

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

Diques mesozoicos básicos e intermediários como condicionantes do relevo na porção
noroeste da Ilha de São Sebastião - SP

Victor Arroyo da Silva do Valle

Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Rio Claro (SP)

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

VICTOR ARROYO DA SILVA DO VALLE

DIQUES MESOZOICOS BÁSICOS E INTERMEDIÁRIOS COMO
CONDICIONANTES DO RELEVO NA PORÇÃO NOROESTE DA
ILHA DE SÃO SEBASTIÃO - SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do
grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2016

551.42 Valle, Victor Arroyo da Silva do
V181d Diques mesozoicos básicos e intermediários como
condicionantes do relevo na porção noroeste da Ilha de São
Sebastião - SP / Victor Arroyo da Silva do Valle. - Rio Claro,
2016
80 f. : il., figs. + mapa

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: José Eduardo Zaine

1. Geomorfologia. 2. Suscetibilidade a processos
superficiais. 3. Formas de relevo. 4. Ilha de São Sebastião. I.
Título.

VICTOR ARROYO DA SILVA DO VALLE

DIQUES MESOZOICOS BÁSICOS E INTERMEDIÁRIOS COMO
CONDICIONANTES DO RELEVO NA PORÇÃO NOROESTE
ILHA DE SÃO SEBASTIÃO – SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do
grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. José Eduardo Zaine (orientador)

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Me. Flávio Henrique Rodrigues

Rio Claro, 22 de novembro de 2016.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Diversas são as pessoas as quais gostaria de agradecer, não somente pela ajuda na elaboração do presente trabalho, mas também pelo suporte dado durante todo meu período de graduação.

Aos meus pais, Celio e Elaine, por me ensinarem muitas das lições mais importantes que aprendi na minha vida. A pessoa que sou agora é fruto da atenção e carinho de vocês. Agradeço também às minhas irmãs, Bárbara e Valentina, porque somente quem cresce junto a irmãos sabe o quanto eles são importantes em nossas vidas.

Ao meu orientador, Professor José Eduardo Zaine, pela atenção, paciência, orientação, e estímulo que tornaram possível a elaboração desse estudo. Agradeço também por todas as oportunidades que você me ofereceu durante minha graduação; tive a chance de aprender muito com os projetos em que trabalhamos juntos.

Ao doutorando Flávio Henrique Rodrigues, por todo apoio dado na condução da pesquisa. Seu entusiasmo ao buscar o entendimento de uma área de estudo tão bela e complexa quanto a Ilha de São Sebastião sempre me motivou a fazer o mesmo. Espero que o presente trabalho seja útil para o seu relevante estudo visando à geoconservação da área.

Aos funcionários do Parque Estadual de Ilhabela, por nos acompanhar e orientar durante os trabalhos de campo. Que vocês continuem demonstrando sua vontade de proteger e preservar o parque, para que cada vez mais pessoas possam entender a importância de tais ações.

Ao Alex, por seu incentivo à pesquisa na Ilha de São Sebastião em nos oferecer gentilmente excelente acomodação em sua pousada.

Ao Professor George Luiz Luvizotto e à doutoranda Juliana Okubo, pela grande ajuda durante os trabalhos de campo e discussões a respeito da geologia da área.

A todos os meus colegas e amigos de graduação, especialmente ao Eduardo (Nhonho), Otávio (Defeito), Rodrigo (Malagutti), Vanessa (Cabra) e Guilherme (Zulu) pelos bons momentos que passamos juntos e pelos muitos que ainda virão.

Finalmente, a minha amiga e companheira de todos os momentos, Mayara, por sempre estar disposta a me ajudar. Você participou de tudo que realizei desde o início da minha graduação, e por tudo isso sempre serei grato.

RESUMO

O estudo de aspectos relacionados à evolução do relevo é uma ferramenta importante para a melhor gestão do ambiente no qual vivemos e extraímos recursos essenciais à vida moderna. Como exemplo, cita-se a análise dos fatores responsáveis pela gênese de determinadas formas de relevo. No caso da área de estudo, a porção noroeste da Ilha de São Sebastião (SP), são descritas diversas formas de relevo associadas principalmente a distintas unidades geológicas. Destacam-se um embasamento pré-cambriano granito-gnáissico, diques mesozoicos de rochas básicas e intermediárias, e *stocks* e diques também mesozoicos de rochas alcalinas. Dentre tais litotipos, os diques básicos e intermediários exibem interessante resposta do relevo. Por vezes, eles são associados a cristas alongadas, ou seja, feições positivas mais resistentes aos processos superficiais (intemperismo e erosão). Já em outros casos, os diques definem o curso de drenagens, representando assim feições negativas menos resistentes aos processos superficiais. Nesse contexto, o principal objetivo do presente estudo é identificar quais fatores são determinantes na resistência dos diques aos processos superficiais e, portanto, responsáveis pelas diferentes formas de relevo associadas a eles. Para tanto, optou-se por realizar uma caracterização dos mesmos quanto a sua resposta aos processos modeladores do relevo, envolvendo não somente sua composição litológica, mas também sua estruturação, idade e as características das unidades de relevo nas quais os diques estão inseridos. Desse modo, foi elaborado um quadro comparativo contendo características tanto dos diques quanto do embasamento no qual eles estão intrudidos para que fosse possível estabelecer quais fatores são de fato responsáveis pelas diferentes feições de relevo associadas. Os resultados obtidos indicam que a composição mineralógica das rochas, seu padrão de fraturamento e a espessura dos diques são os principais fatores responsáveis pela diferente resposta aos processos superficiais. Os diques associados drenagens são representados por diabásios de textura variada, apresentando assim mineralogia caracterizada pela presença de minerais máficos (clinopiroxênio e olivina) e plagioclásio cálcico (labradorita). Tal mineralogia se mostra mais susceptível ao intemperismo e consequente erosão quando comparada àquela presente nos diques associados às cristas alongadas, que são representados por andesitos porfíricos. Essas rochas intermediárias apresentam menor proporção de minerais máficos, além de o plagioclásio presente ser predominantemente de composição sódica (oligoclásio). Além da composição mineralógica mais suscetível aos processos intempéricos, os diques de diabásio ainda possuem maior densidade de fraturas quando comparados aos diques andesíticos, fato explicado pela menor espessura apresentada pelos primeiros. Uma maior densidade de fraturas permite uma melhor infiltração d'água, tornando a rocha mais susceptível ao intemperismo químico. A menor espessura dos diques de diabásio também acelera sua decomposição em função do menor volume de rocha a ser intemperizado e erodido. Também a partir dos resultados obtidos, foi possível classificar as unidades geológicas presentes na área de estudo quanto a sua suscetibilidade aos processos superficiais. Desse modo, as unidades podem ser ordenadas, da mais suscetível a mais resistente, da seguinte maneira: diques de diabásio, embasamento granito-gnáissico, diques andesíticos e *stocks* alcalinos.

Palavras-chave: Ilha de São Sebastião, geomorfologia, diques, suscetibilidade a processos superficiais, formas de relevo.

ABSTRACT

The study of aspects related to relief evolution is an important tool for achieving an optimal management of the environment in which we live and extract essential resources to the modern life. The analysis of factors responsible for the origin of determined landforms is an example of those studies. In the case of the study area, the northwest portion São Sebastião Island (SP), different landforms are related to distinct geological units. The main units described in the area are: a Precambrian granite-gneissic basement, Mesozoic basic and intermediate dykes, and Mesozoic alkaline stocks and dykes. The landforms associated with the basic and intermediate dykes show an interesting pattern. There are cases in which they are characterized by elongated ridges, which represent landforms that are more resistant to surface processes (weathering and erosion). In other cases, they define the course of streams, therefore, representing landforms that are less resistant to surface processes. In that context, the main objective of this study is to identify which factors determine the resistance of the dykes to surface processes, and, therefore, are responsible for the landforms associated with them. In order to achieve that objective, a characterization of the dykes was made focusing aspects such as mineralogical composition, structural pattern, rock age, and the characteristics of the relief units in which the dykes are present. A comparative chart containing aspects related to both dykes and basement was prepared in order to establish which of those aspects are in fact responsible for the different landforms associated with the dykes. The obtained results indicate that the mineralogical composition, the fracture pattern and the thickness of the dykes are the main factors that determine the resistance of those rocks to weathering and erosion. The dykes associated with landforms defining stream courses are represented by diabases with varied textures. Those rocks are composed of mafic minerals (clinopyroxene and olivine) and calcic plagioclase (labradorite); therefore, they are more susceptible to weathering and erosion when compared to the porphyritic andesite that represents the dykes associated with elongated ridges. The last rock has a lesser content of mafic minerals and it is also predominantly composed of sodic plagioclase (oligoclase). In addition to a mineral composition less resistant to surface processes, the diabase dykes also show a higher fracture density when compared to the andesite dykes. Such behaviour is explained by the lower thickness showed by the former dykes. A higher fracture density allows a more efficient water infiltration; as a result, the rock is more susceptible to chemical weathering. Also, the lower thickness of those dykes implies that a lower volume of rock is being exposed to the surface processes, thus, those dykes tend to be decomposed faster than the thicker ones. Analysing the results, it is also possible to classify the geological units of the study area according to their susceptibility to surface processes. In that sense, the units may be ordered in the following way, from the most susceptible to the most resistant: diabase dykes, granite-gneissic basement, andesite dykes, and alkaline stocks.

Key words: São Sebastião Island, geomorphology, dykes, susceptibility to surface processes, landforms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo na Ilha de São Sebastião.	11
Figura 2 - Compartimentação da Província Mantiqueira.	15
Figura 3 - Compartimentação do Cinturão Ribeira.	16
Figura 4 - Esquema da origem e recuo da Serra do Mar na região entre a Bacia do Paraná (NW) e a Bacia de Santos (SE).	18
Figura 5 - Mapa geológico simplificado da Ilha de São Sebastião.	19
Figura 6 - Mapa dos tipos de relevo da Ilha de São Sebastião.	22
Figura 7 - Sequência de cristalização de minerais comuns em uma magma sob resfriamento.	28
Figura 8 - Estabilidade relativa dos minerais formadores de rocha mais comuns	29
Figura 9 - Relação das amostras coletadas durante os trabalhos de campo.	32
Figura 10 - Gnaiss granítico facoidal da Ilha de São Sebastião	36
Figura 11 - Variação do gnaiss granítico facoidal exibindo bandamento composicional, Cachoeira do Bananal, Ponto 63.	37
Figura 12 - Gnaiss granítico subequigranular descrito no Ponto 64.	37
Figura 13 - Fraturas descritas no embasamento granito-gnáissico.	38
Figura 14 - Diques mostrando direção subparalela à foliação da rocha encaixante gnáissica	39
Figura 15 - Andesito porfirítico da Ilha de São Sebastião.	41
Figura 16 - Características das famílias de fraturas identificadas nos diques andesíticos.	42
Figura 17 - Posicionamento das famílias de fraturas descritas nos diques andesíticos.	43
Figura 18 - Além dos diques, outras estruturas também podem definir o curso de drenagens	45
Figura 19 - Diabásio intergranular aflorante na forma de dique no Ponto 4.	46
Figura 20 - Diabásio porfirítico na forma de dique que define curso de drenagem, Ponto 2.	47
Figura 21 - Características das famílias de fraturas identificadas nos diques de diabásio	48
Figura 22 - Relação entre a direção das fraturas pertencentes à Família D e as espessuras dos diques de diabásio.	49
Figura 23 - Fatores julgados importantes na geração das formas de relevo associadas às unidades geológicas analisadas.	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Contextualização do tema, objetivos e relevância do estudo	9
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	11
2.1 Localização e acessos	11
2.2 Clima e vegetação.....	12
2.3 Pedologia	13
2.4 Geologia	13
2.4.1 Trabalhos anteriores	13
2.4.2 Geologia regional	14
2.4.3 Geologia local.....	18
2.5 Geomorfologia.....	21
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
3.1 O dinamismo da Terra	24
3.2 Intemperismo	25
3.3 Fatores que controlam o intemperismo	27
4 ETAPAS DE TRABALHO	31
4.1 Levantamento bibliográfico.....	31
4.2 Fotogeologia	31
4.3 Trabalhos de campo.....	31
4.4 Análise e interpretação dos dados coletados	32
5 RESULTADOS	34
5.1 Caracterização do embasamento granito-gnáissico.....	34
5.1.1 Caracterização petrográfica	34
5.1.2 Aspectos estruturais.....	38
5.2 Caracterização dos diques associados às feições positivas de relevo.....	40
5.2.1 Caracterização petrográfica	40
5.2.2 Caracterização do padrão de fraturamento	42
5.2.3 Compartimento de relevo associado.....	43
5.3 Caracterização dos diques associados às feições negativas de relevo.....	44
5.3.1 Caracterização petrográfica	45

5.3.2 Caracterização do padrão de fraturamento	48
5.3.3 Compartimento de relevo associado.....	49
5.4 Quadro comparativo das unidades geológicas caracterizadas	50
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	52
6.1 Composição mineralógica	52
6.2 Estruturação das rochas	53
6.3 Unidades de terreno associadas	54
6.4 Clima, vegetação, presença de solo, e tempo de exposição	55
6.5 Classificação das unidades geológicas quanto à suscetibilidade a processos superficiais	55
7 CONCLUSÕES	58
8 REFERÊNCIAS	60
APÊNDICE I – MAPA DAS UNIDADES DE TERRENO	64
APÊNDICE II – DESCRIÇÃO DAS LÂMINAS DELGADAS	65
APÊNDICE III – DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE CAMPO.....	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema, objetivos e relevância do estudo

Cada vez mais, nos dias atuais, estudos direcionados à evolução da superfície terrestre têm sido conduzidos por pesquisadores em todo o mundo. O entendimento da evolução do relevo visa tanto o desenvolvimento da ciência como um todo, buscando um melhor entendimento do Sistema Terra, como também aplicações práticas no nosso cotidiano, permitindo assim uma melhor gestão do ambiente no qual vivemos e extraímos recursos essenciais à vida moderna. Desse modo, ao se entender como se dá a dinâmica que molda a superfície terrestre (processos, produtos e taxas), é possível aplicar tal conhecimento para a prevenção e solução de problemas ligados à ocupação do meio físico pelo ser humano. A ocupação de áreas próximas às encostas da Serra do Mar no litoral paulista serve de exemplo dessa aplicação. Já é de conhecimento que tais áreas estão sujeitas a movimentos de massa periódicos que afetam de modo impactante a vida humana. Graças aos estudos direcionados ao entendimento desses processos de dinâmica superficial, foi possível estabelecer medidas de prevenção de catástrofes que envolvem tanto planos emergenciais de evacuação de acordo com diversos tipos de indicadores, quanto a execução de obras de contingência. A aplicação prática do entendimento de processos geomorfológicos não se restringe somente ao caso da ocupação de encostas. Outro exemplo é o caso da habitação de áreas sujeitas à dinâmica fluvial, tal qual a planície de inundação. Apesar do processo de inundação ser bem compreendido, a ocupação dessas áreas ainda é comum nos dias de hoje. Por vezes, a solução ideal que seria a evacuação da área é de difícil execução, e portando medidas estruturais (obras de retenção e canalização) e não estruturais (sistemas de alerta, educação ambiental e ações de regulamentação) devem ser consideradas. Para uma implantação bem sucedida dessas medidas, é necessário um conhecimento pleno de como se dá a dinâmica fluvial e de sua relação com a modificação da superfície a qual habitamos.

A superfície terrestre responde de modo diferente aos processos de dinâmica superficial de acordo com diversas variáveis naturais e antrópicas. O clima atuante, a vegetação associada, a composição do terreno e o tempo de exposição do material são exemplos de variáveis que influenciam nas formas de relevo geradas. Como exemplo, pode-se citar o caso da região de estudo do presente trabalho, a Ilha de São Sebastião. Nesse local, são observados diferentes unidades de terreno: picos montanhosos, colinas mais suaves, planícies costeiras entre outros. Nesse caso, estes se associam principalmente às propriedades da rocha formadora, uma vez que

todos os litotipos presentes estão sujeitos às mesmas condições climáticas. A Ilha de São Sebastião apresenta rochas de variadas composições e estruturas, destacando-se um embasamento cristalino granito-gnáissico, diques de rochas básicas e intermediárias, e *stocks* e diques de composição alcalina. Dentre estas, os diques básicos e intermediários mostram interessante resposta do relevo. Por vezes, eles são associados a grandes cristas alongadas, ou seja, feições positivas mais resistentes aos processos superficiais. Tais cristas inclusive podem influenciar a morfologia da costa. Já em outros casos, eles definem o curso de drenagens, representando assim feições negativas menos resistentes aos processos superficiais.

Nesse contexto, o principal objetivo a ser alcançado com o presente estudo é identificar quais características referentes aos diques são determinantes na sua resistência aos processos superficiais e, portanto, responsáveis pelas diferentes formas de relevo associadas a eles. Para tanto, optou-se por realizar uma caracterização das rochas quanto à suscetibilidade aos processos modeladores do relevo, analisando fatores tais quais: composição mineralógica (que reflete a composição química da rocha), padrão de fraturamento, idade e as características das unidades de relevo onde os diques se inserem. A partir dessa caracterização, foi gerado um quadro comparativo contendo esses fatores, respectivos tanto aos diques quanto à rocha encaixante. Tal quadro foi construído visando realizar uma comparação entre os fatores propostos acima, com o objetivo de identificar quais deles são de fato responsáveis pelas formas de relevo associadas aos diques.

O estudo aqui apresentado se mostra relevante para contribuir com o conhecimento geológico-geomorfológico da Ilha de São Sebastião, uma vez que este ainda é limitado. Além disso, todos os anos, diversos problemas ligados à ocupação urbana do meio físico são relatados nessa área, logo, um trabalho acadêmico focado na geomorfologia da região pode auxiliar na divulgação da relevância desse tema. O presente estudo foi realizado em colaboração com um projeto maior, conduzido pelo doutorando Flávio Henrique Rodrigues, que visa um mapeamento geoambiental aplicado à geoconservação da Ilha de São Sebastião (RODRIGUES, 2016, no prelo). Finalmente, é válido mencionar que a continuidade de estudos científicos realizados em unidades de conservação da natureza, tal qual o Parque Estadual de Ilhabela onde grande parte da área de estudo se encontra inserida, é de extrema importância para demonstrar a relevância de uma área a ser conservada.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização e acessos

Como apresentado anteriormente, a área de estudo está inserida na Ilha de São Sebastião, parte do Arquipélago de Ilhabela, localizado no litoral norte do estado de São Paulo (Figura 1). A área abrange porção das folhas topográficas São Sebastião (SF-23-Y-D-VI-3) e Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1), na escala 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, respectivamente dos anos de 1975 e 1974. É localizada entre as latitudes $23^{\circ}42'30''$ S e $23^{\circ}51'23''$ S, e entre as longitudes $45^{\circ}23'35''$ O e $45^{\circ}18'52''$ O, e compreende o setor noroeste da ilha. A escolha desse setor se deu em função da maior facilidade de deslocamento dentro de sua área, uma vez que grande parte da ilha é de difícil acesso, dada as altas declividades e densa mata nativa.

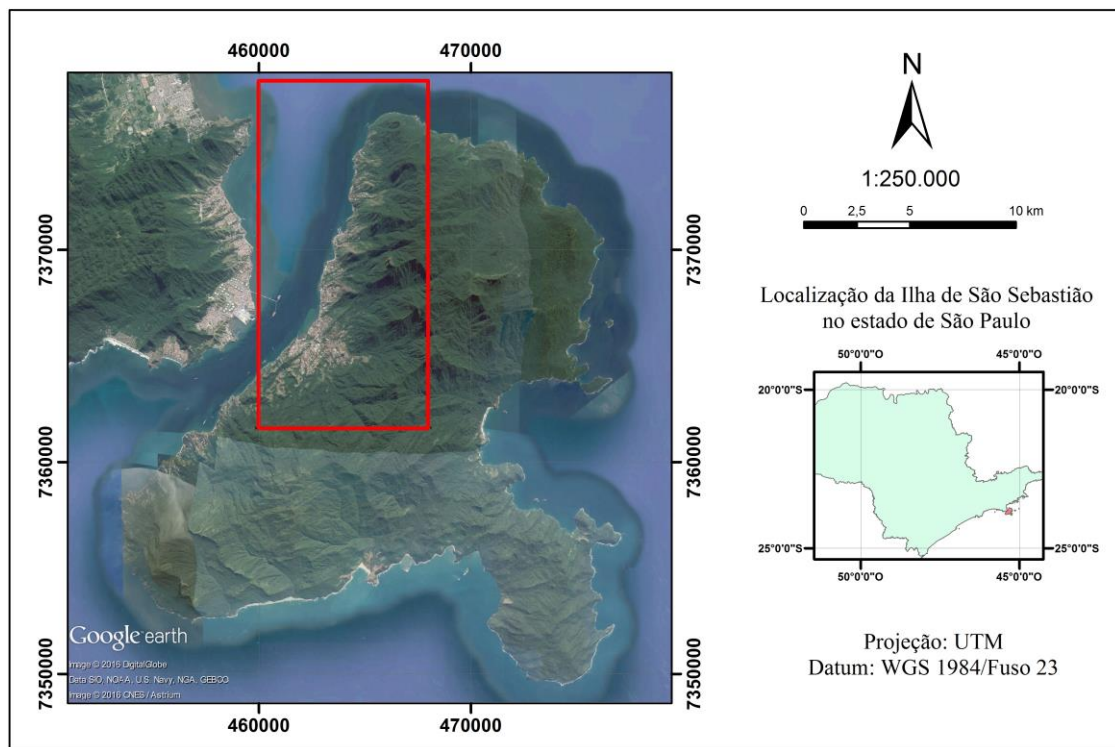


Figura 1 - Localização da área de estudo (retângulo vermelho) na Ilha de São Sebastião.

Partindo de Rio Claro, o acesso à área de estudo pode ser feito pela rodovia BR-364, seguindo então pelas rodovias BR-050, Dom Pedro I, Governador Carvalho Pinto e Tamoios até Caraguatatuba. A partir de lá, segue-se pela rodovia BR-101 até o ponto de balsa em São

Sebastião. O deslocamento dentro da área de estudo é feito principalmente pela rodovia SP-131, por estradas municipais e pelas trilhas que cortam as áreas de conservação.

2.2 Clima e vegetação

O clima e a vegetação têm um papel importante na evolução do relevo de uma região. No caso da área de estudo, a mesma apresenta classificação climática Köppen do tipo Am, ou seja, um clima tropical chuvoso de inverno seco. Milanesi (2007) realizou medições de pluviosidade na Ilha de São Sebastião no período 2004/2005 com o intuito de avaliar as diferenças pluviométricas entre as vertentes oceânica e continental. Segundo seu estudo, o início do período de chuvas se deu na primavera (outubro a dezembro), e equivaleu a 22% da precipitação total, com média de 1.354,2 mm. Já no verão, de janeiro a março, a precipitação atingiu o maior valor relativo, 36% das chuvas com média de 2.126,3 mm. No outono, de abril a junho, observou-se uma diminuição na precipitação, com 26% do total e média de 1.624,7 mm. Finalmente, durante o inverno, nos meses de julho a setembro, os valores de precipitação foram mínimos, representando 15% do total com média de 925,7 mm. O autor chegou à conclusão de que a vertente da ilha voltada ao oceano atua como uma barreira aos fluxos de umidade, provocando então a chuva denominada orográfica. Como consequência desse fato, a vertente continental mostra umidade e índices pluviométricos comparativamente inferiores.

Além da pluviosidade, outro aspecto importante relacionado ao clima de uma região é a temperatura. Dados coletados por Milanesi (2007) no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTE) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de Caraguatatuba para o período 2004/2005 apontam as seguintes temperaturas médias por estação para a região: 23,2°C na primavera; 30,1°C no verão; 23,2°C no outono; e 20,7°C no inverno. Nota-se, portanto, que a região apresenta um clima chuvoso de temperaturas médias relativamente altas.

Quanto à vegetação presente na área, a Ilha de São Sebastião apresenta grande reserva de densa floresta tropical nativa, a Mata Atlântica. Juntamente com as demais ilhas do arquipélago, a maior parte de sua área é considerada Unidade de Proteção Integral (Parque Estadual de Ilhabela), que tem como objetivo principal a preservação da natureza, admitindo-se somente uso indireto dos seus recursos naturais. Logo, a floresta nativa ocupa quase que a totalidade dos 236 km² de área da ilha. A alta biodiversidade de espécies vegetais é característica da floresta, sendo descritas leguminosas (incá, angico), bigoneáceas (ipês), lauráceas (abacateiro, imbuia), mirtáceas (goiabeira, pitangueira), epífitas (orquídeas e lianas), entre outras (MILANESI, 2007).

As espécies arbóreas são predominantes, e caracterizam uma floresta ligada ao relevo cuja declividade permite distribuição das árvores em níveis, resultando assim numa boa absorção solar e desenvolvimento de flora exuberante (SILVA et al., 1977). É importante notar que, ao mesmo tempo em que o relevo afeta o desenvolvimento da vegetação, a mesma também influencia na sua evolução. Tal conceito será mais bem desenvolvido posteriormente.

2.3 Pedologia

A gênese do solo está diretamente associada à evolução do relevo. Sendo um dos produtos de alteração das rochas, o mesmo tanto representa uma consequência da ação dos processos modeladores do relevo, quanto influencia na sua dinâmica. Em um contexto regional, a Ilha de São Sebastião se insere em uma área cujos principais solos descritos, segundo trabalho de Oliveira et al. (1999), são cambissolos háplicos distróficos associados com neossolos litólicos distróficos. Rossi et al. (2005), em estudo de caracterização do meio físico da Serra do Mar, descrevem a presença de formações rasas com solos jovens pouco espessos. Desse modo, a área seria dominada por cambissolos, que são encontrados disseminados pelas formas de relevo, e por neossolos litólicos, localizados principalmente em topos curtos com formas angulosas ou convexas.

Em uma escala local, o Plano de Manejo do Parque Estadual de Ilhabela (FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015), estabeleceu nove unidades de mapeamento que envolvem seis classes de solos. Tais classes são compostas basicamente por cambissolos, argissolos vermelho-amarelos, gleissolos, neossolos litólicos, espodossolos e areias praiais. Os cambissolos e neossolos litólicos representam 84% dos solos do parque estadual, notando-se, portanto uma predominância de solos rasos ou pouco profundos que apresentam sérias limitações quanto à presença de blocos rochosos e a proximidade do contato com a rocha fresca. Os argissolos e os latossolos, representando 9,3% dos solos do parque, ocorrem no relevo amorreado e com menores declives. Gleissolos, espodossolos e areias praiais ocorrem em pequena porção da área, representando menos de 0,7% do total.

2.4 Geologia

2.4.1 Trabalhos anteriores

Um dos primeiros relatos da geologia da Ilha de São Sebastião se encontra presente no trabalho de Derby (1887), que reconhece ali a presença de rochas alcalinas. Freitas (1947)

apresenta um estudo focado nos aspectos geológicos da ilha, incluindo uma petrologia mais detalhada das rochas ali presentes. Nesse trabalho, são descritas rochas gnáissicas associadas a um embasamento cristalino; rochas básicas na forma de diques que cortam o embasamento; rochas alcalinas na forma de *stocks* que cortam tanto o embasamento quanto os diques básicos; e rochas quartzo-dioríticas na forma de diques que cortam os *stocks* alcalinos. Posteriormente, foram conduzidos estudos focados na geocronologia dos litotipos da ilha (AMARAL et al., 1966; AMARAL et al., 1967; HENNIES E HASUI, 1968), sendo obtidas idades em torno de 80 milhões de anos para o magmatismo alcalino. Hennies e Hasui (1977) apresentam uma contribuição ao conhecimento geológico da área, focando as intrusões magmáticas mesozoicas. Tais autores propõem dois ciclos de magmatismo: um primeiro representado pelos diques básicos do Cretáceo Inferior, e um segundo representado pelos *stocks* e diques alcalinos, ambos do Cretáceo Superior. Bellieni et al. (1990) apresentam um estudo geoquímico e petrológico das rochas intrusivas da ilha, indicando (1) que os diques do Cretáceo Inferior apresentam caráter bimodal ácido-básico que se assemelha àquele encontrado no magmatismo básico da Bacia do Paraná; e (2) que os diques mais ácidos apresentam composição semelhante a das vulcânicas ácidas encontradas na mesma bacia. Logo, nota-se uma cogeneticidade entre tais eventos magmáticos. Focando mais o estudo dos diques na região adjacente ao Canal de São Sebastião, Garda e Schorscher (1996) apresentam análises petrográficas e geoquímicas dos mesmos, classificando-os como diques máficos de composição básica a intermediária, lamprófiros e traquitos. Além dos litotipos mencionados acima, foram descritas também ocorrências de intrusões máfico-ultramáficas estratiformes (LIMA, 2001, AUGUSTO, 2003, PABST, 2014), indicando uma maior complexidade na história geológica da ilha.

2.4.2 Geologia regional

A Ilha de São Sebastião tem sua gênese relacionada a um evento magmático alcalino associado à abertura do oceano Atlântico Sul durante a Era Mesozoica. Porém, o embasamento que aloja as intrusões alcalinas mostra evolução geológica consideravelmente mais antiga, datando do Pré-cambriano. O território da ilha se encontra inserido na Província Mantiqueira, uma das províncias estruturais brasileiras originalmente descritas por Almeida (1977) e posteriormente por Schobbenhaus e Brito Neves (2003). Tal província representa um sistema orogênico neoproterozoico que resultou na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental, durante o Ciclo Brasileiro-Pan Africano. A Província Mantiqueira foi inicialmente

compartimentada por Almeida e Hasui (1984), e sofreu modificações com o avanço do conhecimento geológico e geocronológico. Segundo Hasui (2012), a mesma se divide em três cinturões orogênicos: Araçuaí na porção setentrional, Ribeira na porção central e Tijucas na porção meridional (Figura 2). A Ilha de São Sebastião faz parte do compartimento Ribeira, como pode ser observado na Figura 2.

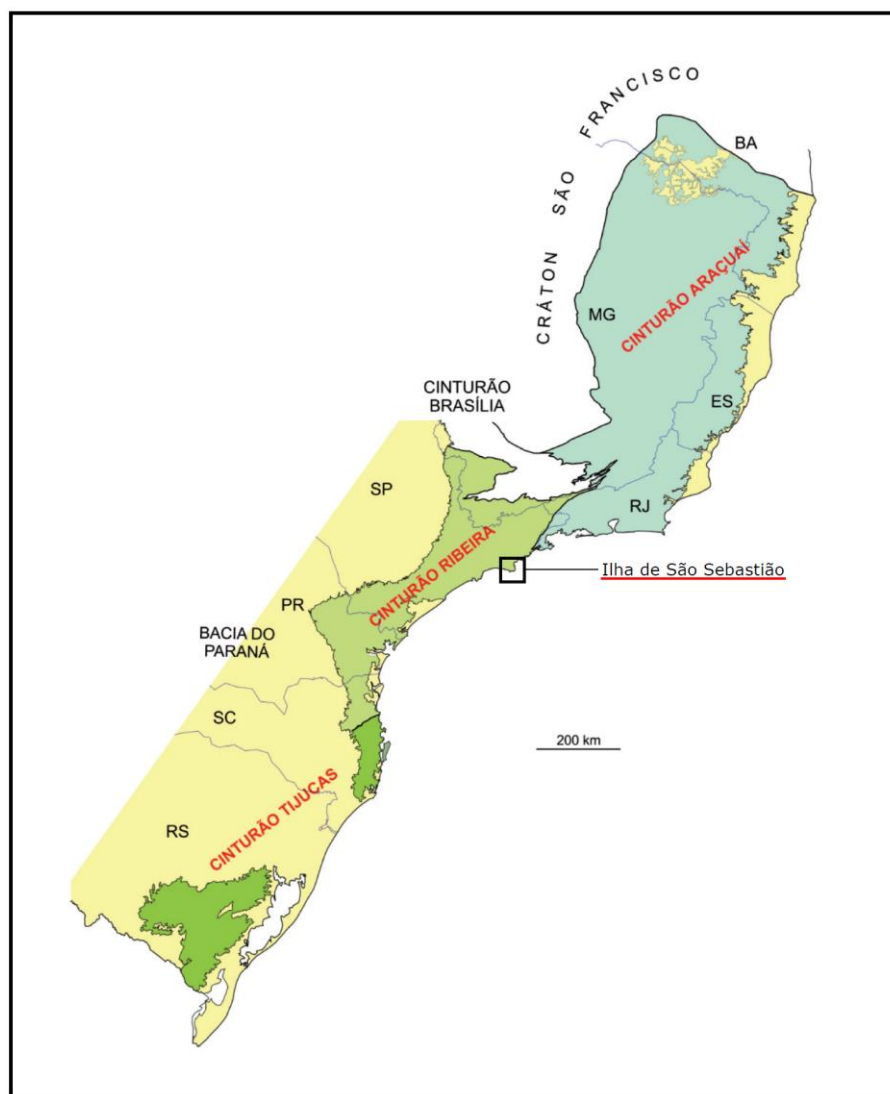


Figura 2 - Compartimentação da Província Mantiqueira, segundo Hasui (2012).

O Cinturão Ribeira, por sua vez, é considerado um sistema orogênico acrescionário-colisional, de orientação geral nordeste, relacionado com a colisão entre os crátons Paranapanema, São Francisco, Luís Alves e Congo (CAMPANHA E SADOWSKI, 1999; HEILBRON et al., 2004). É, portanto, uma assembleia de terrenos amalgamados, que nos estágios tardios de orogênese foi particionado por um sistema de cisalhamento transcorrente de

escala crustal, de direção paralela ao orógeno (CAMPANHA E BRITO NEVES, 2004, FALEIROS et al., 2010, 2011). Hasui (2012) apresenta uma divisão do Cinturão Ribeira entre diferentes domínios, de acordo com suas evoluções tectono-estratigráficas e metamórficas (Figura 3). Dentre eles, a Ilha de São Sebastião se insere no Domínio Costeiro.

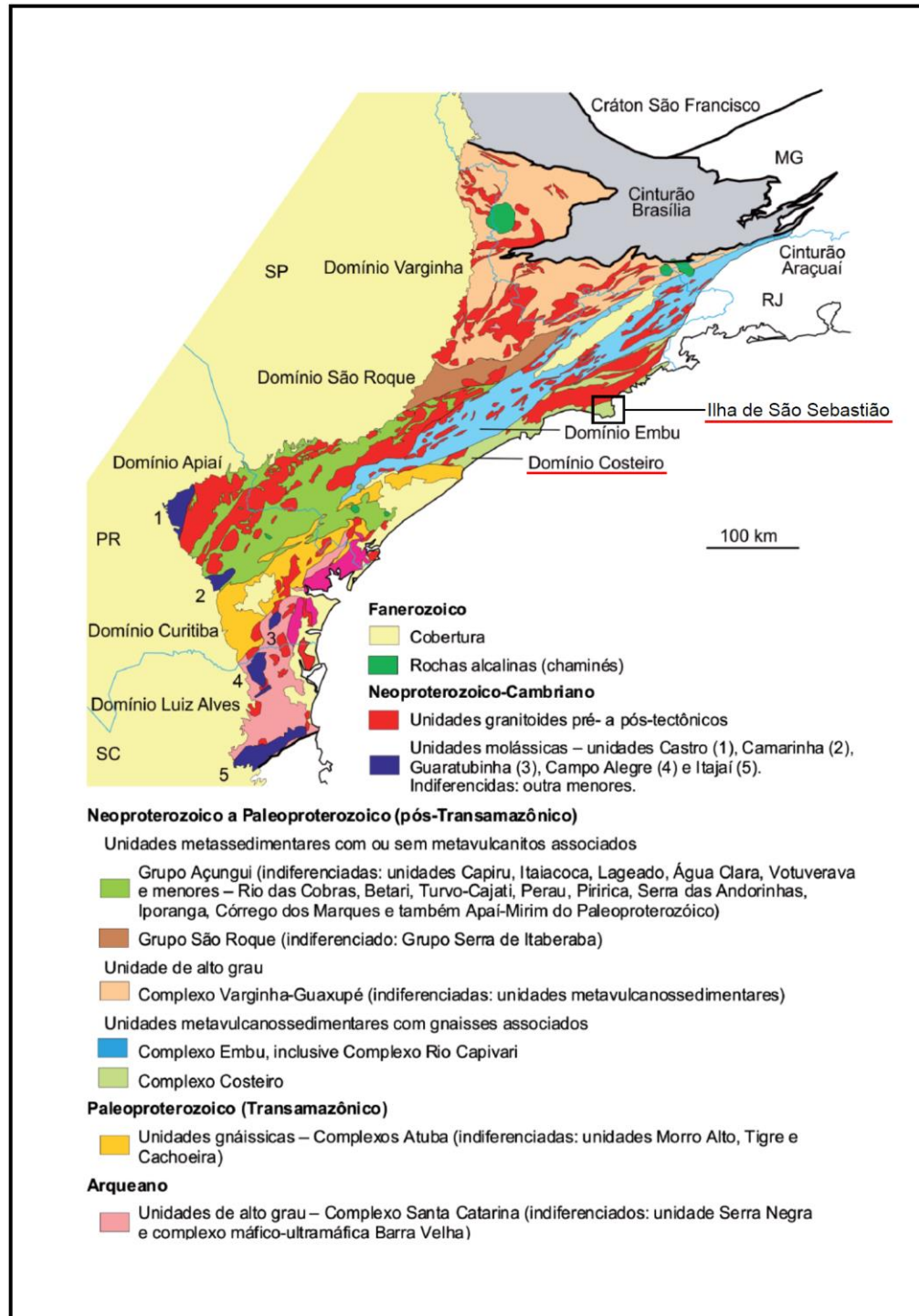


Figura 3 - Compartimentação do Cinturão Ribeira, segundo Hasui (2012).

O Domínio Costeiro é formado principalmente por rochas metamórficas de alto grau e granitos intensamente deformados, apresentando assim três conjuntos litológicos distintos: rochas gnáissico-migmatíticas, rochas paraderivadas e rochas granulíticas (CHIODI et al., 1983). Quanto à estruturação da região, predominam estruturas relacionadas às zonas de cisalhamento de direção nordeste geradas durante os estágios finais da orogênese neoproterozoica do Cinturão Ribeira. Dada a intensidade com qual os esforços cisalhantes afetaram a área, uma xistosidade penetrativa de direção nordeste é observada nos litotipos ali presentes. Segundo Tassinari (1988), as rochas metamórficas do Domínio Costeiro apresentam idades Rb-Sr entre 650 e 600 Ma.

Posteriormente aos eventos compressivos e transcorrentes descritos acima, durante o Mesozoico, a área em questão foi afetada pelo evento distensivo responsável pela abertura do oceano Atlântico Sul. Associado a tal evento, ocorreu o soerguimento da região, juntamente com fraturamento crustal e intenso magmatismo. Esse magmatismo se expressa em dois eventos de idades e caráter distintos, segundo Hennies e Hasui (1977) e Bellieni et al. (1990). O mais antigo data do Cretáceo Inferior, e é representado pela ocorrência de soleiras e diques subalcalinos básicos a ácidos, contemporâneos aos derrames da Bacia do Paraná. Já o mais recente, data Cretáceo Superior (cerca de 80 Ma), e é representado pela presença de *stocks* e diques alcalinos. Tais *stocks* são associados à formação da Ilha de São Sebastião durante o Cenozoico, uma vez que os mesmos proporcionaram resistência ao recuo erosivo responsável pela posição atual da escarpa da Serra do Mar. Esse modelo de gênese da ilha é deduzido por Almeida e Carneiro (1998), que propõem que a Serra do Mar é produto de um evento tectônico iniciado no Paleoceno, responsável pelo soerguimento do bloco ocidental da Falha de Santos e abatimento do oriental. No decorrer de três a quatro dezenas de milhões de anos, a erosão teria feito recuar as encostas da serra até sua posição atual (Figura 4).

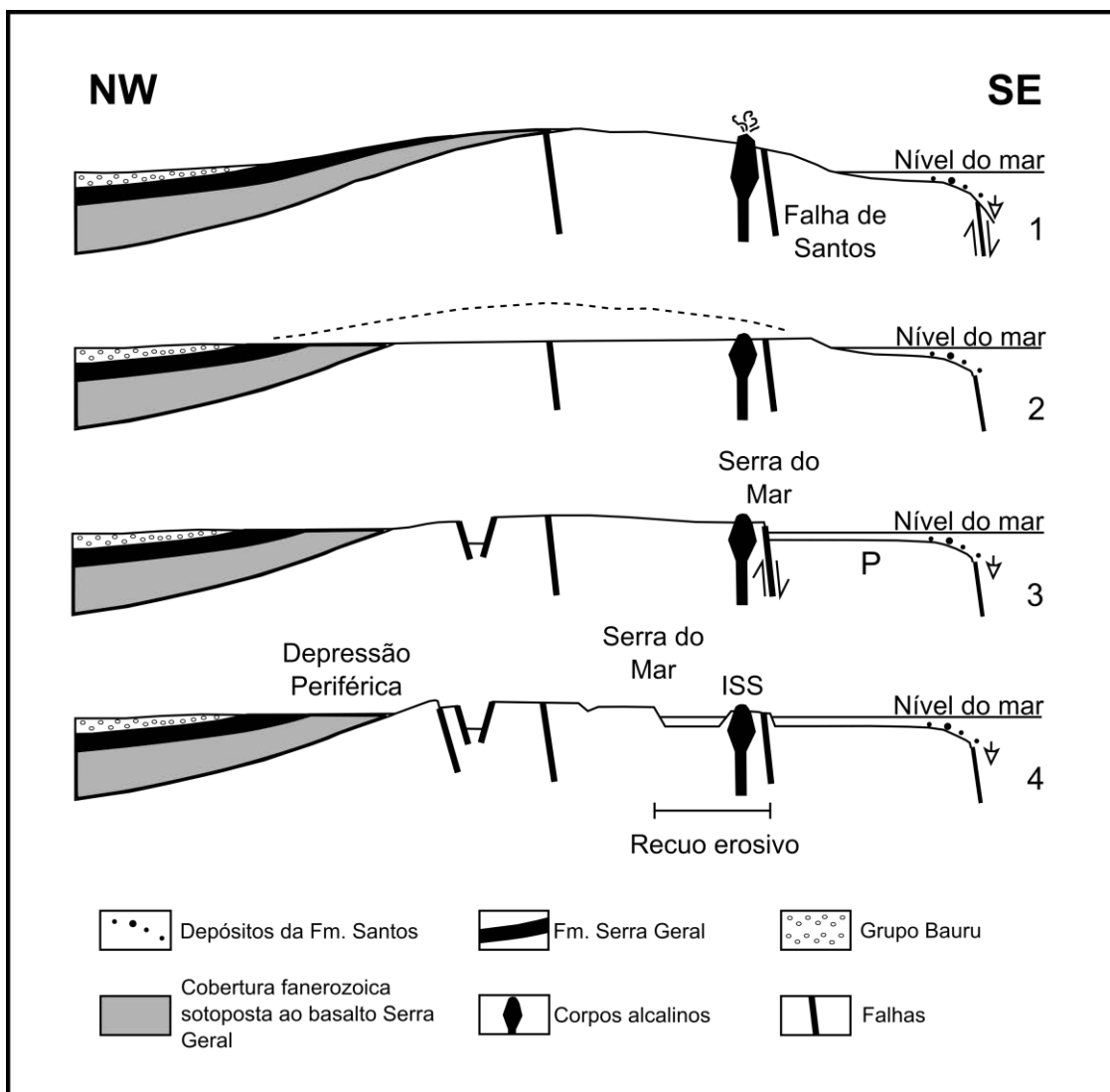


Figura 4 - Esquema da origem e recuo da Serra do Mar na região entre a Bacia do Paraná (NW) e a Bacia de Santos (SE), segundo Almeida e Carneiro (1998). Estágios: 1. Soerguimento senoniano erodido e consequente deposição nas bacias de Santos (Formação Santos) e do Paraná (Grupo Bauru). 2. Desenvolvimento da superfície de aplainamento Japi no final do Senoniano. 3. Deformação da Superfície Japi no Paleoceno. Surge a Serra do Mar na Falha de Santos e o sistema de grábens continentais. A plataforma continental (P) começa a se desenvolver na costa. 4. Recuo erosivo da Serra do Mar para sua posição atual. Intrusões alcalinas sustentam a Ilha de São Sebastião (ISS).

2.4.3 Geologia local

De modo geral, na Ilha de São Sebastião ocorrem rochas metamórficas pré-cambrianas, intrusões ígneas mesozoicas e depósitos sedimentares recentes. A Figura 5 mostra um mapa geológico simplificado da área, adaptado de Hennies e Hasui (1977).

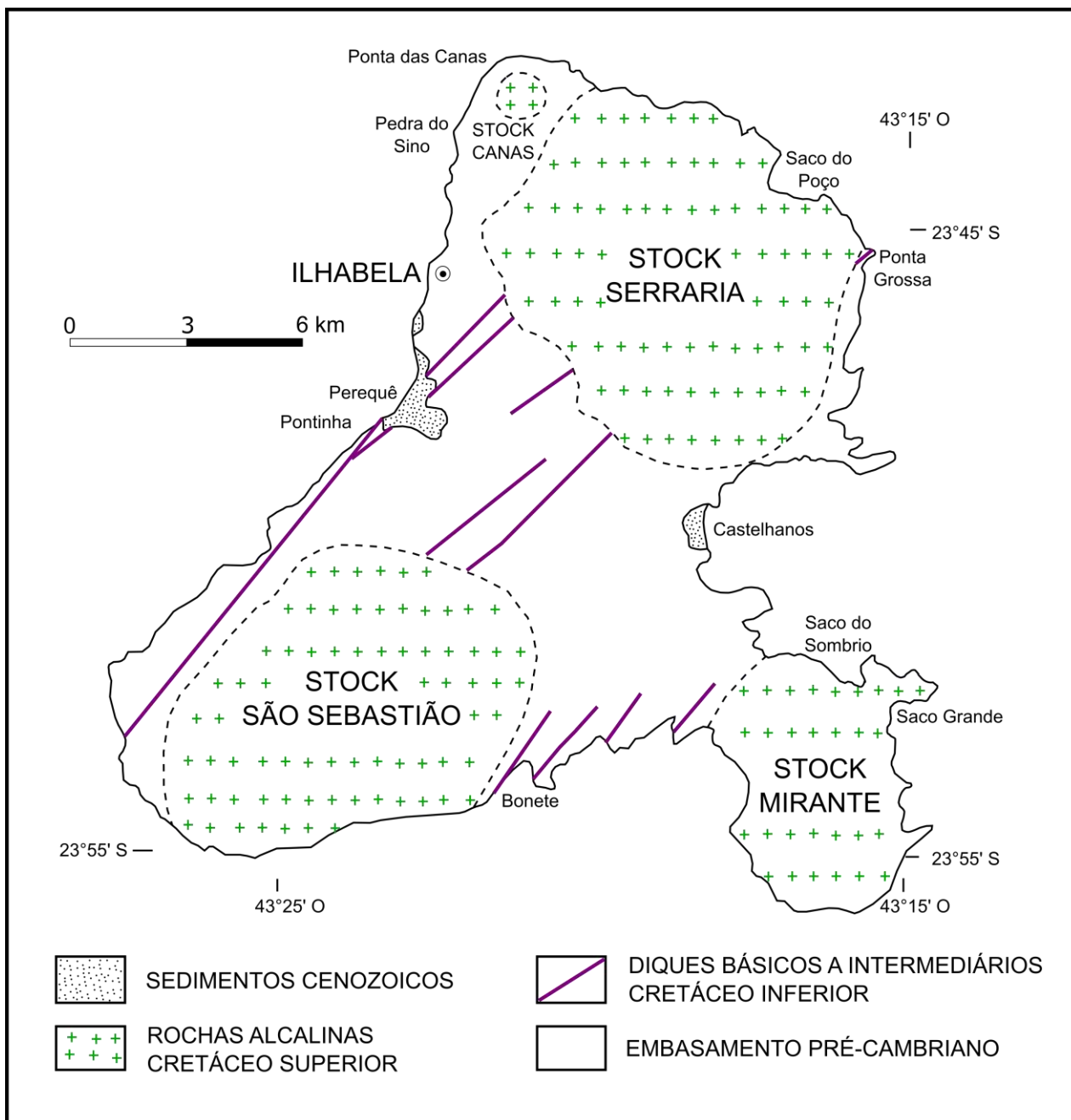


Figura 5 - Mapa geológico simplificado da Ilha de São Sebastião, adaptado de Hennies e Hasui (1977).

As rochas pré-cambrianas pertencem ao Domínio Costeiro e são constituídas principalmente de gnaisses, migmatitos, metagranitoides diversos e possíveis charnockitos. Suas idades ainda são discutidas, sendo consideradas arqueanas (FREITAS, 1947; ALMEIDA et al., 1981), pré-cambrianas médias a superiores (SILVA et al., 1977), e pré-cambrianas

indiferenciadas (HASUI et al., 1984). Os gnaisses se apresentam como (1) graníticos subequigranulares, (2) félsico- máficos bandados e (3) graníticos facoidais, sendo os últimos mais frequentes (FREITAS, 1947). Associados aos gnaisses subequigranulares e bandados, ocorrem mobilizados pegmatoides, veios ptigmáticos, transições para migmatitos e lentes de anfibolito e hornblenda gnaisse concordantes com a foliação (LIMA, 2001). Os metagranitoides, por sua vez, ocorrem como corpos que atingem dimensões quilométricas, apresentando fenocristais centimétricos de feldspato alcalino orientados segundo a foliação regional. São descritos ainda intrusões menores de leucogranitos sub a equigranulares médios a grossos, e diques de granodioritos equigranulares finos a médios, também metamórficos e deformados segundo a foliação regional (LIMA, 2001). Possíveis charnockitos, representados por rochas graníticas esverdeadas de granulação média a grossa e estrutura maciça a foliada, são descritos como ocorrências menores desde a região de Pontinha até a Praia do Bonete. Seguindo a estruturação regional do Complexo Costeiro, os litotipos descritos acima apresentam foliação de direção nordeste e, no caso da Ilha de São Sebastião, com mergulhos de alto ângulo principalmente para noroeste. Ainda seguindo essa direção de foliação são descritos veios de quartzo deformados e zonas de cisalhamento.

As intrusões ígneas mesozoicas envolvem diferentes litotipos, desde rochas ultramáficas até hololeucocráticas, de composição ultrabásica, básica, intermediária e alcalina, que ocorrem na forma de diques e *stocks* (FREITAS, 1947; HENNIES E HASUI, 1977; SILVA et al., 1977; BELLINI et al. 1990). Lima (2001) reconhece três estágios magmáticos principais: (1) magmatismo vulcânico inicial que data do Cretáceo Inferior, (2) plutonismo principal que data do Cretáceo Superior, e (3) magmatismo hipoabissal e subvulcânico final que também data do Cretáceo Superior.

O magmatismo vulcânico inicial (1) envolve a maioria dos diques presentes na ilha, intrudidos no complexo pré-cambriano. Estes são representados principalmente por diabásios e andesitos, e apresentam orientação subparalela à foliação do embasamento (direção nordeste com caimento subvertical a vertical principalmente para noroeste). Idades K-Ar de diques correlatos presentes na costa continental adjacente variam de 120 a 144 Ma (AMARAL et al., 1966; BELLINI et al. 1990; GARDA, 1995).

O plutonismo principal (2) é representado pelos três maiores *stocks* alcalinos, denominados São Sebastião, Serraria e Mirante. As principais rochas ali presentes são sienitos

com feldspatoides (pulaskitos), saturados, e com quartzo (nordmarkitos); nefelina sienitos (tinguaitos) e álcali-feldspato sienitos. Todos esses sienitos se apresentam como rochas leucocráticas a hololeucocráticas, de granulação grossa, coloração cinza clara a branca, e estrutura que varia de maciça a acamadada. As idades dos *stocks* foram calculadas por Amaral et al. (1967), Hennies e Hasui (1968) e Montes-Lauar (1993), e variam de 80 a 85 Ma. Ocorrem também na ilha raros gabros, dioritos, piroxenitos e equivalentes alcalinos (FREITAS, 1947). Exemplos dessas ocorrências são descritas na Ponta do Pacuíba, Pedra do Sino e no *stock* das Canas, onde se encontram essexitos, ijolitos e gabros nefeliníticos (HENNIES E HASSUI, 1977). Foram calculadas idades K-Ar de 96,7 Ma para um essexito da Pedra do Sino (AMARAL et al., 1967) e de $85,9 \pm 5,8$ Ma para um gabro rolado do *stock* das Canas (HENNIES E HASUI, 1968).

Finalmente, o magmatismo hipoabissal a subvulcânico final (3) é representado por diques, veios e intrusões menores que cortam os *stocks* do magmatismo principal. São predominantemente de composição alcalina, e variam de rochas hololeucocráticas a ultramáficas. Suas texturas também são variáveis: ocorrem como rochas afaníticas, faneríticas finas a médias e grossas pegmatoides. Os principais litotipos descritos são piroxenitos, teschenitos, micro-gabros, micro-sienitos diversos, fonolitos, diabásios e traquitos (LIMA, 2001). As idades dessas rochas também segue esse caráter variado, mostrando um intervalo entre 55 e 81 Ma (HENNIES E HASUI, 1968; MONTES-LUAR, 1993; GARDA, 1995). Dada tamanha variação em diversos aspectos relacionados a esse grupo de rochas, é estimado que vários eventos magmáticos, não necessariamente relacionados geneticamente entre si, foram responsáveis pela sua geração (LIMA, 2001).

Cabe também mencionar a existência de depósitos sedimentares recentes ligados à dinâmica superficial atuante na ilha. Como exemplo, destacam-se depósitos ligados às encostas, vales fluviais e à orla marítima (HENNIES E HASUI, 1977). Tais depósitos são compostos por sedimentos de variada granulometria, de acordo com o processo gerador. É de destaque a contribuição de sedimentos derivados das intrusivas mesozoicas.

2.5 Geomorfologia

Um dos principais fatores que definem o relevo atual da Ilha de São Sebastião é o contraste entre os tipos litológicos que compõem a área. Partindo primeiramente de um contexto mais regional, a ilha se insere, segundo Almeida (1964), nas zonas da Serrania Costeira e Baixas Litorâneas no compartimento da Província Costeira. Tal compartimento é caracterizado por um

grande bloco de morros escalonados, com pequenas praias e planícies costeiras associadas aos seus contornos mais proeminentes. Já num contexto mais local, o Plano de Manejo do Parque Estadual de Ilhabela (FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015), define os seguintes compartimentos de relevo presentes no arquipélago: praias arenosas, planícies flúvio-marinhas, colinas médias, morros, montanhas, corpos de tálus e cones de dejeção, e afloramentos rochosos (Figura 6).

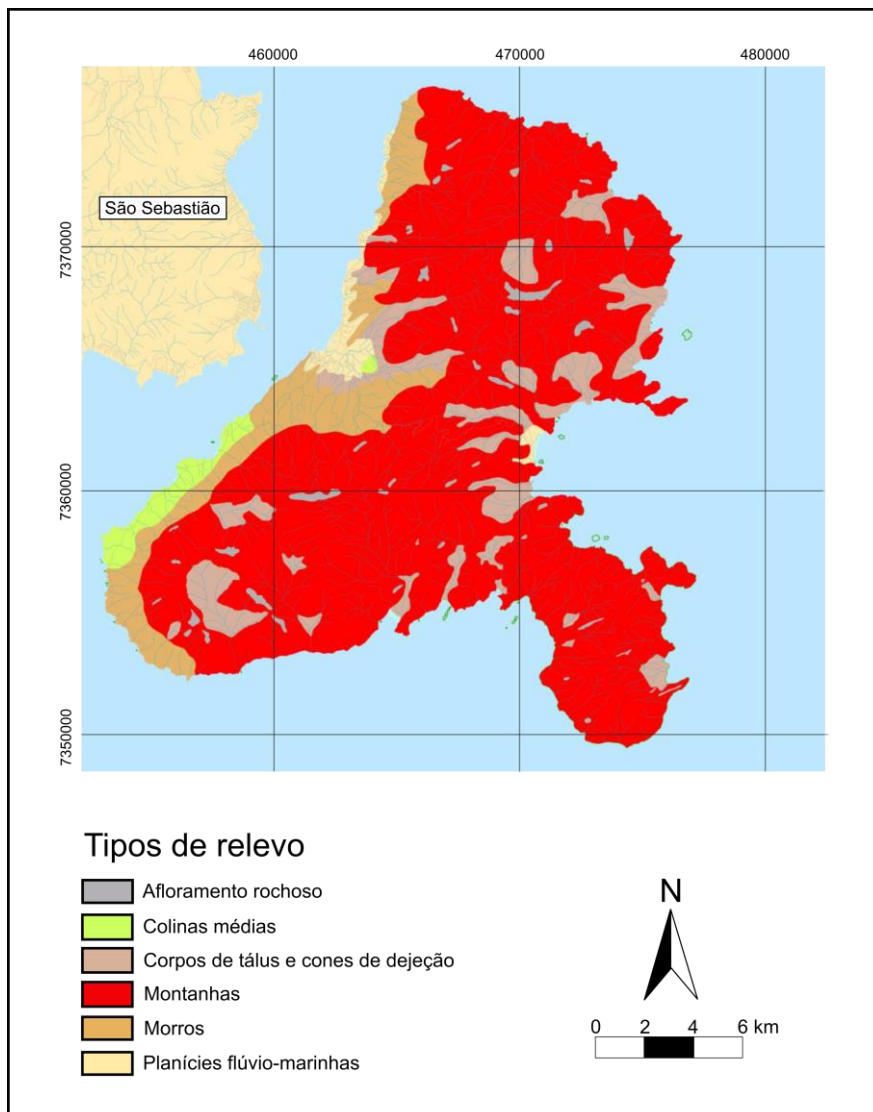


Figura 6 - Mapa dos tipos de relevo da Ilha de São Sebastião, segundo Fundação Florestal do estado de São Paulo (2015).

Como é possível observar no mapa da Figura 6, o relevo do tipo montanhas ocupa a maior parte do território da Ilha de São Sebastião. Tal compartimento é caracterizado pelas altitudes

mais elevadas da ilha, alcançando 1.375 m no Pico de São Sebastião. Outras de suas características são os topos estreitos agudos, predomínio de declividades superiores a 30% e a formação de costões rochosos abruptos quando este encontra o mar. Nas porções mais altas, associam-se a esse tipo de relevo os *stocks* de rochas alcalinas enquanto que as porções mais baixas são sustentadas por rochas granito-gnáissicas do embasamento.

Os compartimentos de morros e colinas médias, por sua vez, representam um relevo mais baixo e suave em comparação ao anterior. Eles mostram formas arredondadas e subniveladas, com altitudes que chegam até 100 m no caso das colinas, e 350 m no caso dos morros. Possuem topos médios e convexos, sendo que as colinas apresentam declividade inferior a 15% enquanto que os morros possuem declividade inferior a 30%. Tais compartimentos se associam as rochas granito-gnáissicas do embasamento cristalino. Os diques de composição básica e intermediária que são objetos de estudo do presente trabalho se encontram intrudidos nesses compartimentos de relevo, e formam tanto cristas alongadas quando encaixes de drenagens.

No interior dos compartimentos de montanhas e morros ocorrem os relevos dos tipos corpos de tálus e cones de dejeção associados a grandes escarpamentos e anfiteatros. Sua morfologia varia de rampas de deposição subhorizontais e/ou côncavas no fundo de vales a leques associados a áreas mais planas. São constituídos de matacões, blocos e seixos polimíticos, angulosos a subarredondados, semi-alterados a alterados imersos em matriz areno-argilosa, arenosa ou argilosa. Nos cones de dejeção são descritas intercalações de areias médias e grossas, além de níveis de seixos orientados.

Os compartimentos das praias arenosas e das planícies flúvio-marinhas representam os terrenos mais baixos e planos da ilha. Apresentam altitudes máximas de 20 m no caso das praias e de 5 m no caso das planícies, e suas inclinações não superam 5%. As praias arenosas são constituídas de areias quartzosas marinhas com restos de conchas, enquanto que as planícies flúvio-marinhas se constituem de areias quartzosas finas, micáceas, com restos de conchas intercaladas a camadas de argilas e areia média a grossa.

Finalmente, os afloramentos rochosos representam domínios sem zona de ocorrência específica, ocorrendo normalmente no topo de montanhas mais aguçadas e em encostas de elevada inclinação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tal como estabelecido anteriormente, o objetivo do presente estudo é identificar quais fatores são responsáveis pelas feições de relevo associadas aos diques básicos e intermediários presentes na Ilha de São Sebastião. Para que esse objetivo possa ser alcançado, é necessário o conhecimento de como se dá a geração de diferentes formas de relevo em uma determinada área da superfície terrestre. No caso específico do presente estudo, busca-se saber quais características tanto das rochas, quanto do ambiente no qual elas estão presentes são decisivos na suscetibilidade aos processos superficiais, e, portanto na geração das formas positivas e negativas de relevo associadas aos diques. É, portanto apresentada a seguir uma revisão a respeito do tema, que servirá como base teórica para o estudo. Tal fundamentação foi escrita com base em livros-texto que tratam do tema, tais quais e Press et al. (2006) e Huggett (2007).

3.1 O dinamismo da Terra

O planeta Terra é um sistema dinâmico e se encontra em constante modificação. De modo geral, o relevo é resultado da interação entre processos de dinâmica interna e externa do planeta. Processos de dinâmica interna (endógenos) possuem como fonte de energia o calor interno da Terra, que é produto tanto do decaimento de isótopos radioativos presentes principalmente na crosta continental, quanto do calor remanescente da época da formação do planeta. Vulcanismo e tectonismo são os principais processos endógenos, e é reconhecido que os mesmos agem no sentido de “construir”, ou seja, gerar o material que constitui a superfície terrestre. O vulcanismo atua como mecanismo de transferência de matéria e energia da porção interna do planeta para a porção externa. Em zonas de vulcanismo, ocorre a intensa geração de magma que virá a constituir as rochas que formam a crosta terrestre. Também associado a essas zonas, ocorrem soerguimentos da crosta em função da elevação do grau geotérmico da mesma. Soerguimento e vulcanismo se associam também ao tectonismo, o outro processo de dinâmica interna do planeta. A porção superficial da Terra é constituída de placas rígidas, denominadas placas litosféricas ou tectônicas, que interagem entre si modificando a superfície do planeta. Processos como a orogênese servem de exemplo de como ocorre o crescimento da crosta continental, seja pela geração de magma associada ou pela acreção e colisão continental.

Dentro da dinâmica do planeta, do mesmo modo que existem processos de “construção”, também existem os de “destruição”. Estes são os processos de dinâmica externa, denominados

exógenos. Os mesmos apresentam como fonte principal de energia a radiação solar, e agem de modo a decompor e remobilizar o material que forma a superfície terrestre. Os processos de intemperismo envolvem a decomposição da rocha, enquanto que a erosão transporta tal material decomposto, depositando-o em diferentes localizações. Logo, a dinâmica superficial age de modo a moldar a superfície terrestre, buscando uma relação de equilíbrio com a dinâmica interna do planeta.

Os processos endógenos associados à geração da Ilha de São Sebastião envolvem o tectonismo responsável pela abertura do oceano Atlântico Sul, assim como o magmatismo e soerguimento associados. O relevo atual da ilha é resultado da interação entre esses processos e os processos de intemperismo e erosão, atuantes desde a época de sua geração. As diferentes formas de relevo descritas na ilha são resultados diretos da atuação do intemperismo nas rochas formadoras ali presentes, uma vez que é necessário que as rochas sejam decompostas para que os processos de erosão possam remobilizar o material gerado. No caso específico dos diques, determinados fatores fizeram com que o intemperismo e consequente erosão fossem mais intensos nos diques associados às formas negativas do relevo, enquanto que os diques associados às formas positivas resistiram melhor a tais processos. Dada a importância do intemperismo para o entendimento da problemática levantada pelo presente estudo, é apresentada a seguir uma rápida revisão do tema.

3.2 Intemperismo

O intemperismo envolve o desarranjo das rochas por meio de desintegração mecânica e decomposição química. Ele ocorre quando as mesmas são expostas às condições superficiais, de baixas temperaturas e pressões, onde estão sujeitas à ação do ar atmosférico, da água e de organismos. O intemperismo gera diversos produtos de alteração, que podem ser classificados entre sólidos (fragmentos de rocha de granulometria variada, além de minerais neoformados), solutos (partículas com menos de 1 nm de diâmetro que existem em solução molecular) e coloides (partículas orgânicas e minerais com diâmetro variando de 1 a 100 nm). Como já mencionado, o intemperismo pode ocorrer por meio da desintegração mecânica ou da decomposição química, podendo assim ser subdividido entre intemperismo mecânico e intemperismo físico.

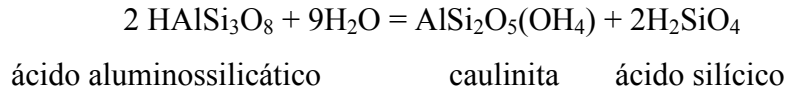
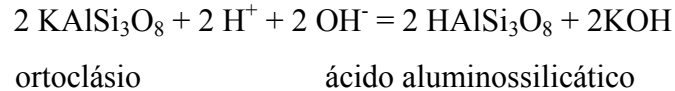
O intemperismo mecânico envolve processos que reduzem progressivamente a granulometria das rochas simplesmente por ação mecânica, não ocorrendo mudança na

composição química das mesmas. Esse tipo de intemperismo ocorre por processos tais quais o alívio de carga (geração de espaços vazios na rocha associada a um alívio da pressão confinante), o congelamento (desintegração da rocha associada à tensão causada pelo aumento de volume da água sob congelamento), a mudança constante de temperatura (causa um efeito de fadiga na rocha, fazendo com que a mesma se torne mais frágil), a molhagem e secagem das rochas (efeito de fadiga associado à expansão e contração de argilominerais), e o crescimento de cristais de sal (desintegração da rocha associada à cristalização de sais a partir de soluções salinas). É importante notar que a fragmentação provocada pelo intemperismo mecânico aumenta a área de superfície das rochas, tornando-as mais suscetíveis à ação do intemperismo químico.

O intemperismo químico, por sua vez, envolve a dissolução de minerais primários, assim como sua transformação em minerais secundários juntamente com a acumulação de material residual. Esse tipo de intemperismo envolve reações químicas, dentre as quais se destacam: (1) dissolução, (2) hidratação, (3) oxidação e redução, (4) hidrólise, e (5) quelação.

A dissolução (1) é a dissociação de moléculas pela ação da água, gerando assim cátions e ânions. É na verdade um processo mecânico, porém é tratado como químico por ocorrer juntamente com outros processos do intemperismo químico. A solubilidade dos minerais é variável de acordo com suas propriedades e com o pH do solvente. Já a hidratação (2) ocorre quando os minerais absorvem moléculas de água em suas bordas e superfícies sem mudar sua composição química, fazendo com que eles aumentem de volume. Este é o caso da anidrita que, ao ser hidratada, aumenta de volume e se torna gipsita. A oxidação e redução (3) envolvem reações de troca de elétrons. A oxidação ocorre quando um átomo ou íon perde um elétron, aumentando sua carga positiva, enquanto que a redução envolve o ganho de um elétron, aumentando a carga negativa. Tal transferência de elétrons pode afetar a neutralidade elétrica dos minerais, tornando-os mais suscetíveis a decomposição. A hidrólise (4) é o principal processo de intemperismo químico e pode decompor completamente ou modificar drasticamente minerais suscetíveis a ela. Nessa reação, a água se dissocia entre cátions de hidrogênio (H^+) e hidroxila (OH^-) e reage diretamente com minerais silicáticos. O hidrogênio é trocado por um cátion metálico do mineral, comumente potássio, sódio, cálcio ou magnésio. Esse cátion metálico se combina então com a hidroxila. O ácido aluminossilicático gerado pela combinação do hidrogênio com o mineral silicático então reage com a água produzindo um argilomineral e ácido

silícico, que deixa o sistema por ser solúvel. Como exemplo, segue as reações de hidrólise do mineral ortoclásio:



Reações de hidrólise podem ser completas ou parciais. As completas são denominadas reações de alitização enquanto que as parciais podem ser reações de monossilitização (que geram argilas 1:1) ou de bissialitização (que geram argilas 2:1 e 2:2). Finalmente, o processo de quelação (5) envolve a remoção de íons metálicos (alumínio, ferro e magnésio) de sólidos pela atração com ácidos orgânicos (ácidos fúlvicos e húmicos) gerados pela decomposição de matéria orgânica.

Existe uma terceira categoria de intemperismo, o biológico, que envolve tanto processos mecânicos quanto químicos, causados pela ação de organismos. Como exemplos, citam-se a ação mecânica de raízes que fraturam as rochas, e a existência de certas bactérias que podem alterar quimicamente os minerais.

3.3 Fatores que controlam o intemperismo

Agora que os processos de intemperismo já foram revisados, é necessário expor quais fatores controlam sua intensidade. Estes são: (1) fatores inerentes à rocha, (2) clima, (3) relevo associado, (4) vegetação e (5) tempo de exposição.

Os fatores inerentes à rocha (1) que controlam a intensidade do intemperismo envolvem principalmente sua composição mineralógica, textura e estrutura. Diferentes minerais são cristalizados sob diferentes condições de temperatura, pressão e disponibilidade de elementos químicos. Durante o intemperismo, minerais são dissolvidos e recrystalizados em função de sua exposição a condições ambientais diferentes daquelas de sua formação, buscando assim atingir uma forma mais estável nas condições atuais. Logo, é de se esperar que, quanto mais distintas forem as condições de formação e de intemperismo, mais rápido o mineral será decomposto. Tal fato pode ser observado ao se analisar a sequência de cristalização de magmas, mostrada pelas Séries de Bowen (Figura 7). Os primeiros minerais a serem cristalizados, tais quais olivinas e

piroxênios, foram formados a elevadas temperaturas e pressões e, portanto são decompostos mais facilmente nas condições superficiais do planeta. Já minerais como o quartzo, que se forma em condições brandas de temperatura e pressão, mostra-se um dos mais resistentes aos processos intempéricos. Existem, no entanto, minerais formados na superfície do planeta que são mais suscetíveis ao intemperismo, tais quais carbonatos e cloretos. Tal suscetibilidade maior se dá em função de suas estabilidades químicas baixas no ambiente superficial do planeta, apresentando assim alta solubilidade e alta taxa de dissolução. A Figura 8 mostra a estabilidade relativa dos minerais formadores de rocha mais comuns.

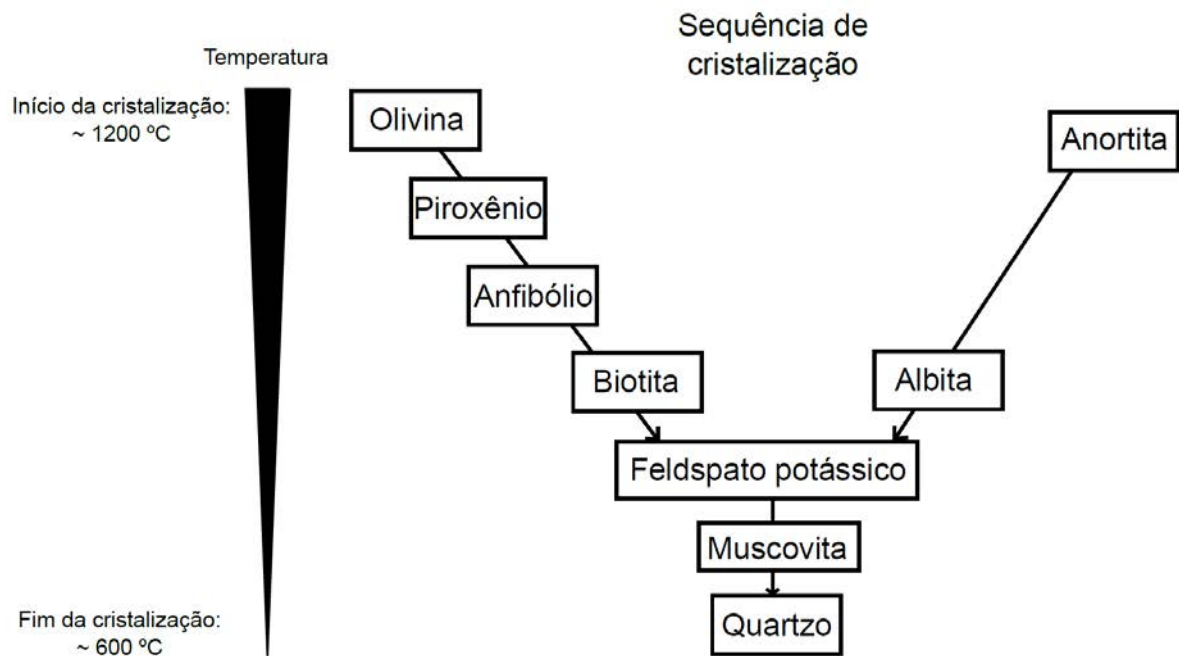


Figura 7 - Sequência de cristalização de minerais comuns em uma magma sob resfriamento, segundo Bowen.

Estabilidade dos minerais	Taxa de alteração
MAIS ESTÁVEL Óxidos de ferro (hematita) Hidróxidos de alumínio (gibbsita) Quartzo Argilominerais Muscovita Feldspato potássico (ortoclásio) Biotita Feldspato sódico (albita) Anfibólios Piroxênios Feldspato cálcico Olivina Calcita Halita MENOS ESTÁVEL	Mais lenta  Mais rápida

Figura 8 - Estabilidade relativa dos minerais formadores de rocha mais comuns, segundo Press et al. (2006).

A textura e a estrutura da rocha, por sua vez, influenciam facilitando ou dificultando a infiltração de água na mesma. Como já visto anteriormente, a água é o principal agente do intemperismo químico, e quanto maior a área de superfície do material, mais rapidamente este será decomposto. Estruturas tais como foliação, fraturas, acamamento, estratificações, entre outras, são superfícies que facilitam a entrada de água na rocha, aumentando sua porosidade. Logo, quanto mais poroso o material, mais suscetível ele será ao intemperismo. Rochas isotrópicas, tais quais granitos se mostram, portanto mais resistentes do que as anisotrópicas, tais quais rochas gnáissicas.

O clima (2) é outro importante fator que controla a intensidade do intemperismo, em uma escala mais regional. Os principais aspectos relacionados ao clima que influenciam na decomposição das rochas são a temperatura e a pluviosidade. A temperatura age no sentido de

aumentar a velocidade de reações químicas. Segundo Van't Hoff (1887 apud HUGGET 2007, p. 159), um incremento de 10°C na temperatura aumenta a velocidade das reações de 2 a 3 vezes. Como visto anteriormente, o intemperismo químico depende da ocorrência de reações químicas, logo, quanto maior a temperatura do ambiente, maior será a velocidade das reações e maior a intensidade de intemperismo. Já a pluviosidade age disponibilizando a água, que é um dos principais agentes do intemperismo químico. Nota-se, portanto que em climas quentes e úmidos a intensidade do intemperismo químico é maior.

O relevo associado às rochas (3) também se apresenta como fator que influencia na intensidade do intemperismo. Em encostas mais íngremes, a maior parte da água proveniente da chuva não consegue infiltrar na superfície do terreno, e acaba por escoar. Logo, a ação do intemperismo químico nessas áreas é restrita. Por outro lado, em áreas planas ou de declive menor, uma maior quantidade de água da chuva consegue infiltrar no terreno e, portanto o intemperismo químico pode agir com maior intensidade. Nessas áreas mais planas, o perfil de solo é mais espesso e tal fato contribui para aumentar a intensidade do intemperismo, uma vez que o solo consegue reter calor e umidade, além de propiciar atividade orgânica que contribui na decomposição da rocha.

A presença de vegetação (4) contribui para o intemperismo retendo calor e umidade, ao mesmo tempo em que gera matéria orgânica para a produção de ácidos húmicos e fúlvicos. Como apresentado anteriormente, tais ácidos intensificam a ação do intemperismo químico. Um fato interessante relacionado à presença da vegetação é que, ao mesmo tempo em que a mesma contribui para uma maior intensidade de intemperismo, ela também restringe os processos de erosão, fazendo com que o produto do intemperismo seja retido no seu local de formação.

Finalmente, o tempo de exposição (5) das rochas às condições superficiais é determinante na intensidade do intemperismo que a mesma apresenta. Logicamente, quanto maior o tempo de exposição do material, maior a intensidade do intemperismo que o afeta. Como exemplo, destacam-se grande parte dos territórios do Brasil e da Austrália, que são cobertos por espessas coberturas superficiais produtos do intemperismo. Tais porções da superfície terrestre foram expostas a condições climáticas quentes e relativamente úmidas por milhares de anos, associadas a um contexto tectônico estável.

4 ETAPAS DE TRABALHO

4.1 Levantamento bibliográfico

Esta etapa consistiu na busca, dentro da literatura especializada, de trabalhos considerados importantes para a contextualização da Ilha de São Sebastião dentro da temática de estudo. Nesse sentido, foram consultados trabalhos científicos que abordam a geologia e a geomorfologia da ilha, em ambos os contextos regional e local. Foi necessário também o levantamento de estudos mais específicos à temática do trabalho, referentes à evolução do relevo, ao intemperismo e aos fatores que controlam sua intensidade. Como o presente estudo envolveu trabalhos de campo e de fotogeologia, foi necessário realizar também um levantamento cartográfico e de fotografias aéreas. Como base cartográfica, foram utilizadas as folhas topográficas Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1) e São Sebastião (SF-23-Y-D-VI-3), na escala 1:50.000, pertencentes ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Já as fotografias aéreas foram cedidas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA (EMPLASA). As mesmas são do ano de 2011, e foram utilizadas na escala 1:20.000.

4.2 Fotogeologia

Esta etapa teve como objetivo principal, através da análise e interpretação de fotografias aéreas adquiridas na etapa anterior, a identificação das feições de relevo associadas aos diques objetos de estudo do presente trabalho. A partir da identificação de tais feições, foram escolhidos pontos para serem analisados durante os trabalhos de campo. Previamente à seleção desses pontos, foi realizada uma compartimentação fisiográfica da ilha, com o objetivo de analisar em quais compartimentos se inserem as feições de relevo associadas aos diques. Os principais critérios utilizados para a separação do relevo em compartimentos foram densidade textural, amplitude local, declividade, formas de encosta, perfis de vales e tipos de topos. O principal produto dessa fase foi, portanto, um mapa preliminar das unidades de relevo contendo pontos de interesse a serem visitados durante os trabalhos de campo.

4.3 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados em duas etapas, totalizando nove dias. A primeira etapa foi conduzida entre os dias 22 e 26 de fevereiro de 2016, e a segunda entre os dias 12 e 15 de maio do mesmo ano. Tal atividade foi realizada em conjunto com os trabalhos de campo

referentes ao projeto de doutorado citado anteriormente (RODRIGUES, 2016, no prelo). Desse modo, foram visitados pontos além do perímetro da área de estudo, o que contribuiu para uma análise mais ampla do contexto geológico-geomorfológico da Ilha de São Sebastião.

O principal objetivo dessa etapa foi a coleta dos dados e amostras necessárias ao andamento do estudo. Desse modo, as seguintes atividades foram conduzidas durante os trabalhos de campo: (1) descrição geral dos afloramentos, (2) caracterização dos diques e (3) coleta de amostras. A descrição geral dos afloramentos (1) envolveu uma caracterização geológico-geomorfológica de cada ponto visitado, incluindo assim descrições petrográficas dos litotipos presentes e caracterização do relevo e tipo de solo associados. Ao todo foram visitados sessenta e sete pontos, sendo quarenta e oito inseridos na área de estudo (vide Apêndice I). A descrição resumida desses pontos se encontra presente no Apêndice III. A caracterização dos diques (2) envolveu uma análise mais detalhada dos mesmos, onde foram coletados dados referentes às suas espessuras, comprimentos, continuidades, orientações, padrões de fraturamento, composições mineralógicas, texturas, estruturas, formas de relevo associadas e tipos de solo associados. Dentre os pontos inseridos na área de estudo, dezesseis deles continham diques que foram caracterizados segundo os critérios descritos acima (vide Apêndice I). Finalmente, a coleta de amostras (3), envolveu a seleção e amostragem de litotipos que seriam analisados com mais detalhe em escala macroscópica e microscópica. Foram coletadas nove amostras referentes aos diques e ao embasamento granito-gnáissico. A Figura 9 mostra um quadro contendo a relação das mesmas.

Amostra	Unidade
IB-01	Embasamento granito-gnáissico
IB-02a	Dique associado à drenagem
IB-02b	Dique associado à drenagem
IB-04a	Dique associado à drenagem
IB-04b	Dique associado à drenagem
IB-17	Dique associado à crista
IB-62	Dique associado à drenagem
IB-64a	Embasamento granito-gnáissico
IB-64b	Dique associado à crista

Figura 9 - Relação das amostras coletadas durante os trabalhos de campo.

4.4 Análise e interpretação dos dados coletados

Esta etapa envolveu a análise e interpretação dos dados coletados ao longo do estudo. Com base nesses dados, foi feita uma caracterização das unidades geológicas descritas em

campo, visando analisar os fatores responsáveis por suas diferentes suscetibilidades ao intemperismo e consequente erosão. Tal análise incluiu tanto os diques quanto o embasamento granito-gnáissico. Dentro da caracterização dessas unidades, três principais fatores foram analisados com mais detalhe, uma vez que foram julgados determinantes na suscetibilidade das rochas aos processos superficiais. Tais fatores são: composição mineralógica da rocha, seu padrão de fraturamento e o compartimento de relevo onde ela se encontra presente.

Para a análise da composição mineralógica das rochas, além dos dados obtidos em campo, foram realizadas também descrições microscópicas das mesmas (vide Apêndice II). Dentre as nove amostras coletadas, quatro foram descritas microscopicamente: uma referente ao embasamento granito gnáissico (IB-01a), uma referente aos diques associados às feições positivas de relevo (IB-17), e duas referentes aos diques associados às feições negativas de relevo (IB-02b, IB-04a). Já na análise dos padrões de fraturamento, buscou-se comparar as famílias de fraturas descritas nas unidades geológicas, principalmente quanto à orientação e ao espaçamento entre as fraturas. Finalmente, na análise dos compartimentos de relevo onde as rochas se encontram inseridas, os pontos referentes aos diques foram plotados no mapa de unidades de terreno elaborado por Rodrigues (2016, no prelo) (Apêndice I), visando assim estabelecer se as diferentes propriedades das unidades de relevo influenciariam nas feições associadas aos diques.

O resultado final da análise dos dados foi uma tabela comparativa contendo todas as características julgadas determinantes na suscetibilidade ao intemperismo e erosão para cada tipo de dique e também para o embasamento. A partir daí, foi realizada a interpretação dessa tabela com o objetivo de identificar quais características referentes aos diques são de fato responsáveis pela geração das formas de relevo associadas a eles.

5 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos no presente estudo. Estes incluem a caracterização de ambos os tipos de diques (associados às feições positivas e negativas de relevo), assim como a caracterização da sua rocha encaixante (embasamento granito-gnáissico). Na análise referente ao embasamento granito-gnáissico, focou-se principalmente na descrição petrográfica e estrutural dos litotipos observados. Já na caracterização dos diques, além da descrição petrográfica, foi dada uma maior importância aos padrões de fraturamento e aos compartimentos de relevo nos quais os diques estão inseridos.

5.1 Caracterização do embasamento granito-gnáissico

Tal como apresentado na caracterização geológica da área, essa unidade compreende rochas de composição granítica. De modo geral, associa-se a tais litotipos um relevo de morros e encostas, presente em um nível menos elevado quando comparado aos picos montanhosos representados pelos *stocks* alcalinos. Os litotipos representativos do embasamento granito-gnáissico na área de estudo são: gnaiss granítico facoidal e gnaiss granítico subequigranular. Os diques que são objetos de estudo do presente trabalho se encontram intrudidos nessa unidade, exibindo orientação subparalela à foliação descrita nas rochas.

5.1.1 Caracterização petrográfica

A caracterização petrográfica do embasamento granito-gnáissico envolveu a descrição de sua composição mineralógica, textura e estrutura. Encontra-se no Apêndice II a descrição microscópica de uma amostra de gnaiss granítico facoidal (IB-01a). As rochas apresentam composição granítica, sendo compostas de plagioclásio, quartzo, feldspato potássico e biotita e/ou muscovita como micas presentes.

O gnaiss granítico facoidal (Figura 10) é cinza-claro quando fresco e varia de cinza-esbranquiçado a laranja-esbranquiçado quando alterado. É composto de plagioclásio (oligoclásio), quartzo, feldspato potássico (microclínio), biotita e hornblenda. A rocha exibe textura porfiroblástica, onde cristais grossos facoidais (1-4 cm) de feldspato potássico se encontram em matriz média (1-5 mm) subequigranular composta de plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, biotita e hornblenda. Tem estrutura gnáissica, com foliação definida pela orientação preferencial dos cristais de biotita e pelos fenocristais de feldspato potássico; esta apresenta direção predominante nordeste, com mergulhos de alto ângulo (acima de 60°) para

noroeste e mais restritamente para sudeste. O gnaiss granítico facoidal é o principal representante do embasamento granito-gnáissico, aflorando praticamente em toda a extensão da ilha. Foi descrita uma variação de tal litotipo (Figura 11), onde a rocha exibe um bandamento composicional pronunciado, formado por bandas com a predominância de minerais félsicos (plagioclásio, quartzo e feldspato potássico) intercaladas a bandas onde minerais máficos predominam (biotita e hornblenda). Tal litotipo foi observado na Cachoeira do Bananal, Ponto 63.

O gnaiss granítico subequigranular (Figura 12), por sua vez, é uma rocha mais clara, de cor branco-rosada quando fresca e uma cor esbranquiçada quando alterada. É composta de feldspato potássico, quartzo, plagioclásio, muscovita e biotita. Tal como o gnaiss granítico facoidal, apresenta estrutura gnáissica, com foliação definida pela orientação dos cristais constituintes. Por outro lado, diferentemente da rocha anterior, esta apresenta foliação de direção nordeste com mergulhos de alto ângulo predominantemente para sudeste. Tal litotipo foi observado somente em um ponto (Ponto 64), localizado próximo ao Iate Clube Santos.

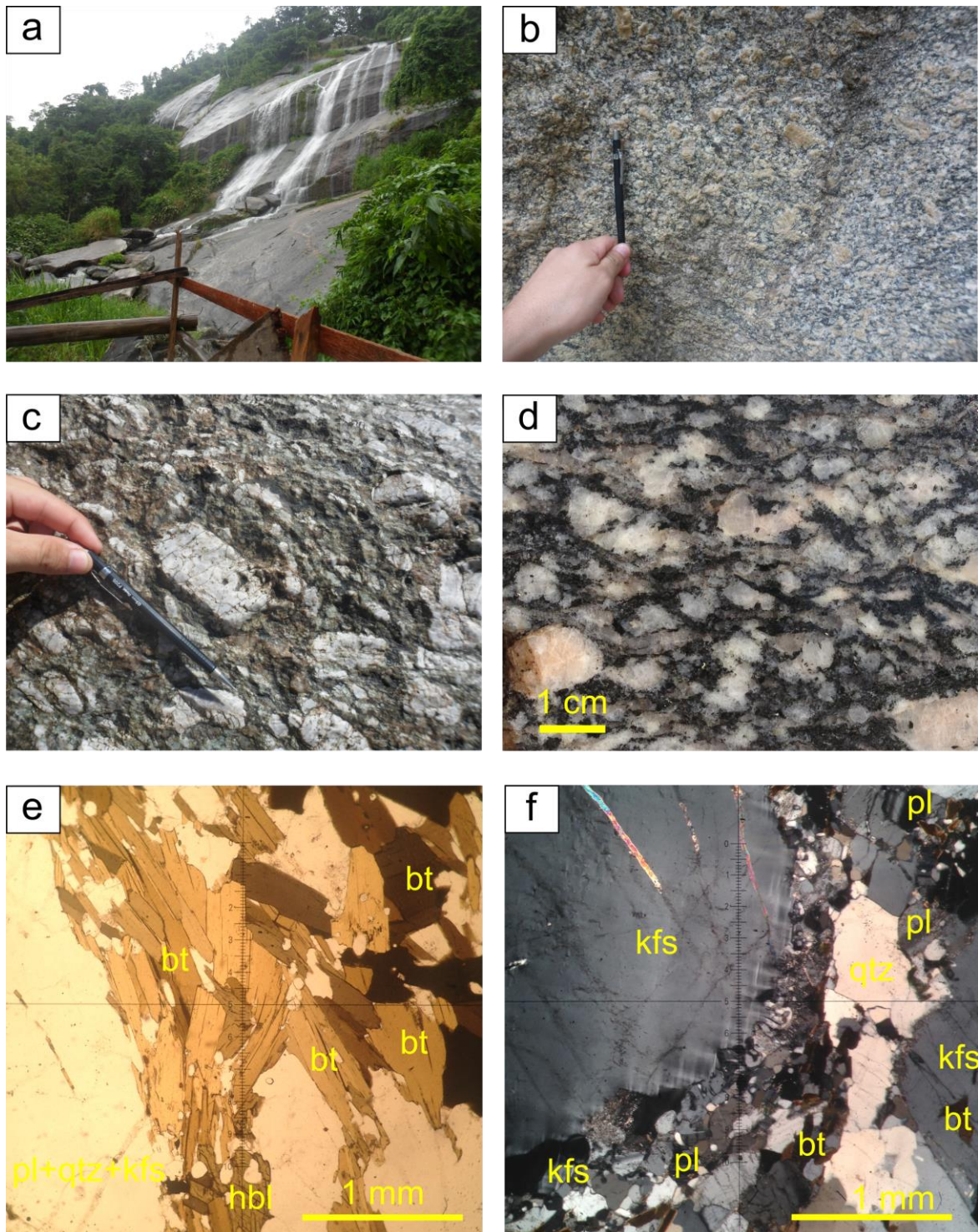


Figura 10 - Gnaiss granítico facoidal da Ilha de São Sebastião. (a) Rocha aflorante na forma de lajeado junto à cachoeira, Ponto 1. (b) Detalhe da rocha aflorante no Ponto 1. (c) Rocha aflorante na Praia da Serraria, Ponto 34. (d) Detalhe da textura da amostra IB-01a. (e) Fotomicrografia da amostra IB-01a, sob nicóis paralelos, mostrando a presença de bandas de minerais máficos (biotita e hornblenda) entre minerais fêlsicos (plagioclásio, quartzo e feldspato potássico). (f) Fotomicrografia da amostra IB-01a, sob nicóis cruzados, mostrando fenocristal de feldspato potássico de bordas com geminação Tartan, além dos outros minerais constituintes da rocha. Abreviações: bt – biotita; hbl – hornblenda; kfs – feldspato potássico; pl – plagioclásio; qtz – quartzo.



Figura 11 - Variação do gnaiss granítico facoidal exibindo bandamento composicional, Cachoeira do Bananal, Ponto 63.

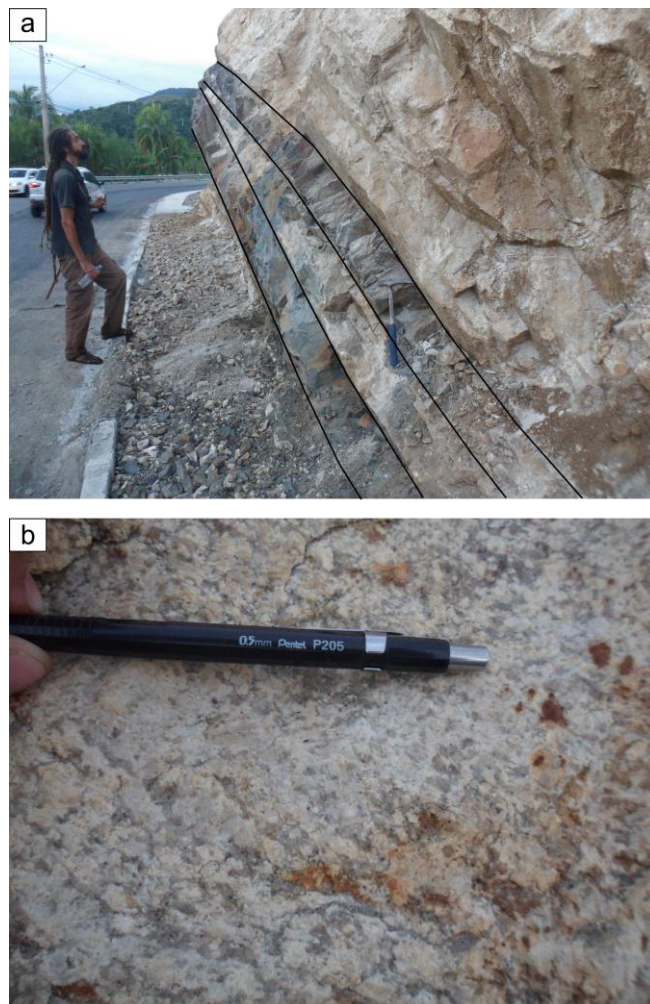


Figura 12 - Gnaiss granítico subequigranular descrito no Ponto 64. (a) Rocha aflorante mostrando diques andesíticos subparalelos à foliação (N36E/60SE). (b) Detalhe da textura da rocha.

5.1.2 Aspectos estruturais

As principais estruturas presentes nas rochas representativas do embasamento incluem: uma direção principal de foliação e duas famílias de fraturas. A foliação exibida pelas rochas gnáissicas é identificada em todos seus pontos de afloramento, apresentando direção predominante nordeste, com mergulhos de alto ângulo principalmente para noroeste e mais restritamente para sudeste. As famílias de fraturas (Figura 13), por sua vez, foram identificadas apenas em algumas localidades. É interessante notar que uma das famílias apresenta atitude subparalela à foliação da rocha. Dado que os diques observados na área de estudo se apresentam subparalelos à foliação (Figura 14), é provável que tal família de fraturas represente o principal controle da intrusão do magma que veio a gerar ambos os tipos de diques.

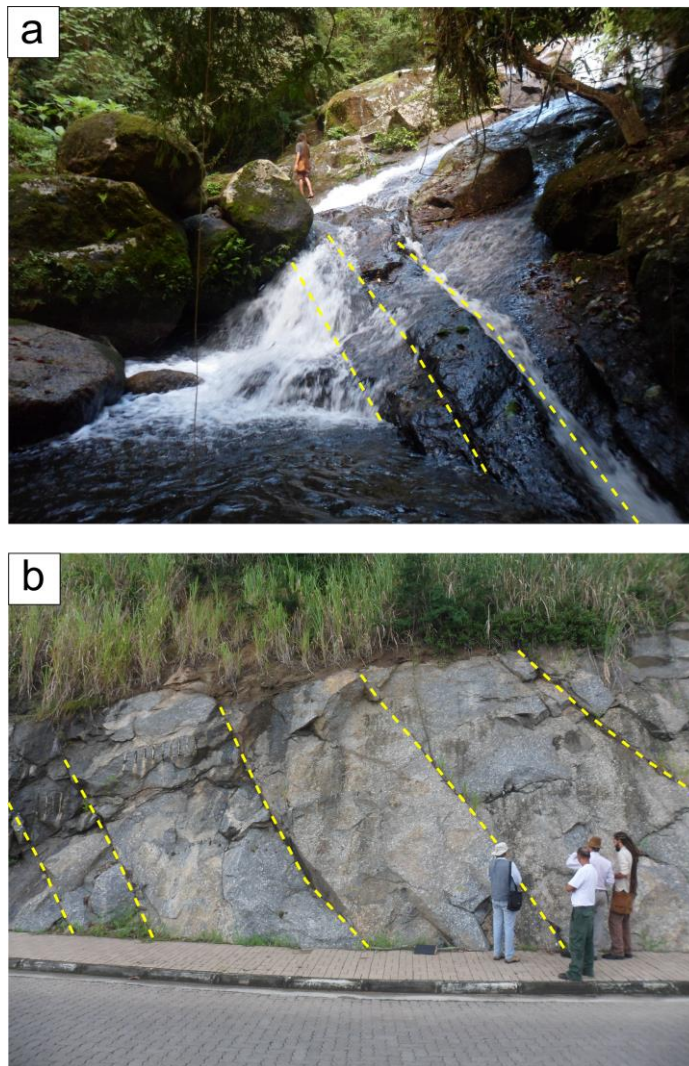


Figura 13 - Fraturas descritas no embasamento granito-gnáissico. (a) Família de fraturas subparalelas à foliação de atitude N50E/70SE, presente em gnaiss granítico facoidal, Ponto 61. (b) Família de fraturas com atitude N84E/75SE, presentes em gnaiss granítico facoidal, Ponto 5.

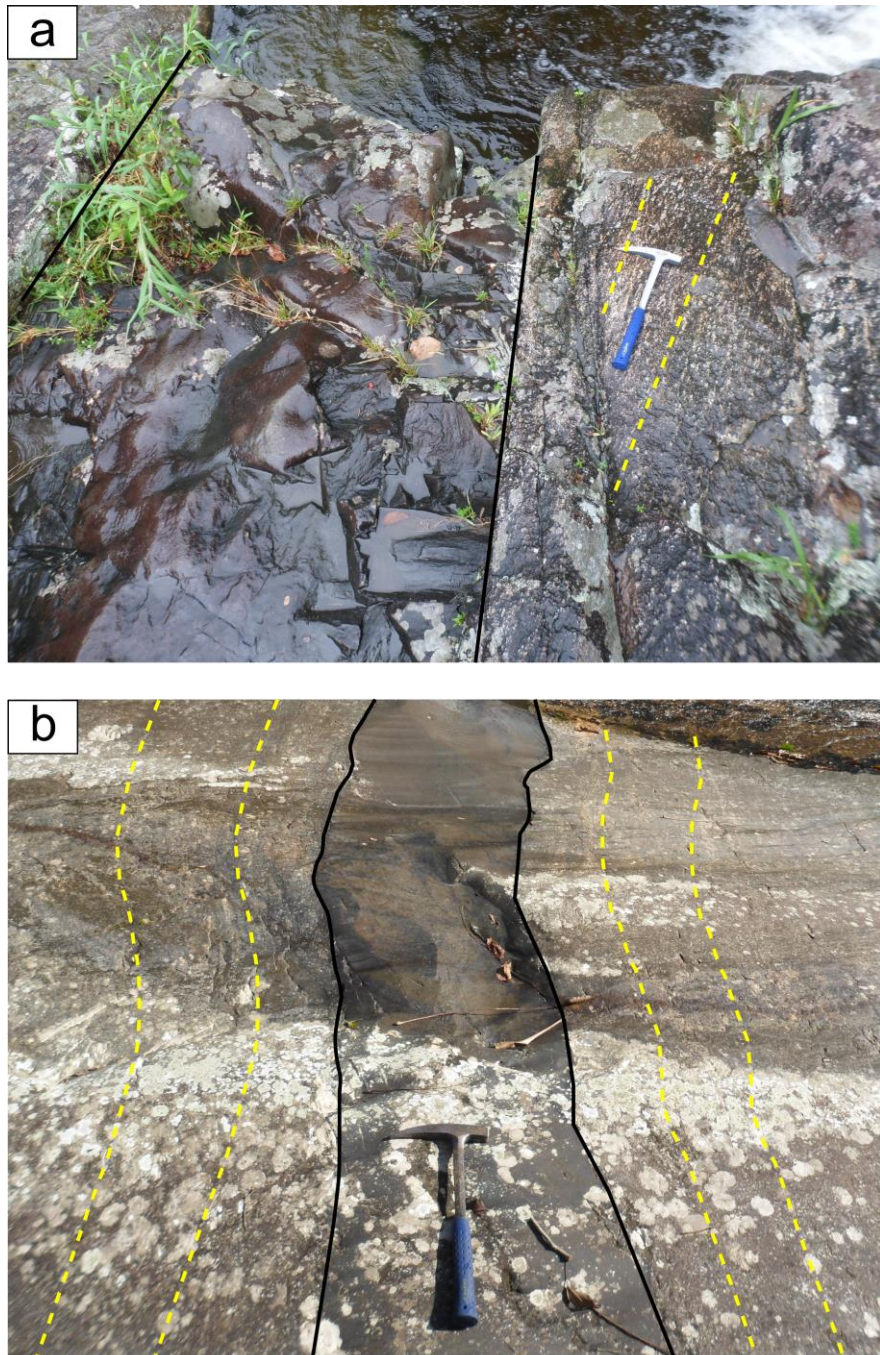


Figura 14 – Diques (traços pretos) mostrando direção subparalela à foliação da rocha encaixante gnáissica (traços amarelos). (A) Dique básico subparalelo à foliação de atitude N50E/65NW, Ponto 2. (b) Dique básico subparalelo à foliação de atitude N27E/65NW, Ponto 63.

5.2 Caracterização dos diques associados às feições positivas de relevo

Esses diques se associam a grandes cristas alongadas no relevo, apresentando, portanto, maior resistência aos processos intempéricos quando comparados à sua rocha encaixante (embasamento granito-gnáissico). Dentro da área de estudo, são aflorantes principalmente ao redor da planície do Perequê, podendo ser encontrados também na Estrada dos Castelhanos e na Trilha do Baepi. Apresentam direção predominante nordeste, subparalela à foliação da rocha encaixante e com mergulhos de alto ângulo. Comumente, exibem grandes dimensões, com espessura média de 15 m e vários quilômetros de comprimento. Durante os trabalhos de campo, constatou-se que tais diques são representados somente por um litotipo, um andesito porfirítico.

5.2.1 Caracterização petrográfica

O andesito porfirítico (Figura 15) apresenta coloração cinza-esverdeada quando fresca e branco-amarelada quando alterada. Mineralogicamente, é composto de plagioclásio (oligoclásio e labradorita), clinopiroxênio (augita), minerais opacos (magnetita/ilmenita) e traços de quartzo e feldspato potássico. Apresenta textura porfirítica, onde fenocristais grossos (0,4–1 cm) de plagioclásio cinza-esbranquiçado (oligoclásio/labradorita) se encontram inseridos numa matriz fina (menor que 1 mm) composta de plagioclásio acinzentado (oligoclásio) e clinopiroxênio preto-esverdeado (augita). Nota-se que os piroxênios constituintes dessa rocha se mostram intensamente alterados, gerando um produto de alteração esverdeado. Tal alteração pode ser resultado de processos tardi-magmáticos (uralitização) ou de processos intempéricos (formação de argilominerais). A descrição microscópica completa de uma amostra desse litotipo (IB-17) é apresentada no Apêndice II.

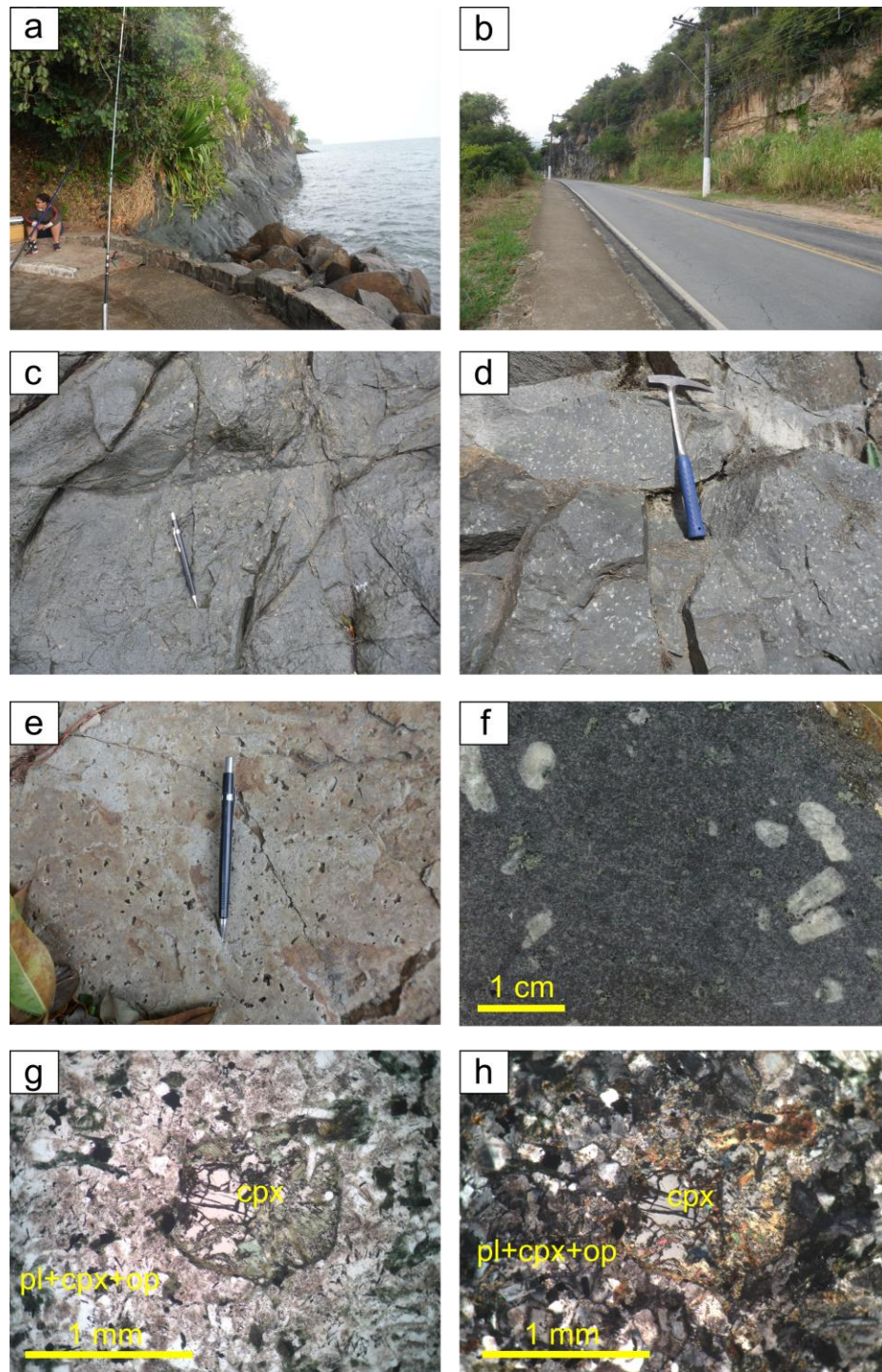


Figura 15 - Andesito porfirítico da Ilha de São Sebastião. (a) Rocha aflorante na forma de paredão junto ao mar, próximo ao ponto da balsa, Ponto 40. (b) Rocha aflorante na forma de paredão junto à rodovia SP-131, Ponto 41. (c) Detalhe da rocha aflorante no Ponto 40. (d) Detalhe da rocha aflorante no Ponto 41. (e) Andesito alterado no Ponto 40; notar vazios deixados pela alteração dos fenocristais de plagioclásio. (f) Detalhe da textura da amostra IB-17; notar microfenocristais esverdeados produtos de alteração do piroxênio. (g) Fotomicrografia da amostra IB-17, sob nicóis paralelos, mostrando microfenocristal alterado de clinopiroxênio (augita) em meio a matriz composta de plagioclásio, clinopiroxênio e opacos. (h) Fotomicrografia da amostra IB-17, sob nicóis cruzados. Abreviações: cpx – clinopiroxênio; pl – plagioclásio; op – opacos.

5.2.2 Caracterização do padrão de fraturamento

É importante salientar que uma análise completa do padrão de fraturamento de diques exige a descrição das fraturas em mais de uma frente de exposição, uma vez que diques são elementos tridimensionais. Por exemplo, a identificação de fraturas subparalelas a uma face de exposição pode ser problemática caso somente essa face seja analisada. No caso dos diques de composição andesítica, só foi possível a identificação e descrição de fraturas em seções subparalelas à direção nordeste. Ao longo dessas seções foram descritas três principais famílias de fraturas. A Figura 16 mostra as principais características de cada família identificada, enquanto que a Figura 17 apresenta um bloco-diagrama simplificado mostrando posicionamento tridimensional das respectivas famílias de fraturas.

Família	Direção	Mergulho	Distância entre fraturas (m)
A	N55W	Subhorizontal a 30° NE	1
B	N60W	Subvertical a 60° SW	0,30
C	N40E	Subvertical	-

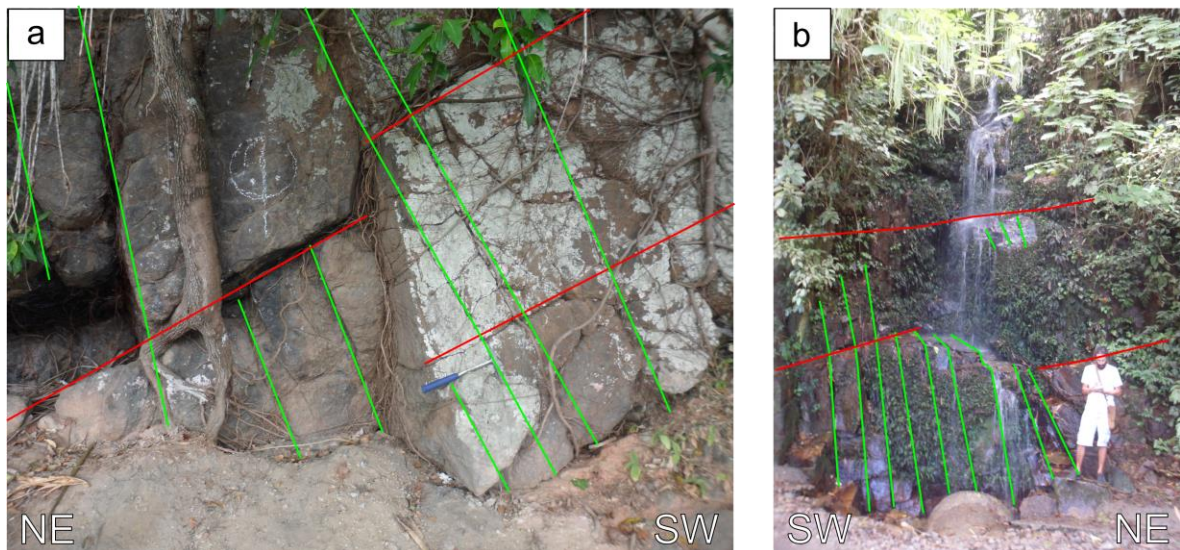


Figura 16 - Características das famílias de fraturas identificadas nos diques andesíticos. Não foi possível determinar a distância entre as fraturas da família C, uma vez que as mesmas são subparalelas às seções descritas. (a) Dique andesítico do ponto 40. (b) Dique andesítico do ponto 63. Legenda: Família A – vermelho; Família B – verde; Família C – azul.

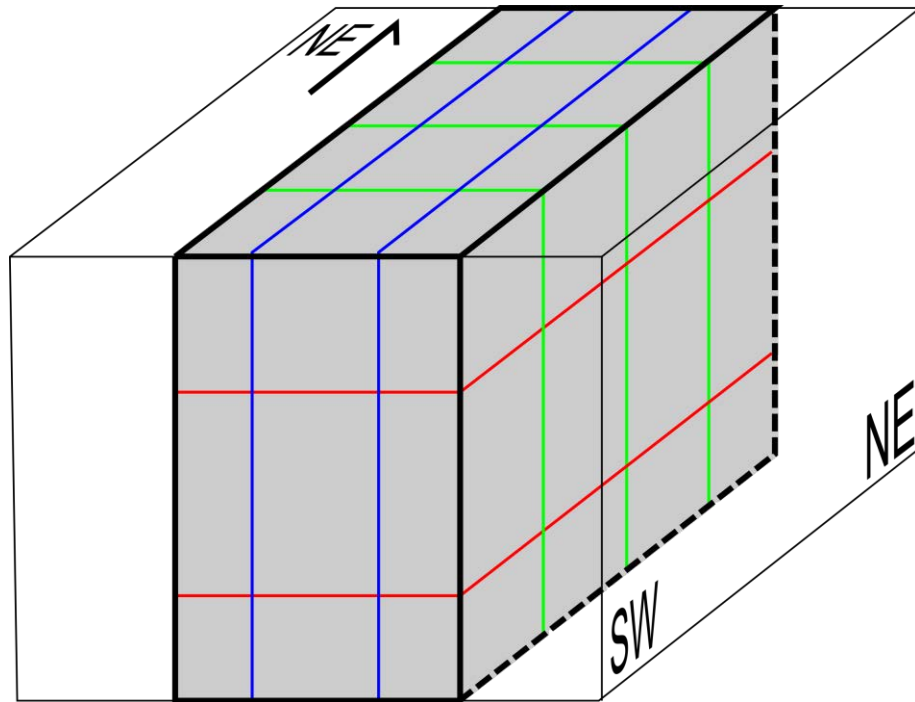


Figura 17 - Posicionamento das famílias de fraturas descritas nos diques andesíticos. Legenda: Família A – vermelho; Família B – verde; Família C – azul.

A partir da análise da Figura 16, nota-se que o mergulho das fraturas pertencentes às famílias A e B é variável. Porém, a diferença entre seus ângulos de mergulho (em torno de 90°) é sempre mantida. Tal fato leva a crer que (1) a Família A corresponde às fraturas relacionadas à remoção do material sobrejacente ao dique, resultando assim na diminuição das tensões e consequente expansão e fraturamento de direção subparalela à superfície de erosão; e (2) a Família B corresponde às fraturas associadas à contração do magma em resfriamento, resultando assim no fraturamento de direção perpendicular à superfície de resfriamento (contato rocha intrusiva – rocha hospedeira). Logo, a variação descrita nos mergulhos das famílias A e B poderia ser explicada pelo posicionamento da superfície da rocha exposta à erosão; uma superfície inclinada resultaria em um fraturamento também inclinado, subparalelo à mesma.

5.2.3 Compartimento de relevo associado

Com o objetivo de analisar em quais compartimentos de relevo os diques andesíticos estão inseridos, os pontos referentes a eles, visitados durante os trabalhos de campo, foram plotados no mapa de unidades de terreno elaborado por Rodrigues (2006, no prelo) (Apêndice I). Através da análise do mapa, nota-se que os diques se encontram inseridos em três unidades de terreno: “morrotes e morros baixos em terreno gnáissico”, “morros altos em terrenos gnáissicos”,

e “encostas montanhosas e escarpas em terreno gnáissico”. A primeira unidade é caracterizada por amplitude média/baixa (~ 100 m), com declividades entre 10 e 22,5%, formas de encosta convexas/côncavas e topos arredondados. É interessante notar que, dentro dessa unidade, os diques andesíticos presentes próximos à costa afetam a morfologia da mesma, criando feições mais alongadas (vide pontos 40, 41, 42 e 64 no Apêndice I). Tais feições, juntamente com as cristas alongadas associadas a esses diques, evidenciam sua resistência maior ao intemperismo quando comparado à rocha encaixante (embasamento granito-gnáissico). A unidade “morros altos em terrenos gnáissicos”, por sua vez, apresenta amplitude média (~300m), declividades entre 22,5 e 45%, formas de encosta côncavas/retilíneas e topos arredondados a angulosos. Já a unidade “encostas montanhosas e escarpas em terreno gnáissico” mostra amplitude alta (~500 m), declividades entre 40 e 60%, formas de encosta convexas/côncavas e topos arredondados a angulosos.

5.3 Caracterização dos diques associados às feições negativas de relevo

Esses diques por vezes definem o curso de drenagens, apresentando, portanto, menor resistência ao intemperismo quando comparados à sua rocha encaixante (embasamento granito-gnáissico). É importante notar que outras estruturas, tais como fraturas, também definem o curso de drenagens na área de estudo (Figura 18). Os diques associados a feições negativas são aflorantes ao longo de diversas porções do embasamento, em um número aparentemente maior do que os diques andesíticos. Tal como os últimos, apresentam direção predominante nordeste, subparalela à foliação da rocha encaixante, com mergulhos de alto ângulo. Exibem dimensões comparativamente menores, com espessura média de 80 cm, podendo chegar até 1,5 m. Os litotipos associados aos diques em questão possuem composição básica, sendo representadas por diabásios de textura variada.

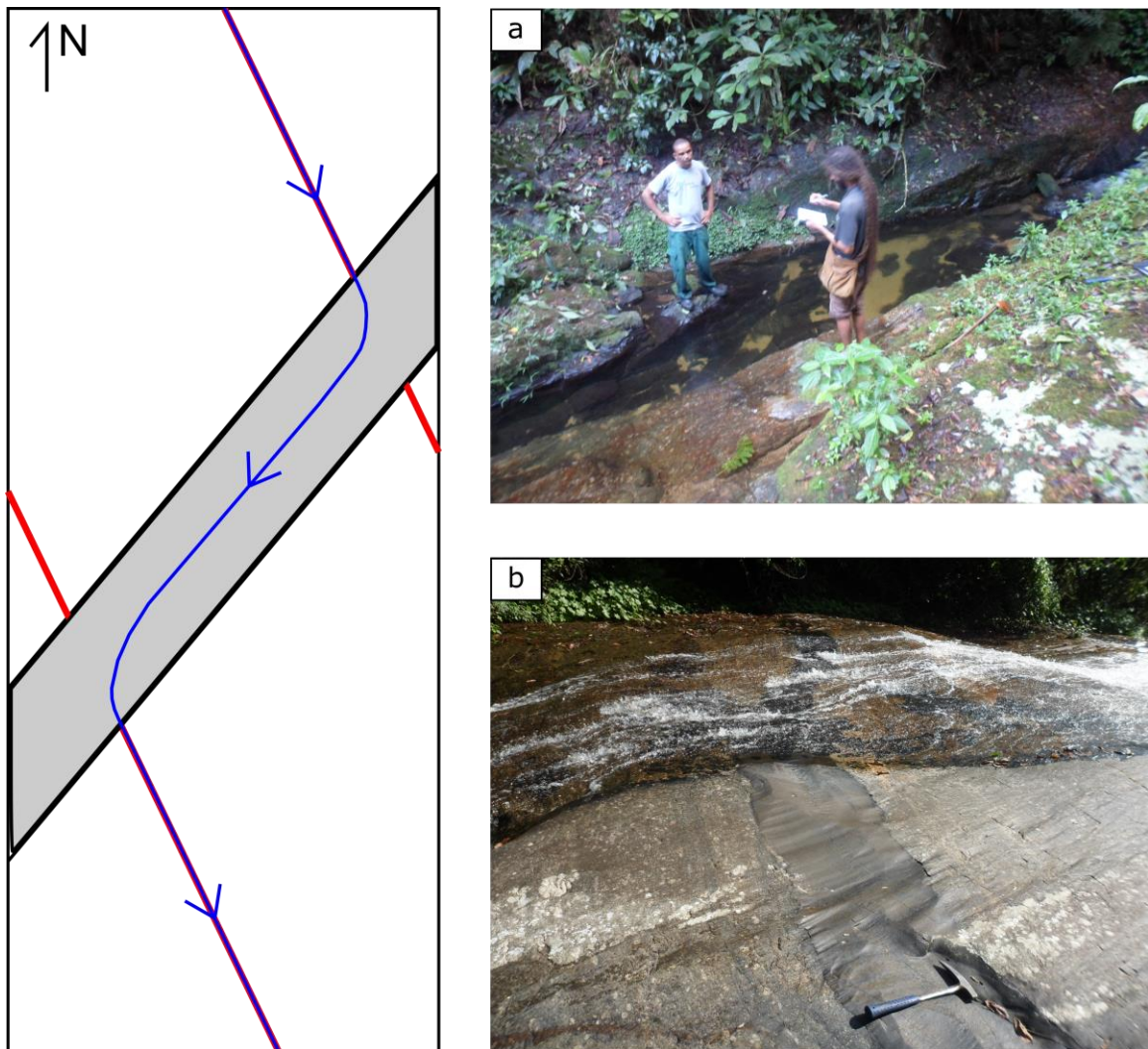


Figura 18 - Além dos diques, outras estruturas também podem definir o curso de drenagens. (a) Dique definindo o curso d'água (Ponto 62). (b) Curso d'água de direção perpendicular à direção do dique; provavelmente outra estrutura define a direção desse trecho da drenagem (Ponto 63). Legenda do esquema: Dique – cinza; Fraturas – vermelho; Curso d'água – Azul.

5.3.1 Caracterização petrográfica

Duas são as rochas representativas dos diques associados às feições negativas de relevo: diabásio intergranular (Figura 19) e diabásio porfíritico (Figura 20). O diabásio intergranular apresenta coloração cinza-escuro quando fresco e tons mais esverdeados quando alterado. Apresenta granulação muito fina, não sendo possível distinguir minerais a olho nu. É composta de plagioclásio (labradorita), clinopiroxênio alterado (augita) e minerais opacos (magnetita/ilmenita). A textura observada é a intergranular, onde cristais de plagioclásio se posicionam entre os cristais de clinopiroxênio. A descrição microscópica de uma amostra de diabásio intergranular (IB-04a) se encontra no Apêndice II. O diabásio porfíritico, por sua vez,

também apresenta coloração cinza-escuro quando fresco e tende a mostrar tons mais esverdeados quando alterado. É composto de plagioclásio (labradorita), pseudomorfos de minerais ferro-magnesianos (piroxênio e olivina provavelmente), clinopiroxênio (augita) e minerais opacos (magnetita/ilmenita). A identificação dos minerais ferro-magnesianos na forma de fenocristais é dificultada pelo fato deles se apresentarem intensamente alterados, mostrando substituições pseudomórficas de minerais de alteração (clorita, serpentina, carbonato, idingsita, opacos e argilominerais). A rocha apresenta textura porfirítica, onde fenocristais médios (de até 1 cm) de plagioclásio branco acinzentado e de pseudomorfos esverdeados de piroxênio e/ou olivina se encontram inseridos em matriz fina cinza-escuro esverdeada de plagioclásio, clinopiroxênio e minerais opacos. Inseridos nessa matriz fina, estão presente microfenocristais de clinopiroxênio e plagioclásio. A descrição microscópica completa da amostra referente a essa rocha (IB-02b) se encontra no Apêndice II.

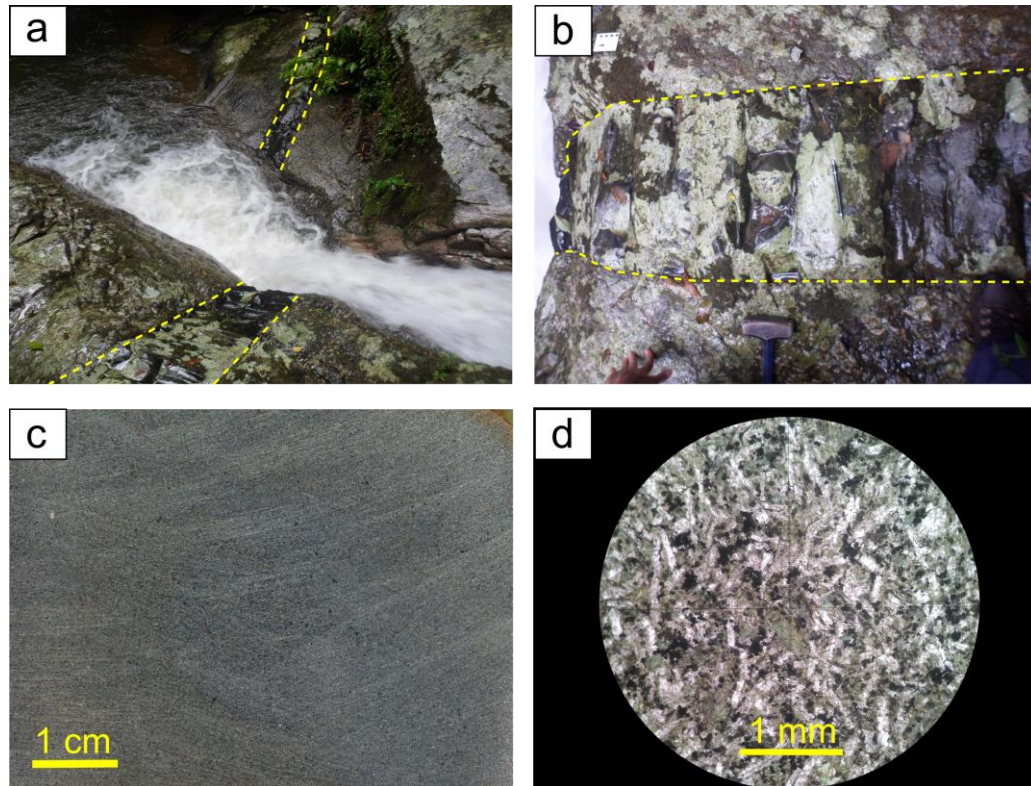


Figura 19 - Diabásio intergranular aflorante na forma de dique no Ponto 4. (a) Dique cortado por fratura que define o curso da drenagem. (b) Detalhe do dique amostrado. (c) Textura apresentada pela rocha. (d) Fotomicrografia da amostra IB-04a, sob nicóis paralelos, mostrando textura intergranular onde cristais ripiformes de plagioclásio branco se encontram entre os cristais prismáticos de piroxênio alterado esverdeado.

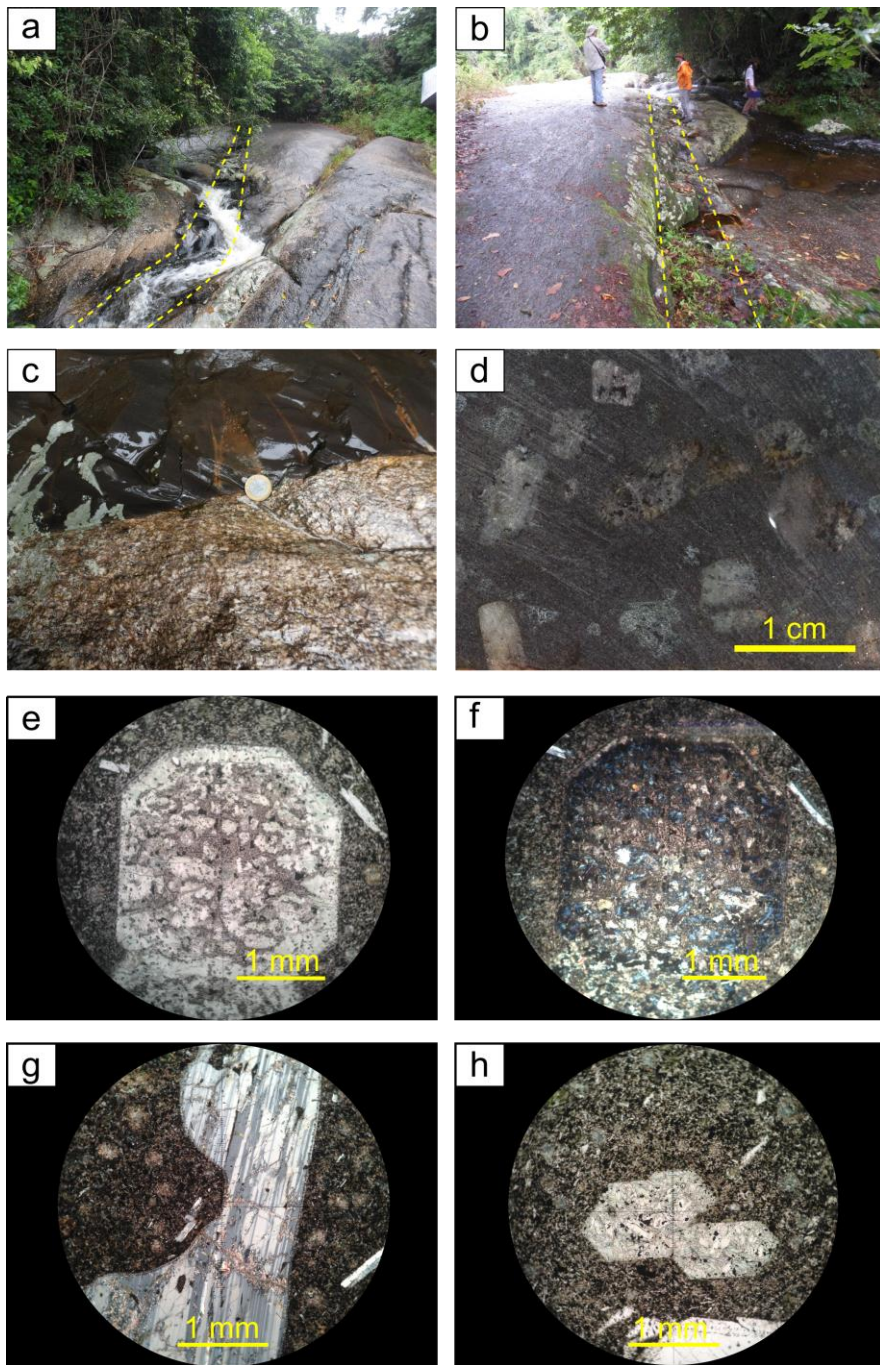


Figura 20 - Diabásio porfíritico na forma de dique que define curso de drenagem, Ponto 2. (a) Dique definindo o curso da drenagem. (b) Drenagem indo de encontro ao dique, numa direção subparalela a ele. Ao encontrar o dique, a drenagem passa a seguir a direção do mesmo. (c) Detalhe do contato entre o embasamento granito-gnáissico e o dique de diabásio. (d) Detalhe da amostra de diabásio porfíritico; notar fenocristais esbranquiçados de plagioclásio e cristais esverdeados de minerais máficos alterados (piroxênios e possivelmente olivina). (e) Fotomicrografia sob nicóis paralelos mostrando fenocristal euédrico de piroxênio alterado. (f) Fotomicrografia sob nicóis cruzados de fenocristal de piroxênio que mostra clorita de cor anômala como produto de alteração. (g) Fotomicrografia sob nicóis cruzados mostrando fenocristal de plagioclásio corroído em meio a matriz composta de microfenocristais de clinopiroxênio, e cristais de plagioclásio, clinopiroxênio e opacos. (h) Possíveis microfenocristais euédricos de olivina alterada. Fotomicrografias referentes à amostra IB-02b.

5.3.2 Caracterização do padrão de fraturamento

Como já mencionado na discussão referente ao padrão de fraturamento dos diques andesíticos, a identificação completa de fraturas em diques é prejudicada caso somente uma face de exposição seja examinada. No caso dos diques de diabásio, só foi possível a análise de faces expostas na superfície do terreno. Tais exposições sempre se associavam à passagem d'água, logo a rocha exposta mostrava superfície lisa e uniforme. Como resultado, foi necessário estimar os ângulos de mergulho referentes às fraturas. Foram identificadas três principais famílias de fraturas associadas a esses diques (Figura 21).

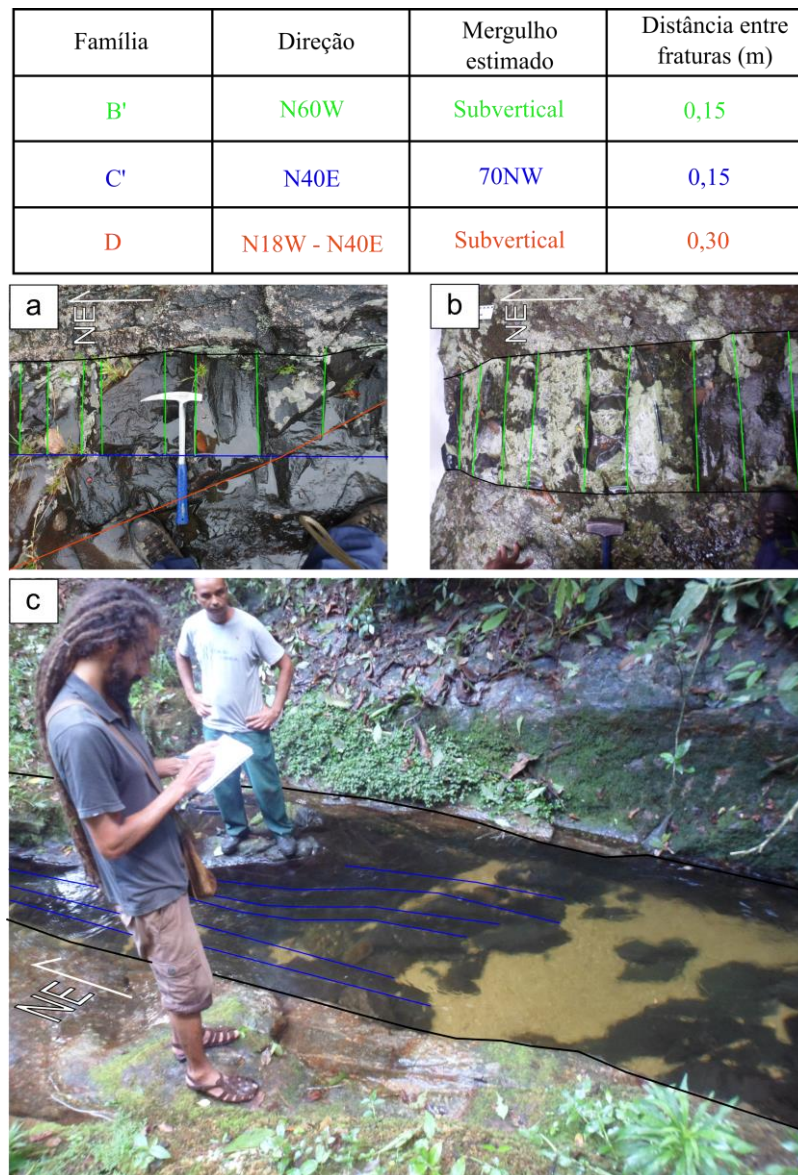


Figura 21 - Características das famílias de fraturas identificadas nos diques de diabásio. (a) Dique de diabásio porfirítico do Ponto 2. (b) Dique de diabásio intergranular do Ponto 4. (c) Dique de diabásio porfirítico do Ponto 62. Legenda: Família B' – verde; Família C' – azul; Família D – laranja.

Ao comparar o padrão de fraturamento dos diques de diabásio com o dos diques andesíticos, nota-se que ambos apresentam fraturas de direção perpendicular às suas margens (famílias B e B') e fraturas subparalelas a direção do dique (famílias C e C'). No entanto, as fraturas nos diques de diabásio exibem um espaçamento menor, ou seja, a densidade de fraturas é maior. Também no caso desses diques, não foi possível identificar uma provável família de atitude subparalela à superfície de exposição (Família A), uma vez que não foram encontrados pontos onde os diques aflorassem em seção. A Família D, como exposto na Figura 21, apresenta direção variável, sempre diagonal em relação às margens dos diques. Foi constatado em campo que a direção de tais fraturas varia de acordo com a direção e a espessura dos diques; quanto maior a espessura, menor o ângulo agudo (α) entre a direção da fratura e a direção do dique (Figura 22).

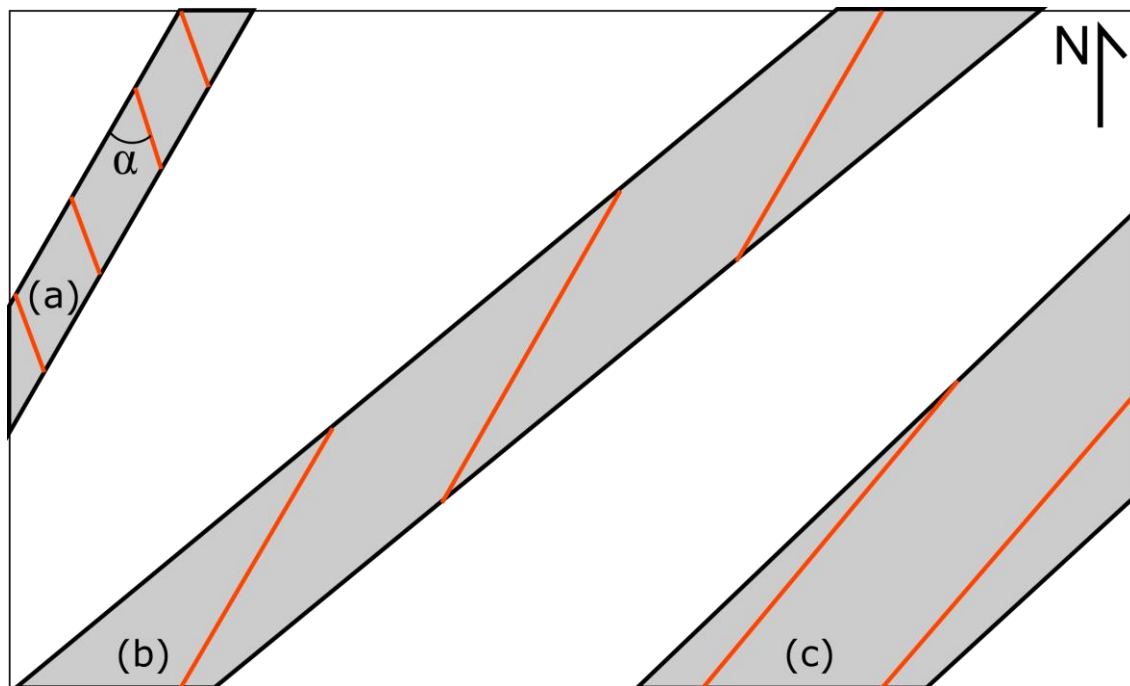


Figura 22 - Relação entre a direção das fraturas pertencentes à Família D e as espessuras dos diques de diabásio. (a) Dique descrito no Ponto 63, com espessura de 0,4 m. (b) Dique descrito no Ponto 2, com espessura de 0,8 m. (c) Dique descrito no Ponto 62, com espessura de 1,5 m. Legenda: Diques – cinza; Fraturas – laranja; α – ângulo agudo entre a direção da fratura e a direção do dique.

5.3.3 Compartimento de relevo associado

Tal como na análise dos compartimentos de relevo associados aos diques andesíticos, os pontos de campo referentes aos diques de diabásio foram plotados no mapa de unidades de terreno elaborado por Rodrigues (2006, no prelo) (Apêndice I), para que fosse possível o

estabelecimento dos compartimentos de relevo associados a eles. A partir da análise do mapa, nota-se que os diques de diabásio se encontram inseridos em quatro unidades de terreno: “morrotes e morros baixos em terreno gnáissico”, “morros altos em terrenos gnáissicos”, “encostas montanhosas e escarpas em terreno gnáissico” e “sedimentos quaternários em depósitos de meia e baixa-encosta e vales entulhados”. As características das três primeiras unidades já foram descritas na análise referente aos diques andesíticos. A terceira unidade, por sua vez, é caracterizada por baixas amplitudes (~20 m), declividades que variam de 0 a 22,5%, formas de encosta côncavas e formas de vale abertas. Nota-se que essa unidade é superficial, associada a depósitos recentes. A partir do exposto, observa-se que os diques de diabásio se encontram presentes nas mesmas unidades onde os diques andesíticos estão inseridos.

5.4 Quadro comparativo das unidades geológicas caracterizadas

A Figura 23 exibe um quadro que compila todos os resultados obtidos no presente estudo. A partir de sua análise, é possível comparar os fatores julgados importantes na suscetibilidade ao intemperismo e erosão das unidades geológicas caracterizadas. Logo, torna-se possível determinar quais são os fatores responsáveis pelas diferentes feições de relevo associadas aos diques. Tal discussão é reservada para o capítulo seguinte.

Fatores	Embasamento granito-gnáissico	Diques associados a feições positivas de relevo	Diques associados a feições negativas de relevo
Litotipo	Gnaisses graníticos	Andesito porfirítico	Diabásios porfiríticos e intergranulares
Composição mineralógica	Plagioclásio (oligoclásio), quartzo, feldspato potássico (microclínio), biotita, muscovita, e hornblenda	Plagioclásio (oligoclásio/labradorita), clinopiroxênio (augita) e minerais opacos (magnetita/ilmenita)	Plagioclásio (labradorita), clinopiroxênio (augita), minerais opacos (magnetita/ilmenita), e possível olivina
Espessura média dos diques		15 m	0,8 m
Estruturas	Foliação de direção nordeste e mergulho de alto ângulo principalmente para noroeste; família de fraturas subparalela à foliação; família de fraturas de atitude N84E/75SE	Três famílias de fraturas: A (atitude média N55W/0-30NE; distância média de 1 m entre as fraturas), B (atitude média N60W/60-90SW; distância média de 0,3 m entre as fraturas) e C (atitude média N40E/90)	Três famílias de fraturas: B' (atitude média N60W/90; distância média de 0,15 m entre as fraturas), C' (atitude média N40E/70NW; distância média de 0,15 entre as fraturas), e D (atitude N18W/40E/90; distância média de 0,3 m entre as fraturas)
Idade	Pré-cambriano	Eocretáceo	Eocretáceo
Unidades de terreno nas quais os diques se inserem		Morrotes e morros baixos em terreno gnáissico, morros altos em terrenos gnáissicos, encostas gnáissicas, encostas montanhosas e escarpas em terreno gnáissico	Morrotes e morros baixos em terreno gnáissico, morros altos em terrenos gnáissicos, encostas montanhosas e escarpas em terreno gnáissico, sedimentos quaternários em depósitos de meia-encosta e vales entulhados
Forma de relevo associada	Morrotes, morros baixos a altos (por vezes alongados) e encostas	Cristas alongadas	Encaixe de drenagens

Figura 23 – Fatores julgados importantes na geração das formas de relevo associadas às unidades geológicas analisadas.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, os resultados anteriormente apresentados são discutidos com o objetivo de propor uma solução para a problemática levantada no presente estudo. Desse modo, objetiva-se analisar se fatores como a composição mineralógica da rocha, seu padrão de fraturamento e os compartimentos de relevo associados são de fato decisivos na resposta diferenciada do relevo gerado pela presença dos diques.

6.1 Composição mineralógica

A constituição mineralógica dos diques mostra importante influência na resposta do relevo. Como apresentado na fundamentação teórica, minerais máficos possuem menor estabilidade química em condições superficiais e tendem a se decompor com maior velocidade sob a ação do intemperismo quando comparados aos minerais félsicos. Os diques de diabásio, associados às feições negativas de relevo, apresentam maior proporção de minerais máficos, tais quais piroxênios e possivelmente olivina e, portanto, é esperado que sejam decompostos mais rapidamente que a rocha encaixante (gnaisse graníticos). Além disso, o plagioclásio presente nesses diques é mais rico em cálcio (labradorita), sendo, portanto, mais suscetível ao intemperismo. Por outro lado, os diques andesíticos, associados às feições positivas de relevo, apresentam menor proporção de minerais máficos, sendo que minerais félsicos tal qual o plagioclásio se mostram mais abundantes. Essas rochas apresentam uma proporção maior de plagioclásio rico em sódio (oligoclásio), este sendo mais resistente ao intemperismo quando comparado ao plagioclásio presente em rochas básicas.

No entanto, a composição mineralógica das rochas por si só não oferece elementos suficientes que expliquem o desenvolvimento das formas de relevo estudadas. Tal afirmação é exemplificada pela diferença entre as repostas do relevo associado aos diques andesíticos e ao embasamento granito-gnáissico. Caso somente a composição mineralógica fosse decisiva na suscetibilidade das rochas ao intemperismo, seria difícil explicar por que os diques andesíticos se apresentam na forma de cristas destacadas em meio aos gnaisse graníticos, uma vez que os últimos apresentam proporção maior de minerais comparativamente mais resistentes ao intemperismo, tais qual o quartzo, o feldspato alcalino e o plagioclásio. É importante, portanto, analisar outros fatores que influenciam a suscetibilidade ao intemperismo das rochas estudadas.

6.2 Estruturação das rochas

Complementando a composição mineralógica, as estruturas presentes nas rochas também influenciam na sua suscetibilidade ao intemperismo e, portanto, nas formas de relevo associadas. Como visto na fundamentação teórica, estruturas tais quais foliações e fraturas permitem a entrada de água com maior facilidade nos corpos rochosos, fazendo com que sejam intemperizados mais rapidamente. No caso da discussão levantada no item anterior, a respeito da incompatibilidade entre as composições mineralógicas e formas de relevo associadas dos diques andesíticos e ao embasamento granito-gnáissico, a diferente estruturação dos respectivos litotipos apresenta uma explicação satisfatória para tal comportamento. Como apresentado no capítulo anterior, os gnaisses graníticos representativos do embasamento se apresentam foliados e fraturados, enquanto que os diques andesíticos somente se mostram fraturados. Logo, por apresentar menor densidade de estruturas, os diques andesíticos seriam menos suscetíveis à ação d'água como agente intempérico. Ainda dentro dessa discussão, além da estruturação dos litotipos, suas idades também são fatores determinantes nas formas de relevo associadas. Enquanto que os diques andesíticos são rochas mais recentes, datadas do Cretáceo Inferior, o embasamento granito-gnáissico é substancialmente mais antigo, datando do Pré-cambriano. Tal diferença de idade provavelmente também reflete uma diferença na estabilidade estrutural dos litotipos. Por ser mais antigo, o embasamento granito-gnáissico foi submetido a diferentes condições ambientais (diferentes campos de tensão, por exemplo) que provavelmente afetaram sua estabilidade, tornando-o mais suscetível ao intemperismo quando comparado ao andesito porfirítico formado mais recentemente.

Ao se comparar os diques andesíticos com os diques de diabásio, o padrão de fraturamento mostrado por eles juntamente com a composição mineralógica também suporta a diferente resposta do relevo associado. Como visto no capítulo anterior, ambos os tipos de diques apresentam direções de fraturamento similares, porém o fraturamento dos diques de diabásio apresenta menor espaçamento. Tal comportamento é provavelmente função da espessura dos diques. Diversos autores (HOBBS, 1967; LADEIRA E PRICE, 1981; JI E SARUWATARI, 1998) estudaram a relação entre o espaçamento de fraturas e a espessura de sequências acamadadas. De modo geral, é bem aceito que quanto menor a espessura da camada, menor tende a ser o espaçamento entre as fraturas. Os diques de diabásio descritos no presente estudo apresentam espessuras substancialmente menores que as apresentadas pelos diques andesíticos.

Tal diferença na espessura de fato reflete uma diferença no espaçamento das fraturas, resultando numa densidade maior de fraturas exibidas pelos diques de diabásio. Como já apresentado anteriormente, fraturas tornam as rochas mais suscetíveis ao intemperismo, logo, a maior densidade de fraturas mostrada pelos diques de diabásio, aliada com uma composição mineralógica de minerais mais suscetíveis ao intemperismo faz com que a rocha seja decomposta mais rapidamente, gerando assim formas negativas de relevo. Uma menor espessura dos diques também implica em um menor volume de rocha a ser alterado. Tal fato contribui para uma decomposição mais rápida dos diques de diabásio quando comparado aos diques andesíticos.

Outra discussão aflora com respeito à espessura dos diques. Foi comprovado que sua suscetibilidade ao intemperismo e erosão aumenta conforme sua espessura diminui. Seria possível então que os diques andesíticos (normalmente associados a feições positivas de relevo) poderiam se associar a feições negativas de relevo, caso sua espessura seja menor? Ao se analisar o mapa de unidades de relevo (Apêndice I), nota-se que certas cristas associadas aos diques andesíticos mostram pequena continuidade. Tal fato poderia ser explicado por uma variação na espessura dos mesmos; as cristas seriam associadas somente às porções mais espessas dos diques, enquanto que as porções menos espessas seriam associadas a drenagens.

6.3 Unidades de terreno associadas

Na discussão referente aos fatores que influenciam o intemperismo foi apresentado que o relevo associado às rochas é um dos fatores que afetam a velocidade com a qual elas são decompostas. Declividades mais elevadas dificultam a infiltração d'água, fazendo com que o intemperismo seja menos intenso. Já declividades menores permitem uma melhor infiltração d'água, aumentando assim a intensidade do intemperismo. A análise das unidades de terreno nas quais os diques andesíticos e os diques de diabásio estão inseridos revelou que ambos os tipos de diques se encontram inseridos nas unidades I, IV e V (Apêndice I). Como cada unidade de terreno apresenta um intervalo característico de declividade, o fato de ambos os diques estarem inseridos em unidades iguais indica que tal fator não influencia nas feições positivas e negativas de relevo associadas a eles.

Porém, é importante notar que os diques condicionam o relevo observado nas unidades de terreno associadas ao embasamento granito gnáissico. Os diques andesíticos são responsáveis pelas cristas alongadas de elevada amplitude, declividade e formas de encosta retilíneas. Já os

diques de diabásio condicionam trechos de drenagens, especificamente aqueles de direção nordeste.

6.4 Clima, vegetação, presença de solo, e tempo de exposição

Além dos fatores inerentes à rocha (composição, textura e estrutura) e do tipo de relevo associado, o clima, a vegetação, a presença de solo e o tempo de exposição da rocha são fatores determinantes na intensidade do intemperismo. Porém, a influência desses últimos fatores na geração das diferentes formas de relevo associadas aos diques não foi julgada relevante. O clima, sendo um fator de abrangência regional, é constante para todas as rochas presentes na área de estudo. Diferenças na vegetação não são consideráveis, uma vez que a maior parte da ilha apresenta densa vegetação nativa. Quanto à presença de solo, não foi observada durante os trabalhos de campo uma variação considerável de sua espessura associada aos diques. Tal fato é concordante com a literatura, que afirma que a maior parte dos solos presentes na ilha são cambissolos e neossolos litólicos rasos ou pouco profundos (FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015). Finalmente, o tempo de exposição também não influencia a geração das diferentes formas de relevo associada aos diques, uma vez que os mesmos apresentam idades semelhantes (Cretáceo Inferior).

6.5 Classificação das unidades geológicas quanto à suscetibilidade a processos superficiais

A partir do exposto acima, é interessante classificar as unidades geológicas presentes na área de estudo com respeito à sua suscetibilidade ao intemperismo e erosão, analisando qual o efeito de suas diferentes propriedades nos tipos de relevo ali descritos. Optou-se por não incluir os depósitos sedimentares recentes nessa classificação, uma vez que estes apresentam gênese e propriedades que diferem substancialmente das referentes às outras unidades. Tal classificação inclui ainda uma unidade não caracterizada em detalhe no presente estudo, os *stocks* de composição alcalina. Levando-se em conta os fatores que controlam a intensidade do intemperismo apresentados anteriormente, as unidades geológicas presentes na área de estudo podem ser ordenadas da seguinte forma, da mais resistente a mais suscetível ao intemperismo: (I) *stocks* alcalinos, (II) diques andesíticos, (III) embasamento granito-gnáissico, e (IV) diques de diabásio.

Os *stocks* alcalinos (I) podem ser classificados como a unidade mais resistente em função de sua composição mineralógica, estruturação e idade. Tal unidade é representada por diferentes

tipos de sienito, que apresentam uma composição mineralógica comparativamente menos susceptível ao intemperismo quando comparada aos litotipos representativos das outras unidades, com exceção dos gnaisses graníticos do embasamento granito-gnáissico. Apesar de apresentar uma composição mineralógica menos resistente quando comparada a essas rochas, os *stocks* alcalinos ainda são considerados menos susceptíveis ao intemperismo em função de sua estruturação (não apresenta foliação) e idade (são compostos pelas rochas mais recentes da área de estudo, com idades em torno de 80 Ma). O tipo de relevo associado a essa unidade reflete sua maior resistência aos processos intempéricos: segundo Rodrigues (2016, no prelo), ela é representada por morros altos, morros alongados, e escarpas e serras anelares, todos exibindo altas amplitudes (> 600 m), declividades comumente médias a altas ($> 22.5\%$), vales fechados e picos/topos arredondados a angulosos.

Os diques andesíticos (II), por sua vez, são classificados como a segunda unidade mais resistente ao intemperismo. Tal como no caso dos *stocks* alcalinos, sua composição mineralógica, estruturação e idade são os fatores responsáveis por tal resistência. Como discutido anteriormente, apesar da rocha apresentar composição mineralógica mais susceptível ao intemperismo quando comparada à dos gnaisses graníticos, o fato de dela não possuir foliação e também ser mais recente (Cretáceo Superior) faz com que tal unidade seja mais resistente quando comparada ao embasamento granito-gnáissico. Como reflexo dessa resistência, os diques andesíticos se destacam no embasamento como cristas alongadas mostrando amplitudes e declividades mais acentuadas em relação às formas de relevo associadas aos gnaisses graníticos.

O embasamento granito-gnáissico (III) é classificado como a terceira unidade mais resistente ao intemperismo. Apesar de apresentarem composição mineralógica mais resistente (maior volume de minerais félsicos, dentre eles o quartzo), os gnaisses graníticos representativos dessa unidade apresentam foliação que facilita a entrada de água. Além disso, tais litotipos são os mais antigos da ilha, datando do Pré-cambriano. O fato de a rocha ser comparativamente mais antiga provavelmente tem influência direta na sua susceptibilidade ao intemperismo. Como reflexo dos fatores descritos acima, o relevo associado a essa unidade é representado por morrotes, morros baixos a altos (por vezes alongados), encostas montanhosas e escarpas (RODRIGUES, 2006, no prelo). É de destaque tamanha variação nos tipos de relevo associados ao embasamento granito-gnáissico. Tal comportamento pode ser explicado por alguns fatores: (1) variação dos litotipos que compõem a unidade, (2) variação das estruturas geológicas presentes

(foliação, fraturas, dobras, entre outras) e (3) influência de outras unidades que ocorrem intrudidas no embasamento (diques e *stocks*).

Finalmente, os diques de diabásio (IV) são classificados como a unidade mais susceptível ao intemperismo e consequente erosão. Sua composição mineralógica (maior porcentagem de minerais máficos, tais quais piroxênios) aliada ao seu padrão de fraturamento (maior densidade de fraturas) explica tal comportamento. Como consequência dessa alta suscetibilidade, feições negativas de relevo, tais quais encaixes de drenagem, são associadas a essa unidade.

7 CONCLUSÕES

A partir da análise e interpretação dos dados obtidos durante a condução do presente estudo, as seguintes conclusões foram alcançadas:

1. A composição mineralógica das rochas constituintes dos diques mostra importante influência na sua suscetibilidade aos processos superficiais e, portanto, na forma de relevo associada a eles. Os diques associados a cristas alongadas (feições positivas) são compostos por um andesito porfirítico, enquanto que os diques associados a drenagens (feições negativas) são compostos por diabásios de textura variada. A primeira rocha apresenta caráter intermediário, logo é constituída de minerais menos suscetíveis ao intemperismo quando comparados aos minerais constituintes dos diabásios, que são rochas de caráter básico.
2. Juntamente com a composição das rochas constituintes dos diques, seus padrões de fraturamento influenciam nas formas de relevo geradas. Apesar de ambos os tipos de diques apresentarem família de fraturas similares, o espaçamento entre as fraturas descritas nos diques de diabásio é menor quando comparado àquele presente nos diques andesíticos. Tal comportamento é explicado pela espessura dos diques; aqueles de composição básica apresentam espessura consideravelmente menor, logo, as fraturas tendem a ser menos espaçadas. Uma maior densidade de fraturas permite uma infiltração de água mais eficiente, fazendo com que a rocha seja intemperizada mais rapidamente, gerando assim feições negativas de relevo. A menor espessura dos diques de diabásio também implica em um menor volume de rocha a ser intemperizado e erodido.
3. Diferentes declividades não afetam as feições positivas e negativas associadas aos diques. Tal fato pode ser afirmado em função de ambos os tipos de diques estarem presentes em unidades de terreno caracterizadas por intervalos de declividade iguais. Porém, é importante notar que as unidades de terreno associadas ao embasamento granito gnáissico são condicionadas pelos diques. Cristas alongadas, elevadas declividades e formas de encosta retilíneas são associadas aos diques andesíticos. Já os diques de diabásio condicionam trechos de cursos de drenagens.
4. As unidades geológicas presentes na área de estudo podem ser ordenadas de acordo com suas suscetibilidades aos processos superficiais (intemperismo e erosão), da mais resistente a mais

suscetível: (I) *stocks* alcalinos, (II) diques andesíticos, (III) embasamento granito-gnáissico e (IV) diques de diabásio. Os principais fatores que controlam tal suscetibilidade são: a composição da rocha, sua estruturação e sua idade.

8 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, v. 41, p. 167-263, 1964.
- ALMEIDA, F.F.M. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. Atas... v. 8, p. 363-391.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A. Mapa geológico do estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981. Escala 1:500.000. (Boletim nº 1184). Nota explicativa incluída.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. O pré-cambriano do Brasil. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. 378 p.
- ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.R. Origem e evolução da Serra do Mar. Revista Brasileira de Geociências, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.
- AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. Potassium-argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 30, p. 159-189, 1966.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U. G.; KAWASHITA, L.; REYNOLDS, J. H. Potassium-argon ages of alkaline rocks from Southern Brazil. Geochimica et Cosmochimica Acta, Northern Ireland, v. 31, p. 117-142, 1967.
- AUGUSTO, T. Petrografia e quimismo mineral de rochas gábricas e sieníticas do maciço de São Sebastião, SP. 2003. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Instituto Geológico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- BELLIENI, G.; MONTES-LAUAR, C. R.; DE MIN, A.; PICCIRILLO, E. M.; CAVAZZINI, G.; MELFI, A. J.; PACCA, I. G. Early and late cretaceous magmatism from São Sebastião Island (SE-Brazil): geochemistry and petrology. Geochimica Brasiliensis, v. 4, n. 1, p. 59-83, 1990.
- CAMPANHA, G.A.C.; SADOWSKI, G.R. Tectonics of the southern portion of the Ribeira Belt (Apiaí domain). Precambrian Research, v. 98, p. 31-51, 1999.
- CAMPANHA, G.A.C.; BRITO NEVES, B.B. Frontal and oblique tectonics in the Brazilian shield. Episodes, v. 27, p. 255-259, 2004.
- CHIODI FILHO, C.; CHIEREGATI, L.A.; THODOROVICZ, A.M.G.; THEODOROVICZ, A.; MENEZES, R.G.; RAMALHO, R.; BATOLLA JR., F. Geologia e recursos minerais das folhas Natividade da Serra e Caraguatatuba. In: JORNADA SOBRE A CARTA GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1:50.000, 1., 1983, São Paulo. Atas... São Paulo: PRÓ-MINÉRIO/IPT, 1983, p. 8-26.

DERBY, O. A. On nepheline rocks in Brazil with special reference to the association of phonolite and foyaite. Quarterly Journal of the Geological Society, Londres, v. 43, p. 457-473, 1987.

FALEIROS, F.M.; CAMPANHA, G.A.C.; BELLO, R.M.S.; FUZIKAWA, K. Quartz recrystallization regimes, c-axis texture transitions and fluid inclusion reequilibration in a prograde greenschist to amphibolite facies mylonite zone (Ribeira Shear Zone, SE Brazil). Tectonophysics, v. 485, p. 193-214, 2010.

FALEIROS, F.M.; CAMPANHA, G.A.C.; MARTINS, L.; VLACH, S.R.F.; VASCONCELOS, P.M. Ediacaran high-pressure collision metamorphism and tectonics of the southern Ribeira Belt (SE Brazil): evidence for terrane accretion and dispersion during Gondwana assembly. Precambrian Research, v. 189, p. 263-291, 2011.

FREITAS R. O. de. Geologia e Petrologia da Ilha de São Sebastião. Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 85, p. 1-244, 1947.

FUNDAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Plano de Manejo do Parque Estadual de Ilhabela: Volume Principal. Ilhabela: Parque Estadual de Ilhabela, 2015. 835 p.

GARDA, G.M. Os diques básicos e ultrabásicos entre as cidades de São Paulo e Ubatuba, estado de São Paulo. 1995. 156 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GARDA, G. M.; SCHORSCHER, J. H. D. Os diques costeiros básicos e ultrabásicos adjacentes ao Canal de São Sebastião (Litoral Norte do Estado de São Paulo). Revista do IG, São Paulo, v. 17, n. 1/2, p. 7-31, 1996.

HASUI, Y. Sistema Orogênico Mantiqueira. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. (Org.) Geologia do Brasil. São Paulo: Beca, 2012. p. 331-372.

HASUI, Y.; FONSECA, M.J.G.; RAMALHO, R. A parte central da Região de Dobramentos Sudeste e o Maciço Mediano de Guaxupé. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (Coord.). Geologia do Brasil. Brasília: DNPM, 1984. p. 307-328.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS NETO, M. da C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.; JANASI, V.C. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B. (Ed.). Geologia do Continente Sul Americano: Evolução e Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 203-234.

HENNIES, W. T.; HASUI, Y. Geocronologia das rochas eruptivas da Ilha de São Sebastião, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22., 1968, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1968. p. 145-148.

HENNIES, W. T.; HASUI, Y. Contribuição ao conhecimento da geologia da Ilha de São Sebastião. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, 1977, São Paulo. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1977, v. 1, p. 199-209.

HOBBS, D. W. The formation of tension joints in sedimentary rocks: an explanation. Geological Magazine, v. 104, p. 550-556, 1967.

HUGGETT, R. J. Fundamentals of geomorphology. 2 ed. Nova Iorque: Routledge, 2007. 516 p.

Jl, S.; SARUWATARI, K. A revised model for the relationship between joint spacing and layer thickness. Journal of Structural Geology, v. 20, n. 11, p. 1495-1508, 1998.

LADEIRA, F. L.; PRICE, N. J. Relationship between fracture spacing and bed thickness. Journal of Structural Geology, v. 3, n. 2, p. 179-183, 1981.

LIMA, G. A. Gabros estratiformes da região norte da Ilha de São Sebastião, SP. 2001. 170 p. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MONTES-LAUAR, C.R. Paleomagnetismo de rochas magmáticas mesozoico-cenozoicas da plataforma Sul-Americana: estudo das formações Anari (RO) e Tapirapuã (MT), da Ilha de São Sebastião (SP), dos complexos alcalinos-carbonatíticos de Tapira (MG) e Salitre (MG) e das ilhas do Arquipélago dos Abrolhos. 1993. 206 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 1993.

MILANESI, M.A. Avaliação do efeito orográfico na pluviometria de vertentes opostas da Ilha de São Sebastião (Ilhabela-SP). 2007. 141 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, J.B; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1999. Escala 1:500.000. Acompanha legenda expandida.

PABST, L. Gabros estratiformes e sienitos supersaturados da Ilha de São Sebastião, SP: relações geológicas e petrografia na região da Ponta da Sepituba. 2014. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R.; JORDAN, T.H. Intemperismo e Erosão. In: _____ (Coord.). Para Entender a Terra. 4ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2006. p. 170-192.

RODRIGUES, F. H. Estudo da geodiversidade da região norte da Ilha de São Sebastião: uma proposta de mapeamento geoambiental aplicado à geoconservação. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2016. No prelo.

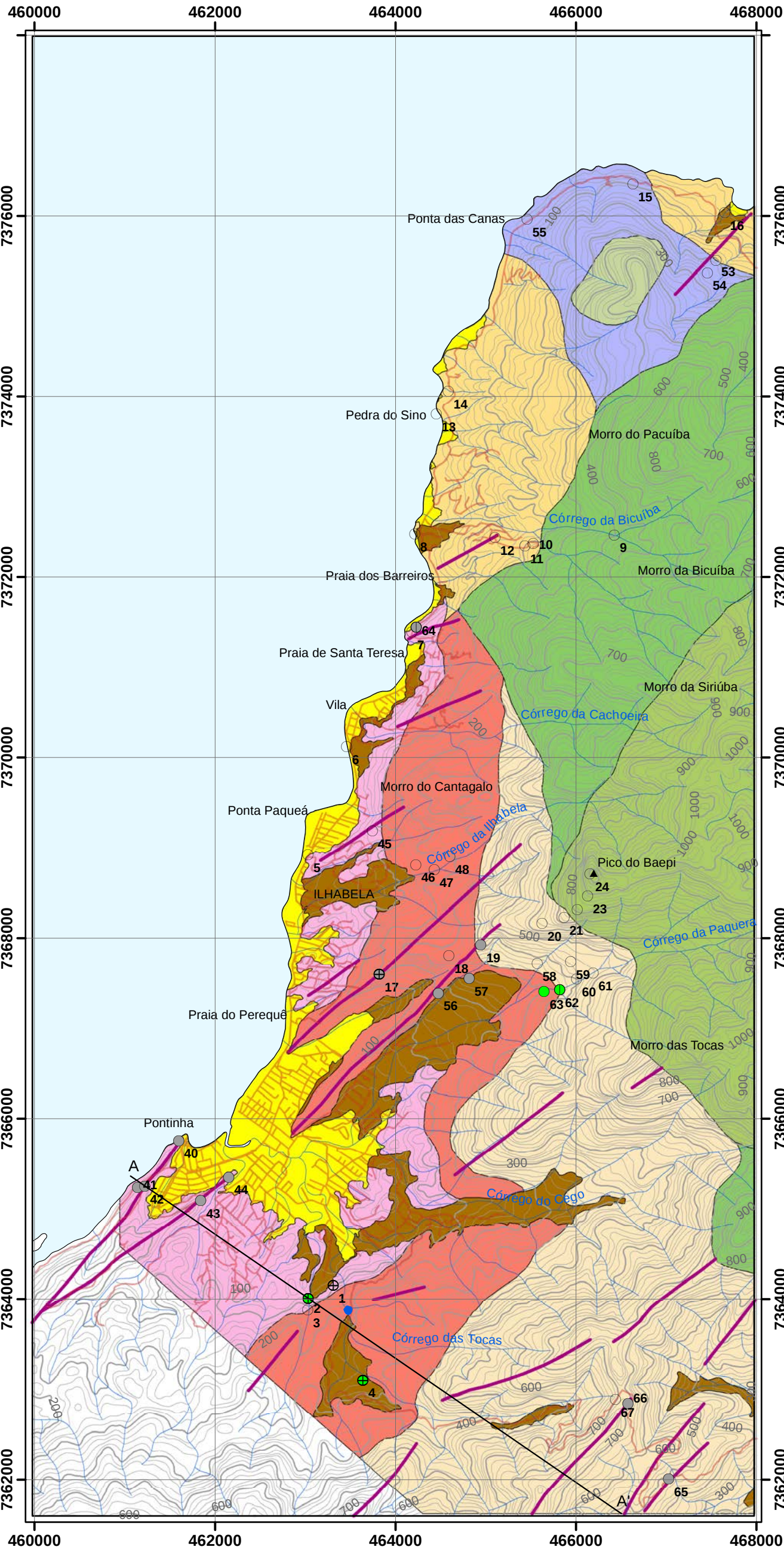
ROSSI, M.; MENK, J.R.F.; MATTOS, I.F. de A.; CATURICCI, A.F.M. Análise da fragilidade do meio físico para as ilhas de São Sebastião e dos Búzios: estudo de caso. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 161-181, 2005.

SCHOBENHAUS, C.; BRITO NEVES, B. B. A geologia do Brasil no contexto da plataforma sulamericana. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES J.H. (Ed.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília: CPRM, 2003. p. 5-55.

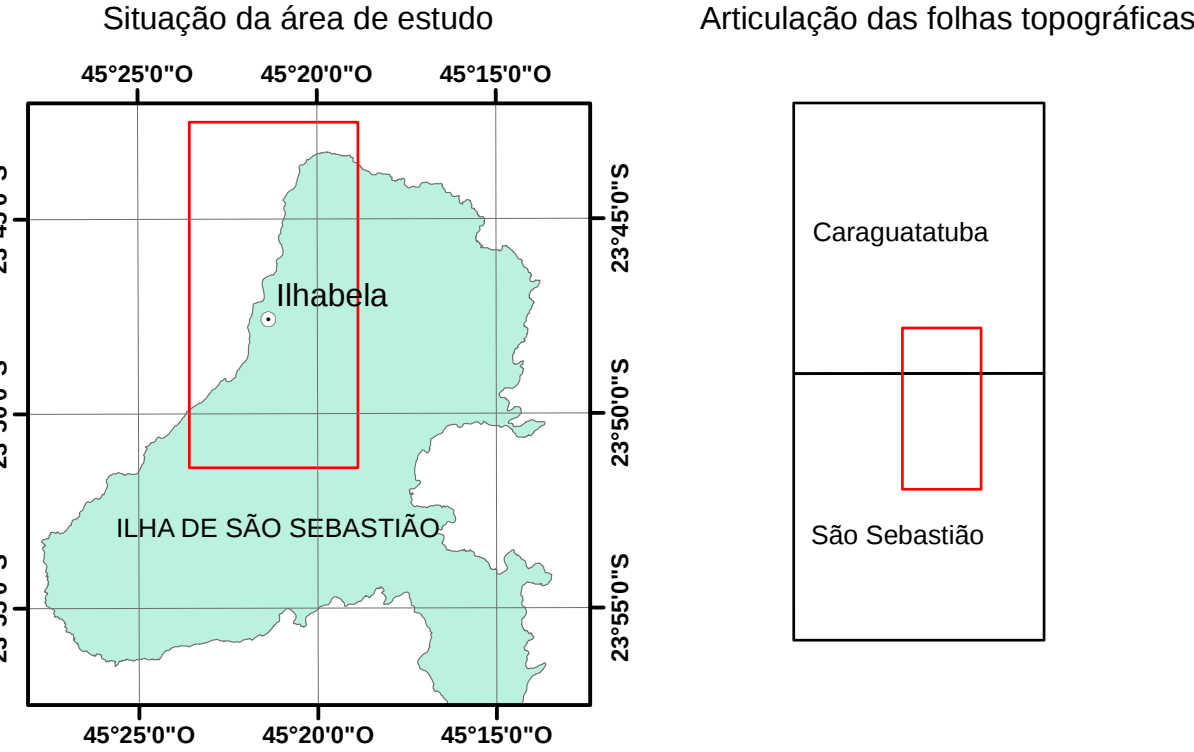
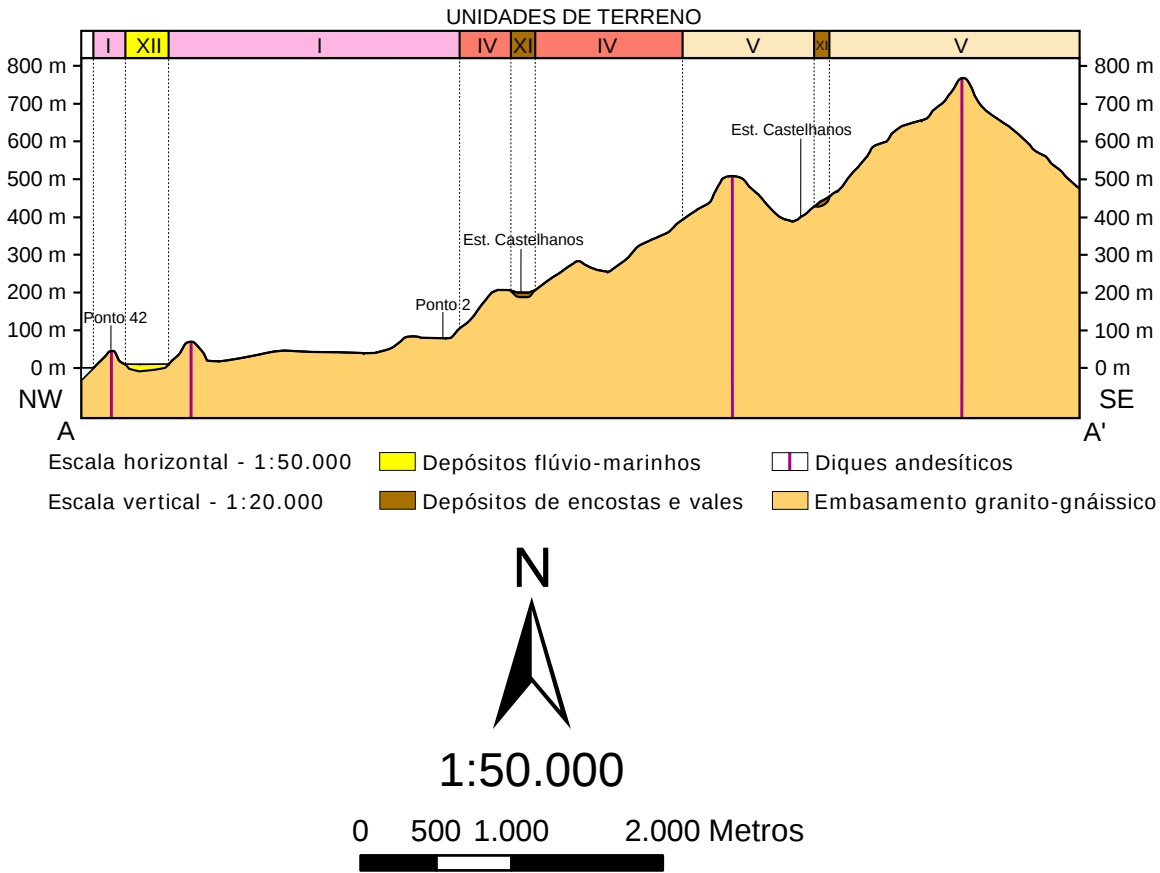
SILVA, A.T.S.F.; CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D.K.; PINTO FILHO, W.D. Projeto Santos-Iguape. São Paulo: Convênio DNPM-CPRM, 1977. v. 1, 639 p.

TASSINARI, C.C.G. As idades das rochas e dos eventos metamórficos da porção sudeste do estado de São Paulo e sua evolução crustal. 1998. 263 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

APÊNDICE I – MAPA DAS UNIDADES DE TERRENO



Unidades de Terreno	Compartimentação Fisiográfica (Fotoanálise)				Observações de Campo			
	Análise morfométrica		Formas de relevo		Geologia		Geomorfologia	
	Amplitude local	Declividade	Formas de vale e de topo	Formas de encostas	Litologias representativas	Diques presentes	Tipo de relevo	Formas de relevo
I - Morrotes e morros baixos em terreno gnáissico	Média / baixa (~ 100 m)	Baixa / média (10 - 22,5%)	Topos arredondados; vales fechados	Convexas / côncavas	Gnaiss granítico facoidal, gnaiss granítico subequigranular, álcali-feldspato sienito	Andesito porfíritico, diabásio porfíritico	Morrotes e morros baixos	Topos arredondados e cristas alinhadas; vales assimétricos encaixados; vertentes convexas e côncavas
II - Morros alongados em terreno gnáissico	Média (~ 300 m)	Média (22,5 - 45%)	Topos arredondados; vales fechados	Convexas / côncavas	Gnaiss granítico facoidal, álcali-feldspato sienito, nefelina monzogabro/monzodiorito		Morros alongados	Topos arredondados alinhados (direção noroeste) e cristas subordinadas alinhadas (direção nordeste); vales assimétricos encaixados; vertentes côncavas e convexas com concentração de fluxo superficial
III - Encostas montanhosas e morros altos em terreno gnáissico com intrusões básicas alcalinas	Média / alta (~ 500m)	Média (22,5 - 45%)	Topos arredondados; vales fechados	Convexas / retilíneas	Gnaiss granítico facoidal, intrusões básico-alcalinas		Encostas montanhosas e morros altos	Vertentes convexas e retilíneas marcadas por quebras de declive positivas; vales encaixados
IV - Morros altos em terrenos gnáissicos	Média (~ 300 m)	Média / alta (22,5 - 45%); ocorrências locais: 45 - 60%	Topos arredondados a angulosos; vales fechados	Côncavas / retilíneas	Gnaiss granítico facoidal	Andesito porfíritico, diabásio porfíritico	Morros altos	Topos arredondados restritos e cristas retilíneas; vales profundos encaixados; vertentes côncavas com anfiteatros e indícios de escorregamentos
V - Encostas montanhosas e escarpas em terreno gnáissico	Alta (~ 500 m)	Alta (45 - 60%); ocorrências locais: > 60%	Topos arredondados a angulosos; vales fechados	Convexas / côncavas	Gnaiss granítico facoidal	Andesito porfíritico, diabásio porfíritico	Encostas montanhosas e escarpas	Topos restritos arredondados a angulosos e cristas retilíneas fortemente orientadas (NE); vales assimétricos, profundos e encaixados em fraturas associadas às encostas com feições trapezoidais e triangulares; vertentes côncavas e convexas
VIII - Escarpas anelares e morros altos em terreno alcalino	Alta (~ 800 m)	Média / alta (22,5 - 60%); ocorrências locais: > 60%	Picos / topos arredondados a angulosos; vales fechados	Convexas / côncavas	Álcali-feldspato sienito, álcali-feldspato sienito com quartzo, sienito, alcalinas indefinidas	Sienitos	Escarpas anelares e morros altos	Picos, cristas anelares e diques retilíneos subordinados, truncados por falhas NE, formando escarpas; vales assimétricos, profundos e encaixados em fraturas associadas às encostas com feições trapezoidais e triangulares; vertentes convexas e côncavas com concentração de fluxo superficial
IX - Serra anelar e morros alongados em terreno alcalino	Alta (~ 600 m)	Baixa / média em morros (5 - 22,5%); média / alta na serra (22,5 - 60%); ocorrências locais: > 60%	Picos / topos arredondados a angulosos; vales fechados	Convexas / côncavas / retilíneas	Álcali-feldspato sienito, álcali-feldspato sienito com quartzo, sienito, alcalinas indefinidas		Serra anelar e morros alongados	Picos e cristas anelares truncadas por falhas NE, formando escarpas; vertentes convexas e côncavas e grandes anfiteatros de cabeceira de drenagem; vales assimétricos, profundos e encaixados em fraturas associadas às encostas com feições trapezoidais
X - Montanha em terreno básico alcalino	Média (~ 200 m)	Média / alta (22,5 - 60%); ocorrências locais: > 60%	Picos / topos arredondados a angulosos; vales fechados	Convexas / côncavas	Essexitos, ijolitos e gabros nefeliníticos (LIMA, 2001)		Montanha	Pico e crista anelar truncados por estrutura rúptil noroeste (possível falha) e crista subordinada, alinhada para nordeste; vale fechado e encaixado; vertentes côncavas e convexas
XI - Sedimentos quaternários em depósitos de meia e baixa-encosta e vales entulhados	Baixa (~ 20 m)	Baixa / média (0 - 22,5%)	Vales abertos	Côncavas	Depósitos rudáceos, de colúvio, aluviais e de tálus (rochas do embasamento granito-gnáissico, diques e stocks)	Diabásio intergranular	Depósitos de meia e baixa-encosta e vales entulhados	Rampas de colúvio e depósitos de tálus
XII - Sedimentos quaternários em planícies flúvio-marinhas	Baixa (~ 5 m)	Baixa / média (< 5%)	Vales abertos		Depósitos sedimentares flúvio-marinhos (rochas do embasamento granito-gnáissico, diques e stocks)		Planícies flúvio-marinhas	Superfícies planas, sub-horizontais



Legenda

- Oceano
- Hidrografia
- Pico
- Curvas de nível
- Estradas
- Diques andesíticos
- Pontos com amostra e lâmina delgada
- Pontos com amostra
- Pontos referentes aos diques andesíticos
- Pontos referentes aos diques de diabásio
- Pontos visitados, com respectiva numeração



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

DIQUES MESOZOICOS BÁSICOS E INTERMEDIÁRIOS
COMO CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS
NA ILHA DE SÃO SEBASTIÃO - SP

APÊNDICE I - MAPA DAS UNIDADES DE TERRENO

Projeção: Universal Transversa de Mercator
Fuso 23
Datum: WGS 1984
Mapas base: folhas topográficas do IBGE na escala 1:50.000:
São Sebastião (SF-23-Y-D-VI-3) e Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1)

Victor Arroyo da Silva do Valle
Orientador: José Eduardo Zaine

Rio Claro
Novembro, 2016

APÊNDICE II – DESCRIÇÃO DAS LÂMINAS DELGADAS

LÂMINA IB-01a

Descrição Macroscópica

A rocha apresenta coloração cinza clara quando fresca e varia de cinza-esbranquiçada a laranja-esbranquiçada quando alterada. Possui textura porfiroblástica, onde os fenocristais mostram granulação muito grossa (1–4 cm) enquanto que a matriz possui granulação média (1–5 mm). Os fenocristais são compostos de feldspato potássico euédrico/subédrico, de hábito que varia de ocelar a tabular e coloração rosa-esbranquiçada. Na matriz, encontram-se cristais subédricos/anédricos de plagioclásio esbranquiçado, feldspato potássico rosa-esbranquiçado, biotita preta, hornblenda verde-escura e quartzo anedral translúcido. A rocha apresenta estrutura gnáissica, formada pela orientação preferencial dos fenocristais de feldspato potássico e dos cristais de biotita e quartzo principalmente.

Descrição microscópica

Em escala microscópica, nota-se com mais facilidade que a rocha apresenta intercalação entre bandas de minerais félsicos (feldspato potássico, quartzo e plagioclásio) e de minerais máficos (biotita e hornblenda).

O feldspato potássico (microclínio) pode ser observado tanto na forma de fenocristais quanto na forma de cristais dispersos na matriz. No primeiro caso, os cristais são euédricos/subédricos, de hábito que varia de ocelar a tabular, com comprimento variando de 1 a 4 cm. Quando presentes na matriz, esse mineral ocorre como cristais subédricos/anédricos, com comprimento em torno de 0,5 mm. A geminação do tipo Tartan pode ser observada tanto na borda de alguns fenocristais quanto em toda superfície do cristal no caso do feldspato potássico da matriz. Podem ser observadas também texturas pertíticas (no caso de alguns fenocristais) e mimerquíticas (em alguns contatos de feldspato potássico com plagioclásio). Quanto à alteração secundária do feldspato potássico, nota-se que o mesmo sofreu processo de sericitização, que se restringe principalmente ao redor de fraturas presentes nos cristais.

O plagioclásio (oligoclásio) ocorre na forma de cristais euédricos/subédricos de hábito tabular dispersos na matriz da rocha, com comprimento variando entre 0,1 e 10 mm. Na maior parte das vezes, esse mineral apresenta geminação do tipo Albita, porém o tipo combinado

Carlsbad-albita também pode ser observado. As lamelas de tais geminações podem ou não cruzar o cristal inteiro. A superfície dos cristais apresenta aspecto levemente empoeirado, indicando leve alteração secundária (provavelmente sericitização e/ou epidotização).

O quartzo pode ser observado na forma de cristais anédricos presentes na matriz, com comprimento variando entre 0,1 e 6 mm. Alguns cristais se mostram deformados, exibindo extinção ondulante e comprimento maior subparalelo à foliação da rocha.

A biotita ocorre na forma de cristais euédricos placoides na matriz da rocha, com comprimento variando de 0,1 a 1mm. Apresenta intenso pleocroísmo que varia do amarelo claro até o castanho escuro. É observada na forma de bandas de cristais orientados segundo a foliação da rocha; tais bandas tendem a envolver as bandas de minerais félsicos. É encontrada principalmente associada à hornblenda.

A hornblenda se mostra na forma de cristais subédricos/anédricos na matriz, com granulação fina a média (ao redor de 1 mm). Apresenta intenso pleocroísmo, do castanho amarelado ao verde escuro. Encontra-se associada às bandas de biotita.

A apatita ocorre dispersa pela rocha, na forma de pequenos grãos de seção hexagonal.

Composição modal estimada

1. Plagioclásio (oligoclásio): 40%
2. Quartzo: 25%
3. Feldspato potássico (microclínio): 20%
4. Biotita: 10%
5. Hornblenda: 5%
6. Apatita: traço

Classificação da rocha: **gnaisse granítico facoidal**

LÂMINA IB-02b

Descrição macroscópica

A rocha apresenta coloração cinza-escuro quando fresca e tende a mostrar tons mais esverdeados quando alterada. Possui textura holocristalina porfirítica, onde os fenocristais possuem granulação média (em torno de 5 mm) enquanto que a matriz possui granulação fina. Os fenocristais são formados tanto por cristais anédricos de plagioclásio branco-acinzentado, quanto por cristais euédricos/subédricos de piroxênio e/ou olivina esverdeados. Já a matriz possui coloração cinza-escuro esverdeada, não sendo possível definir macroscopicamente sua mineralogia.

Descrição microscópica

Em escala microscópica, nota-se que a rocha é composta de fenocristais de granulação média a grossa (2–5 mm), microfenocristais de granulação fina (0,1–0,6 mm) e matriz de granulação ainda mais fina (0,2–0,02 mm). Os fenocristais são representados por plagioclásio e pseudomorfos de minerais ferro-magnesianos (piroxênio e/ou olivina), enquanto que os microfenocristais são representados por clinopiroxênio (augita) e plagioclásio (labradorita), restando na matriz cristais de plagioclásio e magnetita/ilmenita. A matriz possui textura intergranular, uma vez que os cristais de plagioclásio e opacos ocupam os espaços entre os microfenocristais de piroxênio.

Quando na forma de fenocristal, o plagioclásio (labradorita) apresenta comprimento que varia de 2 a 5 mm. Possui bordas arredondadas, provavelmente resultado de reabsorção magmática. A grande maioria dos fenocristais apresenta geminação do tipo Albita, sendo que as lamelas atravessam o cristal inteiro. Já na forma de microfenocristal, o plagioclásio é tabular euédrico/subédrico, com comprimento médio de 0,5 mm. A principal geminação observada nesses cristais é a do tipo Carlsbad, sendo que as lamelas também atravessam o cristal inteiro. Finalmente, os cristais de plagioclásio na matriz são subédricos ripiformes, com comprimento máximo de 0,2 mm e também exibem predominantemente a geminação do tipo Carlsbad. Todos os cristais de plagioclásio mostram superfície levemente alterada para minerais micáceos (sericita e/ou argilominerais); uma alteração mais intensa pode ser observada ao longo de fraturas presentes nos fenocristais.

Os fenocristais representados por pseudomorfos de minerais ferro-magnesianos são euédricos/subédricos, com diâmetro médio de 1 mm. São observadas seções poligonais com oito ou seis lados; desse modo se supõe que os cristais pretéritos eram de piroxênio e olivina, respectivamente. A transformação pseudomórfica dos minerais primários é bastante intensa, sendo que somente o seus hábitos foram preservados. Os principais produtos de alteração são: clorita, serpentina, carbonato, idingsita (substância castanha-avermelhada que consiste de esmectita, clorita e goetita/hematita), opacos e argilominerais.

O piroxênio (augita) na forma de microfenocristal é euédrico/subédrico de hábito prismático e seção octógona, com diâmetro médio de 0,2 mm. Tais cristais se mostram intensamente alterados. Além da clorita e óxidos de ferro, outro produto de alteração observado é um agregado mineral de coloração esverdeada pálida. Este possui propriedades associadas a dois possíveis tipos de produtos de alteração: uma do tipo tardi-magmática, representada pela uralita (anfíbios produtos de alteração do piroxênio); e outra do tipo intempérica, representada pela presença de argilominerais.

Os minerais opacos ocorrem em grande número na matriz da rocha, na forma de cristais euédricos de formas quadradas, rômbricas e triangulares ou na forma de agregados amorfos. Os cristais euédricos possuem diâmetro médio de 0,06 mm, e provavelmente são compostos de magnetita e ilmenita.

Composição modal estimada

1. Plagioclásio (labradorita): 53%
2. Clinopiroxênio (augita): 30%
3. Opacos: 13%
4. Olivina: 4%

Classificação da rocha: **diabásio porfirítico**; caso a olivina seja de fato um mineral primário, a rocha pode ser classificada como um **olivina diabásio porfirítico**

LÂMINA IB-04a

Descrição macroscópica

A rocha apresenta coloração cinza-escura quando fresca e tons mais esverdeados quando alterada. Mostra uma textura holocristalina de granulação fina, onde não é possível distinção macroscópica adequada entre os minerais constituintes.

Descrição microscópica

Na escala microscópica, observa-se que a rocha apresenta uma textura intergranular, onde cristais euédricos/subédricos de plagioclásio (labradorita) e de minerais opacos (magnetita/ilmenita) se encontram dispersos entre os cristais euédricos/subédricos de clinopiroxênio alterado (augita).

O plagioclásio ocorre na forma de cristais ripiformes euédricos/subédricos, atingindo comprimento de até 0,5 mm. Somente a geminação do tipo Carlsbad é observada. A superfície dos cristais se mostra alterada, provavelmente para epidoto e/ou argilominerais.

O clinopiroxênio se mostra parcial ou totalmente alterado para um produto esverdeado pálido. Tal produto pode ser associado a processos tardi-magmáticos (uralitização) ou a processos intempéricos (formação de argilominerais). O hábito dos cristais de piroxênio é preservado, este se mostra prismático de seção octógona, com diâmetro médio menor de 0,5 mm.

Os opacos ocorrem em grande número na matriz da rocha. Apresentam-se como cristais euédricos quadrados de diâmetro menor que 0,2 mm ou como agregados amorfos. São provavelmente compostos de magnetita e ilmenita.

Composição modal estimada

1. Plagioclásio (labradorita): 60%
2. Clinopiroxênio (augita): 25%
3. Opacos: 15%

Classificação da rocha: **diabásio intergranular**

LÂMINA IB-17

Descrição macroscópica

A rocha apresenta coloração cinza esverdeada quando fresca e branco-amarelada quando alterada. Possui textura porfirítica, onde os fenocristais mostram granulação grossa (0,4–1 cm) enquanto que a matriz mostra granulação fina (menor que 1 mm). Os fenocristais são formados por plagioclásio euédrico de hábito tabular e coloração cinza-esbranquiçada. Já a matriz é composta de plagioclásio acinzentado e piroxênio preto esverdeado.

Descrição microscópica

Observa-se na lâmina delgada que a matriz da rocha mostra uma textura intergranular, onde cristais de plagioclásio predominantes, juntamente com minerais opacos e algum feldspato potássico e quartzo se encontram presentes entre cristais alterados de piroxênio. São observados também alguns microfenocristais de piroxênio.

Quando na forma de fenocristal, o plagioclásio (oligoclásio/labradorita) é euédrico/subédrico tabular, com comprimento que varia de 0,4 a 1 cm. Quando na matriz, o plagioclásio (oligoclásio) se assemelha com os fenocristais, porém mostram granulação menor (0,3 mm). As geminações observadas são as do tipo Albite e Carlsbad. A superfície dos cristais se apresenta alterada, provavelmente para epidoto e argilominerais.

O clinopiroxênio (augita) ocorre tanto na forma de microfenocristais quanto disperso na matriz da rocha. Os microfenocristais são euédricos de hábito prismático e seção octógona, com diâmetro médio de 1 mm. Já os cristais na matriz possuem diâmetro menor, ao redor de 0,2 mm. Todo o piroxênio da rocha se apresenta intensamente alterado para um agregado mineral de coloração verde pálida; este pode ser produto de alteração tardi-magmática (uralita) ou de alteração intempérica (formação de argilominerais). Outros produtos presentes da alteração do piroxênio são clorita e óxidos de ferro.

Os minerais opacos (magnetita/ilmenita) ocorrem dispersos pela matriz, tanto na forma de cristais euédricos quadrados de até 0,2 mm, quanto na forma de agregados amorfos.

Algum quartzo e feldspato potássico ocorre disperso pela rocha, na forma de cristais subédricos/anédricos de até 0,3 mm.

Composição modal estimada

1. Plagioclásio (oligoclásio/labradorita): 65%
2. Clinopiroxênio (augita): 30%
3. Opacos: 5%
4. Quartzo e feldspato potássico: traços

Classificação da rocha: **andesito porfirítico**

APÊNDICE III – DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE CAMPO

Ponto	X	Y	Toponímia	Tipo de alforamento	Litologia	Famílias de fraturas	Foliação	Caracterização dos diques		
								Litologia	Espessura	Famílias de fraturas (em relação às margens do dique)
1	463309	7364149	Pq Municipal das Cachoeiras	Paredão de cachoeira e blocos	Gnaiss granítico facoidal					
2	463032	7364007	Pq Municipal das Cachoeiras	Lajeado/leito de drenagem	Gnaiss granítico facoidal e diques de diabásio	N50E/65 NW	N50E/65 NW	Diabásio porfíritico	0,8 m	N30E/85NW (diagonal), N40W/90 (perpendicular), N50E/75NW (paralelo)
3	463028	7363880	Pq Municipal das Cachoeiras	Lajeado/leito de drenagem	Gnaiss granítico facoidal					
4	463641	7363103	Poço da Escada	Lajeado/leito de drenagem	Gnaiss granítico facoidal e diques de diabásio		N50E/75 NW	Diabásio intergranular	0,45 m	N40W/90 (perpendicular)
5	463030	7368921	SP-131 - Pequeá	Corte de estrada	Gnaiss granítico facoidal	N84E/75S E	N40E/60 NW			
6	463459	7370121	SP-131 - Centro	Blocos na praia	Álcali-feldspato sienito					
7	464181	7371391	SP-131 - Mirante Praia dos Barreiros	Corte de estrada	Gnaiss granítico subequigranular e diques de andesito	N36E/60S E	N36E/60 SE	Andesito porfíritico	0,20 m	N54W/90 (perpendicular)
8	464213	7372475	Praia do Viana	Blocos na praia	Álcali-feldspato sienito					

Ponto	X	Y	Toponímia	Tipo de alforamento	Litologia	Famílias de fraturas	Foliação	Caracterização dos diques		
								Litologia	Espessura	Famílias de fraturas (em relação às margens do dique)
9	466424	7372465	Cachoeira da Friagem	Paredão de cachoeira	Álcali-feldspato sienito	N60E/86 NW				
10	465528	7372368	Início Trilha Cachoeira da Friagem	Blocos e lajeado alterados	Gnaiss granítico facoidal		N50E/64 NW			
11	465433	7372342	Antes do início da Trilha da Friagem	Bloco rolado	Álcali-feldspato sienito					
12	465103	7372435	Alameda dos Pássaros - Sirúba	Blocos rochosos	Álcali-feldspato sienito					
13	464454	7373808	Praia do Sino	Blocos na praia	Nefelina monzogabro/monzodiorito					
14	464584	7374057	SP-131 - Ponta Azeda	Corte de estrada	Gnaiss granítico facoidal		N70E/60 NW			
15	466633	7376350	SP-131 - Pacuíba	Corte de estrada	Gnaiss granítico facoidal		N40E/65 NW			
16	467649	7376032	Praia do Pacuíba	Blocos na praia	Gabros e piroxenitos					

Ponto	X	Y	Toponímia	Tipo de alforamento	Litologia	Famílias de fraturas	Foliação	Caracterização dos diques		
								Litologia	Espessura	Famílias de fraturas (em relação às margens do dique)
17	463821	7367598	Início Trilha do Baepi	Lajeado	Andesito porfírico			Andesito porfírico	15 m	
18	464593	7367803	Trilha do Baepi	Blocos	Gnaiss granítico facoidal					
19	464947	7367922	Trilha do Baepi	Blocos	Andesito porfírico					
20	465625	7368161	Trilha do Baepi	Blocos	Gnaiss granítico facoidal					
21	465867	7368225	Trilha do Baepi	Blocos	Gnaiss granítico facoidal					
22	466015	7368317	Trilha do Baepi	Blocos	Alcalina indefinida					
23	466130	7368464	Trilha do Baepi	Blocos	Álcali-feldspato sienito					
24	466154	7368711	Pico do Baepi	Lajeado	Álcali-feldspato sienito c/ quartzo					
25	469483	7375261	Saco de Furnas	Blocos e lajeado	Alcalina indefinida	N50E/20 NW				
26	472702	7374204	Praia da Fome	Blocos e lajeado	Sienito					
27	473259	7371788	Córrego do Poço	Blocos e lajeado	Sienito	N20W/90				

Ponto	X	Y	Toponímia	Tipo de alforamento	Litologia	Famílias de fraturas	Foliação	Caracterização dos diques		
								Litologia	Espessura	Famílias de fraturas (em relação às margens do dique)
28	472766	7371821	Córrego do Poço	Blocos e lajeado	Sienito	N20W/90				
29	472690	7371820	Córrego do Poço	Blocos	Blocos deienito					
30	473729	7372133	Praia do Poço	Blocos na praia	Sienito			Traquito	0,30 m	
31	475792	7371248	Entre Praia do Poço e Praia da Serraria	Blocos e lajeado	Possível sienito e dique indefinido	N45E/85 NW		Indefinida	1,5 m	
32	476143	7370606	Entre Praia do Poço e Praia da Serraria	Blocos	Blocos de possível sienito e dique indefinido					
33	476308	7369605	Entre Praia do Poço e Praia da Serraria	Blocos e lajeado	Possível sienito e dique indefinido	N45E/85 NW		Indefinida		
34	475307	7366716	Praia da Serraria	Blocos e lajeado	Gnaíse granítico facoidal e dique indefinido		N55E/75 SE	Indefinida	> 2 m	N78W/87SE (diagonal), N55W/41NE (perpendicular)
35	474782	7365056	Praia da Caveira	Blocos e lajeado	Gnaíse granítico facoidal e sienito					
36	475796	7364400	Entre Praia da Caveira e Praia do Eustáquio	Lajeado	Possível gnaíse granítico e dique indefinido			Indefinida	6 m	

Ponto	X	Y	Toponímia	Tipo de alforamento	Litologia	Famílias de fraturas	Foliação	Caracterização dos diques		
								Litologia	Espessura	Famílias de fraturas (em relação às margens do dique)
37	471490	7362996	Praia do Gato	Blocos	Blocos de possível gnaiss granítico e dique indefinido					
38	470665	7363743	Cachoeira do Gato	Lajeado e blocos	Álcali-feldspato sienito e dique indefinido					
39	475141	7363809	Praia do Eustáquio	Lajeado e blocos	Gnaiss granítico facoidal					
40	461599	7365755	Ponta da balsa	Corte de estrada e lajeado de costa	Andesito porfíritico			Andesito porfíritico	15 m	N60W/60SW (perpendicular), N60W/30NE
41	461143	7365240	Dique na SP-131	Corte de estrada	Gnaiss granítico facoidal e andesito porfíritico			Andesito porfíritico	15 m	N60W/60SW (perpendicular), N60W/30NE
42	461220	7365249	Perfil de solo R. Barra Velha	Corte de estrada	Andesito porfíritico alterado			Andesito porfíritico		
43	461842	7365091	Dique no fim da R. Sta Catarina	Blocos	Andesito porfíritico			Andesito porfíritico		
44	462153	7365352	Dique no fim da R. Amazonas	Blocos	Andesito porfíritico			Andesito porfíritico		
45	463744	7369185	Blocos na crista do Bairro Engenho d'Água	Blocos e perfil de alteração	Gnaiss granítico facoidal e dique indefinido		N40E/40 NW			

Ponto	X	Y	Toponímia	Tipo de alforamento	Litologia	Famílias de fraturas	Folição	Caracterização dos diques		
								Litologia	Espessura	Famílias de fraturas (em relação às margens do dique)
46	464227	7368813	Trilha Engenho d'Água	Blocos	Gnaisses, sienitos e andesito porfíritico					
47	464429	7368756	Trilha Engenho d'Água	Blocos	Gnaisses, sienitos e andesito porfíritico					
48	464603	7368901	Trilha Engenho d'Água	Blocos	Gnaisses, sienitos e andesito porfíritico					
49	469925	7375067	Crista do Jabaquara	Blocos	Álcali-feldspato sienito c/ quartzo					
50	470115	7375263	Ponta do Jabaquara	Lajeado e blocos	Álcali-feldspato sienito c/ quartzo e diques alcalinos	N40W/80 SW		Traquito	0,15 - 2 m	
51	469442	7374308	Drenagem do Jabaquara	Blocos	Álcali-feldspato sienito c/ quartzo					
52	469345	7374155	Drenagem do Jabaquara	Lajeado e blocos	Álcali-feldspato sienito c/ quartzo	N40E/85S E				
53	467552	7375507	Drenagem do Pacuíba	Blocos	Alcalina indefinida					
54	467456	7375369	Drenagem do Pacuíba	Blocos	Alcalina indefinida					
55	465459	7375961	Ponta de Canas	Blocos na costa e em solo próximo	Alcalina indefinida					

Ponto	X	Y	Toponímia	Tipo de alforamento	Litologia	Famílias de fraturas	Foliação	Caracterização dos diques		
								Litologia	Espessura	Famílias de fraturas (em relação às margens do dique)
56	464475	7367390	Trilha do Bananal	Blocos	Andesito porfírico					
57	464816	7367552	Trilha do Bananal	Blocos	Gnaíse granítico facoidal e dique de andesito porfírico					
58	465571	7367718	Trilha paralela à cachoeira	Blocos	Gnaíse granítico facoidal e alcali-feldspato sienito					
59	465942	7367737	Ponto mais alto da trilha paralela à cachoeira	Blocos	Gnaíse granítico facoidal					
60	466008	7367548	Trilha que desce até drenagem do Bananal	Blocos	Alcalina indefinida					
61	466191	7367612	Drenagem do Bananal ponto mais alto	Lajeado e blocos	Gnaíse granítico facoidal	N50E/70S E	N50E/70 SE			
62	465819	7367425	Dique definido drenagem do Bananal	Leito de drenagem	Gnaíse granítico facoidal e dique de diabásio			Diabásio porfírico	1,5 m	N60W/90 (perpendicular), N46E/90 (paralela), N42E/90 (diagonal)
63	465648	7367405	Cachoeira do Bananal	Lajeado	Gnaíse granítico porfírico e diques de diabásio		N27E/65 NW	Diabásio porfírico	0,4 m	N18W/90 (diagonal)
64	464230	7371443	Mirante do late Club	Corte de estrada	Gnaíse granítico subequigranular e diques de andesito	N36E/60S E	N36E/60 SE	Andesito porfírico	0,20 m	N54W/90 (perpendicular)

Ponto	X	Y	Toponímia	Tipo de alforamento	Litologia	Famílias de fraturas	Foliação	Caracterização dos diques		
								Litologia	Espessura	Famílias de fraturas (em relação às margens do dique)
65	467027	7362006	Cachoeira na Estrada dos Castelhanos	Lajeado de cachoeira	Andesito porfíritico			Andesito porfíritico		N60W/90 (perpendicular), família subhorizontal
66	466576	7362839	Crista na Estrada dos Castelhanos	Corte de estrada e blocos	Andesito porfíritico					
67	466437	7362888	Alcalina próxima à crista dos Castelhanos	Corte de estrada	Alcalina indefinida					