UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

ALEX DA SILVA SOUSA

Processos Geoquímicos e a esculturação do relevo: ensaios analíticos – Planalto do Paraitinga/Paraibuna-SP

De acordo

Versão Corrigida
SÃO PAULO
2016

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

Processos Geoquímicos e a esculturação do relevo: ensaios analíticos – Planalto do Paraitinga/Paraibuna-SP

Alex da Silva Sousa
Orientador: Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo (USP), para Titulação de Mestre.

Versão Corrigida
SÃO PAULO
2016

Alex da Silva Sousa

Processos Geoquímicos e a esculturação do relevo: ensaios analíticos – Planalto do Paraitinga/Paraibuna-SP

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre.

Banca Examinadora

_____

Prof. Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross (Orientador)
Depto. de Geografia – Universidade de São Paulo

_____

Prof. Dr. Antonio Carlos Vitte
Instituto de Geociência – Universidade Estadual de Campinas

_____

Prof. Dr. Fernando Nadal Junqueira Villela
Depto. de Geografia – Universidade de São Paulo

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Catalogação na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

Sousa, Alex da Silva
Processos Geoquímicos e a esculturação do relevo: ensaios analíticos – Planalto do Paraitinga/Paraibuna-SP/Alex da Silva Sousa; orientador: Jurandyr Luciano Sanches Ross - São Paulo, 2016. 121 f.

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Gemorfologia. 2. Intemperismo Químico. 3. Geoquímica. 4. Pedologia. 5. Agronomia.
I. Ross, Jurandyr Luciano Sanches. II. Universidade de São Paulo – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. III. Título de Mestre.

Dedico este trabalho meu pai Antonio Vanderci Maia de Sousa e minha mãe Tereza Xavier da Silva Sousa por sempre terem me sido modelos de honestidade, esforço e perseverança, demonstrando que com trabalho duro e honestidade é possível sim se obter muitas conquistas e se ter uma vida extremamente digna.

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e Professor Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross um agradecimento especial, por me ser um exemplo e sempre ter me aberto portas e acreditado em meu potencial desde meu primeiro ano de vínculo com a USP. Seu auxílio para a viabilização desta pesquisa foi extremamente efetivo, tendo contribuído com a fundamentação e estrutura do trabalho, auxilio em trabalho de campo, viabilização de verba para os procedimentos técnicos e até a disponibilização de tempo pessoal para resolver questões da pesquisa em questão.

Ao amigo Dr. Marcos Roberto Pinheiro, técnico do Laboratório de Pedologia do DG/FFLCH/USP a quem devo creditar a co-orientação deste projeto, tendo sido fundamental ao desenvolvimento do trabalho auxiliando com a disponibilização de bases, no campo com a coleta e descrição das amostras, efetuando parte das análises laboratoriais, bem como na parte de procedimentos, sempre muito crítico e com bom humor.

À Profa. Dra. Sidneide Manfredini pela contribuição mais do que significativa à análise dos resultados químicos obtidos.

Aos Professores Dr. Antonio Carlos Colângelo e Dr. Fernando Nadal Junqueira Villela pelas críticas e sugestões apresentadas durantes a apresentação do relatório de qualificação, que contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

Ao amigo Me. Leonardo Takei Kawata pela prestatividade em disponibilizar as bases que necessitei.

À amiga Ma. Carina de Sousa Rodrigues por ter contribuído com os dados TOPODATA e pelo auxílio com a revisão do texto.

Ao amigo Me. Luiz Gustavo Meira Barros no auxílio no pré-campo de reconhecimento da área e a Dra. Marisa de Souto Matos Fierz, técnica do laboratório de Geomorfologia do DG/FFLCH/USP, pelo auxílio com as fotografias no campo de coleta de amostras.

À Química Rogeria Nunes Costa por ter disponibilizado parte de seu tempo para me auxiliar com as análises de Difratometria de Raio-X e ao Me. Otávio Cardoso Cardona por ter se disponibilizado a contribuir e por ter fornecido material de grande auxílio ao trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram com a realização e o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

“É preciso navegar
Pra poder se esclarecer,
Do lado de lá do mar
É preciso ver pra crer.”

João Nogueira e Geraldo Vespar

RESUMO

SOUSA, A. S. **Processos Geoquímicos e a esculturação do relevo: ensaios analíticos – Planalto do Paraitinga/Paraibuna-SP.** 2015. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

O presente trabalho visa se aprofundar em estudos para se obter uma melhor compreensão das maneiras que os processos de intemperismo químico na região tropical influem no rebaixamento do relevo. Este tema é de grande relevância e sua adequada compreensão é necessária para o avanço dos conhecimentos de geomorfologia da atualidade. Assim pretende-se a partir da compartimentação do relevo efetuar análises físicas e químicas de horizontes do solo e do manto de alteração, em perfis de contexto de litologia ígnea e metamórfica, efetuando comparações e demonstrando através dos resultados dos parâmetros selecionados de que forma o horizonte B se relaciona com o horizonte C do solo, bem como as semelhanças e diferenças ocasionadas pelos diferentes compartimentos litológicos. Para isso será efetuado um estudo de caso no Planalto do Paraitinga/Paraibuna-SP procurando correlacionar indicadores de maneira a demonstrar possíveis caminhos que forneçam informações quanto ao rebaixamento do relevo através de processos geoquímicos.

Palavras-chave: Geomorfologia. Intemperismo químico. Geoquímica.

ABSTRACT

SOUSA, A. S. **Geochemical processes and sculpturing relief: analytical tests - Plateau Paraitinga / Paraibuna-SP.** 2015. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

This study aims to deepen studies trying to understand ways of the chemical weathering processes influence the relief in the tropics. This matter have great relevance and need be better understanding to advance the geomorphology knowledge. Thus it is intended from the partitioning of relief make physical and chemical analysis of soil horizons and alteration mantle, in the context of igneous and metamorphic lithology profiles, making comparisons and demonstrated by the results of the selected parameters that form the B horizon is related to the soil horizon C as well as similarities and differences caused by different lithologic compartments. For it will be made a case study at the Plateau Paraitinga/Paraibuna-SP to correlate indicators in order to demonstrate possible ways to provide information regarding the lowering of relief through geochemical processes.

Keywords: Geomorphology. Chemical weathering. Geochemistry.

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Carta geológica elaborada para a área de estudos 46
Mapa 2: Modelo Digital do Terreno sobrepondo relevo sombreado 47
Mapa 3: Carta Hipsométrica 49
Mapa 4: Carta Clinográfica 50
Mapa 5: Compartimentação Geomorfológica 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coordenada dos pontos de campo e orientação das vertentes 41
Tabela 2: Valores de parâmetro das classes de textura 44
Tabela 3: Classes de hipsometria 48
Tabela 4: Classes clinográficas 49
Tabela 5: Descritivo geral de ponto de campo 53
Tabela 6: Descritivo geral de ponto de campo 54
Tabela 7: Classificação química do perfil 56
Tabela 8: Atividade de argila do perfil 57
Tabela 9: Índice Ki e Kr do perfil 57
Tabela 10: Variação granulométrica do perfil 58
Tabela 11: Variação granulométrica da fração areia 58
Tabela 12: Variação de densidade 59
Tabela 13: Candidatos a minerais do perfil de solo 60
Tabela 14: Candidatos a minerais do perfil de solo 61
Tabela 15: Descritivo geral de ponto de campo 61
Tabela 16: Classificação química do perfil 63
Tabela 17: Atividade de argila do perfil 63
Tabela 18: Índice Ki e Kr do perfil 63
Tabela 19: Variação granulométrica do perfil 64
Tabela 20: Variação granulométrica da fração areia 64
Tabela 21: Variação de densidade 64
Tabela 22: Candidatos a minerais do perfil de solo 65
Tabela 23: Descritivo geral de ponto de campo 66
Tabela 24: Classificação química do perfil 68
Tabela 25: Atividade de argila do perfil 69
Tabela 26: Índice Ki e Kr do perfil 70
Tabela 27: Variação granulométrica do perfil 70
Tabela 28: Variação granulométrica da fração areia 71
Tabela 29: Variação de densidade 71
Tabela 30: Candidatos a minerais do perfil de solo 72
Tabela 31: Descritivo geral de ponto de campo 73
Tabela 32: Classificação química do perfil 74
Tabela 33: Atividade de argila do perfil 75
Tabela 34: Índice Ki e Kr do perfil 75
Tabela 35: Variação granulométrica do perfil 76
Tabela 36: Variação granulométrica da fração areia 77
Tabela 37: Variação de densidade 77
Tabela 38: Candidatos a minerais do perfil de solo 78
Tabela 39: Descritivo geral de ponto de campo 78
Tabela 40: Classificação química do perfil 80
Tabela 41: Atividade de argila do perfil 80
Tabela 42: Índice Ki e Kr do perfil 81
Tabela 43: Variação granulométrica do perfil 81
Tabela 44: Variação granulométrica da fração areia 81
Tabela 45: Variação de densidade 82
Tabela 46: Candidatos a minerais do perfil de solo 83
Tabela 47: Descritivo geral de ponto de campo 83
Tabela 48: Classificação química do perfil 85

Tabela 49: Atividade de argila do perfil 86
Tabela 50: Índice Ki e Kr do perfil 86
Tabela 51: Variação granulométrica do perfil 87
Tabela 52: Variação granulométrica da fração areia 87
Tabela 53: Variação de densidade 88
Tabela 54: Candidatos a minerais do perfil de solo 89
Tabela 55: Descritivo geral de ponto de campo 89
Tabela 56: Classificação química do perfil 91
Tabela 57: Atividade de argila do perfil 91
Tabela 58: Índice Ki e Kr do perfil 91
Tabela 59: Variação granulométrica do perfil 92
Tabela 60: Variação granulométrica da fração areia 92
Tabela 61: Variação de densidade 92
Tabela 62: Candidatos a minerais do perfil de solo 93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estabilidade de minerais, velocidade de alteração e série de Bowen 32
Figura 2: Resistência dos minerais primários e secundários 33
Figura 3: Roteiro Pré-campo. 39
Figura 4: Roteiro efetuado para coleta de amostras com visualização 3D 40
Figura 5: Padrão de difratometria do perfil 60
Figura 6: Padrão de difratometria do perfil 61
Figura 7: Padrão de difratometria do perfil 65
Figura 8: Padrão de difratometria do perfil 72
Figura 9: Padrão de difratometria do perfil 78
Figura 10: Padrão de difratometria do perfil 82
Figura 11: Padrão de difratometria do perfil 88
Figura 12: Padrão de difratometria do perfil 93

LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Formações “mamelonares” 20
Foto 2: Amostras coletadas e recipientes para pesagem 42
Foto 3: Pesagem de amostra 43
Foto 4: Perfil de solo do ponto P3a 54
Foto 5: Perfil de solo do ponto P3a 54
Foto 6: Perfil de solo do ponto P3b 55
Foto 7: Perfil do contexto de perfil do ponto P3b 55
Foto 8: Foto do contexto do perfil de solo do ponto P6 62
Foto 9: Perfil de solo do ponto P6 62
Foto 10: Perfil de solo do ponto P5 66
Foto 11: Perfil de solo do ponto P5 67
Foto 12: Contexto do perfil de solo do ponto P5 67
Foto 13: Perfil de solo do ponto P1 73
Foto 14: Contexto do perfil de solo do ponto P1 74
Foto 15: Perfil de solo do ponto P2 79
Foto 16: Veios de quartzo convergindo para Stone lines 79
Foto 17: Perfil de solo do ponto P7 84
Foto 18: Contexto do perfil de solo do ponto P4 90
Foto 19: Perfil de solo do ponto P4 90

LISTA DE SIGLAS E UNIDADES

USP – Universidade de São Paulo

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

DRX – Difratometria de Raio-X

pH H2O – pH em meio aquoso

pH KCl – pH em Cloreto de potássio

CTC – Capacidade de Troca Catiônica em $mmolc/kg^{-1}$

V% - Saturação percentual de bases

m% - Saturação percentual de Alumínio

H+Al – Soma de Alumínio mais Hidrogênio trocáveis em $mmolc/kg^{-1}$

SB – Soma de Bases em $mmolc/kg^{-1}$

Ca – Cálcio em $mmolc/kg^{-1}$

K – Potássio em $mmolc/kg^{-1}$

Mg – Magnésio em $mmolc/kg^{-1}$

Al – Alumínio em $mmolc/kg^{-1}$

AMF – Areia Muito Fina em g/kg^{-1}

AF – Areia Fina em g/kg^{-1}

AM – Areia Média em g/kg^{-1}

AG – Areia Grossa em g/kg^{-1}

AMG – Areia Muito Grossa em g/kg^{-1}

AT – Areia Total em g/kg^{-1}

SiO_2 – Óxido de silício

Al_2O_3 - Óxido de alumínio

Fe_2O_3 - Óxido de Ferro

ar - Arenosa

md-ar - Média arenosa

md-arg - Média argilosa

arg - Argilosa

mt-arg - Muito argilosa

Atividade de Argila em $cmol_c\ kg^{-1}$

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 16

2 OBJETIVOS..... 17

3 ÁREA DE ESTUDO..... 19

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA..... 22

4.1 Evolução da análise geomorfológica..... 22

4.2 Os minerais e a geoquímica..... 29

5 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS..... 37

6 GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS DE APOIO..... 46

7 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO..... 53

7.1 Resultados das análises de laboratório das amostras dos pontos P3a, P3b, P5 e P6 do compartimento de “Biotita Granito”..... 53

7.1.1 Descrição dos pontos P3a e P3b..... 53

7.1.2 Descrição do ponto P6..... 61

7.1.3 Descrição do ponto P5..... 65

7.2 Resultados das análises de laboratório das amostras dos pontos P1, P2 e P7 do compartimento de “Biotita Gnaisse”..... 73

7.2.1 Descrição do ponto P1..... 73

7.2.2 Descrição do ponto P2..... 78

7.2.3 Descrição do ponto P7..... 83

7.3 Resultados das análises de laboratório das amostras do ponto P4 do compartimento de

"Migmatito, Biotita gnaisse, gnaisse e Ortognaisse"..... 89
7.3.1 Descrição do ponto P4..... 89
8 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS..... 94
8.1 Interpretação dos resultados entre as amostras dos pontos P3a, P3b, P5 e P6 do compartimento de rochas magmáticas..... 94
8.1.1 Parâmetros das Análises Químicas..... 94
8.1.2 Parâmetros das Análises Físicas..... 100
8.2 Interpretação dos resultados entre as amostras dos pontos P1, P2 e P7 do compartimento de rochas metamórficas..... 104
8.2.1 Parâmetros das Análises Químicas..... 104
8.2.2 Parâmetros das Análises Físicas..... 108
8.3 Difratrometria de Raio X..... 112
9 CONCLUSÕES..... 113
10 BIBLIOGRAFIA..... 118

1. INTRODUÇÃO

A paisagem é uma herança resultante da interação de processos fisiográficos e biológicos (AB'SÁBER, 2003). Essa interação molda a paisagem de maneira a criar formas diversificadas por toda superfície terrestre, cabendo a Geomorfologia interpretar e estudar o modelado.

A Geomorfologia estuda as formas de relevo, e interpreta a sua gênese através da interação das forças endógenas e exógenas que agindo conjuntamente deixam suas marcas na paisagem.

Com o avanço da compreensão do relevo sistematizou-se uma série de interpretações para as formas existentes, dentre as quais as datadas do Cenozóico.

Nos estudos de interpretação geomorfológica, a princípio, atrelava-se maior relevância aos processos estruturais (DAVIS, 1899) onde se preconizava uma evolução do modelado a partir de um movimento tectônico inicial. Posteriormente passou a se considerar a importância das forças esculturais/climáticas em moldar as feições de relevo, compreendendo que a alternância entre climas secos e úmidos uma das condicionantes deste processo (AB'SÁBER, 1969).

Muitas destas interpretações são hoje contestadas por não apresentarem dados que as demonstrem. Desta forma é importante que se façam trabalhos de pesquisa onde se procure gerar informações que sirvam de parâmetros para análises mais consistentes da evolução do relevo.

Entre estes, pode-se considerar os métodos de análise dos processos geoquímicos que envolvem o intemperismo químico, e como estes contribuem para a evolução do modelado das morfologias.

2. OBJETIVOS

A região tropical se destaca pela abundância de água existente e a grande influência de temperaturas elevadas. Em conjunto com o calor, a água ao infiltrar por entre as fendas e poros do material litológico e pedológico desencadeia uma série de processos químicos.

Dessa forma o presente trabalho tem por objetivo através de ensaios analíticos dar contribuições no sentido de encontrar possíveis interpretações que levem a compreensão das maneiras pelas quais os processos geoquímicos envolvidos no intemperismo químico influenciam na alteração dos materiais e a consequente influência na gênese do relevo. Para isso debruçou-se sobre os detalhes dos processos de intemperismo químico e erosão a que são submetidos os minerais das rochas.

Diversas interpretações do modelado foram elaboradas com o subsídio de modelos pré-existentes em condições de clima temperado e muitas feições geomorfológicas são tidas como evidências de condições climáticas pretéritas por meio de critérios qualitativos empíricos, faltando critérios técnicos que embasem melhor as interpretações, não sendo dessa forma plenamente adequadas à compreensão da gênese dos modelados de ambientes tropicais. Pretende-se através desta pesquisa contribuir no sentido de preenchimento desta lacuna existente.

Há diversos estudos efetuados, como os de Bigarella & Andrade (1965) e Ab'Sáber (1972), que interpretam a evolução do modelado a partir da alternância entre climas úmidos e secos. Ross (1998 e 2002) em seus trabalhos ressalta a importância dos processos geoquímicos desencadeados pela ação da água como um outro caminho para compreender esses processos de gênese do relevo. Vitte (1998) ressalta o conceito de etchplanação de Büdel (1982) e conclui que o relevo é a resultante de uma série de processos envolvendo atividade tectônica, influências litoestruturais e mineralógicas da rocha e os efeitos paleoclimáticos de climas secos e úmidos, bem como a pedogênese atual.

Desta forma esta pesquisa pretende ir na direção de compreender como os processos geoquímicos podem influenciar na evolução dos tipos de formas

de relevo existentes nos ambientes tropicais, procurando assim gerar informações mais precisas que contribuam na interpretação de sua gênese.

A partir da análise dos resultados obtidos efetuou-se uma avaliação acerca da relevância das variáveis utilizadas na tentativa de se atingir esta meta.

Visando contemplar estes objetivos utilizou-se uma carta da compartimentação geomorfológica do Planalto Paraitinga/Paraibuna com a diferenciação dos compartimentos do terceiro táxon do relevo (ROSS, 1992) de maneira a orientar a escolha dos pontos de coleta para análise, visto que Ross (1998, 2002) já havia apontado a existência de padrões altimétricos e clinográficas associados ao embasamento litológico, onde os embasamento magmáticos se apresentam em patamares mais elevados do que os de médio a baixo grau de metamorfismo, e atribui a este fato a diferença de resistência dos materiais ao intemperismo químico.

As partir das amostras coletadas efetuou-se análises laboratoriais para obtenção de informações quanto a sua composição mineralógica e suas propriedades físicas e químicas, levando-se em conta o embasamento litológico a que pertenciam as amostras e a relação existente entre o horizonte B do solo e o horizonte de alteração, buscando compreender melhor a influência da pedogênese atual na gênese do relevo, conforme proposto por Vitte (2005).

3. ÁREA DE ESTUDOS

Caracterização Geomorfológica

Para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa e aplicação dos procedimentos técnicos escolheu-se a região do Vale do Paraíba no Estado de São Paulo.

A região está localizada ao Leste do estado de São Paulo e de acordo com Ross & Moroz (1997) abrange porções das unidades morfoestruturais do Cinturão Orogênico do Atlântico e da Bacia Sedimentar Cenozóica de Taubaté.

A morfologia do Planalto Atlântico começou a ser trabalhada ainda no Pré-Cambriano Inferior, atravessando o Médio, o Superior, chegando ao Cretáceo, tendo ocorrido o surgimento do gráben do Paraíba e nele a Bacia Sedimentar de Taubaté no Terciário, concomitante com a formação da escarpa da Serra do Mar.

É composto de litologias diversas, sendo em geral metamórficas associadas a intrusivas, e apresenta variações fisionômicas regionais que possibilitaram a divisão do Planalto em diversas morfoesculturas (ROSS & MOROZ, 1997).

Dentre as morfoesculturas que compõem a região, para o presente trabalho optou-se pelo estudo mais aprofundado do Planalto de Paraitinga/Paraibuna.

O Planalto de Paraitinga/Paraibuna é a área que se estende a partir da borda sul da Bacia de Taubaté e é composto pelas serras do Jambeiro e a serra de Quebra-Cangalha. Localiza-se na porção Oriental do Estado de São Paulo, sendo limitado ao sul pela escarpa da Serra do Mar e ao norte pelo Médio Vale do Paraíba, sendo cortado pelos rios Paraibuna e Paraitinga.

Apresenta dissecação de relevo média a alta, sendo composta por morros altos e alongados, com topo convexo – Mamelonares ou Mares de Morros, segundo Ab'Saber (Foto 1).

Sua altitude média varia entre 700m e 1000m e possui clinografia predominante de 20% a 30%, podendo algumas vezes ultrapassar o valor de 40%.

Foto 1 - Formações “mamelonares”. Foto: Alex Sousa

A litologia corresponde a migmatitos e granitos e seus solos são predominantemente Cambissolos e Neossolos litólicos. A drenagem apresenta densidade média a alta com padrão dendrítico à treliça relacionada ao condicionamento estrutural da área.

É comum a ocorrência de planícies alveolares que tiveram influência direta no padrão de ocupação da região.

Por apresentar padrão médio a alto na densidade da drenagem e no entalhamento topográfico, a fragilidade potencial foi classificada por Ross como média a alta, sendo uma região suscetível a pequenas atividades erosivas de caráter linear e pequenos escorregamentos de terra e movimentos de massa induzidos pelo pisoteio do gado. (ROSS & MOROZ, 1997)

Contexto histórico

A ocupação do Vale do Paraíba se deu de forma bastante lenta, por se tratar de uma rota de passagem entre os portos litorâneos e o Sul de Minas. As

cidades mais representativas anteriores à ocupação do café e pecuária eram Lorena e Taubaté.

Em meados do século XIX a região foi totalmente ocupada com plantações de café que se utilizava de mão de obra escrava. São Luiz do Paraitinga, neste período, foi considerada a “rainha do comércio” por concentrar o núcleo comercial cafeeiro brasileiro. Atualmente o uso da terra é caracterizado pela presença de pastos, silvicultura, fragmentos de mata secundária e capoeira.

A partir do século XIX o Vale se torna progressivamente a “bacia leiteira do Sudeste” sendo responsável por praticamente toda a produção de leite, manteiga, queijo, carne e couro, competindo apenas com o Sul de Minas. Por outro lado, a ocupação da área foi reduzida em função das atividades desenvolvidas que exigiam pouca mão-de-obra. As cidades do Vale foram chamadas por Monteiro Lobato de “cidades mortas”.

Favorecido pelas planícies úmidas e inundáveis do rio Paraíba do Sul e a presença de Gleissolo, desenvolveu-se a rizicultura, atividade expressiva até a década de 1960, mas que perdeu competitividade frente ao “arroz de sequeiro” cultivado no triângulo mineiro e sul de Goiás, considerado de qualidade superior.

Nas planícies desenvolveu-se intensa extração mineral, com a exploração de areia e cascalho, tornando muitos municípios do Vale fornecedores da Grande São Paulo, principalmente a partir da década de 1970. Todas estas atividades apresentam notável associação com a compartimentação geomorfológica da área, inclusive no uso atual.

Com o processo de industrialização do Brasil a partir da década de 1970 o Vale do Paraíba tornou-se um eixo (pólo) de crescimento industrial beneficiado pela posição estratégica entre Rio de Janeiro e São Paulo e a Rodovia Presidente Dutra (BR 116).

A região se destaca também por ser um eixo contínuo e propício à ocupação entre São Paulo e Rio de Janeiro, com instalações de tecnologia de ponta, com instituições como a Petrobrás, INPE, CTA, Embraer, ITA, CEMADEN e etc.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

4.1 – Evolução da análise geomorfológica

Aspectos Gerais

O relevo é modelado a partir da interação de forças endógenas e exógenas. Essas forças atuam em conjunto e apresentam intensidades diferentes de lugar para lugar levando se em conta os diversos ambientes da superfície terrestre e as diferentes escalas de tempo. Essa diferença de intensidade das forças em relação aos locais e tempo em que ocorrem contribui para a grande diversidade de formas existentes no nosso planeta.

A compreensão do relevo e sua evolução é fundamental para o processo de uso e ocupação gerado pelo homem, assim seu entendimento é imprescindível para o ordenamento territorial, sendo esta a principal importância que a Geomorfologia tem para a Geografia.

Os avanços científicos sempre constantes permitiram compreender melhor a complexidade das interações dos processos, e assim a geomorfologia evoluiu e pode-se ter uma compreensão mais adequada do modelado do relevo. Neste processo foi possível ter-se um maior conhecimento dos materiais, compreendendo os seus elementos, a sua origem, estrutura e composição.

É neste contexto que surge a Geoquímica como uma possibilidade, visto que abrange os conhecimentos acerca da distribuição dos elementos químicos na superfície terrestre e seus arranjos na forma de rochas e minerais, bem como os processos de alteração a que estes se submetem, assim a compreensão desta dinâmica pode ser um importante instrumento para um melhor entendimento do desenvolvimento de formas de relevo e o rebaixamento do modelado.

Para isso cabe fazer aqui uma sucinta contextualização das análises geomorfológicas efetuadas no decorrer dos tempos, e seu uso para compreensão do modelado Tropical.

As propostas de William M. Davis e Walther Penck

O relevo foi interpretado por Davis (1899) como um processo cíclico baseado em sua estrutura geológica, na contramão da linha naturalista germânica que já levava em conta aspectos climáticos e biogeográficos (CASSETI, 2005). Sendo precursor da linha anglo-saxã, Davis dividia o ciclo de evolução do relevo em quatro fases, sendo elas a juventude, maturidade, senilidade e o rejuvenescimento, e atrelava a questão estrutural e temporal a maior importância da evolução do modelado.

De acordo com Davis a componente estrutural correlacionado ao tempo era o principal para explicar a evolução do relevo, ficando os processos erosivos a cargo da erosão fluvial, a qual chamada de “erosão normal”. Sua prática indutiva/dedutiva e práxis desligada da Geografia eram contestados pela escola alemã. Ele entendia todo processo de evolução do relevo desconsiderando os processos esculturais, como se durante toda a evolução do modelado houvesse um grande período de estabilidade tectônica e entendia que esse processo de evolução da juventude à senilidade poderia levar de 20 a 200 milhões de anos, tempo esse em que ocorriam o aplainamento das cadeias montanhosas (CASSETI, 2005).

A escola alemã seguia uma análise mais naturalista e empírica da paisagem através de seus fenômenos constituidores, dentre seus autores podemos ressaltar W. Penck. A partir das críticas de W. Penck (1924) houve uma ruptura e alguns autores da escola anglo-saxã passaram a implementar aspectos da escola germânica como foi o caso de Lester King (1953). Enquanto para Davis a denudação se iniciava após o fim do soerguimento, Penck entendia que eram processos concomitantes, e tinham sua intensidade diferenciada pela ação da tectônica.

Para Penck (1924 *apud* Casseti, 2005) quando ocorresse um forte soerguimento da crosta ocorria conjuntamente uma incisão do talvegue na mesma intensidade, gerando assim um acelerado processo denudacional devido aumento da clinografia. Desta forma definiu que quando ocorresse um processo acelerado de soerguimento haveria uma maior propensão a formação de vertentes convexas, processos de soerguimento moderado propiciavam surgimento de vertentes retilíneas, e por fim um soerguimento menor propiciava o surgimento de vertentes côncava.

Outro fator que diferencia Penck de Davis é que o primeiro defendia um recuo paralelo das vertentes (wearing-back) enquanto o segundo uma evolução vertical do relevo (wearing-down).

Assim Penck surge como principal opositor da postura de Davis, pois valorizava os processos esculturais e contribuiu para a formalização de conceitos como o de “depósitos correlativos”.

A contribuição de Lester C. King

Lester King (1953) utilizou tanto a conceituação de Davis quanto a de Penck. Entendia haver períodos rápidos e intermitentes de soerguimento alternado com longos períodos de estabilidade tectônica. Assim utilizava o conceito de Davis de estabilidade tectônica associado ao de recuo paralelo de vertentes (wearing-back) de Penck. (CASSETI, 2005)

King entendia que o recuo das vertentes gerava áreas depressionárias preenchidas por sedimentos o qual denominou de *pedimento*. O *pedimento*, em período de grande estabilidade tectônica, preenche extensas áreas e elevam o nível de base e passam a ser denominadas *pediplanos*, dando-se as formas residuais o nome de *inselbergs*.

Desta forma a denominação de *peneplano* ou *pediplano* está diretamente associada ao tipo de recuo de vertentes (wearing-down ou wearing-back) e consequentemente a filiação epistemológica anglo-saxã ou germânica.

As contribuições de outros autores

Houve a contribuição de outros autores, principalmente ressaltando a importância climática como o caso de De Martonne que associava o clima a fatores erosivos predominantes, como por exemplo relacionando o transporte eólico como principal fator nas áreas desérticas e o fluvial nas áreas tropicais. Essa interpretação deu base para uma concepção de paisagem baseada em tipologias climáticas. (CASSETI, 2005)

Pugh (1955) defendia que poderia ocorrer em um mesmo ciclo morfoclimático níveis de aplainamento relacionado a movimentos isostáticos, além disto cita a ocorrência de entulhamentos pelos sedimentos movidos das vertentes através de processos torrenciais ocasionando as *bajadas* que omitem as irregularidades do terreno e caracterizam os *pediplanos*. (CASSETI, 2005)

Para Cholley (1950) a dicotomia que surgiu na geomorfologia a dividindo em geomorfologia climática e estrutural não era adequada. Ele entendia que a gênese do relevo estava ligada a fatores erosivos associados ao clima (sistema de erosão) e que a estrutura nem sempre é suficiente para a compreensão das formas, sendo necessário considerar além da composição química das rochas os mecanismos externos de ação.

A estrutura geológica apresenta variações em sua constituição que ocasionam comportamentos diferentes frente as variadas condições climáticas, com consequente influência na intensidade denudacional dos processos. Casseti (2005) exemplifica bem tal questão ao afirmar que o quartizito apresenta grande resistência a climas úmidos (intemperismo químico) e baixa resistência a ação mecânica de climas secos (intemperismo físico). Para calcários e arenitos obtêm-se resultado contrário.

No Brasil, a princípio houve grande influência da escola francesa de geomorfologia, sendo esta mais alinhada à escola anglo-saxã. Atualmente nota-se influência germânica em estudos integrados da paisagem.

Dentre os autores brasileiros destaca-se o Professor Aziz Nacib Ab'Sáber que fez uma divisão do relevo em domínios morfoclimáticos. Ab'Sáber fez diversas interpretações relacionando a evolução do relevo a alternância entre ciclos deposicionais e denudacionais, e correlecionando a ocorrência destes ciclos a alternância entre ciclos úmidos e secos. Com o predomínio de climas secos prevalecem os processos deposicionais, enquanto no predomínio de climas úmidos prevalecem processos denudacionais.

A teoria da Etchplanação

No ambiente tropical o intemperismo químico tem papel fundamental na morfogênese. Suas reações são favorecidas pelo aumento de temperatura e abundância de água e variam conforme o tipo mineralógico das rochas. Em ambientes onde predominam temperaturas abaixo de 0ºC a ocorrência de intemperização química das rochas é quase nula (BIGARELLA, 2007), desta forma em ambientes tropicais esse tipo de processo é muito atuante e significativo e possui suas contribuições na gênese das feições de relevo predominantes nas diversas regiões, bem como na evolução geral do modelado.

Um dos primeiros autores a considerar sua importância foi Wayland (1933) que em seus estudos realizados em Uganda considerou que as “peneplanícies” seriam formadas pela alternância entre alterações geoquímica das rochas e erosão superficial, com isso a paisagem seria marcada por uma planície rochosa, resultado de um saprólito exumado, dando origem aos *inselbergs* (VITTE, 1998).

Mas foi com Büdel (1982) que a teoria ganhou força. Para ele os processos atuantes na superfície terrestre ocorrem simultaneamente em dois *fronts,* causando o intemperismo do material.

O primeiro *front* estaria relacionado a área superficial, onde há a retirada do material friável a medida que ocorre o escoamento de água superficialmente, promovendo uma disjunção nas ligações ferro-argila.

O segundo *front* está relacionado a percolação da água por entre falhas e poros que desencadeia uma série de processos químicos de alteração do material litológico. Esse processo é mais lento que o primeiro, e ocorre de maneira mais constante, levando-se em conta a questão temporal, enquanto que o primeiro tende a ocorrer de maneira mais sazonal, considerando-se os eventos de chuva, por exemplo.

O autor considera que o relevo é formado a partir do rebaixamento da superfície e tem sua intensidade vinculada ao aprofundamento do segundo front de alteração, ou seja, o *front* mais profundo. O *front* de alteração pode possuir irregularidades devido a presença de fraturas e falhas no contexto litológico em que estão inseridos, e por onde ocorre a percolação da água.

Já a superfície, ou primeiro front, apresenta suscetibilidade a erosão influenciada por ação biológica, de ácidos, e ação mecânica vinculada a processos climáticos, sendo que todos estes processos promovem uma quebra das ligações químicas.

O aprofundamento diferencial do front de alteração correlacionado a área superficial faz com que haja um rebaixamento do relevo. A medida que em determinados momentos partes do *front* de alteração mais profundo emanam à superfície, surgem os *inselbergs*.

Assim para o autor o relevo é formado a partir da interação entre a superfície e a subsuperfície, sendo a segunda localizada no contato entre a

rocha e a zona de alteração, caracterizada por Berry & Ruxton (1957) como superfície basal de intemperismo (VITTE, 1998).

Ollier (1965) defende que o ambiente de alteração possui irregularidades, sendo o saprolito profundamente alterado em algumas áreas e não em outras, enquanto para Büdel (1957) a superfície e subsuperfícies eram paralelas. Mabbut (1966) levou em conta a consideração de Ollier e alterou o termo de "superfície basal de intemperismo" para "front de alteração" (VITTE, 1998).

Millot (1983) ressalta a pedogênese como importante processo de rebaixamento do relevo, defendendo que é entre a erosão superficial e o embasamento que ocorrem os processos modeladores do relevo, através de processos de lixiviação, dissolução e hidrólise. A esse processo foi dado o nome de Planação Climática, uma variação francesa da Etchplanação de Büdel, e para Thomas (1994) o grande problema é se estabelecer as relações entre o intemperismo e a planação (VITTE, 1998).

Para que haja a etchplanação Büdel (1982) afirma ser necessário que haja quatro circunstâncias:

- Presença de latossolos;
- Deve ser apresentado pelo solo um perfil homogêneo que demonstre que houve um processo de evolução dinâmica;
- Transição delgada entre a rocha e o manto de intemperismo;
- Zona de decomposição rochosa chegando entre 100 e 150m de espessura.

Ao longo do perfil de alteração pode-se observar algumas evidências resultantes deste processo erosivo, como solos espessos que podem chegar a ter 30m de profundidade; um manto de alteração muito espesso também, podendo atingir até 200m; solos com processo pedogenético complexo, devido a processos de retrabalhamento do material, o que leva a ausência de horizontes mais definidos (BÜDEL, 1982).

Essa segunda superfície de alteração subsuperficial só pode ser compreendida através do conhecimento dos materiais das rochas e dos processos desencadeados pela infiltração da água no manto de alteração. Desta forma pode-se afirmar que quando se trata de intemperismo químico, uma importância maior deve ser dada aos materiais envolvidos no processo, sendo

que são importantes tanto os minerais primários quantos os secundários e as formas que estes reagem a ação dos processos esculturais.

Há ainda discussões como o clássico exemplo das linhas de quartzo. Os aloctonistas consideram elas, as stone-lines, como indicativos de paleopavimentos, tendo sua formação relacionada a sedimentação em alternância de climas secos e úmido. Já os autoctonistas entendem sua gênese relacionada a processos geoquímicos, sendo as linhas de quartzo material residual de um processo de dissolução de materiais.

Partindo-se desses pressupostos torna-se necessário o desenvolvimento de trabalhos que contribuíam na compreensão dos processos de intemperismo e erosão química e a suas relações com o material que sustenta o relevo, compreendendo assim de maneira mais aprofundada a relação das ações esculturais no desenvolvimento de determinados tipos de feições geomorfológicas e sua distribuição pela superfície terrestre dos ambientes tropicais.

4.2 – Os minerais e a geoquímica

Os principais minerais da Terra

Para uma melhor compreensão da dinâmica dos processos químicos faz-se necessário o conhecimento dos principais minerais encontrados na superfície terrestre. A maior parte da crosta terrestre é composta por Oxigênio e são abundantes também minerais como o Silício (mais restrito aos silicatos), Alumínio, Ferro, Magnésio e Cálcio (Gráfico 1).

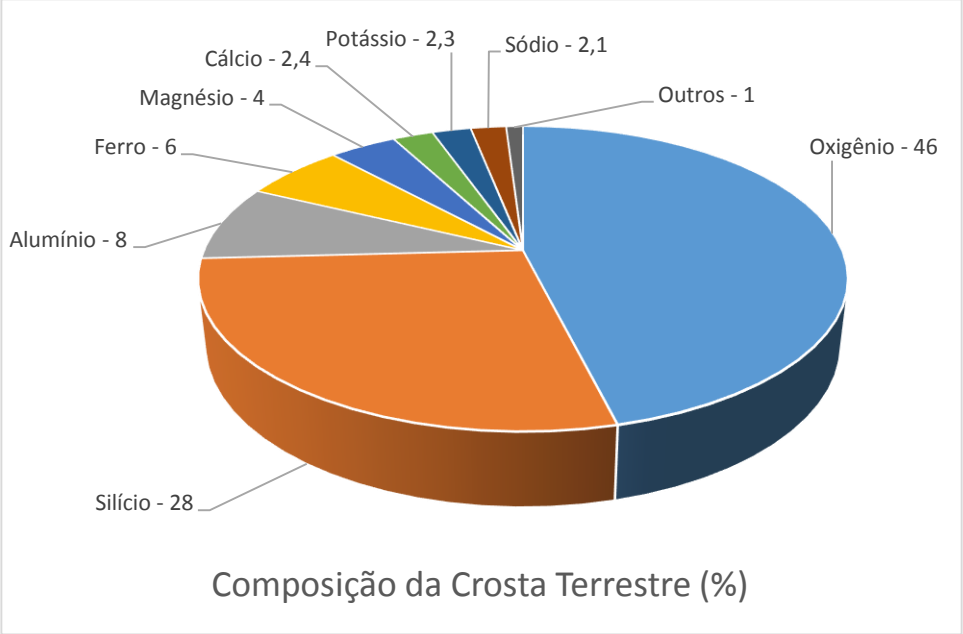


Gráfico 1 – Composição da Crosta Terrestre (%). Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado de "Para entender a Terra" (2006)

O teor de sílica é um parâmetro importante para determinar a acidez das rochas. As rochas félsicas (ácidas) são ricas em silício e pobres em Mg e Fe. Já as rochas máficas são ricas em Mg e Fe. O cálcio pode ser encontrado tanto em minerais ígneos, como os plagioclásios, quanto em carbonatos sedimentares. O alumínio pode ser encontrado em rochas ígneas em ordem crescente de pressão; em rochas sedimentares concentrada em argilominerais; e em rochas metamórficas, em micas. Há ainda o potássio e o sódio concentrados em micas e feldspatos (ALBARÈDE, 2011). A combinação de Oxigênio com o Silício (SiO_2) forma o quartzo, mineral extremamente abundante na Terra, e muito resistente a ação da água.

A geoquímica e o intemperismo químico

A Geoquímica surge abrangendo os conhecimentos acerca da distribuição dos elementos químicos na superfície terrestre e seus arranjos na forma de rochas e minerais, contribuindo assim para a compreensão do desenvolvimento de formas de relevo. É dividida em dois ciclos principais: Um ciclo geoquímico primário e ciclo geoquímico secundário (CARVALHO, 1995).

O ciclo primário trata a questão da segregação de minerais no manto que faz com que parte dos minerais ascenda à crosta, enquanto outros submergem sentido o núcleo da Terra.

Já o ciclo secundário está presente em um conjunto de processos que ocorrem na superfície da Terra, sendo também conhecido como Geoquímica de Superfície. Nesse ciclo é tratada a distribuição dos elementos pela superfície do planeta destacando-se processos como o intemperismo, a erosão e a pedogênese.

Entende-se por intemperismo o "*conjunto de processos mecânicos, químicos e biológicos que ocasionam a desintegração e decomposição das rochas*" (GUERRA & GUERRA, 2009), ou seja, é o conjunto de processos desagregadores e transformadores das rochas em solos.

As rochas ao se formarem ficam expostas a uma série de fenômenos e processos que as desintegram e transformam os minerais primários em secundários. Isso ocorre pela combinação de uma série de fatores, como:

- a quebra das rochas devido a diferença de pressão e temperatura;
- por meio de processos tectônicos;
- por meio da interação com os gases atmosféricos;
- pela elevada temperatura; e
- através da constante ação da água, principal agente do intemperismo químico.

Faniran e Jeje (1983 *apud* ROCHA, 2011) correlacionam processos de intemperismo químico as altas temperaturas:

- É devido a oscilação entre alta e baixa temperatura que ocorrem os processos de expansão e contração da rocha, formando fraturas que favorecem a infiltração e percolação da água acelerando o intemperismo;

- A medida que se aumenta em 10ºC temperatura, a velocidade de uma reação química é duplicada;
- A temperatura e umidade favorecem o surgimento de uma vegetação mais densa que fornece matéria orgânica responsável pela geração de ácidos orgânicos que contribuem para um processo de intemperismo mais intenso.
- É influente na solubilidade de alguns elementos no solo, como no caso da sílica que apresenta maior solubilidade em ambientes de temperatura elevada (Ollier, 1975);
- As altas temperaturas apresentadas nos perfis de alteração são responsáveis pela dissolução de vários elementos.

A ação da água, juntamente com a interação dos gases atmosféricos desencadeia uma série de alterações na composição mineralógica das rochas, deixando os minerais estáveis às condições da superfície terrestre. Conforme afirma Hypolito (2011) a água reage iniciando o ataque pelos minerais mais instáveis (Figura 1), sendo que na cristalização magmática são os primeiros minerais a se formar, como olivinas e plagioclásios cálcicos (Série de Bowen).

Os minerais que compõem as rochas possuem partículas em equilíbrio distribuídas ordenadamente em arranjos cristalinos, exceto quando estas se encontram em superfícies expostas dos cristais, em microfissuras, ou em imperfeições cristalinas como regiões de superfícies danificadas. Ao entrar em contato com a água, há uma atração de íons de cargas opostas que comprometem este equilíbrio desencadeando assim o intemperismo químico (Hypolito, 2011). Esses processos são ocasionados por diversas reações químicas, como a dissolução, hidratação, óxido-redução e a hidrólise.

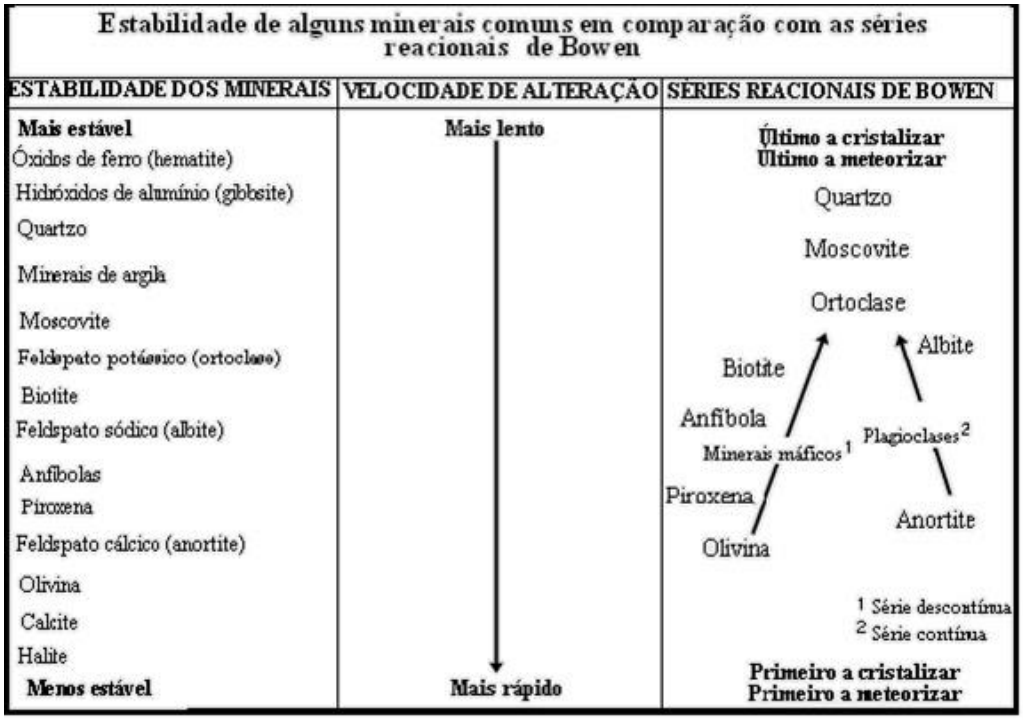


Figura 1 – Estabilidade de minerais, velocidade de alteração e série de Bowen. Fonte: Adaptado de NEVES, T.G.G, 2004

As reações químicas

Dissolução é um processo que ocorre de maneira diferenciada de mineral para mineral (uma vez que estes devem possuir suscetibilidade aos processos de dissolução além de haver outros fatores como o pH da água) e consiste na liberação de cátions e ânions de certos minerais ao entrarem em contato com a água. Quando a água possui características ácidas, a dissolução é mais eficiente, que demonstra a importância do CO_2 na atmosfera, pois torna as águas pluviais mais ácidas e mais propícias a alteração das rochas.

Hidratação é o processo de acréscimo de H_2O aos minerais, resultando em um aumento do volume das rochas. Já a desidratação é o processo onde são formados alguns minerais secundários.

As reações de óxido-redução são as que transformam o Fe(s) em Ferro (II) e desprendendo hidrogênio. A reação ocorre porque o ferro metálico perde elétrons (**e**$^-$) e passa a ferro (II). Enquanto ele se oxida por perder elétron, o Hidrogênio se reduz por ganhar elétron e se tornar gasoso, H_2(g). (HYPOLITO, 2011)

A hidrólise é a quebra de moléculas ocasionada pela água, é um tipo de dissolução onde a água em contato com o material a ser alterado forma ácidos

e bases. Por meio desse processo é que são formadas as lateritas e latossolos por exemplo. Possuem sua taxa de reação intensificada pela temperatura, portanto é uma reação muito importante para os estudos de regiões tropicais.

Capacidade de mobilidade

Há características dos minerais que estão diretamente ligadas aos processos químicos mais atuantes em seus elementos, como por exemplo a sua capacidade de mobilidade. A mobilidade é baseada em características como o raio atômico e o potencial iônico. Alguns elementos possuem maior capacidade de mobilidade que outros, apresentando assim maior facilidade de deslocamento. Elementos como o Na e o Ca tem maior mobilidade enquanto o Fe e o Al possuem menor mobilidade. Abaixo a relação dos principais elementos em ordem crescente de mobilidade:

Al < Fe < Si < Mg < K < Ca < Na

Essa característica explica o caráter residual apresentado pelo Al e Fe presentes em minerais neoformados. É também uma característica importante referente a resistência dos minerais primários e secundários, pois sua composição tem relação direta com a resistência que oferecem ao intemperismo.

De acordo com Butt e Zeegers (1992) os minerais primários e secundários apresentam resistência crescente conforme relação apresentada na Figura 2 abaixo:

Minerais Primários
Plagioclásios Cálcicos < Plagioclásios Cálcio-alcalinos < Plagioclásios Alcalinos-Cálcicos < Plagioclásios Alcalinos < Feldspato Potássico < Muscovita < Quartzo
Minerais Secundários
Gipsita (halita) < Calcita (dolomita, aragonita) < Olivina/Hornblende < Biotita < Albita < Quartzo (residual) < Muscovita < Micas intermediárias hidratadas < Montmorilonita < Caolinita (halosita) < Gibbsita

Figura 2: Resistência dos minerais primários e secundários. Fonte: adaptado de Butt e Zeegers, 1992.

Como pode se observar há uma relação entre a resistência dos minerais com a capacidade de mobilidade dos seus componentes principais, visto que em geral a composição dos minerais menos resistentes possuem elementos de

maior mobilidade. Esse tipo de resistência e mobilidade são de suma importância para os estudos acerca do rebaixamento do relevo em ambientes tropicais visto que essas características estão diretamente relacionadas aos processos de intemperismo químico.

As rochas que apresentam maior incidência de minerais com maior mobilidade, tendem a possuir menor resistência a processos intempéricos, desta forma supostamente constituiriam os compartimentos mais rebaixados do relevo, enquanto as rochas com maior incidência de minerais com menor mobilidade, tendem a apresentar maior resistência ao intemperismo, e assim supostamente sustentam os compartimentos mais elevados do relevo.

Essa característica foi tratada também por Briski (2009) ao se utilizar da fundamentação da teoria bio-resistática de Erhart (1966). Segundo o autor, durante o processo pedogenético há uma tendência de perdas significativas de bases alcalinas e alcalinas terrosas, bem como da sílica e uma fixação do Ferro, Alumínio e Argilas residuais, separando desta forma o processo em duas fases: a migratória com a mobilização de bicarbonatos de potássio, magnésio, cálcio, sódio, sílica hidratada; e a fase residual com o acúmulo de ferro, alumínio e argilas caoliníticas.

Com base nestas afirmações pode-se inferir que a forma atual do modelado pode estar ligada às relações existentes entre os materiais de maior mobilidade e os materiais de menor mobilidade, os quais podemos chamar também de residuais. Quanto maior a quantidade de material de maior mobilidade e menor a quantidade de material residual, mais intenso o processo de rebaixamento do modelado tenderá a ser.

Formação dos argilominerais e influência do pH na dissolução da sílica

Os argilominerais são formados através da relação de lâminas de Si e de Al, que por meio de ligações químicas formam camadas.

Quando há camadas de Si+Al formam-se argilas 1:1 sem a formação de fendas visto que a ligação das camadas entre si é mais fácil de ocorrer, pois Silício se atrai por Alumínio.

Quando ocorre um excesso de Si há a formação de duas laminas de Si e uma de Al, formando assim uma camada 2:1. Essas camadas se repelem entre

si, visto que o Si afasta o Si, assim são formadas fendas quando há o predomínio destas camadas.

A temperatura de 25ºC tende a diluir os Si e formar mais argilominerais do tipo 1:1, visto que o Si está em menor quantidade.

Índices Ki e Kr

O índice Ki é dado através da dissolução de minerais secundários da fração argila por meio de ácido sulfúrico, pressupondo a dissolução da argila e desta forma se efetua a relação molar entre o SiO_2/Al_2O_3. (AZEVEDO, 2015)

Por meio deste índice é possível se estimar o grau de intemperismo do solo, sendo utilizado como parâmetro o valor 2, que se refere ao valor de Ki da Caulinita. Desta forma se entende que os valores menores ou iguais a 2 se referem a um alto grau de intemperismo, enquanto valores superiores a este valor se referem a um baixo grau de intemperismo.

O índice Kr relaciona a relação molar do SiO_2/Al_2O_3 o Fe_2O_3, e é um índice menos utilizado para medições de grau de intemperismo.

Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

O índice varia de acordo com a capacidade apresentada pelos colóides de adsorver cátions. A adsorção é a ligação fraca e reversível de elementos químicos de uma fase fluida em uma superfície sólida carregada eletricamente (AZEVEDO, 2015).

As reações de troca variam em função da temperatura, concentrações dos íons adsorvidos e trocáveis, dimensões das partículas em solução (raio iônico) e das propriedades dos colóides como suas cargas superficiais e em contato com a solução (HYPOLITO, 2011).

A CTC do solo é dada em termos de quantidade de cargas que os coloides podem reter por unidade de peso ou volume, e sua resultante é dada pela soma dos cátions totais, básicos e ácidos.

A partir da CTC são extraídos índices como a porcentagem de saturação por Alumínio (m) e a porcentagem de saturação por bases (V).

Como parâmetros para fertilidade do solo têm-se os seguintes valores (Ribeiro et al., 1999)

- Acidez (pH em H_2O) classificado como muito elevado em pH < 4,5

- CTC a pH 7 média – 4,31 a 8,60
- Saturação por alumínio alta – 50,10 a 75
- Saturação por bases muito baixa - < 20

Relação Silte/Argila

É a relação dada entre o Silte e a Argila sendo que a medida que há uma maior quantidade de argila em relação ao total de silte, este valor tende a ser menor. Assim em horizontes onde se encontra um valor baixo do índice, tende haver uma maior concentração de argila. Uma maior quantidade de argila significa uma maior dinâmica do horizonte, visto que seus elementos possuem capacidade de adsorção de elementos.

Atividade de Argila

Conforme definição da EMBRAPA (2013) sobre Solos Tropicais a atividade de argila tem importância no processo de retenção de água dos solos e de nutrientes para as plantas, sendo a capacidade de manter a coesão e adesão das partículas dos solos, refletindo assim a consistência do solo.

Como afirma Azevedo (2015) o índice é gerado a partir de uma relação entre a CTC e o percentual da fração argila do solo. O valor de parâmetro é 27$cmol_c\ kg^{-1}$, sendo que quando o solo apresenta valor superior a este parâmetro o solo é classificado com de “argila de atividade alta” (Ta), ou seja, alta atividade coloidal. Quando o valor inferior a 27$cmol_c\ kg^{-1}$ é classificado como “argila de atividade baixa” (Tb), ou baixa atividade coloidal.

De acordo com Prado (2013), por definição os solos "Ta" são os Luvissolos, Vertissolos e Chernossolos, enquanto os "Tb" são Latossolos, e Nitossolos, assim os solos “Ta” são mais consistentes enquanto os solos “Tb” são mais friáveis.

Quando o solo apresenta atividade alta (Ta) ocorrem movimentos de contração quando secos, e de expansão, quando úmidos, estando esta característica relacionada ao tipo de argila predominante no solo, como esmectitas, vermiculitas e montmorilonita, sendo que ainda podem ocorrer, no caso de Vertissolos, a formação de fendas e superfícies de compressão quando secos e micro-relevos quando úmidos (EMBRAPA, 2013).

5. PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Para a realização do trabalho de pesquisa efetuou-se alguns procedimentos que serão abordados neste capítulo, sendo estes procedimentos divididos em três etapas.

A primeira etapa consistiu no levantamento de informações pré-existentes para escolha da área de coleta das amostras, bem como a execução de um campo de reconhecimento para analisar a viabilidade das coletas.

A segunda etapa consistiu na efetivação do trabalho de campo com a coleta das amostras para as análises laboratoriais.

A terceira e última etapa foi o tratamento das amostras em laboratório e a interpretação dos resultados obtidos.

Com base no levantamento preliminar dos dados da primeira etapa, elaborou-se uma compartimentação do relevo que correlacionada às informações geológicas serviram de base para a definição das áreas de coleta de amostras.

Para análise foram coletadas amostras do solo (Horizonte B) e do material de alteração (Horizonte C) de perfis localizados em ambientes de litologia magmática e metamórfica. A expectativa é de que os resultados indiquem caminhos para a compreensão de que forma os processos geoquímicos - atuando nas diferentes constituições mineralógicas - respondem na formação dos solos e do manto de alteração (horizontes B e C) e consequentemente nas formas do relevo entre estas duas “famílias” de litologias.

A alteração do relevo se dá pela perda de materiais através da dissolução dos minerais mais solúveis das rochas e a transformação dos minerais primários em secundários. Estes materiais solubilizados são transportados para fora do perfil (horizonte C) e com isso tende-se a criar vazios que reduzem a densidade do perfil, restando apenas o material residual (minerais secundários). O horizonte B apresenta um estado mais avançado de evolução e, portanto, uma maior concentração de materiais residuais como as argilas e os óxidos de ferro e alumínio.

Diante destas suposições é que se faz necessário a coleta para análise das amostras dos materiais dos horizontes C e B, em uma tentativa experimental para avaliar até que ponto os resultados das análises químicas e físicas desses

materiais podem oferecer informações indicativas do papel dos processos geoquímicos na esculturação e rebaixamento do relevo, na tentativa de se demonstrar a hipótese.

Assim as coletas das amostras dos horizontes B e C foram efetuadas em perfis de embasamento litológico distintos, que apresentaram formas de relevo diferentes, bem como altitudes e clinografia dominantes. Procurou-se fazer a coleta de ao menos três perfis em cada tipologia de rocha para realização das seguintes análises:

- Comparação de resultados das análises laboratoriais entre os horizontes B e C de cada ponto amostrado;
- Comparação dos resultados das análises laboratoriais obtidos entre os diferentes pontos, porém dentro de uma mesma tipologia de rocha, em busca de correlações analíticas;
- Comparação dos resultados das análises laboratoriais obtidos entre as diferentes litologias, para os horizontes B e C;
- Por fim verificar se há ou não relação existente entre os resultados das análises com as litologias e as formas do relevo (morfologia e morfometria) com destaque para os valores altimétricos e clinográficos.

Levantamento preliminar

Para a efetivação do trabalho prático foi escolhida como área de estudos a região do Vale do Paraíba. A região está inserida no Planalto Atlântico apresentando alguns compartimentos serranos de embasamento magmático e outros de embasamento metamórfico. Por meio da análise do mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (ROSS & MOROZ, 1997) chegou-se ao Planalto do Paraitinga/Paraibuna.

Para uma análise preliminar mais eficaz do Planalto do Paraitinga/Paraibuna foi utilizado o levantamento geológico efetuado pela CPRM disponibilizado para todo o Estado de São Paulo na escala de 1:750.000. Com ele pode-se observar que a área é composta por compartimentos de granito biotita e gnaisse biotita, contemplando assim os critérios necessários para a efetivação da pesquisa em questão.

A partir das bases vetoriais do IBGE foram geradas as cartas hipsométrica e clinográfica na escala de 1:50.000, que correlacionadas com os dados TOPODATA e as informações geológicas da CPRM, através de um SIG, permitiu identificar que as áreas de embasamento metamórfico se encontram em cotas altimétricas inferiores em relação as áreas de embasamento magmático.

Diante destas informações, partiu-se para a elaboração da logística do campo por meio da utilização do software Google Earth®. Que possibilitou a identificação dos acessos existentes para os dois compartimentos alvo do trabalho de pesquisa, o magmático e o metamórfico.

Foram inventariadas preliminarmente as áreas candidatas a coleta de amostra, tendo sido identificados possíveis pontos de corte de estrada, com o auxílio da funcionalidade *Street View* do mesmo software.

A partir deste inventário foi realizado um trabalho de campo de reconhecimento da área percorrendo a Rodovia Oswaldo Cruz nos trechos entre o município de Taubaté e São Luiz do Paraitinga, e também as vicinais até Natividade da Serra (Figura 3).

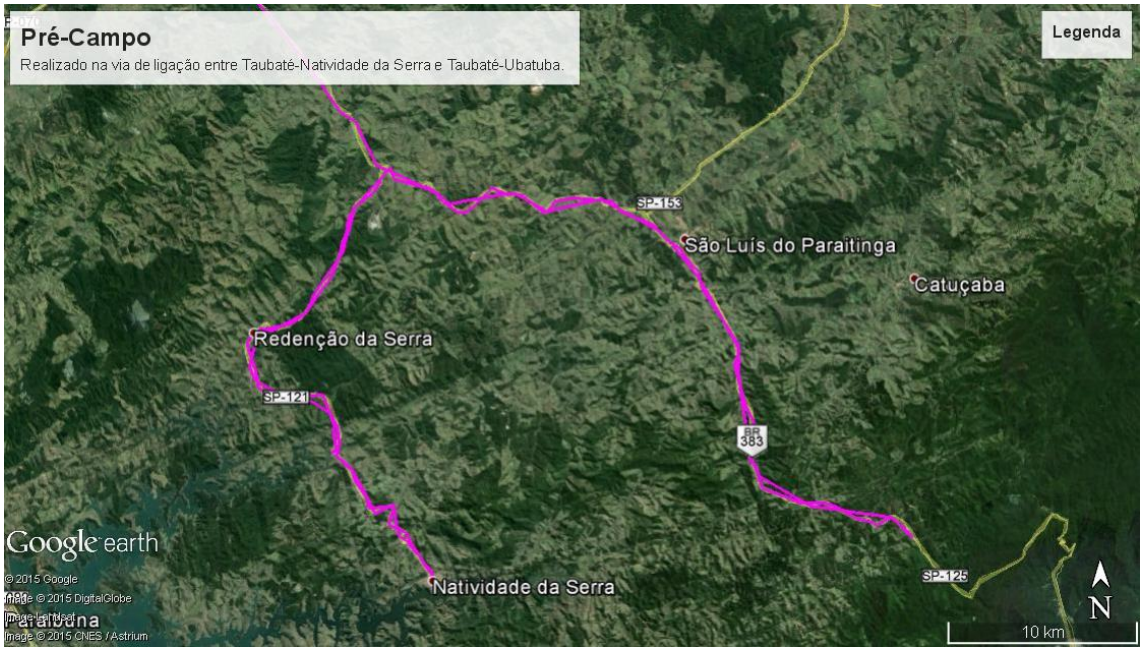


Figura 3: Roteiro Pré-campo. Fonte: Alex Sousa, adaptado Google Earth.

Durante o campo de reconhecimento procurou-se observar os perfis existentes na área, tanto os identificados preliminarmente quanto os que foram

encontrados *in loco* procurando assim efetuar uma atualização do inventário gerado.

Dentre os critérios utilizados para o inventário foi observada a viabilidade para coleta de amostras e sua localização espacial considerando o embasamento litológico, procurando assim contemplar as necessidades do projeto. Desta forma os pontos de interesse foram plotados em arquivo *shape* e registrados por meio de fotografia.

Posteriormente o material gerado no campo de reconhecimento e o material de apoio ao campo foram analisados juntamente com o orientador da pesquisa para definição das áreas de coleta de amostras. Assim iniciou-se o trabalho de campo para coleta de amostras.

Coleta de amostras

As coletas de amostras foram efetuadas em pontos da rodovia Oswaldo Cruz entre os municípios de Taubaté e São Luiz do Paraitinga, bem como no acesso vicinal para o distrito de Catuçaba. Optou-se por essas áreas pelo fato de serem adequadas aos objetivos do trabalho porque contemplam as litologias desejadas e apresentando pontos viáveis para a coleta.

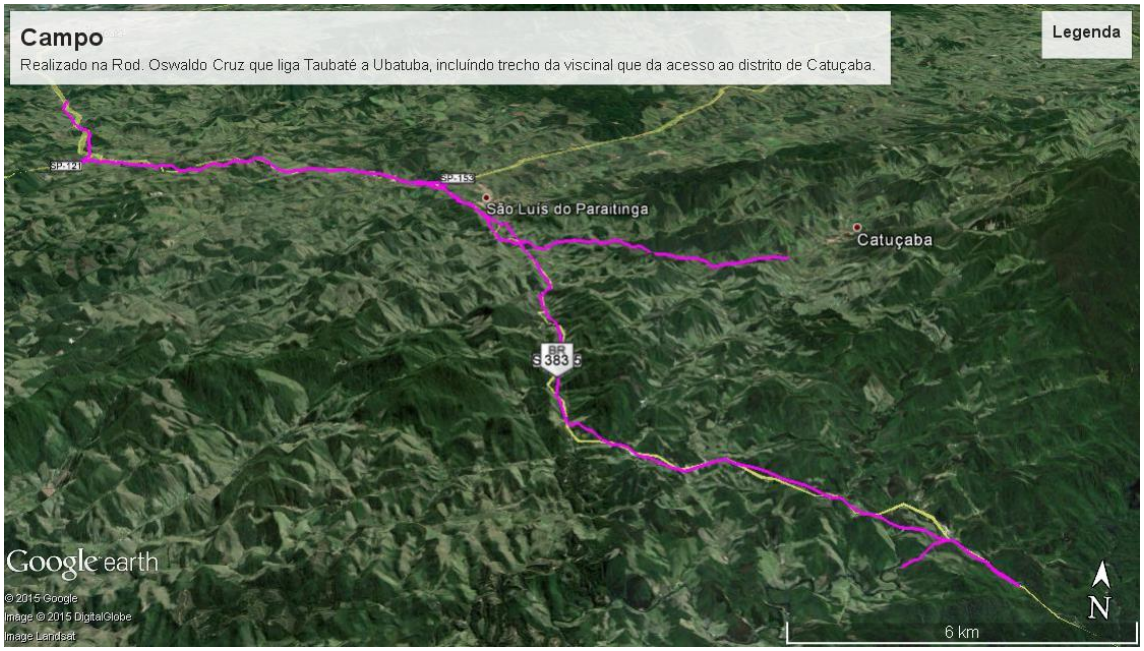


Figura 4: Roteiro efetuado para coleta de amostras com visualização 3D. Fonte: Alex Sousa, adaptado Google Earth.

Foram efetuadas coletas de amostras do horizonte C e do horizonte B do solo de dois tipos de conjuntos litológicos diferentes. Um conjunto constituído por rochas ígneas e o outro por metamórficas.

O trabalho de campo para a coleta de amostras teve duração de dois dias, e foi efetuado no mês de março. O trajeto percorrido pode ser observado na Figura 4.

As coletas foram efetuadas em oito pontos distintos, sendo que em seis foram coletadas amostras dos horizontes B e C e de outros dois foram coletadas amostras de todos horizontes identificados no perfil de solo. Metade dos pontos foram coletados sobre embasamento metamórfico e a outra metade sobre magmático. Segue na Tabela 1 a relação de pontos coletados, com as suas coordenadas e orientação das vertentes:

Ponto	Coordenadas		Vertente:	Data
P1	**X:** 448 018	**Y:** 7 442 135	NW	Dia 1
P2	**X:** 452 615	**Y:** 7 434 405	N	Dia 1
P3a	**X:** 470 496	**Y:** 7 425 414	E	Dia 1
P3b	**X:** 470 475	**Y:** 7 425 410	NE	Dia 1
P4	**X:** 478 235	**Y:** 7 415 633	NE	Dia 1
P5	**X:** 477 593	**Y:** 7 427 894	NW	Dia 2
P6	**X:** 470 395	**Y:** 7 428 418	SW	Dia 2
P7	**X:** 465 412	**Y:** 7 433 395	N	Dia 2

Tabela 1: Coordenada dos pontos de campo e orientação das vertentes. Fonte: Org. Alex Sousa.

No total foram efetuadas coletas de 25 amostras de horizontes. Os pontos P3a e P3b foram coletados a uma proximidade de ~20m. Os pontos P5 e P7 se referem aos perfis de solo mais detalhados da litologia ígnea e metamórfica. No P1 foram coletadas duas amostras do horizonte C, sendo uma de material mais alterado e outra de material menos alterado.

Para a coleta de amostras foi utilizado um anel volumétrico de diâmetro de 46,5mm e altura de 50mm. As amostras foram armazenadas em embalagens vedadas.

Em cada horizonte do solo procurou-se efetuar duas coletas, sendo uma efetuada por meio do anel volumétrico para que se pudesse efetuar os ensaios referentes a densidade aparente da amostra e outra coleta contemplando uma quantidade em que pudessem ser feitas as demais análises do solo.

A cada horizonte coletado foi efetuada uma descrição morfológica com as características gerais do horizonte, como textura, cor, porosidade, estrutura e profundidade das coletas. A cada ponto foram anotadas as coordenadas, orientação da vertente e efetuado um registro fotográfico do perfil em análise. Todas estas informações serão demonstradas no capítulo referente aos resultados da pesquisa.

Tratamento das amostras

Após a coleta, descrição e registro fotográfico as amostras coletadas por meio do anel volumétrico foram levadas para o Laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para pesagem das amostras e determinação da densidade.

Para determinação do peso das amostras foram separados alguns recipientes de papel alumínio que foram devidamente identificados e pesados (Foto 2).

Foto 2: Amostras coletadas e recipientes para pesagem. Fonte: Alex Sousa.

Em seguida as amostras foram realocadas para estes recipientes e novamente pesadas (Foto 3). O peso das amostras se deu pela diferença de peso entre o recipiente com amostra menos o peso do recipiente sem amostra. Após isso as amostras foram levadas à estufa.

Foto 3: Pesagem de amostra. Fonte: Alex Sousa.

Na estufa permaneceram para processo de secagem por 24h em temperatura de 105ºC**.** Após o período determinado as amostras foram retiradas e pesadas novamente, dessa vez secas.

A partir destes dados pode-se obter os valores de densidade apresentados para cada horizonte do solo e sua variação no perfil.

A densidade é dada pela razão entre a massa e o volume. Para o cálculo do volume foi utilizada a fórmula:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot a$$

Sendo que o raio do cilindro é de 23,25mm e sua altura de 50mm, obtém-se como resultado 84.911mm³, ou seja, 84,91cm³. A partir deste valor bastou dividir o peso das amostras secas pelo valor do volume para se obter a densidade.

As demais amostras foram enviadas para o laboratório da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) para que fossem efetuadas as análises químicas e físicas das amostras. Dentre estas foram efetuadas as seguintes análises:

- Análise Química dos componentes da amostra como: pH(H2O), pH(KCl 1mol L-1), P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, e cálculos SB, CTC, V% e m%;

- Cálculos Ki e Kr;
- Granulometria - Areia Muito Grossa, Grossa, Média, Fina, Muito Fina e Total, Silte, Argila;
- Análises mineralógicas/RX para determinação dos argilominerais presentes.

A granulometria foi efetuada separando a areia em 5 frações baseadas em seu diâmetro em mm:

- Muito grossa (MG) com 2 a 1mm;
- Grossa (G) com 1 a 0,5mm;
- Média (M) com 0,5 a 0,25mm;
- Fina (F) com 0,25 a 0,1mm e;
- Muito fina (MF) com 0,1 a 0,05mm.

A areia total (AT) representa a somatória de todas as classes de areia acima citadas, ou seja, apresenta variação de diâmetro de 2 a 0,05mm. Silte apresenta diâmetro de 0,05 a 0,002mm e a argila diâmetro <0,002mm.

Foi determinada também a classe de textura com base nos valores da argila com dispersante, sendo adotados os seguintes parâmetros (Tabela 3):

Argila com dispersante até (g/Kg):	**Textura**
< 150	Arenosa (ar)
150 a 249	Média arenosa (md-ar)
250 a 349	Média argilosa (md-arg)
350 a 599	Argilosa (arg)
> 600	Muito argilosa (mt-arg)

Tabela 2: Valores de parâmetro das classes de textura. Fonte: ESALQ.

De posse destes resultados foi feita uma análise da capacidade de troca catiônica, da saturação por bases, saturação por Alumínio, dos índices Ki e Kr, da relação Silte/Argila, densidade e identificação do predomínio mineralógico.

Foi observado quais destes dados são correlacionáveis e possuem relações entre si, procurando assim identificar padrões nas características químicas e físicas.

As correlações foram efetuadas a partir da utilização do software MS Excel®, com a elaboração de tabelas e gráficos para facilitar a leitura e interpretação. Utilizou-se também o software Match!® e Origin® para auxiliar na identificação dos argilominerais determinados pela difratometria de Raio X.

Para a identificação dos argilominerais é necessário obter os valores de *"2 theta"* e "d", onde *"2 theta"* é o ângulo de difração em graus e "d" é o espaço interatômico mensurado em angstroms.

Esses valores são obtidos a partir da geração dos espectros do padrão de difratometria onde são ressaltados os picos de cada mineral, e é destes picos que são extraídas as informações necessárias de "d" e *"2 theta".*

De posse dos valores de *"2 theta"* e "d" dos picos identificados no padrão de difratometria de cada mineral é possível correlacionar os valores com os apresentados na tabela de CHEN (1977) para a identificação de possíveis candidatos a serem o mineral da amostra em questão.

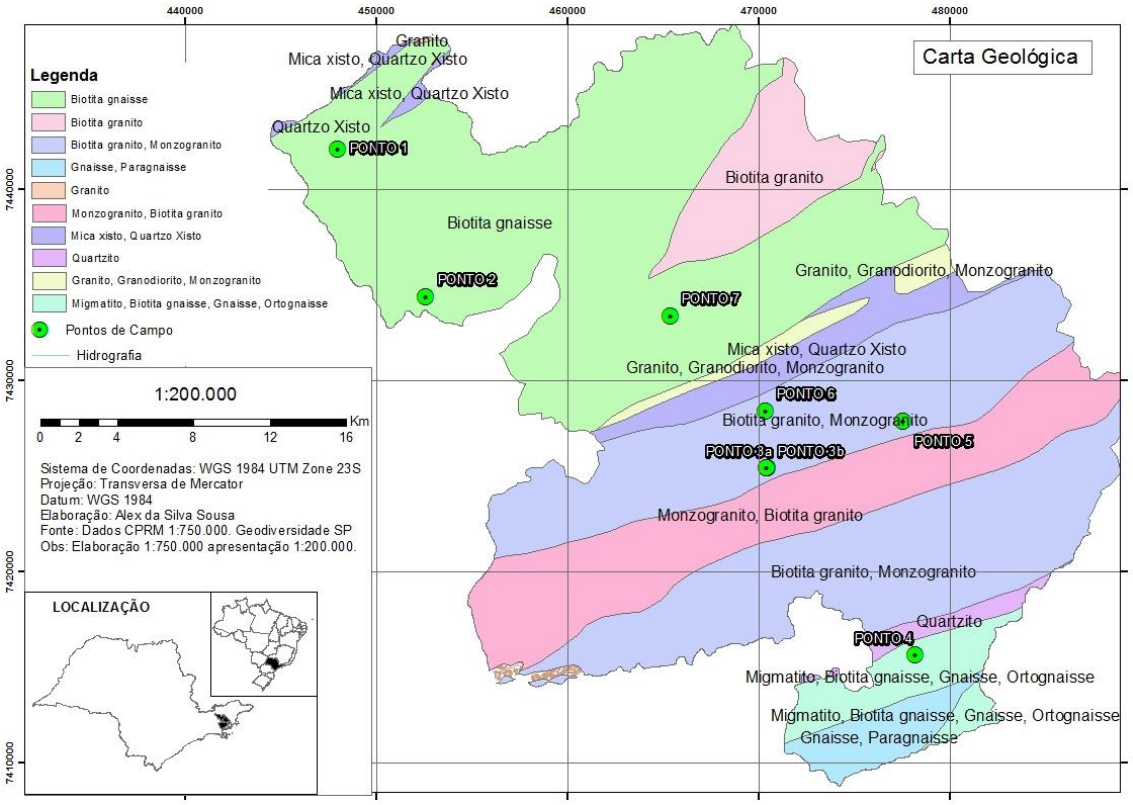
6 – GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS DE APOIO

O desenvolvimento de mapas temáticos foi fundamental ao andamento da pesquisa. Foram elaborados mapas a partir de informações pré-existentes com o objetivo se obter uma melhor caracterização e compreensão do Planalto de Paraitinga/Paraibuna dentro dos limites dos municípios de Natividade da Serra, São Luiz do Paraitinga e Taubaté, área de interesse do trabalho.

Foram levantadas informações referentes a geologia e topografia da área de estudo através da carta de Geodiversidade do Estado de São Paulo produzida pela CPRM, a base vetorial do IBGE na escala de 1:50.000 e o Modelo Digital do Terreno gerado pelo projeto TOPODATA a partir de dados SRTM.

Partindo-se destas bases, pode-se gerar as cartas clinográfica, hipsométrica e a compartimentação geomorfológica.

O documento disponibilizado pela CPRM de Geodiversidade apresenta polígonos que se referem as tipologias litológicas presentes na área conforme Mapa 1.

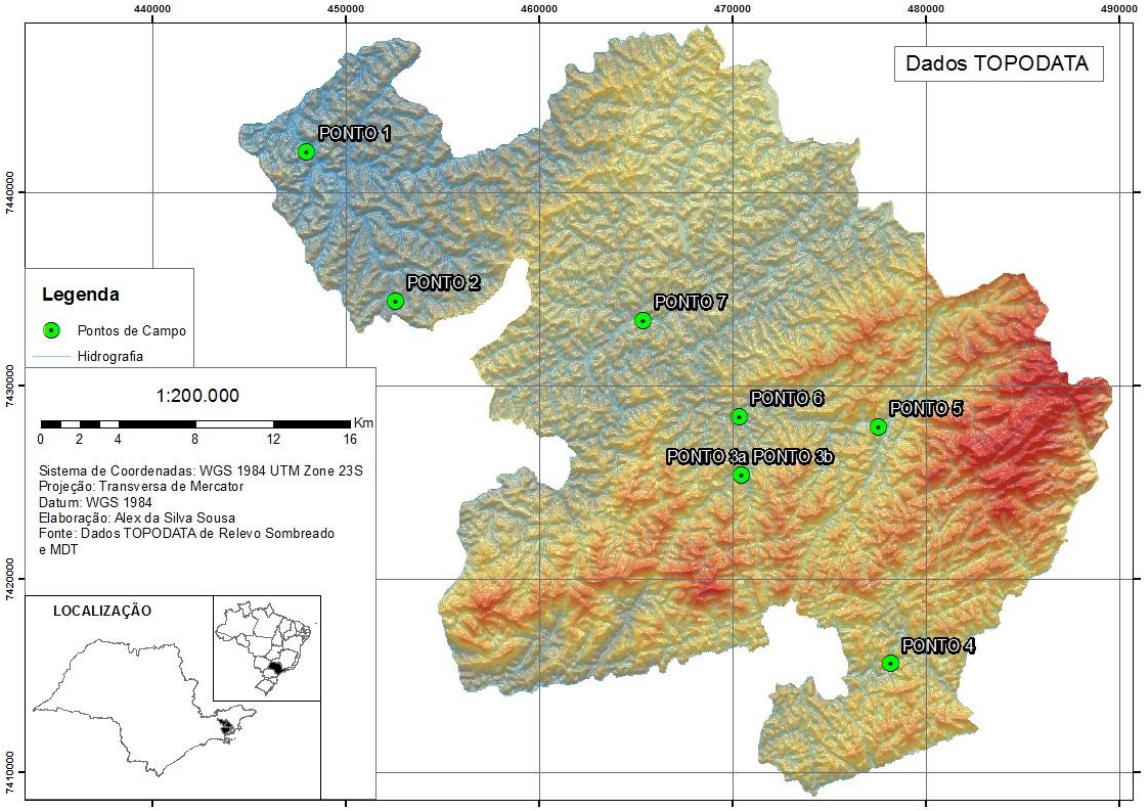


Mapa 1: Carta geológica elaborada para a área de estudos. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado de Geodiversidade do Estado de SP-CPRM.

A área de estudos está localizada em um contexto de predomínio de “Biotita Gnaisse” (metamórfica) e “Biotita Granito” (magmática).

Através da sobreposição de dados do projeto TOPODATA foi possível a observação da morfologia da área de estudos, tendo sido evidenciados os trechos mais elevados e de maior irregularidade da área de estudo (Mapa 2).

A sobreposição foi elaborada por meio do cruzamento de informações aplicando um efeito de hipsometria ao MDT onde os trechos mais elevados ficaram com uma tonalidade avermelhada e os menos elevados com uma tonalidade azulada. Sob este *layer* está um outro com efeito de sombreamento que acentua as formas do relevo da área. Estes arquivos são disponibilizados pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) como parte dos insumos gerados no Projeto TOPODATA.



Mapa 2: Modelo Digital do Terreno sobrepondo relevo sombreado. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado de TOPODATA/INPE.

Estas informações correlacionadas com os padrões hipsométricos e clinográficos permitiram a delimitação adequada dos compartimentos geomorfológicos existentes, bem como observar as semelhanças e diferenças existentes.

Assim foi necessária a elaboração da carta hipsométrica e clinográfica como subsídio para o desenvolvimento da compartimentação do relevo pretendida.

Para isso foram utilizados os dados vetoriais do IBGE das cartas SF-23-Y-D-II-2, SF-23-Y-D-III-3 e SF-23-Y-D-III-4 referentes aos municípios de Taubaté, São Luiz do Paraitinga e Natividade da Serra inseridas no Planalto do Paraitinga/Paraibuna.

A Carta Hipsométrica foi elaborada através da ferramenta "*Topo to Raster*" do software de geoprocessamento "*ArcGis 10.2.1".* Esta ferramenta possibilita a conversão de arquivos que compõem a base vetorial topográfica em um arquivo no formato raster, onde cada célula (*pixel)* deste arquivo possui um valor referente a altitude do terreno, ou seja, cria-se um Modelo Digital do Terreno que pode ser segmentado em faixas de altitude, constituindo assim uma carta hipsométrica.

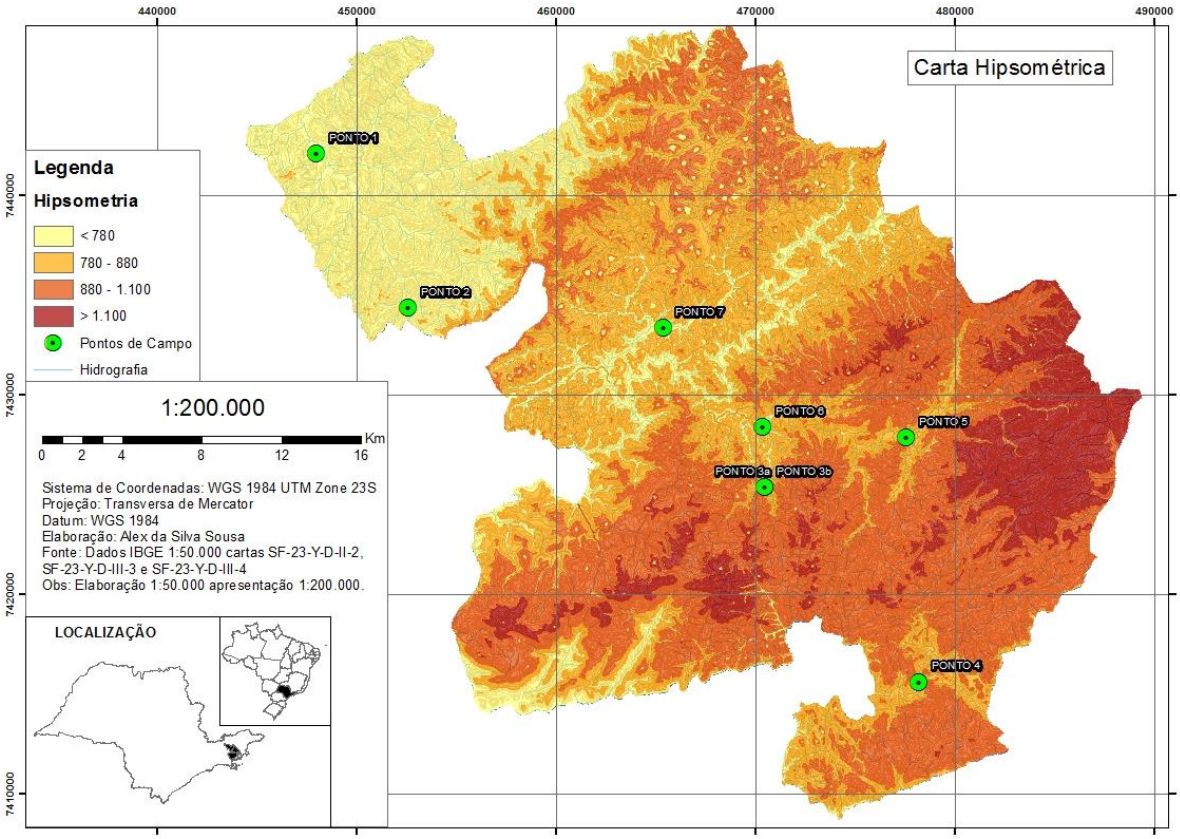
Sua elaboração envolve a utilização dos *shapes* da base topográfica referentes as curvas de nível, hidrografia, ponto cotado e limite da área de estudos. Estes arquivos são inseridos na ferramenta "*Topo to Raster"* e categorizados, assim gera-se o arquivo *raster*.

Para a definição dos intervalos de hipsometria mais adequados ao projeto gerou-se uma série de perfis topográficos por meio da função "*interpolate line".* Para isso gera-se um transecto e na função "*Profile Graph"* pode-se observar o perfil topográfico. Ambas funções estão presentes na aba de ferramentas "*3D analyst"* do software "*ArcGis 10.2.1"*. A partir do perfil topográfico definiu-se as seguintes classes (Tabela 4):

Classes Hispsométricas	
< 780m	Amarelo
780 – 880m	Laranja
880 – 1.100m	Marrom Claro
>1.100m	Marrom Escuro

Tabela 3: Classes de hipsometria. Fonte: Org. Alex Sousa

E como resultado obteve-se o Mapa 3.



Mapa 3: Carta Hipsométrica. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado IBGE 1:50.000

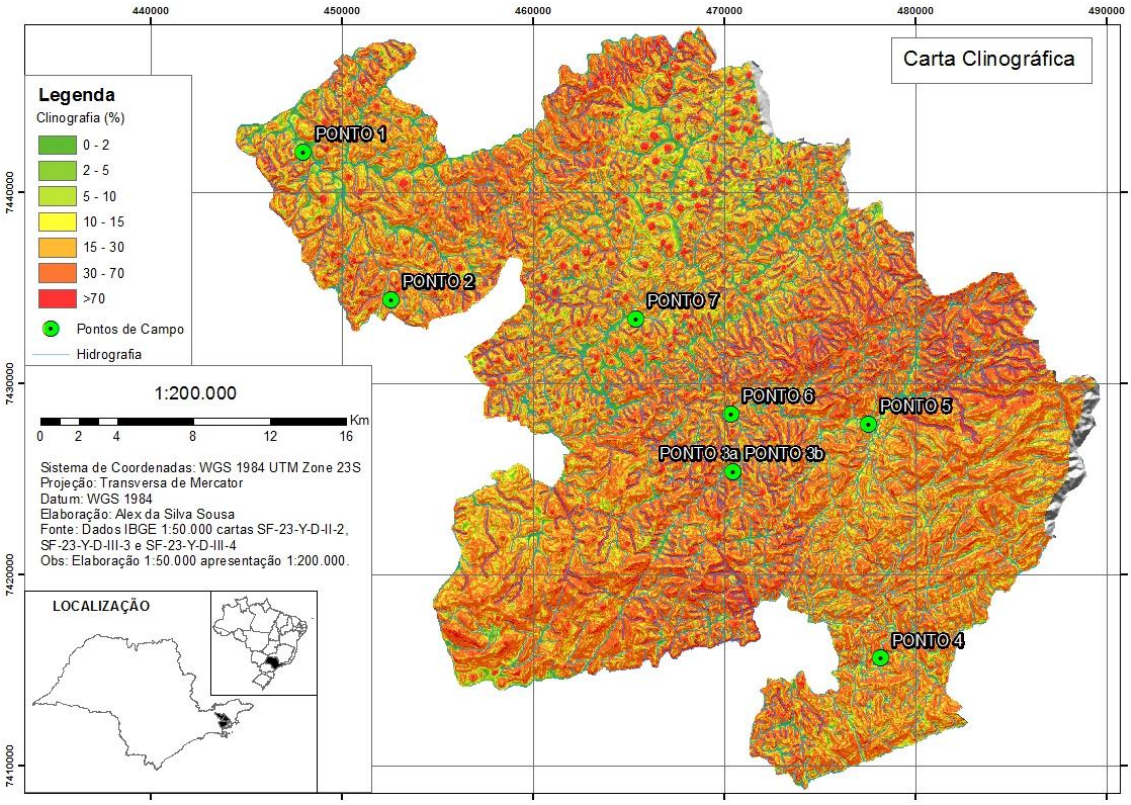
O passo seguinte foi a geração da carta clinográfica, responsável pela representação da inclinação do terreno. Para sua geração se utilizou como base o arquivo *raster* da carta hipsométrica. O procedimento é efetuado por meio da ferramenta "*Slope*" do software "*ArcGis"*.

Para a definição das classes optou-se pela utilização da proposta de Lepsch (1991) com um pequeno ajuste, alterando o valor de 45% para 30% (Tabela 5):

Classes de Declividade	Limites Percentuais (%)
Plano	< 2
Suave Ondulado	2 – 5
Moderadamente Suave	5 – 10
Ondulado	10 – 15
Forte Ondulado	15 – 30*
Montanhoso	30* – 70
Escarpado	> 70

Tabela 4: Classes clinográficas. Fonte: Org. Alex Sousa.

Assim obteve-se o Mapa 4.



Mapa 4: Carta Clinográfica. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado IBGE 1:50.000

A partir destes dados pode-se elaborar a compartimentação geomorfológica abrangendo o 3º táxon do relevo proposto por Ross (1992). Para a elaboração desta compartimentação deve-se considerar as etapas propostas por Ab'Sáber (1969), que definiu a análise do relevo em três níveis: compartimentação topográfica, estrutura superficial da paisagem e fisiologia da paisagem.

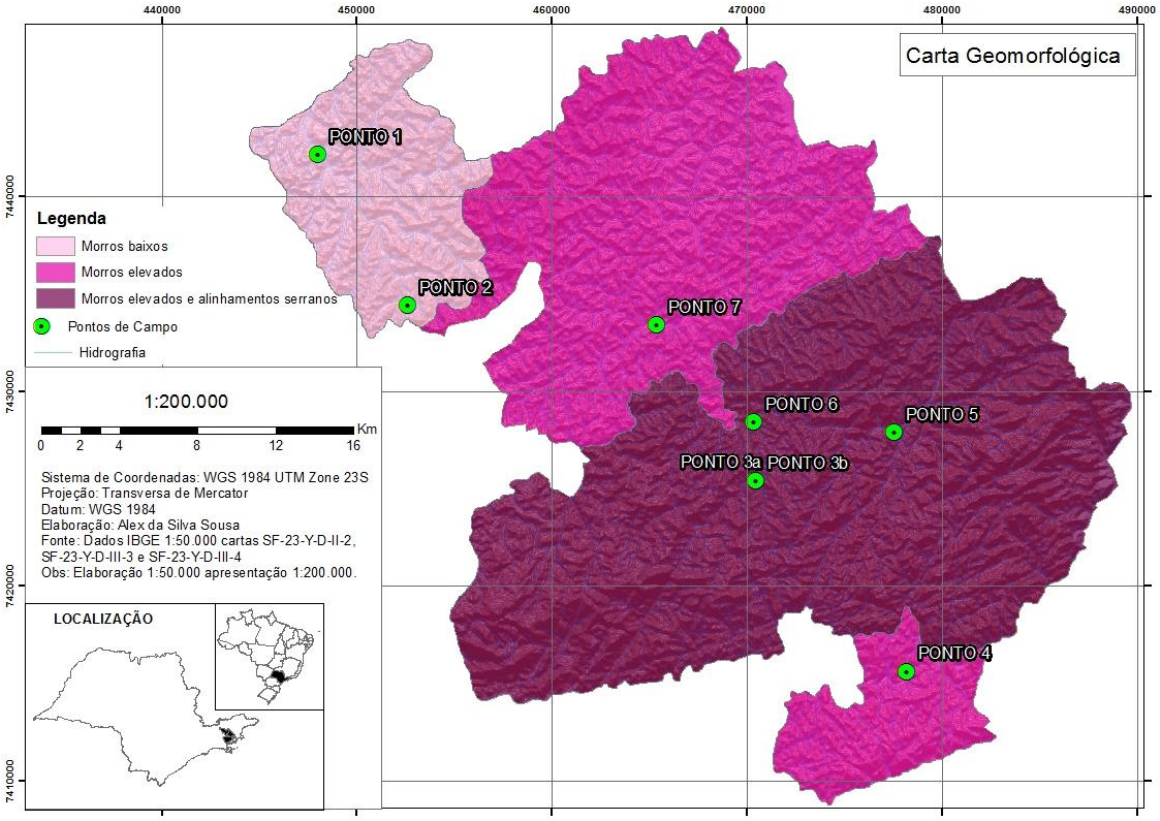
Primeiramente a compartimentação topográfica se trata da identificação de compartimentos com base na topografia do terreno, obedecendo parâmetros morfométricos e morfológicos.

Segundo tem-se no nível de estrutura superficial estudos acerca de matérias tais como elúvios, colúvios e alúvios presentes em vertentes dos diferentes compartimentos. Com base nestes estudos são feitas interpretações para compreensão dos processos morfogenéticos pretéritos, associando-se processos morfodinâmicos atuais ao gradiente da vertente.

Por último, como terceira etapa trabalha-se a fisiologia da paisagem, onde é efetuada análise dos processos morfodinâmicos atuais, procurando se obter

uma caracterização do grau de estabilidade dos diferentes meios, como desenvolvido posteriormente por Tricart (1977).

Assim obteve-se a compartimentação geomorfológica apresentada no Mapa 5, onde o Planalto de Paraitinga/Paraibuna (2º táxon) foi subdividido em outros três compartimentos (3º táxon), sendo eles “Morros baixos”, “Morros elevados” e “Morros elevados e alinhamento serrano”.



Mapa 5: Compartimentação Geomorfológica. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado IBGE, CPRM e TOPODATA.

Com base nas informações levantadas a partir dos mapas temáticos pode-se notar que há uma diferenciação de embasamento litológico acompanhado pela diferenciação de níveis altimétricos e morfológicos.

Neste trabalho de pesquisa a dinâmica e morfogênese foram valorizadas com as análises físicas e químicas dos materiais. Para isso foram coletadas amostras de dois compartimentos que apresentavam litologia, morfologias e altitudes diferenciadas. O compartimento com litologia metamórfica se apresentou em cotas menos elevadas em relação ao compartimento de litologia ígnea, que apresentou altitudes mais elevadas, fato este já descrito e discutido

por Ross (1998 e 2002) e que nortearam a escolha desta área para teste e pesquisa.

Assim é neste tipo de diferenciação litológica que será focada a coleta de amostras para avaliação dos processos geoquímicos dominantes, na tentativa de se correlacionar esta diferença de altitude/dissecação com os padrões dos processos geoquímicos apresentados nas áreas.

7 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios laboratoriais. Visando otimizar o desencadeamento das interpretações e análises, os pontos de coleta serão agrupados por tipologia de rocha.

Os pontos P3a, P3b, P5 e P6 serão apresentados inicialmente e foram coletados no compartimento de embasamento “Biotita Granito” (Mapa 1). Destes pontos foram coletadas amostras do horizonte B e C.

Na sequência será feita a apresentação dos resultados referentes aos pontos P1, P2 e P7 que foram coletados no compartimento de embasamento “Biotita Gnaisse”, adotando o mesmo procedimento dos anteriores (Mapa 1). Nestes pontos também foram retiradas amostras dos horizontes B e C.

Por último serão apresentados os dados referentes ao P4, coletado no compartimento de embasamento de “Migmatito, Biotita gnaisse, gnaisse e Ortognaisse”, e apesar de possuir embasamento metamórfico será apresentado de maneira separada dada sua maior variedade litológica.

7.1 – Resultados das análises de laboratório das amostras dos pontos P3a, P3b, P5 e P6 do compartimento de “Biotita Granito”

Segue os resultados das análises de laboratório obtidas para os pontos P3a, P3b, P5 e P6.

7.1.1 – Descrição dos pontos P3a e P3b

Abaixo as Tabelas 5 e 6 com o descritivo geral de campo dos pontos P3a e P3b.

Ponto 3a	**Coordenadas:**		**Orientação da Vertente:** E
	X: 470 496	**Y:** 7 425 414	
Horizonte:		**Profundidade:**	**Cor:**
B		5,7 m	7,5YR 5/8 (Bruno forte)
Linha de Pedra		6,8 m	-
C		8,34 m	2,5YR 4/6 (Vermelho)

Tabela 5: Descritivo geral de ponto de campo. Fonte: Org. Alex Sousa.

Ponto 3b	Coordenadas		Orientação da Vertente: NE
	X: 470 475	**Y:** 7 425 410	
Horizonte		**Profundidade**	**Cor**
B		~0,96 m	7,5YR 5/8 (Bruno forte)
Linha de Pedra		~1,60m	-
C		~2,24 m	5YR 4/6 (Vermelho amarelado)

Tabela 6: Descritivo geral de ponto de campo. Fonte: Org. Alex Sousa.

Abaixo as Fotos 4 e 5 referentes ao ponto de coleta P3a.

Fotos 4 e 5: Perfil de solo do ponto P3a. Fonte: Org. Alex Sousa

Abaixo as Fotos 6 e 7 referentes ao ponto de coleta P3b.

Foto 6: Perfil de solo do ponto P3b. Fonte: Org. Alex Sousa

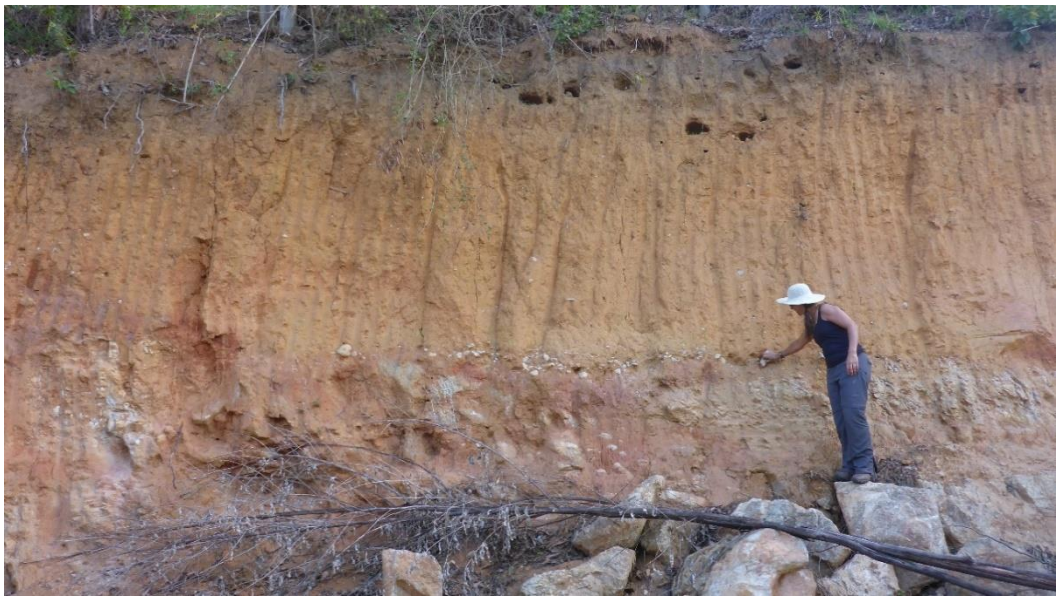


Foto 7: Perfil do contexto de perfil do ponto P3b. Fonte: Org. Alex Sousa

Observações de campo

Neste ponto foram coletadas amostras de dois perfis próximos (~20 m, mensurado no ArcGis®). O primeiro perfil (3a) apresentava veios de quartzo entre o horizonte B e C e profundidade de 8,80m. A amostra foi retirada do horizonte Bc apresentando textura silto-argilosa.

O segundo perfil (3b) apresentou alguns granitóides em sua base. Trata-se de um Argissolo Vermelho amarelo com presença de cascalho, apresentando linha de pedra composta de fenocristais porfiríticos de quartzo.

O horizonte C possui fragmentos de granito porfirítico relacionado a linha de pedra. Textura argilo-siltosa e cerosidade abundante. O perfil de solo apresenta transição entre os seguintes horizontes: A, E, Bt, BC e C.

Classificação Química

A análise química gerou parâmetros (Tabela 7) como o pH em meio aquoso (pH H_2O), pH em meio a cloreto de potássio (pH KCl), o percentual de saturação por bases (V%), o percentual da saturação por Al (m%), a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) dada pela soma da saturação do H+Al e a soma de bases (SB).

Identificação	pH H_2O	pH KCl	CTC	V%	m%	SB	H+Al	Ca	K	Mg	Al
P3 - B1	5,2	4,2	30	20	60	6	24	3	<0,3	3	9
P3 - C1	5,4	4,3	23	9	89	2	21	<2	1	1	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P3 (B) - B1	5,6	5,5	38	58	19	22	16	14	1	7	5
P3 (B) - C1	6,1	4,5	27	41	42	11	16	2	3	6	8

Tabela 7: Classificação química do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq.

A soma de bases (SB) é constituída por elementos de maior mobilidade como o Cálcio, o Potássio e o Magnésio e em análise dos dois perfis de solo nota-se que houve um aumento nos horizontes mais superficiais em relação aos subsuperficiais. Seguindo esta tendência nota-se um aumento do V%.

Houve também um aumento sutil da saturação do alumínio (H+Al) no horizonte B do P3 em relação ao C, enquanto no P3(B) se manteve estável. Já o m% apresentou uma diminuição do valor do horizonte C para o horizonte B em ambos perfis.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) foi maior em ambos horizontes superficiais, o que é esperado visto que as trocas de cátions são mais intensas em áreas mais expostas. Desta forma o horizonte mais superficial tende a apresentar uma CTC maior em relação a um horizonte subsuperficial.

O pH em meio aquoso se apresentou ácido e reduziu no horizonte mais superficial em relação ao subsuperficial.

Outra variável considerada foi a atividade da argila (Tabela 8), e o perfil apresentou a seguinte variação.

Horizonte	Índice
P3-B	4,59
P3-C	9,96
-	-
P3b-B	5,31
P3b-C	8,23

Tabela 8: Atividade de argila do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa

A atividade da argila reflete a capacidade de retenção de bases pelo horizonte. Quanto maior o valor, maior a capacidade de reter bases. Os perfis apresentaram atividade de argila mais elevada nos horizontes mais subsuperficiais em relação aos superficiais.

Índice Ki e Kr

A correlação dos óxidos de Silício, Alumínio e Ferro é utilizada para determinar o grau de intemperismo dos horizontes do solo através dos índices Ki e Kr. Quanto menor o índice de Ki e Kr, maior o grau de intemperismo do horizonte do solo (Tabela 9).

Identificação	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Ki	Kr
P3 - B1	24,1	22,42	3,54	1,83	1,75
P3 - C1	22,8	19,92	3,75	1,95	1,83

Tabela 9: Índice Ki e Kr do perfil, não houve levantamento de Ki/Kr para o P3(B). Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Os índices Ki e Kr demonstram que o horizonte B do solo apresenta um grau de intemperismo superior ao existente no horizonte C.

Avaliação Física/Granulométrica

Na avaliação granulométrica foi considerado o levantamento total de silte, argila e areia. Através destes valores pode-se efetuar sua correlação gerando assim o índice Silte/Argila e a classificação textural de cada horizonte. Foi possível também observar a variação granulométrica existente na fração areia (Tabela 10).

Identificação	AT	Argila	Silte	Silte/Argila	Classe de Textura
P3 - B1	332	654	13	0,02	mt-arg
P3 - C1	432	231	337	1,46	md-ar
-	-	-	-	-	-
P3 (B) - B1	265	715	20	0,03	mt-arg
P3 (B) - C1	545	328	127	0,39	md-arg

Tabela 10: Variação granulométrica do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Ambos perfis apresentaram redução na quantidade de areia total (AT) do horizonte mais profundo ao mais superficial e redução no índice Silte/Argila que expressa o total de Silte em relação ao total de Argila, portanto quanto menor o índice, menor é o total de Silte em relação ao total de Argila. No perfil P3 a classe textural passou de médio arenoso no horizonte C1 para muito argiloso no horizonte B1, e no perfil P3(B) de médio argiloso no C1 para muito argiloso no B1 (Tabela 11).

Identificação	AMF (%)	AF (%)	AM (%)	AG (%)	AMG (%)	AT
P3 - B1	6,33	25,30	29,22	28,61	10,54	332
P3 - C1	12,96	16,67	22,92	30,56	16,90	432
-	-	-	-	-	-	-
P3 (B) - B1	10,19	24,91	24,53	24,53	15,85	265
P3 (B) - C1	17,43	26,79	22,57	21,47	11,74	545

Tabela 11: Variação granulométrica da fração areia. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

O P3a apresentou redução percentual mais significativa das granulometrias de areia muito fina (AMF) e muito grossa (AMG) no horizonte B em relação ao C, e aumento nas granulometrias de areia fina (AF) e média (AM).

Já o P3(B) apresentou comportamento semelhante com redução da quantidade de areia muito fina (AMF), porém houve um aumento da areia muito grossa (AMG).

Análise da Densidade

Amostras	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Densidade (g/cm³)
p3a-b	135,74	111,59	1,31
p3a-c	154,88	133,08	1,57
p3b-b	141,06	118,24	1,39
p3b-c	133,83	120,39	1,42

Tabela 12: Variação de densidade. Fonte: Org. Alex Sousa

Ambos perfis de solo apresentaram um horizonte B menos denso que o horizonte C (Tabela 12).

Padrões de Difratometria de Raio X

Para a determinação dos argilominerais das amostras foram gerados os padrões de difratometria. Estes apresentam picos para cada mineral de onde são extraídos os valores de *"2 theta"* e "d" para a sua identificação. A seguir está apresentado o padrão de difratometria do perfil P3a e P3b (Figura 5 e 6).

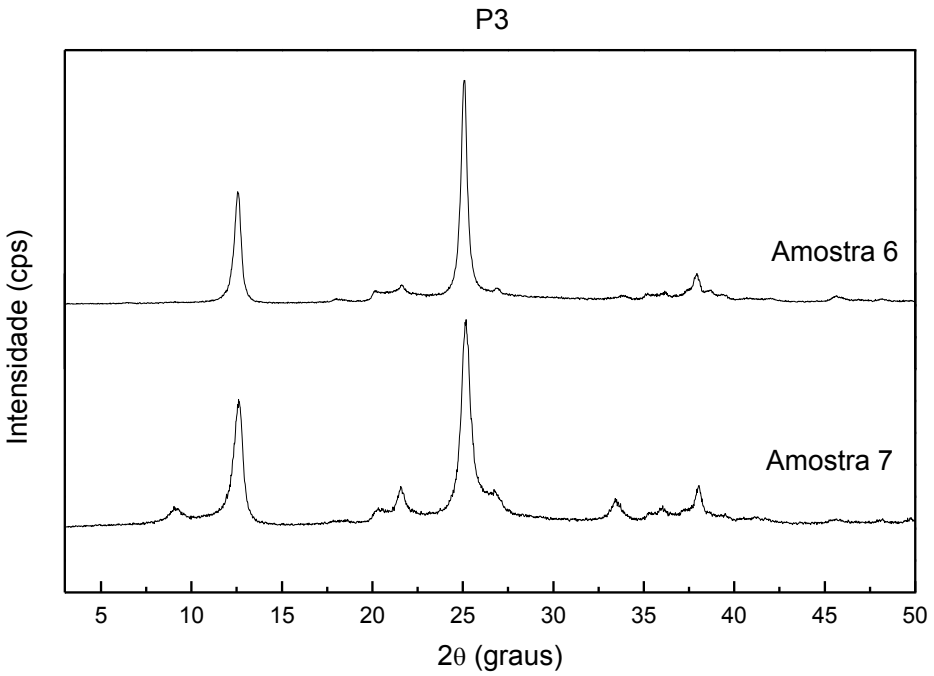


Figura 5: Padrão de difratometria do perfil. Fonte: Org. Rogeria Costa.

A partir dos valores obtidos efetuou-se a correlação das informações com a tabela de Chen (1977) sendo possível identificar uma série de minerais candidatos a serem os minerais encontrados no horizonte de cada perfil coletado. Nas Tabelas 13 e 14 estão a relação dos minerais identificados nos horizontes dos perfis P3a e P3b.

Amostra	Horizonte	Minerais candidatos
6	P3 - B1	Lizardite, Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals
7	P3 - C1	Cronstedtite, Al-Serpentine, Chamosite, Kaolin Minerals

Tabela 13: Candidatos a minerais do perfil de solo. Fonte: Org. Alex Sousa

A Figura 6 apresenta o padrão de difratometria do perfil P3b.

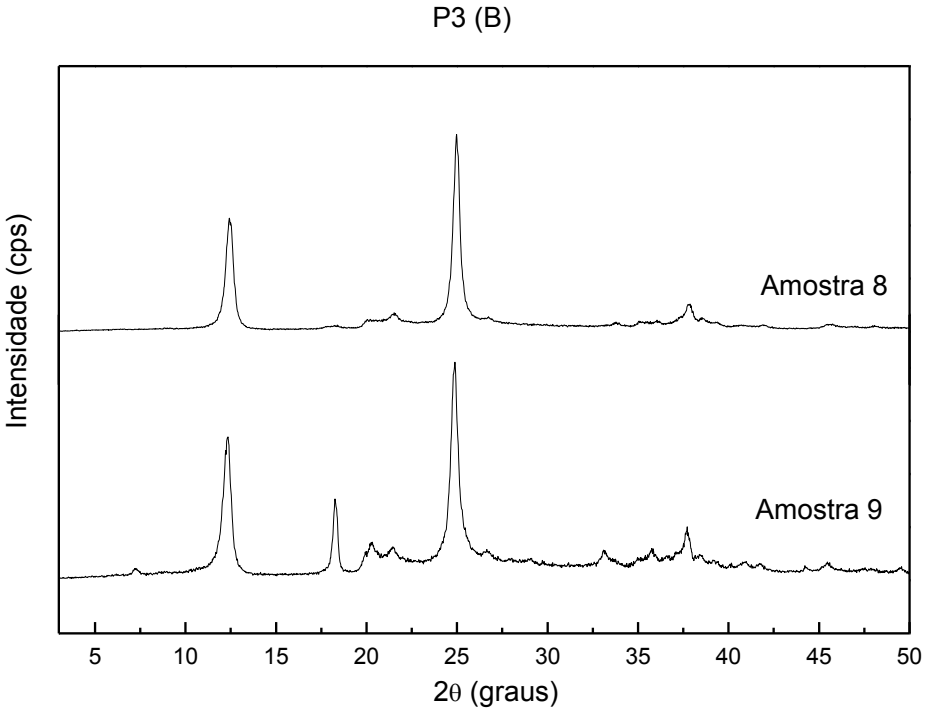


Figura 6: Padrão de difratometria do perfil. Fonte: Org. Rogeria Costa.

A Tabela 14 apresenta os candidatos a minerais do perfil P3b.

Amostra	Horizonte	Minerais candidatos
8	P3 (B) - B1	Lizardite, Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals
9	P3 (B) - C1	Antigorite 6m, Antigorite 60, Amesite, Kaolin Minerals

Tabela 14: Candidatos a minerais do perfil de solo. Fonte: Org. Alex Sousa

7.1.2 – Descrição do ponto P6

Segue na Tabela 15 o descritivo geral do ponto de coleta P6.

Ponto 6	Coordenadas		Orientação da Vertente: SW
	X: 470 395	**Y:** 7 428 418	
Horizonte		**Profundidade**	**Cor**
B		~0,48m	5YR 4/6 (Vermelho amarelado)
Linha de Pedra		~1,00m	-
C		~1,85m	2,5YR 4/6 (Vermelho)

Tabela 15: Descritivo geral de ponto de campo. Fonte: Org. Alex Sousa.

As Fotos 8 e 9 representam o ponto de coleta P6.

Foto 8: Foto do contexto do perfil de solo do ponto P6. Fonte: Org. Alex Sousa

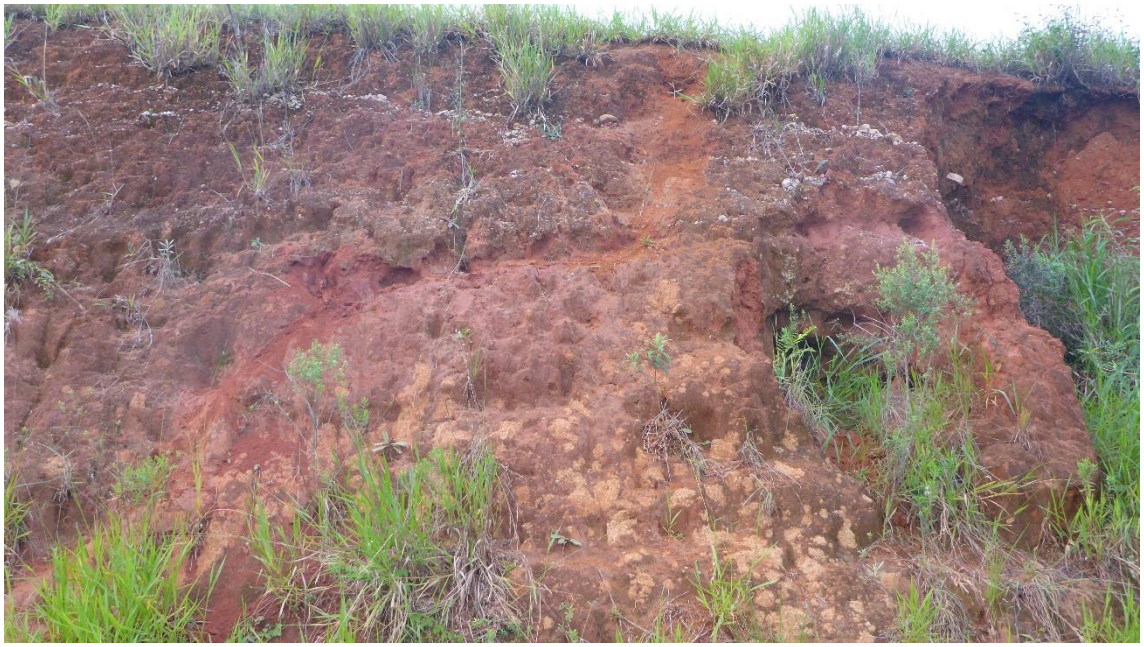


Foto 9: Perfil de solo do ponto P6. Fonte: Org. Alex Sousa

Observações de campo

O perfil é de um Cambissolo Háplico, com presença de linha de pedra e estrutura de blocos fraca que se desfaz em granular. Possui um horizonte B incipiente, sendo o horizonte A decapitado.

A transição entre Bi e C se caracteriza por linha de pedra descontinua e ondulada constituída de quartzo e quartzito com faces angulosas.

Classificação Química

Identificação	pH H_2O	pH KCl	CTC	V%	m%	SB	H+Al	Ca	K	Mg	Al
P6 – B	5,2	4,8	35	20	46	7	28	2	2	3	6
P6 – C	5,7	4,5	22	18	80	4	18	<2	1	3	16

Tabela 16: Classificação química do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq.

A soma de bases apresentou um aumento no horizonte B em relação ao C. Seguindo esta tendência nota-se um aumento do V%.

Houve também um aumento da saturação do alumínio (H+Al) no horizonte B, já o m% apresentou uma diminuição do horizonte C para o horizonte B.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) foi maior no horizonte mais superficial.

O pH em meio aquoso se apresentou ácido e reduziu no horizonte mais superficial em relação ao subsuperficial.

Horizonte	Índice
P6–B	5,54
P6–C	5,35

Tabela 17: Atividade de argila do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa

A atividade de argila apresentou valor baixo em todos horizontes do perfil, visto que inferiores a 27 $cmol_c\ kg^{-1}$ (AZEVEDO, 2015) e manteve-se relativamente estável no perfil.

Índice Ki e Kr

Identificação	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Ki	Kr
P6 – B	22,8	24,42	4,02	1,59	1,51
P6 – C	27,6	24,06	4,11	1,95	1,85

Tabela 18: Índice Ki e Kr do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Os índices apresentados pelo horizonte B demonstram que este é um horizonte com maior grau de intemperismo em relação ao horizonte C.

Avaliação Física/Granulométrica

Identificação	AT	Argila	Silte	Silte/Argila	Classe de Textura
P6 – B	339	632	29	0,05	mt-arg
P6 – C	391	411	198	0,48	Arg

Tabela 19: Variação granulométrica do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Granulometricamente o horizonte B apresentou uma redução no total de areias e menor valor no índice Silte/Argila, além de mudança textural de argilosa para muito argilosa, dados compatíveis com os índices de Ki e Kr apresentados.

Identificação	AMF (%)	AF (%)	AM (%)	AG (%)	AMG (%)	AMG (%)	AT
P6 – B	13,86	28,91	26,25	20,94	10,03	10,03	339
P6 – C	20,46	29,15	23,02	19,18	8,18	8,18	391

Tabela 20: Variação granulométrica da fração areia. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

O horizonte B apresentou uma diminuição percentual mais significativa do total de areias muito finas e aumento sutil do total de areias médias, grossas e muito grossas.

Análise da Densidade

Amostras	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Densidade (g/cm³)
p6-b	129,86	105,11	1,24
p6-c	140,54	114,02	1,34

Tabela 21: Variação de densidade. Fonte: Org. Alex Sousa

A densidade do horizonte B teve um decréscimo em relação a densidade apresentada no horizonte C.

Padrões de Difratometria de Raio X

A Figura 7 apresenta o padrão de difratometria do perfil P6.

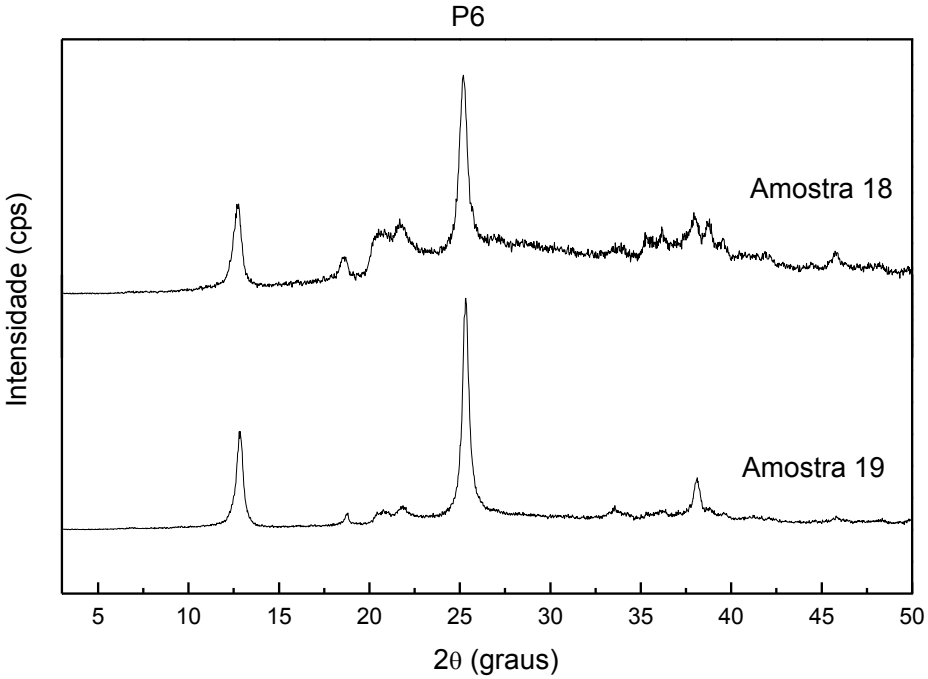


Figura 7: Padrão de difratometria do perfil. Fonte: Org. Rogeria Costa.

A Tabela 22 apresenta os possíveis candidatos a minerais presentes em cada horizonte do P6.

Amostra	Horizonte	Minerais candidatos
18	P6 – B	Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals
19	P6 – C	Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals

Tabela 22: Candidatos a minerais do perfil de solo. Fonte: Org. Alex Sousa

7.1.3 – Descrição do ponto P5

Na Tabela 23 segue o descritivo geral do ponto de coleta P5.

Ponto 5	Coordenadas		Orientação da Vertente: NW
	X: 477 593	Y: 7 427 894	
Horizonte		Profundidade	Cor
Ap		~0,05m	10YR 4/2 (Bruno Acinzentado escuro)
E		~0,38m	10YR 4/4 (Bruno Amarelado escuro)
E2		~0,70m	10YR 5/4 (Bruno Amarelado)
B		~0,95m	10YR 4/4 (Bruno Amarelado escuro)
BC		~1,25m	10YR 4/6 (Bruno Amarelado escuro)
C		~1,75m	10YR 5/6 (Bruno Amarelado)-(35%); 10YR 4/6 (Bruno amarelado escuro)-(60%) e 7,5YR 9,5/1 (Branco)-(5%)

Tabela 23: Descritivo geral de ponto de campo. Fonte: Org. Alex Sousa.

Nas fotos 10, 11 e 12 a representação do ponto de coleta P5.

Foto 10: Perfil de solo do ponto P5. Fonte: Org. Alex Sousa

Foto 11: Perfil de solo do ponto P5. Fonte: Org. Alex Sousa

Foto 12: Contexto do perfil de solo do ponto P5. Fonte: Org. Alex Sousa

Observações de campo

As amostras deste ponto foram coletadas na parte mais superficial do perfil, em uma profundidade de até 2m aproximadamente. Foram coletadas amostras de todos horizontes do solo, visando efetuar uma análise mais apurada.

O primeiro horizonte pode ser definido como Ap. Apresenta estrutura grumosa, pequena e fraca. Textura areno-argilosa, pegajosa e plástica. Porosidade tubular e fissural com muitas raízes finas.

Segundo horizonte definido como E possui estrutura em blocos, fraca e pequena. Textura areno-argilosa com pouco menos de argila, é um material pouco pegajoso e plástico. Porosidade fissural e tubular associado a canais de raízes.

Terceiro é o horizonte E2, possui estrutura em blocos, pequena e fraca. É um horizonte areno-argiloso, pouco pegajoso e plástico. Porosidade fissural e secundariamente tubular associada a canais de raízes.

Quarto é o horizonte B, com blocos angulares, estrutura moderada a média. Horizonte argilo-siltoso, pegajoso e plástico. Porosidade fissural.

Quinto horizonte é o BC com estrutura em blocos angulares, fraca (influência da rocha), média. Textura argilo-siltosa com cascalho, pegajosa, plástica. Porosidade fissural. Muitas câmaras preenchidas com materiais minerais. Fragmento de rocha não alterada.

Sexto horizonte é o C, com estrutura laminar não pedogenética, ou seja, herdada da rocha. Textura silto-argilosa, pegajosa e plástica. Porosidade fissural com fragmentos de rocha não alterada.

Classificação Química

O horizonte mais superficial pode apresentar valores díspares dos demais por ser um horizonte em geral muito alterado pela ação antrópica. Dessa forma, seus resultados não devem ser determinantes nas análises.

Identificação	pH H_2O	pH KCl	CTC	V%	m%	SB	H+Al	Ca	K	Mg	Al
P5 – 0	6	4,4	74	39	12	29	45	15	2	12	4
P5 – 1	5,6	3,8	41	7	81	3	38	<2	1	1	13
P5 – 2	5,6	3,8	40	8	85	3	37	2	<0,3	1	17
P5 – 3	5,2	4,2	52	6	88	3	49	2	<0,3	1	22
P5 – 4	5,4	4,3	48	8	83	4	44	2	<0,3	2	19
P5 – 5	5,3	4,5	39	10	80	4	35	2	<0,3	2	16

Tabela 24: Classificação química do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq.

A soma de bases se manteve estável por todo perfil, apresentando um valor baixo, entretanto a medida que se aprofundavam os horizontes do perfil, notava-se uma tendência sutil de aumento do V%.

A saturação do alumínio (H+Al) apresentou um aumento do horizonte P5-1 ao P5-3, e posteriormente uma queda até o horizonte P5-5. Já o m% segue a mesma tendência de curva que o H+Al, sempre apresentando valores superiores a 80% em todos horizontes, o que demonstra que se trata de um solo mais ácido.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) seguiu a mesma curva do m% e do H+Al, aumentando do P5-1 ao P5-3 e diminuindo até o P5-5.

O pH em meio aquoso se apresentou ácido em todos horizontes, mantendo uma tendência de aumento da acidez a medida que se aprofundava nos horizontes do solo, sendo que seu ápice de acidez se deu no horizonte P5-3, sendo o horizonte de maior saturação de alumínio e maior índice de CTC.

Horizonte	Índice
P5–0	18,78
P5–1	26,97
P5–2	9,83
P5–3	7,87
P5–4	7,22
P5–5	5,81

Tabela 25: Atividade de argila do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa

Em relação a atividade da argila o perfil apresentou tendência a aumento do índice nos horizontes mais superficiais, estando, porém, sempre abaixo do valor de referência 27 $cmol_c\ kg^{-1}$.

Índice Ki e Kr

Identificação	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Ki	Kr
P5 – 0	13,4	12,67	0,88	1,80	1,81
P5 – 1	10,3	13,95	0,7	1,26	1,28
P5 – 2	12,7	15,68	1,29	1,38	1,38
P5 – 3	22,7	20,84	2,18	1,85	1,83
P5 – 4	24,4	23,4	2,47	1,77	1,75
P5 – 5	26,7	23,34	2	1,94	1,94

Tabela 26: Índice Ki e Kr do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Os índices Ki e Kr se comportaram de maneira idêntica, tendo apresentado uma tendência geral não linear de diminuição do valor do horizonte mais profundo para o horizonte mais superficial, ou seja, os horizontes mais superficiais apresentaram maior grau de intemperismo em relação aos horizontes mais profundos.

Avaliação Física/Granulométrica

Identificação	AT	Argila	Silte	Silte/Argila	Classe de Textura
P5 – 0	540	394	66	0,17	Arg
P5 – 1	317	152	531	3,49	md-ar
P5 – 2	534	407	59	0,14	Arg
P5 – 3	320	661	19	0,03	mt-arg
P5 – 4	312	665	23	0,03	mt-arg
P5 – 5	294	671	35	0,05	mt-arg

Tabela 27: Variação granulométrica do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Granulometricamente o comportamento apresentado pelo perfil foi de uma menor quantidade de areia total (AT) e maior quantidade de argila nos horizontes mais profundos em relação aos mais superficiais, desta forma o perfil apresentou textura argilosa e média argilosa nos horizontes mais superficiais e muito argilosa nos mais profundos.

A relação Silte/Argila apresentou valores baixos na maioria dos horizontes devido à grande quantidade de argila presente em quase todos eles, bem como

a pequena variação relativa entre silte e argila. Sua tendência foi de queda do horizonte P5-0 ao horizonte P5-3, passando a reverter a tendência até o horizonte P5-5.

O horizonte P5-1 apresentou uma grande quantidade de silte, e desta forma apresentou valores discrepantes dos demais horizontes. Considerando a descrição efetuada em campo, isso pode ter ocorrido pela presença de algum material estranho na coleta no horizonte por se tratar de um horizonte mais superficial, e este apresentou características semelhantes a dos demais horizontes.

Identificação	AMF (%)	AF (%)	AM (%)	AG (%)	AMG (%)	AMG (%)	AT
P5 – 0	7,41	30,93	36,11	17,96	7,59	7,59	540
P5 – 1	8,20	33,12	36,28	17,03	5,36	5,36	317
P5 – 2	8,24	34,27	37,64	15,73	4,12	4,12	534
P5 – 3	11,88	34,06	34,38	15,94	3,75	3,75	320
P5 – 4	13,78	30,45	34,29	17,63	3,85	3,85	312
P5 – 5	11,22	29,59	35,03	19,05	5,10	5,10	294

Tabela 28: Variação granulométrica da fração areia. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Com relação a variação das areias, a medida que se aprofundava nos horizontes do perfil houve uma tendência de aumento das areias muito finas (AMF) e diminuição das areias grossas (AG) e muito grossas (AMG).

Análise da Densidade

Amostras	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Densidade (g/cm³)
p5-0	144,54	118,68	1,40
p5-1	150,38	129,67	1,53
p5-2	163,11	138,43	1,63
p5-3	162,11	134,74	1,59
p5-4	166,75	136,68	1,61
p5-5	160,5	134,08	1,58

Tabela 29: Variação de densidade. Fonte: Org. Alex Sousa

A densidade apresentou uma sutil tendência de aumento quanto maior a profundidade do horizonte, como pode ser observada do horizonte P5-0 ao P5-

4. Tem-se o horizonte P5-2 como exceção, visto que apresentou o valor mais alto de densidade do perfil. O último horizonte (P5-5) mostrou uma pequena redução no valor de densidade em relação ao P5-4, mudando a tendência de aumento apresentada até então. Cabe ressaltar que a variação dos valores foi muito pequena.

Padrões de Difratometria de Raio X

O padrão de difratometria apresentado pelas camadas do perfil P5 constam na Figura 8.

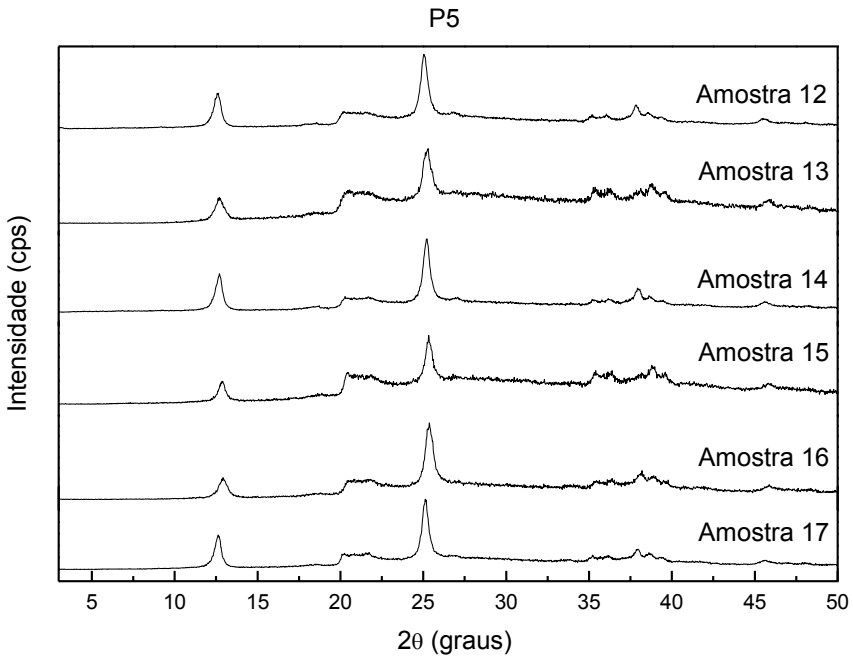


Figura 8: Padrão de difratometria do perfil. Fonte: Org. Rogeria Costa.

Com base nos picos foram identificados os minerais elencados na Tabela 30.

Amostra	Horizonte	Minerais candidatos
12	P5 – 0	Lizardite, amesite
13	P5 – 1	amesite, Chrysotile 20
14	P5 – 2	Amesite, Antigorite 60
15	P5 – 3	Antigorite 60, Cronstedtite
16	P5 – 4	Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals
17	P5 – 5	Antigorite 60, Cronstedtite

Tabela 30: Candidatos a minerais do perfil de solo. Fonte: Org. Alex Sousa

7.2 – Resultados das análises de laboratório das amostras dos pontos P1, P2 e P7 do compartimento de "Biotita Gnaisse"

A seguir serão apresentados os dados de análise laboratorial dos pontos de coleta P1, P2 e P7

7.2.1 – Descrição do ponto P1

Na Tabela 31 o descritivo geral do ponto de coleta P1.

Ponto 1	**Coordenadas**		**Orientação da Vertente:** NW
	X: 448 018	**Y:** 7 442 135	
Horizonte		**Profundidade**	**Cor**
Bi		0,80m	5YR 5/6 (Vermelho amarelado)
Linha de Pedra		1,00/1,10m	-
C1		3,70m	2,5YR 4/6 (Vermelho)
C2		5,00m	Rocha alterada

Tabela 31: Descritivo geral de ponto de campo. Fonte: Org. Alex Sousa.

As Fotos 13 e 14 representam o ponto de coleta P1.

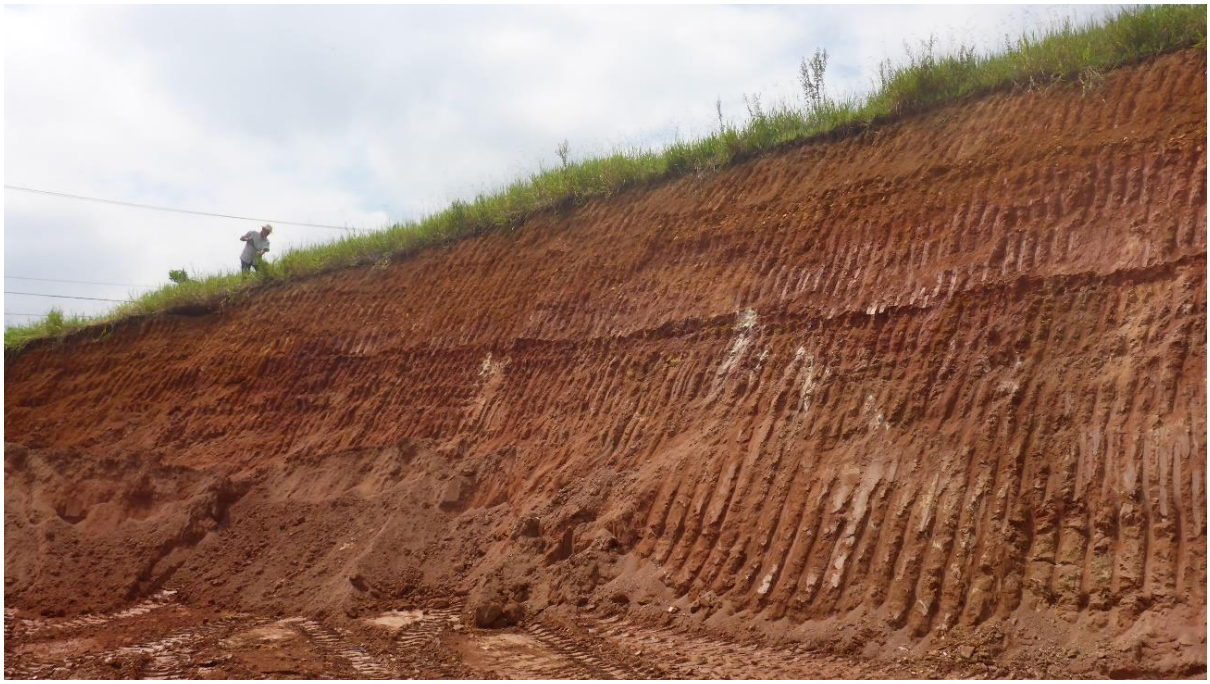


Foto 13: Perfil de solo do ponto P1. Fonte: Org. Alex Sousa

Foto 14: Contexto do perfil de solo do ponto P1. Fonte: Org. Alex Sousa

Observações de campo

Perfil de Cambissolo háplico sobre rocha metamórfica (gnaisse/xisto?) com solo pouco evoluído. Horizonte superficial bruno médio sobre horizonte B incipiente, com textura silto-argilosa com cerosidade fraca e presença de cascalhos de quartzo e fragmentos de rocha pouco alterada. Estrutura laminar herdada da rocha (não pedogenética). O horizonte B, um pouco mais abaixo, apresenta cerosidade e estrutura em camadas.

A transição para o horizonte C1 é progressiva e difusa sendo que no horizonte C1 a cor passa a ser “arroxeada” com a folheação de rocha ficando cada vez mais evidente em direção a rocha sã.

No C2 a folheação da rocha é muito evidente e o horizonte pode ser considerado como rocha pouco alterada. O horizonte C é predominantemente siltoso.

Há uma linha de pedra marcando transição do horizonte B ao C, constituída de material heterométricos angulosos com arestas ou sub-arestado a sub-arredondado. É possível que as linhas de pedra sejam materiais residuais dos veios de quartzo evidentes por todo perfil, juntamente com veios de feldspato alterado (caolin).

Classificação Química

Identificação	pH H_2O	pH KCl	CTC	V%	m%	H+Al	SB	Ca	K	Mg	Al
P1 – Bi	6,1	3,9	42	7	83	39	3	<0,3	3	<1	15
P1 - C1	5,8	4,2	33	48	38	17	16	<0,3	14	2	10
P1 - C2	6,1	4,2	30	50	48	15	15	1	11	3	14

Tabela 32: Classificação química do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq.

Nota-se que o perfil apresenta nos horizontes mais profundos uma grande quantidade de elementos de maior mobilidade, sendo que o Cálcio foi reduzido do Horizonte C1 e C2 para o horizonte Bi. Já o Alumínio manteve valores semelhantes. O Potássio teve uma redução do horizonte mais profundo para o mais superficial, sendo que no horizonte Bi havia menos da metade do presente no horizonte C2. O magnésio apresentou redução gradual por horizonte.

A soma de bases apresentou uma grande diminuição no horizonte B em relação aos horizontes C1 e C2. Seguindo esta tendência nota-se uma grande diminuição do V%.

Houve também um aumento da saturação do alumínio (H+Al) no horizonte B, já o m% apresentou uma diminuição do horizonte C2 para o C1, e um aumento considerável para o horizonte B.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresentou tendência a aumento quanto mais superficial era o horizonte.

O pH em meio aquoso se apresentou ácido, se mantendo entre 6,1 e 5,8 nos horizontes analisados.

A atividade de argila apresentou índices crescentes em relação a profundidade do perfil (Tabela 33), apresentando alta atividade no perfil subsuperficial.

Horizonte	Índice
P1 – Bi	7,68
P1 - C1	12,99
P1 - C2	39,47

Tabela 33: Atividade de argila do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa

Índice Ki e Kr

Identificação	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Ki	Kr
P1 – Bi	18,4	17,21	4,56	1,82	1,64
P1 - C1	15,6	13,18	4,84	2,01	1,72
P1 - C2	18,6	15,43	4,88	2,05	1,79

Tabela 34: Índice Ki e Kr do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

A tabela demonstra que o horizonte C2, (horizonte mais próximo a rocha sã, e menos alterado), foi o horizonte que apresentou maior valor de Ki e de Kr, ou seja, o menor grau de intemperismo do perfil. O horizonte C1, localizado em uma porção intermediária entre os outros dois horizontes, e aspecto mais alterado, apresentou índice de Ki e Kr intermediário entre as três amostras, e por fim o horizonte Bi apresentou menor valor em ambos índices, sendo desta forma o horizonte de maior grau de intemperismo do perfil.

Avaliação Física/Granulométrica

Identificação	AT	Argila	Silte	Silte/Argila	Classe de Textura
P1 – Bi	339	547	114	0,21	Arg
P1 - C1	429	254	318	1,25	md-arg
P1 - C2	422	76	502	6,61	Ar

Tabela 35: Variação granulométrica do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

O horizonte C2 apresenta classe de textura arenosa, porém em campo foi verificado se tratar de um horizonte siltoso, o que pode-se constatar com a maior relação Silte/Argila, condizente com seu menor nível de intemperismo constatado pelos índices Ki e Kr. A grande quantidade de silte em relação a quantidade de argila é típico de horizontes que apresentam um menor nível de grau de intemperismo, o que era esperado dado as condições mais preservadas deste horizonte.

O horizonte C1 apresentou índice menor de Silte/Argila em relação ao C2, e textura média argilosa, o que demostra um nível mais intermediário do grau de intemperismo.

O horizonte Bi apresentou o mais baixo índice de Silte/Argila e textura argilosa, condizente com seu grau de intemperismo mais avançado.

O perfil apresentou uma tendência de aumento do grau de intemperismo do horizonte mais profundo ao mais superficial, e nesse processo a textura passou de siltosa a argilosa.

Identificação	AMF (%)	AF (%)	AM (%)	AG (%)	AMG (%)	AT
P1 – Bi	31,56	43,66	15,93	6,49	2,36	339
P1 - C1	32,87	40,09	16,55	7,93	2,56	429
P1 - C2	44,55	33,89	14,93	5,69	0,95	422

Tabela 36: Variação granulométrica da fração areia. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Em relação a granulometria das areias presentes no perfil nota-se que houve uma diminuição em valores absolutos do total de areia no horizonte B em relação aos horizontes C1 e C2. Houve também uma tendência de diminuição percentual de areias de granulometria muito finas e aumento percentual das demais areias, com destaque para as de granulometria fina e muito grossa.

Análise da Densidade

Amostras	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Densidade (g/cm³)
p1-b	159,03	131,18	1,54
p1-c1	150,04	118,18	1,39
p1-c2	139,99	126,31	1,49

Tabela 37: Variação de densidade. Fonte: Org. Alex Sousa

A densidade das amostras apresentou seu valor mais elevado no horizonte Bi, tendo uma redução no horizonte C1 e um novo aumento no horizonte C2.

O horizonte C2 estava pouco alterado (conforme constatado pelos índices Ki e Kr), sendo assim um horizonte com maior predomínio de fragmentos de rocha e com maior densidade em relação ao horizonte C1.

O horizonte C1 localizado mais profundamente que o horizonte Bi possui densidade menor. Isso pode ser compreendido pela alteração na sua estrutura e sua composição granulométrica que apresentou menor proporção de silte e de argila do que de areia em relação ao horizonte Bi. Apesar de ter ocorrido uma diminuição de areia total no horizonte mais superficial, houve pouca variação proporcional na composição das areias, que mantiveram percentuais semelhantes nos dois horizontes.

Padrões de Difratometria de Raio X

O padrão de difratometria do perfil P1 pode ser observado na Figura 9.

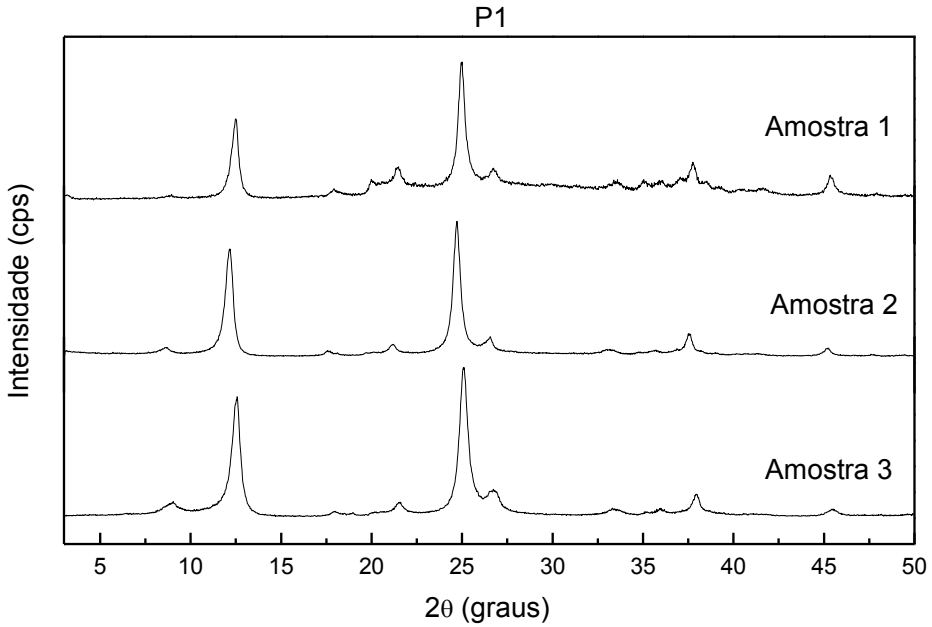


Figura 9: Padrão de difratometria do perfil. Fonte: Org. Rogeria Costa.

A Tabela 38 apresenta os possíveis minerais presentes em cada horizonte do perfil P1.

Amostra	Horizonte	Minerais candidatos
1	P1 – Bi	Amesite, Chrysotile 20, Antigorite 60, Kaolin Minerals
2	P1 - C1	Lizardite, Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals
3	P1 - C2	Lizardite, Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals

Tabela 38: Candidatos a minerais do perfil de solo. Fonte: Org. Alex Sousa

7.2.2 – Descrição do ponto P2

Segue na Tabela 39 o descritivo geral do ponto de coleta P2.

Ponto 2	Coordenadas		Orientação da Vertente: N
	X: 452 615	**Y:** 7 434 405	
Horizonte		**Profundidade**	**Cor**
B		0,65 m	5YR 4/6 (vermelho-Amarelado)
Linha de Pedra		-	-
C		2,50m	5YR 4/6 (vermelho-Amarelado)

Tabela 39: Descritivo geral de ponto de campo. Fonte: Org. Alex Sousa.

As fotos 15 e 16 representam o ponto de coleta P2.

Foto 15: Perfil de solo do ponto P2. Fonte: Org. Alex Sousa

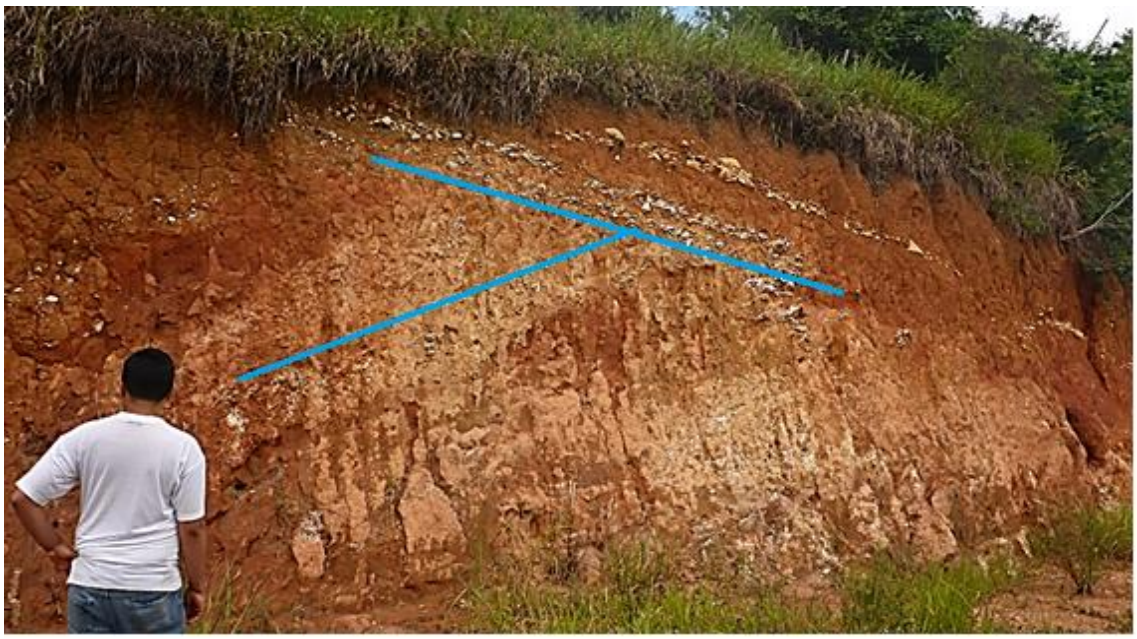


Foto 16: Veios de quartzo convergindo para Stone lines. Fonte: Org. Alex Sousa

Observações de campo

O solo apresenta uma linha de pedra onde o horizonte B encontra-se pouco acima desta, e o horizonte C pouco abaixo. Há uma dupla linha de pedras no perfil e a amostra do horizonte C foi coletada entre elas. Além da dupla linha

de pedras, nota-se que há veios de quartzo convergindo para estas, o que sugere que as linhas de pedra são materiais residuais de veios quartzosos.

É interessante notar que os veios de quartzo vão em direção as linhas de pedra com uma determinada angulação, e quando entram em contato há uma mudança na angulação como pode ser observado na Foto 16. Uma possível interpretação é que a medida que os veios de quartzo se encontram nos horizontes mais intemperizados eles tendem a se transformar em linhas de pedra, e essa diferença de angulação poderia de alguma forma sugerir uma taxa de rebaixamento do relevo.

Classificação Química

Identificação	pH H_2O	pH KCl	CTC	V%	m%	H+Al	SB	Ca	K	Mg	Al
P2 - B2	5,7	4,9	45	58	13	19	26	1	13	12	4
P2 - C2	5,8	5,3	19	68	13	<10	13	2	4	7	2

Tabela 40: Classificação química do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq.

A soma de bases dobrou seu valor no horizonte B2 em relação ao horizonte C2. Nota-se uma diminuição do V% apesar do aumento da SB.

Houve também um aumento da saturação do alumínio (H+Al) no horizonte B, mas apesar disto o m% manteve o mesmo valor em ambos horizontes do solo.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresentou tendência a aumento quanto mais superficial era o horizonte.

O pH em meio aquoso se apresentou ácido, se mantendo estável entre 5,8 e 5,7 nos horizontes analisados.

Horizonte	Índice
P2 - B2	6,70
P2 - C2	9,45

Tabela 41: Atividade de argila do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa

O perfil apresentou um valor maior de atividade de argila no horizonte mais subsuperficial do perfil (Tabela 41), apresentando assim tendência a redução no perfil mais superficial.

Índice Ki e Kr

Identificação	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Ki	Kr
P2 - B2	23,7	21,91	6,02	1,84	1,65
P2 - C2	16	14,3	4,83	1,9	1,65

Tabela 42: Índice Ki e Kr do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

O perfil apresentou índice de Ki menor no horizonte B2 do que para o horizonte C2 o que demonstra que o primeiro possui um grau de intemperismo maior que o segundo, apesar da pequena variação. O índice Kr foi o mesmo para ambos horizontes.

Avaliação Física/Granulométrica

Identificação	AT	Argila	Silte	Silte/Argila	Classe de Textura
P2 - B2	303	672	25	0,04	mt-arg
P2 - C2	628	201	171	0,85	md-ar

Tabela 43: Variação granulométrica do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

O perfil apresenta um índice crescente da relação Silte/Argila quanto mais profundo o horizonte de coleta.

No horizonte B2 houve uma concentração muito maior de argila e muito menor de areia total em relação ao horizonte C2, o que foi expresso em sua textura. A apresentada pelo horizonte B2 é classificada como muito argilosa enquanto a do C2. Soma-se a isso o fato de B2 ter apresentado maior grau de intemperismo do que C2, dado pelo índice Kr.

Identificação	AMF (%)	AF (%)	AM (%)	AG (%)	AMG (%)	AT
P2 - B2	17,16	42,57	26,07	11,55	2,64	303
P2 - C2	10,67	24,36	27,39	29,46	8,12	628

Tabela 44: Variação granulométrica da fração areia. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Na granulometria da fração areia houve uma redução em mais da metade do total de areia (AT). Houve um aumento percentual considerável das areias

muito finas e finas no horizonte mais superficial e uma redução no total de areais grossas e muito grossas no mesmo horizonte.

Análise da Densidade

Amostras	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Densidade (g/cm³)
p2-b	161,38	130,78	1,54
p2-c	162,62	141,15	1,66

Tabela 45: Variação de densidade. Fonte: Org. Alex Sousa

A densidade apresentada no horizonte C foi maior que a densidade apresentada no horizonte B. Possivelmente a maior densidade se deve a maior quantidade de areias totais, e principalmente das areias de granulometria mais grosseira.

Padrões de Difratometria de Raio X

O perfil apresentou o padrão de difratometria conforme Figura 10.

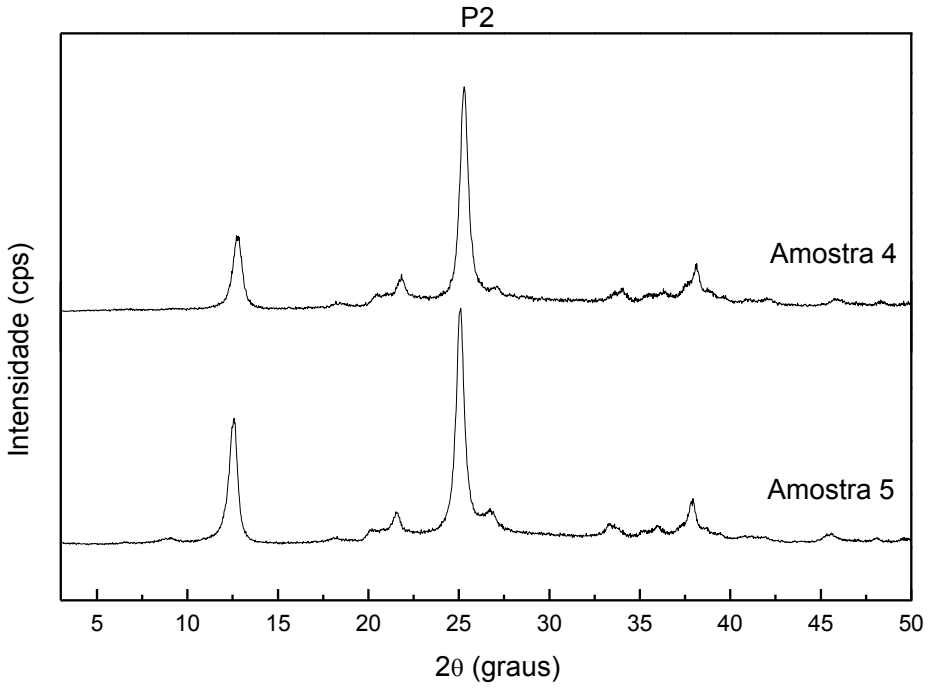


Figura 10: Padrão de difratometria do perfil. Fonte: Org. Rogeria Costa.

Como candidato a minerais tem-se os apresentados na Tabela 46.

Amostra	Horizonte	Minerais candidatos
4	P2 - B2	Lizardite, Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals
5	P2 - C2	Lizardite, Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals

Tabela 46: Candidatos a minerais do perfil de solo. Fonte: Org. Alex Sousa

7.2.3 – Descrição do ponto P7

Segue na Tabela 47 o descritivo do ponto de coleta P7.

Ponto 7	Coordenadas		Orientação da Vertente: N
	X: 465 412	**Y:** 7 433 395	
Horizonte		**Profundidade**	**Cor**
Ap		0,10m	7,5YR 4/4 (Bruno)
2		0,73m	5YR 4/6 (Vermelho-amarelado)
3		1,27m	5YR 4/6 (Vermelho-amarelado)
4		1,80m	5YR 5/8 (Vermelho-amarelado)
Bc		~2,70m	5YR 4/6 (Vermelho-amarelado)
C		~2,90m	5YR 4/6 (Vermelho-amarelado)

Tabela 47: Descritivo geral de ponto de campo. Fonte: Org. Alex Sousa.

Na Foto 17 a representação do ponto de coleta P7.

Foto 17: Perfil de solo do ponto P7. Fonte: Org. Alex Sousa

Observações de campo

Neste perfil foi efetuada coleta de amostras em todos horizontes visando uma análise mais adequada. A seguir uma descrição horizonte a horizonte.

O primeiro horizonte pode ser classificado como um Apédico, apresenta estrutura em blocos angulares, média e moderada. Porosidade fissural e biológica associada a raízes finas. Pouco plástico e pegajoso, textura média.

O segundo horizonte possui estrutura fraca que se desfaz em granular com blocos sub-angulares de pequena a média. Textura franca (menos areia em relação ao horizonte anterior e mais silte). Ligeiramente pegajoso e pouco plástico. Porosidade fissural e de micro poros. Há raízes finas e raras.

O terceiro horizonte apresenta estrutura em blocos subangulares, moderada (há volumes centimétricos com material granular). Textura média siltosa. Pouco pegajosa e pouco plástica. Porosidade fissural com raízes finas raras.

O quarto horizonte possui textura, pegajosidade e plasticidade idem ao terceiro horizonte. Estrutura em blocos subangulares médios, fraca que se desfaz em granular. Presença de micas e de raízes finas muito raras. Porosidade fissural a microporosidade.

O quinto horizonte é um Bc, e sua estrutura é em blocos angulares com influência da estrutura da rocha. Textura franco-siltosa com cascalho, pouco pegajosa e pouco plástica. Porosidade fissural a microporosidade.

O sexto horizonte é o C e sua estrutura é constituída em blocos não pedogenéticos.

Classificação Química

Identificação	pH H_2O	pH KCl	CTC	V%	m%	H+Al	SB	Ca	K	Mg	Al
P7 – 1	5,9	4,3	56	30	26	39	17	1	9	7	6
P7 – 2	5,8	4,4	50	16	53	42	8	<0,3	5	3	9
P7 – 3	5,4	4,8	38	16	45	32	6	<0,3	<2	5	5
P7 – 4	5,3	4,9	28	21	33	22	6	<0,3	<2	6	3
P7 – 5	5,5	5,5	25	32	33	17	8	1	<2	6	4
P7 – 6	5,8	5,2	20	35	22	13	7	1	<2	6	2

Tabela 48: Classificação química do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq.

A soma de bases manteve-se relativamente estável com um pequeno aumento nos horizontes mais superficiais. Já o V% apresentou tendência a queda do horizonte mais subsuperficial ao mais superficial, não acompanhando assim a tendência da SB.

Houve também um aumento da saturação do alumínio (H+Al) nos horizontes mais superficiais, acompanhada pelo m%.

Houve no perfil em questão um aumento da saturação do alumínio nos horizontes mais superficiais (elemento de menor mobilidade) e uma redução do V% que possui elementos mais básicos (e de maior mobilidade).

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresentou tendência a aumento nos horizontes mais superficiais.

O pH em meio aquoso se apresentou ácido, se mantendo entre 5,3 e 5,9 nos horizontes analisados.

Horizonte	Índice
P7 – 1	16,87
P7 – 2	8,70
P7 – 3	6,59
P7 – 4	5,03
P7 – 5	4,31
P7 – 6	3,57

Tabela 49: Atividade de argila do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa

A atividade de argila apresentou tendência a redução à medida que se aprofundava nos horizontes do perfil do solo (Tabela 49).

Índice Ki e Kr

Identificação	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Ki	Kr
P7 – 1	11,3	10,11	1,77	1,90	1,80
P7 – 2	20	20,43	3,95	1,66	1,56
P7 – 3	18,9	20,23	4,13	1,59	1,48
P7 – 4	19,5	20,59	3,79	1,61	1,52
P7 – 5	22,7	21,51	5,11	1,79	1,64
P7 – 6	19,6	18,24	4,18	1,83	1,68

Tabela 50: Índice Ki e Kr do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Em relação ao índice Ki e Kr houve comportamento semelhante entre ambos índices.

O solo apresentou grau de intemperismo crescente do horizonte P7-1 ao P7-3. A partir deste horizonte apresentou tendência decrescente do grau de intemperismo a medida que se aprofundava a coleta das amostras, até o último horizonte (P7-6).

Avaliação Física/Granulométrica

Identificação	AT	Argila	Silte	Silte/Argila	Classe de Textura
P7 – 1	651	332	17	0,05	md-arg
P7 – 2	391	575	34	0,06	Arg
P7 – 3	392	577	32	0,06	Arg
P7 – 4	401	557	43	0,08	Arg
P7 – 5	361	580	60	0,10	Arg
P7 – 6	419	561	20	0,04	Arg

Tabela 51: Variação granulométrica do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Granulometricamente o solo apresentou uma tendência de redução da quantidade de areia total a medida que as coletas eram feitas em horizontes mais superficiais, com exceção do primeiro horizonte (P7-1) que apresentou a maior quantidade de areia total. A quantidade de argila teve baixa oscilação entre os horizontes.

A relação Silte/Argila apresentou o menor valor no horizonte P7-6. A partir do horizonte P7-5 ao P7-1 nota-se uma tendência de queda no índice indo-se do horizonte mais profundo ao mais superficial.

Identificação	AMF (%)	AF (%)	AM (%)	AG (%)	AMG (%)	AT
P7 – 1	15,67	38,10	25,50	13,98	6,76	651
P7 – 2	18,93	38,11	21,74	14,07	7,16	391
P7 – 3	18,88	41,07	22,19	13,27	4,59	392
P7 – 4	22,69	39,90	20,45	11,47	5,49	401
P7 – 5	23,27	37,95	20,22	13,30	5,26	361
P7 – 6	18,14	40,33	22,20	13,60	5,73	419

Tabela 52: Variação granulométrica da fração areia. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Quanto a variação granulométrica da areia total (AT), nota-se que houve uma leve tendência de aumento das areias muito finas a medida que se aprofundava a coleta e uma pequena redução das areias de granulometria muito grossa no mesmo sentido de coleta.

Análise da Densidade

Amostras	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Densidade (g/cm³)
p7-1	134,35	117,82	1,39
p7-2	125,17	102,85	1,21
p7-3	123,62	102,43	1,21
p7-4	123,4	99,08	1,17
p7-5	126,33	100,55	1,18
p7-6	152,53	125,97	1,48

Tabela 53: Variação de densidade. Fonte: Org. Alex Sousa

Houve uma sutil tendência decrescente do valor de densidade a medida que se aprofundava nos horizontes do perfil, exceto pelo horizonte mais profundo que apresentou a maior densidade dentre todos horizontes deste ponto, visto que seu material já estava no horizonte de alteração do perfil.

Padrões de Difratometria de Raio X

A Figura 11 apresenta o padrão de difratometria dos horizontes do perfil P7.

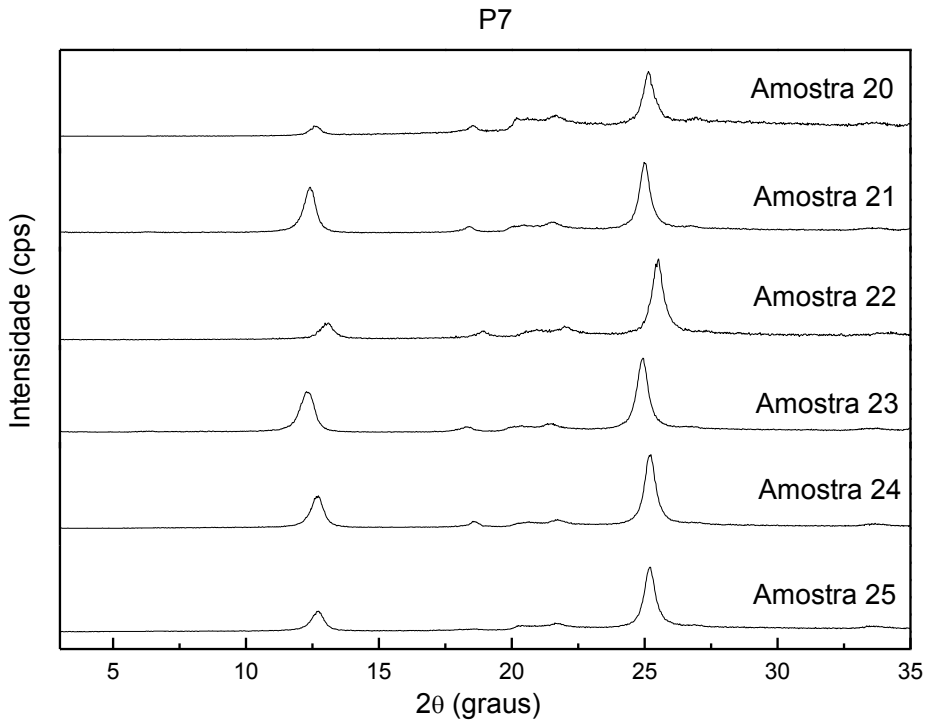


Figura 11: Padrão de difratometria do perfil. Fonte: Org. Rogeria Costa.

A Tabela 54 apresenta os possíveis candidatos a minerais presentes no perfil P7.

Amostra	Horizonte	Minerais candidatos
20	P7 – 1	Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals
21	P7 – 2	Amesite, Antigorite 60, Kaolin Minerals
22	P7 – 3	Chrysotile 20, Antigorite 60, Amesite
23	P7 – 4	Antigorite 60, Amesite, Chrysotile 20
24	P7 – 5	Antigorite 60, Amesite, Chrysotile 20
25	P7 – 6	Antigorite 60, Amesite, Chrysotile 20

Tabela 54: Candidatos a minerais do perfil de solo. Fonte: Org. Alex Sousa

7.3 – Resultados das análises de laboratório das amostras do ponto P4 do compartimento de "Migmatito, Biotita gnaisse, gnaisse e Ortognaisse"

A seguir os resultados das análises laboratoriais obtidas para o ponto de coleta P4.

7.3.1 – Descrição do ponto P4

Na Tabela 55 o descritivo geral do ponto de coleta P4.

Ponto 4	**Coordenadas**		**Orientação da Vertente:** NE
	X: 478 235	**Y:** 7 415 633	
Horizonte		**Profundidade**	**Cor**
B		0,50m	10YR 5/6 (Bruno amarelado)
Linha de Pedra		0,78/1,1m	-
C		1,40m	2,5YR 5/8 (Vermelho)

Tabela 55: Descritivo geral de ponto de campo. Fonte: Org. Alex Sousa.

As Fotos 18 e 19 representam o ponto de coleta P4.

Foto 18: Contexto do perfil de solo do ponto P4. Fonte: Org. Alex Sousa

Foto 19: Perfil de solo do ponto P4. Fonte: Org. Alex Sousa

Observações de campo

O perfil apresentou ocorrência de veios de quartzo em transição para linhas de pedra, sendo que estas eram compostas por seixos heterométricos com predominância de quartzo e uma rocha mais escura com fenocristais de quartzo.

Provável cambissolo latossólico, apresentando horizonte B com textura argilo-arenosa.

Classificação Química

Identificação	pH H_2O	pH KCl	CTC	V%	m%	H+Al	SB	Ca	K	Mg	Al
P4 - B1	5,4	4,1	39	~0	100	39	~0	<0,3	<2	<1	14
P4 - C1	5,4	4,1	52	52	41	25	27	<0,3	15	12	19

Tabela 56: Classificação química do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq.

A soma de bases apresentou-se zerada no horizonte B, em relação ao horizonte C, bem como o valor do V% que foi de 52% para ~0.

Em contrapartida houve aumento da saturação do alumínio (H+Al) no horizonte B, e o m% atingiu 100% devido a insignificância para fins desta análise dos elementos básicos presentes no horizonte B.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresentou-se mais baixa no horizonte mais superficial.

O pH em meio aquoso se apresentou ácido, se mantendo estável nos dois horizontes.

Horizonte	Índice
P4 - B1	10,96
P4 - C1	16,94

Tabela 57: Atividade de argila do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa

O perfil apresentou baixa atividade de argila em ambos horizontes, sendo o valor mais baixo no mais superficial (Tabela 57).

Índice Ki e Kr

Identificação	SiO2	Al2O3	Fe2O3	Ki	Kr
P4 - B1	9,1	13,84	3,56	1,12	1,01
P4 - C1	14,2	17,16	3,86	1,41	1,29

Tabela 58: Índice Ki e Kr do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Ambos os índices (Ki e Kr) apresentaram grau de intemperismo mais avançado no horizonte mais superficial do perfil em questão.

Avaliação Física/Granulométrica

Identificação	AT	Argila	Silte	Silte/Argila	Classe de Textura
P4 - B1	552	356	92	0,26	Arg
P4 - C1	483	307	211	0,69	md-arg

Tabela 59: Variação granulométrica do perfil. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

O horizonte mais superficial apresentou maior quantidade de areia total e menor relação Silte/Argila, refletido em sua classe textural que passou de média argilosa para argilosa no horizonte B1.

Percentualmente houve uma redução do total de areias finas no horizonte mais superficial e um leve aumento da quantidade de areias muito grossas. Houve também um leve aumento do total de areias finas e médias e diminuição do total de areais grossas.

Identificação	AMF (%)	AF (%)	AM (%)	AG (%)	AMG (%)	AT
P4 - B1	9,06	34,24	33,33	17,75	5,62	552
P4 - C1	15,11	31,26	29,40	19,88	4,35	483

Tabela 60: Variação granulométrica da fração areia. Fonte: Org. Alex Sousa, adaptado Esalq

Análise da Densidade

Amostras	Amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Densidade (g/cm³)
p4-b	146,89	119,48	1,41
p4-c	166,06	142,79	1,68

Tabela 61: Variação de densidade. Fonte: Org. Alex Sousa

O horizonte C apresentou densidade superior a apresentada pelo horizonte B.

Padrões de Difratometria de Raio X

A Figura 12 apresenta o padrão de difratometria dos horizontes do perfil P4.

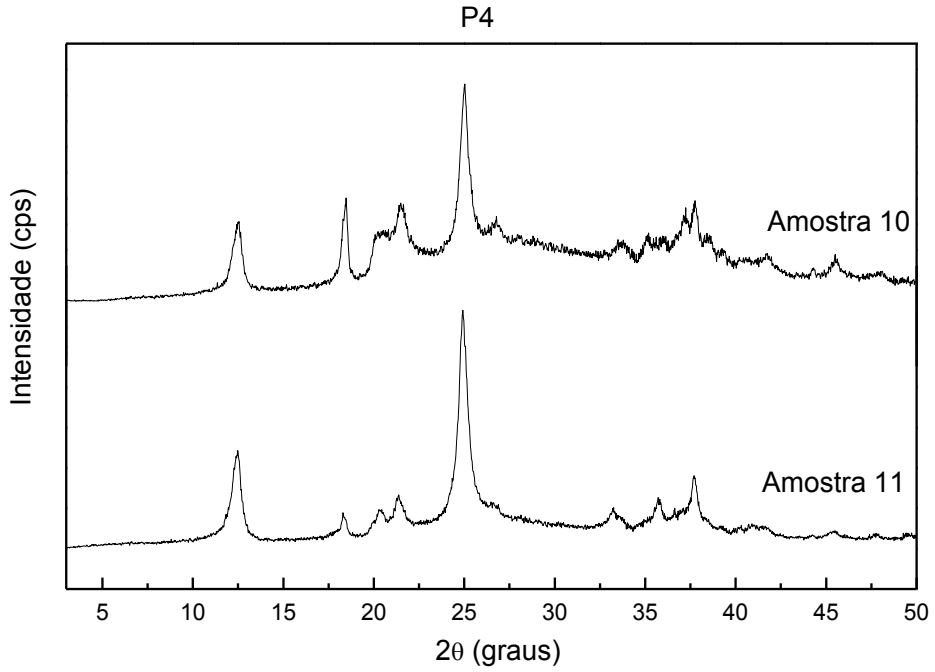


Figura 12: Padrão de difratometria do perfil. Fonte: Org. Rogeria Costa.

A Tabela 62 apresenta os possíveis candidatos a minerais presentes no perfil P4.

Amostra	Horizonte	Minerais candidatos
10	P4 - B1	Antigorite 6m, Antigorite 60, Amesite, Kaolin Minerals
11	P4 - C1	Antigorite 6m, Antigorite 60, Amesite, Kaolin Minerals

Tabela 62: Candidatos a minerais do perfil de solo. Fonte: Org. Alex Sousa

O perfil 4 apresentou resultados compatíveis com os do agrupamento de rochas metamórficas.

8 – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão interpretados os resultados dos ensaios analíticos laboratoriais. As interpretações serão agrupadas por tipologia de rocha.

8.1 – Interpretação dos resultados entre as amostras dos pontos P3a, P3b, P5 e P6 do compartimento de rochas magmáticas

A seguir as interpretações efetuadas para os pontos de coleta do compartimento de rochas magmáticas.

8.1.1 - Parâmetros das Análises Químicas

A análise química gerou parâmetros como o pH em meio aquoso (pH H_2O), pH em meio a cloreto de potássio (pH KCl), o percentual de saturação por bases (V%), o percentual da saturação por Al (m%), a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) dada pela soma da saturação do H+Al, a soma de bases (SB) e permitiu o cálculo da Atividade da argila.

A soma de bases (SB) é constituída por elementos de maior mobilidade como o Cálcio, o Potássio e o Magnésio. A análise dos perfis de litologia magmática demonstrou uma **tendência de aumento da SB nos horizontes mais superficiais** em relação aos subsuperficiais de todos os perfis.

O perfil P5 desconsiderando o horizonte mais superficial reduziu o valor de 4 para 3, entretanto esta variação o torna classificável como estável. O percentual de **saturação por bases (V%)** acompanhou a tendência e **apresentou aumento em todos perfis do horizonte mais superficiais** em relação aos subsuperficiais (Gráfico 2), mantendo-se mais estável no P5.

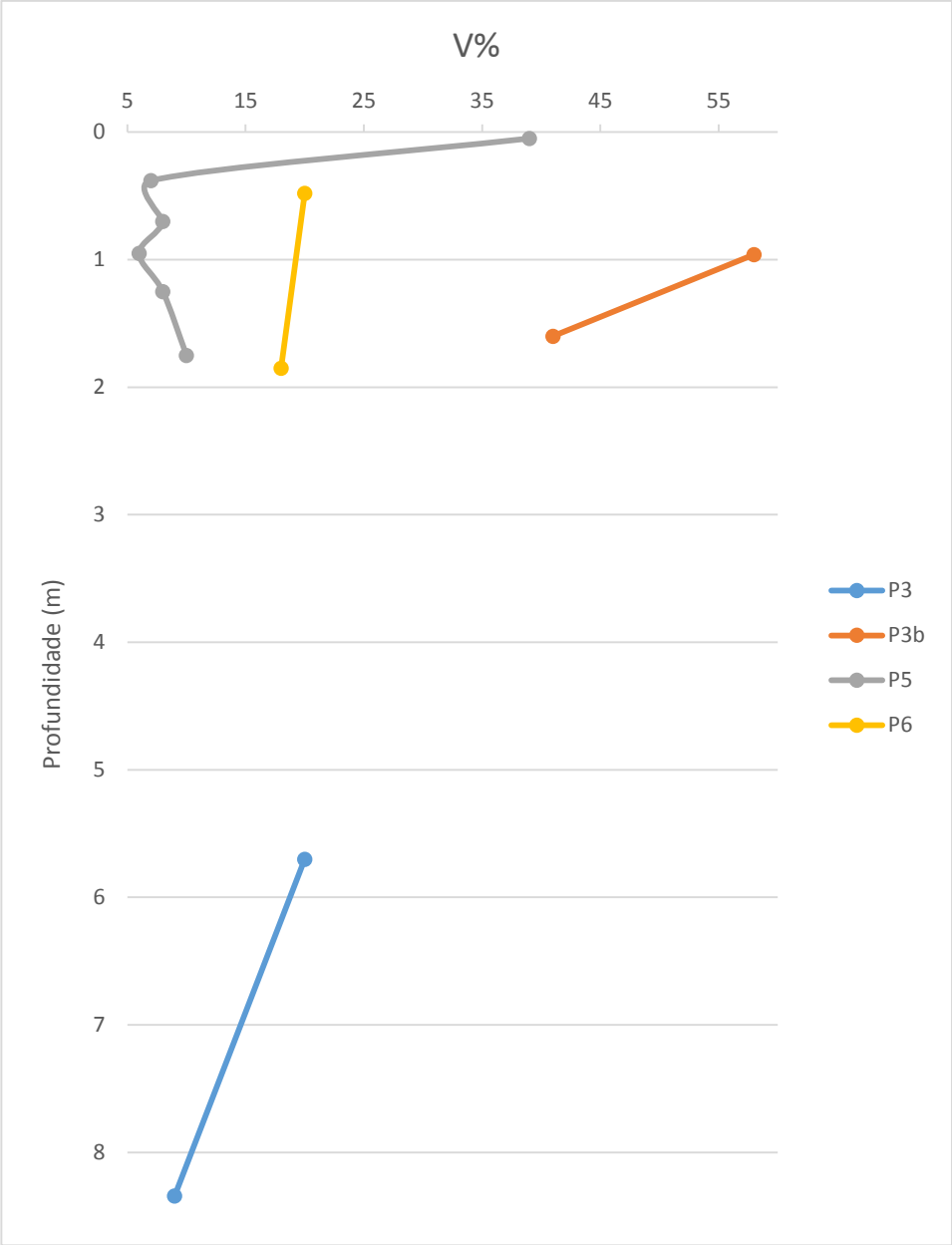


Gráfico 2: Variação do percentual da saturação por base em embasamento magmático. Fonte: Org. Alex Sousa

A saturação do alumínio pode ser avaliada pela sua soma com o Hidrogênio (H+Al) e pelo índice percentual de saturação por Alumínio (m%). O comportamento apresentado foi de **diminuição do m% nos horizontes mais superficiais** de todos os perfis analisados (Gráfico 3), exceto no P5 onde se manteve relativamente estável. Já o H+Al apresentou aumento nos horizontes mais superficiais dos perfis P3 e P6. No horizonte P3b manteve-se estável e apresentou um aumento do horizonte P5-1 ao P5-3, e posteriormente uma queda até o horizonte P5-5.

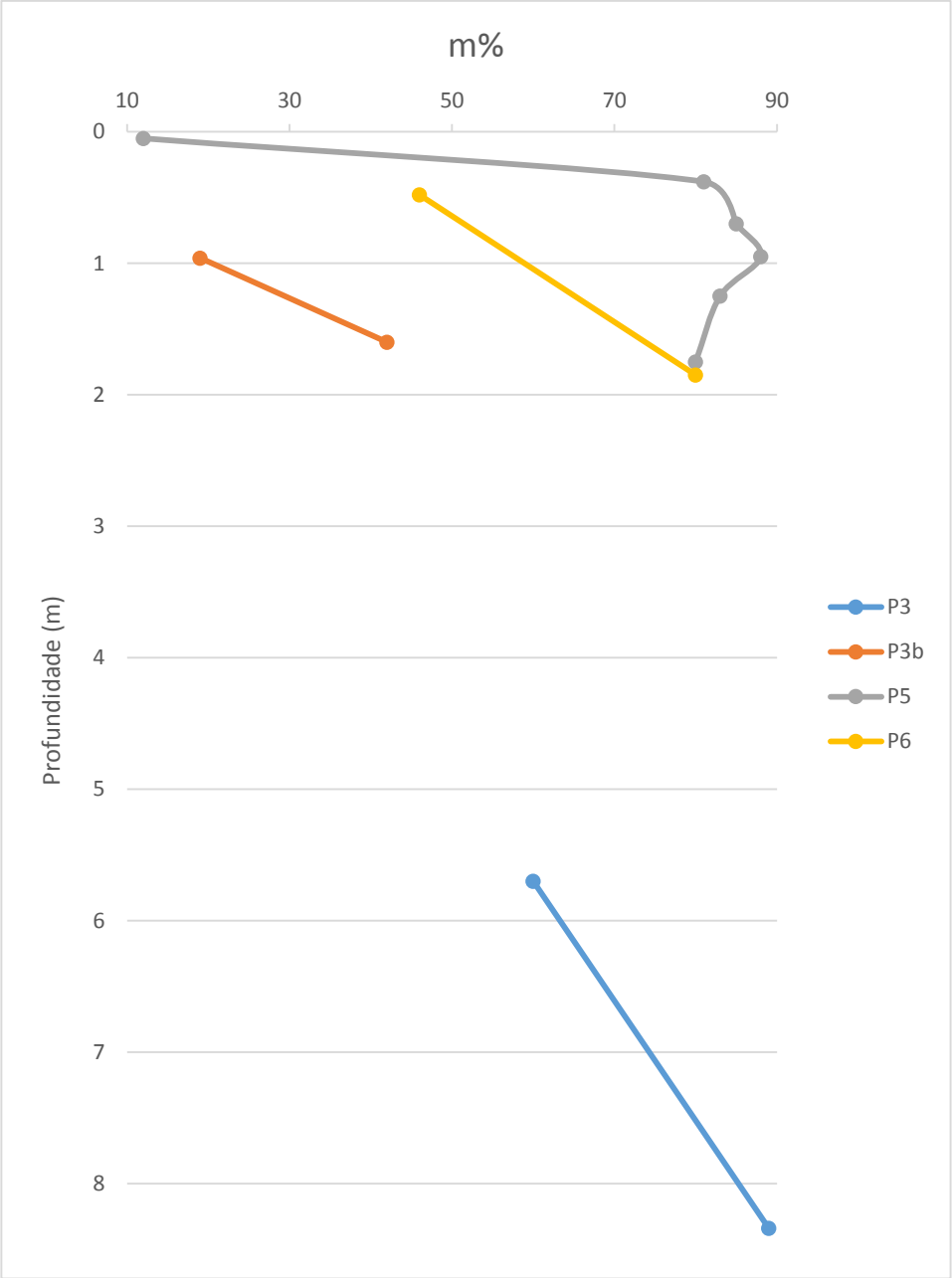


Gráfico 3: Variação do percentual da saturação por alumínio em embasamento magmático.

Fonte: Org. Alex Sousa

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) foi **maior nos horizontes superficiais** (Gráfico 4), o que é esperado visto que as **trocas de cátions são mais intensas em áreas mais expostas**. Desta forma o horizonte mais superficial tende a apresentar uma CTC maior em relação a um horizonte subsuperficial. No P5 a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresentou uma curva, mas se manteve a tendência de aumento nos horizontes mais superficiais.

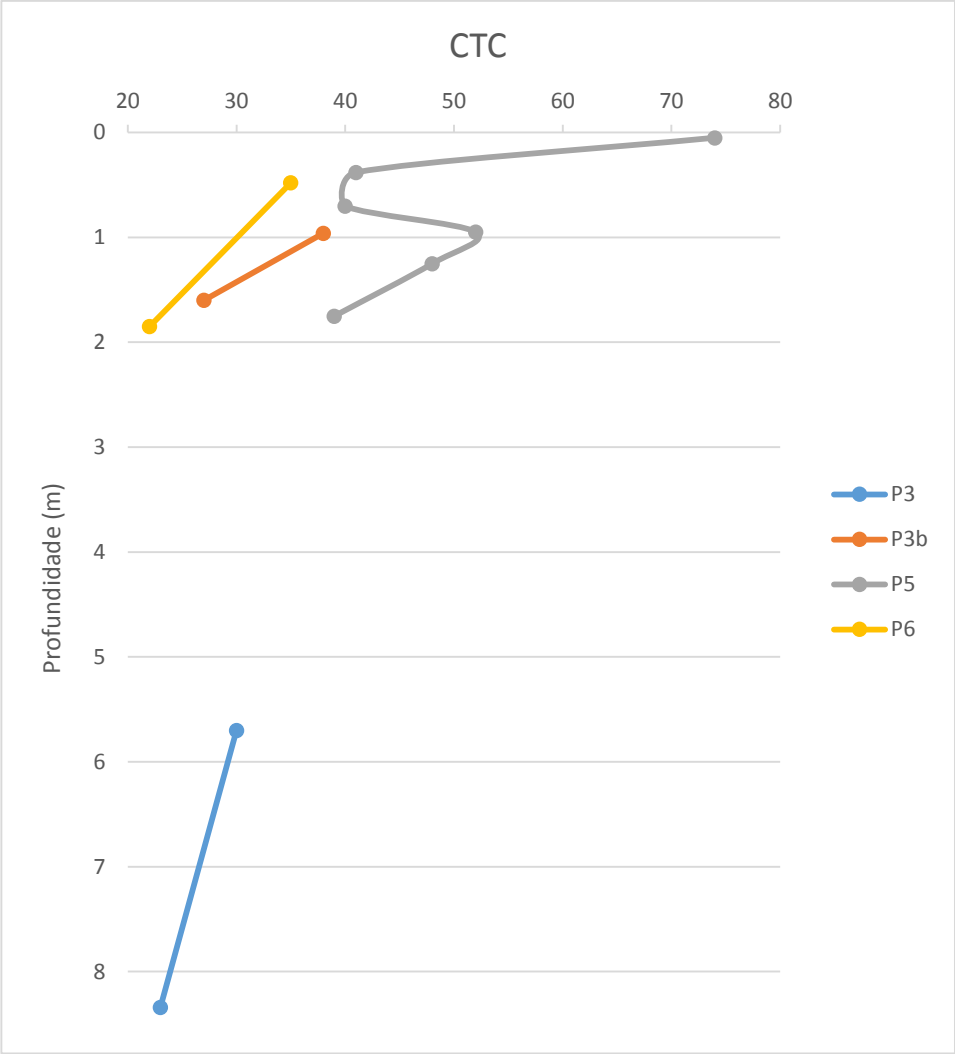


Gráfico 4: Variação da CTC em embasamento magmático. Fonte: Org. Alex Sousa

O pH em meio aquoso se apresentou ácido nos horizontes de todos os perfis, apresentando um **valor médio de pH de 5,5** (média obtida a partir de todos valores apresentados). Todos perfis apresentaram aumento da acidez no horizonte mais superficial, exceto no P5 que apresentou tendência inversa. Seu ápice de acidez se deu no horizonte P5-3 (sendo que o P5-0 é o mais superficial e o P5-5 o mais subsuperficial), horizonte que apresentou a maior taxa de m% e maior índice de CTC.

A atividade de argila apresentou valores baixos (Gráfico 5) visto que se manteve abaixo dos 27$cmol_c\ kg^{-1}$. Os horizontes apresentaram em geral valores entre 5 a 10 $cmol_c\ kg^{-1}$, sendo assim todos são classificados como “Tb” ou de baixa atividade coloidal, possuindo desta forma uma menor retenção de água, havendo assim uma menor coesão e adesão das partículas dos solos.

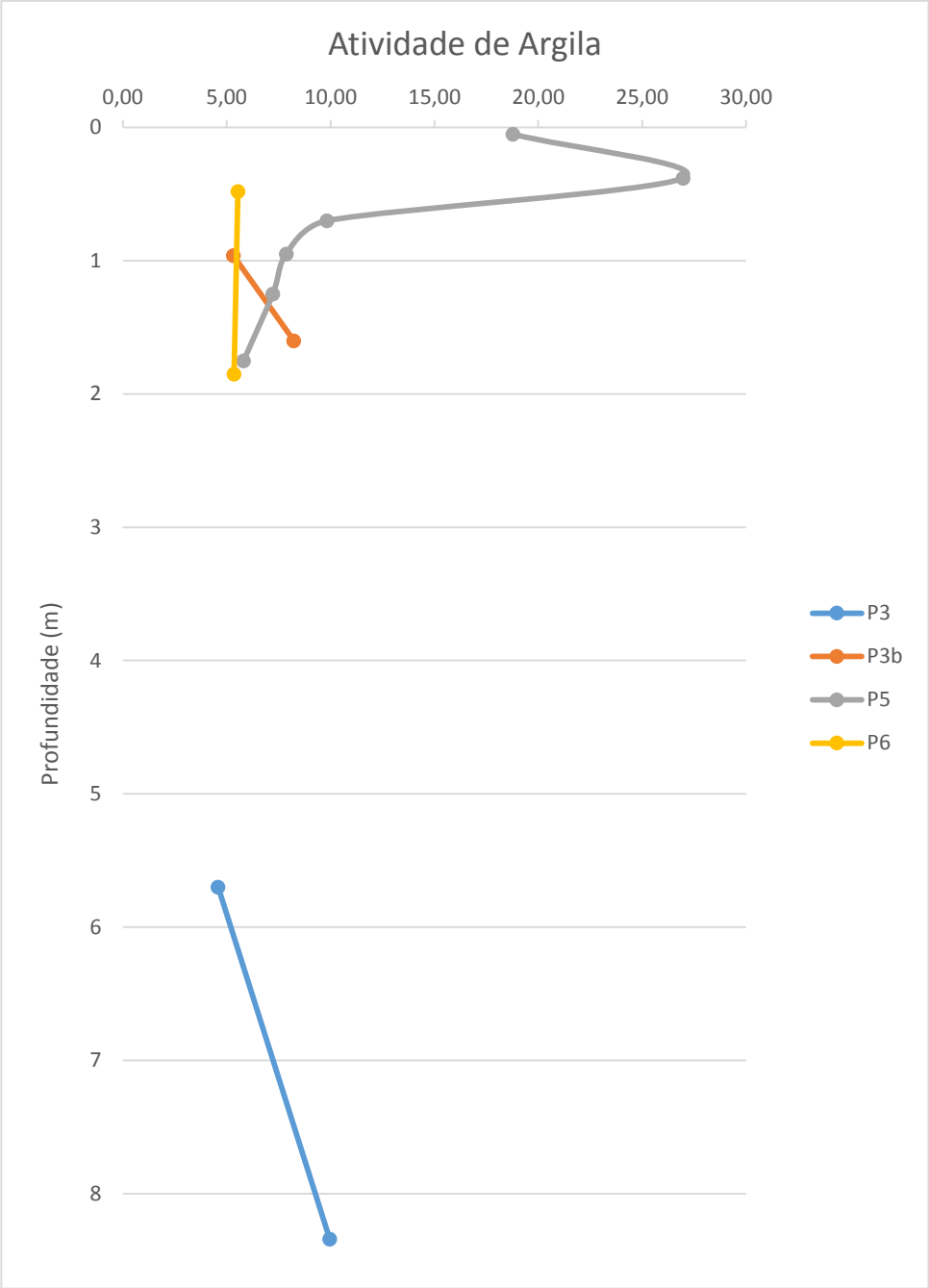


Gráfico 5: Variação da Atividade de Argila em embasamento magmático. Fonte: Org. Alex Sousa

Os índices de atividade de argila não apresentaram uma tendência clara.

Índice Ki e Kr

A correlação dos óxidos de Silício, Alumínio e Ferro é utilizada para determinar o grau de intemperismo dos horizontes do solo através dos índices

Ki e Kr. Quanto menor o índice de Ki e Kr, maior o grau de intemperismo do horizonte do solo.

Os índices Ki (Gráfico 6) e Kr (Gráfico 7) se comportaram da mesma maneira um em relação ao outro em todos os perfis analisados. Foi apresentada uma tendência de diminuição do valor do horizonte mais profundo para o horizonte mais superficial, ou seja, **os horizontes mais superficiais apresentaram maior grau de intemperismo** em relação aos horizontes mais profundos.

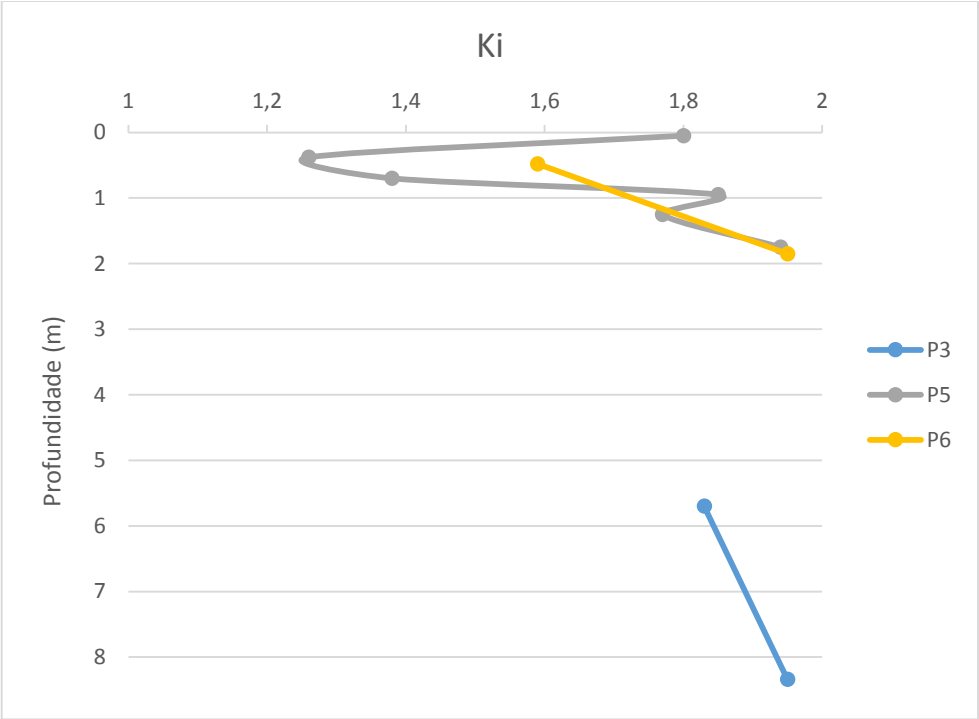


Gráfico 6: Variação do Índice Ki nos perfis do embasamento magmático. Fonte: Org. Alex Sousa

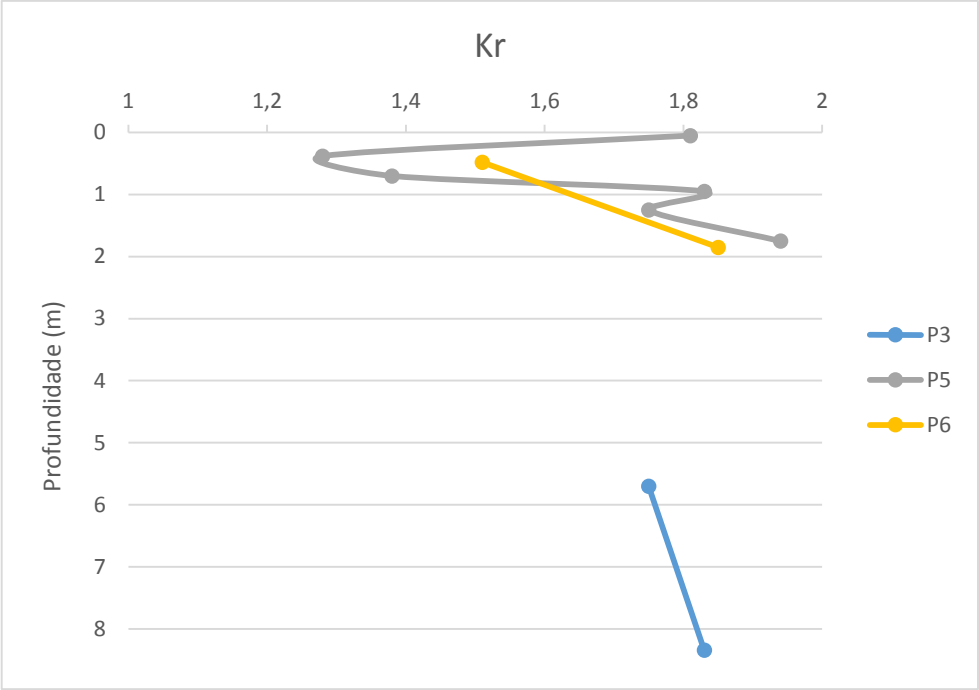


Gráfico 7: Variação do Índice Kr nos perfis do embasamento magmático. Fonte: Org. Alex Sousa

8.1.2 - Parâmetros das Análises Físicas

Na avaliação granulométrica considerou-se o levantamento dos totais de Silte, Argila e Areia. Através dos valores obtidos pode-se gerar o índice Silte/Argila e a classificação textural de cada horizonte, bem como a variação granulométrica existente na fração areia.

Os perfis apresentaram **diminuição do índice Silte/Argila** nos horizontes mais superficiais em relação aos subsuperficiais (Gráfico 8). Isto ocorre pois há uma **maior quantidade de Argila em relação ao Silte nos horizontes mais superficiais**. Isso foi ressaltado também pela classe textural visto que os horizontes mais superficiais tenderam a apresentar textura mais argilosa.

Novamente houve exceções no P5. A grande quantidade de argila em todos horizontes teve influência direta no índice, que apresentou valores baixos. Entretanto a tendência do índice Silte/Argila foi de queda do horizonte P5-0 (mais superficial) ao horizonte P5-3, passando a reverter a tendência até o horizonte P5-5 (mais subsuperficial). Texturalmente apresentou textura argilosa e média argilosa nos horizontes mais superficiais e muito argilosa nos mais profundos.

Os perfis apresentaram **redução na quantidade de areia total (AT) e de silte** dos horizontes mais profundos aos mais superficiais, com exceção do P5 que apresentou tendência inversa.

Todos perfis apresentaram redução do total de areias muito finas (AMF) nos horizontes mais superficiais.

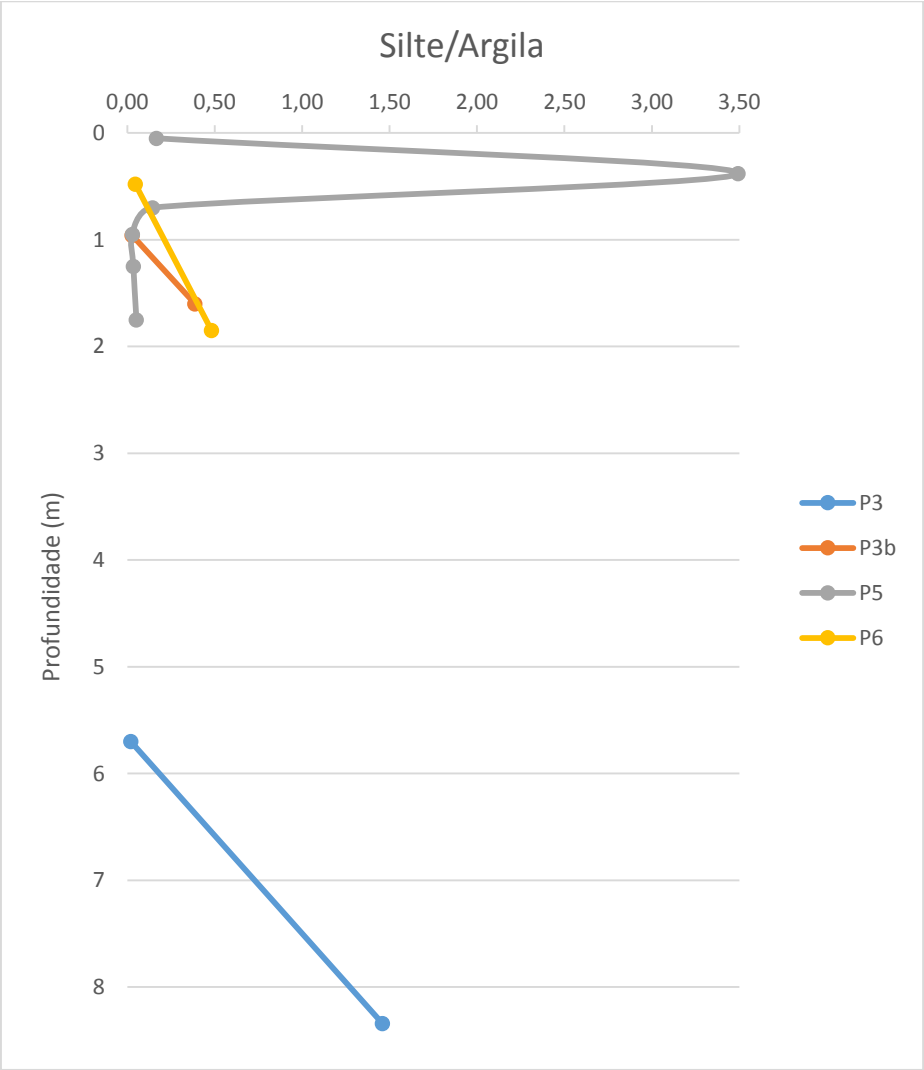


Gráfico 8: Variação da relação Silte/Argila nos perfis do embasamento magmático. Fonte: Org. Alex Sousa

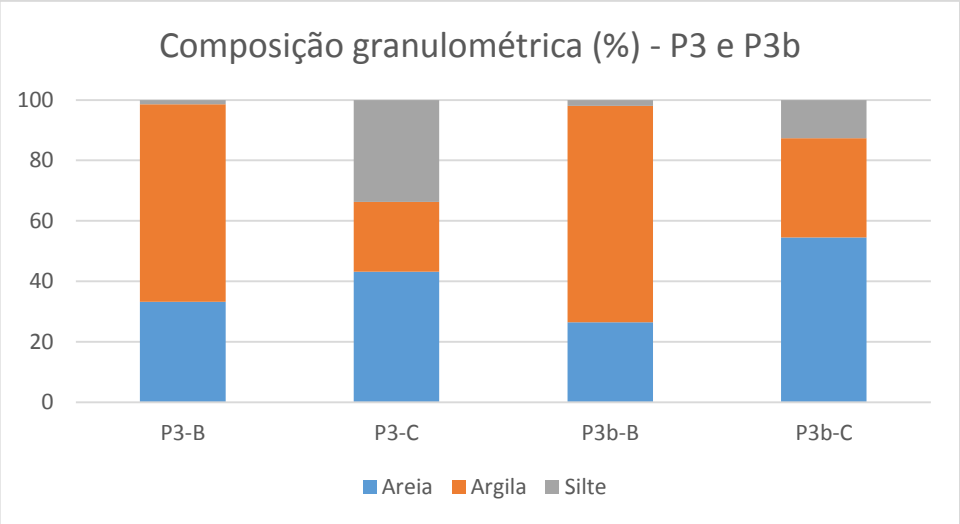


Gráfico 9: Variação da composição granulométrica dos perfis P3 e P3b. Fonte: Org. Alex Sousa

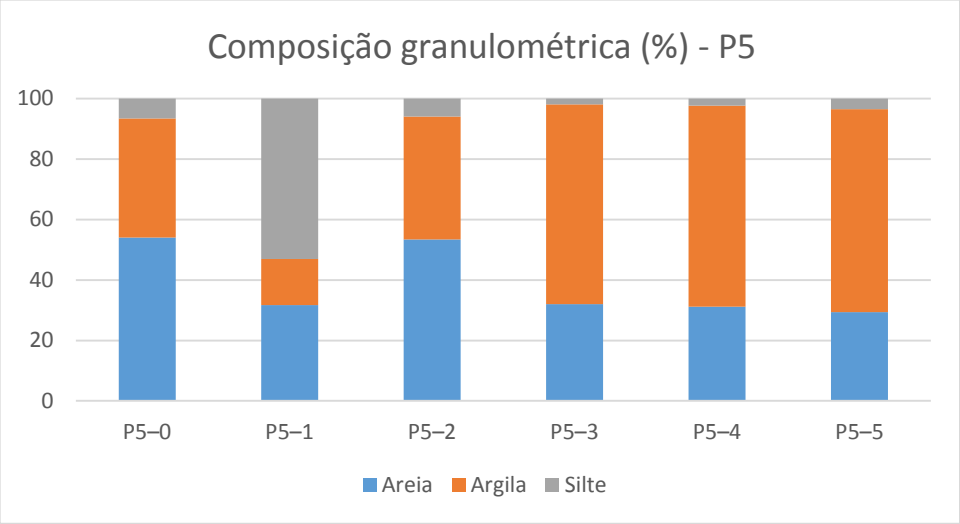


Gráfico 10: Variação da composição granulométrica do perfil P5. Fonte: Org. Alex Sousa

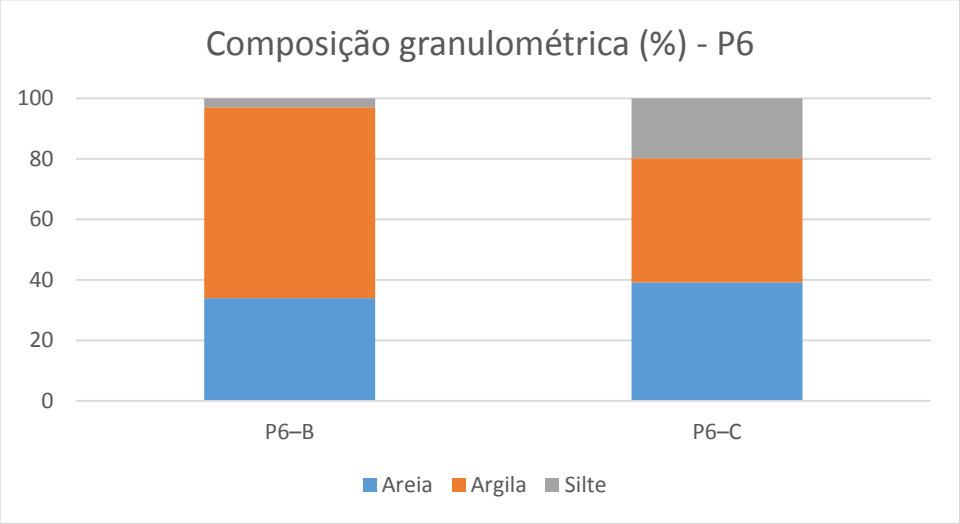


Gráfico 11: Variação da composição granulométrica do perfil P6. Fonte: Org. Alex Sousa

Análise da Densidade

A densidade - calculada após a secagem das amostras - apresentou uma tendência de aumento nos horizontes mais subsuperficiais de todos os perfis, sendo que o P5 que apresentou uma variação a medida que se aprofundava. Ou seja, os horizontes mais profundos se apresentaram mais densos que os horizontes superficiais.

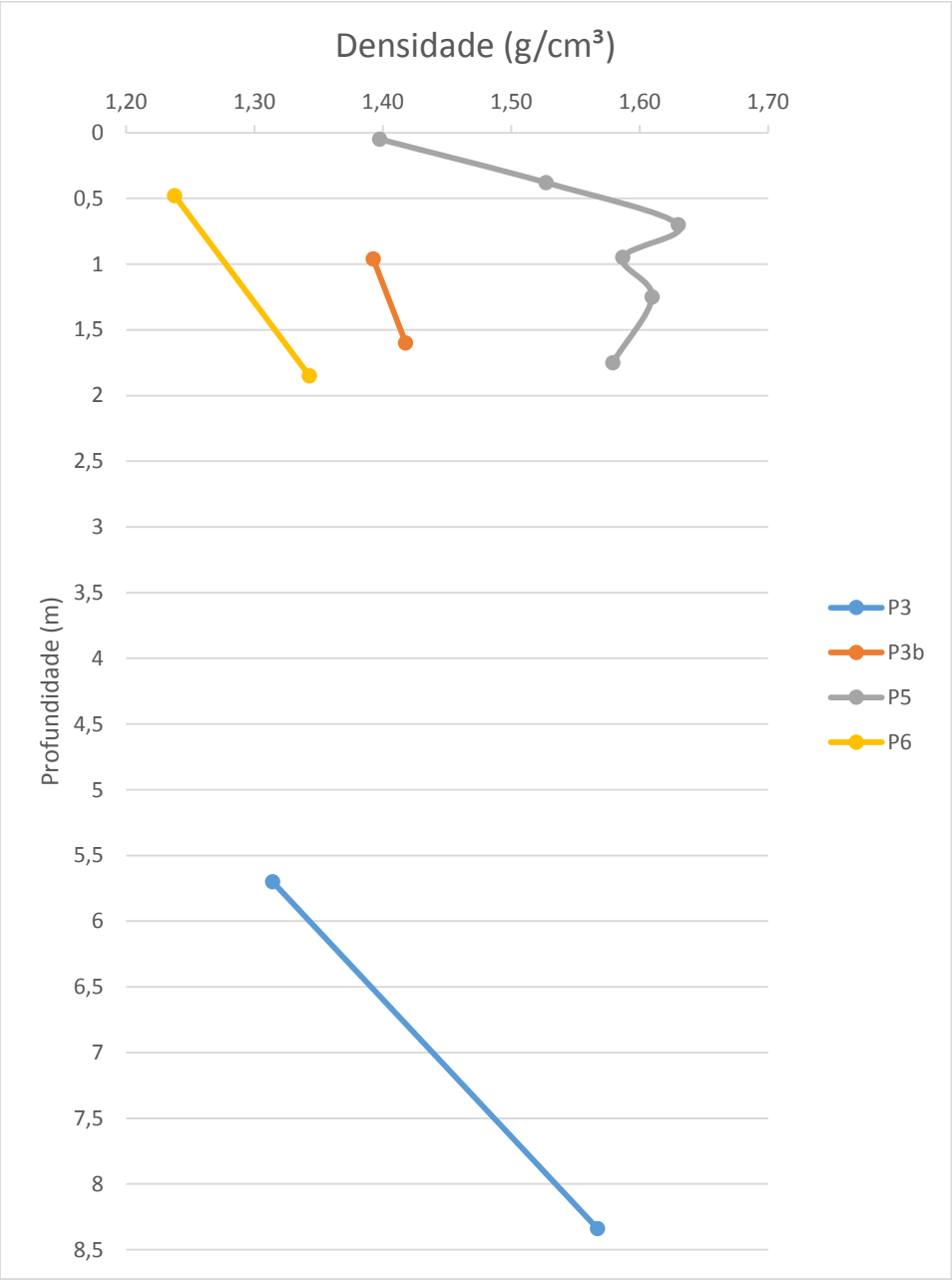


Gráfico 12: Variação da densidade nos perfis de embasamento magmático. Fonte: Org. Alex Sousa

8.2 – Interpretação dos resultados entre as amostras dos pontos P1, P2 e P7 do compartimento de rochas metamórficas

A seguir as interpretações efetuadas para os pontos de coleta do compartimento de rochas metamórficas.

8.2.1 - Parâmetros das Análises Químicas

As somas de bases (SB) dos pontos de embasamento metamórfico demonstraram um comportamento difuso. No perfil p1 houve redução do valor no horizonte mais superficial em relação ao mais profundo. No perfil p2 houve um aumento do valor no horizonte mais superficial, e no perfil p7 o valor se manteve relativamente estável por todo o perfil. O percentual de saturação por bases (V%), entretanto, apresentou clara **tendência de redução em todos perfis** do horizonte mais subsuperficial ao mais superficial, diferente do observado nos perfis de embasamento magmático.

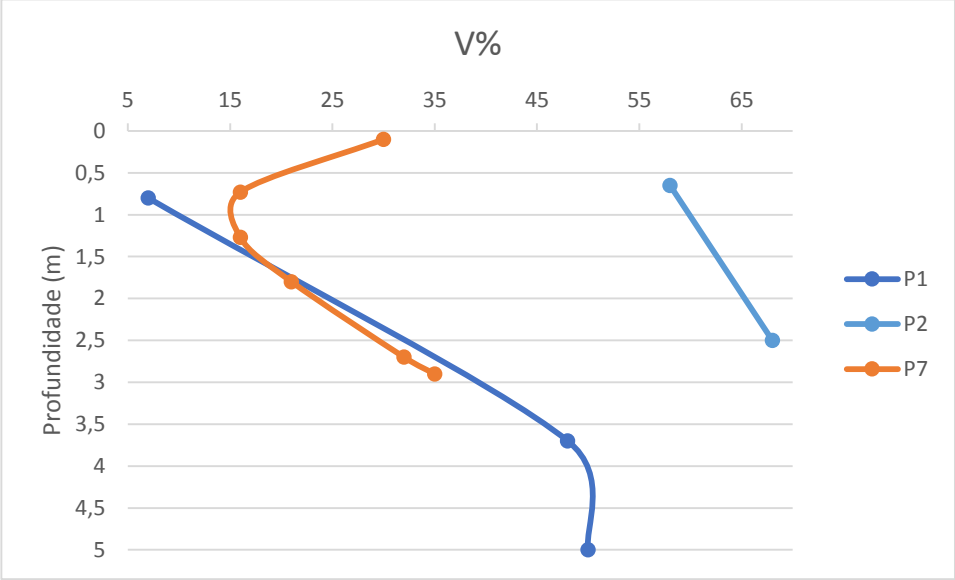


Gráfico 13: Variação do percentual da saturação por base em embasamento metamórfico.

Fonte: Org. Alex Sousa

O comportamento apresentado em relação aos índices (H+Al) e m% foi de **aumento da saturação por H+Al** em todos os perfis nos horizontes mais superficiais. O índice **m% seguiu a mesma tendência**, apresentando em geral **valor mais elevado nos horizontes mais superficiais**, com exceção do perfil

P2 que se manteve estável e do perfil P1 ter apresentado leve aumento em seu horizonte mais profundo. O comportamento, assim como o V%, foi o inverso do apresentado nas rochas de embasamento magmático.

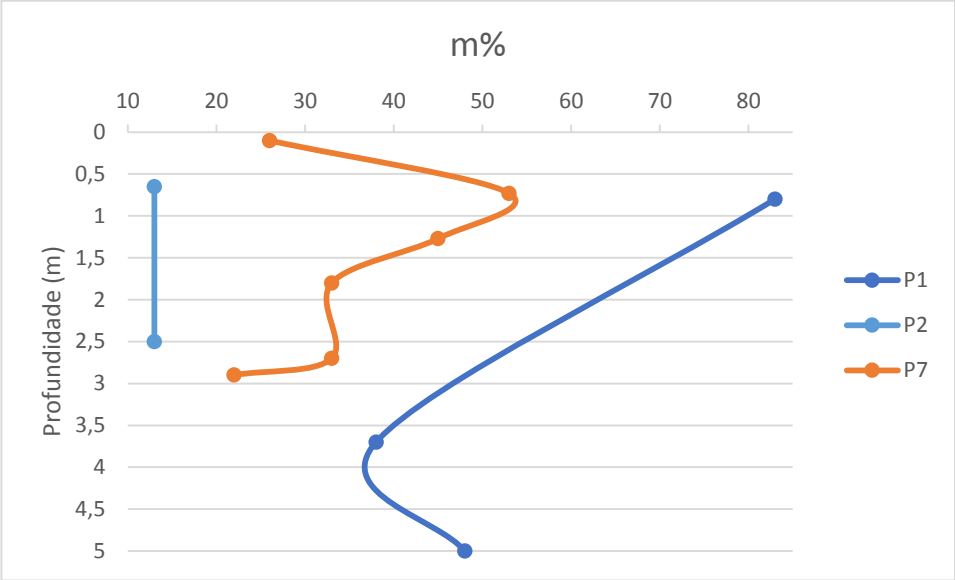


Gráfico 14: Variação do percentual da saturação por alumínio em embasamento metamórfico. Fonte: Org. Alex Sousa

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) foi **maior nos horizontes superficiais** de todos os perfis analisados, seguindo a mesma tendência dos resultados apresentados nas rochas de embasamento magmático.

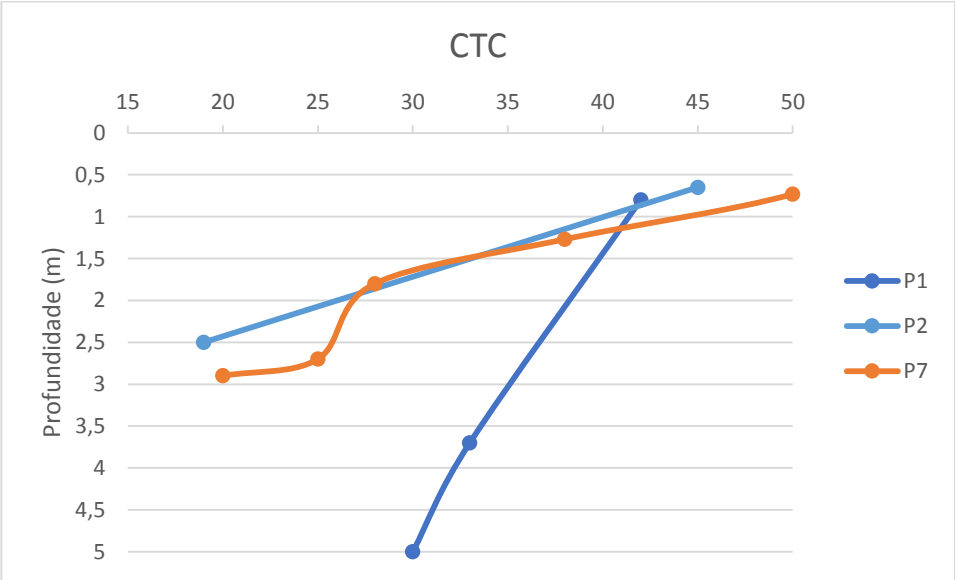


Gráfico 15: Variação da CTC em embasamento metamórfico. Fonte: Org. Alex Sousa

O pH em meio aquoso se apresentou ácido em todos horizontes dos perfis analisados, apresentando um **valor médio de pH de 5,8**, sem apresentar tendência clara de aumento ou diminuição em relação a profundidade. A média de acidez é menor do que a encontrada nos perfis de embasamento magmático.

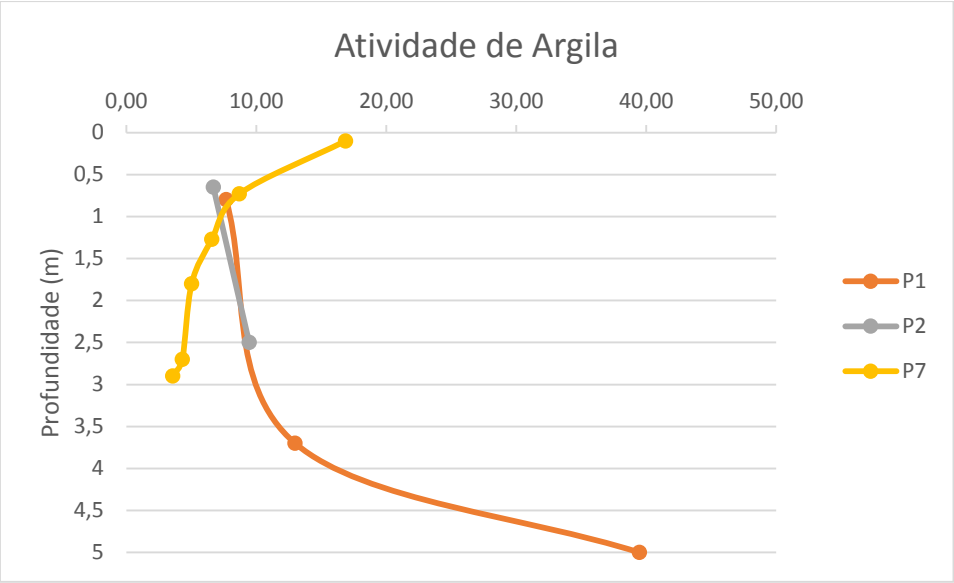


Gráfico 16: Variação da Atividade de Argila em embasamento metamórfico. Fonte: Org. Alex Sousa

A atividade de argila apresentou valores baixos (Gráfico 16) visto que se manteve abaixo dos 27$cmol_c$ kg^{-1} em todos os horizontes, com exceção do horizonte mais profundo do P1. Assim como no embasamento magmático apresentou valores entre 5 a 10$cmol_c$ kg^{-1}, sendo classificados como “Tb” ou de baixa atividade coloidal, possuindo desta forma uma menor retenção de água e menor coesão e adesão das partículas dos solos. Os perfis P1 e P2 apresentaram tendência de diminuição do índice nos horizontes mais superficiais. O perfil P7 apresentou tendência inversa.

Índice Ki e Kr

Os índices Ki e Kr se comportaram da mesma maneira um em relação ao outro em todos os perfis analisados. Foi apresentada uma tendência de diminuição do valor do horizonte mais profundo ao horizonte mais superficial, ou seja, **os horizontes mais superficiais apresentaram maior grau de**

intemperismo em relação aos horizontes mais profundos, ou seja, valores menores no índice Ki e Kr nos horizontes mais superficiais.

A exceção foi o perfil p7 onde foram coletadas amostras de 6 horizontes. O solo apresentou **grau de intemperismo** crescente do horizonte mais profundo (P7-6) ao quarto ponto de coleta (P7-3), passando então a apresentar tendência decrescente do grau de intemperismo nos perfis mais superficiais (P7-1). Vale ressaltar que o Kr do perfil P2 se manteve relativamente estável, apresentando uma leve diminuição no horizonte mais superficial.

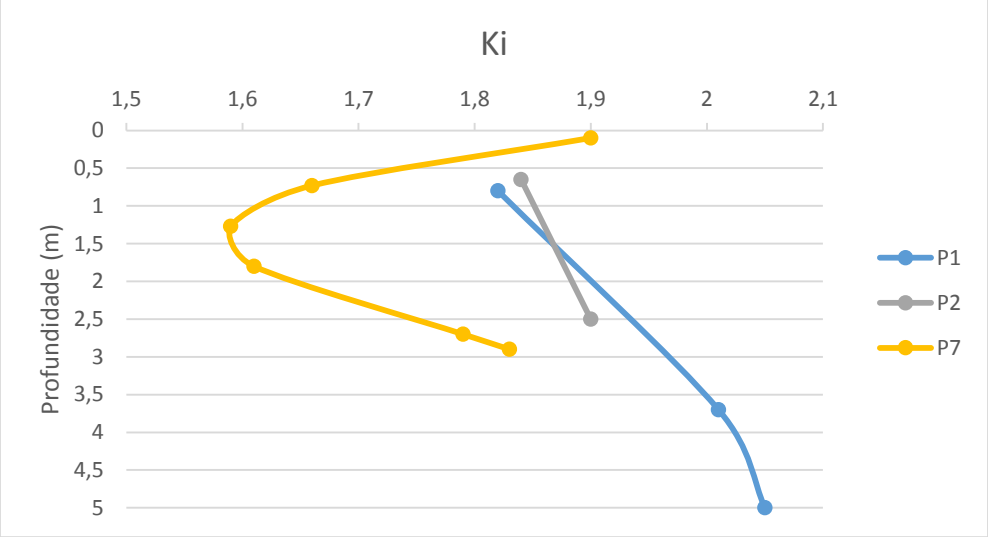


Gráfico 17: Variação do Índice Ki nos perfis do embasamento metamórfico. Fonte: Org. Alex Sousa

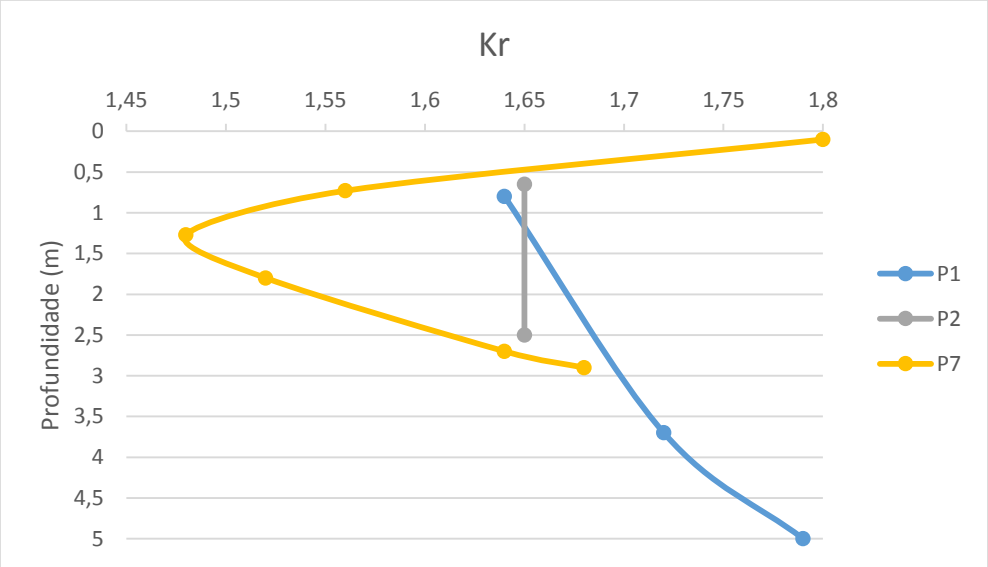


Gráfico 18: Variação do Índice Kr nos perfis do embasamento metamórfico. Fonte: Org. Alex Sousa

8.2.2 - Parâmetros das Análises Físicas

Os perfis apresentaram **diminuição do índice Silte/Argila** nos horizontes mais superficiais em relação aos subsuperficiais (Gráfico 19). Isto ocorre devido uma **maior quantidade de Argila em relação ao Silte** nos horizontes mais superficiais, mesmo comportamento apresentando nos perfis de embasamento magmático.

Em relação a classe textural, os horizontes mais superficiais tenderam a apresentar textura mais argilosa do que os subsuperficiais, acompanhando assim o índice Silte/Argila.

Os perfis apresentaram **redução na quantidade de areia total (AT) e de silte** do horizonte mais profundo ao mais superficial, exceto o perfil P7 que se manteve relativamente estável em relação a sua variação granulométrica.

Os perfis apresentaram diferentes comportamentos difusos em relação a a variação da fração areia. No primeiro perfil (P1) houve uma tendência de diminuição percentual de areias de granulometria muito finas nos horizontes mais superficiais e aumento percentual das demais areias, com destaque para as de granulometria fina e muito grossa. No segundo perfil (P2) houve aumento percentual considerável das areias muito finas e finas no horizonte mais superficial e uma redução no total de areais grossas e muito grossas. Já no terceiro perfil (P7) houve uma leve tendência de diminuição das areias muito finas à medida que se coletava amostra mais próximas a superfície.

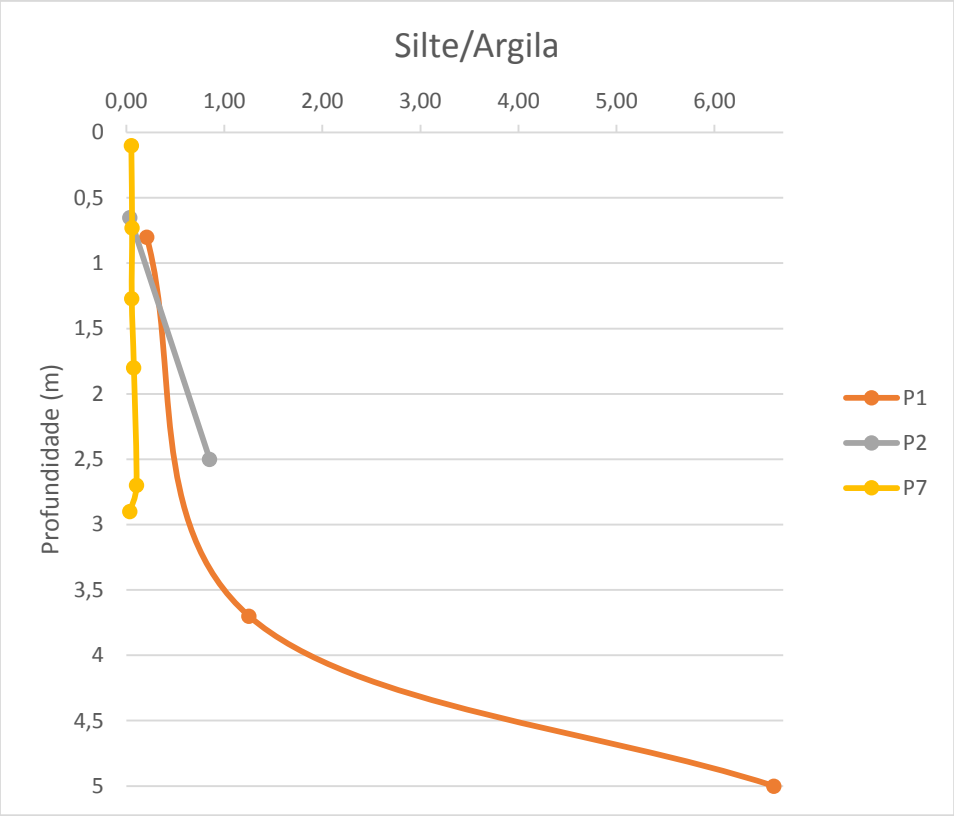


Gráfico 19: Variação da relação Silte/Argila nos perfis do embasamento metamórfico. Fonte: Org. Alex Sousa

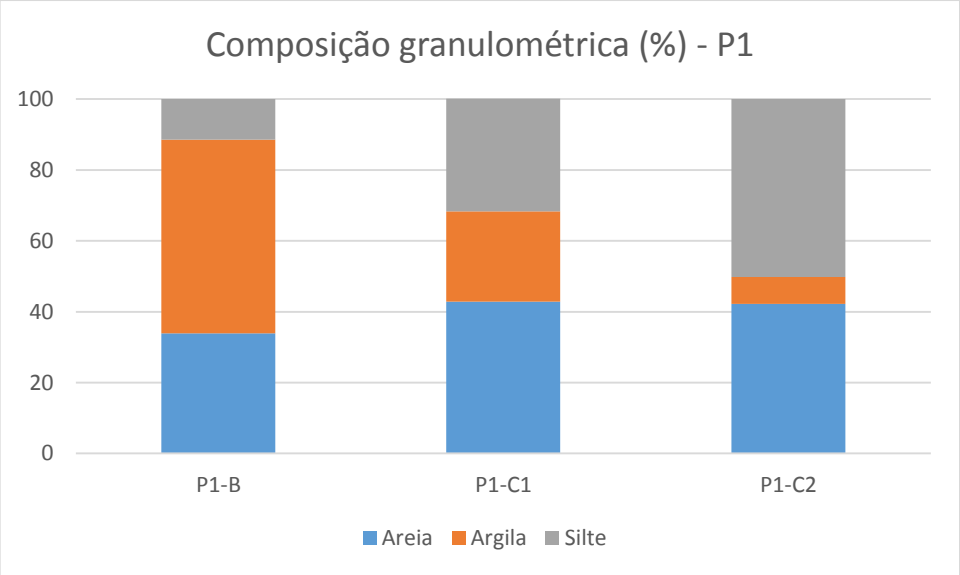


Gráfico 20: Variação da composição granulométrica do perfil P1. Fonte: Org. Alex Sousa

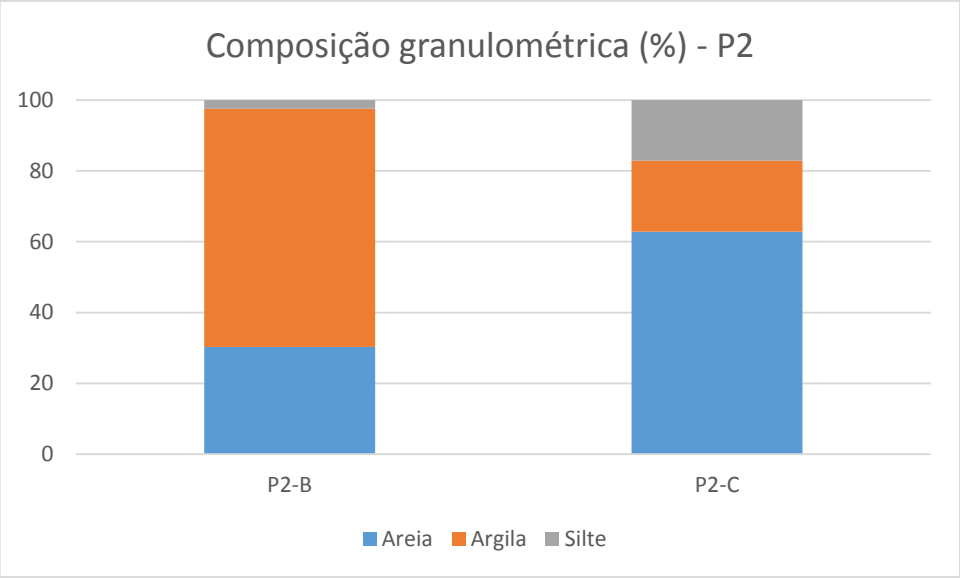


Gráfico 21: Variação da composição granulométrica do perfil P2. Fonte: Org. Alex Sousa

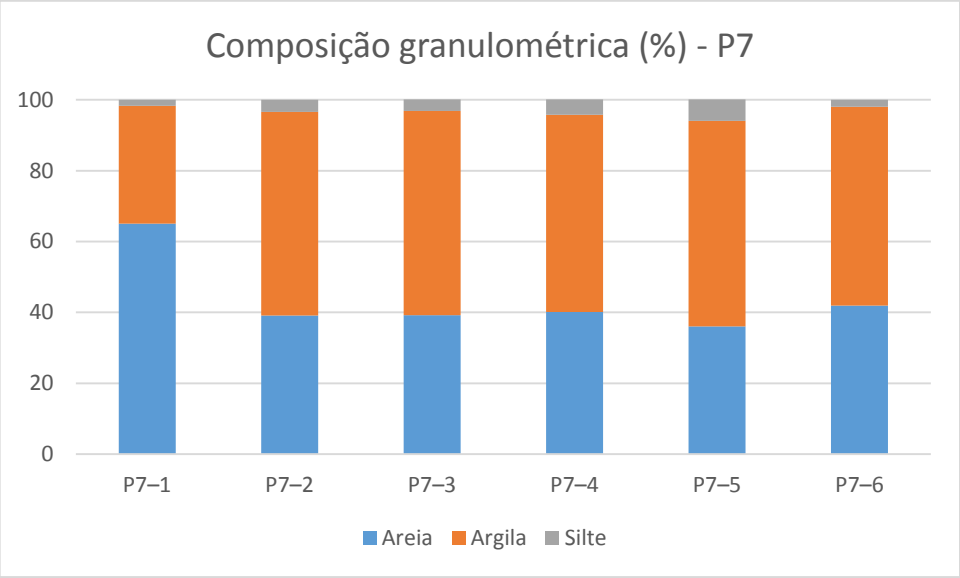


Gráfico 22: Variação da composição granulométrica do perfil P7. Fonte: Org. Alex Sousa

Análise da Densidade

A densidade – calculada após a secagem das amostras - apresentou comportamento um pouco diferente da apresentada nos perfis de litologia magmática. **Seus resultados apresentaram variações de perfil para perfil**.

No perfil (P1) a densidade apresentou seu valor mais elevado no horizonte Bi (horizonte mais superficial), tendo uma redução no horizonte C1 e um novo aumento no horizonte C2 (horizonte mais rochoso e mais profundo).

No perfil P2 a densidade apresentada no horizonte C foi maior que a densidade apresentada no horizonte B.

O perfil P7 apresentou tendência semelhante ao perfil P1. Houve uma tendência decrescente de densidade à medida que se aprofundava nos horizontes do perfil, passando novamente a aumentar o valor de densidade nos horizontes mais profundos.

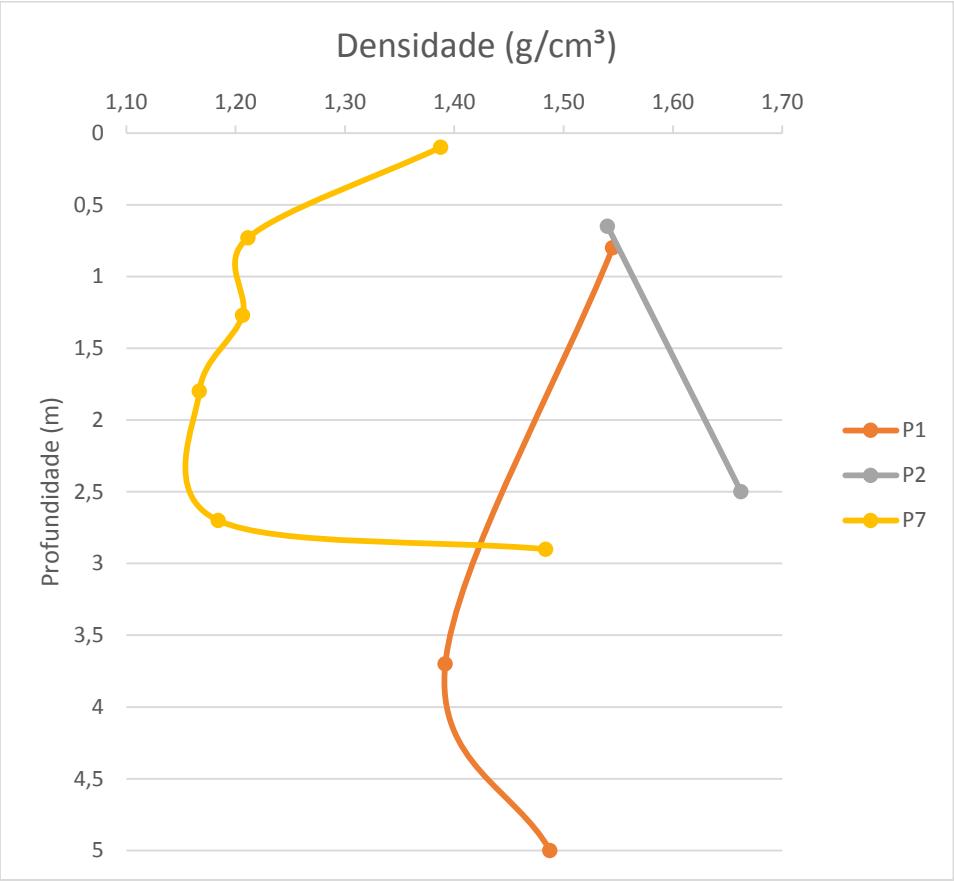


Gráfico 23: Variação da densidade nos perfis de embasamento metamórfico. Fonte: Org. Alex Sousa

Enquanto as densidades dos perfis do embasamento magmático apresentaram uma tendência um tanto linear de aumento do valor nos horizontes mais profundos dos perfis, as densidades dos perfis de embasamento metamórfico apresentaram uma tendência curva, ou seja, ocorre uma diminuição da densidade a medida que se aprofunda nos horizontes do solo, porém os horizontes mais profundos invertem a tendência e apresentam um valor mais elevado de densidade.

Ao se considerar o perfil P5 do embasamento magmático em relação aos perfis P7 e P1 do metamórfico nota-se que os perfis apresentam tendência curva inversa um em relação ao outro. Enquanto o perfil P5 apresentou uma tendência de aumento da densidade que foi gradativamente se invertendo a medida que se aprofundava nos horizontes do solo, os perfis P7 e P1 apresentaram o inverso, tendo uma tendência de diminuição da densidade nos horizontes mais profundos que foi gradativamente se invertendo e os horizontes mais profundos apresentaram uma densidade maior.

8.3 – Difratrometria de Raio X

Os resultados obtidos por meio da difratrometria de Raio X não foram satisfatórios. Não foi possível precisar com exatidão a quais minerais se referiam as amostras ficando desta forma prejudicada sua análise, e sendo apresentado apenas uma série de minerais possíveis de estarem presentes nos respectivos pontos de coleta. Ao se analisar os padrões de difratrometria gerados pode-se notar que se tratam de padrões de argilas 2:1.

9- CONCLUSÕES

A partir das variáveis e parâmetros utilizados nesta pesquisa pode-se levantar algumas questões para contribuir na interpretação da evolução do relevo, tendo como base os processos químicos e físicos envolvidos no intemperismo.

Foi possível elucidar parte dos processos químicos envolvidos na evolução pedogenética que como consequência tem interferência na esculturação atual do relevo, conforme apontado por Millot (1983) e Vitte (1998, 2005).

Pensando na evolução do relevo considerando os horizontes superficiais e horizontes subsuperficiais, tendo como base os índices obtidos a partir das coletas efetuadas pode-se efetuar algumas interpretações.

Uma das questões levantadas no decorrer do trabalho foi a possibilidade de haver uma dupla superfície de erosão, conforme pressuposto por Büdel (1982), entendendo que haveriam dois processos distintos ocorrendo em um mesmo perfil. Para ele a superfície de erosão mais superficial é mais mecânica com a retirada de material friável e disjunção das ligações ferro-argila pela percolação da água, e a subsuperficial mais química, relacionada a percolação da água que com o tempo vai provocando uma série de processos químicos de alteração.

A esse respeito os resultados indicaram que os processos são de dinâmicas distintas porém com relação de interdependência. Assim é difícil afirmar que existem duas superfícies distintas de erosão, mas ao contrário, um rebaixamento concomitante que se processa a partir da alteração da rocha para o horizonte C e aumenta na concentração dos materiais residuais no horizonte B, como argilas, óxidos de Ferro, Alumínio e Silicatos.

Supõe-se que a água ao infiltrar no perfil atinge os horizontes mais profundos, com alta densidade, e promove por meio de alteração química (dissolução) o intemperismo dos materiais em fragmentos menores, conforme pode-se constatar pela relação Silte/Argila, e por, em vias gerais, haver uma diminuição do percentual de areias totais nos horizontes mais superficiais em relação aos subsuperficiais.

No processo de intemperismo dos horizontes mais profundos e densos ocorre erosão aumentando assim a porosidade. A medida que se atinge os horizontes mais superficiais esses poros são preenchidos com material alterado de menor fração, visto que se observa um aumento no percentual de argila nos horizontes mais superficiais, tendo assim a argila um caráter residual neste nível de análise.

As repetições das tendências dos resultados nos perfis analisados embasam estas afirmações.

Ao se observar os horizontes mais superficiais nota-se uma diminuição da relação Silte/Argila e aumento da Capacidade de Troca Catiônica, ou seja, são horizontes que contém maior quantidade de argilas e maior capacidade de troca de elementos, isto devido ao comportamento coloidal das argilas. Neste contexto específico as argilas são elementos residuais do processo de alteração das rochas. Assim superficialmente os horizontes tendem a ser mais dinâmicos do que os horizontes mais profundos, visto que a capacidade de troca de elementos é mais elevada, e apresentam um maior grau de intemperismo (pedogênese mais avançada) conforme pode-se constatar nos índices Ki e Kr.

Um outro parâmetro adotado para análise neste sentido foi a Atividade de Argila que correlaciona a CTC com o total de argilas existentes nos horizontes, ou seja, é um parâmetro gerado a partir a correlação de dados físicos e químicos do solo. Este parâmetro indicou que quase todos horizontes analisados possuem argilas de baixa atividade, ou seja, as argilas presentes nestes horizontes possuem pouca capacidade de coesão e retenção de água.

É importante ressaltar que as argilas de alguns horizontes subsuperficiais apresentaram valores iguais ou superiores aos encontrados nos horizontes superficiais. O parâmetro é gerado a partir da correlação do total de argilas com a CTC e por vezes, mesmo com uma baixa quantidade de argila no horizonte, pode-se obter um valor de alta atividade de argila. Desta forma deve-se atentar para o percentual de argila constituinte do horizonte analisado para evitar análises equivocadas.

Os índices Ki e Kr colaboraram no sentido de demonstram que há uma tendência de aumento do grau de intemperismo nos horizontes mais superficiais em relação aos mais subsuperficiais. Os índices sugerem que o processo de evolução do perfil se dá de forma mais avançada nos horizontes mais superficiais

e menos avançadas nos horizontes mais subsuperficiais. Assim sustenta ainda mais a ideia de que o processo de evolução se inicia a partir da rocha com maior quantidade de areias na composição dos horizontes em relação a argila e vai gradativamente avançando nas camadas mais superficiais onde ocorre um aumento percentual do total de argilas em relação as areias.

Um outro pressuposto do qual se partiu foi a análise dos elementos de maior e menor mobilidade presentes nos horizontes dos perfis. Acreditava-se que os elementos de maior mobilidade (bases em geral) tenderiam a diminuir dos horizontes subsuperficiais aos superficiais e os elementos de menor mobilidade (alumínio) tenderiam a se manter relativamente estáveis ou apresentar um aumento do percentual.

Com base nos resultados obtidos dos índices de saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) dos perfis analisados observou-se que não se pode constatar essa afirmação.

Enquanto no embasamento metamórfico houve um aumento da saturação por alumínio (m%) e diminuição da saturação de bases (V%) nos horizontes mais superficiais em relação aos subsuperficiais, os perfis do embasamento magmático apresentaram tendência inversa, com redução da saturação por alumínio (m%) e aumento da saturação de bases (V%).

Com isto pode-se levantar a possibilidade de os perfis de embasamento metamórfico tenderem a concentrar maior quantidade de elementos de menor mobilidade (alumínio) nos horizontes mais superficiais, entretanto seriam necessárias maiores análises para se constatar esta afirmação. Entretanto cabe ressaltar que é notável que em áreas de embasamento metamórfico os cultivos e a vegetação natural apresentam maior dificuldades para se estabilizar em relação as áreas de embasamento magmático.

Pode-se notar uma diferença também nos índices de densidade. Enquanto os perfis de litologia ígnea apresentaram uma tendência aparentemente mais linear de aumento de densidade nos horizontes mais profundos, os perfis de litologia metamórfica apresentaram uma tendência curva, havendo a princípio uma redução da densidade e em seguida um aumento nos horizontes mais profundos.

Esta densidade mais acentuada do embasamento magmático pode sugerir que os perfis deste tipo de embasamento tendem a apresentar uma maior

resistência aos processos de intemperismo e erosão, e desta forma tenderiam a perder materiais de maneira mais lenta do que os perfis desenvolvidos em embasamentos metamórficos.

Possivelmente a maior resistência dos perfis de embasamento magmático se deve a uma estrutura mais homogênea em relação as estruturas metamórficas que apresentam bandeamentos e maior tendência a fraturas e fissuras podendo resultar padrões de densidade diferenciado tornando assim sua resistência ao intemperismo menor e sua perda de materiais e consequente rebaixamento mais acelerado. Esta diferença de comportamento pode ser uma das chaves para explicar porque os relevos nas rochas metamórficas com bandeamentos (gnaisses, migmatitos, micaxistos, filitos, etc.) são mais baixos do que os relevos das rochas magmáticas félsicas e as metamórficas muito quartzosas, como os quartzitos. Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam esta direção, mas são insuficientes para embasar esta suposição.

Pode-se ainda conjecturar sobre o fato de alguns perfis analisados (P2 e P4) terem apresentado veios de quartzo acompanhados das linhas de pedra, que são os seixos de quartzo angulosos geralmente acumulados entre os horizontes B e C. Devido a baixa solubilidade de sílica pode-se inferir que esta formação se trata de um residual do processo de intemperismo químico predominante. Nos perfis em questão, notou-se que os veios de quartzo convergiam em direção ao alinhamento das linhas de pedra. Ao alcansá-las prevaleciam as linhas de pedra, que em vias gerais acompanhava o limite entre o manto de alteração e o horizonte mais desenvolvido do solo.

Em suma pode-se concluir que os horizontes mais superficiais do solo apresentam um caráter mais dinâmico do que os subsuperficiais dado pela maior quantidade de argila e maior Capacidade de Troca Catiônica, ou seja, maior capacidade de mobilidade dos seus elementos químicos. Esta capacidade de mobilidade fica ainda mais evidente ao observar os índices Ki e Kr que demonstram que estes são horizontes de maior grau de intemperismo, ou seja, são horizontes que possuem um grau de alteração maior.

O maior grau de intemperismo reflete na predominância de Argila sobre o Silte e as Areais nos horizontes mais superficiais.

Entende-se que os parâmetros considerados na presente pesquisa auxiliam na compreensão de parte dos processos envolvidos na alteração dos

materiais. Desta forma conclui-se que há caminhos viáveis a serem percorridos para uma melhor compreensão do modelado do relevo. Para isso é preciso um maior entendimento dos processos geoquímicos - conforme já sugerido por Ross (2002) – cabendo assim à geomorfologia a utilização dos inúmeros procedimentos técnicos já difundidos por outros ramos das ciências da Terra, como a agronomia e a própria pedologia.

10. BIBLIOGRAFIA

AB'SÁBER, A.N. Um Conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas Sobre o Quaternário. 1969. *In* Geomorfologia 18. São Paulo. IGEOG/USP

AB'SABER, A. N. Participação das Depressão e Superfícies Aplainadas na Compartimentação do Planalto Brasileiro, 1972 in Geomorfologia – 28 – IGEOG – USP – São Paulo.

AB'SÁBER, A.N. Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas. 2003. São Paulo. Ed. Ateliê Nacional.

AZEVEDO, A.C. Gênese, Morfologia e Classificação de Solos. 2015. http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/112588/mod_resource/content/2/Filossilicatos%20de%20Alum%C3%ADnio.pdf

BIGARELLA, J.J. Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais. 2007. Volume 1, 2 e 3. Florianópolis. Editora da UFSC.

BRISKI, S.J. Ensaios Geoquímicos e geoambientais como subsídio à interpretação das unidades de relevo em litologia do embasamento cristalino. 2009. Tese de Doutorado. FFLCH, USP. São Paulo.

BUTT,C.R.M. & ZEEGERS, H. Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains', 1992. Handbook of Exploration Geochemistry, Elsevier, Amsterdam.

BÜDEL, J. Climatic Geomorphology. 1982. Nova Jersey. Princeton University Press

CARVALHO, I.G. Fundamentos da Geoquímica dos Processos Exógenos. 1995. Salvador. Bureau.

CASSETI, V. Ambiente e apropriação do relevo. 1992. São Paulo:Contexto.

CASSETI, V. Geomorfologia. 2005. [S.l.]: Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em: 2013/2014

CHEN, P.Y. Table of Key Lines in X-ray Powder Diffraction Patterns of Minerals in Clay and Associated Rocks. Indiana, 1977

CHOLLEY, A. Morphologie structurale et morphologie climatique. 1950. Anais de Geographie, v. 59, p. 331-335

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. 1899. Geogr. Journ., London, v. 14, n. 5, p. 481-504.

EMBRAPA Árvore do Conhecimento - Solos Tropicais. 2013. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/Abertura.html Acesso em: 2013/2014

FILIZOLA, H.F. Papel da erosão geoquímica na evolução do modelo da bacia de Taubaté – SP. 1993.Tese de Doutorado. FFLCH, USP. São Paulo.

HYPOLITO, R. *et ali* Geoquímica da interação água/rocha/solo - Estudos preliminares. 2011.

KING, L. C. Canons of Landscape Evolution. 1953. Bull. Geolog. Society of America, Washington, v. 64, n. 7, p. 721-732.

MELFI, J. A. e PEDRO. G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. 1977. Parte 1 – tipos de evolução pedogeoquímica. Revista Bras. Geociências, (4), p. 271-286.

MILLOT, G. Planation of continents by intertropical weathering and pedogenetic processes. 1983. In: MELFI, A.J. e CARVALHO, A. de. (orgs.) Laterisation Processes. Proceedings II International Seminar on Laterisation Processes. São Paulo, Brasil. p. 53- 63.

NEVES, T.G.G. GEOLOGIA: uma abordagem ao geodinamismo externo e interno do nosso planeta...*in* http://geodinamica.no.sapo.pt/ Acesso em: 2013/2014

OLLIER, C. Some features of granite weathering in Australia. 1969. Zeits Geomorph., vol. 3. p. 285-304.

PENCK, W. Die morphologische analyse. Ein kapitel der physikalischen geologie. 1924. J. Engelhorn's Nachf. Stuttgart.

PENCK, W. Morphological Analysis of Landforms. 1953. Londres: McMillan.

PRADO, H. Pedologia Fácil – Aplicações em Solos Tropicais. 2013. FUNDAG.

PUGH, J. C. Isostatic Readjustment and the Theory of Pediplanation. 1955. Quarterly Jour. Geol. Society, n. 111, p. 361-9.

ROCHA, L.C. Desnudação geoquímica na evolução da Serra do Espinhaço Meridional – MG – Brasil. 2011. Tese de Doutorado. UFMG.

ROSS, J.L.S. O relevo brasileiro, as superfícies de aplainamento e os níveis morfológicos. 1991. In: Revista do Departamento de Geografia. FFLCH, USP. pag 07 a 24. São Paulo

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

ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo. Lab. de Geomorfologia. 1997. DG/FFLCH-USP/Lab. de Cart. Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP. 63p.

ROSS, J.L.S. Superfícies de Erosão ou Erosão química nos processos de esculturação dos planaltos do leste Paulista.1998. Revista do Departamento de Gegrafia. São Paulo.

ROSS, J.L.S. A Morfogênese Da Bacia Do Ribeira Do Iguape E Os Sistemas Ambientais. 2002. Geousp nº 12. São Paulo.

SILVA, L.C. Contribuição da geoquímica de superfície à análise geomorfológica – região de Cabreúva/Santa de Parnaíba. Dissertação de Mestrado. 2011. FFLCH, USP. São Paulo.

SOUSA, A.S. Análise Da Fragilidade Ambiental Da Bacia Do Rio Caulim – São Paulo – Sp. 2012. Trabalho de Graduação Individual. DG/FFLCH-USP

TAYLOR, G. Regolith Geology and Geomorphology. 2001. John Wiley & Sons, LTD.

THOMAS, M. Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes. 1994. Wiley. New York.

TRICART, J. Classificação Ecodinâmica dos Meios Ambientes. In: Ecodinâmica. 1977. Rio de janeiro: IBGE-Supren.

VILLELA, F.N.J. Análise da relação relevo-rocha-solo no contato planalto atlântico - depressão periférica paulista. 2011. Tese de Doutorado. FFLCH, USP. São Paulo.

VITTE, A.C. Etchplanação em Juquiá (SP) – Relações entre intemperismo químico e as mudanças climáticas no desenvolvimento das formas de relevo em margem cratônicas passiva. 1998. Tese de Doutorado. FFLCH, USP. São Paulo.

VITTE, A.C. Etchplanação Dinâmica e Episódica nos Trópicos Quentes e Úmidas. 2005. In: Anais do XI Simpósio de Geografia Física Aplicada – Revista de Departamento de Geografia, nº16. FFLCH, USP. São Paulo. Pág. 105 a 118.