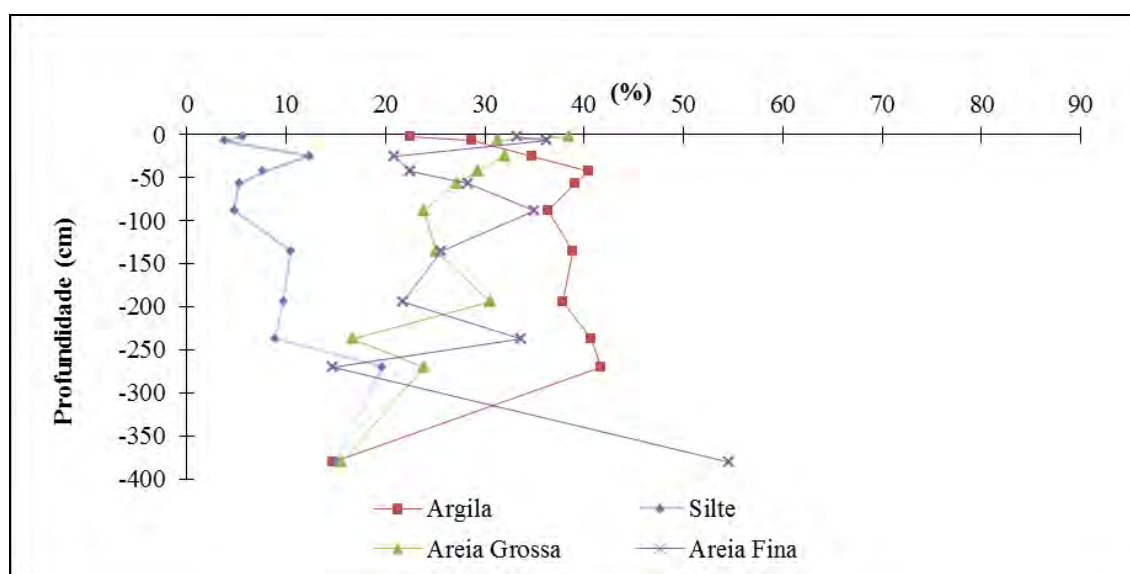
A concentração de areia grossa, assim como argila, aumenta do horizonte CR (7,13%) em direção ao horizonte AE (29,48%). Já o comportamento de areia fina é similar ao do silte, já que apresenta uma concentração maior no horizonte C (59,62%), em relação ao horizonte AE (18,57%).

- **Perfil 2:**

Os padrões de distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina no perfil de solo 2, serão explícitos no gráfico 2, adiante. Nota-se pequenas oscilações no padrão de distribuição dos teores de argila no perfil, partindo-se do horizonte de alteração C (380cm – 14,70%) em direção ao horizonte superficial A11 (3 cm – 22,55%). Os teores de

argila aumentam a partir do horizonte BCc (27 0cm – 41,40%), e seguem apresentando pequenas variações até o horizonte B2 (43 cm – 40,45%) – a partir deste ponto, há um decréscimo gradual de concentração até o horizonte A11. A concentração do silte é maior nos horizontes de alteração C1 (380 cm – 19,70%) e BCc (270 cm – 15,10%), e diminuem em direção aos horizontes superficiais A12 (7cm – 3,80%) e A11 (3cm – 5,70%).

**Gráfico 2: Distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina do perfil de solo 2.**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

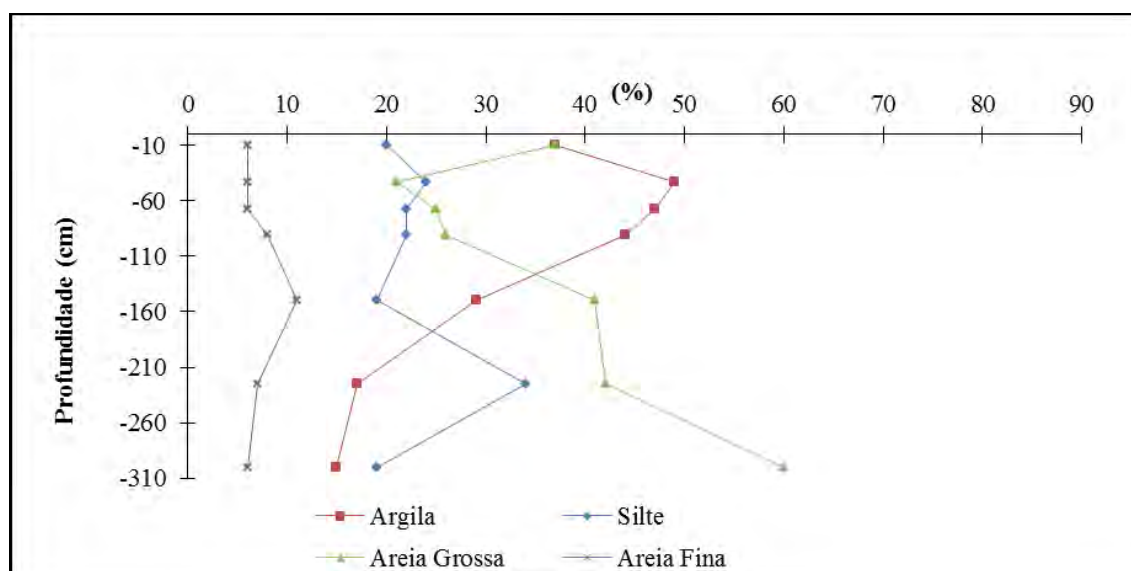
Apesar das sucessivas oscilações na concentração de areia grossa, partindo-se do horizonte de alteração C (380 cm – 15,61%), em direção ao horizonte superficial A11 (3cm – 38,51%), observa-se que a tendência é de aumento na concentração partindo-se da base em direção ao topo do perfil. Quanto à areia fina, nota-se uma concentração considerável no horizonte de alteração C (380 cm – 54,59%), seguido de uma queda acentuada desses percentuais no horizonte superior BCc (270 cm – 14,70%); um novo aumento a 237 cm (33,68), e pequenas oscilações até o horizonte superficial A11 (3 cm – 33,24%).

- **Perfil 3:**

Com base no gráfico 7 a seguir, a distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina pode ser descrita. Observa-se um aumento nos percentuais de argila, partindo-se do horizonte de alteração C (300 cm – 15%), em direção ao horizonte superficial

A12 (10cm – 37%). Para os teores de silte, as análises apontaram uma oscilação nos percentuais no horizonte de alteração C, inicialmente com 19% (300 cm), para 34% (225 cm), seguido de uma nova queda no horizonte superior B3c (150 cm – 19%) – a partir deste ponto os valores apresentam pequenas variações até o horizonte superficial A12 (10 cm – 20%). As análises granulométricas, para este perfil de solo, especialmente, devem ser refeitas, com foco na validação dos resultados aqui apresentados. A concentração expressiva de silte, em um perfil tipicamente laterítico (observar Figura 25), pode estar relacionada a um problema de dispersão das amostras, já que se constatou nas análises químicas a quantidade considerável de Fe.

**Gráfico 3: Distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina do perfil de solo 3.**



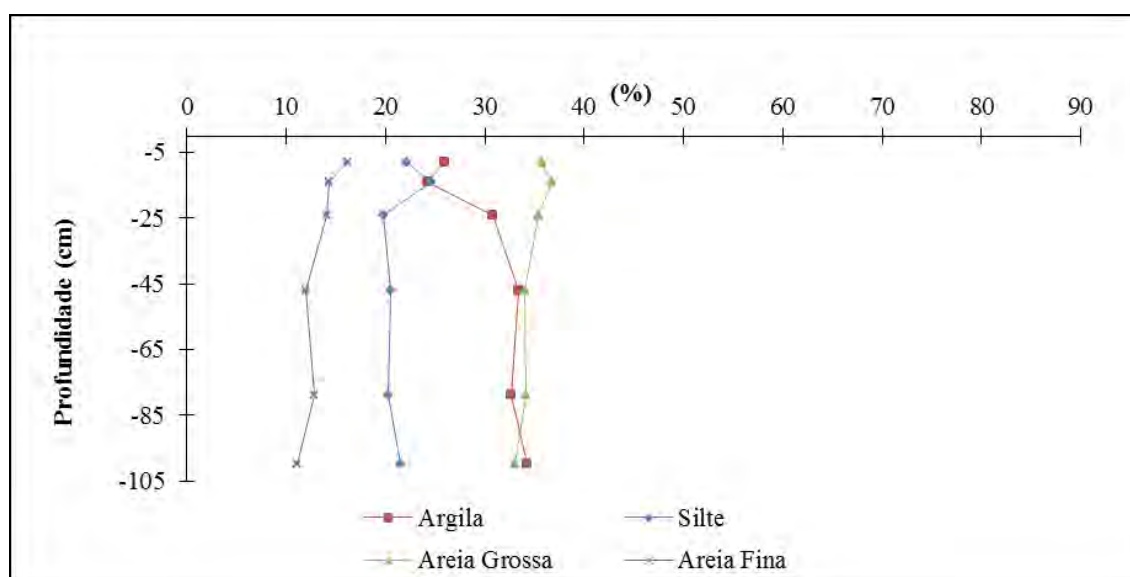
Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

Os teores de areia grossa são maiores no horizonte de alteração C (300 cm – 60%), e diminuem em direção ao horizonte superficial A12 (10cm – 37%). Quanto à distribuição da areia fina, destaca-se apenas um aumento na concentração no horizonte B3c (150 cm – 11%) – nas demais profundidades analisadas os valores são praticamente constantes e permanecem abaixo dos 9%.

- **Perfil 4:**

As distribuições verticais dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina do perfil de solo 4 estão explícitas no gráfico 4 abaixo. De acordo com os resultados de granulometria, há uma concentração mais elevada de argila no horizonte de alteração Bc (100 cm – 34,30%) – estes valores diminuem sensivelmente em direção aos horizontes superficiais A13 (14 cm – 24,25%) e A12 (8 cm – 26%). Os percentuais de silte no perfil são praticamente constantes, da base ao topo – as pequenas oscilações dos valores demonstram uma concentração maior nos horizontes superficiais. As análises quanto à distribuição dos teores de areia grossa demonstraram que há tendência de aumento de seus teores partindo-se do horizonte de alteração Bc (100 cm – 33,06) em direção aos horizontes superficiais A13 (14 cm – 36,76) e A12 (35,74%).

**Gráfico 4: Distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina do perfil de solo 4.**



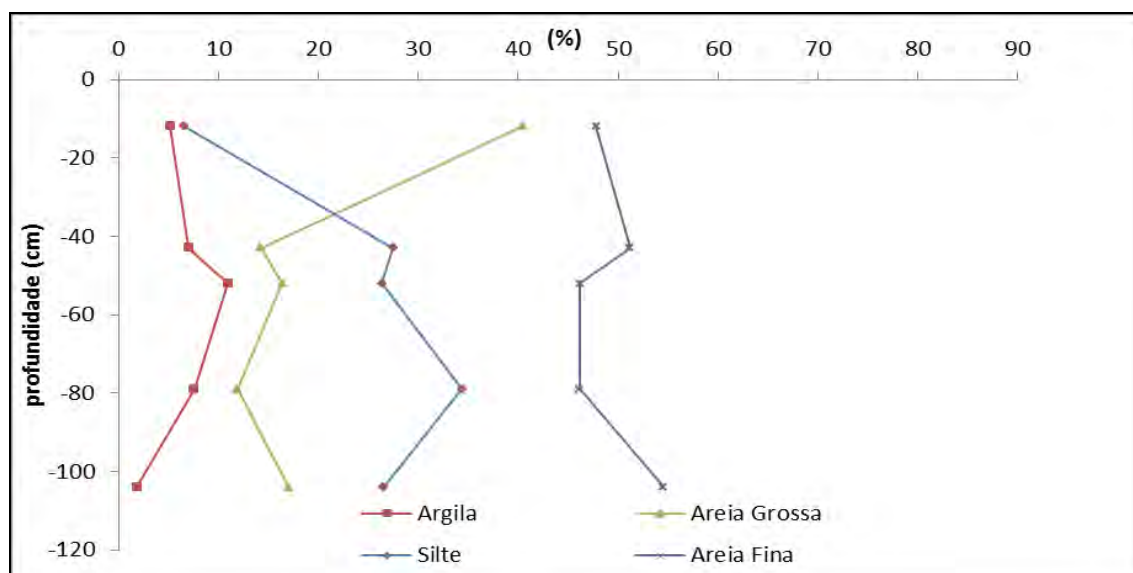
Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

Quanto à distribuição dos teores de areia fina, os valores obtidos apresentaram uma tendência de aumento da concentração, partindo-se do horizonte de alteração Bc (100 cm – 11,17%), em direção aos horizontes superficiais A13 (14cm – 14,37%) e A12 (8 cm – 16,17%). Assim como no P-3, as análises granulométricas desse perfil também podem ter tido problema de dispersão, já que este também é laterítico (latossolo) e os teores de silte são muito altos.

- **Perfil 5:**

As análises dos resultados de granulometria para o padrão de distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina no perfil de solo 5 (gráfico 5) estão descritas a seguir. Os valores obtidos para os teores de argila demonstraram que há uma tendência de aumento dos teores da base para o topo do perfil, ou seja, do horizonte de alteração C (104 cm – 1,90%), até o horizonte superficial AE (12 cm – 5,20%) – destaca-se uma concentração de argila, além dos percentuais médios, no horizonte C (52 cm – 11%). Para o silte, os resultados assinalaram uma concentração considerável de seus teores nos horizontes subsuperficiais C (104 e 79 cm – 26,56% e 34,36%, respectivamente) e BC (52 cm – 26,39%) – os valores diminuem sensivelmente em direção ao horizonte superficial AE (12 cm – 6,60%). Os padrões de distribuição dos teores de areia grossa distinguiram um aumento na concentração, partindo-se do horizonte de alteração C1 (104 cm – 17,04%), em direção ao horizonte superficial AE (12 cm – 40,42%).

**Gráfico 5: Distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina do perfil de solo 5.**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

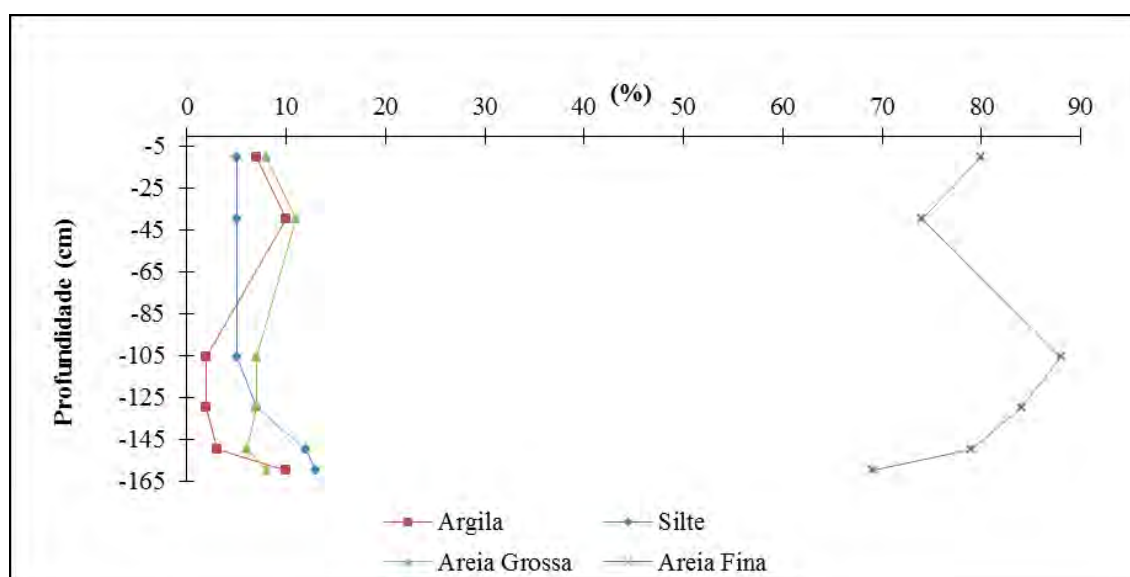
O comportamento, quanto à distribuição vertical dos teores de areia fina, mostrou-se contrário aos valores obtidos para a areia grossa. Nesse caso, a tendência é de diminuição dos teores de areia fina, partindo-se do horizonte de alteração C (104 cm – 54,50%), até o

horizonte superficial AE (12 cm – 47,78%). Diante dos resultados, evidencia-se uma descontinuidade entre os horizontes BC e os superiores SL e A.

- **Perfil 6:**

Os resultados obtidos com a granulometria, quanto à distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina do perfil de solo 6 estão descritos no gráfico 6, adiante. Os resultados apontaram uma concentração de argila que extrapolou os valores médios em dois pontos do perfil, no horizonte de alteração C (160 cm – 10%) e nos horizontes superficiais B1 (40 cm – 10%) e A (10 cm – 7%); ainda assim, na maior parte das amostras, os valores foram sempre baixos, inferiores a 10%; na parte intermediária inferior do perfil, apareceram as menores concentrações de argila (horizonte Cq).

**Gráfico 6: Distribuição vertical dos teores de argila, silte, areia grossa e areia fina do perfil de solo 6.**



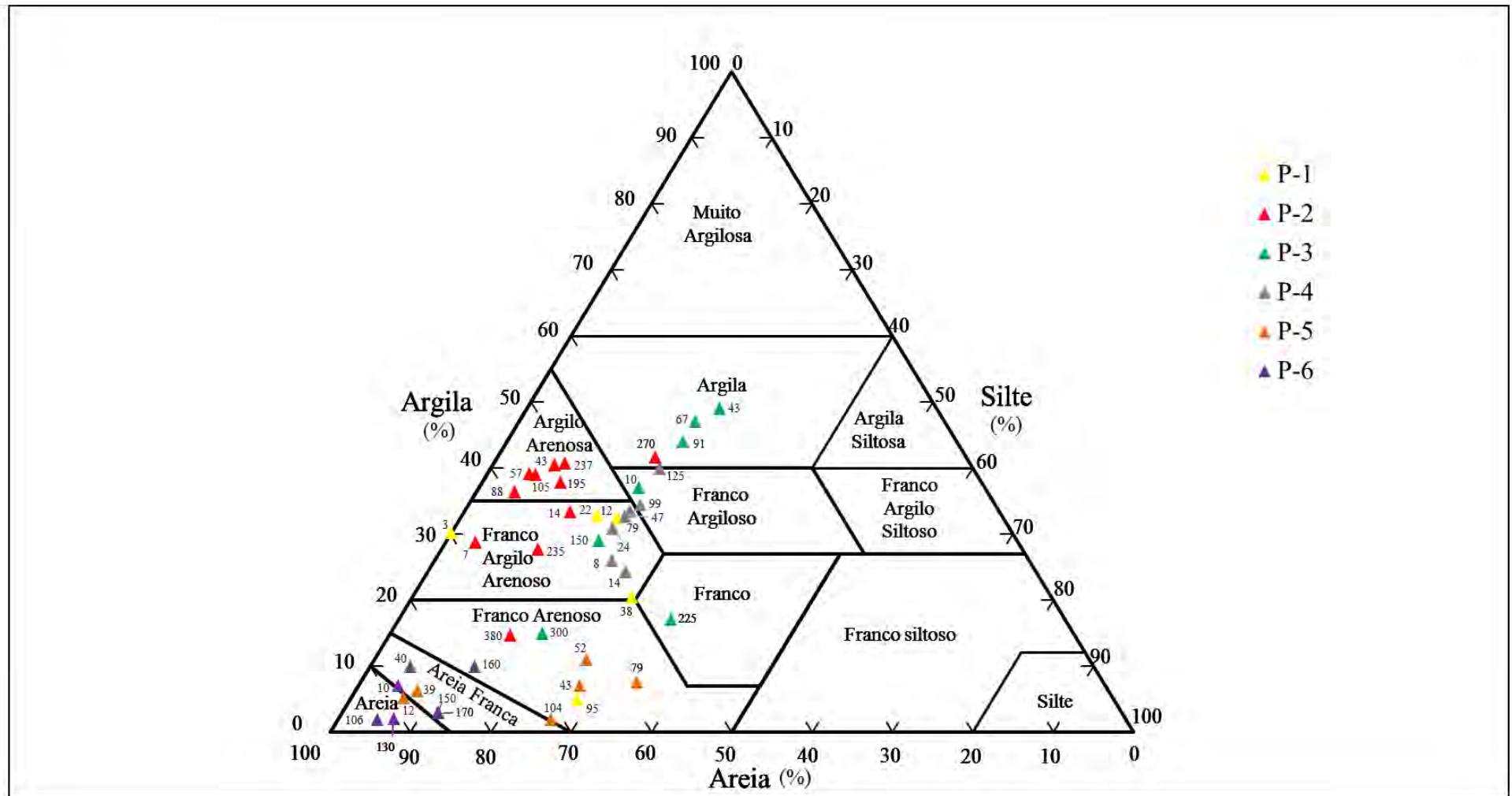
Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

Os resultados apresentaram uma tendência de diminuição dos teores de silte, da base para o topo, ou seja, do horizonte C (160 cm – 13%) para o horizonte A (10 cm – 5%). A concentração de silte é maior nos horizontes de alteração, em direção ao horizonte superficial A; a partir da canga, os percentuais apresentam-se estáveis. Os teores de areia grossa apresentam oscilações pouco significativas nas profundidades analisadas, iniciam a 8% (horizonte C), e mantêm o mesmo valor no horizonte A– nota-se uma concentração, que

ultrapassa os valores médios, apenas B1 (40 cm – 11%). Quanto à areia fina, os padrões de distribuição verticais de seus teores apontaram para uma maior concentração nos horizontes superficiais B1 (40 cm – 74%) e A (10 cm – 80%), em comparação ao horizonte subsuperficial C (160 cm – 69%) – a tendência é de aumento partindo-se da base para o topo. Observa-se uma queda na concentração entre os horizontes Cq (106 cm – 88%) e B1 (40 cm – 74%) – entre os citados horizontes está a espessa canga.

Com os resultados obtidos com o procedimento de análise granulométrica, procurou-se adotar as classes texturais do Triângulo Americano (ESTADOS UNIDOS, 1993). O gráfico 7 a seguir apresenta as classes texturais dos perfis de solo de 1 a 6, aqui analisados. A distribuição geral dos dados no gráfico possibilitou o estabelecimento de algumas constatações: o perfil de solo 6 e as amostras do topo do perfil de solo 5 são os materiais mais arenosos analisados; os perfis mais argilosos são os perfis de solo 2 e 3.

Gráfico 7: Classes texturais dos perfis de solo de 1 a 6. Os números ao lado dos pontos se referem à profundidade da amostra.

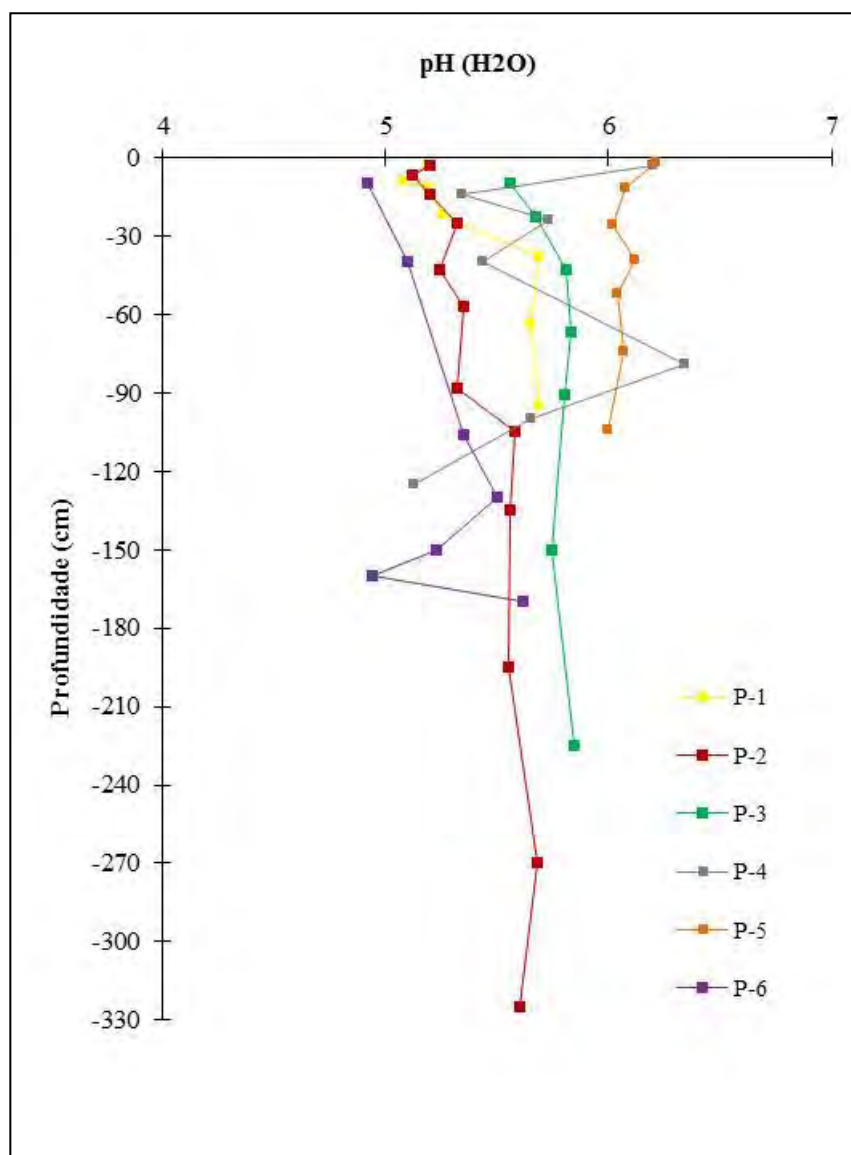


Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

### 4.2.3 pH do solo

Os resultados referentes à análise do pH em H<sub>2</sub>O das amostras estudadas são apresentados abaixo, em função da profundidade (Gráfico 8).

**Gráfico 8: Distribuição vertical de pH nos perfis de solo de 1 a 6.**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

De maneira geral, os resultados de distribuição vertical do pH dos perfis de solo de 1 a 6 demonstraram uma variação em torno 4,9 e 6,3. Diante de tais resultados, pode-se afirmar que ambos os perfis de solo estudados são ácidos. Os perfis P-1, P-2 e P-3 estão inseridos numa faixa de pH entre 5 e 6. Os perfis P-4 e P-6 apresentam oscilações em seus valores

desde a base em direção ao topo dos perfis; o primeiro segue uma tendência de aumento do pH nos horizontes superficiais, e o segundo um comportamento contrário, ou seja, diminuição do pH em direção aos horizontes superiores. Já o perfil P-5 exibe índices de pH superiores a 6, em todas as amostras analisadas.

- **Perfil de solo 1**

Os resultados obtidos com a análise de pH para P-1 apontaram um decréscimo nos valores partindo-se do horizonte de alteração C (93 cm – pH=5,7) em direção ao horizonte superficial A (3 cm – pH=5,2). Nota-se que os valores permanecem praticamente constantes, do horizonte C até o horizonte BC (38 cm – pH=5,7), a partir deste ponto, há sucessivas quedas, seguindo pela *stone line* (22 cm – pH=5,3) e horizontes superiores AE (9 cm – pH=5,1) e A (3 cm – pH=5,2).

- **Perfil de solo 2**

Os resultados de pH para P-2 assinalaram uma diminuição dos valores partindo-se da base em direção ao topo, ou seja, do horizonte C1 (325 cm – pH= 5,6) ao horizonte superficial A11 (3 cm – pH=5,2). Os valores seguem praticamente constantes até o horizonte BC2 (105 cm – pH=5,6), onde, a partir deste, em direção ao horizonte superior BC1 (88 cm – pH=5,3) há uma queda mais acentuada.

- **Perfil de solo 3**

As análises da distribuição vertical do pH para o P-3 expuseram a pequena variação entre os valores, correspondente às profundidades analisadas (10, 23, 43, 67, 91, 150 e 225 cm), com referência da base ao topo. Inicialmente, no horizonte de alteração C (225 cm), os valores correspondiam ao pH=5,8, e no horizonte superficial A12, estes valores ficaram em torno de pH=5,6. Ainda assim, verifica-se que os valores de pH dos horizontes subsuperficiais são mais elevados e apresentam uma diminuição em direção ao topo.

- **Perfil de solo 4**

Conforme o gráfico 8, os resultados de pH para P-6 apresentaram oscilações na distribuição vertical dos valores desde a base até o topo perfil. Ainda assim, verificou-se tendência de aumento do pH, partindo-se do horizonte de alteração em direção aos horizontes superficiais, onde o horizonte Bc (125 cm) possui pH=5,1 e o horizonte A12 (8 cm) pH=6,2. Com exceção das amostras correspondentes às profundidades 3 cm e 79 cm, as amostras 14, 24, 40, 100 e 125 cm apresentam valores de pH=5.

- **Perfil de solo 5**

Para P-5 os resultados exibem um padrão praticamente constante. A variação entre os valores de pH é baixa, partindo-se do horizonte de alteração C (104 cm – pH=6) em direção ao horizonte superficial A (2 cm – pH=6,2). Assim como P-4, o P-5 apresentou comportamento distinto de P-1, P-2, P-3 e P-6, cujos valores correspondentes às profundidades analisadas demonstram um padrão de diminuição do pH em direção ao horizonte superficial “A”.

- **Perfil de solo 6**

Como dito na descrição de P-5, para P-6 a tendência de diminuição dos valores de pH prevalece, da base em direção ao topo do perfil, onde, no horizonte de alteração C (170 cm) o pH é igual 5, 6; e no horizonte A (10 cm) o pH é igual 4,92. Com exceção das amostras correspondentes às profundidades 160 e 10 cm (pH=4,9 e 4,9), as demais amostras (40, 106, 130, 150 e 17 cm) apresentam valores de pH dentro da faixa 5.

Com base nos resultados de distribuição vertical apresentados, pode-se concluir que há uma tendência geral de diminuição dos valores de pH partindo-se do saprolito em direção ao *solum*, exceto para P-4 e P-5. Os perfis P-2 e P-6 são mais ácidos em comparação com P-1, P-3, P-4 e P-5. A faixa geral de pH vai estar entre 4,9 e 6,3, o que situa os materiais analisados no domínio da hidrólise como reação química dominante no intemperismo.

#### 4.2.4 *Química Total*

Com base nos resultados da química total, obtidos pela técnica de fluorescência de raios X, apresenta-se neste tópico a distribuição vertical dos elementos químicos nos perfis de solo de 1 a 6, bem como os resultados dos balanços de massa (função de transporte – FT) para os mesmos perfis.

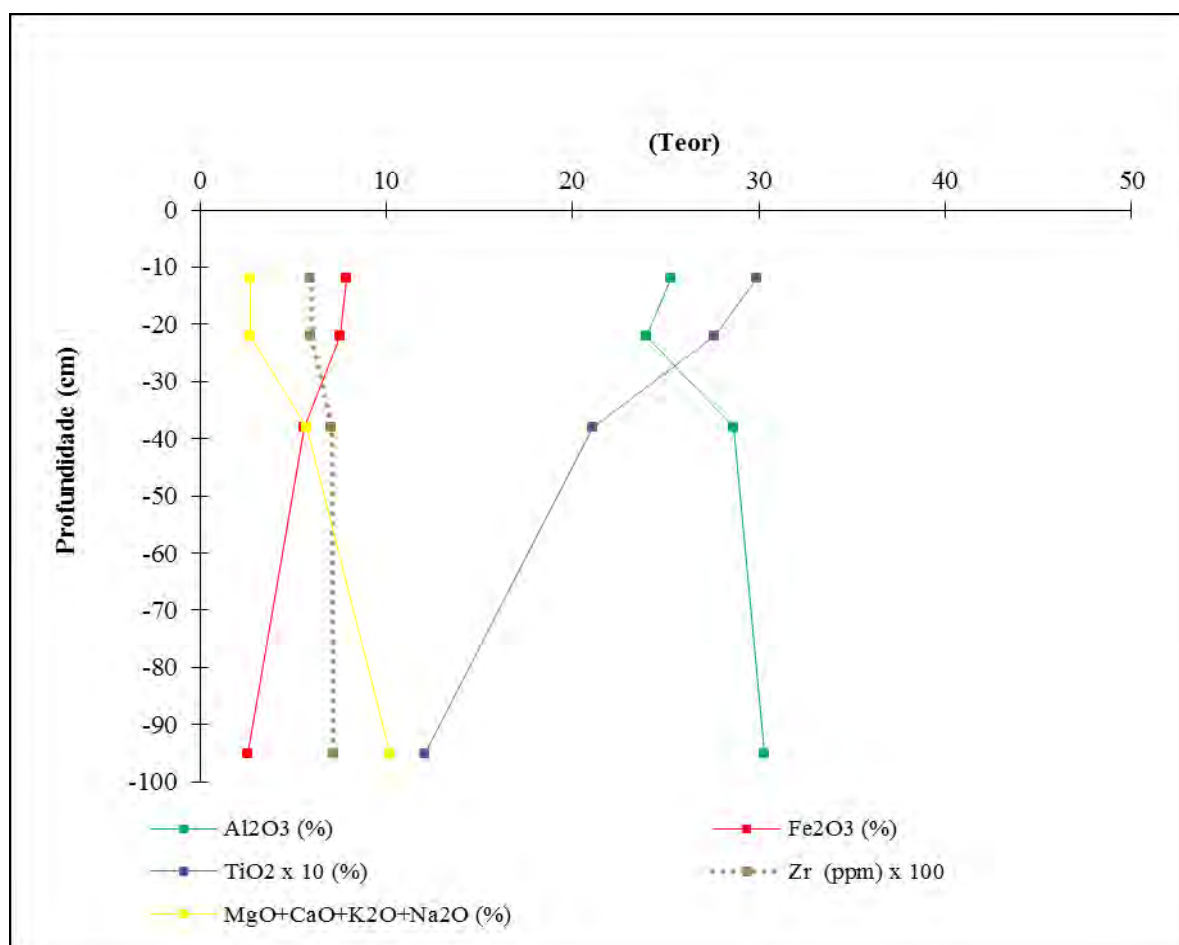
##### 4.2.4.1 *Distribuição vertical dos elementos químicos por perfil*

Os teores relativos dos elementos químicos  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Zr, e do somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$  são representados em função da profundidade, a seguir, para os seis perfis estudados. Destaca-se que o elemento químico Si, dominante em todos os perfis, foi excluído dessas representações.

- **Perfil 1:**

De acordo com o gráfico 9 a seguir, os teores de metais alcalinos e alcalinoterrosos (Mg, Ca, K e Na), no perfil de solo 1, demonstraram uma tendência na diminuição dos valores da base em direção ao topo do perfil (principalmente na passagem do horizonte BC para o horizonte AE). A tendência de perda tem como referência o horizonte de alteração C (95 cm – 10,23%), em comparação ao horizonte superficial AE (12 cm – 2,68%). Quanto aos teores de Zr, nota-se apenas uma pequena variação nas profundidades analisadas; ainda assim, há uma ligeira diminuição em direção aos horizontes do topo – horizonte C (95 cm – 716 p.p.m) e horizonte AE (12 cm – 598 p.p.m). Os teores  $TiO_2$  e  $Fe_2O_3$  possuem comportamento de distribuição de seus teores no perfil distinto dos demais elementos químicos, ou seja, uma tendência de ganho na concentração partindo-se do horizonte C (95 cm – 12,10% e 2,58%, respectivamente) sentido horizonte AE (12 cm – 29,90% e 7,84%).

**Gráfico 9: Distribuição vertical dos elementos químicos  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Zr e do somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$  no perfil de solo 1.**



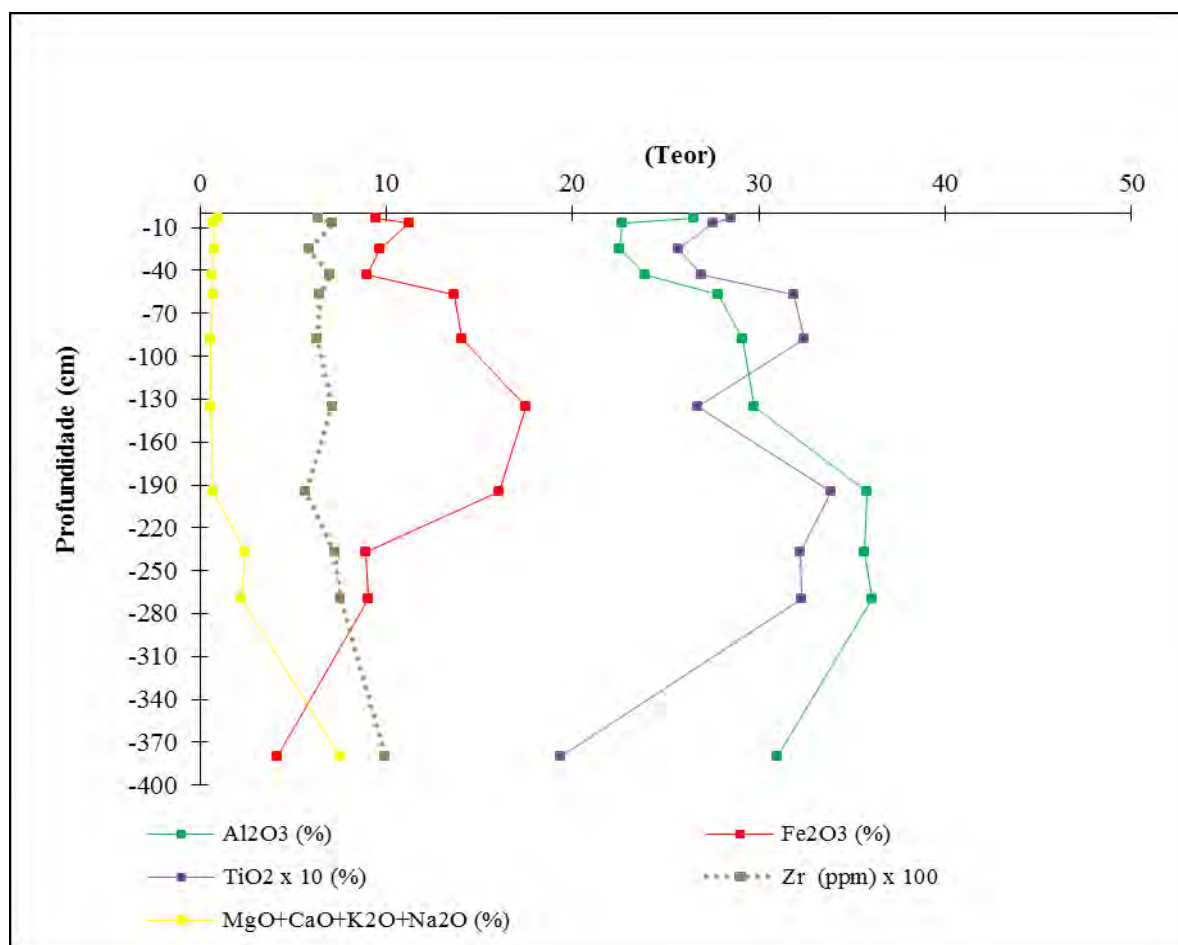
Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

- **Perfil de solo 2**

A distribuição vertical dos metais alcalinos e alcalinoterrosos (Mg, Ca, K e Na) no perfil de solo 2 (Gráfico 10) é caracterizada por apresentar maior concentração nos horizontes de alteração C e BCc (380, 270 e 235 cm – 7,51, 2,25 e 2,44%, respectivamente). A concentração dos metais alcalinos e alcalinos terrosos diminui, sucessivamente, rumo aos horizontes superficiais A12 e A11 (3 e 7 cm – 0,71 e 0,96%), com pequenas oscilações (para mais ou para menos). Quanto à concentração Zr, notou-se, porém, uma diminuição pouco significativa de seus teores – horizonte C (380 cm – 997 p.p.m) rumo ao horizonte A11 (3 cm – 635 p.p.m). A distribuição dos teores de  $Al_2O_3$  segue as mesmas tendências dos metais alcalinos e alcalinos terrosos, ou seja, apresenta aumento nos teores no horizonte BC e posterior diminuição rumo ao topo – horizonte C (380 cm – 30,96%) ao horizonte A11 (3 cm

– 26,53%). O óxido de Fe e o dióxido de Ti apresentaram um comportamento distinto, no que envolve a distribuição vertical de seus teores, ou seja, um aumento nos valores, partindo-se do horizonte de alteração C (38 0cm – 4,19 e 19,39%, respectivamente) rumo ao horizonte superficial A11 (3 cm – 9,43 e 28,50%).

**Gráfico 10: Distribuição vertical dos elementos químicos  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Zr e do somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$  no perfil de solo 2.**



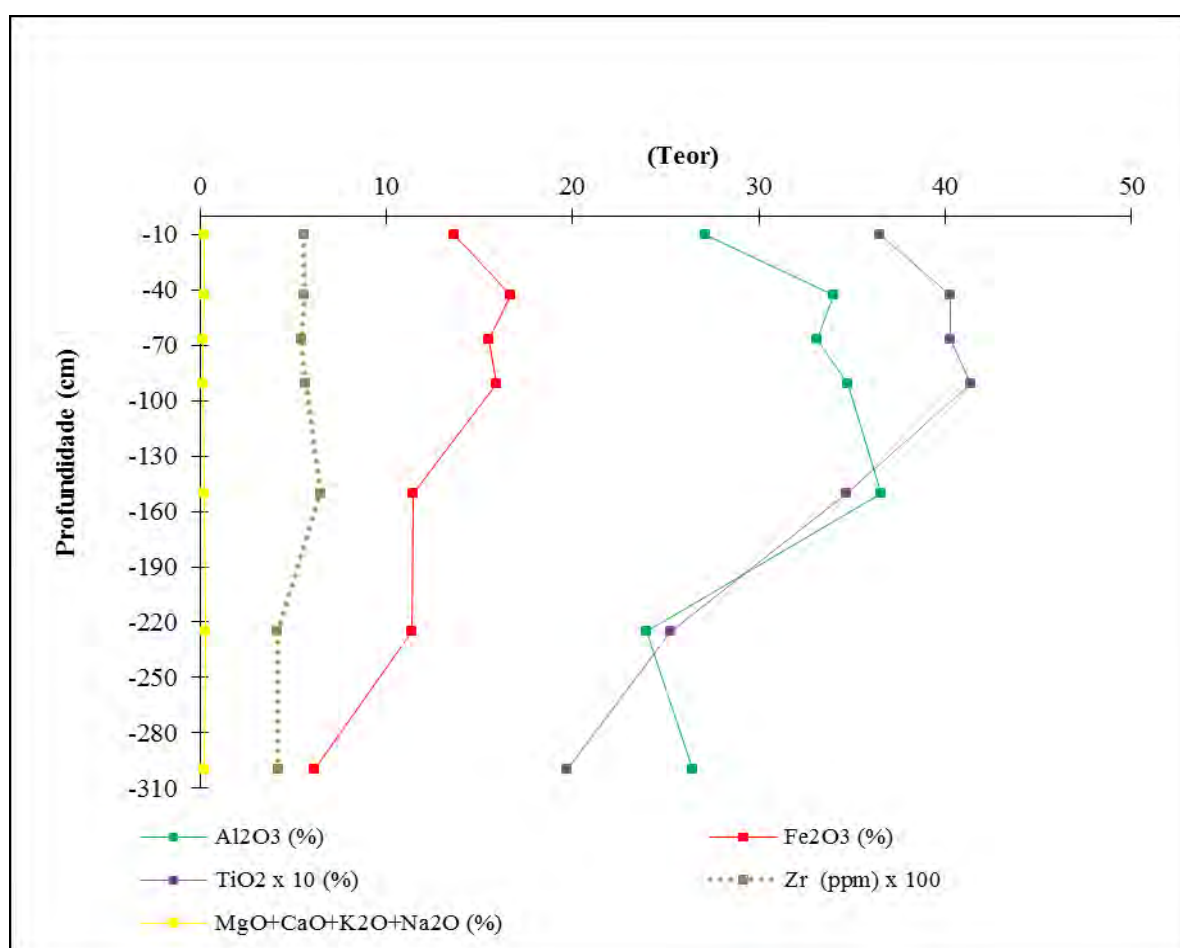
Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

Com o auxílio do gráfico 10, observou-se que as maiores concentrações de  $Al$  estão entre 190 e 270 cm, isto é, na base do horizonte BCc. A partir daí, há uma diminuição progressiva para o topo. Quanto ao Ti, há valores altos nessa mesma faixa do perfil, só que a diminuição em direção ao topo é menor. Para o Fe há um aumento gradual da base até o topo do horizonte BCc (135 cm), onde estão os valores mais altos, e, depois, uma diminuição gradual para o topo. O Zr apresenta valores aproximadamente constantes da base ao topo, com pequenas oscilações.

- **Perfil 3:**

A distribuição vertical dos elementos químicos  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Zr e a soma  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ , no perfil de solo 3, consta no gráfico 11, adiante. A concentração dos metais alcalinos e alcalinos terrosos (Mg, Ca, K e Na) é muito baixa, e praticamente constante da base ao topo do perfil, ou seja, do horizonte C (300 cm – 0,27%) em direção ao horizonte A12 (10 cm – 0,21%).

**Gráfico 11: Distribuição vertical dos elementos químicos  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Zr e do somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$  no perfil de solo 3.**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

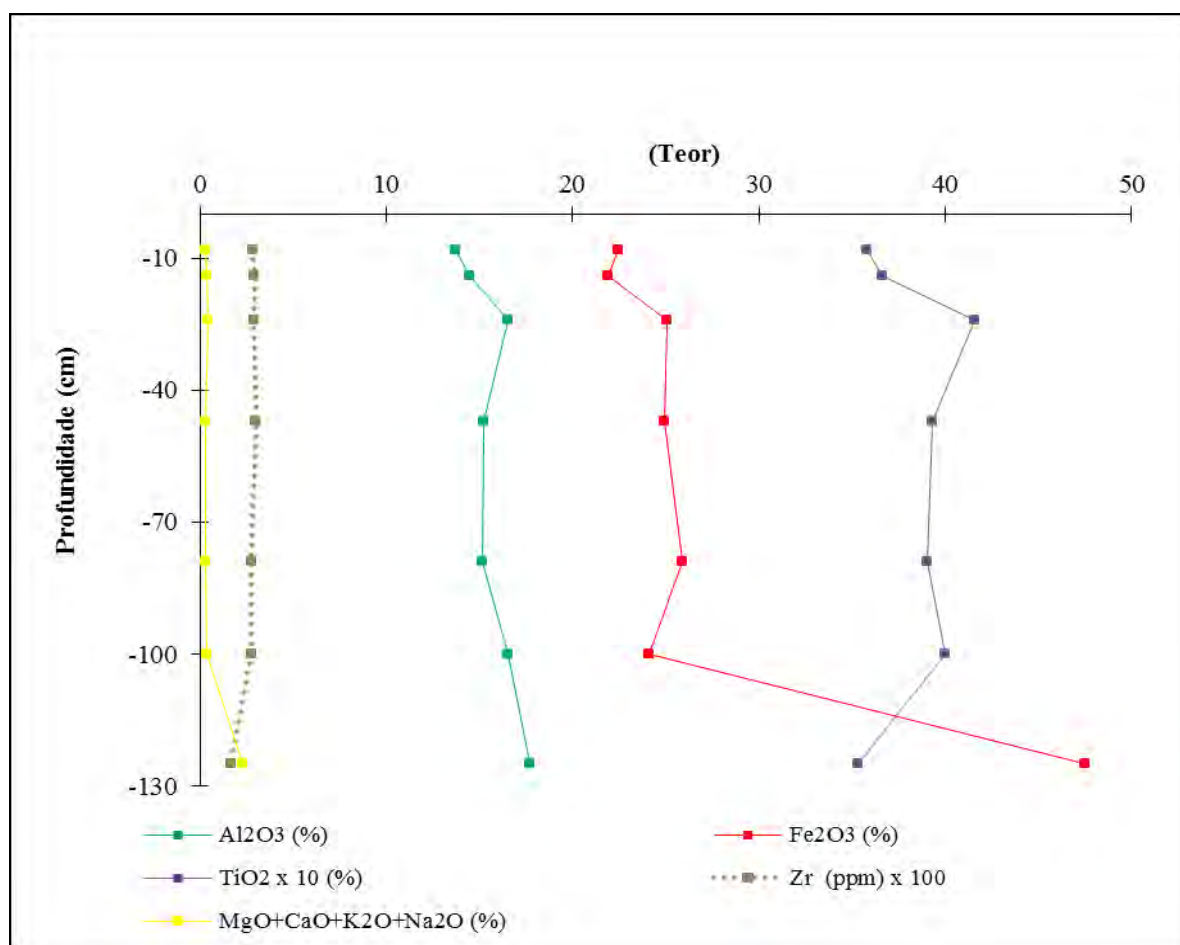
Quanto ao Zr, a sua distribuição apresentou apenas pequenas oscilações nas profundidades analisadas, além de possuir uma tendência de aumento em seus teores da base ao topo do perfil – do horizonte C (300 cm – 421 p.p.m) ao horizonte A12 (10 cm – 558 p.p.m). Observou-se um ganho na concentração de Zr, principalmente no horizonte B3c (150 cm – 649 p.p.m). O óxido de  $Al_2O_3$  e o dióxido de  $TiO_2$  apresentaram distribuições parecidas

no perfil de solo 3, um ganho em suas concentrações partindo-se da base rumo ao topo do perfil – horizonte C (300 cm – 26,43 e 19,70%) ao horizonte A12 (10 cm – 27,10 e 36,50%). Nota-se uma pequena variação na tendência de ganho na concentração de  $Al_2O_3$  e  $TiO_2$  a partir do horizonte B1 (43cm – 33,99 e 40,30%, respectivamente), a partir de onde há uma diminuição dos valores até o horizonte superior A12. A distribuição do óxido de  $Fe_2O_3$ , assim como dos demais elementos químicos analisados neste perfil, demonstrou uma maior concentração partindo-se da base em direção ao topo do perfil, ou seja, do horizonte C (300 cm – 6,15%) em direção ao horizonte A12 (10 cm – 13,65%). O ganho considerável na concentração de  $Fe_2O_3$  foi observado no horizonte B1 (43 cm – 16,71%).

- **Perfil 4:**

Os teores dos metais alcalinos e alcalinoterrosos (Mg, Ca, K e Na), do elemento traço Zr e do óxido de  $Al$  são praticamente constantes no perfil de solo 4 (Gráfico 12). As análises de distribuição vertical de  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$  apontam os maiores teores dos referidos metais alcalinos e alcalinos terrosos no horizonte de alteração Bc (125 cm – 2,30%) – em direção ao topo, a tendência é de diminuição da concentração, horizonte A12 (8 cm – 0,29%). A concentração de  $Al_2O_3$  é maior na base do perfil, horizonte Bc (125 cm – 17,68%), e apresenta sucessivas diminuições em direção ao topo, até o horizonte superficial (8 cm – 13,70%). Quanto ao Zr, os valores são praticamente constantes ao longo de perfil, e ao contrário dos elementos analisados anteriormente, há um ligeiro aumento partindo-se da base, horizonte Bc (125 cm – 168 p.p.m) em direção ao topo, horizonte A12 (8 cm – 283 p.p.m). Os teores de  $Fe_2O_3$  são elevados no horizonte de alteração Bc (125 cm – 47,48%), e apresentam uma brusca diminuição no próprio horizonte, porém, em uma profundidade diferente, 110 cm (24,08%). As diminuições na concentração de  $Fe_2O_3$  ocorrem sucessivamente até o horizonte superficial A12 (8 cm – 22,48%). Analisando-se a distribuição do dióxido de Ti, observou-se uma oscilação de seus teores, partindo-se da base em direção ao topo. A concentração de  $TiO_2$  é praticamente a mesma, ao se comparar o horizonte Bc (125 cm – 35,30%) e A12 (8 cm – 35,80%), mas notou-se alguns picos de concentração, principalmente no horizonte Bc (100 cm – 40%) e A3 (24 cm – 41,60%).

**Gráfico 12: Distribuição vertical dos elementos químicos  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ , Zr e do somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  no perfil de solo 4.**

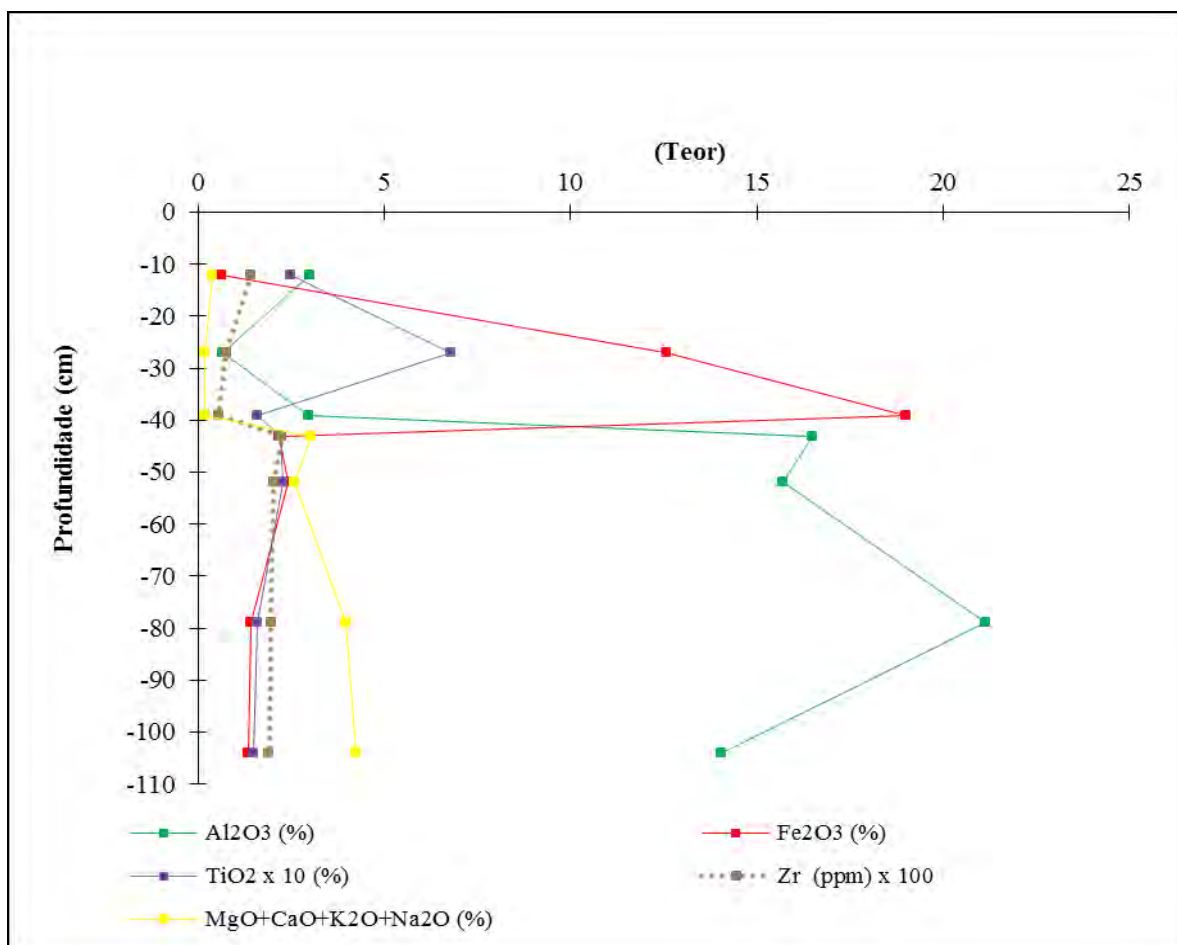


Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

- **Perfil 5:**

A distribuição vertical dos metais alcalinos e alcalinoterrosos  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  no perfil de solo 5 (Gráfico 13) aponta para uma diminuição gradual dos teores da base ao topo, isto é, do horizonte C (104 cm – 4,23%), passando pela *stone line* (27 cm – 0,19%), e seguindo até o horizonte superficial AE (12 cm – 0,38%). O comportamento do Zr é praticamente similar ao dos metais alcalinos e alcalinos terrosos, pois apresenta uma ruptura significativa entre 43 e 39 cm. A oscilação mais significativa é observada na curva do  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que tem valores altos no saprolito (mais de 20%) e caem para 4% na *stone line* e no horizonte superior AE (12 cm – 3,01%). O  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  são os elementos que apresentam maior concentração nos fragmentos de canga na *stone line* (27 cm – 12,57 e 6,80%, respectivamente).

**Gráfico 13: Distribuição vertical dos elementos químicos  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Zr e do somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$  no perfil de solo 5.**

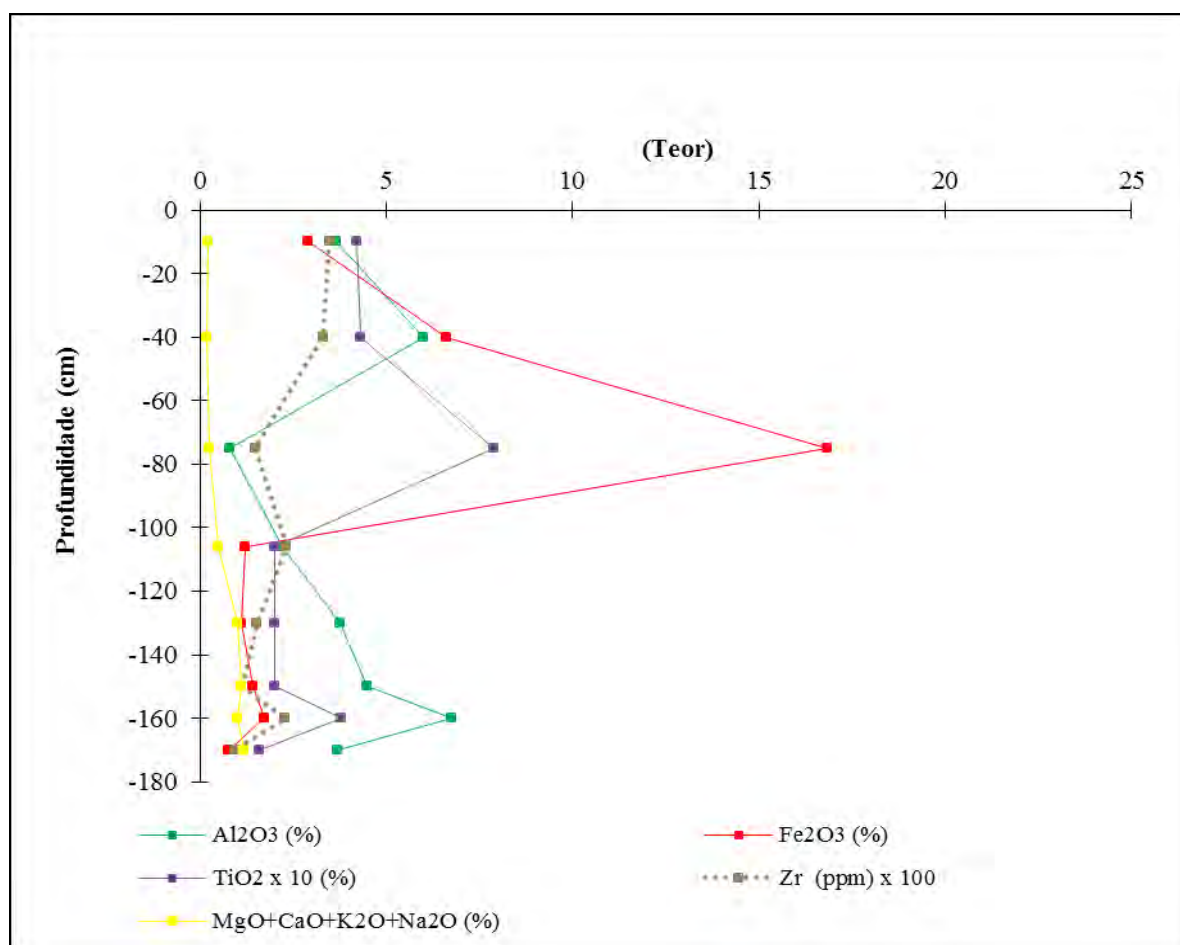


Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

- **Perfil 6:**

No perfil de solo 6 (Gráfico 14), identificou-se que a soma metais alcalinos e alcalinoterrosos ( $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ ) tem sempre pequenos teores, sendo os maiores encontrados no saprolito, horizonte C (170 cm – 1,18%). O teor do elemento químico Zr, aumenta ligeiramente em direção ao topo do perfil (horizonte A, 10 cm – 348 p.p.m), com exceção do horizonte de canga (75 cm – 149 p.p.m), onde o seu teor diminui.

**Gráfico 14: Distribuição vertical dos elementos químicos  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ , Zr e do somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$  no perfil de solo 6.**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

Quanto aos teores de  $Al_2O_3$ , identificou-se um aumento partindo-se da base ao topo do perfil, ou seja, do horizonte C (170 cm – 3,96%) em direção ao horizonte superficial A (10 cm – 3,67) – os valores encontrados no horizonte de canga (75 cm – 0,79%), no entanto, são menores que o horizonte inferior e o horizonte superior.  $Fe_2O_3$  tem seus menores valores no horizonte eluvial do topo do saprolito, horizonte C (170 cm – 0,78%), e, depois, seu teor aumenta consideravelmente no nível de canga (75 cm – 16,84%), assim como o de  $TiO_2$ , reduzindo-se gradualmente rumo à superfície do solo, horizonte A (10 cm – 420 p.p.m).

Diante da exposição da distribuição vertical dos elementos químicos nos perfis de solo de 1 a 6, aqui estudados, é importante frisar que o  $SiO_2$  é o elemento dominante, sobretudo nos perfis P-5 (principalmente no topo, com aproximadamente 93,52%) e P-6 (em todo o perfil, com média em torno de 90%). Em seguida, destacam-se  $Al_2O_3$  e, depois, o  $Fe_2O_3$ . O  $Fe_2O_3$  predomina sobre o  $Al_2O_3$  apenas no P-4, originário do filito hematítico e nas camadas

de canga (contínuas ou em fragmentos). Rupturas ao longo dos perfis verticais parecem ocorrer apenas no P-5, onde há queda do teor de Zr e forte queda no teor de  $Al_2O_3$  na passagem do saprolito para o *solum*.

#### **4.2.4.2 Perdas e acumulações de elementos químicos**

Uma quantificação das perdas e ganhos nos perfis de solo de 1 a 6 foi proposta para os elementos Al, Fe e Ti e para o somatório dos seguintes metais alcalinos e alcalinoterrosos Mg+Ca+K+Na. Para a referida quantificação e balanços de massa (funções de transporte - FT) para os elementos, foram elaboradas para cada perfil, tendo o elemento químico Zr como invariante, já que este pode ser utilizado como parâmetro para avaliar as alterações pedogenéticas (SUDOM; ARNAUD, 1971).

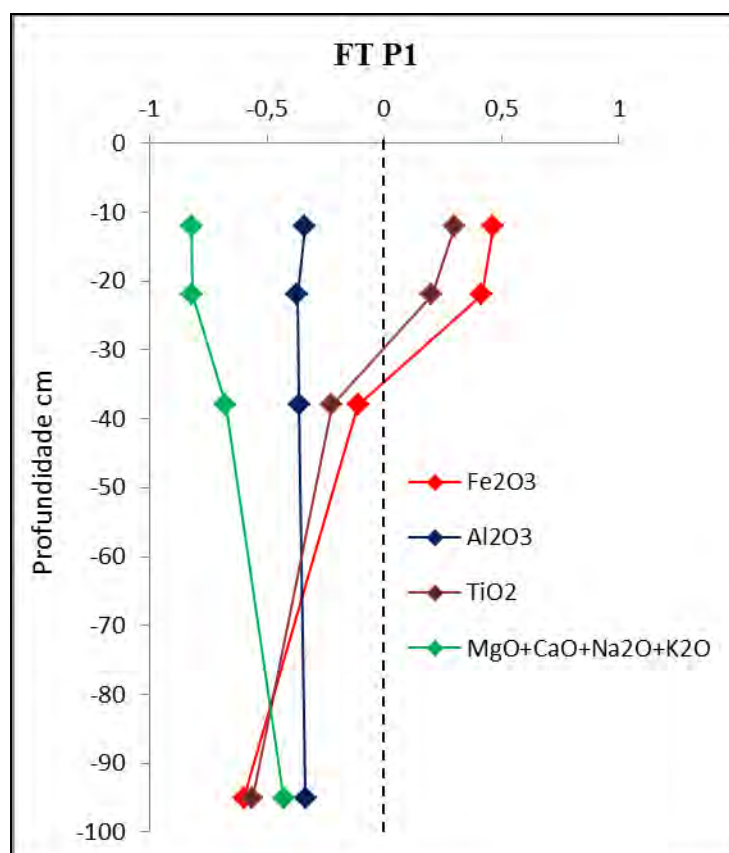
Amostras de rocha e de saprolito foram utilizadas como referência de material de origem para os cálculos. Como descrito na metodologia, torna-se necessário ressaltar, para os perfis de solo 1, 3 e 5 cuja rocha matriz é o filito, que a amostra FIL-1 foi utilizada como referência para os cálculos. Como referência para o perfil de solo 2, foi escolhida a amostra P2-380, já que esta apresenta-se ainda pouco intemperizada e têm composição química próxima àquela da amostra de rocha FIL-1. Para o perfil de solo 4, foi empregada a amostra FIL-2, correspondente ao filito hematítico. Já para o perfil de solo 6, a amostra de solo mais profunda, do saprolito (P6-170), foi utilizada como referência para os cálculos de FT. Os resultados para esse fator são representados em relação à profundidade, para os seis perfis de solo estudados, e expressam perdas em relação ao elemento de referência (Zr), considerado invariante, quando os valores são negativos (ex: -10 = 10% de perda), e ganhos, quando os valores são positivos.

- **Perfil de solo 1**

As perdas e acumulações de  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  e do somatório Mg+Ca+K+Na, referentes ao perfil de solo 1, estão descritas no gráfico 15 a seguir. Para  $Fe_2O_3$ , já se observa uma perda de 50% no horizonte de alteração C (95 cm) em relação à rocha matriz. Nos horizontes superiores BC (38 cm) a diferença em relação à rocha matriz é menor de aproximadamente 10%, o que sugere um ganho em relação ao horizonte C. Em contrapartida, na *stone line* (22cm) e horizonte superficial AE (12 cm) existe, em média, uma ganho de 50%

nos teores do referido elemento, indicando importante acumulação de Fe no *solum*. Essa configuração pode sugerir uma perda preferencial de Fe por influência da hidromorfia, na base do saprolito, como já indicado pela presença das zonas mais claras, desferrificadas, que atravessam a matriz avermelhada desse horizonte. Já para  $Al_2O_3$ , nota-se uma tendência de perda em relação à rocha matriz em todas as amostras analisadas; ao contrário de  $Fe_2O_3$ , não há acumulação nos horizontes superiores. As perdas de  $Al_2O_3$  chegam a aproximadamente 40% na *stone line*; nos demais horizontes as perdas estão em média na casa dos 30%. A concentração de  $TiO_2$  é semelhante à do  $Fe_2O_3$ ; embora com acumulação menos acentuada nos horizontes do topo, as perdas em seus teores chegam a 50% no horizonte C, enquanto no horizonte AE, o ganho chega a 30%. No que diz respeito aos teores dos metais alcalinos e alcalinoterrosos ( $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ ), há tendência de perda generalizada, da base para o topo. Tais perdas são de 50% no horizonte C, e de 80% no horizonte superficial AE.

**Gráfico 15: Valores obtidos com a FT para  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  e somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ .**

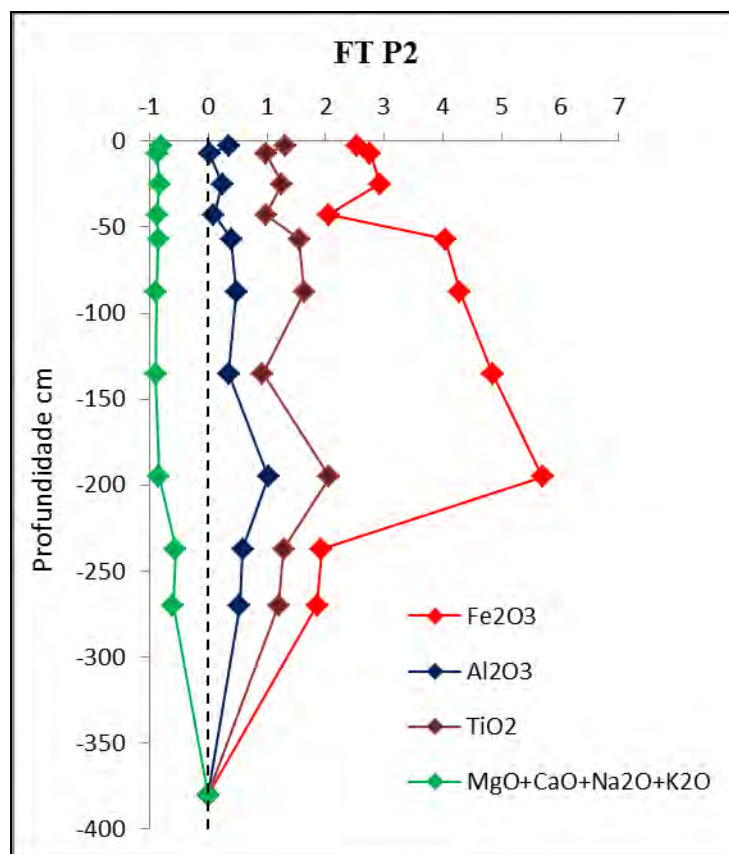


Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

- **Perfil de solo 2**

Ressalta-se que, para o perfil de solo 2, a amostra situada a 380 cm foi utilizada como referência para ser o material de origem no cálculo da FT, portanto, nesta profundidade não há como haver perdas ou ganhos dos elementos químicos aqui estudados. Com base no gráfico 16, adiante, verifica-se que no horizonte BCc (270 cm) já há acumulações próximas de 50% em sua base e de mais de 200% no seu topo, onde se encontra a maior parte do material concrecionário desse perfil. A partir daí, rumo ao topo, há perda gradual desse elemento em comparação com o horizonte BCc, mas que ainda significam ganhos de cerca de 100% em relação ao fítilo pouco alterado. Em relação ao  $Al_2O_3$ , nos horizontes superiores, prevalecem-se acumulações do elemento que chegam a 100% no horizonte BCc (195 cm) e aproximadamente 40% no horizonte superficial A11. Os parâmetros de distribuição de  $TiO_2$  apontam para um ganho nos horizontes superiores, e tais ganhos de um ponto de vista comparativo são superiores às de  $Al$ , chegando a 200% no horizonte BCc e a 140% no horizonte mais superficial em relação à amostra de referência. Quanto ao somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ , o padrão de distribuição dos teores é distinto daquele dos elementos analisados anteriormente; assim, ocorrem perdas bastante significativas, de cerca de 60% até os 260 cm de profundidade, atingindo quase 100% daí até o topo do perfil.

**Gráfico 16: Valores obtidos com a FT para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ .**



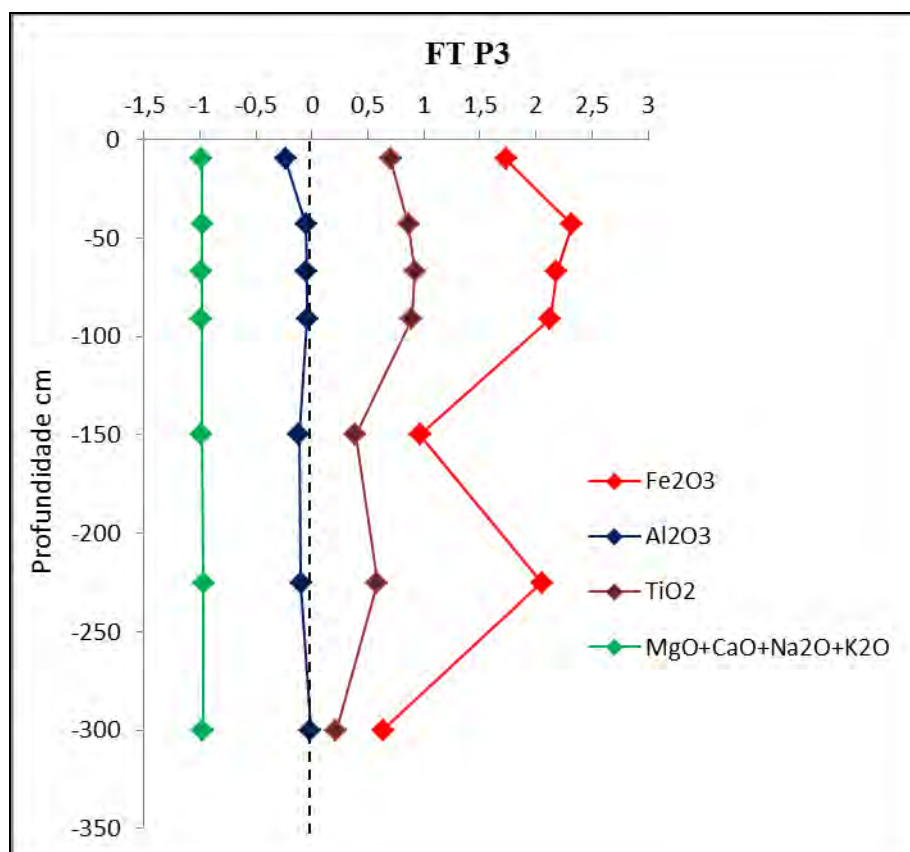
Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

- **Perfil de solo 3**

Diante dos valores obtidos para a FT para o perfil de solo 3 (Gráfico 17), observou-se que há um ganho de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  desde as primeiras fases da alteração (380 cm – 50%). Ainda na base do perfil, porém a 225 cm, os ganhos de Fe podem chegar a 200%; nos horizontes superiores a 91, 67 e 43 cm, os valores ainda são mais altos, próximos dos 250%. Comparativamente, a acumulação de Fe, partindo-se da base em direção ao topo é de 100% no horizonte superficial em relação à rocha matriz. A distribuição dos teores de Ti no perfil segue o mesmo padrão do Fe, porém com valores de acumulação inferiores. Partindo-se da base em direção ao topo, há uma diferença de 30% no ganho de Ti entre o horizonte superficial e a rocha matriz. Quanto à distribuição de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e do somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ , observou-se uma tendência de perda dos elementos, partindo-se da base ao topo do perfil. A perda de Al é praticamente constante e muito baixa (entre 0 e 10%),

desde as fases iniciais de alteração (300 cm) ao horizonte superficial B1 (43 cm), com uma pequena alteração no horizonte superior A12, com uma perda próximo dos 25%. Já quanto ao somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ , notou-se um padrão de perda total e constante desde a base até topo do perfil.

**Gráfico 17: Valores obtidos com a FT para  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  e somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$ .**



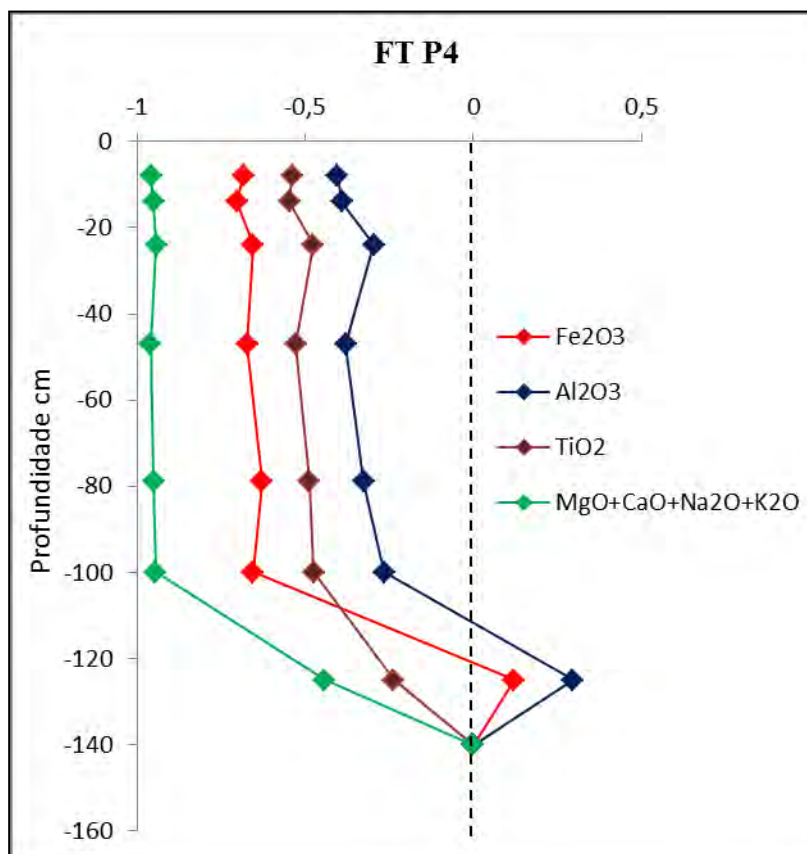
Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

- **Perfil de solo 4**

De acordo com os valores obtidos com a FT para o perfil de solo 4 (Gráfico 18), notou-se que os elementos químicos estudados  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$  e o somatório  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$  demonstram padrão de distribuição semelhante.  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$  apresentam um ganho a 125 cm, seguido de uma diminuição acentuada no horizonte imediatamente superior (100 cm). Deste horizonte em diante até o topo as concentrações de  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$  mantêm-se praticamente constantes (perdas entre 70 e 40%, respectivamente).

Quanto ao  $\text{TiO}_2$  e ao somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ , observou-se que estes, desde as fases iniciais de alteração, demonstram uma tendência de diminuição de seus teores.

**Gráfico 18: Valores obtidos com a FT para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ .**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

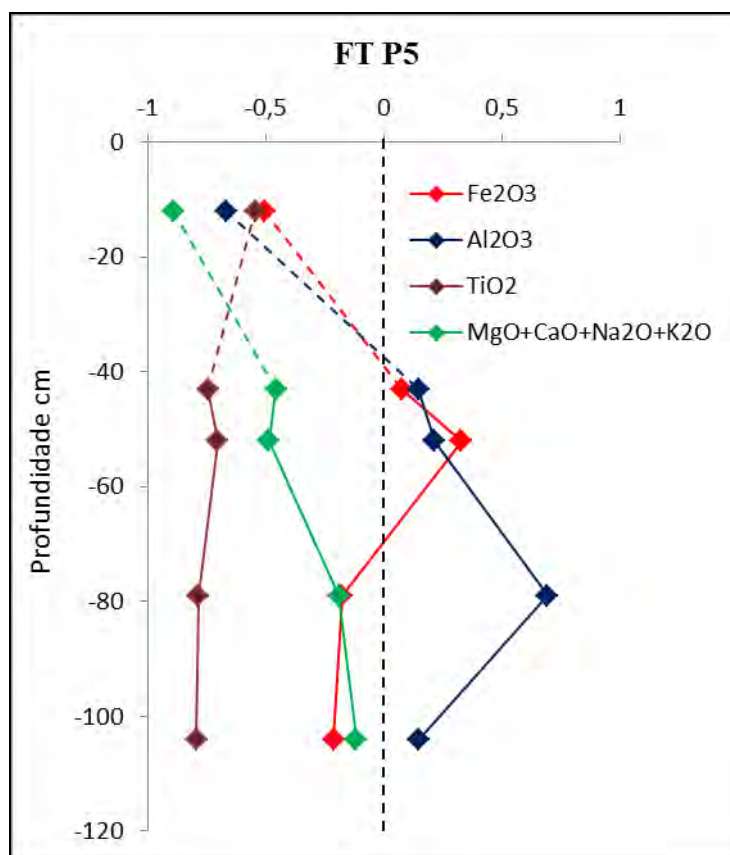
As diminuições nos teores de  $\text{TiO}_2$  já ocorrem desde 125 cm, seguidas de pequenas oscilações nos horizontes superiores, até o topo. Já o somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  é o que apresenta os valores mais importantes de perda, que ocorrem a partir de 125 cm de profundidade e chegam a aproximadamente 100%, mantendo-se constantes nos horizontes superiores, a partir dos 100 cm, até o topo.

- **Perfil de solo 5**

Os valores obtidos com a FT para o perfil de solo 5 (Gráfico 19), que analisou a distribuição dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e do somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  podem ser visualizados no gráfico 19, adiante. Com base nos resultados, observou-se uma perda de

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  nas fases iniciais de alteração, a 104 e 79 cm de profundidade, onde apresentam-se mosqueados vermelhos e vermelhos escuros e plintitas. Nos horizontes superiores, (52 e 43 cm), esta tendência se inverte, resultando, assim, num ganho de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Dessa forma, tem-se no topo do horizonte de alteração uma acumulação de Fe de até 50% em relação à rocha matriz. Em direção ao topo, há uma nova mudança no comportamento de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , destacando-se uma perda acentuada do elemento no horizonte superficial, a 12 cm. Ao contrário do que ocorre com o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , nas fases iniciais de alteração há um ganho de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e este padrão estende-se aos horizontes do topo do saprolito, até 43 cm de profundidade. A partir desse ponto há uma perda acentuada de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , no horizonte superficial a 12 cm, de mais de 60%. Quanto ao  $\text{TiO}_2$  e ao somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ , identificou-se uma perda dos citados elementos nos horizontes de alteração, de até 50%, e tal tendência se estendeu até ao topo do perfil, onde as perdas se aproximaram de 100%. Em relação ao  $\text{TiO}_2$ , as perdas foram as mais intensas dentre os elementos analisados (cerca de 75%) em todas as profundidades do saprolito. Entretanto, no horizonte superficial registrou-se, ao contrário do que se observou para os demais elementos químicos, um ganho desse elemento em relação ao saprolito (perdas de 55% em relação à rocha matriz).

**Gráfico 19: Valores obtidos com a FT para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ .**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

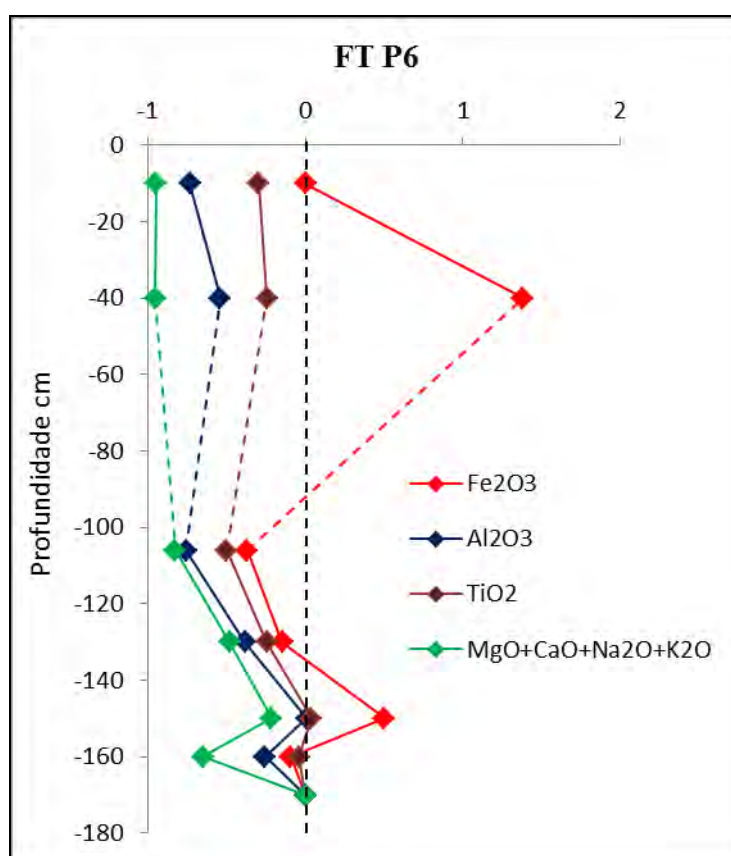
Observação: entre as profundidades 12 e 43cm, uma amostra (amostra de material concrecionário da linha de pedras) foi excluída, por isso o uso da linha tracejada.

- **Perfil de solo 6**

Os resultados obtidos com a FT para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e o somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ , no perfil de solo 6 (gráfico 20), apontam ganhos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  em dois pontos do perfil, a 150 e a 40 cm de profundidade (aproximadamente 50 e 140%, respectivamente), ou seja, na metade inferior do saprolito e acima da camada de canga. Quanto aos demais elementos  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e o somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ , a tendência predominante no perfil é de perda, a partir da base até o topo de perfil.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  têm seus menores valores, no horizonte branco, arenoso, do topo do saprolito. Conforme indicação da morfologia – presença de zonas esbranquiçadas, desferruginizadas, que atravessam a matriz avermelhada do saprolito – observa-se uma tendência de desferruginização da base do perfil, que é mais pronunciada na parte superficial dessa camada. A perda dos outros elementos, além do Fe, sugere que não se trata apenas de

dissolução do Fe em condição redutora, mas de perdas generalizadas, provavelmente em forma particulada. Isso também é sugerido pela presença de *piping* em áreas vizinhas ao perfil estudado, no topo do saprolito, imediatamente abaixo da linha de pedras. No topo do perfil, os horizontes situados acima da linha de pedra parecem ter se formado da pedogênese dessa camada endurecida.

**Gráfico 20: Valores obtidos com o FT para  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e somatório  $\text{MgO}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ .**



Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

Observação: a amostra referente à camada de canga foi excluída das análises de FT, por isso o uso da linha tracejada.

Diante dos resultados de FT, para os perfis de solo de 1 a 6, pode-se afirmar que os alcalinos e os alcalinoterrosos são rapidamente exportados, já nos primeiros estágios do intemperismo, o que é uma das características do ambiente tropical úmido. Ressalta-se que  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  têm comportamento semelhante na maioria dos perfis, desde que o ambiente seja bem drenado. A diferença mais significativa entre ambos é observada nos horizontes que apresentam concreções, ou que de alguma forma estejam associados a ela. Este fato provém da mobilidade diferencial entre  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ . Assim, podemos definir que o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é mais

sensível a oxirredução, ao contrário  $\text{TiO}_2$ , o que faz com que o primeiro migre em solução em ambiente redutor e se acumule em ambiente oxidante.

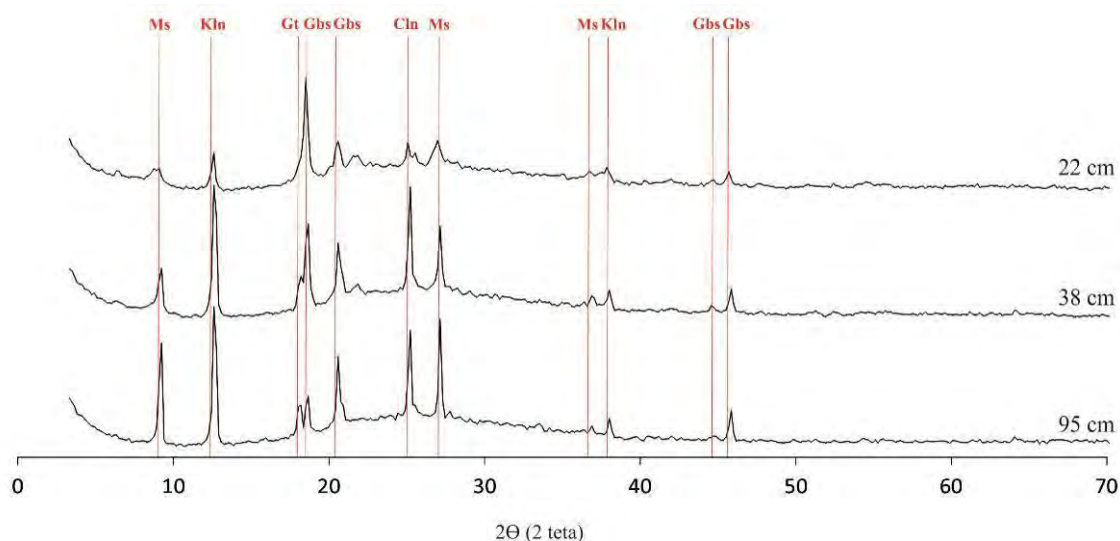
#### 4.2.5 Mineralogia do solo

Para a obtenção de resultados mineralógicos e petrográficos, de amostras representativas dos perfis de solo analisados por esta dissertação, foram utilizadas microscopia ótica e a Difração de Raios X (DRX). A utilização dessas técnicas possibilita a identificação de argilo minerais, através do conjunto de reflexos da estrutura cristalina, que são expressos nos difratogramas na forma de picos (KURI & KAMPF, 2012 *in* KER et al., 2012). Contribui, assim, na constituição do quadro pedológico de áreas representativas do Planalto de Diamantina. Neste estudo, especificamente, o DRX foi utilizada na fração argila extraída de amostras correspondentes aos perfis de solo de 1 a 6.

- **Perfil 1:**

O gráfico 21 a seguir, apresenta resultados obtidos com a utilização do DRX, em amostras da fração argila, do perfil de solo 1. As amostras correspondem ao horizonte C (95cm), horizonte BC (38 cm) e *stone line* (22 cm). Observa-se no difratograma a presença dos minerais: muscovita ( $\text{KA}\ell_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ ), caulinita ( $\text{A}\ell_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) e gibbsita ( $\text{A}\ell(\text{OH})_3$ ). Os minerais muscovita, caulinita e gibbsita foram identificados em todas as profundidades analisadas – indicativo para presença dos referidos minerais, de forma ampla, por todo o perfil de solo 1, do horizonte C ao horizonte A. Com base nos resultados, observou-se que: há uma diminuição gradual da altura do pico da muscovita da base para o topo; ocorre um aumento gradual do pico da gibbsita nessa mesma sequência vertical e aumento ou manutenção da altura do pico da caulinita do saprolito (95 cm) para o horizonte BC (38 cm), com redução forte desse pico na passagem do horizonte BC para o horizonte A.

**Gráfico 21: Difratogramas representativos do perfil de solo 1.**

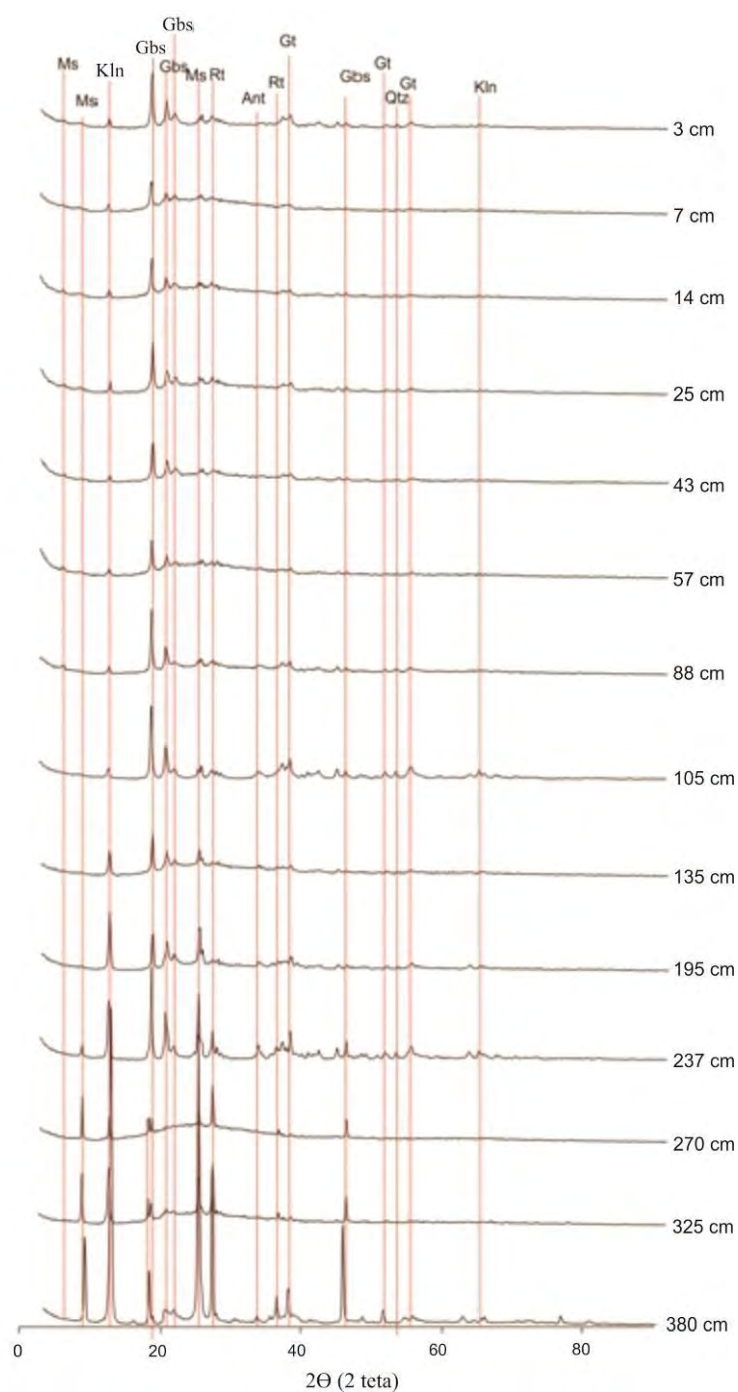


**Fonte: Dados da pesquisa, 2013.**

**Abreviações: Muscovita (Ms), Caulinita (Kln), Goethita (Gt) e Gibbsita (Gbs).**

- **Perfil 2:**

Apresentados anteriormente por Ferreira Neto (2012), os resultados de DRX da TR-2, tratada nesta dissertação como perfil de solo 2 (Gráfico 22), mostram os seguintes minerais: muscovita, caulinita, goethita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), gibbsita e rutilo ( $\text{TiO}_2$ ). De acordo com os difratogramas, o mineral gibbsita é um dos dominantes na fração argila, com maiores teores no horizonte de alteração C, seguido dos minerais goethita e caulinita. O mineral rutilo está, principalmente, nos horizontes de alteração C1 (380 cm), e praticamente não é percebido nos horizontes superficiais (A12, BA, B22, SL, BC11 e BC12), bem como o mineral muscovita. Quanto ao mineral quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), observou-se que este aparece apenas em quantidades muito pequenas na fração argila.

**Gráfico 22: Difratogramas representativos do perfil de solo 2**

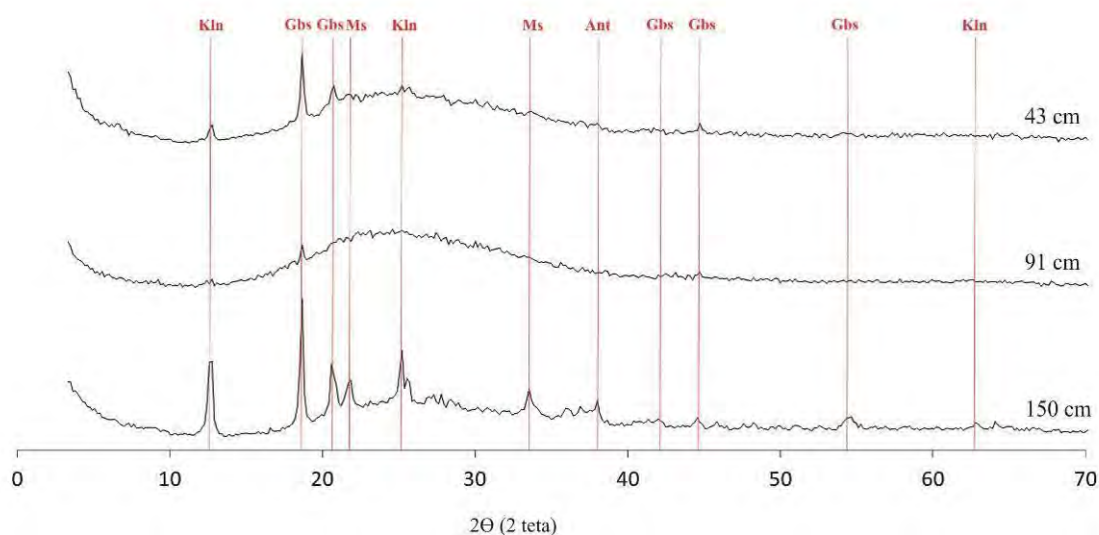
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Abreviações: Muscovita (Ms), Caulinita (Kln), Gibbsita (Gbs), Rutilo (Rt) e Anatócio (Ant).

- **Perfil 3:**

Os resultados obtidos com a técnica de DRX, para o perfil de solo 3 são apresentados no Gráfico 23. As amostras analisadas correspondem aos horizontes, B3c (150 cm), B2c (91 cm) e B1 (43 cm). A seguinte assembleia mineralógica foi identificada: muscovita, caulinita, gibbsita e anatásio ( $\text{TiO}_2$ ). Observa-se que o mineral gibbsita está distribuído amplamente pelos horizontes analisados, um indicativo para que isso ocorra por todo o perfil de solo, do horizonte C (300 cm) ao horizonte A12 (10cm), a altura de seus picos no difratograma é maior na base e no topo do perfil. Os minerais muscovita, caulinita e anatásio foram identificados principalmente no horizonte B3c, com uma maior representatividade dos picos.

**Gráfico 23: Difratogramas representativos do perfil de solo 3**



Fonte: Dado da pesquisa, 2013.

Abreviações: Muscovita (Ms), Caulinita (Kln), Gibbsita (Gbs) e Anatásio (Ant).

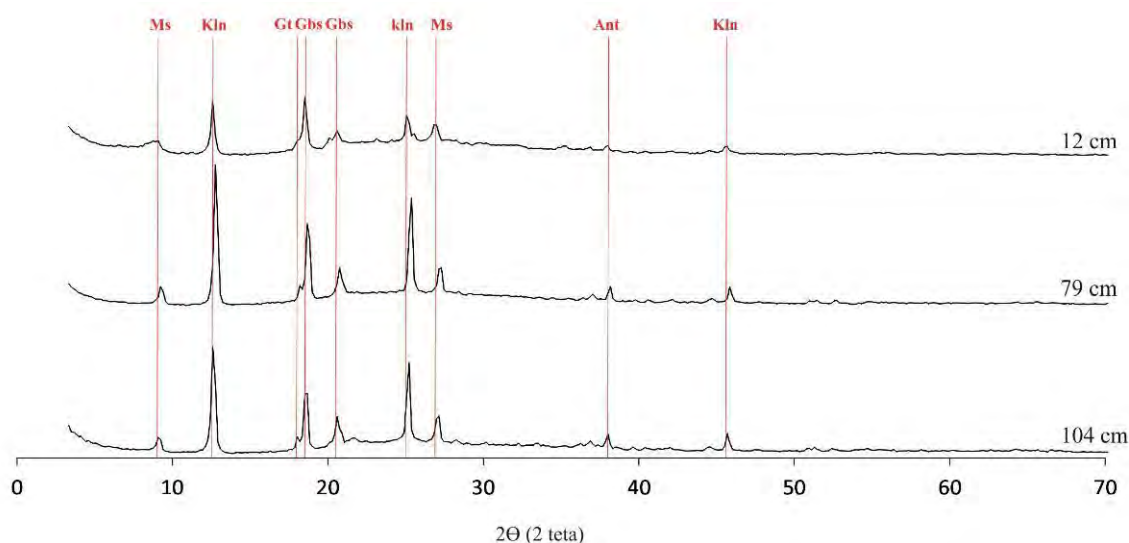
- **Perfil 4:**

Difratogramas representativos do perfil de solo 4 foram analisados, e os seguintes minerais foram identificados: muscovita, caulinita, gibbsita, anatásio, quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e goethita ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ). As amostras analisadas correspondem aos horizontes B2 (79cm), Bc (125cm) e A3 (24cm). Ressalta-se que, para este perfil, os difratogramas não foram apresentados por possuírem nível do ruído acima do desejado e, por isso, serão feitas novas extrações de argila e nova análise por DRX para as amostras.

- **Perfil 5:**

Constatou-se com os resultados de DRX para o perfil de solo 5 (gráfico 24), que o mineral caulinita é o mineral dominante da fração argila e aparece em maior quantidade na profundidade intermediária (79 cm – horizonte C), enquanto a altura dos picos do mineral muscovita não varia significativamente da base do perfil (104 cm – horizonte C) para a referida profundidade intermediária. No topo do perfil (12 cm – horizonte AE) o mineral muscovita praticamente desaparece assim como o mineral gibbsita. Quanto ao mineral goethita, este foi identificado nas três amostras, com maior quantidade no horizonte C, a 79 cm. De maneira geral, os resultados apontam que todos os minerais têm picos de menor altura no horizonte superior.

**Gráfico 24: Difratogramas representativos do perfil de solo 5.**



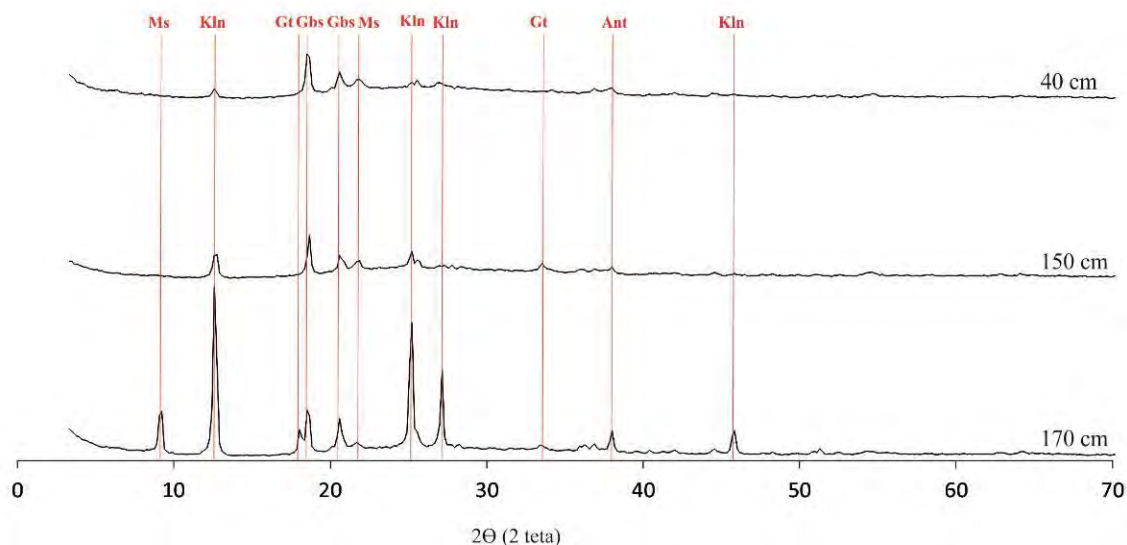
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Abreviações: Muscovita (Ms), Caulinita (Kln), Gibbsita (Gbs), Anatásio (Ant) e Goethita (Gt).

- **Perfil 6:**

Com base nos difratogramas do perfil de solo 6 (gráfico 25), correspondentes aos horizontes B1 (40 cm) e C (150 e 170 cm), observou-se que: i) os minerais muscovita, caulinita e anatásio apresentam uma forte redução na altura do pico de 170 para 150 cm de profundidade; ii) os picos do mineral gibbsita, por outro lado, apresentam pequena redução na mesma direção; e iii) os picos do mineral gibbsita é importante apenas no horizonte de 170cm, reduzindo-se a 150 cm e desaparecendo no topo.

**Gráfico 25: Difratomogramas representativos do perfil de solo 6.**



**Fonte: Dados da pesquisa, 2013.**

**Abreviações: Muscovita (Ms), Caulinita (Kln), Gibbsita (Gbs), Anatásio (Ant) e Goethita (Gt).**

De forma geral, a assembleia mineral constituída por muscovita, caulinita, gibbsita, anatásio e goethita ocorre de maneira ampla no saprolito dos perfis de solo de 1 a 6. No entanto, os padrões de distribuição dos minerais apontaram para uma diminuição partindo da base dos perfis em direção ao topo. Dessa forma, temos uma menor incidência dos referidos minerais no *solum*. Apenas os minerais gibbsita, caulinita e muscovita foram identificados de forma mais ampla nos horizontes superficiais, ainda assim, em quantidades inferiores. Observou-se, ainda, que as variações nos teores dos minerais ocorreram de maneira gradual, sem rupturas significativas, da base ao topo dos perfis.

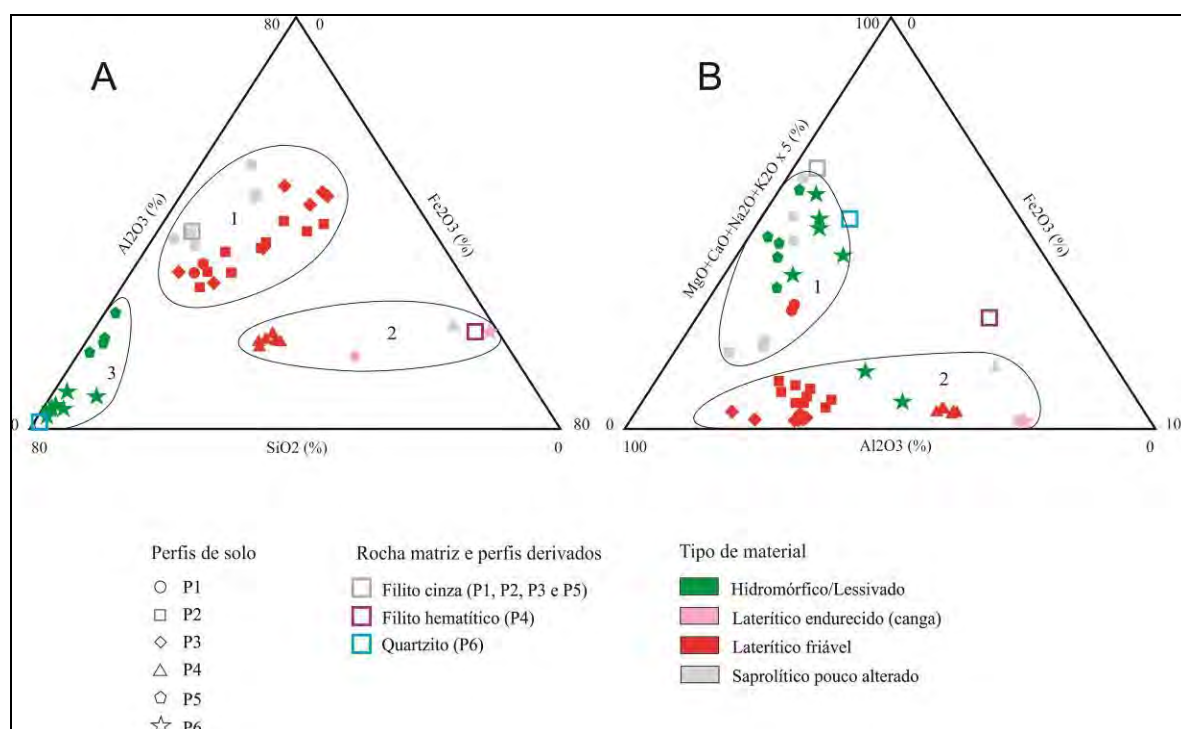
## 5 GÊNESE E EVOLUÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS

Este capítulo tem como objetivo estabelecer as conexões entre as informações adquiridas nos trabalhos de campo, representadas pelas análises morfológicas, e os resultados advindos das análises laboratoriais. O estabelecimento destas relações contribuiu para a construção do quadro pedológico de áreas representativas do Planalto de Diamantina.

### 5.1 Processos maiores de intemperismo/pedogênese

Com o intuito de compreender os processos maiores de intemperismo/pedogênese dominantes nas formações dos perfis de solo de 1 a 6, estudados por esta dissertação, procurou-se representar em triângulos os dados das análises químicas totais dos materiais friáveis e dos substratos rochosos. Como base nos triângulos A e B (Gráfico 26) é possível estabelecer a concentração de elementos químicos como  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $MgO+CaO+Na_2O+K_2O$  nas amostras de solo e do substrato.

**Gráfico 26: Agrupamento dos materiais friáveis e do substrato rochoso dos perfis estudado função dos teores de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $MgO+CaO+Na_2O+K_2O$ .**



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

- **Triângulo A**

Representa teores de  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$  para horizontes dos perfis analisados e amostras de rocha. Três grupos de pontos são identificados: o grupo 1 representa o filito cinza, os horizontes de alteração dos perfis P-1 e P-2, dele derivados, bem como horizontes friáveis de natureza laterítica, também dele originados (P-1, P-2 e P-3). Excetuando-se os horizontes saprolíticos pouco alterados, esses materiais apresentam teores relativamente elevados em  $Al$  e em  $Fe$ . O grupo 2 contém o filito hematítico e os horizontes do perfil P-4 que dele derivam: saprolito pouco alterado (triângulo cinza) e horizontes pedológicos, que aparecem como um conjunto concentrado na parte central inferior do diagrama. Dois horizontes, pertencentes a outros perfis e originados de outras rochas, aparecem também nesse grupo número 2. São horizontes com maiores teores de  $Fe$ , do tipo linha de pedra formada por concreções ferruginosas, pertencente ao perfil P-5, derivado do filito cinza, e a camada de canga, referente ao perfil P-6, derivado do quartzito. Teores de  $Fe$  bastante elevados, superiores a 50%, colocam esses materiais endurecidos na parte inferior direita do diagrama, ao lado da amostra de filito hematítico. Os materiais pedológicos desse grupo são de natureza laterítica. O grupo 3 contém a rocha quartzítica, além de horizontes de dois perfis de solo: P-5 e P-6. No caso de P-5, situam-se nesse grupo todos os horizontes abaixo e acima da linha de pedras. Esses horizontes apresentam teores bastante baixos de  $Fe$  e teores baixos de  $Al$ , apesar de terem se originado de uma rocha do tipo filito (filito cinza). A distribuição dos horizontes do perfil P6, originário de rocha quartzítica, é análoga, mas os teores de  $Fe$  e de  $Al$  são ainda mais baixos. O teor mais elevado de  $Fe$  nesse perfil (cerca de 7%) ocorre no horizonte situado acima da linha de pedra formada pelas concreções ferruginosas. Os materiais friáveis desse grupo apresentam empobrecimento em  $Fe$  e em argila, indicando uma gênese controlada pela via hidromórfica em associação com processos de lessivagem e/ou ferrólise.

- **Triângulo B**

Demonstra teores de  $MgO+CaO+Na_2O+K_2O$ ,  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$  para horizontes dos perfis analisados e amostras de rocha. As mesmas amostras representadas no triângulo A (esquerda) se organizam, agora, em dois grupos: o grupo 1 é dominado por dois tipos de horizontes: aqueles derivados do intemperismo do filito cinza, mas ainda relativamente pouco

intemperizados, e aqueles produtos da via hidromórfica associada à lessivagem/ferrólise, dois perfis P-5 e P-6 (excetuando-se duas amostras). Embora esses dois subgrupos de amostras apresentem aproximadamente a mesma proporção entre as três variáveis analisadas, os valores percentuais totais das três variáveis são muito diferentes, bem como a gênese de seus materiais: as amostras pouco intemperizadas (cinza) têm teores mais elevados das três variáveis, pois contêm ainda minerais primários ricos em cátions básicos, Fe e Al, além do Al e do Fe contidos nos produtos do intemperismo. As amostras decorrentes da via hidromórfica associada à lessivagem/ferrólise possuem teores mais baixos para as três variáveis do diagrama (embora mantendo-se mais ou menos a mesma proporção), em decorrência da exportação parcial do Fe e do Al. Duas amostras classificadas como pertencentes aos materiais lateríticos também se encontram nesse grupo 1 (amostras do *solum* do perfil P-1). No grupo 2, dominam as amostras de natureza laterítica, friáveis ou endurecidas. As amostras desse grupo apresentam sempre teores baixos em cátions básicos, indicando destruição dos minerais primários mais intemperizáveis e lixiviação intensa. Há uma variabilidade significativa nos teores de Al e nos teores de Fe. As amostras derivadas do filito cinza (P-2 e P-3) são mais aluminosas. Aquelas derivadas do filito hematítico são mais ferruginosas, assim como os horizontes lateríticos endurecidos dos perfis P-5 e P-6. Duas amostras classificadas como produtos da via hidromórfica associada à lessivagem/ferrólise também fazem parte desse grupo: aquelas referentes aos horizontes superiores do perfil, mais ferruginosas e provavelmente derivadas da degradação do horizonte laterítico endurecido (linha de pedras formada por concreções ferruginosas).

## 5.2 Solos Lateríticos

Segundo Bigarella (1994), os processos de laterização englobam uma sequência de fenômenos que se sucedem à alteração da rocha subjacente, favorecendo a acumulação de óxidos de Fe, Al, Mn e Ti, em um horizonte superficial. De fato, os resultados obtidos através da FT, para os perfis de solo 2, 3 e 4, demonstraram o acúmulo de Fe, Al e Ti nos horizontes que compõem o saprolito e no *solum*, em relação à rocha matriz. Além dos resultados obtidos com a FT, o matiz 7,5 YR, identificada no *solum* de P-2, P-3 e P-4, bem como as fotomicrografias de amostras indeformadas de solo da base de P-2 contribuem para a hipótese. O matiz indica presença importante de óxidos de Fe e as fotomicrografias apontaram

fundos matriciais avermelhados e poros fissurais preenchidos por cutans de cor vermelho-amarelada, ferruginosos.

Vieira (1975) descreve que na laterização os processos pedogenéticos podem se apresentar na forma de remoção, ou seja, em condições climáticas que favoreçam a ocorrência de um volume considerável de lixiviação, ocorre a perda, quase total, dos alcalinos e alcalinoterrosos. Tais condições foram observadas nos perfis de solo 2, 3 e 4 através das análises de química total e, principalmente, com os cálculos da FT.  $MgO+CaO+K_2O+Na_2O$  foram praticamente removidos destes perfis de solo.

### **5.3 Solo lateríticos transformados por hidromorfia**

Durante o processo de hidromorfia, o Fe pode ser redistribuído, adicionado ou removido do perfil de solo. Este processo está associado à posição do perfil na paisagem e ao movimento da água (BREEMEN; BUURMAN, 2003). As análises de química total e FT para o perfil de solo 1 corroboraram para a hipótese de que este perfil, formado em ambiente laterítico, tenha sido transformado pelo processo de hidromorfia. Os resultados obtidos com as análises de química total, e posteriormente, os cálculos da FT, demonstraram que há teores mais elevados de Fe no topo do saprolito e no solum, do que na parte intermediária e na base do saprolito, no referido perfil.

Os resultados da FT exibiram, em termos comparativos, que há um acúmulo de 50% de Fe, a mais, do que na rocha matriz. O material predominante na base do perfil tem matiz 2,5YR, avermelhada e sugere a condição de formação em ambiente bem drenado, laterítico, mas que vem sendo desferruginizado, apresentando zonas e faixas esbranquiçadas que cortam a matriz avermelhada. Este fato resulta da mobilização do Fe em condição redutora e indica influência da hidromorfia.

### **5.4 Solo laterítico transformado por hidromorfia associada com lessivagem**

Os processos identificados no perfil de solo 6 são comparáveis aos que ocorrem no perfil de solo 1, discutidos no tópico anterior. O perfil de solo 6 também foi influenciado pela laterização, como indicam o horizonte de canga e o saprolito de cor vermelha, formando-se em ambiente laterítico e transformado pelo processo de hidromorfia, porém associado ao processo de lessivagem. De acordo com Lozet e Mathieu (1997), o processo de lessivagem

refere-se ao transporte mecânico em suspensão de argila e, em menor quantidade, de argila grossa e silte ao longo de fendas e vazios.

As análises granulométricas de amostras representativas deste perfil permitiram estabelecer estas correlações, uma vez que apontaram um horizonte muito branco, muito arenoso (aproximadamente, 50% de areia fina e 40% de areia grossa), no topo do saprolito. Neste ponto, os elementos químicos estudados (Fe, Al, Ti, Na, K, Mg, Ca) foram eliminados indiscriminadamente, tendo restado apenas o Si do quartzo. Além disso, há a presença de *piping* no contato entre o topo do saprolito, esbranquiçado, e a camada de canga. Nessa faixa ocorre, assim, importante exportação de material particulado, caracterizando a lessivagem na parte intermediária do perfil.

Mediante os resultados obtidos, e em comparação com estudos realizados por Neves (2005) em perfis de solos situados nas proximidades do perfil de solo 6, e com características semelhantes, ressalta-se que a autora faz referência à formação de manchas de goethita e de manchas de disseminação de Fe<sub>3+</sub> nesses perfis, enquanto o que parece estar havendo é uma desferruginação, com avanço do material mais pálido (amarelo claro) sobre o material vermelho. Isso se faz ao longo da porosidade, fissural ou tubular (essa última associada à presença de raízes e material orgânico). O material avermelhado aparece de forma relictual, “cortado” pela matriz pálida. A principal hipótese é de que haja uma desferruginação geral no P-6, onde os restos de couraça parecem perder ferro, e o material ferruginoso, localizado na parte de cima do perfil (concreções, horizonte da couraça) está “desconectado” da parte de baixo, também ferruginosa (isto é, não há atualmente filiação vertical). Entre essas partes há um horizonte quase branco (onde ocorre o *piping*), de areia quase pura. Assim “desconectado”, o perfil não pode se reconstruir seguindo uma via ferruginizante.

#### **5.4 Solo hidromórficos lessivados**

Quanto ao perfil de solo 5, com base nas observações em campo e nos procedimentos laboratoriais, chegou-se a hipótese de que este se formou em ambiente hidromórfico. O relevo é plano, de topo, e, localmente, é levemente deprimido. As características gerais do saprolito, principalmente a morfologia, indicam a migração e a segregação do Fe obedecendo à estrutura herdada da rocha matriz. Além disso, a parte superior do perfil apresenta cor cinza, com croma baixo (10YR 5/1), indicando ausência de óxidos de Fe e acumulação da matéria orgânica, características típicas de ambientes redutores. De acordo com Resende et al., (1999), a ausência de Fe (III) (Fe oxidado) ou a presença de Fe (II) (Fe reduzido) fazem

com que o solo tenha um aspecto acinzentado, esverdeado ou azulado, abaixo da camada de matéria orgânica.

As análises de química total e os cálculos da FT demonstram que o Ti acumula-se residualmente no horizonte superficial, enquanto o Fe apresenta fortes perdas. De todos os perfis estudados até aqui, o perfil de solo 5 é o único em que há ganho apenas de Ti. De fato, o Ti não é sensível à oxirredução, isto é, sua mobilidade não varia muito se o ambiente é bem ou mal drenado, enquanto o Fe é perdido em ambiente hidromórfico. Essas características indicam que o processo dominante é a hidromorfia.

### **5.5 Os fatores de formação dos solos e a gênese dos perfis estudados**

Para estabelecer as hipóteses de distribuição geográfica dos solos, no Planalto de Diamantina, é necessário averiguar a atuação dos cinco fatores de formação dos mesmos, a saber: i) material de origem, ii) clima, iii) organismos, iv) relevo e v) tempo. Ferreira Neto (2012), em seus estudos em uma topossequência situada no Parque Estadual do Biribiri, Município de Diamantina, Minas Gerais, verificou a ação do microclima, na formação dos solos encontrados. Em seus estudos, Ferreira Neto observou a elevação do nível freático para a superfície, desta forma, destacou o papel das condições de drenagem na formação dos solos do Parque – que está sob influência do clima tropical. O monitoramento do nível freático realizado por Soares (2013) nos anos de 2011 e 2012, em um ponto próximo ao perfil de solo 3 (P-3), atesta a hipótese de Ferreira Neto (2012). O volume considerável de precipitação faz com que o nível freático esteja acima da superfície em alguns dias dos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2013. Assim, temos comprovação da atuação considerável dos elementos do clima na formação dos solos do Planalto.

Os estudos de Schaefer et al., (2001), Neves (2005), Ferreira Neto (2012), Soares (2013), assim como esta dissertação, atestaram em campo a grande diversidade de solos existentes no Planalto de Diamantina. Este fato está associado, principalmente, ao material de origem e ao relevo. Os solos estudados são muito heterogêneos, apesar de ocuparem aproximadamente a mesma posição na topografia (topo do planalto) e estarem submetidos ao mesmo clima. Eles têm, como fator condicionante principal, a litologia, que pode ser considerada a principal responsável por essa heterogeneidade. A influência fundamental da litologia soma-se aos processos pedogenéticos que são, por sua vez, controlados principalmente pela condição de drenagem dos perfis (bem drenados ou mal drenados). Segundo Bigarella (1996), o relevo desempenha um papel importante, afetando grandemente

os processos de formação dos solos, além de influenciar a drenagem interna e externa dos solos.

A grande diversidade de tipos de solos, bem como a heterogeneidade morfológica, principalmente em termos de cor e textura, encontrados no Planalto de Diamantina se deve a dois fatores principalmente: i) a diferença de litologia com filitos hematíticos e quartzitos; e ii) as diferenças nas condições de drenagem dos perfis, devido, principalmente, às características topográficas associadas à litologia em nível local.

Dessa forma, temos: P-1 em posição de topo plano com porosidade baixa (rocha do tipo filito), o que dificulta a circulação da água e sua infiltração; em P-5 essa situação é ainda mais acentuada, pois a topografia ainda é levemente deprimida; P-2 e P-4 estão em alta vertente, o que permite que haja escoamento lateral, permitindo um ambiente mais oxidante; P-6 está em média vertente e tem porosidade forte (material de origem é o quartzito), o que favorece circulação lateral e a lessivagem; P-3 é um caso especial, pois é um perfil com características lateríticas, mas que se situa em zona levemente deprimida e está sujeito à saturação hídrica temporária – isso sugere que as condições de hidromorfia e mesmo a feição deprimida da topografia no local são eventos mais recentes e que os materiais desse perfil estão em desequilíbrio, devendo se transformar em materiais compatíveis com as atuais condições ambientais locais.

A ação dos micro-organismos foi verificada nos solos hidromórficos do Parque Estadual do Biribiri, analisados por Ferreira Neto (2012) e Soares (2013). Nos estudos dos citados autores, comprovou-se que a matéria orgânica tem papel preponderante na alteração das propriedades dos solos do Parque Estadual do Biribiri. Nos solos estudados por esta dissertação, apenas P-4, apresentou horizonte superficial de caráter orgânico, semelhante aos horizontes analisados por Ferreira Neto e Soares, em perfis de solo próximos a P-4. Desta forma, comparativamente aos demais fatores de formação dos solos, a ação dos micro-organismos foi o menos atuante.

Assim como ação dos micro-organismos, o fator tempo foi o menos relevante na formação dos solos no planalto. Esta hipótese está baseada no fato de que todos os perfis de solo analisados estão situados em um mesmo compartimento geomorfológico, o que leva a crer que ambos possuem a mesma idade. Assim, o fator tempo em comparação com os demais não seria tão incisivo na gênese daqueles solos, bem como na heterogeneidade encontrada.

## 5.6 Filiação vertical entre *solum*, saprolito e rocha nos perfis estudados

Este tópico tem como objetivo estabelecer as relações entre *solum*, saprolito e rocha nos perfis de 1 a 6, estudados por esta dissertação. Embasou-se principalmente nas concepções de Gèze (1959), Compy e Macaire (1989) e Dewolf (2008), que propõem classificações genéticas, de acordo com as relações entre solo e o substrato rochoso. Neste contexto, foram identificados solos originados a partir da desintegração da rocha subjacente, ou seja, solos interpretados como autóctones, e um perfil cujo *solum* não apresentou relação significativa com o substrato rochoso, tendo sido, portanto, interpretado como solo alóctone.

### 5.6.1 Solos interpretados como formados a partir da rocha sã subjacente (autoctonia)

Os perfis de solo 1, 2, 3, 4 foram interpretados como formados a partir da rocha sã subjacente, ou seja, autóctones (GÈZE, 1959; COMPY; MACAIRE, 1989). Os resultados obtidos com as interpretações em campo, bem como na realização dos procedimentos laboratoriais de pH, química total, granulometria e a mineralogia por DRX, além das relações estabelecidas com as Funções Transporte (FT) deram a sustentação necessária para elaboração desta hipótese.

A interpretação dos resultados obtidos não apontou nenhuma ruptura vertical significativa nos perfis de solo citados anteriormente, e sim indícios de que os mesmos tenham se formado a partir do substrato rochoso. Poros fissurais preenchidos por cutans de cor vermelho-amarelada, ferruginosos (Figura 22) observados na base de P-2, bem como o ganho de Fe pontuado no cálculo de FT (Gráfico 16), partindo da base ao topo deste mesmo perfil, contribuem para a construção do quadro de autoctonia. O que de fato se aplicou aos perfis de solo 1, 3 e 4 – reforçando que não houve sinal de aloctonia, o que torna possível os materiais que compõem o *solum* – é que estes perfis podem perfeitamente ter se formado a partir da rocha subjacente.

Os perfis 1 e 2 apresentaram linha de pedras que poderia, de acordo com alguns autores (MOUSINHO; BIGARELLA, 1965a; AB’SABER, 1979 e 2000; QUEIROZ NETO, 2001 e 2010; HIRUMA, 2007), sugerir uma condição de aloctonia. Entretanto, estes seixos não são arredondados. Do contrário, os seixos de quartzo que compõem as linhas de pedras são angulares e subangulares, advindos possivelmente do processo de desmonte de veios de

quartzo existentes, o que leva a crer que o material foi formado *in situ*, ou mesmo que não houve um transporte por longas distâncias do mesmo.

No caso do perfil de solo 6, a morfologia (Figura 26) pode sugerir, em função das transições planas e abruptas entre o saprolito e canga e entre a canga e o horizonte B, uma descontinuidade vertical associada a uma discordância erosiva. Entretanto, a distribuição vertical dos elementos químicos totais menos móveis (Zr, sobretudo) e dos minerais (química total e DRX – Gráficos 14 e 25) sugere continuidade e filiação vertical no perfil. Deve-se considerar, ainda, a possibilidade de se tratar de um perfil subautóctone, no sentido de Dewolf (2008), isto é, que o material da parte superior do perfil tenha se formado a partir da rocha local, mas tenha sofrido transporte por curtas distâncias.

### 5.6.2 Solo interpretado como formado a partir de material transportado (aloctonia)

Ao contrário do que foi observado nos perfis de solo 1, 2, 3, 4 e 6, o perfil 5 apresenta descontinuidade vertical. Este fato leva a crer que o material do *solum* pode ter se originado de uma rocha matriz e um saprolito diferente daqueles observados atualmente na base do perfil, isto é, o material do *solum* foi classificado como alóctone.

Os resultados granulométricos para este perfil apontaram uma ruptura, entre as amostras 52 cm (horizonte C) e 39 cm (horizonte BC), o que de fato indica que parte do perfil foi formado sobre material alóctone.

Nesse sentido, as análises da química total também destacaram uma ruptura importante na distribuição dos elementos, na passagem do horizonte BC, para a camada de *stone line* e horizonte superficial. Al e Zr, por exemplo, apresentaram forte redução de seus teores em direção ao topo do perfil. As análises por DRX, das amostras 104, 79 e 12 cm, assinalaram picos dos minerais muscovita, caulinita, gibbsita, anatásio e goethita, nas fases iniciais de alteração, e picos menores nos horizontes superiores, em consonância com os resultados descritos acima. Já as respostas obtidas com a FT corroboraram para a identificação da ruptura no perfil, entre os horizontes de alteração e o *solum*, onde parte dos elementos químicos estudados despontaram teores distintos dos presentes no saprolito.

A linha de pedra identificada no perfil de solo 5, assim como em P-1 e P-2, apresenta material com formas angulares e subangulares. Assim, a principal hipótese é de que o material que compõe a linha de pedra do referido perfil pode ter se formado *in situ*, ou mesmo não ter sofrido transporte por longas distâncias.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi baseado em seis perfis de solos situados sobre a superfície do Planalto de Diamantina, sendo cinco inseridos numa Unidade de Conservação, o Parque Estadual do Biribiri, ao norte de Diamantina, e um ao sul dessa cidade, no entroncamento das estradas MG-220 e BR-367. Os perfis ocupam os topos planos do Planalto ou as partes altas das vertentes extensas e de baixa declividade que se iniciam nesses topos planos e terminam em fundos de vales abertos e hidromórficos. Os seis perfis de solo foram descritos e amostrados desde o contato com a rocha alterada ou são até a superfície, buscando entender a sequência vertical dos materiais e sua relação genética. As interpretações apresentadas por este trabalho baseiam-se nas características morfológicas dos materiais observados e em dados de análises mineralógicas e químicas sobre as amostras coletadas.

A paisagem da superfície do Planalto pode aparentar, em um primeiro momento, certa monotonia em termos topográficos e da cobertura vegetal (vegetação de campo, podendo ser campo limpo, campo cerrado ou campo rupestre). Entretanto, essa aparente monotonia esconde uma grande heterogeneidade no que diz respeito aos aspectos pedológicos. Os tipos de solos encontrados foram LATOSSOLOS (P-2, P-3 e P-4) e PLINTOSSOLOS (P-1, P-5 e P-6). A heterogeneidade dos solos verificada foi atribuída à influência destacada de dois fatores: material de origem e condição de drenagem local dos perfis. Quanto ao material de origem verificou-se que existem três tipos de rocha principais na área: os filitos, os filitos hematíticos e os quartzitos – e que essas rochas aparecem frequentemente intercaladas. Já a respeito da drenagem observou-se que suas condições variam fortemente entre os vários pontos da superfície do Planalto, havendo áreas em que o nível freático encontra-se próximo da superfície durante a estação chuvosa e áreas em que os solos são bem drenados durante todo o ano.

As condições de drenagem locais são o fator principal que determina a via maior de alteração e pedogênese que vai comandar a formação dos perfis. A atuação dos processos associados a essa via sobre os diferentes materiais de origem resultou na formação dos solos estudados. Duas vias principais de alteração e pedogênese se destacam: laterização e hidromorfia. A laterização é a via dominante nos ambientes bem drenados intertropicais. Envolve intensa lixiviação, sobretudo dos cátions básicos e do Si, com acumulação relativa de Fe e Al na forma de óxidos. Os produtos são solos amarelados e avermelhados, contendo ou não horizontes ferruginosos endurecidos. Já a hidromorfia está diretamente ligada à saturação da água no solo, ocorrendo, portanto, em ambientes localmente mal drenados. Ela promove a

mobilização e a segregação do Fe, gerando solos acinzentados ou com grande heterogeneidade de cores onde a saturação hídrica é temporária. A hidromorfia pode ocorrer localmente associada ao processo de lessivagem, onde por meio de um transporte mecânico, argila e silte podem ser transportadas ao longo de fendas e vazios. Nesse caso os solos tornam-se mais arenosos e quartzosos.

Alguns dos perfis apresentam morfologia, mineralogia, e características químicas tipicamente lateríticas, como P-2 (LATOSSOLO de cor vermelho-amarelo), que resultou da laterização de filitos; P-4 (LATOSSOLO de cor vermelho escuro), que resultou da laterização sobre filitos hematíticos e P-3 (LATOSSOLO de cor vermelho-amarelo), também sobre o filito. Em dois perfis, P-1 (PLINTOSSOLO de cor bruno amarelada e saprolito com mosqueados, formado sobre filito) e P-6 (PLINTOSSOLO, de cor dominante amarelo brunado, com camada de couraça ferruginosa, formado a partir de quartzito), houve uma superimposição da via hidromórfica sobre materiais originalmente lateríticos. Em todos os perfis, constatou-se que a organização dos materiais (morfologia) permite a interpretação de que materiais lateríticos têm sua continuidade interrompida por domínios, às vezes em forma de faixas, hidromorfizadas. No caso de P-6 houve ainda ação da lessivagem associada à hidromorfia, promovendo a exportação do material fino no topo do saprolito, resultando em um horizonte eluvial branco composto apenas por grãos de quartzo na fração areia. Em alguns pontos, mesmo esse material arenoso foi exportado, gerando vazios em forma tubular, feições conhecidas como *piping*. Em P-3, apesar de sua morfologia atual indicar um funcionamento compatível com a via laterítica, foi constatado em campo, que esse perfil ocupa uma área ligeiramente deprimida na superfície do Planalto e que nesta área, o nível freático se eleva na estação chuvosa, saturando temporariamente os materiais de todos os horizontes. Estas características foram interpretadas como indicadoras de que a ação da hidromorfia nesse perfil é recente. Ou seja, não teriam havido ainda transformações significativas do ponto de vista químico e mineralógico que resultassem em mudanças morfológicas (empalidecimento, segregação de Fe, sobretudo) esperadas, para os materiais submetidos à saturação hídrica. Por fim, em P-5, um PLINTOSSOLO (com saprolito predominantemente amarelo, com mosqueados e solum cinza) ocupa área ligeiramente deprimida, embora pouco perceptível, no topo do Planalto. Nesse perfil a hidromorfia parece ter atuado há mais tempo, tendo em vista a existência de um solum raso e com elevado teor de matéria orgânica.

A respeito da relação dos materiais do solum com o substrato geológico subjacente, pode-se afirmar que na maioria dos perfis não houve indicações, com base nas análises realizadas, de que os materiais da superfície dos perfis (solum) tenham sofrido transporte por

longas distâncias. Com exceção de P-5, onde as transições abruptas entre saprolito e solum e a diminuição abrupta do teor de Zr no solum se comparado ao saprolito sugerem que os materiais da parte superior do perfil podem não ter se originado da rocha hoje subjacente, isto é, permitem a hipótese de que houve aloctonia. Em P-6, no entanto, apesar da transição abrupta entre os horizontes de alteração e o horizonte F, e entre o horizonte F e o solum, não há indicações do ponto de vista mineralógico e químico de aloctonia. Mas deve-se levar em consideração a possibilidade de ter ocorrido um transporte a curta distância do material que está acima do horizonte F, portanto, uma condição de subautoctonia.

Diante do exposto, espera-se que esse estudo venha a se somar àqueles que buscam caracterizar as formações superficiais do Planalto e entender a sua gênese. O Planalto de Diamantina apresenta forte heterogeneidade pedológica e geoquímica e o estudo de outros perfis, com o uso de outras técnicas é necessário. A utilização de novas análises, outras técnicas, como isótopos cosmogênicos, análise mineralógicas, por IFTR, dentre outras, poderiam trazer novos elementos e contribuir para a discussão das hipóteses apresentadas. Tais estudos vão contribuir para a compreensão da estrutura daquelas paisagens, passo fundamental para que se tomem medidas para a sua proteção e para seu uso mais racional.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. As altas superfícies de aplainamento do Brasil Sudeste. **Revista das Faculdades Campineiras**, Campinas, v. 1, n. 4, p. 60-67, 1954.
- AB'SÁBER, A. N. Posições das superfícies aplainadas no Planalto Brasileiro. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 3, n. 5, p.52-54, 1960.
- AB'SÁBER, A. N. **Spaces occupied by the expansion of dry climates in south america during the quarternary ice ages.** Revista do Instituto Geológico, v. 21, n. 1-2, p. 71-78, 2000.
- ABREU, A. A. de. **Análise geomorfológica:** reflexão e aplicação (Uma contribuição ao conhecimento das formas de relevo do Planalto Diamantina – MG). 296f. 1982. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ABREU, P. A. A.; RENGER, Friedrich Ewald. Serra do Espinhaço Meridional: um orógeno de colisão do mesoproterozoico. **Revista Brasileira de Geociências**. 32(1): 1-14, mar., 2002.
- ALMEIDA-ABREU, P. A.; FRAGA, L. M. S; NEVES, S. de C. Geologia. In: SILVA, A. C; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. de A. **Serra do Espinhaço Meridional:** paisagens e ambientes. Belo Horizonte: O Lutador, p. 17-44, 2005.
- AMORIM FILHO, O. B.; SENA FILHO, N. de. **A morfologia das Cidades Médias.** Goiânia: Ed. Vieira, 2005.
- ANDREYCHOUK, V. et al. **Karst in the Earth's Crust:** its distribution and principal types. Poland: University of Silesia/ Ukrainian Academy of Sciences/ Tavrichesky National University-Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, 2009.
- AUGUSTIN, C. H. R. **Aspectos geomorfológicos da região de Gouveia, Espinhaço Meridional, MG.** 8º Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Diamantina, MG. SBG/MG, 1: 3-4. 1995a.
- AUGUSTIN, C. H. R. **Geoökologische Studien im Sudlichen Espinhaço gebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien unter Bersonderer Berucksichtigung derLandschaftsentwicklung.** 254f. 1995b. Tese (Doutorado) - Doctoral Thesis-Departamento de Geografia Física, J. W. Goethe Universität- Frankfurt AM Main-Alemanha.
- AUGUSTIN, C. H. R. The relationship between gully erosion and land use in Gouveia, Minas Gerais. **Abstracts of Regional Conference on Geomorphology.** Rio de Janeiro: IAG, Jul., p. p. 17-22, 1999.
- AUGUSTIN, C. H. R. et al. **Mapeamento Geomorfológico da Serra do Espinhaço Meridional: primeira aproximação.** Belo Horizonte: Geonomos, UFMG/IGC, 19(2), p. 50-69, 2011.

ÁVILA, F. F. **Análise da Cobertura Pedológica em uma Toposequência na Bacia do Córrego dos Pereiras** – Depressão de Gouveia/MG. 135f. 2009. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BENITEZ, L. **Caracterização Geológica e Químico-mineralógica de Depósitos Coluvionares Diamantíferos da Região de Diamantina, Serra do Espinhaço/Minas Gerais**. 108f . 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis, SC: Ed. da UFSC, 1994.

BIGARELLA, J. J; BECKER, R. D; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais: intemperismo Biológico, Pedogênese, Laterização, Bauxitização e Concentração de Bens Minerais**. Florianópolis-SC: Ed. da UFSC, v.2, 1996.

BIGARELLA, J. J; BEKER, R. D; SANTOS, G. F. dos. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis-SC: Ed. da UFSC, 2 ed., 2007.

BLOOM, A. L. **Superfície da Terra**. Tradução Setembrino Petri e Reinholt Ellert. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, p. 30-100, 1996.

BOCQUIER, G. **Genése et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad** . [S. l.]: ORSTOM (Mem. ORSTOM, 62), 325p, 1973.

BREEMEN, N. V; BUURMAN, P. **Soil Formation**. New York: Kluwer Academic Publishers, Second Edition. Laboratory of Soil Science and Geology, 2003.

BRIMHALL, G. H. & DIETRICH, W. E. **Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemikal systems: results on weathering and pedogenesis**. Geochim, Cosmochim: Acta, v. 51, p. 567-587, 1987.

BUCKMAN, H. O. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, ed. 4, 1976.

BUENO, G. T. **Transferências de matéria, evolução das formações superficiais e a gênese das paisagens naturais sobre os quartzitos da Bacia do Rio Preto: Serra do Espinhaço-MG**. 2010. Projeto (Pesquisa) - Programa de Pós-Graduação em Tratamento da Informação Espacial – PUC Minas, Belo Horizonte.

BUENO, G. T.. **Empobrecimento e podzolização de solos lateríticos da Bacia do Rio Negro e gênese dos podzóis na Alta Bacia Amazônica**. 157f. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro.

BÜDEL, J. **Die doppelten Einebnungsflächen in den feuchten Tropen**. Zeitschrift für geomorphologie, Stuttgart, n.1, p. 201-228. 1957.

BÜDEL, J. **Climatic geomorphologie**. Tradução de L.Fischer e D. Busche. New Jersey: Princenton University Press, 1982.

BUTT, C. R. M.; LINTERN, M. J.; ANAND, R. R. **Evolution of Regoliths and Landscapes in Deeply Weathered Terrain—Implication for Geochemical Exploration.** *Ore Geology Reviews*, v. 16, n. 3-4, p. 167-183, 2000.

CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física dos Solos do Instituto Agrônomo de Campinas.** Boletim Técnico n° 106. Instituto Agrônomo: Campinas, 1986.

CAMPY, M.; MACAIRE, J.-J. **Geologie des formations superficielles.** MASSON : Paris, Milan, Barcelone e Mexico, 1989.

CASSETI, V. **Elementos de geomorfologia.** Goiânia: Editora UFG, 1994.

CHADWICK, O. A.; BRIMHALL, G. H.; HENDRICKS, D. M. **From a black to a grey box: a mass balance interpretation of pedogenesis.** *Geomorphology*, v. 3, p. 369-390, 1990.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgar Blucher/USP, 1974.

COMPANHIA MINERADORA DE MINAS GERAIS. **Mapa Geológico da Folha Diamantina, Minas Gerais, Brasil - Folha SE-Z-A-III.** Escala: 1: 100.000, 1996. Disponível em: <[http://www.comig.com.br/site/content/parcerias/levantamento\\_aerogeofisico.asp?id=30&idSubPrj=50&filhoId=51](http://www.comig.com.br/site/content/parcerias/levantamento_aerogeofisico.asp?id=30&idSubPrj=50&filhoId=51)>. Acesso em: 04 abr. 2011.

COSTA, A. C. S. da; BIGHAM, J. M. **Óxidos de Ferro.** In: MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: Parte I – Conceitos Básicos.** Viçosa, MG: SBCS, p. 427-505, 2009.

CRIVELENTI, R. C. **Mineração de dados para inferência da relação solo-paisagem em mapeamentos digitais dos solos.** 107f. 2009. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agrônomo, Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Campinas.

CRUZ, L. O. M. **Assinatura geoquímica de unidades colúviais da Bacia do Córrego do Rio Grande – Depressão de Gouveia/MG.** 152f. 2006. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CURI, N & KAMPF, N. **Caracterização do solo.** In: KER, J. C. et al. **Pedologia: Fundamentos.** Viçosa/Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 147-169, 2012.

DELVIGNE, J. **Pédogenèse en zone tropicale: la formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique.** Mém. ORSTOM. 1965.

DERBY, O. A. **Observações sobre algumas rochas diamantíferas da província de Minas Gerais.** – Arch. Mus. Nas. 4, 1981.

DEWOLF, Y. **Introduction.** In: DEWOLF, Y.; BOURRIÉ, G. **Les Formations Superficielles.** Paris: Ellipses, p. 19-26, 2008.

DRUMOND, G. M. et al. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação**. Ed. 2. Fundação Biodiversitas, 1990.

DUCHAUFOR, P. et al. **Précis de Pédologie**. Masson Et cie, Éditeurs. Paris, 1970.

DUSSIN, T.M. **Associations volcano-plutoniques de l’Espinhaço méridional (SE Brésil): Un exemple d’évolution de la croûte Protérozoïque**. 177f. 1994. Tese (Doutorado) - Univ. Orléans.

DUSSIN, I, A. & DUSSIN, T. M. **Super Grupo Espinhaço: Modelo de Evolução Geodinâmica**. Belo Horizonte: Geonomos, UFMG/IGC, 1995.

DUSSIN, I. A. et al. **Facies eólico na Formação Galho do Miguel, Supergrupo Espinhaço (MG)**. In: **SBG, Simp. Sistem. Depos. Precamb.** Ouro Preto: Anais, p. 85–96, 1987.

ELOY, D. T. et al. **Estudo da morfologia e de aspectos físicos e químicos dos solos de uma vertente da superfície cimeira da Bacia do Córrego da Roda, Parque Estadual do Biribiri-MG**. 2011. (Monografia) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

EL-SWAIFY, S. A; DANGLER, E.W; ARMOSTRONG, C. L. **Soil Erosion by Water**. Hitahr: University of Hawaii, College of Tropical Agriculture and Human Resources, 1982.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Ed. 2. Rio de Janeiro, EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

FASSBENDER, H. W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos com énfasis in suelos da América Latina**. São José, C.R: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2.ed; 1994.

FANNING, D. S; FANNING, M. C. B. **Soil: Morphology, Genesis, and Classification**. New York: John Wiley e Sons, 1989.

FERREIRA NETO, J. A. **Mineralogia e gênese dos solos de uma vertente do Planalto de Diamantina-MG – Parque Estadual do Biribiri – Serra do Espinhaço-MG**. 109f. 2012. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia: Tratamento da Informação Espacial, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FOGAÇA, A. C. C. Geologia da Folha Diamantina. In: GROSSI-SAD, J. H. et al (Coord.). **Projeto espinhaço em CD-ROM** (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais, p.1575-1665, 1997.

FONTES, M. P. F. **Intemperismo de Rochas e Minerais**. In: KER, J. et al P. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG: SBCS, p. 171-207, 2012.

FRAGA, L. M. S; ABREU, P. A. A; NEVES, S. de C. Hidrologia e Hidrografia. In: SILVA, A. C; PEDREIRA, L. C. V. S. F; ABREU, P. A. de A. **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes**. Belo Horizonte: O Lutadorp. 79-95, 2005.

FREYBERG, B. **Von: Ergebnisse geologischer Forschungen in Minas Geraes (Brasilien)**. Neues Jb. Min. Geol. Pal., Sonderband II, Stuttgart, 1934.

FILIZOLA, H. F; GOMES, M. A. F. **Comunicado Técnico 20: coleta e impregnação de Amostras de Solo para Análise Micromorfológica**. São Paulo: Jaguariúna, 2004.

GIANNINI, P. C. F.; MELO, M. S. de. In: TEIXEIRA et al. **Decifrando a Terra**. Ed. 2. São Paulo: Companhia Editora Nacional, p. 240-277, 2009.

GUERRA, A. J. T. **Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos**. Revista do Departamento de Geografia, ed. 16, p. 32-37, 2005.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico geomorfológico**. Rio de Janeiro : Bertrand do Brasil, Ed. 9, 2011.

GÈZE, B. **Alteration des Roches et Formation des Sols**. In: GOGUEL, J. **La Terre**. Paris: Eallimard, p. 1122-1172, 1959.

HIRUMA, S. T. **Revisão dos conhecimentos sobre o significado de linha de seixos**. Revista do Instituto Geológico, v. 27, ed. 1-2, p. 53-64, 2007.

HOWARD, A. D. **Drainage analysis in geologic interpretation: a summation**. Bulletin - Chicago: American Association of Petroleum Geologists, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, nov. 1967.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil (Região Sudeste)**. v. 3. SERGRAF – IBGE: Rio de Janeiro, 250p, 1977.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS DE MINAS GERAIS. **Reserva da Biosfera do Espinhaço: Proposta de Criação – Fase I**. Belo Horizonte, março de 2005.

YSHIDA, D. A. **Caracterização e Gênese de solos e depósito de caulim associado, São Gabriel da Cachoeira – AM**. 192f. 2010. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, IGC/USP, São Paulo.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York, MacGraw Hill, 1941.

JOHNSTON, C. T ; AOCHI, Y. O. Fourier Transform Infrared and Raman Spectroscopy. Soil of American Society of Agronomy, 677 S. Segoe Rd, Madison, WI 53711, USA. **Methods of Soil Analysis**. Parte 3. Chemical Methods – SSSA Book Series n. 5, 1996.

KING, L.C. Geomorfologia do Brasil Oriental. **Rev. Bras.Geog**;18(2): 1956.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, n.1. IBGE, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: Coordenação de recursos naturais e estudos ambientais, 2.ed; IBGE, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2 ed; IBGE, 2007.

KAMPF, N. & CURI, N. **Formação e Evolução do Solo (Pedogênese)**. In: KER, J. et al. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: MG, SBCS, p. 207-303, 2012.

KAMPF, N; CURI, N; MARQUES, João José. **Intemperismo e Ocorrência de Minerais Primários no Ambiente do solo**. 333-381p. In: MELO, V. de F; ALLEONI, L. R. F. **Química e Mineralogia do Solo: Parte I – Conceitos Básicos**. Viçosa: MG: SBCS, p. 207-303, 2009.

KNAUER, L. G; SCHRANK, A. **A origem dos filitos hematíticos da Serra do Espinhaco Meridional, Minas Gerais**. Belo Horizonte: Geonomos, UFMG/IGC, p. 33-38, 1993.

LAGES, S. G. **Análise Pedológica Aplicada à Identificação de Descontinuidades Estratigráficas: Vertentes do Córrego de Quebra, Depressão de Gouveia, MG**. 140f. 2009. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LOZET, J. & MATHIEU, C. **Dictionnaire de Science du sol**. Paris: Lavoisier Tec & Doc, 1997.

MENDONÇA FILHO, C. V et al. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Biribiri – Avaliação Ecológica Rápida, Área Temática Vegetação**. Curitiba-PR: SEMAD/STCP/IEF/PRODETUR, 2004.

MICHELON, C. R. **Evolução de sistemas de solos lateríticos e podzolizado: inferências sobre a forma atual da Vertente – Bacia do Alto Rio Preto – MG**. 2011. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

MELFI, A.J. **Lateritas e processos de laterização: aula inaugural**. Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1994.

MOUSINHO, Maria Regina; BIGARELLA, João J. **Processes and environments of the brazilian quaternary**. Curitiba, 1965.

MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. **Revised Washable Edition**. New York, 1998.

NEVES, S. de C. **Caracterização geoquímica ambiental das águas, solos e sedimentos de corrente da bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras, Diamantina, MG**. 2005. Tese

(Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PARAHYBA, R. da B. V; SANTOS, M. C. dos S.; ROLIM NETO, F. C. **Evolução quantitativa de planossolos do agreste do estado de Pernambuco.** Viçosa: Rev. Bras. Ciênc. Solo, v. 33, n.4, Jul./Ago, 2009.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento e Coordenação Geral, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1974.

PFLUG, R. **Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais.** DNPM/DGM, 20p, 1968. (Notas Prelim. Estudos 142).

QUEIROZ NETO, J. P. de. **Pedogênese no Planalto Atlântico.** 1975. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, São Paulo, 1975.

QUEIROZ NETO, J. P. de. **O estudo de formações superficiais no Brasil.** Revista do Instituto Geológico, v. 22, 2001.

QUEIROZ NETO, J. P. de. **O papel de pedogênese no modelado do relevo.** VI Seminário Latino Americano de Geografia Física – II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, maio de 2010.

RAMOS, A. L. L. de S. **Características Micromorfológicas de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos da Porção Norte da Bacia do Córrego do Rio Grande, em Gouveia (MG).** 139f. 2008. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RESENDE, M. et al. **Pedologia : Base para distinção de ambientes.** Viçosa/MG: NEPUT, ed. 3. 1999.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. **Tipos de Vegetação do Bioma Cerrado.** In: **Agência de Informação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agorpecuária, 2005-2007.** Disponível em:<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_23\\_911200585232.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_23_911200585232.html)>. Acesso em : 19 nov, 2012.

ROBERT, M.;TESSIER, D. **Methodes de preparation des argiles des sols pour etudes mineralogiques.** Ann; Agron; n. 25, p. 859–882, 1974.

ROCHA, L. C. **Caracterização pedológica em duas vertentes na Bacia do Córrego do Quebra - Gouveia/MG.** 107f. 2004. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ROCHA, L. C. **Desnudação Geoquímica na Evolução da Serra do Espinhaço Meridional – MG – Brasil.** 179f. 2011. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ROSOLEN, V; HERPIN, U. **Expansão dos solos hidromórficos na paisagem: um estudo de caso na região Sudeste da Amazônia Brasileira.** Acta Amazônica: v. 38 (3), p. 483-490, 2008.

ROSOLEN, V; HERPIN, U; MELFI, A. J. **Expansão dos solos hidromórficos na paisagem sudoeste da bacia amazônica brasileira: mudanças texturais e de porosidade no solo.** Uberlândia: Caminhos da Geografia, v. 7, n. 20, p. 69-78, fev. 2007.

ROSS, J. L. S. L. S. **O relevo brasileiro, as superfícies de aplainamento e os níveis morfológicos.** São Paulo: Revista do Departamento de Geografia – USP, FFLCH-USP, p. 17-31, 1991.

RUELLAN, A. & DOSSO, M. **Regards sur le sol.** Paris: Universités Francophones LesÉditions Foucher, 1993.

SAADI, A. A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. Belo Horizonte: Geonomos, UFMG/IGC, v. 3, p. 41-63, 1995.

SALGADO, A. A. R. **Desnudação Geoquímica e Evolução do Relevo no Espinhaço Meridional – MG.** 2002. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

SALGADO, A. A. R.; VALADÃO, R.C. **Contribuição da Desnudação Geoquímica na Evolução da Erosão Diferencial no Espinhaço Meridional – MG.** Revista Brasileira de Geomorfologia: Ano 4, n. 2, p. 31-40, 2003.

SANTOS, E. de C. **Levantamento Pedológico e Perda Geoquímica na Bacia do Rio Pardo Pequeno – Espinhaço Meridional – Minas Gerais.** 92f. 2001. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SANTOS, L. J. C; SALGADO, A. A. R.; RAKSSA, M. L.; MARRENT, B. R. **Revisão de Literatura: Gênese das Linhas de Pedra.** Revista Brasileira de Geomorfologia: v.11, n. 2, 2010.

SAUER, D. et al. **Review Article Podzol: Soil of the Year 2007 – A review on its genesis, occurrence, and functions.** J. Plant Nutr. Soil Sci. p. 1-17, 2007.

SCHAEFER, C. E. R et al. **Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study.** Elsevier Science, Geoderma: 107, p. 243-269, 2002.

SCHÖLL, W. U; FOGAÇA, A. C. C. **Estratigrafia da Serra do Espinhaço na região de Diamantina.** In: SBG, Simp. Geol. Minas Gerais. Diamantina, Atas, n.1, p. 55–73, 1979.

SCHULTS, L. A. **Métodos de conservação do solo.** Porto Alegre: Sagra, 1983.

SILVA, A. C. Solos. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. de A. **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes.** Belo Horizonte: O Lutador, p. 59-79, 2005.

SILVA, A. C; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. de A. **Serra do Espinhaço Meridional: paisagens e ambientes.** Belo Horizonte: O Lutador, 2005.

SILVA NETO, L. de F. da. **Pedogênese e Matéria Orgânica de Solos Hidromórficos da Região Metropolitana de Porto Alegre.** 2010. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SUDOM, M.C.; St. ARNAUD, R.J. **Use of quartz, zirconium and titanium as weathering indices in pedogenic studies.** Can. J. Soil Sci.: 51:385-396, 1971.

TEIXEIRA, W. **Decifrando a terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

TOLEDO, M. C. M; OLIVEIRA, S. M. B. de; MELFI, A. J. **Intemperismo e formação do solo.** In: TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Texto, p. 140- 166, 2003.

TRESCASES, J. J. In: COLÓQUIO INTERDISCIPLINAR FRANCO BRASILEIRO. **Estudo e cartografia de formações superficiais e suas aplicações em regiões tropicais.** Volume I: Comunicações e debates, 27 de agosto – 8 de setembro, 1978.

TRICART, J. **As relações entre a morfogênese e a pedogênese.** Campinas: Notícia Geomorfológica, 8, p.5-18 (Trad. A. Christofolletti), 1968.

TRICART, J. **Ecodinâmica,** Rio de Janeiro: IBGESUPREN, (Recursos Naturais e Meio Ambiente), 1977.

UHLEIN, A; TROMPETTE, R.R.; EGYDIO DA SILVA, M. **Estruturação Tectônica do Supergrupo Espinhaço na Região de Diamantina (MG).** São Paulo: Rev. Bras. Geoc; 16(2): 212, 1986.

VALADÃO, R. C. Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental: desnudação, superfície de aplanamento e movimentos crustais. 1998. Tese (Doutorado) - Salvador: IGEO/UFBA, 1998.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1975.

## ANEXOS:

## ANEXO A – GRANULOMETRIA: RELAÇÕES DE AMOSTRAS UTILIZADAS E PERCENTUAL DE AREIA, SILTE E ARGILA

Amostra	Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
P1-3	3	69,75	0,00	30,25
P1-12	12	48,05	19,50	32,45
P1-22	22	50,35	16,85	32,80
P1-38	38	52,25	27,35	20,40
P1-95	95	66,75	28,25	5,00
P2-7	7	67,45	3,80	28,75
P2-14	14	53,45	13,25	33,30
P2-43	43	51,85	7,70	40,45
P2-57	57	55,60	5,30	39,10
P2-88	88	58,85	4,80	36,35
P2-105	105	54,85	6,10	39,05
P2-195	195	52,35	9,80	37,85
P2-237	237	50,35	8,90	40,75
P2-270	270	38,60	19,70	41,70
P2-325	325	60,25	12,10	27,65
P2-380	380	70,20	15,10	14,70
P3-10	10	43,00	20,00	37,00
P3-43	43	27,00	24,00	49,00
P3-67	67	31,00	22,00	47,00
P3-91	91	34,00	22,00	44,00
P3-150	150	52,00	19,00	29,00
P3-225	225	49,00	34,00	17,00
P3-300	300	66,00	19,00	15,00
P4-08	8	51,82	22,09	26,00
P4-14	14	50,88	24,62	24,25
P4-24	24	49,21	19,80	30,75
P4-47	47	45,81	20,57	33,40
P4-79	79	46,78	20,33	32,65
P4-99	99	44,02	21,47	34,30
P4-125	125	39,00	21,00	40,00
P5-12	12	88,14	6,60	5,20
P5-39	39	85,88	7,71	6,25
P5-43	43	65,40	27,52	7,05
P5-52	52	62,36	26,39	11,00
P5-79	79	57,84	34,36	7,60
P5-104	104	71,35	26,56	1,90
P6-10	10	88,00	5,00	7,00
P6-40	40	85,00	5,00	10,00
P6-106	106	95,00	5,00	2,00
P6-130	130	91,00	7,00	2,00
P6-150	150	85,00	12,00	3,00
P6-160	160	77,00	13,00	10,00
P6-170	230	85,00	12,00	3,00

**ANEXO B – EXTRAÇÃO DE ARGILA: RELAÇÃO DE AMOSTRAS**

<b>Amostra</b>	<b>Profundidade (cm)</b>
P1-22	22
P1-38	38
P1-95	95
P2-3	3
P2-7	7
P2-14	14
P2-25	25
P2-43	43
P2-57	57
P2-88	88
P2-105	105
P2-135	135
P2-195	195
P2-237	237
P2-270	270
P2-325	325
P2-380	380
P3-43	43
P3-91	91
P3-150	150
P3-300	300
P4-24	24
P4-79	79
P4-125	125
P5-12	12
P5-79	79
P5-104	104
P6-40	40
P6-150	150
P6-170	170

**ANEXO C – QUÍMICA TOTAL: RELAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO E ROCHA E  
TEORES DOS ELEMENTOS ESTUDADOS**

<b>Amostra</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	<b>TiO<sub>2</sub> x 10 (%)</b>	<b>Zr (ppm) x 100</b>	<b>MgO+CaO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O (%)</b>
P1-12	-12	25,25	7,84	29,90	5,98	2,68
P1-22	-22	23,96	7,55	27,60	5,96	2,73
P1-38	-38	28,65	5,61	21,10	7,06	5,73
P1-95	-95	30,30	2,58	12,10	7,16	10,23
P2-3	-3	26,53	9,43	28,50	6,35	0,96
P2-7	-7	22,66	11,26	27,53	7,12	0,71
P2-25	-25	22,51	9,65	25,70	5,85	0,78
P2-43	-43	23,91	8,96	26,91	6,99	0,65
P2-57	-57	27,80	13,63	31,90	6,43	0,7
P2-88	-88	29,14	14,04	32,40	6,32	0,58
P2-135	-135	29,77	17,48	26,71	7,11	0,55
P2-195	-195	35,82	16,03	33,90	5,69	0,69
P2-237	-237	35,68	8,90	32,20	7,22	2,44
P2-270	-270	36,06	9,04	32,30	7,54	2,25
P2-380	-380	30,96	4,19	19,39	9,97	7,51
P3-10	-10	27,10	13,65	36,50	5,58	0,21
P3-43	-43	33,99	16,71	40,30	5,62	0,23
P3-67	-67	33,13	15,54	40,30	5,45	0,2
P3-91	-91	34,78	15,91	41,40	5,69	0,2
P3-150	-150	36,55	11,42	34,70	6,49	0,23
P3-225	-225	23,95	11,37	25,30	4,16	0,29
P3-300	-300	26,43	6,15	19,70	4,21	0,27
P4-08	-8	13,70	22,48	35,80	2,83	0,29
P4-14	-14	14,51	21,88	36,60	2,93	0,35
P4-24	-24	16,53	25,06	41,60	2,89	0,41
P4-47	-47	15,24	24,95	39,30	3,02	0,29
P4-79	-79	15,18	25,91	39,00	2,77	0,34
P4-100	-100	16,54	24,08	40,00	2,77	0,38
P4-125	-125	17,68	47,48	35,30	1,68	2,3
P5-12	-12	3,01	0,63	2,50	1,43	0,38
P5-Canga	-27	0,68	12,57	6,80	0,76	0,19
P5-39	-39	2,98	19,01	1,60	0,56	0,18
P5-43	-43	16,48	2,17	2,20	2,26	3,05
P5-52	-52	15,69	2,41	2,30	2,03	2,59
P5-79	-79	21,14	1,44	1,60	1,96	3,96
P5-104	-104	14,06	1,35	1,50	1,92	4,23
P6-10	-10	3,67	2,92	4,20	3,48	0,21
P6-40	-40	6,01	6,61	4,30	3,31	0,18
P6-75-Horizonte F	-75	0,79	16,84	7,90	1,49	0,27
P6-106	-106	2,22	1,23	2,00	2,33	0,51
P6-130	-130	3,76	1,10	2,00	1,54	1,01
P6-150	-150	4,47	1,41	2,00	1,12	1,11
P6-160	-160	6,76	1,75	3,80	2,3	1,01
P6-170	-170	3,69	0,78	1,60	0,93	1,18
	<b>Quartzito</b>					
QTZ-1		0,83	0,83	0,36	0,74	0,23
QTZ-2		0,71	0,43	0,17	0,32	0,26
QTZ-3		1,19	0,59	0,80	0,45	0,61
QTZ-4		1,59	0,87	1,30	1,4	0,8
	<b>Filito</b>					
FIL-1		30,47	4,25	18,39	4,78	11,94
FIL-2		15,76	48,92	53,40	1,94	4,77

## ANEXO D – MOSAICO DE FOTOS DO PLANALTO DE DIAMANTINA, MINAS GERAIS, BRASIL.



Fonte: do autor, 2012.

Vista panorâmica de uma área representativa do Parque Estadual do Biribiri/Planalto de Diamantina.



Fonte: do autor, 2012.

Vista panorâmica de uma área representativa do Planalto de Diamantina.



Fonte: do autor, 2012.

Vista panorâmica de uma área representativa do Planalto de Diamantina.



Fonte: do autor, 2012.

Vista panorâmica de uma área representativa do Parque Estadual do Biribiri/Planalto de Diamantina.



Fonte: do autor, 2012.

Vista panorâmica observada de um ponto do Planalto. Ao fundo a cidade de Diamantina.

**ANEXO E – MOSAICO DE FOTOS DE AREAS REPRESENTATIVAS DO PLANALTO DE DIMANTINA E DOS PERFIS DE SOLO ESTUDADOS**



Fonte: do autor, 2012.  
Vista da MG-220, onde situado está P-6  
(um corte de estrada).



Fonte: do autor, 2011.  
Vista de P-2 e sua área de abrangência  
(Parque Estadual do Biribiri).



Fonte: do autor 2011.  
Vista de P-4 e sua área de abrangência.  
(Parque Estadual do Biribiri).



Fonte: do autor, 2011.  
Vista de P-2. Em destaque a profundidade  
da trincheira (Parque Estadual do  
Biribiri).



Fonte: do autor, 2011.  
Vista de P-5 e de sua área de abrangência  
(Parque Estadual do Biribiri).