



**IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS E ANOMALIAS DE
CONTRASTE ESPECTRAL NA REGIÃO DO CARBONATITO MORRO
DOS SEIS LAGOS, NW DO AMAZONAS.**

Porto Alegre, 2012

MARCO BIMKOWSKI ROSSONI

**IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS E ANOMALIAS DE
CONTRASTE ESPECTRAL NA REGIÃO DO CARBONATITO MORRO
DOS SEIS LAGOS, NW DO AMAZONAS.**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. Artur Bastos Neto
Profa. Dra. Dejanira Luderitz Saldanha

Porto Alegre, 2012

Rossoni, Marco Bimkowski

Identificação de estruturas geológicas e anomalias de contraste espectral na região do carbonatito Seis Lagos, NW do AM. / Marco Bimkowski Rossoni - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2012.

73 f. il.

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2012.

Orientador: Artur Bastos Neto

Coorientadora: Dejanira Luderitz Saldanha

1. Carbonatito. 2. Sensoriamento remoto. 3. Lateritas. 4. Elementos terras raras. 5. Morro dos Seis Lagos. I. Título.

Catálogo na Publicação
Biblioteca Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grün CRB 10/1113

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS E ANOMALIAS DE CONTRASTE ESPECTRAL NA REGIÃO DO CARBONATITO MORRO DOS SEIS LAGOS, NW DO AMAZONAS.**”, elaborado por “**MARCO BIMKOWSKI ROSSONI**”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Leo Afraneo Hartmann

Nelson Amoretti Lisboa

Agradecimentos

Obrigado, pai, mãe e família. Obrigado Artur e Dejanira. Obrigado a todos os bons professores do curso. E obrigado a todos os colegas que estiveram juntos nos momentos bons, e principalmente, aos que também estavam nos ruins.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivos principais a identificação das estruturas geológicas que controlam o posicionamento do Morro dos Seis Lagos (MSL) e dos dois corpos menores a norte deste. A morfologia do morro também foi interpretada, com ênfase na delimitação da crosta laterítica e de estruturas associadas a falhamentos. Além disso, buscou-se por regiões no MSL com concentrações de argilas, as quais devem estar relacionadas a zonas de hidrotermalismo e podem concentrar Nb e elementos terras raras. Para tanto foram utilizadas técnicas de geofísica juntamente com a análise de um modelo digital de terreno e do mapa geológico da área proposta. Também foram realizados processamentos sobre uma imagem de satélite. Os dados e interpretações gerados foram capazes de: identificar a principal estrutura (de escala regional e direção E-W) que controla o posicionamento do MSL bem como aquelas que o posicionam dentro desta; identificar as estruturas que controlam a morfologia do morro e possivelmente o hidrotermalismo neste; delimitar a crosta laterítica que o capeia; 9 zonas com concentrações de argilas foram encontradas.

Palavras-chave: Carbonatito, Morro dos Seis Lagos, sensoriamento remoto, elementos terras raras, laterita, cráton Amazonas.

ABSTRACT

This work has as aims objectives identify the geological structures controlling the position of Morro dos Seis Lagos (MSL) and the two smaller bodies north of this. The morphology of the hill was also interpreted, with emphasis on the delimitation of the lateritic crust and structures associated with faultings. Moreover, sought to regions in MSL with concentration of clays, which should be related to hydrothermalism and can concentrate Nb and rare earth elements. For both geophysical techniques have been used together with the analysis of a digital terrain model and the geological map of the area. Also procedures were performed on a satellite image. The data and interpretations reveals: the identification of the primary structure (with regional scale and direction E-W) that controls the position of MSL as well those that position within this; identification of the structures that control the morphology of the hill; delimitates the lateritic crust than copper; 9 zones with clays concentration have been found.

Keywords: Carbonatite, Morro dos Seis Lagos, remote sensing, rare earth elements, laterite, Amazon craton

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo no continente sul americano e do carbonatito Seis Lagos na região NW do Amazonas.....	10
Figura 2. Vista em planta do Morro dos Seis Lagos através do Google Earth.....	11
Figura 3. Distribuição dos carbonatitos conhecidos no globo. Adaptada de Corrêa, 1996.....	13
Figura 4. Código e localização das imagens Topodata para o Estado do Amazonas.....	17
Figura . Distribuição dos níveis de cinza, pré (A) e pós (B) definição do “stretch” da imagem de satélite SPOT.....	20
Figura 6. Modelos das máscaras 3x3, utilizadas para ressaltar estruturas de direções específicas.....	21
Figura 7. Reflectância de alvos terrestres para diversos comprimentos de ondas eletromagnéticas.....	22
Figura 8. Propostas das subdivisões do Cráton Amazonas, modificado de CPRM 2006.....	27
Figura 9. Domínios da província Rio Negro, a partir de dados da CPRM 2006, o retângulo laranja delimita a área de estudo.....	31
Figura 10. Mapa geológico da área de estudo.....	37
Figura 11. Área do modelo digital do terreno contemplada pelo Mapa Geológico do Estado do Amazonas (CPRM 2006).....	40
Figura 12. Mapa geológico da área com unidades agrupadas. Seis Lagos é marcado pelo círculo branco.....	49
Figura 13. Modelo digital do terreno para a área de estudo.....	51
Figura 14. Mapa de lineamentos morfo-estruturais.....	52
Figura 15. Mapa gravimétrico do Estado do Amazonas. O círculo branco indica a região do Morro dos Seis Lagos.....	53
Figura 16. Mapa aerogamaespectométrico.....	54
Figura 17 - Mapa de lineamentos magnéticos principais.....	55
Figura 18 - Magnetometria na região adjacente a Seis Lagos (círculo amarelo).....	56
Figura 19. Principais morfoestruturas no entorno do Morro dos Seis Lagos.....	57
Figura 20. Lineamentos internos ao Morro dos Seis Lagos.....	58
Figura 21. Imagem SPOT tratada através de filtro linear, salientando estruturas de direção azimutal próximas a 150° utilizando a banda 3 (infra vermelho próximo).....	59
Figura 22. Morro dos Seis Lagos em composição colorida falsa cor a partir da imagem SPOT.....	60
Figura 23- Resposta da imagem SPOT na área do Morro dos Seis Lagos utilizando apenas a banda do infra vermelho de ondas curtas.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1a. Unidades geológicas da área	38
Tabela 1b. Unidades geológicas da área.....	39

SUMÁRIO

Resumo	II
Abstract.....	III
Lista de figuras	IV
Lista de tabelas.....	V
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Localização da área de estudo.....	10
1.2 A importância do depósito de Morro dos Seis Lagos e o enquadramento deste trabalho nas pesquisas da UFRGS.....	11
1.3 Caracterização do problema.....	12
1.4 Objetivos.....	15
2. METODOLOGIA.....	16
2.1 Revisão bibliográfica.....	16
2.2 Modelo digital do terreno.....	16
2.3 Mapa de morfoestruturas.....	18
2.4 Mapas geológicos da área	18
2.5 Geofísica.....	18
2.6 Processamentos digitais na imagem SPOT 4.....	19
2.7 Modelos digitais de elevação e dados SRTM.....	22
2.8 Sobre os produtos TOPODATA.....	25
3. GEOLOGIA REGIONAL.....	26
4. GEOLOGIA DA ÁREA.....	36
5. PRODUTOS E RESULTADOS.....	48
5.1 Mapas geológicos da área.....	48
5.2 Modelo digital do terreno.....	50
5.3 Mapa de morfoestruturas.....	52
5.4 Mapa gravimétrico.....	53
5.5 Mapa aerogamaespectométrico.....	54
5.6 Mapa Aeromagnetométrico.....	55

5.7 Análise morfoestrutural do Morro dos Seis Lagos e adjacências.....	56
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	62
7. CONCLUSÕES.....	68
8. REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 Localização da área de estudo

O Morro de Seis Lagos (Bonow, 1976) - também conhecido como Complexo Alcalino Seis Lagos (Isler, 1980), cujo nome deriva do morro dos Seis Lagos (Fig. 2), localiza-se no município de São Gabriel da Cachoeira, no Estado do Amazonas (Fig. 1). A área pertence à folha NA.19-Z-D-V. Embora este estudo tenha sido efetuado exclusivamente a partir de técnicas de sensoriamento remoto, informações sobre o acesso à área são sempre pertinentes. O acesso à cidade de São Gabriel da Cachoeira pode ser feito por via aérea ou fluvial. Desta cidade, segue-se por 65 km pela estrada BR-307, que liga São Gabriel a Cucuí, chegando-se à ponte sobre o igarapé la-Mirim. A partir desse ponto, segue-se 8 km por via fluvial até o sopé do morro dos Seis Lagos.

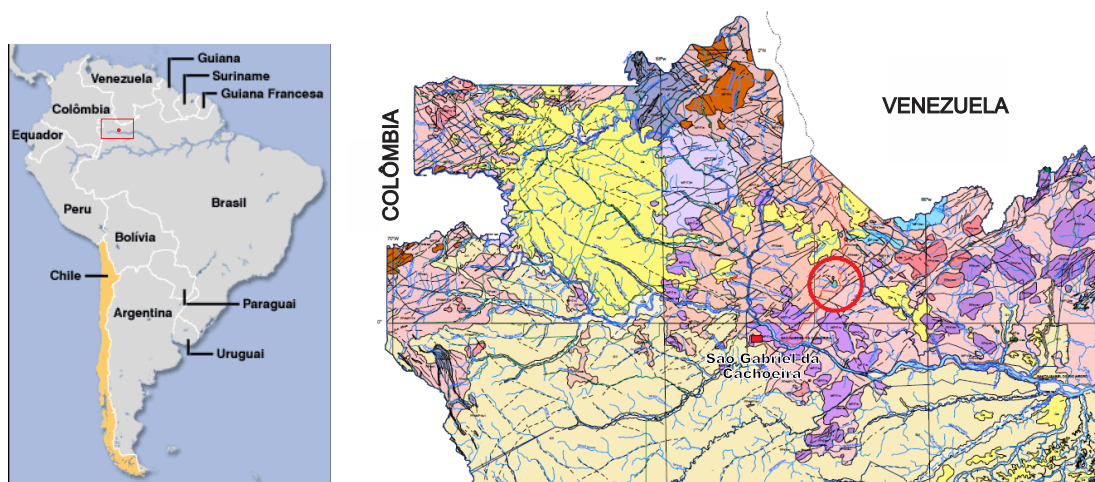


Figura 1. Localização da área de estudo no continente sul americano e do carbonatito Seis Lagos na região NW do Amazonas.

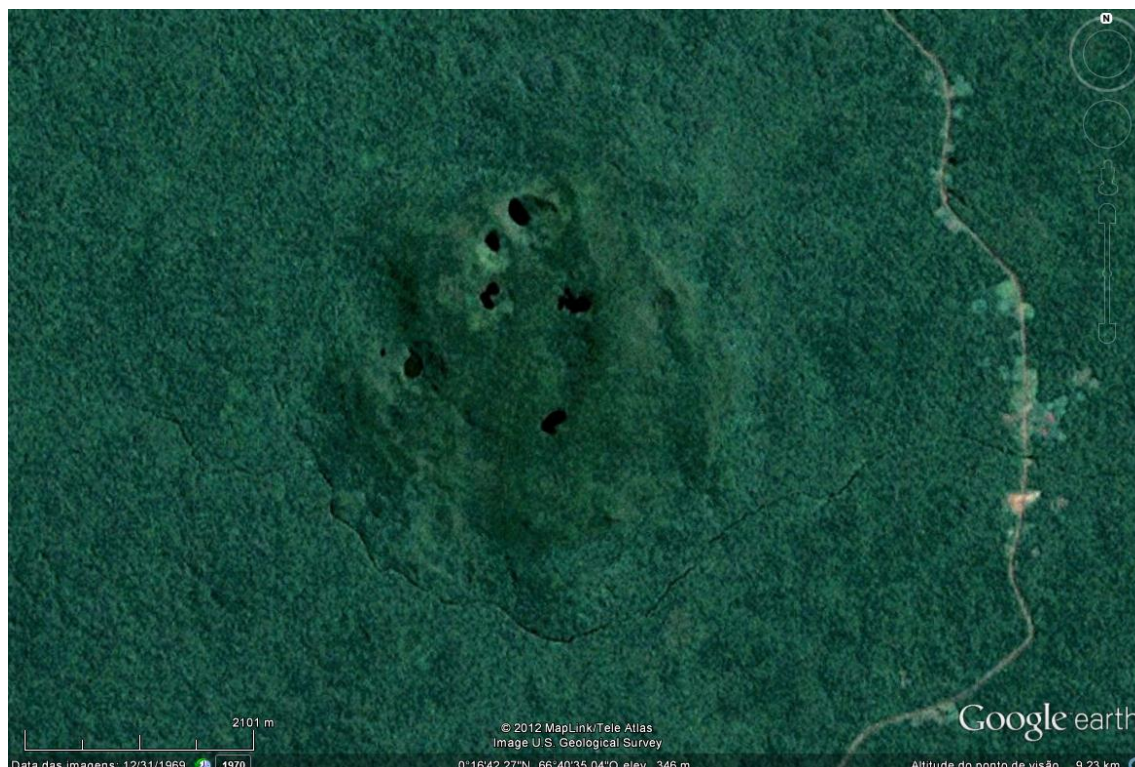


Figura 2. Vista em planta do Morro dos Seis Lagos através do Google Earth.

1.2A importância do depósito de Morro dos Seis Lagos e o enquadramento deste trabalho nas pesquisas da UFRGS

Durante o projeto RADAM-BRASIL, realizado na década de 70, diversas estruturas circulares foram reconhecidas na Amazônia em imagens aéreas e relacionadas a complexos de rochas alcalinas. No levantamento da Folha NA.19-Içana (Justo, 1984), as atenções se voltaram para três dessas estruturas ocorrentes na bacia do rio Cauaburi. Por sua morfologia peculiar, com seis lagos em seu topo, o maior desses corpos foi denominado Morro dos Seis Lagos. O trabalho realizado pela CPRM (1976) neste corpo revelou a existência do maior depósito de Nb até hoje encontrado, com uma reserva estimada de 81.431.237 toneladas de Nb_2O_5 a um teor médio de 2,81%, cuja gênese foi tentativamente associada a lateritização de carbonatito. O depósito apresenta também concentrações anômalas de elementos terras raras (ETR) Ce, Y, La, além de V, Sc, Zn, Be, Mn e Fe, que na época não despertaram maior interesse.

Mais recentemente, a China, que abastece 95% do mercado mundial de ETR, anunciou que vai dirigir toda a produção para o seu mercado interno, gerando um “boom” para a descoberta de novos depósitos de ETR e na investigação dos potenciais de outros depósitos para exploração destes elementos como subproduto. Neste sentido, a área de Seis Lagos, não apenas pelas anomalias de ETR associadas ao depósito conhecido de Nb, mas também pelo seu potencial para descoberta de

novos depósitos, tornou-se uma das áreas prioritárias para a pesquisa de ETR no Brasil.

O presente trabalho enquadra-se no Projeto Seis Lagos, que está sendo iniciado na UFRGS pelo grupo de pesquisa Mineralogia e Geoquímica de Depósitos Mineraiis. O grupo já vem atuando no estudo de jazidas de ETR, inclusive na Amazônia (jazida de Pitinga) e sua sistemática de trabalho envolve tanto o estudo do depósito, como a investigação do contexto geológico regional e, também, o estabelecimento de um modelo prospectivo.

Os mesmos enfoques serão adotados na área do projeto Seis Lagos que, além de apresentar uma cobertura vegetal que impõe importantes limitações à investigação geológica, situa-se na região menos conhecida geologicamente de toda a parte brasileira da Amazônia (Santos, 2003). Assim sendo, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, com os enfoques e objetivos a seguir apresentados é fundamental para o desenvolvimento do projeto.

1.3 Caracterização do problema

De Gold (1966) até Sokolov (1994), diversas teorias tentam explicar a origem dos magmas carbonatíticos, algo compreensível tendo em vista sua excentricidade composicional e sua complexidade mineralógica. O ponto em que a maior parte dessas teorias concorda é na origem profunda da fonte, relacionada à fusão mantélica. Carbonatitos são rochas ígneas ultramáficas, geralmente hipoabissais ou extrusivas com mais de 50% de minerais carbonáticos (calcita, dolomita, siderita). Outros minerais comuns são: magnetita, flogopita, apatita, olivina, piroxênios. Além destes, mais de 130 espécies minerais são associadas a carbonatitos (CPRM, 2006). Tais rochas comumente ocorrem associadas a corpos alcalinos e apresentam idades arqueanas a cenozóicas, de ambiente intra placa, na forma de stocks, sills, plugs, diques ou derrames, geralmente relacionados a ambientes de rifte (Biondi, 1986), o que não parece ser o caso de Seis Lagos devido a tal ambiente nunca ter sido reconhecido para a província onde este se situa (Província Rio Negro do cráto Amazonas). São raros e importantes, pois a própria rocha se constitui em minério para a produção de cimento '*portland*' e calcário para calagem agrícola (correção da acidez do solo). Ademais, são fontes de minerais fosfatados (apatita, fluorapatita), usados na produção de fertilizantes fosfatados (CPRM, 2006). Podem também conter, ou estarem associados a concentrações econômicas de elementos terras raras, nióbio, urânio, tório, cobre, ferro, titânio, bário, flúor, zircônio, entre outros como no caso de Seis Lagos. Sua distribuição global é apresentada na figura 3.

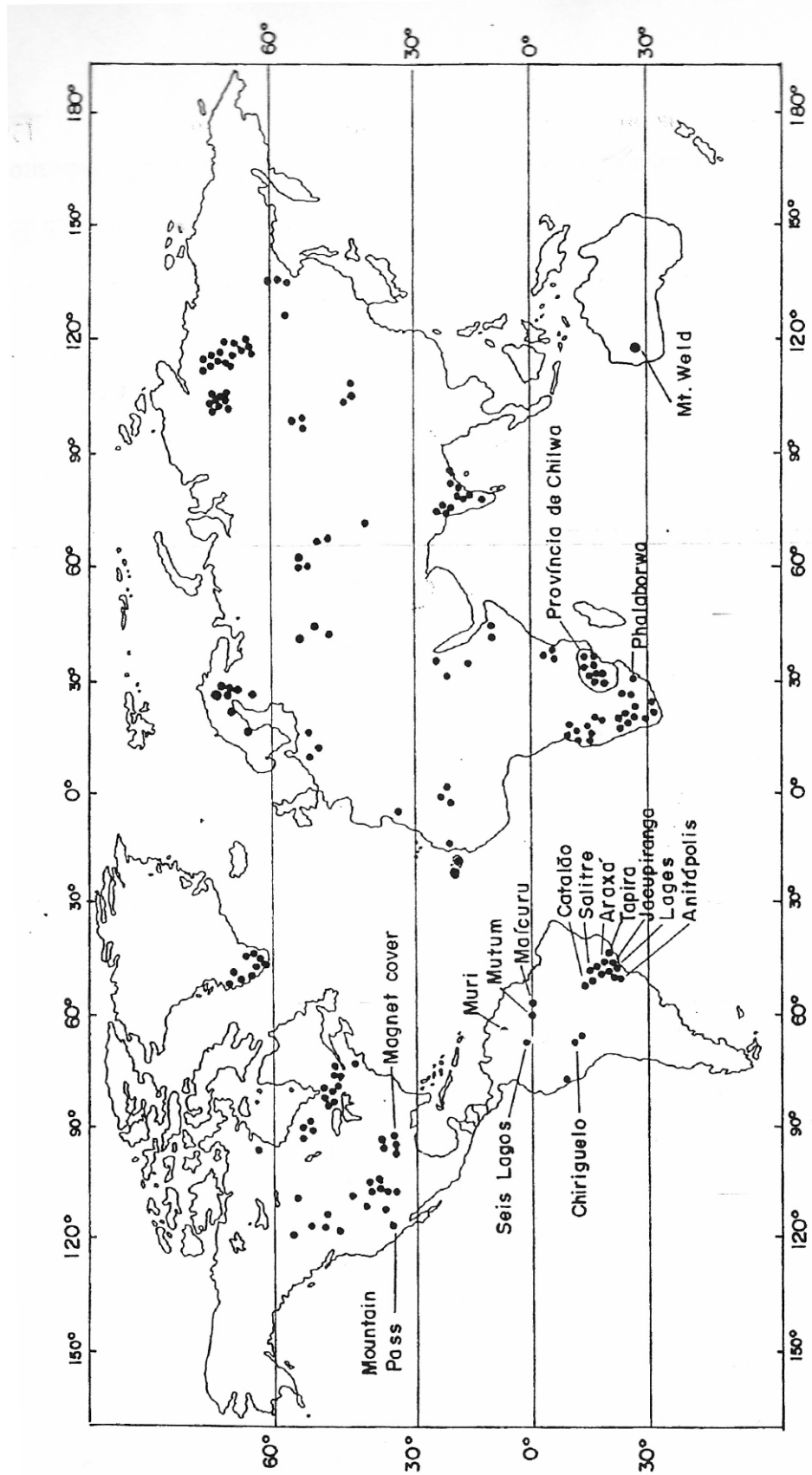


Figura 3. Distribuição dos carbonatitos conhecidos no globo. Modificado de Corrêa, 1996.

A ascensão de magmas dessa natureza geralmente é controlada por conjuntos de profundas falhas que geram regiões facilitadoras ao diapirismo. Dentro de um complexo com diferentes intrusões carbonatíticas, estruturas de escala local controlam os posicionamentos dos diferentes corpos. Adicionalmente, observa-se que grande parte dos complexos carbonatíticos conhecidos foi encontrada a partir da existência de enxames de diques localizados acima do corpo principal subaflorante. Estes diques são, em sua maior parte, controlados por estruturas de escala local.

Não é de forma alguma exagerado afirmar que não se conhece praticamente nada sobre os contextos geológico e tectônico do Complexo de Seis Lagos. Nesta área, devem ocorrer megaestruturas que teriam controlado o posicionamento do complexo. Tais estruturas poderiam ter controlado outros corpos ainda não conhecidos, tanto dentro da área delimitada para o presente estudo, como fora da mesma, nos prolongamentos das megaestruturas.

Por outro lado, tratando-se de um complexo com pelo menos 3 corpos conhecidos, também devem existir na área estruturas de escala local que teriam desempenhado um papel importante no posicionamento dos corpos individuais.

Não se tem também nenhuma informação se a área é formada ou não por blocos com diferentes níveis estruturais ou se os 3 corpos conhecidos se encontram num mesmo bloco ou não. Uma configuração em blocos acarreta inúmeras implicações no estudo dos 3 corpos conhecidos, assim como no potencial de cada bloco para a prospecção de novos corpos. Assim, seria possível que, nas adjacências do depósito conhecido, exista outro corpo carbonatítico que, entretanto, por estar inserido num bloco vizinho com diferente nível estrutural, não seja aflorante, mas possa se manifestar na superfície do terreno por enxames de diques que possam ser identificados pela aplicação de técnicas de sensoriamento remoto.

No depósito do Morro dos Seis Lagos, foram descritas “bacias” que contém grandes espessuras de sedimentos originados a partir da alteração intempérica do próprio carbonatito (Bonow, 1980). Num dos casos, o furo de sonda atingiu 400m de profundidade sem ter ainda atingido a base dos sedimentos, conforme a interpretação de Correa (1996). Tais “bacias” parecem constituir zonas de enriquecimento do minério, o que abre a possibilidade de que uma futura lavra do depósito seja economicamente viável em profundidades que em princípio seriam desaconselhadas para um minério de teor mais baixo. O presente projeto deverá gerar novos dados que auxiliem na identificação do(s) processo(s) formadores destas bacias, a partir de uma investigação dos padrões de faturamento na escala do corpo carbonatítico e integração com os dados da encaixante.

O magmatismo carbonatítico também evolui para o estágio hidrotermal ao qual podem estar associados processos de mineralização com formação de minério no próprio corpo ou na encaixante. A aplicação

de técnicas de sensoriamento remoto pode auxiliar na identificação de zonas com potencial para a formação de depósitos hidrotermais.

Outro aspecto a ser investigado pelo estudo é a questão dos limites do depósito. Este é associado à lateritização do suposto carbonatito. Entretanto, a rocha encaixante deste também pode ter sido lateritizada. Existe, portanto, uma zona limítrofe, possivelmente parcialmente mascarada por tálus, cuja determinação espacial acarreta importantes implicações para a geologia do depósito e suas reservas. Além disso, é possível que o próprio processo de lateritização do carbonatito tenha sido em parte controlado por estruturas que afetam o corpo. Conseqüentemente, as estruturas identificadas por este estudo deverão ser futuramente checadas, pois podem corresponder a zonas de enriquecimento do minério laterítico.

1.4 Objetivos

O presente trabalho pretende, a partir da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, desde a escala regional até a de detalhe, contribuir para o entendimento da geologia do Depósito do Morro dos Seis Lagos nos seguintes aspectos:

Identificar a(s) estrutura(s) que controlaram o posicionamento do corpo carbonatítico.

Fornecer subsídios para uma discussão da geologia do corpo carbonatítico em relação a seu nível estrutural, forma e natureza do corpo e relações entre os três corpos do distrito de Seis Lagos.

Identificar contextos estruturais semelhantes em outras partes da área, que possam representar zonas com potencial para outros corpos mineralizados.

Identificar estruturas e zonas de alteração hidrotermal no interior do corpo que possam potencialmente representar zonas de enriquecimento do minério.

Delimitar o corpo carbonatítico e o depósito laterítico associado, distinguindo-o de zonas de lateritização da encaixante e de zonas de depósitos de tálus.

2 METODOLOGIA

2.1 Revisão bibliográfica

Esta etapa representou um processo contínuo durante todo o projeto, sendo interrompida e retomada de acordo com a evolução do conhecimento da região e das técnicas utilizadas. A pesquisa bibliográfica teve ênfase em quatro assuntos fundamentais: 1º) Evolução geológica do cráton Amazonas. Cabendo a Tassinari & Macambira (1999, 2004) e Santos et al. (2000a, 2006a), as mais recentes discussões (CPRM, 2006). 2º) Geologia da área; cujas principais fontes foram os trabalhos de mapeamento realizados pela CPRM na última década. 3º) Estudos específicos sobre o Morro dos Seis Lagos, AM, muito escassos, restritos a um relatório da década de 70 (Bonow, 1976), uma tese de doutorado (Corrêa, 1997) e alguns trabalhos publicados na forma de artigos ou apresentados em simpósios e congressos [(Issler, 1980 a); (Issler, 1980 b); (Justo, 1984); (Bonow, 1980)]. 4º) Sensoriamento remoto, que possui ampla gama de publicações nacionais e internacionais. Neste trabalho foi utilizado, principalmente, Moreira 2011.

2.2 Modelo Digital de Terreno

Modelos digitais de terreno (MDT) são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas. Como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos, devem ser valores de altitude do relevo, idealmente, para que o MDE seja uma representação da topografia. O MDT deste trabalho utiliza o datum WGS 84.

O MDT é composto de 9 imagens (código e localização mostrados na figura 4) disponibilizadas pelo projeto Topodata, com informações de altitude

numérica e georreferenciadas, obtidas através do site do INPE (www.inpe.gov.br), e cuja área individual é de 1° de latitude por 1,5° de longitude totalizando cerca de 22.000km². Utilizando o software ENVI, foi gerado o mosaico das 9 imagens, e em seguida, estas foram processadas com o software Global Mapper, gerando um amplo mosaico, ao qual, cada intervalo altimétrico, foi atribuído uma cor, conforme a paleta de cores que acompanha a figura. O principal propósito desse MDT é salientar lineamentos morfo estruturais, principalmente no embasamento cristalino da região que constitui a rocha encaixante do carbonatito, e realçar outros corpos passíveis de serem interpretados como análogos ao morro dos Seis Lagos. A imagem apresenta cerca de 650km na direção E-W por 300km N-S, totalizando uma área de quase 200.000km².

A intenção de se gerar uma imagem com área tão ampla é a visualização das megaestruras, como lineamentos de serras, grandes rios ou alinhamento de corpos intrusivos, no intuito de compreender o controle estrutural junto às diferentes litologias e principalmente associar estas estruturas ao controle do posicionamento do complexo alcalino Seis Lagos (ainda sem idade definida). A localização, assim como o código das imagens selecionadas estão apresentados no retângulo azul da figura 2, cuja linha vermelha representa os limites do estado do Amazonas, onde é possível perceber que as imagens 02n66 e 02n645 tem sua maior área na vizinha Venezuela enquanto a imagem 02n675 abrange uma pequena porção da Colômbia.

A partir da análise do modelo digital do terreno, combinada com mapas geológicos e geofísicos foram geradas a maior parte dos resultados do presente trabalho, que serão apresentados mais a frente, como: Mapa de morfoestruras (lineamentos) da região, e o mapa geológico proposto da área.

	03n69_	03n675_		03n645_	03n63_	03n615_	03n60_	03n585_	03n57_
02n705_	02n675_	02n66_	02n645_	02n645_	02n63_	02n615_	02n60_	02n585_	02n57_
01n705_	01n675_	01n66_	01n645_	01n645_	01n63_	01n615_	01n60_	01n585_	01n57_
00s705_	00s675_	00s66_	00s645_	00s645_	00s63_	00s615_	00s60_	00s585_	00s57_
01s705_	01s69_	01s675_	01s66_	01s645_	01s63_	01s615_	01s60_	01s585_	01s57_
02s705_	02s69_	02s675_	02s66_	02s645_	02s63_	02s615_	02s60_	02s585_	02s57_
03s705_	03s69_	03s675_	03s66_	03s645_	03s63_	03s615_	03s60_	03s585_	03s57_
04s735_	04s72_	04s705_	04s69_	04s675_	04s66_	04s645_	04s63_	04s615_	04s60_
04s585_	04s57_								
05s735_	05s72_	05s705_	05s69_	05s675_	05s66_	05s645_	05s63_	05s615_	05s60_
05s585_	05s57_								
06s75_	06s735_	06s72_	06s705_	06s69_	06s675_	06s66_	06s645_	06s63_	06s615_
06s60_	06s585_	06s57_							
07s75_	07s735_	07s72_	07s705_	07s69_	07s675_	07s66_	07s645_	07s63_	07s615_
07s60_	07s585_	07s57_							
08s75_	08s735_	08s72_	08s705_	08s69_	08s675_	08s66_	08s645_	08s63_	08s615_
08s60_	08s585_	08s57_							
09s735_	09s72_	09s705_	09s69_	09s675_	09s66_	09s645_	09s63_	09s615_	09s60_
09s585_	09s57_								

Figura 4. Código e localização das imagens Topodata para o estado do Amazonas.

2.3 Mapa de morfoestruturas

O mapa de morfoestruturas (lineamentos) foi gerado com base no mapa estrutural da CPRM, tendo este, sido aperfeiçoado com a acresção de lineamentos visualizados sobre o mosaico gerado através do Global Mapper. Este processo foi realizado com auxílio do software Arcgis. As estruturas não são divididas nem em escala e nem por unidade geológica pois o objetivo deste mapa é a visualização de padrões gerais e destacados de zonas de lineamentos e as direções preferenciais destes.

2.4 Mapas geológicos da área

Os mapas geológicos da área gerados neste trabalho foram confeccionados a partir do mapa geológico da CPRM na escala 1:1.000.000, de 2006, já georreferenciado no datum WGS 84. Utilizando o software Arcgis, mapa e modelo digital de terreno, georreferenciado pelo mesmo datum, foram sobrepostos e o primeiro foi recortado de acordo com a área proposta para o trabalho, definida a partir do mosaico de imagens Topodata do qual o modelo foi gerado. As áreas que este não cobria (Venezuela e Colômbia), foram completas por semelhanças morfológicas e estruturais correlacionáveis às áreas conhecidas em território brasileiro. As cores originais propostas para as unidades pela CPRM foram mantidas. Um segundo mapa foi gerado no intuito de melhor compreender a distribuição das diferentes unidades geológicas buscando por padrões e controles, principalmente no que se refere ao posicionamento das intrusões graníticas da área. Para tanto unidades de gêneses geologicamente correlacionáveis e com idades próximas foram agrupadas e cores destacadas foram utilizadas.

2.5 Geofísica

Foram utilizados os mapas geofísicos aeromagnetométrico, aerogamaespectométrico e de anomalia Bouger (gravimétrico) utilizados pela CPRM na confecção do mapa geológico do Estado do Amazonas, na escala 1:1.000.000, de 2006, que foram sobrepostos por transparência aos mapas geológicos e estruturais e ao mosaico Topodata, utilizando o software Arcgis, no intuito de buscar por informações não disponíveis na superfície do terreno.

No mapa Aerogamaespectométrico (Campo Total Reduzido do internacional Geomagnetic Reference Field – IGRF, com relevo sombreado), buscou-se por anomalias positivas representadas pelas cores vermelhas e violeta (ver paleta de cores que acompanha a figura), pois já se sabe, que o Morro dos Seis Lagos apresenta forte anomalia cintilométrica positiva (Justo, 1976).

No mapa Aeromagnetométrico de Contagem Total (relevo sombreado), buscou-se por lineamento que indiquem falhas, na forma de

respostas contrastantes posicionadas lado a lado de maneira abrupta ou enxames de diques que devem aparecer na imagem como diversas linhas de resposta anômala em meio a áreas relativamente homogêneas.

No mapa gravimétrico, buscou-se por anomalias locais, representando corpos intrusivos tanto por anomalias positivas como negativas, e que devem aparecer como “ilhas” de respostas contrastantes às demais respostas do entorno.

2.6 Processamentos digitais na imagem SPOT 4

Para fins de detalhamento morfoestrutural, da área do Morro dos Seis Lagos, e análise de feições espectrais anômalas, cujo contraste permite a identificação de regiões de concentração de argilominerais, indicativos de possíveis zonas de alteração hidrotermal. Também passíveis de concentrarem elementos terras raras, foi adquirida pelo projeto uma imagem de alta resolução do satélite francês SPOT 4, Com pixel de 10m. Esta imagem supera em muito a qualidade dos dados Landsat disponíveis para download livre. A área de cobertura corresponde a um quarto da imagem original obtida pelo satélite, totalizando 225km² e foi pré-processada pelo método de ortorreferenciamento, o que gera uma acuidade da ordem de 10m em seu georreferenciamento, a projeção esta em UTM no DATUM WGS84.

A imagem foi disponibilizada pela empresa Astriun no formato DIMAP, com composição colorida falsa cor, em quatro bandas espectrais: Verde, vermelho, infra vermelho próximo (IVP) e infra vermelho de ondas curtas (IVOC), cujos comprimentos de onda (λ), são respectivamente, 0,540; 0,650; 0,835 e 1,630 micrômetros.

Muitas vezes o processamento de imagens de satélite é constituído de tentativa e erro, pois cada imagem apresenta características particulares que respondem diferentemente aos filtros disponíveis no programa, e por vezes processamentos que não são específicos para o fim acabam gerando resultados melhores do que os recomendados para a tarefa.

Através do software ENVI 4.5 foram feitos os seguintes processamentos.

2.6.1 Recorte da imagem

O primeiro procedimento adotado no tratamento da imagem de satélite foi o recorte, eliminando a área da figura que não apresenta cobertura por parte do satélite. A finalidade do recorte não é só visual (estética), mas, mais importante que isto, retira uma parte inexistente da imagem, que é interpretada pelo software como uma grande quantidade de pixels pretos e pode afetar outras operações.

2.6.2 Ajuste do “stretch”

O *stretch* (esticar), redistribui os níveis de cinza da imagem, em todos os 256 possíveis respeitando a proporcionalidade entre os níveis da imagem original, e assim, gera um melhor contraste. O *stretch* da imagem foi definido em 3%. A figura 5, mostra em A, a distribuição original dos níveis de cinza e em B a distribuição após a definição do *stretch*.

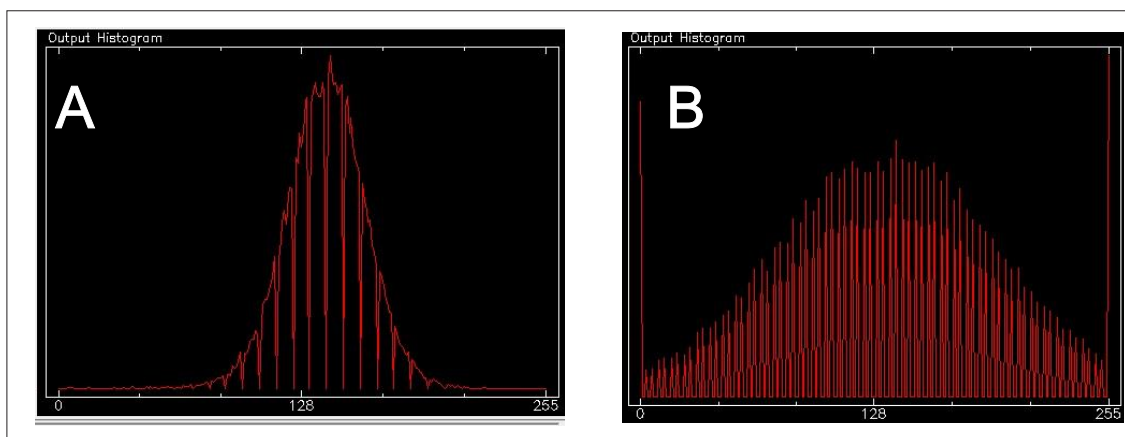


Figura5. Distribuição dos níveis de cinza, pré (A) e pós (B) processamento.

2.6.3 Tratamentos através de filtros diversos.

Vários tipos de filtros foram utilizados, sendo possível citar: Passa alta, passa baixa, Laplaciano, Gaussiano, Mediano, Sobel e Roberts. Aquele que apresentou os melhores resultados foi o filtro de convolução direcional. Este, baseia-se na realização de uma combinação dos pixels pertencentes a uma vizinhança do pixel a ser processado com uma matriz bidimensional (máscara) móvel que recalcula o valor de cada pixel de acordo com os pixels vizinhos multiplicando-os pelo valor inserido na máscara (ENVI, 20000). A matriz móvel é configurada de forma a ressaltar uma determinada direção ao inserir valores que gerem incremento no valor do pixel central em caso de este ser parte de uma estrutura de direção coincidente a da matriz. Foram utilizadas máscaras 3x3 (Fig. 6) em intervalos de 15° partindo de 0° até 180°, visto que a partir desse ponto os lineamentos passariam se repetir. Os filtros foram “passados” banda a banda, e os melhores resultados foram alcançados nas bandas 3 (IVP) e 4 (IVOC). Devido ao grande número de filtros e combinações tentadas, apenas aqueles processamentos que geraram a maior quantidade e/ou qualidade de informações serão apresentados no capítulo de produtos e resultados.

N - S	NE - SW	E - W	NW - SE																																				
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr> </table>	1	2	1	0	0	0	-1	-2	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr> </table>	0	1	2	-1	0	1	-2	-1	0	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>-2</td><td>0</td><td>2</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	-1	0	1	-2	0	2	-1	0	1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr> </table>	-2	-1	0	-1	0	1	0	1	2
1	2	1																																					
0	0	0																																					
-1	-2	-1																																					
0	1	2																																					
-1	0	1																																					
-2	-1	0																																					
-1	0	1																																					
-2	0	2																																					
-1	0	1																																					
-2	-1	0																																					
-1	0	1																																					
0	1	2																																					

Figura 6. Modelos das máscaras 3x3, utilizadas para ressaltar estruturas de direções específicas.

2.6.4 Combinações de bandas espectrais.

Devido às diferentes propriedades bio-físico-químicas, todos os alvos da superfície terrestre (rochas, corpos d'água, vegetação, etc.) absorvem e refletem uma porção específica do espectro eletromagnético em diferentes comprimentos de onda, permitindo a identificação da assinatura de radiação eletromagnética. Assim, conhecendo qual comprimento de onda é absorvido por um determinado alvo e também qual a intensidade de sua reflectância, torna-se possível analisar uma imagem de Sensoriamento Remoto e obterem-se interpretações acuradas de uma determinada cena orbital (Suits, 1983; Star & Estes, 1990). Esse comportamento espectral dos alvos é chamado de "assinatura espectral", ou seja, um valor específico de reflectância dentro do espectro eletromagnético, permitindo ao Sensoriamento Remoto distinguir os diversos materiais ou alvos entre si. (Pacheco, 2006).

Devido a assinatura espectral específica dos alvos para cada comprimento de onda, como demonstrado na (Fig. 7), combinando as bandas (comprimentos de onda) da imagem SPOT, através de composições conhecidas como falsa cor, é possível distinguir, pelas diferentes cores, os alvos de interesse do restante da imagem. A figura 7 também mostra a alta reflectância apresentada pelas argilas no comprimento de onda do IVOC, e portanto, esta banda foi utilizada para localizar tais alvos. Vide que a argillização em zonas estreitas é indicativa de zonas de cisalhamentos pois estas são regiões de grande percolação de fluídos, por vezes hidrotermais, que vem a gerar a intemperização da rocha e por vezes concentra elementos de baixa mobilidade como é o caso dos ETRs presentes.

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS

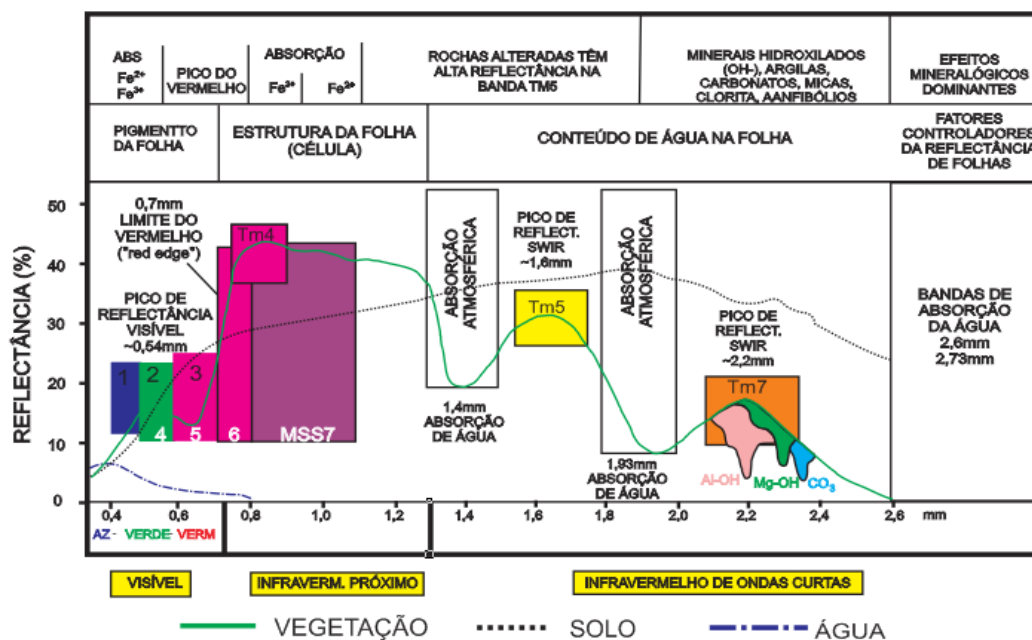


Figura 7. Reflectância de alvos terrestres para diversos comprimentos de ondas eletromagnéticas.

2.7 Modelos Digitais de Elevação e dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission)

Na forma trivial, modelos digitais de elevação (MDE) são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude do relevo, idealmente, para que o MDE seja uma representação da topografia. Embora existam MDE de origens diversas, as curvas de nível constituem uma importante fonte de dados para sua construção. Essencialmente, a construção de MDE com mapas topográficos consiste na digitalização das isolinhas e sua posterior interpolação, quando as altitudes são estimadas ponto a ponto de uma grade regular para seu armazenamento. Dados topográficos advindos de sensores podem expressar a presença de objetos não topográficos (prédios, casas, árvores) sobre a superfície do terreno, cabendo aqui novas conceituações e decorrentes controvérsias sobre terminologia. Embora não se proponha entrar nesses questionamentos, cabe ressaltar que os dados SRTM são sensíveis a estes efeitos que, por sua vez, podem afetar ocasionalmente o aproveitamento dos dados. Dada a expressão territorial da vegetação como fonte desses efeitos, usaremos aqui a expressão "efeito dossel", simplesmente. Adicionalmente, as expressões MDE e terreno serão usadas de modo distinto, pois o primeiro é uma representação sujeita a uma série de diferenças em relação ao segundo, incluindo-se efeito dossel, erros e a própria representação simplificada (modelo) da realidade concreta, em células que chamamos de pixels.

Os dados SRTM, na forma em que foram disponibilizados para nosso continente, apresentam resolução horizontal (i.e., resolução espacial) de 3 arco-segundos (~90m) e resolução vertical de 1m. Toda a aquisição dos dados SRTM foi planejada a suprir mapeamentos em escalas entre 1:100.000 e 1:250.000. Embora os MDE sejam um insumo fundamental ao conhecimento do relevo, muito de sua utilização numérica recai sobre variáveis derivadas da altimetria, como a declividade, o exemplo mais imediato. No entanto, deve-se lembrar que uso direto da elevação como fator analítico tem grande importância para espacialização de dados de temperatura, bem como estudos que envolvem hidrologia superficial, inundações e processos envolvendo movimentos gravitacionais. Como base para interpretação qualitativa, os dados altimétricos são tradicionalmente aplicados a incontáveis fins.

Muito do exercício de interpretação geomorfológica do relevo foi desenvolvido sobre curvas de nível. Assim, pode-se acrescentar a geração de curvas de nível (onde quer que não existam ou estejam em escalas insuficientes) às aplicações diretas da elevação SRTM. A geração de isolinhas a partir de MDE compreende, em alguma etapa, um fatiamento da elevação nos níveis de interesse, impostos pelo operador. É tentador que se imponham equidistâncias verticais pequenas, ao modo que levantamentos detalhados são feitos, a fim de se oferecerem mais detalhes para sua interpretação. Embora os dados tenham nominalmente uma resolução vertical de 1m, deve-se lembrar de algumas de suas características intrínsecas para o dimensionamento de suas limitações, além das estimativas de acurácia: a resolução espacial e o efeito dossel. Ao contrário do que o senso comum pode sugerir, tais restrições são tanto maiores quanto menores forem as declividades: em terrenos planos, um desnível pequeno pode corresponder a um grande deslocamento horizontal das isolinhas. Essa relação é conhecida e prevista pelos estudiosos da representação cartográfica do relevo (IMHOFF, 1982)

No primeiro caso, deve-se lembrar que os dados foram integrados para uma resolução espacial de 90m antes de sua disponibilização. Portanto, não se deve esperar que o detalhamento vertical possivelmente atingido seja acompanhado de um detalhamento horizontal compatível, por mais que se escolham equidistâncias estreitas. O usuário deve se perguntar sempre: "O que significa uma equidistância vertical de X metros quando a altitude em análise representa uma média de quadrados de 90m de lado?" Assim, torna-se claro o absurdo de se produzirem isolinhas, por exemplo, de 1 em 1 metro nessas condições. Mesmo após um refinamento para 30m, por exemplo, não se deve esperar resultados aceitáveis com o detalhamento da interpretação das isolinhas acima dos seus limites originais de resolução espacial, de 90m. Os tratamentos aplicados no refinamento desses dados podem favorecer a percepção de feições relativamente detalhadas, mas não garantem o atendimento de critérios planimétricos para o posicionamento acurado nas mesmas escalas de detalhamento.

A baixa amplitude do relevo é uma condição desfavorável à análise de isolinhas por si, porém a sensibilidade ao efeito dossel dos dados SRTM é um severo agravante. Por exemplo, são necessárias duas isolinhas na mesma vertente para que se possa estimar a declividade naquele segmento

restrito, 3 isolinhas para a curvatura em perfil, e assim por diante. No limite, o ideal seria poder caracterizar vários segmentos de cada vertente, livremente, o que é possível através do próprio MDE, quando este permite. Para a representação de vertentes em relevo de amplitude local de 40m, por exemplo, uma equidistância de 20m faz com que quase todas as vertentes apresentem uma única isolinha, insuficiente para qualquer observação de seus aspectos verticais (amplitude, declividade, curvatura vertical etc.). Nesse caso, interessa criar mais isolinhas, portanto com equidistâncias menores, que se aproximam à amplitude do efeito dossel. Relata-se (KELLNDORFER et al., 2003) que até 80% da altura de dossel foram expressos nos dados SRTM, como acréscimos à altitude do terreno. Por esta relação, variações de 15m na altura de dossel seriam suficientes para criar artefatos totalmente vegetacionais em isolinhas de 10m. Estas são as mais severas limitações para o uso da elevação SRTM, sobretudo nas condições do ambiente amazônico. Nesse bioma, há um predomínio de florestas densas e altas, portanto um efeito dossel extremo, enquanto grande parte do relevo subjacente apresenta pequena amplitude altimétrica. Em poucas palavras, estão combinadas a condição de maior desvio com a maior demanda de exatidão.

O efeito dossel não é constante. Ele depende das condições da cobertura vegetal em cada local à época do sobrevôo da SRTM (11 a 22 de fevereiro de 2000). Entre essas condições estão variações naturais encontradas na vegetação preservada, tais como composição, arquitetura, status hídrico e biomassa (LE TOAN, 1992). Assim, em áreas de floresta densa, o que se observa nos dados SRTM em detalhe local são variações de efeito dossel misturadas às possíveis variações de curto alcance na topografia. Esta, por sua vez, mostra-se mais perceptível e menos afetada por artefatos nos dados SRTM quando observada sob escalas mais generalizadas, em que não se percebem as pequenas variações de dossel, assim como pequenas feições topográficas.

Uma vez que é pouco provável que se possam mapear as variações do efeito dossel de modo a compensá-lo nos dados SRTM, devemos ter em mente que, além da elevação, derivações geomorfométricas deverão ser afetadas. Em casos evidentes de interferência (bordas de desmatamento, por exemplo), é possível perceber seu efeito e removê-lo através da edição dos resultados finais. Porém, as variações naturais do efeito dossel não se evidenciam nas derivações e, portanto, estes erros representam um prejuízo incontornável da confiabilidade dos resultados.

2.8 Sobre os produtos Topodata:

O Topodata é o banco de dados geomorfométricos do Brasil.

O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores. Para confecção do mosaico foram utilizados dados de altitude numérica.

O TOPODATA, oferece livre acesso a variáveis geomorfométricas locais derivadas de dados SRTM para todo o território nacional. Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (90m) para 1 arco-segundo (30m) por krigagem. Em seguida, foram aplicados algoritmos de análise geomorfométrica sobre os dados refinados para o cálculo das variáveis de declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal e curvatura vertical. Além dessas variáveis, uma derivação de segundo grau foi aplicada para evidenciação de talvegues e divisores de água, cujos resultados foram combinados à orientação de vertentes para favorecer a interpretação das feições de drenagem e caracterização de sua estrutura. As variáveis geomorfométricas foram ainda classificadas para a geração de mapas não numéricos, tais como as classes de declividade consagradas pela pesquisa agrônômica (classes EMBRAPA, por exemplo), as curvaturas em convexo/planar/côncavo, bem como possíveis formas de vertentes, entre outras representações qualitativas. O uso apropriado destes resultados requer o conhecimento de aspectos prévios à sua obtenção, como as características dos dados e suas relações com propriedades do terreno, além dos conceitos e métodos envolvidos nas derivações e, por fim, formas adequadas de representação.

Os dados estão todos estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000, portanto, em folhas de 1º de latitude por 1,5º de longitude. Na versão atual, os arquivos estão nomeados seguindo-se uma única notação para cada conjunto de uma mesma folha. As folhas estão identificadas seguindo o prefixo de 6 letras LAHLON, em que LA é a latitude do canto superior esquerdo da quadrícula, H refere-se ao hemisfério desta posição (S, Sul, ou N, Norte) e LON sua longitude, na seguinte notação: nn5 quando longitude for nn graus e 30' e nn_ quando a coordenada for nn graus inteiros. O mapa abaixo apresenta a articulação das folhas com os respectivos prefixos para a área do estado do Amazonas.

3 GEOLOGIA REGIONAL

No presente trabalho será seguida a nomenclatura indicada por Santos *et al.* (2003), Cráton Amazonas ao invés de Cráton Amazônico, utilizado por autores como Tassinari e Macambira (1999, 2004). O Morro dos Seis Lagos, ocorre na província Rio Negro do Cráton Amazonas.

Cráton Amazonas

O Cráton Amazonas, situado no noroeste do Brasil é caracterizado por uma extensa cobertura sedimentar fanerozóica, distribuída nas bacias Acre, Solimões, Amazonas e Alto Tapajós, que se depositou sobre um substrato rochoso pré-cambriano onde predominam rochas de natureza ígnea, metamórfica e sedimentar (CPRM, 2006), que afloram tanto a norte da bacia do Amazonas (escudo das Guianas) como a sul daquela bacia (Escudo Brasil - Central). Cercado por cinturões orogênicos neoproterozóicos (Tassinari & Macambira, 2006), representa uma das maiores e menos conhecidas áreas pré-cambrianas do mundo e uma das principais unidades tectônicas da América do Sul (5.600.000 km²) (Santos, 2000). Esta separada da faixa orogênica andina por extensa cobertura cenozoica, a qual recobre tanto as bacias fanerozóicas como extensões do cráton e dificulta o estabelecimento de seus limites ocidentais. No Brasil, o Cráton Amazonas (aproximadamente 4.400.000 km²) é limitado a leste, sul e sudeste por rochas geradas durante o Ciclo Orogrênico Brasileiro (930–540 Ma; Pimentel e Fuck, 1992). É em relação às rochas geradas durante esse ciclo orogênico que o conceito de cráton é aplicado, representando a área estabilizada em tempos pré-brasileiros (Santos, 2003).

Segundo Tassinari e Macambira, 2004, *vem se confirmando a hipótese sobre a evolução tectônica do Cráton Amazônico, proposta por Cordani et al. (1979), seguida e modificada por Tassinari (1981), Cordani & Brito Neves (1982), Teixeira et al. (1989), Tassinari et al. (1996) e Tassinari (1996), baseada nos conceitos atualísticos das orogênias modernas, nas quais,*

durante o Arqueano, Paleo e Mesoproterozóico, teria ocorrido uma sucessão de arcos magmáticos envolvendo a formação de material juvenil, derivado do manto, como também processos subordinados de retrabalhamento crustal. Dentre os trabalhos que apoiam essa hipótese mobilista existem os de Tassinari & Macambira (1999), Tassinari et al. (2000) e Santos et al. (2000), sendo que este último difere dos outros dois essencialmente nos limites das províncias geocronológicas e dos intervalos temporais das orogenias.

Cabem a Tassinari & Macambira (1999, 2004) e Santos et al. (2000a, 2006a), as mais recentes discussões. Em ambas as hipóteses, as províncias propostas pelos citados autores têm sido modificadas gradualmente de concepção ou de abrangência, a partir da aquisição de maior número de dados geocronológicos e emprego de novos métodos de investigação (CPRM, 2006).

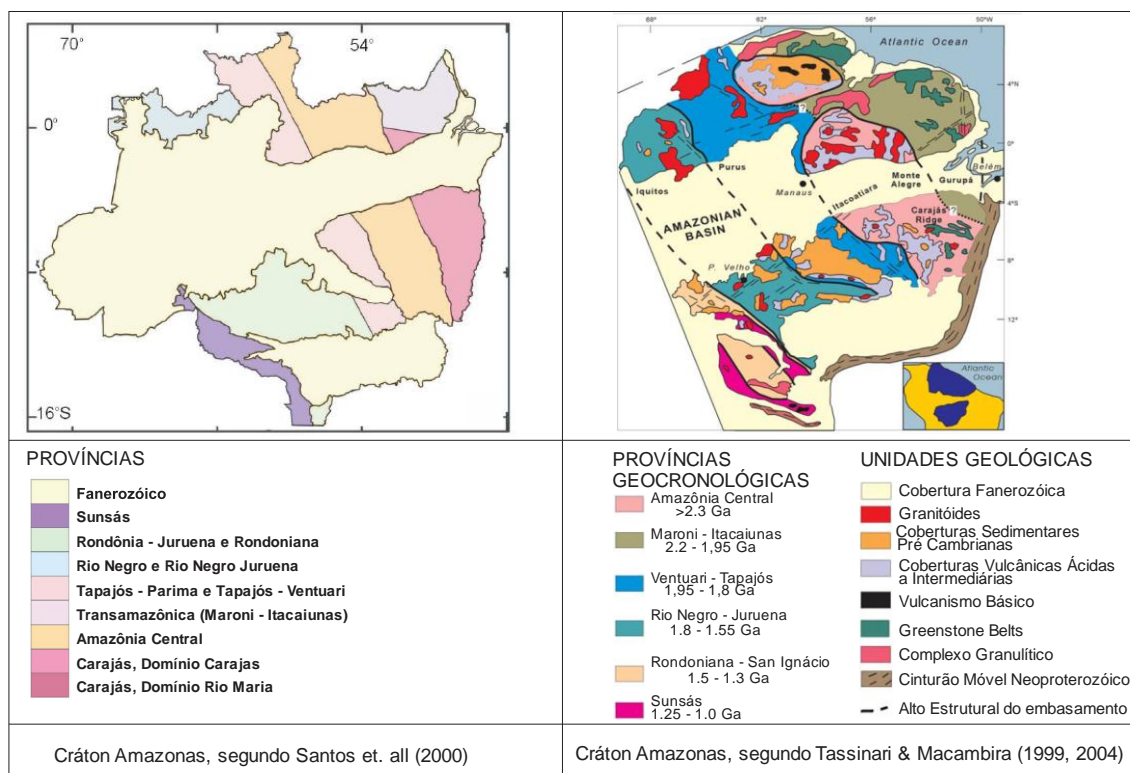


Figura 8. Propostas principais para a subdivisão do Cráton Amazonas, modificado de CPRM 2006.

Neste trabalho são seguidas, principalmente, as ideias de Santos (2000 e 2003) em relação à divisão das províncias e suas idades, tendo em vista que este é também o modelo adotado pela CPRM, fonte de diversos produtos utilizados na pesquisa.

Segundo Santos (2000, 2003 e 2006), o Cráton Amazonas apresenta 7 províncias geocronológicas que serão aqui brevemente apresentadas em ordem cronológica, com ênfase na província Rio Negro, onde localiza-se o Morro dos Seis Lagos.

Província Carajás (3100-2530 Ma)

Esta província foi primeiramente proposta por Santos *et al.* (2000), separando-a da província Amazonia – Central (Tassinari & Macambira, 1999), pelo fato de ser a única porção francamente Arqueana do Cráton Amazonas. A Província Carajás está situada na parte leste-sudeste do cráton e tem sido explorada pela companhia Vale do Rio Doce desde 1968, quando foram descobertos gigantescos depósitos de ferro. Hoje representa a principal província mineral do País (Fe, Cu, Au, Mn, Al) e tem como características principais sua idade predominantemente arqueana, estruturação disposta segundo WNW–ESE e aparente ausência de rochas geradas durante o ciclo Transamazonas. A província pode ser subdividida em dois domínios distintos: Rio Maria (Mesoarqueano) e Carajás (Neoarqueano). Santos *et al.* (2000) estenderam os terrenos arqueanos para norte do Domínio Carajás, até o sul do Amapá.

Novos dados disponíveis demonstram que essa região (Domínio Bacajá) tem idade dominante transamazônica. O domínio Rio Maria, mais ao sul, é mais antigo, mesoarqueano, e constituído essencialmente por terrenos tipo granitóide-*greenstone*, com idades na faixa de 2,85–3,05 Ga. O Domínio Carajás, apesar de englobar rochas mesoarqueanas, como os complexos Xingu e Pium (em torno de 2,86 Ga e 3,00 Ga, respectivamente), é predominantemente neoarqueano e caracterizado por seqüências vulcanossedimentares e granitoides gerados principalmente no intervalo de 2,76–2,55 Ga.

Província Amazônia Central (2600–1700 Ma)

A Província Amazônia Central (PAC) tem sido considerada como um núcleo arqueano (Tassinari et al. 1996; Santos et al. 2000) em cujas bordas diversas e mais jovens faixas móveis proterozóicas foram acretadas. A distinção entre os dois modelos principais de entendimento do cráton é que, enquanto Santos et al. (2000) consideram a região de Carajás como uma província distinta da PAC, Tassinari (1996) aglutina-as em uma única província. Esta província é composta por um embasamento muito pouco conhecido, em geral apenas fotointerpretado e por uma associação cratogênica constituída por a) rochas vulcânicas félsicas a intermediárias b) Granitos tipo A; c) coberturas sedimentares de plataforma, dominadas por depósitos fluviais; e d) *Sills* e diques tholeiíticos. As rochas da Província Amazônia Central que estão mais expostas em superfície não mostram evidências de metamorfismo regional e de dobramentos associados à compressão regional, sendo caracterizadas por uma tectônica de *block-faulting*. Com o avanço do conhecimento sobre essa província, é esperado que sua configuração geográfica e seus limites de idade sejam significativamente alterados. É possível que parte do que hoje é considerado como Província Amazônia Central venha a fazer parte das províncias vizinhas, Carajás e Tapajós–Parima (Santos, 2000).

Província Transamazonas (2550–2000 Ma)

No Cráton Amazonas, a região constituída predominantemente pelas rochas geradas pelo Ciclo Orogênico Transamazonas constitui a Província Transamazonas (Santos *et al.* 2000), a qual é composta predominantemente por terrenos do tipo granitóide-*greenstone*. Essa província é constituída por cinco tipos básicos de unidades litoestratigráficas: a) o Complexo Guianense, que representa as regiões desconhecidas; b) as rochas de alto grau, arqueanas ou com importante herança arqueana; c) as supracrustais de terreno granitóide-*greenstone* transamazônico, tipo Vila Nova; d) os granitoides transamazônicos, com idades entre 2206 e 2060 Ma, representando diversas fases de evolução orogênica transamazônica; e) os granitoides pós-Transamazonas, gerados em situação intraplaca no final do paleoproterozóico. Essa província é constituída por três domínios distintos em território Brasileiro: Gurupi, Bacajá e Amapá.

Província Tapajós–Parima (2100–1870 Ma)

A faixa orogênica Tapajós–Parima (Lima, 1998) constitui uma das principais províncias do cráton e é bordejada a oeste por províncias paleoproterozóicas mais jovens que foram acretadas ao cráton entre 1,85–1,70 Ga (províncias Rio Negro e Rondônia–Juruena). A faixa orogênica Tapajós–Parima representa nova crosta adicionada ao núcleo do cráton, durante parte do Paleoproterozóico (2,10 a 1,87 Ga; Santos *et al.* 2000).

Quatro arcos foram amalgamados para formar a província. O primeiro Arco Magmático, denominado Complexo Cuiú-Cuiú tem idade entre 2030–2000 Ma e representa um Arco de Ilha, cujos remanescentes ocorrem como metatonalitos e metabasaltos. O segundo arco calcialcalino, designado Creporizão e gerado entre 1980–1950 Ma, já mostra incorporação de crosta continental, sendo composto basicamente por monzogranitos e andesitos. Esses dois primeiros arcos constituem a Orogênese Mundurucus. Após 40–60 Ma ocorre a segunda orogênese, iniciada com o arco de ilha denominado Arco Tropa, este foi acretado ao cráton entre 1890–1900 Ma e composto por tonalitos, basaltos e andesitos. Esse foi seguido por outro arco continental, denominado Parauari e caracterizado por monzogranitos e rochas vulcânicas félsicas (1879–1883 Ma).

Província Rio Negro (1860-1520 Ma)

Introdução

Esta província situa-se no setor noroeste do cráton, abrangendo no Brasil a maior parte da Bacia do Rio Negro, estendendo-se pelo SE da Colômbia (Guainia) e SW da Venezuela (bacias dos rios alto Orenoco, Ventuari e Cassiquiare) (Santos *et al.* 2000). É uma das regiões menos habitadas e conhecidas geologicamente do mundo, correspondente a quatro domínios, dois dos quais no Brasil, um na Venezuela (Ventuari) e outro na Colômbia (Guainia). No Brasil um está situado mais a noroeste (Domínio Alto Rio Negro), correspondendo à região conhecida como Cabeça-de-Cachorro, fazendo fronteira com Colômbia e Venezuela e outro, mais a leste, chamado de Domínio Imeri (região entre o rio Negro e Venezuela). A principal distinção entre esses dois domínios (Fig. 9) é que o Domínio Imeri está muito mais afetado pelos cisalhamentos NE-SW K'Mudku (1,33 Ga), enquanto no Domínio Alto Rio Negro diferentes estruturas pré-K'Mudku estão preservadas. A província faz limite a leste com a faixa orogênica Tapajós– Parima (2,05–1,87 Ga) enquanto seus limites para oeste, sudoeste e noroeste com a faixa orogênica Sunsás (1,42–1,00 Ga) não estão bem estabelecidos devido à escassez de informações e devido à presença de extensiva cobertura sedimentar cenozóica que inclui isolados *inliers* de embasamento. De forma simplificada, a província é composta por quatro grupos principais de unidades: o embasamento do final do Paleoproterozóico, Estateriano (Cauaburi, ca. 1,80 Ga); granitóides de um primeiro arco continental (Suíte Marauiá, ca. 1,70 Ga); os granitoides mesoproterozóicos, calimianos (suítes Igarapé Reilau, Rio Içana, Marauiá, Uaupés, Tiquié e Marié-Mirim, 1,54–1,51 Ga); e os restos localizados de espessas seqüências de quartzitos e quartzo-arenitos, metamorfisados ou não, das unidades Tunuí, Neblina, Daraã e Aracá (1,70–1,33 Ga) (Santos, 2003).

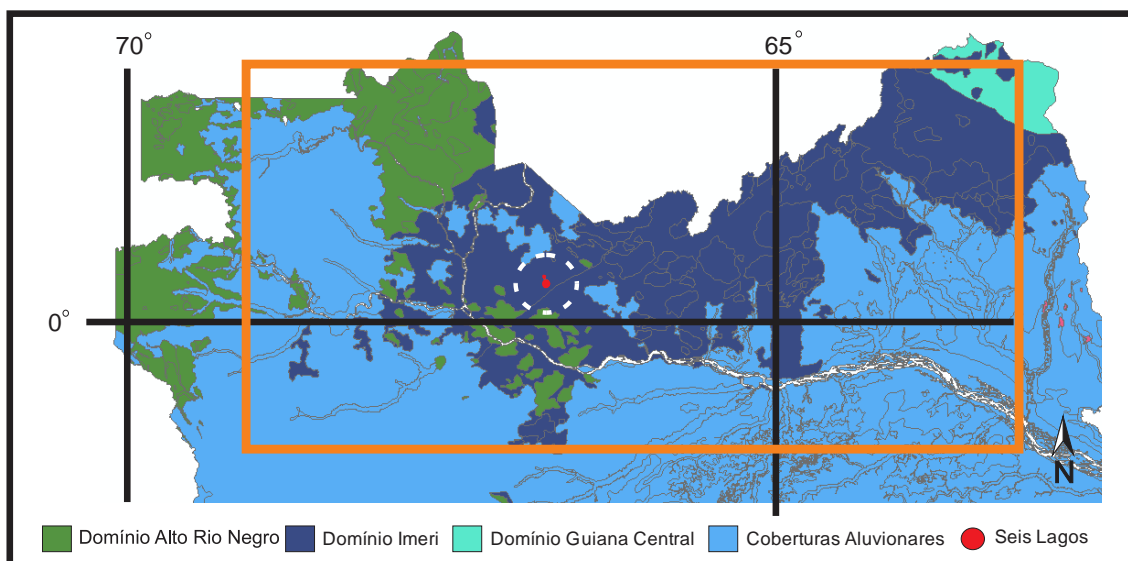


Figura 9. Domínios da província Rio Negro, o retângulo laranja delimita a área de estudo.

Embasamento: O Embasamento da província Rio Negro compreende rochas tonalíticogranodioríticas foliadas ou bandadas, agrupadas no Complexo Cauaburi, que são intrudidas pelos granitóides das Suítes Igarapé Reilau, Rio Içana, Marauiá, Uaupés, Tiquié, Marié- Mirim e Tapuruquara e recoberto por rochas (meta) sedimentares das Formações Neblina, Daraá e Aracá e do Grupo Tunuí. No Domínio Serra Imeri, Brito *et al.* (2000) incluem biotita-hornblenda granodioritos e monzogranitos, com raros tonalitos e enclaves quartzo-dioríticos, além de metagranitóides e gnaisses com similar variação composicional e milonitos gerados sob condições de fácies xisto verde. Os granitóides colisionais tipo Uaupés (1,55 Ga) e Marauiá (1652 ± 57 , Rb-Sr), notadamente quando afetados pelos cisalhamentos K'Mudku (1,33 Ga), são de difícil distinção dos granitóides tipo Cauaburi, não tendo sido ainda estabelecidos critérios consistentes (estruturais e composicionais) para distinguir as rochas das duas unidades. O que leva à consideração de que a distribuição do Embasamento Cauaburi ainda não está bem estabelecida em mapas (Santos, 2003).

Domínio Imeri – De acordo com Almeida *et al.* (2002), o embasamento do domínio Imeri encontra-se representado pelo Complexo Cauaburi, formado pelas litofácies Santa Izabel do Rio Negro (a leste) e Tarsira (a oeste). Possui direção estrutural preferencial NE-SW assinalada pelo alinhamento das serras Urucuzeiro, Imeri e Tapirapecó, além de faixas internas com deformação heterogênea desenvolvida no seu embasamento, evidenciada por extensos lineamentos associados a expressivas zonas de cisalhamento. A direção NW-SE é mais restrita e é marcante nos alinhamentos das serras Curupira e Aracá, encontrando-se com forte inflexão na proximidade do contato com o principal padrão NE-SW. O complexo atinge localmente o metamorfismo da fácies anfíbolito, sendo constituído predominantemente por magmatismo de caráter cálcio-alcalino expandido, embora predominem termos mais félsicos representados por (meta)granitóides e gnaisses com idades de cristalização em torno de 1,80 Ga (Santos *et al.*, 2000; CPRM

2003). De acordo com Almeida et al. (2004), o domínio também é caracterizado por intrusões graníticas do tipo A representadas pelas suítes Marauíá e Marié-Mirim no intervalo 1,76–1,75 Ga, registrando ainda evidências de heranças de 1,80-1,78 Ga relacionadas ao embasamento Cauaburi. Os granitos tipo S da suíte Igarapé Reilau possuem idade estabelecida entre 1,54 e 1,52 Ga e importantes registros de heranças de rochas do embasamento mais antigo. Idade em monazita metamórfica demonstra que a deformação e o metamorfismo responsáveis pelo espessamento crustal e geração da granitogênese tipo S pode ter se estendido no tempo até 1,42 Ga, ou representar por exemplo, ainda um novo evento (Grenvilliano?). Santos et al. (2006a) associam o metamorfismo de 1,49-1,42 Ga ao evento K´Mudku (1,34-1,00 Ga). A Formação Aracá, por sua vez, registra uma deformação que atingiu a fácies xisto verde, com evidência local de metamorfismo na fácies anfíbolito. Essas rochas metassedimentares, também materializadas pelas formações Serra da Neblina e Daraá, apresentam tramas deformacionais ao longo de zonas de cisalhamento dúctil sob condições da fácies xisto verde. A intrusão alcalina Seis Lagos é proposta como Mesozóica (Cretácea?) por CPRM, 2006, mantendo associação temporal com os demais corpos alcalinos à leste dessa região, tais como as estruturas “Catrimâni”, “Apiaú” e diques de diabásio.

Domínio Alto Rio Negro – O domínio ocorre na porção extremo-noroeste do Amazonas, cuja principal zona limítrofe se faz com o território colombiano na região conhecida como “cabeça do cachorro”. Está recoberto em grande parte por uma cobertura fanerozóica representada por depósitos arenosos cuja sedimentação mascara a continuidade das estruturas identificadas pelas serras Traíra (NW-SE), Tunuí e Caparro (NNE-SSW a NE-SW). Almeida *et al.* (2004) referiram-se a um embasamento rochoso representado pelo Complexo Cumati (litofácies Querari e Tonu). Estas rochas revelaram lineamentos NW-SE impressos, sobretudo, nos ortognaisses tonalíticos e granodioríticos da litofácies Tonu, e paragnaisses polideformados e migmatizados do Grupo Tunuí mais a leste. Partes das rochas do Complexo Cumati registram episódio deformacional sob condições da fácies anfíbolito, tendo gerado foliação regional predominantemente disposta na direção NE-SW e subordinadamente NW-SE.

O Neoproterozóico também é reconhecido no Domínio Alto Rio Negro por magmatismo básico alcalino sob forma de diques de olivina diabásio, denominados de “Cujubim”. Este magmatismo possui idade variando de 0,98 a 0,94 Ga e podem ser encontrados diques de natureza similar, no Domínio Serra Imeri.

Síntese: De um modo geral, Santos *et al.* (2000) admitem que a Província Rio Negro foi gerada através de reciclagem tectono-magmática de uma crosta pré-existente, enquanto Tassinari & Macambira (1999) propõem um modelo de arco magmático relacionado a subducção de crosta oceânica. Isto implica em dizer que, qualquer que seja o modelo escolhido, este deverá avaliar a possibilidade de reciclagem de uma crosta continental pré-existente, sobretudo durante o estágio colisional, assim como localmente a

evolução de um arco magmático a oeste do Domínio Alto rio Negro, ali representado pelos granitóides cálcio-alcálicos do Complexo Cumati, produzidos provavelmente em uma fase pré-colisional ligada à geração e consumo de uma litosfera (subducção)(CPRM, 2006).

Este processo acrescionário, possivelmente em torno de 1,70 Ga, propiciou o espessamento da crosta preexistente (1,80-1,75 Ga) em uma fase colisional posterior, implicando em subsequente aumento do grau metamórfico e geração de granitóides crustais, tardi a pós-colisionais do tipo S em 1,52 Ga. A seguir, no intervalo 1,51-1,49 Ga, em ambiente pós-orogênico, uma série de intrusões com forte assinatura do tipo A foram estabelecidas sob condicionamento NE-SW e NW-SE, por sua vez, reativadas em torno de 1,30-1,10 Ga pelo Evento K'Mudku. Entretanto, não foi possível identificar a cinemática e a geometria desse provável arco magmático Cumati, pois o significado dos *trends* regionais na evolução geotectônica regional permanece ainda indefinido (polaridade, vergência, metamorfismo, etc.). Apesar disso, algumas evidências de campo (Almeida et al. 2002) e geocronológicas (Santos et al., 2000, CPRM, 2003) tendem a apontar a estruturação NE-SW como sendo a mais jovem, cuja vergência provável é de W para E (CPRM, 2006).

Província Rondônia-Juruena (1810-1520 Ma)

Quase totalidade da Província Rondônia – Juruena encontra-se exposta nos estados de Rondônia e Mato Grosso, cabendo ao Amazonas pequena porção a oeste da Bacia do Alto Tapajós. A província está dividida no Domínio Roosevelt– Juruena, e no Domínio Jamari, um pouco mais jovem.

Domínio Roosevelt-Juruena – Estende-se da borda leste do batólito serra da Providência, a oeste, até a bacia do alto curso do rio Teles Pires, abrangendo áreas dos estados de Rondônia, Mato Grosso e Amazonas. O domínio é caracterizado por suítes graníticas cálcio-alcálicas, com idades no intervalo de 1,81 - 1,77 Ga e sucessões metavulcanossedimentares depositadas em ambiente subaquoso, cuja idade obtida em riolito situa-as no intervalo de 1,76 – 1,74 Ga. As suítes exibem estruturas desde isotrópica a milonítica (e gnáissica), a depender do seu posicionamento em relação às zonas de cisalhamento. As sucessões metavulcanossedimentares químico-terrágenas são compostas por uma sucessão superior de metargilitos interdigitados com metacherts, formações ferríferas e metatufos; uma sucessão intermediária de ignimbritos e conglomerados vulcanoclásticos e, uma sucessão inferior vulcânica com dacitos e riolitos (1,76-1,74 Ga), intercalados com tufos subordinados. Um plutonismo sin-vulcânico está representado por metamonzogranitos porfiríticos com idade de 1,75 Ga (CPRM, 2006).

Duas hipóteses são aventadas para a evolução do Domínio Roosevelt-Juruena: a primeira, refere-se a geração de um arco magmático a partir da subducção de crosta oceânica sob a crosta pretérita Tapajós-Parima, juntamente com a fusão parcial desta, originando material juvenil com contaminação crustal. O magmatismo gerado é predominantemente

granítico de alto potássio e as rochas vulcanossedimentares representam um ambiente de retro-arco. A segunda hipótese é relativa ao processo de rifteamento por colapso orogenético ocorrido na Província Tapajós-Parima, seguido da fusão da crosta Tapajós-Parima por aproximação de pluma mantélica produzindo magma félsico calcialcalino, concomitante com vulcanismo e deposição de sedimentos (Pinho et al., 2001).

Domínio Jamari - Ocupa as porções central de Rondônia e sul do Amazonas, sendo constituído predominantemente por rochas ortoderivadas tonalíticas e quartzo-dioríticas e supracrustais subordinadas. Os ortognaisses são os mais antigos do domínio e datam ao intervalo 1,76 - 1,73 Ga, encontrando-se relacionados à evolução de um arco magmático. O ambiente tectônico proposto para a geração desse magmatismo é de margem continental do tipo Andino, com subducção para nordeste, abaixo da crosta continental da Província Tapajós-Parima (Payolla et al., 2002).

As rochas do embasamento do Domínio Jamari, representado por tonalitos e paraderivadas, são seccionadas por granitos, charnockitos, mangeritos e gabros da Suíte Intrusiva Serra da Providência. Outra manifestação magmática importante no Domínio Jamari encontra-se representada por charnockitos e granitos do tipo A, distribuídos na porção central de Rondônia, possuindo idades de cristalização entre 1.400 e 1.430 Ma. Os granitos estaníferos rapakivi que seccionam no intervalo 1,08 - 0,97 Ga o Domínio Jamari e coberturas sedimentares contemporâneas, são manifestações póstectônicas relativas à Orogenia Sunsás desenvolvida na porção mais meridional do Cráton Amazônico. A efetiva cratonização no sudoeste do cráton foi alcançada em torno de 980 Ma, a partir do alojamento dos granitos estaníferos de Rondônia e do sul do Amazonas, além de outros estoques em Mato Grosso (CPRM, 2006).

Província Sunsás (1,45–1,1 Ga)

Rochas com idades do final do Mesoproterozóico (Esteniano)/princípio do Neoproterozóico (Toniano) têm sido reconhecidas no extremo sudoeste do cráton desde Priem *et al.* (1971), quando alguns entre os granitos estaníferos de Rondônia foram datados (Rb-Sr) em 980 Ma e desde então relacionados com a Orogênese Grenville de Laurência. A estreita faixa ocidental do Cráton Amazonas, tem sido incluída em reconstruções do continente meso-neoproterozóico Rodínia (Renne *et al.* 1989; Dalziel, 1992; Sadowski e Bettencourt, 1996), o qual teria resultado da fusão de Amazônia e Laurência por volta de 1,20–1,10 Ga.

A existência de uma larga faixa de rochas produzidas pelo Ciclo Grenville (Grupo Nova Brasilândia; Rizzotto *et al.* 1999) mostra que as rochas da orogênese Sunsás estão bem distribuídas na região central de Rondônia, 400km a nordeste do *front* da faixa Sunsás na Bolívia (Litherland *et al.* 1989; Tassinari, 1996), o que levou Santos *et al.* (2000) a ampliarem a extensão da faixa Sunsás no cráton.

As evidências de longa evolução orogênica, desde pelo menos 1,45–1,42 Ga até 1,10 Ga, mantendo a mesma direção geral da convergência (sentido geral para N50°E e N70°E) e originando série de arcos sucessivos

sem haver o registro de importantes hiatos temporais, fazem que as rochas originadas nesse período sejam interpretadas como o produto de um longo ciclo orogênico (CPRM, 2006).

4. GEOLOGIA DA ÁREA

A área proposta pelo projeto, com cerca de 200.000km², apresenta 22 unidades geológicas (tabelas 1a e 1b, e fig. 10), que serão descritas em ordem geocronológica. Suas distribuições, principais litotipos e estruturas serão apresentadas a seguir, de acordo com os dados disponíveis na bibliografia pesquisada (principalmente CPRM 2006) e as referências feitas nesse capítulo podem ser encontradas no citado trabalho. A maior parte deste mapa (Fig. 10), foi gerada, através do software Arcgis, pelo recorte do mapa geológico do Estado do Amazonas elaborado pela CPRM em 2006 sobre a área do modelo digital do terreno, conforme demonstrado pela figura 11. As áreas pertencentes às Repúblicas da Venezuela, a norte, e da Colômbia, no extremo NW da imagem, foram correlacionadas com as áreas conhecidas em território nacional por: continuidade física, semelhança morfológica e/ou padrão estrutural, comparados aos apresentados pelo modelo digital do terreno. Porém, devido ao alto grau de erosão ao qual foram submetidas, as rochas aflorantes, ainda reconhecíveis nessas áreas, foram classificados nesse trabalho como granitos indiferenciados e a cor cinza foi adotada para os mesmos. As adjacências destes, por não apresentarem rochas aflorantes foram classificadas como pertencentes ao embasamento.

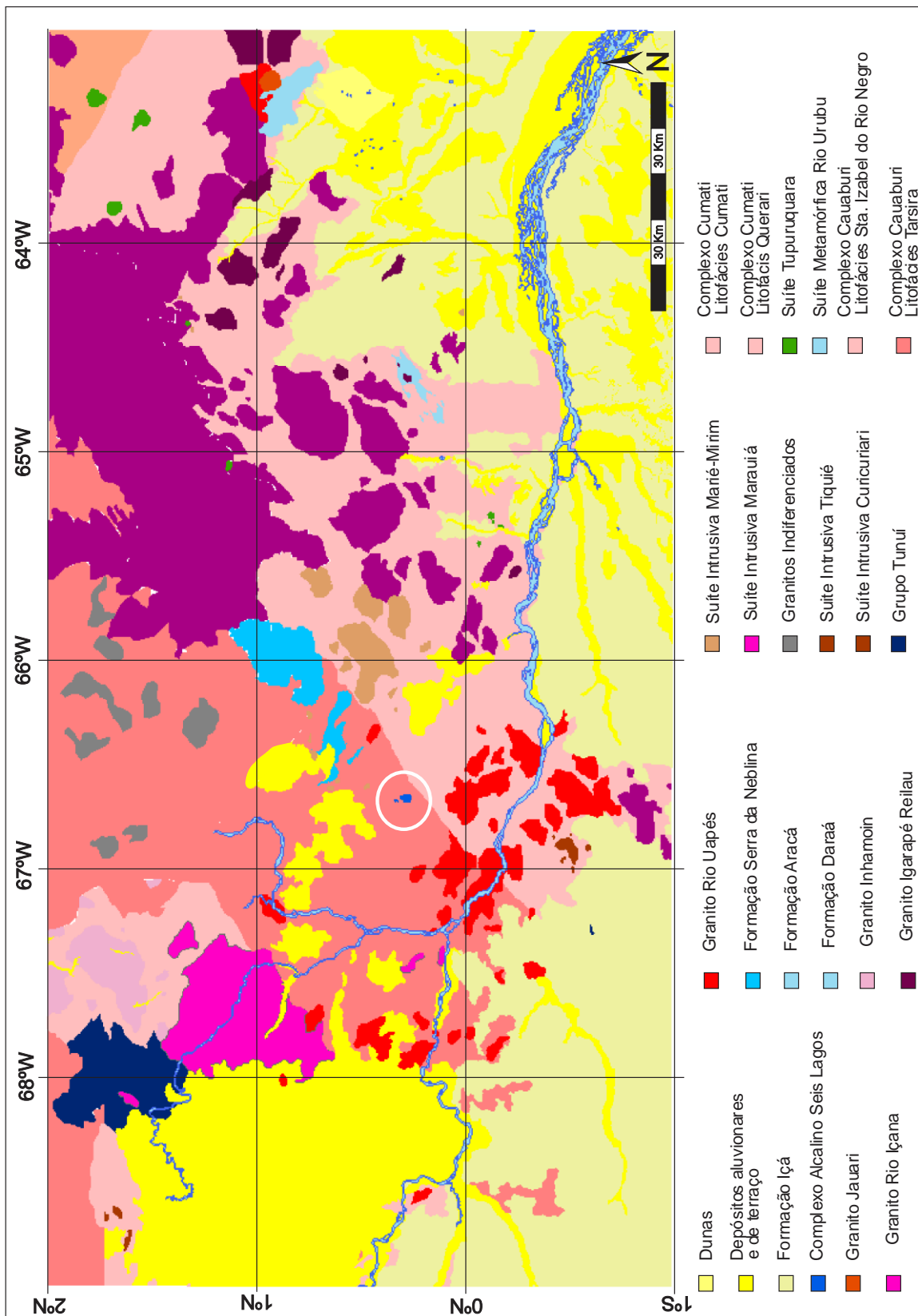


Figura 10. Mapa geológico da área de estudo. O círculo branco marca Seis Lagos.

Unidade	Hierarquia	Idade (M.a.)	Método de datação	Associação Magmática	Nível Crustal	Textura Ígnea	Morfologia	Fácies Metamórfica	Litotipo 1	Litotipo 2
Dunas	-	0,875 - 0	Relações de Campo						Areia	
Depósitos Aluvionares e de terraço	-	1,75 - 0	Relações de Campo						Areia, Argila	Cascalho
Içá	Formação	1,75 - 0	Relações de Campo						Alúvio, Areia, Argila, Linhito, Turfa, Cascalho	
Alcalina Seis Lagos	Suite Intrusiva	(203-66)?	Relações de Campo	Alcalina			Stock	Não Apresenta	Sienito com Feldspatóide	
Granito Jauari	Corpo	1476 - 1201	U-Pb SHRIMP em Mineral	Granítica I - Caledoniana	Subcrustal	Porfírica	Stock		Monzogranito, Sienogranito	Granito, Granodiorito
Rio Uapés	Suite Intrusiva	1518 - 1459	U-Pb Convencional em Mineral	Granítica A		Equigranular	Stock		Monzogranito	Granodiorito, Sienogranito
Rio Içana	Suite Intrusiva	1521 - 1521	U-Pb Convencional em Mineral	Granítica S	Infracrustal	Equigranular	Batólito / Stock		Monzogranito, Sienogranito	
Daraá	Formação	1600 - 1401	Relações de Campo					Anquimetamorfismo / Xisto Verde	Quartzo - Arenito	Subarcóseo
Igaraé Reilau	Suite Intrusiva	1600 - 1401	Relações de Campo	Granítica S	Mesocrustal	Equigranular	Batólito / Stock		Monzogranito, Sienogranito	
Inhamoin	Suite Intrusiva	1600 - 1401	Relações de Campo						Monzogranito	Sienogranito
Serra da Neblina	Formação	1600 - 1401	Relações de Campo						Quartzo - Arenito	
Aracá	Formação	1600 - 1401	Relações de Campo					Anfibolítico / Xisto Verde	Quartzo - Arenito, Quartzito	Xisto, Muscovita Quartzito

Unidade	Hierarquia	Idade (M.a.)	Método de datação	Associação Magmática	Nível Crustal	Textura Ígnea	Morfologia	Fácies Metamórfica	Litotipo 1	Litotipo 2
Marauíá	Suíte Intrusiva	1750 - 1601	U-Pb Evaporação em Mineral						Monzogranito, Sienogranito	
Marié-Mirim	Suíte Intrusiva	1750 - 1601	U-Pb Evaporação em Mineral						Biotita Sienogranito, Monzogranito, Ortoclásio Granito	
Curicuriari	Suíte Intrusiva	1800 - 1401	Rb-St em Rocha Total	Granítica	Subcrustal	Equigranular	Batólito / Stock		Monzogranito, Sienogranito	Granito
Tiquié	Suíte Intrusiva	1800 - 1401	Rb-St em Rocha Total	Granítica A	Subcrustal	Equigranular	Batólito / Stock		Monzogranito, Sienogranito	Granito
Tunui	Grupo	1800 - 1401	Relações de Campo					Xisto Verde a Anfibolito	Paragneisse, Paramigmatito	Filito, Itabirito, Quartzito, Arenito, Quartzito, Metapelito
Cumati	Complexo	1800 - 1601	Relações de Campo	Tonalito-Granodiorito Granítica	Mesocrustal	Equigranular		Xisto Verde a Anfibolito	Gnaise Granodiorítico, Gnaise Tonalítico	Metagranodiorito, Metamonzogranito
Tupuruquara	Suíte	1800 - 1601	Sm-Nd Idade Modelo em Rocha Total	Tholeítica		Cumulática	Stock		Hornblenda Gabro, Iherzolito, Olivina Websterito	Olivina Gabro
Rio Urubu	Suíte Metamórfica	1941 - 1911	U-Pb Convencional em Mineral					Anfibolito	Ortognaisse	
Cauburi	Complexo	2050 - 1601	Relações de Campo	Calcalcalina	Mesocrustal	Megaporfírica		Xisto Verde	Augen Gnaise, Metagranitóide	Granodiorito, Monzogranito, Quartzito, Diorito, Migmatito, Metamonzogranito, Metassedimentos, Metamáficas, Metavulcânicas Félsicas.

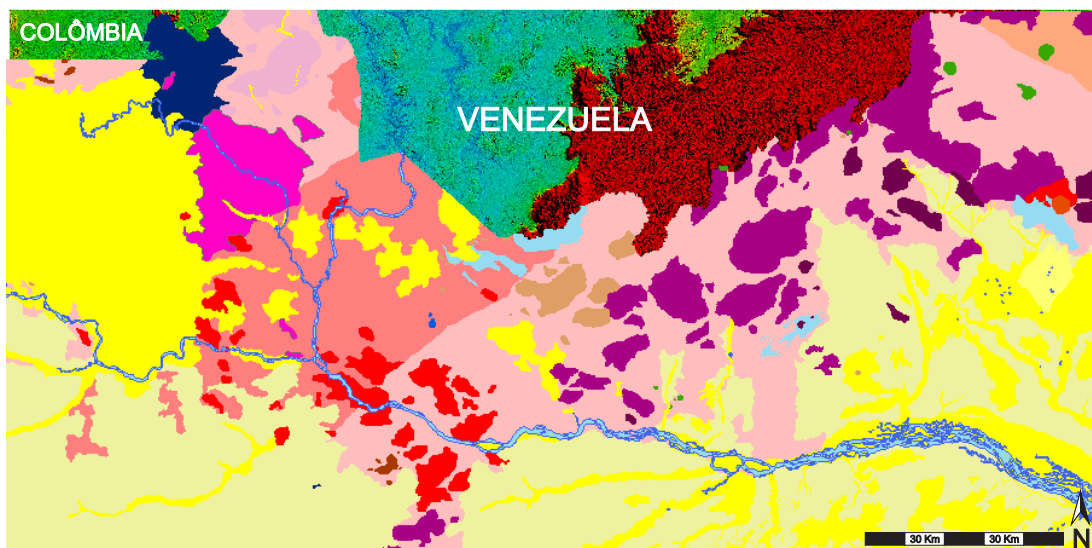


Figura 11. Área do MDT contida no Mapa Geológico do Estado do Amazonas.

Complexo Cauaburi (2050-1601 Ma)

Como descrito no capítulo 3, o Complexo Cauaburi é dividido nas litofácies Santa Izabel do Rio Negro (SIRN), e Tarsira, a divisão é feita principalmente porque a litofácies SIRN ainda preserva muitas estruturas pré K'Mudku (evento tectônico de 1,3 Ga correlacionado à orogênese Sunsas cujas estruturas apresentam direções NE-SW), enquanto na litofácies Tarsira as estruturas estão afetadas pelo evento citado. A litofácies Tarsira também apresenta idades pouco mais antigas e algumas diferenças litológicas em relação a litofácies SIRN (Almeida et al, 2002) que serão descritas a seguir. Sua distribuição domina a área de estudo, principalmente a porção norte, tendo e vista que grande parte da metade sul encontra-se encoberta por depósitos quaternários. Seis Lagos ocorre encaixado nas rochas da litofácies Tarsira. As rochas do Complexo Cauaburi constituem o embasamento regional do Domínio Imeri (Província Rio Negro), sendo intrudidas pelas suítes Igarapé Reilau, Marauíá, Uaupés, Marié-Mirim, Tapuruquara e pelo carbonatito Seis Lagos, estando recoberto por rochas (meta)sedimentares das Formação Serra da Neblina e coberturas sedimentares neógenas. Na área de abrangência do Complexo Cauaburi ocorrem os aluviões mineralizados em ouro mais significativos da área. Ocasionalmente são observados diques triássicos- jurássicos e neoproterozóicos cortando o embasamento e detectados principalmente pelos dados de levantamentos aerogeofísicos. Melo et al. (1993) e Melo & Villas Boas (1993) após redefinição, englobaram também nesta unidade granitoides miloníticos a protomiloníticos, representados por (hornblenda)-biotita augen-gnaisses e (meta)granitoides ovóides de composição predominantemente monzogranítica (Almeida et al., 2002). Estes augen gnaisses são descritos a montante da cidade de São Gabriel da Cachoeira, no alto rio Negro, a partir da ilha Flores, cuja área-tipo foi descrita na comunidade de Tarsira (Almeida et al., 2002, 2004).

Os augen-gnaisses da litofácies Tarsira apresentam foliação coincidente com a direção NE-SW definida pelo Cinturão Guiana Central em seu prolongamento no estado do Amazonas, possuindo uma única fase de deformação dúctil. Zonas de cisalhamento rúptil centimétricas, de direção N-S, são ocasionais, e cortam a foliação principal NE-SW. No médio rio Negro, nas cercanias da cidade de Santa Izabel, Brito et al. (2000) incluem no Complexo Cauaburi biotita-(hornblenda) granodioritos e monzogranitos), com raros tonalitos e enclaves quartzodioríticos, além de metagranitóides e gnaisses com similar variação composicional, e milonitos gerados sob condições de fácies xisto verde. Este conjunto de rochas ortoderivadas foi englobado por Almeida et al. (2002, 2004) na litofácies Santa Izabel, por considerá-la distinta da litofácies Tarsira do ponto de vista composicional e textural. Brito et al. (2000b) e Melo & Villas Boas (1993) descrevem ainda na litofácies Santa Izabel subordinados diques leucograníticos, migmatitos, rochas metassedimentares indiscriminadas e escassas metamáficas e metavulcânicas félsicas.

Complexo Cumati (1800-1601 Ma)

As rochas do complexo Cumati ocorrem na região NW da área e estão intrudidas pelas Suítes Intrusivas Inhamoin, Rio Içana, Tiquié, Rio Uapés e por rochas Grupo Tunui, além de estarem recobertas por extensivas coberturas aluvionares e de terraço. Nesta unidade são agrupados basicamente dois tipos gnáissicos ortoderivados no Domínio Alto Rio Negro, constituindo o embasamento da porção oeste da Província Rio Negro (Santos et al., 2000a): a) ortognaisses Tonu e, b) ortognaisses e metagranitóides Querari.

A litofácies Tonu é composta por ortognaisses que afloram no médio e alto cursos do rio Xié. As principais exposições estão localizadas nas cachoeiras Cumati e Iraiti e na comunidade de Tonu. Apresentam composição tonalítica a granodiorítica, textura equigranular a incipientemente porfirítica, neste último caso, possuindo megacristais oftálmicos de plagioclásio e subordinadamente de álcali-feldspato, com no máximo 2 cm de comprimento e percentual inferior a 10% do total da rocha. Os megacristais ocorrem alinhados segundo a direção da foliação regional, cuja direção preferencial é NW-SE, com mergulhos variando de 90° a 60° para SW.

A litofácies Querari é caracterizada por ortognaisses e (meta)-granitóides que afloram ao longo do alto curso do rio Uaupés, fronteira Brasil-Colômbia, a montante da comunidade Cururu até a vila de Querari. A foliação varia de N30°E a N10°W e é dada pela orientação de biotita (e por vezes hornblenda) e pelos aglomerados e enclaves lenticulares, quase sempre acompanhados por foliação milonítica de direção subparalela. Zonas de cisalhamento destrais com direção variando de N70°E a EW seccionam por vezes esta foliação principal. Estes litótipos apresentam composição variando de monzogranítica a diorítica, com dominância de granodioritos, de cor cinza, grão médio à grosso, textura ígnea muitas vezes preservada,

variando de equigranular à inequigranular porfírica, com megacrístais tabulares de álcali-feldspato com 1,5 cm em média. Possui ainda aspecto mosqueado característico, dado pela ocorrência de aglomerados máficos milimétricos, e ligeiramente circulares, distribuídos pontualmente na matriz da rocha. A associação mineral é composta por feldspatos, quartzo, biotita, além de titanita, hornblenda e eventualmente epidoto, sulfetos e magnetita. Os termos dioríticos a quartzo dioríticos, em geral deformados, são subordinados e ocorrem preferencialmente como enclaves nesses (meta)-granitóides e ortognaisses à titanita.

Suíte Intrusiva Tapuruquara (1800-1601 Ma)

Ocorre concentrada no extremo NE da área, na forma de três corpos circulares intrudindo o embasamento, também esta registrada na porção central do mapa intrudindo a Suíte Marié-Mirim. As rochas desta suíte são compostas de olivina gabros, hornblenda gabros, ultramáficas (olivina websterito e lherzolito) e gabro noritos.

Grupo Tunuí (1800-1401 Ma)

O Grupo Tunuí tem distribuição restrita à porção NW da área de estudo e ocorre na região fronteira com a Colômbia, em parte, estendendo-se para este país. Constituí as serras Tunuí, Caparro, Traíra, Tucano, Esperança, Macaco, Meio e Serrinha, cuja geomorfologia representa relevo residuais, ocorrendo também ao longo dos rios Traíra, Içana, Apaporis e Cuiari. Coube a Paiva (1929) sua primeira descrição na cachoeira Tunuí e serra homônina, no rio Içana, revelando sericita quartzitos e itacolomitos, similares aos da Série Minas. As serras Tunuí, Caparro e Macaco, constituem blocos maciços com vertentes abruptas com direção NNE e altitudes que variam entre 200 e 800 m. No rio Içana, localidade da missão Tunuí, são descritos sericita quartzito e quartzitos puros, de cor branca, com clivagem de direção NNE-SSW e mergulhos elevados (70° a 80°) em geral para SE. Além de quartzitos e sericita-quartzitos, são descritos sericita-andaluzita quartzitos, quartzitos ferruginosos, metapelitos, pelitos grafitosos, filitos, xistos, itabiritos e quartzo-arenitos. Observa-se nesta sucessão metassedimentar alguns paragnaisses de mais alto grau metamórfico, denominados informalmente de Taiuaçu-Cauera. Estes ocorrem no rio Içana, a jusante da serra Tunuí, a partir da comunidade de Taiuaçu-Cauera até próximo das comunidades Belém e Castelo Branco, onde estão intrudidos pelos muscovita-biotita granitos porfíricos da suíte Içana (Almeida et al., 2002b). Ocorrem ainda escassos níveis anfibolíticos de até 50 cm intercalados com os paragnaisses migmatíticos. Nota-se um aumento crescente do grau metamórfico de NE para SW, com as fácies de mais baixo grau estando melhor representadas nas serras Tunuí e Caparro, as quais

gradam para uma fácies de médio-alto grau (paragnaisses) até atingir a anatexia (granitos tipo S).

Suíte Intrusiva Tiquié (1800-1401 Ma)

Ocorrem na forma de três pequenos corpos circulares, intrudindo o complexo Cumati na região extremo NW da área estudada. Predominam os monzogranitos e sienogranitos de grão médio a grosso, cor cinza róseo, textura equigranular a porfirítica e localmente aspecto mosqueado (aglomerados máficos circulares). Texturas indicativas de catáclase também são identificadas. Sua associação mineral é composta por microclínio e ortoclásio micropertíticos, plagioclásio, quartzo, biotita, titanita, opacos, hornblenda, apatita, allanita, fluorita e zircão, além de epidoto e titanita secundários e sericita.

Suíte Intrusiva Serra Curicuriari (1800-1401 Ma)

Ocorre na região centro-sul do mapa, a cerca de 90km do Morro dos Seis Lagos na forma da serra Curicuriari (“Bela Adormecida”) que apresenta dois importantes corpos graníticos circulares a elípticos, com 90 e 130 km² aproximadamente cada, e corpos menores ao redor, com cerca de 2 a 7 km², cuja colocação está condicionada estruturalmente por lineamentos de direção NE-SW. Os granitóides tipo Curicuriari possuem composição sienogranítica a monzogranítica, localmente com termos álcali-feldspato granitos e alaskitos. Apresentam-se isótipos, com coloração rosada, grão grosso a médio, textura equigranular a ligeiramente porfirítica e têm a biotita como único mineral varietal. Também possuem baixo a moderado conteúdo de minerais máficos em geral (7-10%) e associação mineral formada por álcali-feldspato rosado a avermelhado, plagioclásio esbranquiçado, quartzo, biotita, além de minerais acessórios como allanita, titanita, magnetita, e raros sulfetos (ex. pirita).

Suíte Intrusiva Marié-Mirim (1750-1601 Ma)

Ocorre na forma de quatro corpos grandes e quatro menores na região central da área de estudo, intrudindo o embasamento (Cauaburi) apenas na litofácies Tarsira. Dominam batólitos que sustentam serras de cotas elevadas, com cristas bem marcadas e drenagens com padrão subdendrítico. Têm formato elíptico a circular, orientação NE-SW a NW-SE e dimensões entre 45 a 225km², constituindo-se em metalotectos importantes de Sn e Nb-Ta. São recobertos por rochas sedimentares da Formação Serra da Neblina (Fraga, 2000). Esta suíte é constituída de monzogranitos a ortoclásio granitos, com substancial domínio de sienogranitos, de cor rosa

clara, grão médio a grosso, textura eqüigranular e índice de cor leucocrático a hololeucocrático. Variedades porfíricas e rapakivíticas são raras. Deformação rúptil a rúptil-dúctil intensa e localizada originam texturas cataclásticas e miloníticas. É composto por microclínio e/ou ortoclásio microperitíticos (por vezes manteados ou com listras de albita), quartzo azulado, plagioclásio, biotita, além de alanita, minerais opacos, epidoto e raros riebeckita-arfvedsonita, zircão, fluorita, apatita e titanita.

Suíte Intrusiva Marauíá (1750-1601 Ma)

Constituem a maior unidade geológica da área a exceção do embasamento e das coberturas sedimentares recentes. Com direção NE-SW forma serras e pequenos morrotes em região brasileira, mas em terras venezuelanas forma um grande platô elevado, que apresenta uma ramificação para SE na porção NE da área estudada. A Suíte Marauíá é constituída por anfibólio-biotita (leuco)monzogranitos e (leuco)sienogranitos de cor rosa esbranquiçada a creme-avermelhada, equigranulares grossos a médios variando a porfíricos médios com fenocristais de feldspato alcalino e plagioclásio. Possuem minerais máficos em geral orientados, definindo localmente uma foliação. Quartzo, plagioclásio e microclínio são os minerais essenciais. Minerais opacos, zircão, allanita, epidoto, apatita e titanita são os minerais acessórios e muscovita, sericita, clorita, leucoxênio, fluorita, argilo-minerais e hidróxido/óxido de ferro são os minerais secundários mais importantes. Zonas de cisalhamento NE-SW e NW-SE geram também protomilonitos na fácies xisto-verde a epidoto anfibolito.

Formação Aracá (1600-1401 Ma)

Ocorre na região NE do mapa formando uma extensa mesa isolada com conformação NW-SE e representada pela serra homônima. Luzardo (2000) identificou petrograficamente quartzitos, metaconglomerados, muscovita xistos, granada-muscovita xistos e sillimanita-biotita xistos. As paragêneses são compatíveis com a atuação de metamorfismo regional progressivo do tipo “Barroviano” (média pressão) sobre rochas pelíticas. Giovannini & Larizzatti (1993, 1994) descrevem estruturas sedimentares bem preservadas como estratificação cruzada acanalada, laminação plano-paralela e marcas onduladas, tratando-se de uma sucessão granodecrescente composta por ruditos, psamitos e psefitos bem selecionados, evidenciando alta maturidade textural e composicional e depositada em ambiente continental de alta energia (sistema fluvial entrelaçado). Esta serra tem sido associada a formação Roraima ou como bacia intraplaca relacionada a instalação do cinturão Guiana Central.

Formação Daraá (1600-1401 Ma)

A Formação Daraá é de ocorrência muito restrita, limitando-se a uma área de 400 km², situada na porção centro leste da área de estudo, onde forma cristas orientadas segundo a direção NE-SW e circundadas por rochas do Complexo Cauaburi e mantém proximidade com os corpos Marauíá e Reilau, e deste modo, desprovida de relação intrusiva. Compreende uma seqüência piroclástica-sedimentar composta por tufos riolíticos, tufos cristalovítreos, quartzitos e mica-xistos aflorantes na serra homônima.

Formação Serra da Neblina (1600-1401 Ma)

Ocorre a cerca de 90km na direção NNE, em relação ao Morro dos Sei Lagos como uma serra delgada de direção NW-SE com cerca de 50km. Nesta formação encontra-se o Pico da Neblina, ponto mais alto do país com 2.994m de altitude. As camadas de topo da sucessão mergulham 30° SW e o contato com o embasamento do Complexo Cauaburi é desconhecido. Melo & Villas Boas (1993) apontaram ocorrências de quartzo arenitos e conglomerados miloníticos a cataclásticos, tendo considerado as exposições sedimentares como pertencente ao Supergrupo Roraima (Pinheiro et al., 1990). Feições relacionadas à recristalização e neoformação de minerais como sericita/muscovita as incluem na categoria de rochas metassedimentares de baixo grau (zona da clorita), possível produto de metamorfismo regional progressivo, cujas estruturas primárias como estratificações cruzadas acanaladas e tabulares encontram-se preservadas.

Suíte Intrusiva Inhamoin (1600-1401)

Ocorrem na porção NW da área, na forma de um corpo maior e seis menores ao redor do primeiro e que intrudem o complexo Cumati. São constituídos de biotita monzogranitos porfiríticos, com fenocristais tabulares e euédricos de alcalifeldspato com 2 a 3 cm de comprimento e entre 10 e 15% em relação ao volume total da rocha. Estão envolvidos por matriz grossa, portando biotita (15%) e por vezes com concentrações anômalas de titanita (3%) e opacos (2%), formando localmente aglomerados máficos circulares, cujas características são similares às descritas para os granitos da Suíte intrusiva Rio Uaupés (Dall'Agnol & Macambira, 1992). Fluxo magmático definido pela orientação preferencial dos fenocristais é ocasional, apresentando em geral direção variando de ENE-WSW a WNW-ESE. Possui vênulas de epidoto, enquanto veios pegmatíticos são muito raros. Assim como a suíte Uaupés, onde a presença de magnetita é significativa, os granitóides Inhamoin definem-se como pertencentes à série magnetita.

Suíte Intrusiva Igarapé Reilau (1600-1401 Ma)

Restrita a porção NE da área, na forma de corpos alongados na direção NE-SW. Costuma formar pequenas serras (inselbergs e monadnocks) destacadas do relevo circundante, mostrando padrão de drenagem retangular a dendrítico. Estão próximos a citada remificação da Suíte Maraujá que também ocorre na região NE do mapa. Esta suíte é composta por sienogranitos e monzogranitos, hololeucocráticos, com textura eqüigranular a ineqüigranular porfirítica, fina a grossa, cor rosa claro a branco, isótipos a foliados (intensidades variáveis de deformação), por vezes contendo pegmatitos com afrisita e raros tipos subvulcânicos associados. A associação mineral é composta por microclínio, quartzo, plagioclásio, biotita (muscovitizada), muscovita, granada, minerais opacos, zircão, apatita, monazita e/ou xenotímio?, sericita, epidoto, titanita, leucoxênio, ilmênio-rutilo, clorita, hidróxido de ferro e argilo-minerais.

Suíte Intrusiva Rio Içana (1521 Ma)

A principal ocorrência se dá na forma de um extenso corpo na região NW da área cujo limite para W está encoberto por extensa cobertura quaternária, ela intruindo as rochas do Complexo Cumati, outros dois corpos pequenos, de forma lenticular aparecem mais a SE daquele, encaixados no Complexo Cauaburi (litofácies Tarsira). Dominam monzogranitos cinza claro, de grão médio, porfiríticos a equigranulares por vezes hololeucocráticos. São portadores de biotita e muscovita em placas de grão médio, de quartzo anédrico irregular ou tipo gota, além de fenocristais de microclínio anédrico e plagioclásio tabular com fraco zonamento e geminação mal formada. Turmalina (afrisita) é encontrada por vezes em veios pegmatíticos, enquanto cordierita com inclusões de biotita e sillimanita é comum em bolsões leucograníticos observados nos migmatitos.

Suíte Intrusiva Rio Uaupés (1518-1459 Ma)

As rochas desta suíte ocorrem como batólitos granitóides aflorantes no baixo curso do rio Uaupés, na forma de dezenas de intrusões, principalmente do embasamento (Cauaburi, em ambas litofácies), distribuídas na direção NW-SE, formando uma faixa de morros que variam muito em extensão (1->50km). Os granitos dessa suíte formam uma zona com cerca de 200km no sentido NW-SE (note que tanto o limite a NW quanto a SE estão encobertos por coberturas sedimentares, possivelmente estendendo-se abaixo destas), por 50km NE-SW. Ocorre na região centro-sul do mapa sendo uma unidade bastante expressiva em área. O Granito Rio Uaupés é formado predominantemente por (anfíbólio)-biotita-monzogranitos muito ricos em titanita + opacos + apatita (em média 4,70 % modal). A presença significativa de magnetita e os valores elevados de susceptibilidade magnética definem o granito como pertencente à série magnetita.

Granito Jauari (1476-1201 Ma)

O Granito Jauari aflora a nordeste da serra Aracá (NE da área), como um stock circular intrusivo na base da Formação Aracá, produzindo, nesta última, transformações mineralógicas e texturais devidas ao efeito termal. O termo Granito Jauari proposto por Brito (2000b) substitui a denominação Granodiorito Jauari (Borges, 1987). Inclui sienogranitos, monzogranitos e raro microclínio granito, leucocráticos, de coloração rosa acinzentada a cinza esbranquiçada. Predominam termos isótopos, inequigranulares de grão médio a fino, com fenocristais de plagioclásio e/ou de microclínio. Mostram, por vezes, feições de deformação dútil, como fraturas intracristalinas e/ou extinção ondulatória (quartzo), ou ainda subgranulação. Os minerais essenciais são quartzo, microclínio, plagioclásio e biotita. Os minerais acessórios correspondem a titanita, minerais opacos, zircão, apatita, allanita e epidoto. Clorita, muscovita, prehnita, argilo minerais, sericita, saussurita e hidróxido/óxido de ferro ocorrem como fases secundárias.

Alcalinas Seis Lagos (?)

Ocorre na região central da área intrudindo o Complexo Cauaburi (embasamento) na litofácies Tarsira. Esta representada na forma de três estruturas aproximadamente circulares. O corpo maior denominado “Seis Lagos” possui 5,50 km de comprimento por 4,50 km de largura, enquanto as outras menores apresentam diâmetro de 0,75 e 0,50 km. Morfológicamente é um relevo pseudo-cárstico, cuja estrutura maior revela diversas depressões por colapso, seis das quais, apresentando lagos que conduziram à denominação “Morro dos Seis Lagos”. Intenso processo de intemperismo efetivou a formação de espessa cobertura laterítica ferruginosa sobre rochas alcalinas, tendo destaque os elevados teores de terras raras, nióbio, zircônio, vanádio e berílio. CPRM 2006, define o litotipo como sienito com feldspatóide.

Formação Iça ($\leq 1,75$ Ma)

Domina a região sul da área recobrando grande parte do embasamento. Na porção E da área avança em direção ao norte até o contato com a Suíte Maraujá. No geral, reúne arenitos amarelo-avermelhados, finos a conglomeráticos, friáveis, com siltitos subordinados e argilitos de características eminentemente continentais e depositados sob condições fluviais de elevada energia e clima árido. De acordo com Maia *et al.* (1977), a seção inferior da formação é constituída por siltitos e/ou argilitos maciços a finamente laminados, lenticulares, intercalados com arenitos estratificados. A seção superior está representada por arenitos conglomeráticos. Estratos cruzados acanalados de porte variado são comuns no seu interior. Uma rica fauna e flora pleistocênica encontra registro na formação que por sua vez, está em discordância erosiva sobre a Formação Solimões.

5 PRODUTOS E RESULTADOS

5.1 Mapas geológicos da Área

Dois mapas geológicos foram gerados para a área de estudo. O primeiro (Fig. 10) foi apresentado no capítulo anterior e segue a compartimentação de unidades e as cores propostas pelo mapa geológico do Estado do Amazonas, desenvolvido pela CPRM do ano de 2006, com escala 1:1.000.000. No segundo (Fig. 12), unidades de gêneses geologicamente correlacionáveis e de idades aproximadas foram agrupadas. Tais mudanças serão detalhadas na sequência deste capítulo. Cores destacadas foram utilizadas tendo como objetivo destacar as litologias agrupadas entre si, principalmente dos corpos intrusivos da área, na busca por padrões de distribuição e controles estruturais/direcionais destas intrusões.

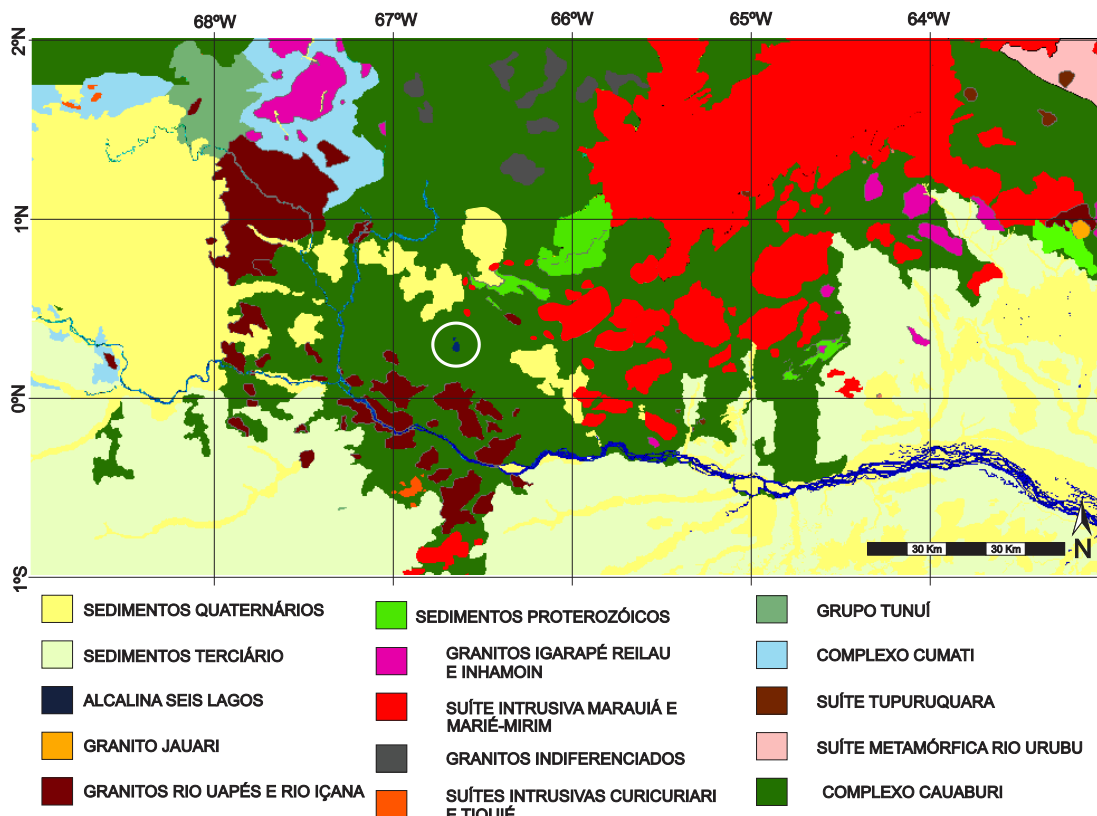


Figura 12, mapa geológico da área com unidades agrupadas. Seis Lagos é marcado pelo círculo branco.

O mapa da figura 12 teve as seguintes modificações em relação ao mapa da figura 10: os Complexos Cauaburi e Cumati tiveram suas litofácies agrupadas, assim como as suítes Marauaiá e Marie-Mirim. As suítes intrusivas Curicuriari e Tiquié foram também unificadas, assim como os granitos Igarapé Reilau e Inhamoin. Os meta-sedimentos proterozóicos das Formações Serra da Neblina, Aracá e Daraá; os granitos Rio Uapés e Rio Içana, e, por fim os sedimentos quaternários (depósitos aluvionares e de terraço e campos de dunas) foram também agrupados. Cores contrastantes foram escolhidas para as diversas unidades.

Ambos os mapas se mostraram bastante semelhantes. Assim, o agrupamento das unidades não obteve resultados tão relevantes quanto esperados. As principais melhorias em relação ao primeiro mapa são: Melhor visualização da distribuição do embasamento. O fato dos Granitos Rio Uapés e Rio Içana (de idades bastante próximas) mostrarem uma continuidade na direção NW-SE e principalmente a distribuição E-W dos granitos Marié-Mirim, que pontilham o mapa na direção oeste ocorrendo até a longitude de Seis Lagos, com a porção sul da suíte Marauaiá.

5.2 Modelo Digital de Terreno

O modelo digital do terreno (MDT) (Fig. 13), com área de aproximadamente 200.000 km², foi gerado a partir de dados do programa Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) do Serviço Geológico Norte Americano (USGS), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em seu site (para mais detalhes ver capítulo 2). Para comparação, a área de pesquisa é cerca de 25% maior que a da República do Uruguai. A partir deste MDT é possível observar as seguintes características morfo-estruturais da área:

1º: A região constitui-se, em sua maior parte, por uma planície baixa com pouca variação altimétrica, não ultrapassando os 150m em média. Esta região baixa e plana é formada pela encaixante do carbonatito longamente erodido, e talvez, pelas demais unidades intrusivas da região que assim como o embasamento não existiram a erosão da mesma forma que o Morro dos Seis Lagos.

2º: Tanto a forma como distribuição dos corpos intrusivos (principalmente a Suíte Intrusiva Marauia e os granitos Rio Uapés e Rio Içana) e das serras meta-sedimentares (Serra da Neblina, Formação Daraá e Formação Aracá), apresentam algum tipo de controle relacionado a mega estruturas de direções NE-SW e NW-SE. Tal controle fica evidente pelo forte alinhamento das bordas destes corpos (linhas brancas tracejadas), nos quais é possível, literalmente, traçar linhas retas por dezenas de quilômetros.

3º: Também os grandes rios (2ª e 3ª ordens) da região, onde se esperaria um padrão anastomosado, devido à topografia plana e sujeita a inundações, apresentam-se com traçados bastante retos, muitas vezes com direções próximas a E-W (linhas tracejadas laranjas) que também é a direção principal do Rio Negro na área estudada (linha tracejada vermelha).

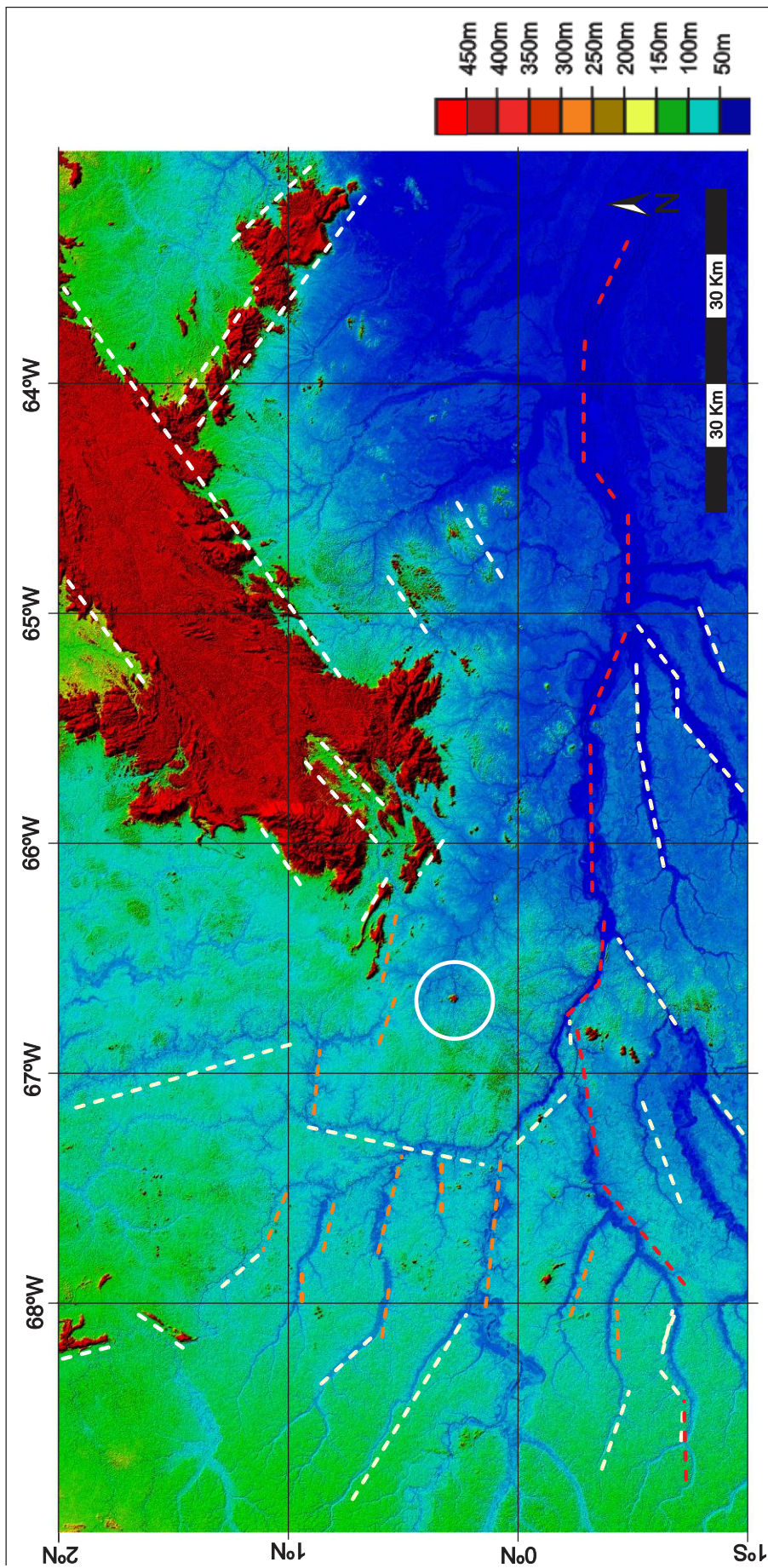


Figura 11. Modelo Digital do Terreno, o círculo branco indica a posição do Morro dos Seis Lagos.

5.3 MAPA DE MORFOESTRUTURAS

No mapa estrutural (Fig. 14), que conta com 759 lineamentos traçados, é possível identificar duas regiões de concentração dessas estruturas. Estas zonas estão destacadas pelas elipses 1 e 2, sendo que na primeira domina a direção NW-SE, enquanto na segunda, dominam estruturas de direção NE-SW e seus limites laterais e direção são acompanhados pelas intrusões da suíte Marié-mirim.. A importância dessas estruturas será melhor interpretada no capítulo 6. É possível notar na figura 14 uma diminuição no número de estruturas na porção SE desta, coincidindo com o limite entre as fácies Santa Izabel do Rio Negro e Tarsira (Fig. 10), porém cabe ressaltar que, como pode ser visto na figura 13, esta porção apresenta cotas mais baixas e esta mais suscetível a inundações do Rio Negro e seus afluentes fazendo com que os lineamentos possam estar escondidos sob os sedimentos depositados nas épocas de cheia dos rios.

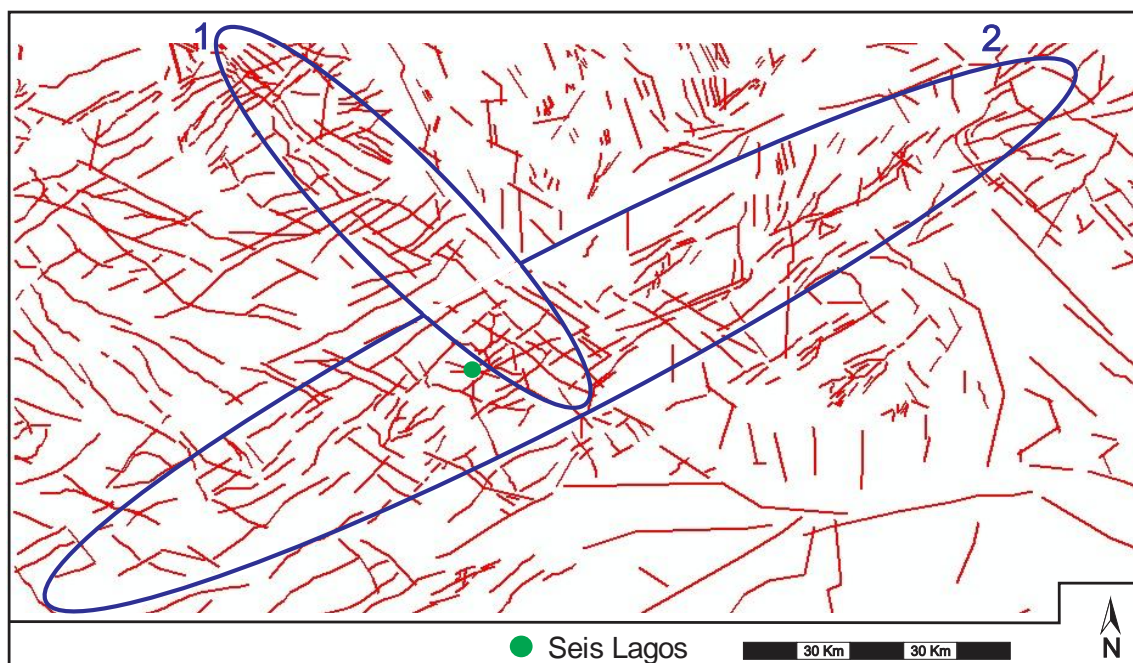


Figura 14. Mapa de morfo-estruturas.

5.4 Mapa Gravimétrico

O mapa gravimétrico, ou mapa de anomalia Bouger (Fig. 15), não mostrou-se eficiente, devido a homogeneidade e pobreza de detalhes apresentadas. Não gerando interpretações relevantes para a área ou para as expectativas do estudo, sua análise foi rapidamente abandonada.

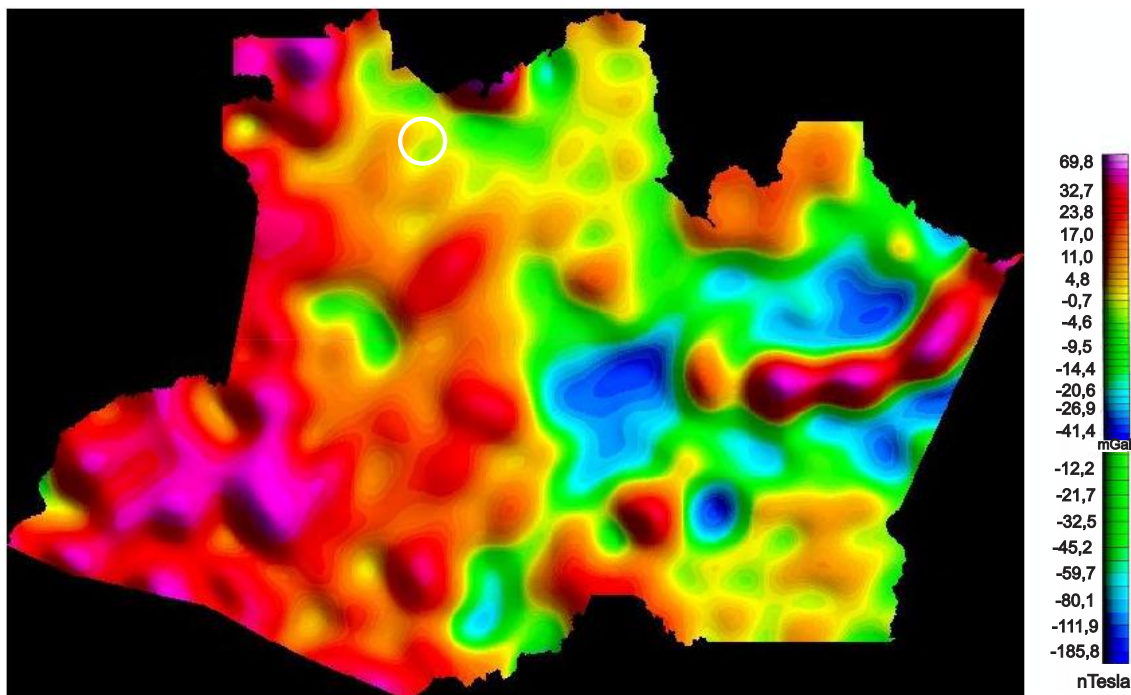


Figura 15. Mapa gravimétrico do Estado do Amazonas. O círculo branco indica a região do Morro dos Seis Lagos.

5.5 Mapa Aerogamaespectométrico.

No mapa Aerogamaespectométrico (Campo Total Reduzido do internacional Geomagnetic Reference Field – IGRF, com relevo sombreado) (Fig. 16), buscou-se por anomalias positivas, cujos maiores valores estão representados pelas cores vermelho e violeta, pois, foi descrito na bibliografia que o Morro dos Seis Lagos apresenta forte anomalia cintilométrica positiva (Justo, 1976), ultrapassando o nível de detecção dos equipamentos da época que eram de 15.000 cintilometrias por segundo (cps).

Desta análise não foi possível encontrar outros corpos que apresentem valores tão altos (>10.000cps), concomitantemente com morfologia semelhante à de Seis Lagos. Cabe apenas salientar o fato de os valores cintilométricos do carbonatito Seis Lagos (círculo vermelho tracejado) terem sido subtraídos da imagem, algo bastante notável, para um produto da CPRM cujas informações são de domínio público, o que demonstra a eficácia desta técnica e também a preocupação deste órgão em proteger as informações sobre corpos semelhantes a este na região.

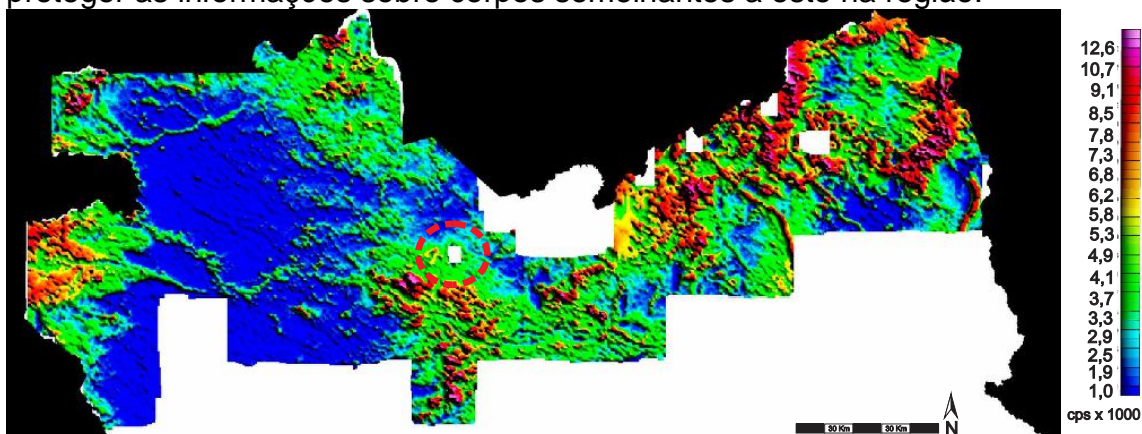


Figura 16. Mapa aerogamaespectométrico.

5.6 Mapa Aeromagnetométrico

O mapa Aeromagnetométrico de Contagem Total (relevo sombreado) (Fig. 17), foi aquele que gerou os melhores resultados dentre os produtos geofísicos utilizados. Nesta figura, o retângulo branco representa a área de estudo e o círculo branco a localização de Seis Lagos (círculo amarelo no centro). Fica evidente nesta imagem que o método apresenta alta capacidade de separar as respostas positivas e negativas do terreno, produzindo linhas claras e contínuas que limitam regiões com comportamentos distintos. As diferentes respostas magnéticas do terreno possivelmente correspondem a contatos de diferentes litologias em subsuperfície. Na figura 18 percebe-se um lineamento bastante acentuado, de direção principal NE-SW, cujo traçado aparece em azul claro, que atravessa a exata posição onde se encontra o carbonatito Seis Lagos.

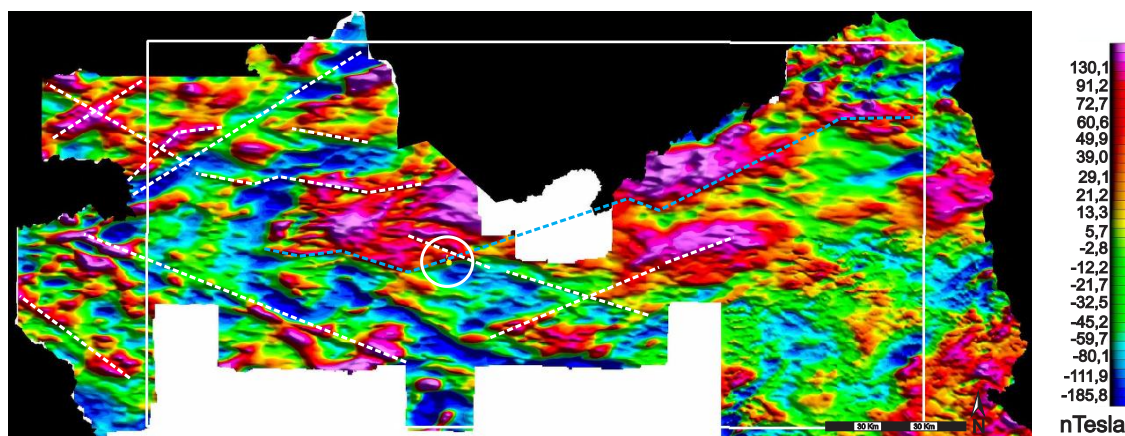


Figura 17. Mapa de lineamentos magnéticos principais.

As figuras 17 e 18 foram geradas por meio da sobreposição da unidade Seis Lagos ao mapa aeromagnetométrico através do software Arcgis. Fica claro na figura 18 que, no exato local de ocorrência de Seis Lagos, rochas com respostas altamente contrastantes estão dispostas lado a lado, de maneira abrupta e cujo contato pode ser acompanhado por muitos quilômetros com traçados retos e com direção geral E-W. Devido a esses fatos, este lineamento passou a ser interpretado como uma estrutura tectônica regional (possivelmente uma falha), a qual é atribuída o controle principal da intrusão do magma carbonatítico que veio posteriormente a gerar o morro. Também o MDT, quando sobreposto ao mapa geológico da área, ou ao mapa magnetométrico, mostra o morro dos Seis Lagos na mesma posição (confirmando a acurácia do georreferenciamento e o fato de o Morro dos Seis Lagos estar sobre a falha).

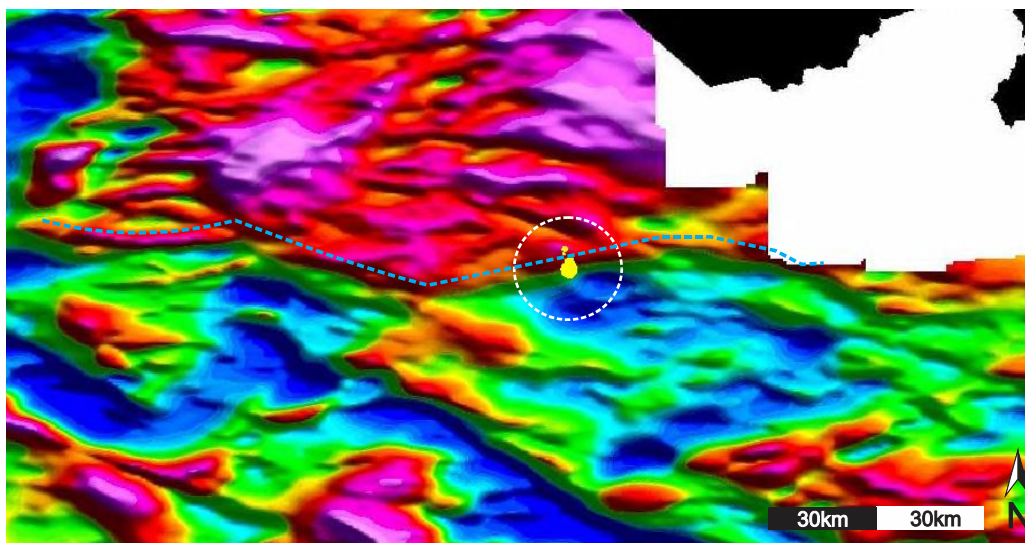


Figura 18. Magnetometria na região adjacente a Seis Lagos (círculo amarelo).

5.7 Análise morfoestrutural do Morro dos Seis Lagos e adjacências

Os melhores resultados nesta etapa foram alcançados através da análise do modelo digital de terreno e de processamentos por filtros direcionais sobre a imagem SPOT. A principal concentração de estruturas internas ao morro dos Seis Lagos ocorre no intervalo azimutal entre 135° e 165°.

5.7.1 Análise sobre o modelo digital do terreno

Na figura 19, os lineamentos são marcados principalmente pelos rios, cujos traçados são altamente lineares e parecem controlados por estruturas geológicas. As linhas tracejadas marcadas em vermelho, apresentam continuidade em ambos os lados do morro dos Seis Lagos, passando pela região central do corpo, sendo que a de número 1 parece afetar a morfologia interna deste (Fig. 20). O rio que define o lineamento 1 desvia para SE quando encontra o morro e retorna à sua direção original quando neste faz a volta o que também ocorre mas de forma menos clara, no caso do lineamento 2. Os lineamentos 3 e 4 passam pelas bordas dos corpos carbonatíticos menores e podem estar relacionados ao controle local do posicionamento desses.

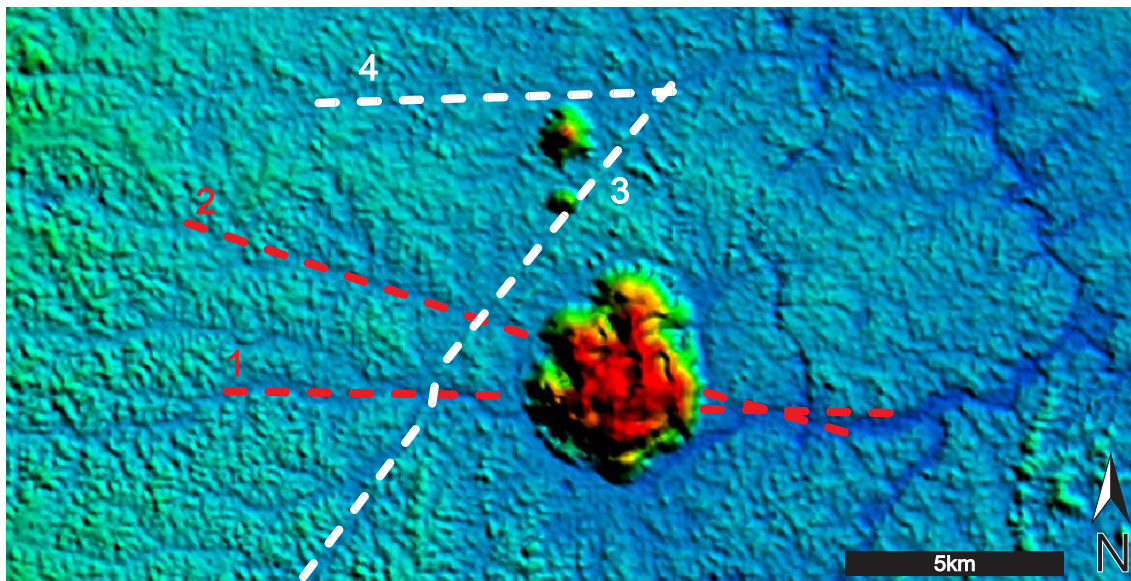


Figura 19. Principais morfoestruturas no entorno de Seis Lagos.

Na figura 20 é possível perceber que o MSL apresenta limites abruptos e alinhados, fazendo com que sua forma seja algo parecida com um polígono, diferentemente da forma circular que este aparenta quando visualizado em imagens como as do google Earth ou mesmo quando este é visto em fotos, à distância. É preciso salientar que o MDT acentua, as reais escarpas das bordas do morro, e também que a forma circular em muito se deve aos depósitos de tálus de Seis Lagos. Assim, o mais provável, é que os lineamentos das bordas demonstrados nesta figura devam estar relacionados, principalmente, ao limite da crosta laterítica que capeia o morro enquanto os internos representam vales relacionados a falhas ativadas quando o corpo já apresentava comportamento rúptil. Esta delimitação da crosta laterítica apresenta um avanço em relação aos trabalhos anteriores no que diz respeito ao cálculo das reservas tanto para nióbio como para as terras raras. Para fins de análise morfológica, o formato da crosta laterítica deve representar com maior fidelidade a forma original (pré-erosiva) do MSL. Nesta figura é possível perceber que a estrutura 1, mostrada na figura 19, apresenta continuidade na região interna do morro.

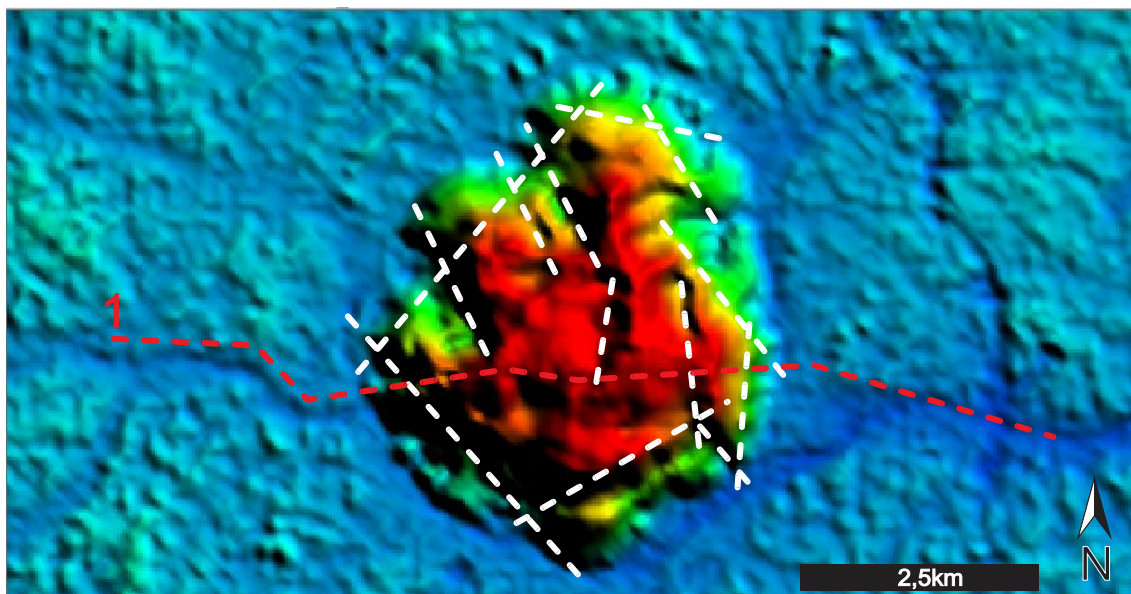


Figura 20. Lineamentos internos ao Morro dos Seis Lagos.

5.7.2 Análises sobre a imagem SPOT

Todos os valores de georeferenciamento estão em Unidade Transversa de Mercator (UTM), lembrando que Seis Lagos ocorre próximo ao equador, no hemisfério norte.

5.7.2.1 Análise Estrutural

A análise das morfoestruturas no MSL e suas adjacências na figura 21 permite visualizar um grande número dessas feições com direção NNW/SSE. Estas tanto formam vales e cristas internas ao MSL como ocorrem também na encaixante próxima, e nos corpos menores a NW. Tais estruturas são responsáveis pela morfologia acidentada que o morro apresenta, formando de certa forma uma paisagem e um relevo endêmicos, como uma “ilha elevada”, isolada nas vastas regiões planas desta porção do território amazônico. O círculo branco maior marca a borda do MSL e os menores os corpos carbonatíticos menores, a norte.

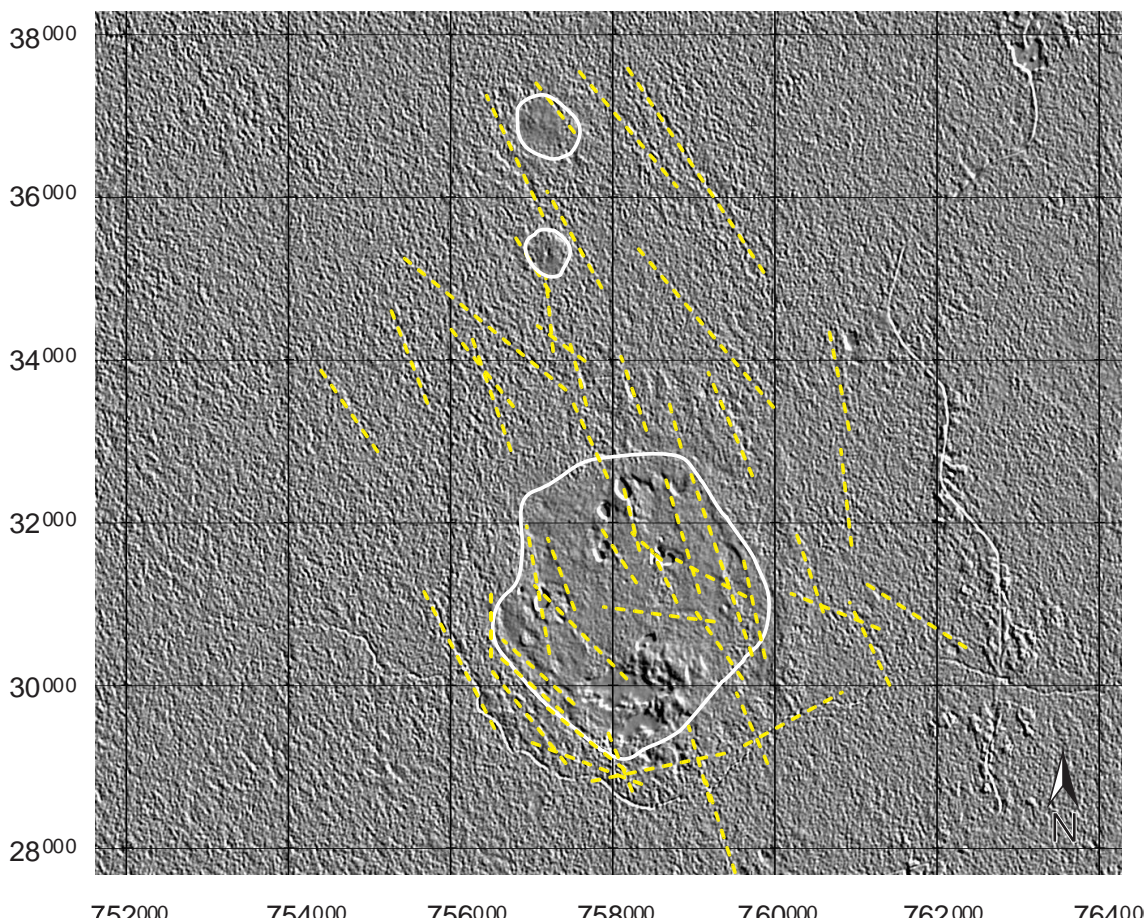


Figura 21. Imagem SPOT tratada através de filtro linear, salientando estruturas de direção azimuthal próximas a 150° utilizando a banda 3 (IVP).

5.7.2.2 Análise de Anomalias de Contraste Espectral (ACE)

A análise das ACE tem como principal objetivo, a identificação de argilas no MSL e cercanias, os princípios desta técnica foram já discutidos no capítulo de metodologias e a figura 5 exemplifica bem seu funcionamento. Foram comparados os resultados obtidos por dois métodos. A combinação de bandas espectrais e a análise apenas da banda do IVOC, cuja resposta das argilas é de alta reflectância.

Combinação de Bandas Espectrais: Diversas combinações foram tentadas, e por fim, o melhor resultado foi alcançado utilizando uma combinação falsa cor, RGB, 234, ou seja: a banda 2 (banda do vermelho) que é bastante destacada pela presença de ferro, apresentara na imagem, a cor vermelha. A banda 3 (banda do infra vermelho próximo) bastante reflexiva pela vegetação, apresentara a cor verde, e por fim, a banda 4 (banda do infra vermelho de ondas curtas), cujas argilas apresentam alta reflectância, aparecera na imagem em tons de azul. Assim sendo, tomando-se os devidos cuidados analíticos, como influencia da posição do sol, ou a possibilidade da sobreposição de duas respostas gerando no pixel uma coloração característica de um alvo não existente, pode-se interpretar as cores da imagem como: verde representa a vegetação; vermelho, a crosta laterítica e áreas com concentração de ferro; e azul, as argilas.

A figura 22 é resultado do tratamento descrito e nela estão presentes as seguintes feições:

A linha amarela, na região mais externa do morro, representa a borda dos depósitos de talus. São esses depósitos que dão ao morro a feição circular descrita na bibliografia (Justo, 1976, Bonow, 1980 e Corrêa, 1996) e aparente em fotos aéreas e imagens de satélite como as do Google Earth (Fig. 2).

As linhas brancas, que circulam o centro do morro, de coloração vermelha, representam a área composta pela crosta laterítica. Diferentemente dos limites marcados pelos depósitos de talus (em amarelo), pode-se perceber que os limites desta são marcados por linhas muito mais retas e bordas mais abruptas do que aquelas que limitam as bordas do morro em si.

As elipses azuis indicam as áreas onde a resposta espectral é característica de argilas. Estas áreas não são destacadas e apenas com uma análise cuidadosa é possível identificá-las. Porém é possível perceber que todas elas, com exceção daquela marcada por um círculo, apresentam direção NNW-SSE, idêntica as estruturas destacadas nas figuras 18 e 19.

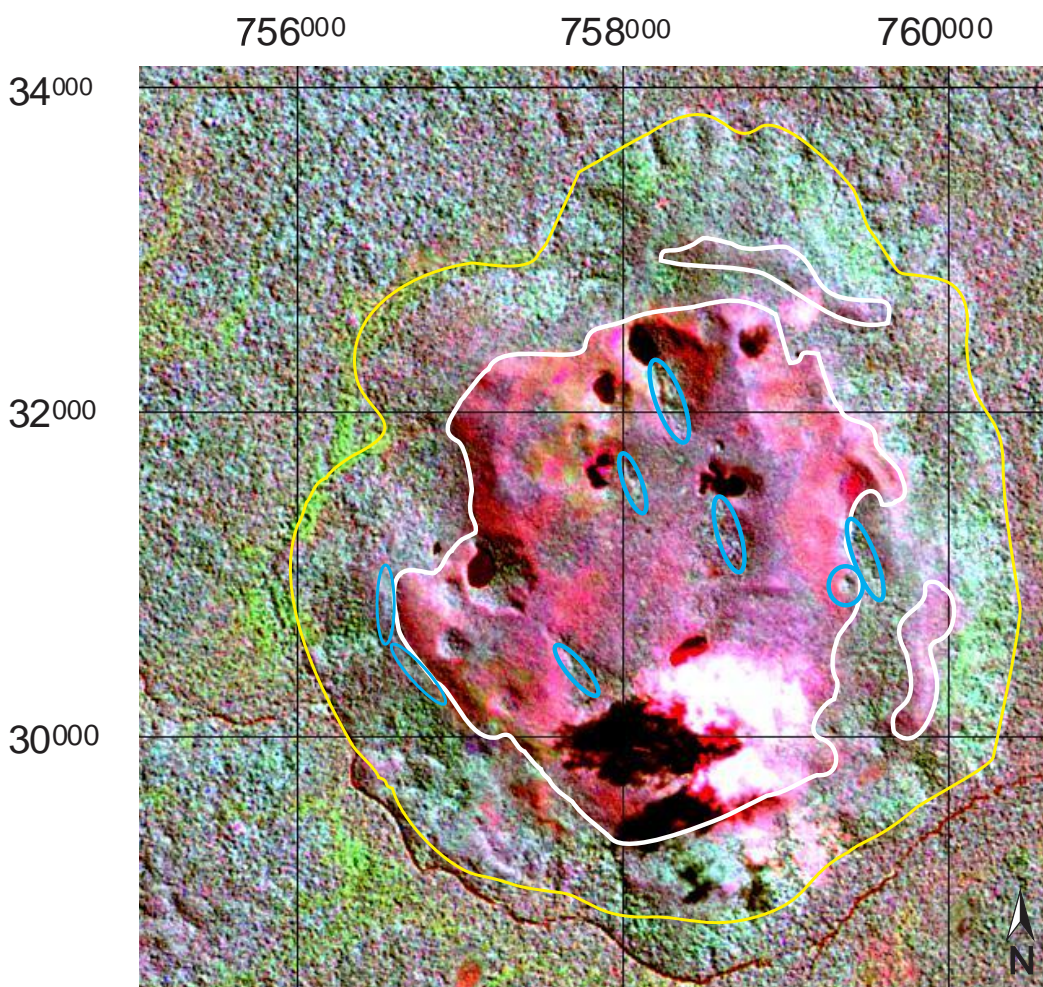


Figura 22. Morro dos Seis Lagos em composição colorida falsa cor sobre a imagem SPOT.

A figura 23 foi gerada através do tratamento da imagem do satélite SPOT, utilizando apenas a banda do IVOC. Novamente, as elipses azuis marcam as áreas cuja resposta espectral (áreas brancas, representando alta reflectância) indicam a presença de argilas. Quando comparada à figura 20 é possível perceber que muitos dos alvos se repetem, confirmando assim, pelos dois produtos, a eficácia da técnica e a provável ocorrência das argilas.

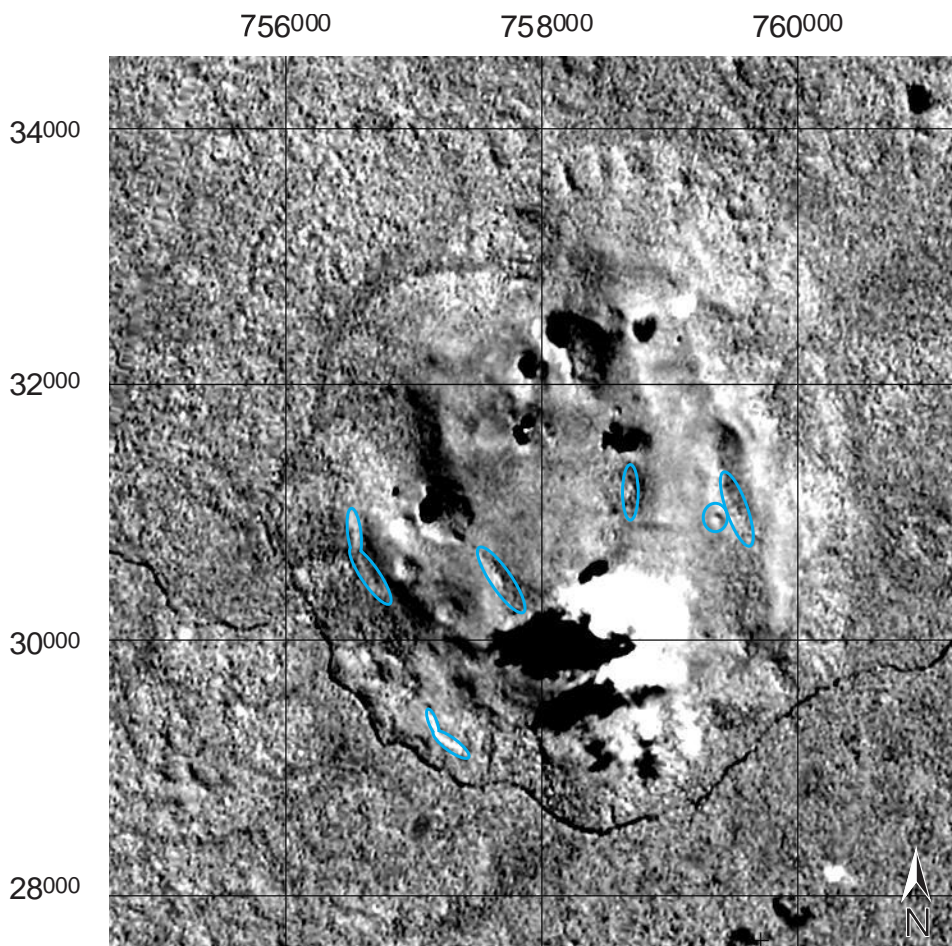


Figura 23. Resposta da imagem SPOT na área do Morro dos Seis Lagos utilizando apenas a banda do infra vermelho de ondas curtas.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Uma das propostas do presente trabalho foi investigar o controle do posicionamento da intrusão de Seis Lagos. Cabe ressaltar que o depósito de Nb de Seis Lagos tem sido considerado associado a lateritização de rocha carbonatítica (Corrêa, 1998), mas, a rigor, trata-se de uma hipótese, pois o carbonatito propriamente dito nunca foi descrito. Neste sentido, observa-se que a rocha (brecha carbonática) encontrada em profundidade em um dos furos de sondagem realizados pela CPRM em 1976, a qual Bonow (1976) consideraram que poderia ser o carbonatito fortemente alterado e brechado, foi interpretada por Corrêa (1996) como sedimento lacustre, depositado numa bacia instalada sobre o maciço de Seis Lagos. Bacias deste tipo são conhecidas em carbonatitos, onde se formam por processos cársticos, mas também ocorrem em zonas de lateritização sem nenhuma relação com carbonatito, como são exemplos as bacias existentes em Carajás (Costa, 1990a e 1990b).

O fato novo ocorrido durante o desenvolvimento do presente trabalho foi a equipe da UFRGS que trabalha na área ter reconhecido, em outro furo da CPRM, locado fora da estrutura mineralizada e que provavelmente por este motivo não despertou maiores interesses por parte dos geólogos da empresa, a presença de carbonatito (comprovado através petrografia e geoquímica). Este ocorre na forma de um dique de siderita-carbonatito que corta o gnaisse. A comparação entre este carbonatito e a brecha carbonática não deixa nenhuma margem de dúvida sobre esta última tratar-se da alteração de siderita-carbonatito. A comprovação de tratar-se carbonatito implica inúmeros aspectos para a discussão dos resultados, não apenas no caso do controle do posicionamento do corpo ígneo, apresentada a seguir, como também no que tange aos resultados obtidos no estudo mais detalhado do corpo e na investigação de possíveis zonas de enriquecimento do minério.

6.1 Controle do posicionamento do carbonatito

Carbonatitos são rochas ígneas contendo mais de 50% de carbonatos primários. Segundo os modelos petrogenéticos mais recentes, apoiados por grande número de dados isotópicos, os magmas parentais dos carbonatitos derivam de fontes mantélicas, sejam elas astenosféricas ou litosféricas (Chakhmouradian & Zaitsev, 2012). Assim como no caso das rochas alcalinas, o controle principal sobre o posicionamento de corpos carbonatíticos é relacionado a megaestruturas, que muitas vezes correspondem a descontinuidades crustais associadas a ambientes de riftes (Biondi, 1986), mas que no caso de Seis Lagos parece ter origem diferente, tendo em vista que tal ambiente não é reconhecido na região. Ao longo destas estruturas principais, os corpos se posicionam nas intersecções com outras estruturas. O Complexo alcalino-carbonatítico de Lages, por exemplo, encontra-se na intersecção do Lineamento de Florianópolis (Asmus, 1974), uma estrutura oceânica de direção E-W que se prolonga por centenas de quilômetros para o interior do continente, com uma série de zonas de falha de direção ENE-WSW, que delimitam as principais unidades tectonoestratigráficas do norte de Santa Catarina (Scheibe 1986).

A figura 3 mostra as localizações dos principais complexos carbonatíticos do mundo. Observa-se que os corpos carbonatíticos formam, na grande maioria dos casos, alinhamentos muito bem definidos, como, por exemplo, os encontrados no SW da África e no oeste dos EUA e Canadá. O carbonatito de Seis Lagos, que parece constituir um corpo isolado, quando observado a partir dessa lógica, poderia estar relacionado com os carbonatitos localizados no Estado do Pará (carbonatitos de Mutum e Maicurú), que ocorrem em latitudes próximas às de Seis Lagos. As grandes distâncias e o fato dos diferentes corpos se encontrarem em diferentes províncias geotectônicas do Escudo das Guianas não impedem que existam relações entre alguns deles, pois um lineamento mais jovem poderia ter uma grande continuidade e controlar corpos carbonatíticos posicionados em diferentes províncias. Entretanto, a discussão de eventuais relações do carbonatito de Seis Lagos com os demais corpos carece de um dado fundamental: a idade do magmatismo de Seis Lagos. CPRM (2006) propôs que o corpo teria idade mesozóica mantendo associação temporal com corpos alcalinos a leste dessa região, tais como as estruturas “Catrimâni”, “Apiaú” e diques de diabásio, mas não se basearam em datações isotópicas. Esta hipótese permanece possível, mas não se pode incluir neste modelo os corpos de Maicuru e Mutum, no Estado do Pará cujas idades, respectivamente, de 586 ± 18 Ma (Lemos e Gaspar 1998) e 1.0 Ga (Gomes et al. 1990) são bastante distintas entre si.

Os dados geofísicos não deixam nenhuma dúvida de que a principal estrutura da área, que controla o posicionamento do carbonatito é aquela de direção E-W, identificada por aeromagnetometria (Figs. 17 e 18). Ela é caracterizada por uma interface muito bem definida, fortemente orientada na direção E-W e contínua por mais de 250km separando dois domínios com resposta magnéticas muito contrastantes. Apesar desta estrutura não ter na superfície do terreno uma expressão tão acentuada, no sentido de, aparentemente, não delimitar diferentes domínios geológicos, ela parece

representar, neste nível estrutural, uma estrutura dúctil-rúptil, com um traço bem definido que pode ser observado na figura 19, no qual está precisamente localizado o corpo de Seis Lagos. Os dois corpos carbonatíticos menores, a norte de Seis Lagos, devem ter seu posicionamento relacionado a intersecção das estruturas NE-SW e E-W mostradas na figura 19 e as estruturas NNW-SSE apresentadas na figura 21 o que de certa forma reproduz o padrão do corpo maior.

Uma das possibilidades para explicar o limite entre os domínios magnéticos vem da análise da figura 12, onde percebe-se que a suíte Marié-Mirim e os corpos da porção sul da suíte Marauíá, quando agrupados, formam uma faixa E-W de afloramentos e podem, portanto, representar, mais a oeste, um corpo contínuo em subsuperfície. Ao contato destes granitos com o embasamento, é aqui tentativamente atribuído a origem do lineamento magnético E-W apresentado nas figuras 17 e 18. Há que se registrar que grandes estruturas com esta direção não foram descritas nos trabalhos de mapeamento efetuados pela CPRM. Entretanto, a forte orientação do sistema de drenagem, incluindo a calha do Rio Negro, na direção E-W é um fator indicativo adicional de que tais estruturas existem e devem ser muito importantes.

Ao longo da estrutura E-W, o ponto onde ocorreu o posicionamento do carbonatito foi provavelmente controlado pela intersecção desta com o cruzamento das faixas de estruturas NE-SW e NW-SE mostradas na figura 14 e apontadas por CPRM (2006) e Santos (2003) como sendo os trends principais de estruturas da província Rio Negro. Tal região é, portanto, a zona de interação de três diferentes zonas de atividade tectônica, sendo, portanto, mutuamente influenciadas e possivelmente facilitando reativações e aprofundamentos mútuos. A faixa de número 2 (Fig. 14) também representa uma faixa que separa dois domínios com diferentes densidades de morfoestruturas. A NW desta há visivelmente mais morfoestruturas traçadas do que a SE. No mapa geológico da área (Fig. 10), esta faixa coincide com o limite entre as litofácies do embasamento (litofácies Santa Isabel do Rio Negro e Tarsira do complexo Cauaburí) e também com o prolongamento das bordas e a direção do corpo maior da suíte Marié-Mirim.

A descoberta do fato de Seis Lagos estar em uma zona onde a estrutura maior E-W é intersectada por estruturas NE-SW e NW-SE gera um novo guia para a busca por outros corpos alcalinos na região.

6.2 Morfologia, estruturas e anomalias de contraste espectral do Morro dos Seis Lagos

O estudo realizado na escala do corpo de Seis Lagos objetivou delimitar mais precisamente o corpo pensando-se, evidentemente, na delimitação do depósito e em tentar identificar zonas passíveis de terem maiores concentrações de Nb e ETR. A comprovação de tratar-se de um carbonatito tem algumas implicações para a interpretação e discussão dos resultados.

Em primeiro lugar, há que se considerar que a ocorrência de colapsos durante o processo de lateritização deve ter sido muito intensa, bem mais do que para outro tipo de rocha. Durante a lateritização ocorre a remoção de elementos mais móveis e conseqüente enriquecimento relativo dos elementos menos móveis. Um processo de lateritização intenso, como o verificado em Seis Lagos, gera muitos espaços vazios, o material pode perder a sustentação e colapsar. Isto significa que uma dada espessura de saprólito gera uma laterita de mesma espessura, mas enriquecida, a qual, ao colapsar, gera uma espessura bem menor de laterita colapsada. Temos, portanto, dois processos atuando no enriquecimento do minério: a lixiviação dos elementos móveis e o colapso da laterita. Num carbonatito, onde ocorrem processos cársticos, que aumentam grandemente a porosidade e a permeabilidade da rocha, a frente de lateritização pode atingir grandes profundidades. Por outro lado, a formação dos carsts pode ser guiada por estruturas e, conseqüentemente, a lateritização e o colapso também. É o que parece ter acontecido em algumas partes do carbonatito. Neste sentido, observa-se claramente (Fig. 20) a existência de uma crista acompanhada de um vale de direção E-W, situada na parte sul do carbonatito, a qual coincide com o traçado da estrutura E-W fora do corpo e parece representar a continuação desta. Nesta mesma figura podemos perceber que não ocorrem outros lineamentos de direção E-W, e sim um predomínio de vales e cristas com direções NNW-SSE e subordinadamente N-S também presentes na encaixante próxima (Fig. 21) e estas afetaram de forma mais expressiva a estrutura interna do morro. Tais cristas e vales representam em superfície as falhas que as geraram e, portanto, constituem regiões nas quais se deve concentrar as atenções na realização do trabalho de campo, tanto para coleta de amostras que podem estar enriquecidas em elementos terras raras por hidrotermalismo, como na busca por feições geradas pelo processo de faturamento das rochas que, apesar de intemperizada e lateritizadas ainda podem eventualmente preservar feições indicadoras do processo tectônico.

O segundo aspecto é o hidrotermalismo, frequentemente muito acentuado em carbonatitos, onde pode ocorrer o carbohidrotermalismo (Chakhmouradian & Zaitsev, 2012), e elementos de grande interesse econômico podem formar acumulações nas zonas mais afetadas pelo processo. Em corpos carbonatíticos, é relativamente comum a formação de fluorcarbonatos de ETR, como a synchisita e a parisita, em zonas mais fortemente hidrotermalizadas (Ruberti et al, 2008). Nestas zonas, os silicatos podem ter sido alterados para minerais de argila, razão pela qual foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto, capazes de separar através das diferentes respostas de absorção e reflectância dos alvos terrestres às

ondas eletromagnéticas emitidas pelos satélites e radares orbitais, identificando assim as regiões com concentrações de argilominerais.

A partir do processamento sobre a imagem do satélite SPOT 4, foram identificadas nove zonas cujas reflectâncias são típicas de argilas (Fig. 22 e 23), na sua grande maioria coincidentes espacial e direccionalmente às estruturas internas de direções NNW-SSE e nas bordas da porção SW da crosta laterítica demonstradas nas figuras 20 e 21. A presença das argilas nessas regiões são indicativas de que o hidrotermalismo, concentrado nas zonas de fraqueza do carbonatito, tenha sido o responsável pela ocorrência de argilas, sejam elas cristalizadas no local a partir dos fluidos hidrotermais ou, até mesmo, transportadas de partes mais profundas, tendo-se em vista as altas porosidade e permeabilidade do material. A identificação dessas regiões concentradoras de argilas foi reforçada quando as duas técnicas (composição colorida e monocromática na banda do infra vermelho de ondas curtas) geraram resultados semelhantes, onde cinco das nove áreas identificadas se repetiram.

Outro resultado importante foi a delimitação precisa da crosta laterítica apresentada na figura 20. Tal informação é fundamental para o cálculo das reservas de nióbio e elementos terras raras que foram avaliados por Bonow (1976 e 1980) respectivamente e podem agora ser revistos com uma maior acurácia, muito embora sua espessura seja apenas estimada e deve ser variada em profundidade, sendo mais desenvolvida nas proximidades dos vales do morro que apresentam controle por estruturas provavelmente rupteis. Salienta-se, porém, que, como discutido anteriormente, os valores para as terras raras podem estar muito concentrados nas zonas hidrotermais e, portanto, seu cálculo torna-se bastante complexo. Cabe também fazer uma análise cuidadosa da forma desta crosta, cujas bordas apresentam limites abruptos com direções bastante pronunciadas e alinhadas, além das quais imediatamente iniciam os depósitos de talus. Tais bordas devem representar de forma mais precisa o formato original da intrusão quando comparadas aos limites dos depósitos de talus gerados pela erosão e colapsos da própria crosta e que hoje dão a forma circular ao Morro dos Seis Lagos.

A questão da forma do corpo de Seis Lagos remete a outra discussão sobre o posicionamento do corpo e o nível estrutural. Pensando na gênese das intrusões carbonatíticas, que se alojam em ou extrudem sobre crosta granítica/gnaissica (Biondi, 1986), podemos pensar em três interpretações sobre a forma e posicionamento original do magma que veio a formar o corpo estudado. Este poderia ser um vulcão como o atual Oldoinyo Lengai no rifte africano, poderia também ser intrusivo em zonas hipoabissais na forma de uma câmara formando um stock, como proposto por CPRM 2006, ou ainda representar o dique que alimentaria as duas opções anteriores. O fato de a laterita representar um processo intempérico cuja espessura é varias vezes inferior a das rochas originas que sofreram o processo, e que no caso de Seis Lagos atinge profundidades superiores a 250m praticamente exclui a primeira opção, pois caso tal vulcão existisse há muito já teria sido erodido. Tem-se, portanto, duas possibilidades, onde ambas apresentam evidencias corroborativas. A possibilidade de ser um stock parece mais aceitável devido às dimensões do corpo, que no caso de

representar diques alimentadores dificilmente apresentariam diâmetro tão expressivo, sendo possíveis apenas se a câmara ou o vulcão fossem imensos. Porém, as bordas marcadamente retas da crosta (forma pré-erosiva do morro) indicam que a forma é controlada por estruturas rúpteis (falhas ou fraturas) características das zonas que possibilitam a subida do magma sendo portanto indícios de que o morro é a representação deste caminho utilizado pela rocha fundida para acender. As duas possibilidades ainda podem ser consideradas em relação a gênese do carbonatito que originou os depósitos minerais de Seis Lagos e cuja definição implica em importantes diferenças na interpretação da continuidade do corpo em subsuperfície e, portanto, nas reservas econômicas. A primeira é referente a um stock afetados por falhamentos após sua cristalização, gerando assim as bordas caracteristicamente retas do morro, fazendo com que a continuidade do corpo em subsuperfície deva ser de poucos quilômetros. A segunda implica em aceitar a possibilidade de uma zona de falhas abrindo espaço nas rochas encaixantes com dimensões próximas aquelas da própria crosta laterítica. Tal dúvida poderia ser sanada caso as relações entre o carbonatito e a encaixante fossem mais claras ou se fossem encontrados xenólitos da encaixante dentro do carbonatito. Porém o espesso manto de alteração presente e vegetação tornam tais observações dificultadas.

7 CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas pelo presente estudo são abaixo sintetizadas.

A principal estrutura que controla o posicionamento do carbonatito do Morro dos Seis Lagos foi identificada por aeromagnetometria. Ela tem uma direção geral E-W e comprimento mínimo de 250 km, sendo caracterizada por separar duas áreas, a norte e a sul da estrutura, respectivamente, com respostas magnéticas muito distintas. Tentativamente, interpreta-se que o contraste magnético seja relacionado a um grande corpo ou de uma série de corpos da suíte Maruiá a norte da estrutura, não aflorantes (ou não reconhecidos no mapeamento), contrastando com os domínios do embasamento gnáissico ao sul da mesma. O carbonatito situa-se exatamente sobre o traço desta estrutura. No nível estrutural atual da área, esta estrutura não marca limites entre rochas distintas, mas coincide com estrutura, provavelmente rúptil, identificada em imagens de satélite, em cujo traço situa-se o corpo de carbonatito e que também pode ser observada afetando a cobertura laterítica formada sobre o carbonatito. Esta mesma direção E-W se repete no embasamento controlando diversos rios, inclusive o Rio Negro.

A posição da intrusão carbonatítica dentro desta estrutura E-W ocorre em uma região onde duas faixas de estruturas com direções NE-SW e NW-SE intersectam a grande estrutura E-W, formando um ponto de encontro entre três faixas estruturais de diferentes direções. As direções NE-SW e NW-SE são típicas de zonas de cisalhamento do embasamento da área.

O carbonatito de Morro dos Seis Lagos deve provavelmente tratar-se de um stock, devido à sua forma e dimensões. As bordas retas do corpo, marcadas pelos limites da crosta laterítica, que melhor caracteriza a forma original da intrusão, se assemelham a um hexágono e indicam que o corpo foi afetado por diferentes campos tensionais após sua consolidação.

Internamente, ao Morro dos Seis Lagos, as estruturas mais importantes são aquela de direção E-W, acima referida, que ocorre na sua parte sul e uma série de estruturas de direção NNW-SSE, na parte centro-norte do corpo. Nos dois casos, as estruturas são marcadas por alinhamentos de vales acompanhados, paralelamente, por alinhamentos de

cristas. Tais feições levam a supor que o processo de lateritização possa ter sido em grande parte controlado por estruturas internas ao corpo. Nas proximidades destas estruturas, a lateritização pode ter sido mais intensa, ter atingido profundidades maiores e ter gerado colapsos mais importantes. É possível que o minério ao longo destas estruturas tenha sido enriquecido tanto em Nb quanto em ETR.

As zonas de ocorrência de argila, identificadas por anomalia de contraste espectral estão associadas às estruturas de direção NNW-SSE que ocorrem na parte centro-norte do corpo. Acredita-se que estas argilas sejam ligadas a atividade hidrotermal o que, se comprovado, pode ter importantes implicações na distribuição das concentrações de Nb e ETR no corpo, especialmente por estes últimos, que podem estar contidos em fluorcarbonatos de ETR de origem hidrotermal.

As técnicas de sensoriamento remoto utilizadas no trabalho se mostraram bastante eficazes para a proposta do estudo, apesar da região ser dominada por densas florestas. Tal afirmação se exemplifica no grande número de morfoestruturas reconhecidas através do modelo digital de terreno e da delimitação da crosta laterítica e das zonas de concentração de argilas no Morro dos Seis Lagos que também apresenta vegetação bastante densa.

8 REFERÊNCIAS

Admilson P. Pacheco. 2006. Uma contribuição do sensoriamento remoto para detecção de áreas degradadas na caatinga brasileira – Boletim Goiano de Geografia, vol. 26, n 1.

Almeida M.E. 1997. Petrografia e geoquímica de elementos maiores da Suíte Intrusiva Tiquié: o caso dos Granitos Tiquié e Marié-Mirim no Estado do Amazonas. In: Costa, M.L., Angélica R.S. (ed.) Contribuições à Geologia da Amazônia. FINEP/SBGNO, Belém, p. 22-45.

Almeida M.E., Larizzatti J.H. 1996a. Geologia e petrografia, dos gnaisses migmatíticos do alto rio Uaupés, Estado do Amazonas, Brasil. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 39, 1996, Balneário de Camboriú. Anais, 6: p. 293-296.

Almeida M.E., Larizzatti J.H. 1996b. Geologia e petrografia da Suíte Intrusiva Içana no alto rio Uaupés, Estado do Amazonas, Brasil. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 39, 1996, Balneário de Camboriú. Anais, 6: 399-403.

Almeida M.E., Luzardo, R., Pinheiro S.S., Oliveira M.A., 2005a. Folha NA.19-Pico da Neblina. In: Schobbenhaus C., Gonçalves J.H., Santos J.O.S., Abram M.B., Leão Neto R., Matos G.M.M.,

Almeida M.E., Pinheiro S. da S., Luzardo R. 2002b. Reconhecimento geológico ao longo dos rios Negro, Xié e Içana (Missão Tunuí), Noroeste do estado do Amazonas. CPRM, Manaus, Superintendência Regional de Manaus, 16 p., il.

Biondi, J.C., Depósitos de minerais metálicos de filiação magmática. Brasil, 1986.

Bonow, W. C. (1980) Reavaliação e aspectos econômicos do jazimento de terras raras e ferro-ligas do lago esperança, complexo carbonatítico dos Seis Lagos- Amazonas- Brasil. Anais do congresso, V. 3, 1980.

Chakhmouradian, A. R, Wall, F, 2012. Rare Earth Elements: Mineral, Mines, Magnets (and More). Elements, vol. 8, pp 333-340.

Chakhmouradian, A.R, Zaitsev, A.N. 2012. Rare Earth Mineralization in Igneous Rocks: Sources and Processes. Elements, Vol. 8, pp 347-353. CPRM – 2006. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas, 2006.

Côrrea, A. S. - Mineralogia da crosta laterítica ferruginosa de Seis Lagos (Amazonas). Tese de doutorado Geociências, São Paulo, 16 (1), 1997.

Costa, M.L. 1990a Mineralogia, geoquímica, gênese e epigênese dos lateritos fosfáticos de Jandiá, na região Bragantina (NE do Pará). Geochim. Brasil., 4(1): 86-110.

Costa M.L. 1990b Lateritos e lateritização. In: Congresso brasileiro de geologia. 36., Natal – RN. 1990. Anais, SBG. V.1, p 404-421.

Florenzano, T. G. 2011. Iniciação em sonriamento remoto. Brasil, 128p.

Guerra, A.J.T. 2012. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Brasil, 421p

Guerra, A.J.T. 2011. Geomorfologia e meio ambiente. Brasil, 394p.

Guerra, A.J.T. 2012. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Brasil, 421p

Hoff, R. - Contribuição ao estudo aeromagnetométrico e de imagens orbitais (TM LANDSAT5) ao reconhecimento do arcabouço geológico do distrito fluorítico de Santa Catarina (Brasil) e suas implicações para a prospecção de fluorita. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, UFRGS, 2002.

Issler, S. R. Rare-Earth Elements in the Seis Lagos Carbonatite Complex. Mineração e metalurgia, 1980.

Issler, S. R. - The Seis Lagos Carbonatite Complex. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Geologia, V. 3, 1980.

Justo, C. L. – Jazida de Nióbio do Morro dos Seis Lagos, Amazonas. Principais depósitos minerais do Brasil – Volume II (1986)

Justo, C. L. - Jazida de Nióbio do Morro dos Seis Lagos. Anais do II Simposium Amazônico, V. 2, 1984.

Kynicky, J, Smith, M.P, Xu, C, 2012. Diversity of Rare Earth Deposits: The Key Example of China. *Elements*, vol. 8, pp 361-367.

Lemos, R. L. e Gaspar, J.C. 1998. Geologia do Complexo Ultramáfico-alcalino-carbonatítico de Maicuru, noroeste do estado do Pará, in *Anais...*, XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, 1998, BH, SBG-MG. Minas Gerais. P.P.466. 529

Mariano, A. N, Mariano Jr, A, 2012. Rare Earth Mining and Exploration in North America. *Elements*, vol. 8, pp 369-376.

Moreira A. M., 2011. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação 4ª Edição, Editora UFV.
Pereira, P. V. - Tese de doutorado, Geociências, UFRGS, 1995.

Ruberti, E, Enrich, G.E.R, Gomes C.B. 2008. Hidrotermal REE fluorcarbonate mineralization at Barra do Itapirapuã, a multipl stockwork carbonatite, southern Brazil. *The Canadian Mineralogist*, vol. 46, pp 901 – 914.

Santos, J. O. S. (2003): Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil Central. *In* Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. (L. A. Bizzi, C. Schobbenhaus, R. M. Vidotti e J. H. Gonçalves eds.); CPRM, Brasília, 169 – 226.

Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon cráton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3 (4). p.453-488.

Senhorinho, M. O. 2009, Uso do sensoriamento remoto na identificação de áreas com alteração hidrotermal na região de Lavras do Sul, RS, Porto Alegre, 65p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Senhorinho, M. O. 2012, identificação de padrões de alteração hidrotermal na região de Lavras do Sul, RS, com o uso do sensoriamento remoto, Porto Alegre, 105p. Dissertação de Mestrado, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Tassinari, C. C. G, Macambira M. J. B., 2004. A Evolução Tectônica do Cráton Amazônico. *in* Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida; 471 – 486.

Tassinari C.C.G., Macambira M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Cráton. *Episodes*, 22 (3):174-182

Williams-Jones, A.E, Migdisov, A. A, Sanson, I. M, 2012. Hydrothermal Mobilisation of the Rare Earth Elements – a Tale of “Ceria” and “Yttria”. Elements, vol. 8, pp 355-360.

Vidotti R.M., Ramos M.A.B., Jesus J.D.A.de. 2004, (eds.) Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistemas de Informações Geográficas-SIG. Programa Geologia do Brasil, CPRM, Brasília. Edição 2004. CD-ROM.

Viegas, J. R. e Bonow, C. W. 1976 Projeto Seis Lagos. Relatório da CPRM-DNPM, Superintendência Regional de Manaus.

GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOLÓGICAS E ANOMALIAS DE CONTRASTE ESPECTRAL NA REGIÃO DO PARANATI TO MUKRO DOS SEIS LAGOS AM.	
Autor: MARCO BINKOWSKI ROSSONI	
Orientador(es): ARTUR B. NETOS, DJANIRA L. SALDANHA	
Nota Final (1 até 10): 9	
Examinador: Netos Artur B. Netos	Data: 12/12/2012

1. O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia? Sim (X). Não (). Em parte ().
2. O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia? Sim (X). Não (). Em parte ().
3. As ilustrações são úteis e adequadas? Sim (X). Não (). Em parte ().
4. O manuscrito apresenta estrutura organizada? Sim (X). Não (). Em parte ().
5. A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia? Sim (X). Não (). Em parte ().
6. Os materiais e métodos são descritos adequadamente? Sim (X). Não (). Em parte ().
7. Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente? Sim (X). Não (). Em parte ().
8. As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos? Sim (X). Não (). Em parte ().
9. As referências são convenientes e usadas adequadamente? Sim (X). Não (). Em parte ().
10. O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)? Sim (X). Não (). Em parte ().

Comentários: Trabalho bem concebido e escrito, aplica o conceito multi processamento e multi imagem extraindo dados de grande utilidade para futuros trabalhos de campo.

/Milt