

Radargeologia da área de influência do ramal da Micad, em Presidente Figueiredo, Amazonas

Andrew Jackson Müller¹
Marcelo Batista Motta¹
Albertino de Souza Carvalho²
Valmir da Silva Souza²

¹ Programa de Pós-graduação do Depto. de Geociências – UFAM
Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Campus Universitário. Bairro Coroado I.
CEP 69077-000. Manaus/AM.
andrewmuller@uol.com.br , mottamb@gmail.com

² Universidade Federal do Amazonas. Depto. De Geociências – UFAM
Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Campus Universitário. Bairro Coroado I.
CEP 69077-000. Manaus/AM.
alsocar@terra.com.br , valmirsauza@ufam.edu.br

Abstract. The work of geologic mapping in the Amazonia is made it difficult in such a way by the presence of the dense vegetable covers and by the extensive lateritic covers, how much for the difficult access to the interest areas. From there the necessity of appealing to the use of tools auxiliary since the pause of lithological recognition. The images of satellite and the resultants of the aircraft program are important products that minimize these difficulties, the example of products of multispectral sensors and in special of the radar images (SAR), that they do not suffer interference from the atmospheric conditions. In this works it was used of images SAR of the airborne system of SIPAM that associates to the field surveys, macro and microscopically description and of samples of rocks of rocks, and posterior processing and interpretation of images SAR/SIPAM, was possible to differentiate two great geologic domain for the study area, beyond the individualization of the areas with lateritic covers, very characteristic in the Amazonia. The first domain in dominant granite, represented for hornblenda-biotita-granite and hornblenda-biotita alkali feldspato granite, and as it is represented essentially by volcanic rocks, formed for riolitos, dacitos and andesitos, beyond mafics levees with preferential direction NE-SW.

Palavras-chave: SAR/SIPAM, digital processing of images, airphoto-interpretation geological , Presidente Figueiredo.

1. Introdução

O trabalho de mapeamento geológico na Amazônia é dificultado tanto pela presença da densa cobertura vegetal e pelas extensas coberturas lateríticas, quanto pelo difícil acesso às áreas de interesse. Daí a necessidade de se recorrer ao uso de ferramentas auxiliares desde a fase de reconhecimento geológico. As imagens de satélite e as resultantes de aerolevantamentos são importantes produtos que minimizam estas dificuldades, a exemplo de produtos de sensores multiespectrais e em especial das imagens de radar (SAR), que não sofrem interferência das condições atmosféricas. Dessa forma, surge a necessidade de se buscar novas ferramentas auxiliares nos trabalhos de mapeamento, onde os sensores imageadores têm demonstrado ser importante ferramenta de aquisição de dados. Porém, sabe-se que a região Amazônica dispõe de um regime pluviométrico bastante intenso, com freqüente cobertura de nuvens, o que torna quase impossível a aquisição de imagens orbitais sem algum tipo de cobertura de nuvens, limitando o uso dos produtos gerados pelos sistemas ditos passivos (multiespectrais), a exemplo do sistema Landsat, entre outros.

Neste contexto, os produtos gerados por sistemas ativos (radares imageadores) apresentam-se como alternativa para a aquisição de imagens sob condições atmosféricas adversas aos sensores multiespectrais, a exemplo das imagens do SAR aerotransportado do SIPAM – Sistema de Proteção da Amazônia. Neste sensor as imagens são visivelmente mais

ricas em informações geométricas do terreno, a sua resolução nominal é de 6m, mostrando detalhes imperceptíveis nas imagens multiespectrais. A aparente dificuldade de interpretação visual destas imagens é superada através da aplicação de técnicas específicas de realce desses dados, tais como filtragens, segmentadores, classificadores, entre outras.

Dentro desta concepção, o presente trabalho objetiva mostrar o emprego de imagens geradas pelo sistema aerotransportado SAR (*Synthetic Aperture Radar*)/SIPAM como ferramenta auxiliar ao reconhecimento geológico, tendo como área-teste uma região localizada na porção centro-sul do Município de Presidente Figueiredo, mais precisamente na altura do km 133 da margem direita da BR-174 (Manaus – Boa Vista). Esta região corresponde à área de influência do Ramal da Micad, onde se localizam as Comunidades do Castanhal e Nova União II (**Figura 1**). O principal objetivo é demonstrar a potencialidade destas imagens e dessa forma contribuir para a compreensão da evolução geológica da área. Para melhor detalhamento, a área teste foi sub-dividida em três porções menores: sub-áreas I, II e III.

2. Contexto Geológico Regional

O Município de Presidente Figueiredo no Amazonas está localizado na borda da Bacia Amazônica, ao norte da cidade de Manaus e ali são identificados dois grandes domínios geológicos, um do proterozóico e outro do fanerozóico, ambos com características geológicas, litológicas, geomorfológicas, tectônicas e estruturais bem diferenciadas. No âmbito regional, o domínio Proterozóico é representado pelas rochas e litologias predominantemente cristalinas, que representam o embasamento regional, relacionadas as seguintes unidades: *Complexo Metamórfico Anauá*, formado por migmatitos, granitos, charnokitos e alguns metabasitos e anfibolitos, além de gnaisses para e ortoderivados com enclaves granulitos; *Suíte Intrusiva Água Branca*, constituída por monzogranitos, localmente com bandamento ígneo, secundariamente por sienogranitos, granodioritos, monzonitos, dioritos e gabros, onde dados geoquímicos apontam quimismo subalcalino do tipo calci-alcalino, com tendência peraluminosa a metaluminosa; *Suíte Intrusiva São Gabriel*, representante da fase *rift* de um evento tectônico extensional Mesoproterozóico, representada pelo corpo granítico de São Gabriel, composto de biotita granitos, com ocorrência restrita de adamelito e datada em 2078 ± 66 milhões de anos (Araújo Neto & Moreira, 1976); *Suíte Metamórfica Jauaperi* (CPRM, 2002), representada por gnaisses, migmatitos e (meta) granitos, além de diques de anfibolitos e bolsões de charnokitos. Na região de Presidente Figueiredo, esta unidade é datada por Santos et al. (2001) pelo método U-Pb em SHRIMP em idades que oscilam entre 1.867 ± 15 M.a e 1.880 ± 3 M.a.; *Grupo Iricoumé*, constituído por rochas vulcânicas, intermediárias a ácidas, não metamorfizadas e no município essa unidade é representada por dacitos, traquidacitos e andesitos básicos, de textura porfirítica com fenocristais de feldspato e de hornblenda em matriz afanítica que variam de cinza esverdeada a cinza arroxeada, além de ocorrências localizadas de rochas piroclásticas; *Suíte Intrusiva Mapuera*, constituída por granitos leucocrático, de coloração rosada, equigranular médio a grosso e de composição monzogranítica a sienogranítica; *Suíte Intrusiva Abonari*, composta por biotita granitos, hastingsita-granitos, granitos alcalinos, com granulometria média, equigranular ou porfiróide e rapakivi; *Formação Seringa*, constituída predominantemente por diversos tipos de derrames de rochas básicas alcalinas e diques de diabásio com direção N-NE; e *Formação Prosperança*, constituída por arcóseos, subarcóseos, arenitos silicificados e arenitos argilosos, com conglomerados de ocorrência restrita (Santos et al. 1974), além de arenitos arcoseanos médios a grossos, conglomerados e siltitos avermelhados à amarronzados com estratificações cruzadas acanaladas, estratificação sigmoidal, laminação cavalgante, estruturas de sobrecargas

e marcas onduladas, e apresentando uma sucessão retrogradante representativa, principalmente de um sistema deltáico.

Já o domínio Fanerozóico é representado essencialmente por rochas sedimentares constituidoras da Bacia Amazônica e associadas à sub-unidades litoestratigráficas do *Grupo Trombetas*, que segundo Caputo *et al.* (1971) está subdividido, da base para o topo, nas formações: Autáz-Mirim, Nhamundá, Pitinga e Manacapuru, ambas de idade Siluriano-Devoniano, e constituídas por depósitos siliciclásticos. Em Presidente Figueiredo somente as três últimas formações são identificadas, principalmente na porção sul do município, aflorando em uma faixa de direção WSW-ENE, quase sempre com acamamento subhorizontal. A *Formação Nhamundá*, representante da primeira seqüência transgressiva-regressiva da Bacia do Amazonas, é constituída por quartzo-arenitos, folhelhos e diamictitos pelítico-arenoso encontrados em muitas cachoeiras de rios e igarapés, com estruturas glacio-tectônicas e depositadas em ambiente litorâneo e de plataforma marinha sob influência glacial; A *Formação Manacapuru*, é constituída por arenitos, siltitos intercalados, arenitos argilosos e acinzentados com espessura que atinge até 220m. Sua idade é Siluriano Inferior (Caputo *et al.* 1971); A *Formação Alter do Chão*, representada por arenitos e argilitos de coloração vermelha com ambiente de deposicional flúvio-lacustre a fluvial, além arenitos feldspáticos/cauliníticos, quartzo-arenitos e conglomerados com estratificações cruzadas, acanaladas e tabulares, que foram interpretadas como depósitos de canais fluviais de idade Juro-Cretácica.

Recobrando indistintamente as unidades descritas em ambos os domínios têm-se as coberturas detrito-lateríticas pleistocênicas, além de terraços aluvionares holocênicos. Trabalhos recentes na região de Presidente Figueiredo têm descrito extensas coberturas argilosas recobrando as rochas da Formação Prosperança, Nhamundá, Alter do Chão e também as rochas ígneas do embasamento, e são interpretadas como perfis lateríticos maduros e imaturos formados no intervalo Terciário Inferior a Plio-Pleistoceno.

3. Desenvolvimento Metodológico

Todo o trabalho de campo e análises meso e microscópicas das amostras foram baseados nas informações litológicas e estruturais obtidas a partir de produtos SAR/SIPAM. As imagens utilizadas neste trabalho foram adquiridas em 13 de fevereiro de 2005, no modo de operação da banda L+X, com polarização HH, com resolução espacial nominal de 6m (**Figura 2**).

As imagens do SAR/SIPAM, oriundas de pré-processamentos nos laboratórios do SIPAM, apresentam-se georreferenciadas e convertidos à projeção “ground range”, quantificada em 16 bits, e já com aplicação de ampliação linear de contraste. Posteriormente esses produtos foram convertidos a 8 bits, ou seja, uma compressão para 256 níveis de cinza, o que provocou perda relativa de contraste. Como correção radiométrica, aplicou-se o filtro FGAMMA, com janela de abertura de 3x3 *pixels*. A fim de se reduzir a perda de contraste, aplicou-se uma LUT não linear denominado de Método *Driemman*, restabelecendo a qualidade radiométrica do produto.

Sobre o produto digitalmente processado foi feita a análise das formas de drenagem e do relevo segundo o método lógico e sistemático de Soares & Fiori (1976) e de Lima (2001). O *método sistemático* consiste no estudo das propriedades estruturais das feições e/ou objetos contidos nos produtos de sensoriamento remoto e o segundo está fundamentado basicamente no *método das chaves*, que se baseia no estudo comparativo de feições, objetos ou condições observadas nas imagens.

A interpretação geológica a partir dos dados SAR/SIPAM se deu em três etapas: *identificação dos elementos da imagem*, onde se delimitou as feições que determinaram a morfologia superficial do terreno (relevo e drenagem); *análise dos elementos da imagem*,

onde estudou-se a disposição e o ordenamento dos elementos identificados nas imagens a partir da textura, estrutura e forma; e *interpretação dos elementos da imagem*, desenvolvida a partir dos resultados da análise dos elementos texturais (relevo e drenagem), ou da tonalidade (imagem de radar).

4. Contexto Geológico Local

A distribuição dos dois grandes domínios litológicos identificados (um domínio granítico e outro vulcânico) na área de estudo pode ser vista na **Figura 3**. Individualizou-se também a área de ocorrência da marcante cobertura laterítica, muito característica em ambiente amazônico. A descrição da geologia local será feita a partir das três porções (sub-áreas) previamente indicadas.

Na sub-área I, o domínio granítico é caracterizado por afloramentos de blocos métricos, com feições de ‘acebolamento’, localizados em sua grande maioria nas vertentes dos morros e subordinadamente ao longo do leito de drenagens. O domínio é constituído de dois fácies graníticas distintas, sendo um de coloração rosada, representado pelo hornblenda-biotita-granito, com textura granular hipidiomórfica. Em muitos afloramentos apresentam-se com xenólitos centimétricos de rochas vulcânicas. O outro fácies possui coloração cinza, representado por hornblenda-biotita álcali feldspato granito, também granular hipidiomórfico. O contato entre esses dois fácies não pode ser cartografado na escala de trabalho adotada, mas muitas vezes é observado em campo. Já o domínio vulcânico dessa área, compreende três litótipos distintos: riolitos, dacitos e brechas. Estas rochas estão distribuídas em torno do corpo granítico e seus principais afloramentos são encontrados próximos às drenagens no domínio morfoestrutural das planícies, aflorando entre os platôs dissecados graníticos, onde são recobertos por aluviões recentes e por perfis lateríticos na sua porção mais leste. Riolitos e andesitos são geralmente representados por blocos achatados com tamanhos centimétricos e decimétricos, ou sob a forma de lagedos em trechos encachoeirados dos igarapés, com intenso fraturamento, apresentando eventual orientação mineral por fluxo magmático. As brechas vulcânicas encontram-se restritas à porção sudoeste dessa área, e são intensamente fraturadas e hidrotermalizadas, o que é evidenciado em escala microscópica pela abundância de veios e vênulas preenchidas por epidoto. São constituídas de fragmentos líticos, métricos a centimétricos, angulosos a arredondados em meio a uma matriz também vulcânica fina. Tal arredondamento foi possivelmente causado por substituição de arestas por minerais neoformados.

Na sub-área II, as rochas graníticas ocorrem que na sua quase totalidade, na forma de blocos e lagedos que afloram ao longo dos leitos de igarapés que cortam praticamente toda a área. Neste universo, foram descritos dois tipos principais de rocha, sendo um o biotita-hornblenda-granito e outro o álcali-feldspato-granito. O tipo petrográfico biotita-hornblenda granito ocorre em toda a área, até o seu limite sul. Pode-se observar que a rocha possui uniformidade textural e composicional, com leve variação quanto à quantidade de biotita e hornblenda. São inequigranulares com cristais euhedrais a anhedrais, apresentando estrutura maciça, textura fanerítica média a grossa, enquanto que microscopicamente apresentam matriz fanerítica grossa e composta predominantemente de plagioclásio, quartzo, k-feldspato, hornblenda, biotita e opacos. O álcali-feldspato-granito é encontrado unicamente na porção extremo norte dessa área, limítrofe com a sub-área III mapeada. Sua coloração é rosada, a textura é fanerítica, equigranular, apresenta estrutura maciça e macroscopicamente é composta por minerais ferromagnesianos em menor proporção, quartzo, plagioclásio e K-feldspato. No domínio vulcânico, as rochas de natureza riolítica ocorrem predominantemente na porção WSW desta área, apresenta variação na granulação (afanítica a fanerítica fina), são observadas estruturas de fluxo e acamamentos com fraco mergulho (<20°) em geral para NE.

Em outras partes estas rochas mostram forte fraturamento preenchido pela recristalização de quartzo, de forma angular devido o seu quebramento junto aos planos de fratura e afloram em morros na forma de blocos angulares ou semi-arredondados ou em lajedos formando cachoeiras. Por outro lado, os andesitos ocorrem na porção sul e centro sul desta área, intercalados aos riolitos e também se mostram muito faturados com direção NW-SE e mergulho vertical. São rochas acinzentadas, com textura porfírica fina, onde são observadas ripas de plagioclásio imersas numa matriz muito fina e amídalas preenchidas por quartzo e epidoto, o que denota a presença de escape de gases durante a fase de cristalização. Nelas nota-se a presença subordinada de minerais opacos e clorita, bem como hornblenda. Diques de diabásio também foram encontrados na porção sul da sub-área II e estão alojados nas encaixantes riolíticas e andesíticas. Devido à densa cobertura vegetal não é possível observar sua continuidade, porém as medidas realizadas em alguns corpos indicam que a direção preferencial é NE-SW. Ainda na porção sul desta área, é observado uma zona de cisalhamento de direção NW-SE que coincide com a direção do modo de ocorrência dos andesitos e que está paralela à zona de mesma natureza que é observada na BR 174.

Ainda nessa sub-área, na porção extremo nordeste, são observadas rochas sedimentares das formações Prosperança e Nhamundá. A Formação Prosperança é representada por argilitos e siltitos de coloração roxa, acamamento horizontalizado e assentados sobre o álcali feldspato granito, limitada por uma interface conglomerática de quartzo leitoso. Já a Formação Nhamundá, é representada por arenitos de granulação fina, esbranquiçados, friáveis e com estratificação cruzada.

A sub-área III mapeada consiste de variações de rochas graníticas cinzas e rosas, à semelhança das demais sub-áreas, que são localmente intrudidas por diques ácidos e básicos e raras ocorrências de andesitos e rochas silicificadas apresentando aspecto brechado.

De acordo com as observações feitas durante o mapeamento geológico dessa área e com a análise petrográfica (macro e microscópicas) das amostras coletadas foi possível classificar as rochas encontradas como: sienitos, hornblenda-biotita-granito, diques básicos e ácidos, rochas silicificadas e andesitos. Onde os sienitos são rochas de cor vermelha, textura inequigranular porfírica grossa, ressaltada pelos fenocristais de feldspato, plagioclásio e quartzo centimétricos e a matriz é composta por cristais menores desses minerais, apatita, mica, epidoto, clorita, biotita e minerais opacos. As hornblenda-biotita-granito cinza geralmente exibem enclaves máficos microgranulares compostos por hornblendas e biotitas e venulações de epidoto. Estes mesmos granitos são, em alguns locais, cortados por diques aplíticos de cor vermelha e textura afanítica. Os hornblenda-biotita-granito rosa exibem cristais de quartzo azul anhedrais e aspecto áspero devido à alteração dos feldspatos. Enclaves máficos arredondados a subarredondados variando de 2 a 3,4cm são muito comuns nos granitos de cor cinza e raros nos de cor rosa. Enquanto que xenólitos máficos centimétricos ocorrem principalmente nos hornblenda-biotita-granito rosa. Estes xenólitos são evidências do confinamento na margem externa de plutons de fragmentos de rochas vulcânicas e andesitos preservados durante os estágios de assimilação pelo magma granítico. Veios de quartzo que preenchem fraturas nos biotita granitos rosa também são muito comuns. Alguns chegam a apresentar espessuras superiores à 35cm e podem estar associados a zonas de falha.

Em muitos locais ocorre a associação de hornblenda-biotita-granito de cor cinza e rosa com variações de granulação e textura, estas variações geralmente são gradacionais e são facilmente visualizadas nos afloramentos e podem ser o resultado de variações magmáticas.

6. Conclusões

A integração da fotointerpretação das imagens de radar do SAR/SIPAM, das atividades de campo e das análises micro e mesoscópicas realizadas permitiram a individualização de duas

unidades litológicas distintas na área selecionada para este estudo. A primeira delas mostra características de terreno predominantemente granítico, representado por hornblenda-biotita granito e hornblenda-biotita álcali feldspato granito; a outra de natureza vulcânica, representada por rochas de composição riolítica até andesíticas, além de diques básicos e ácidos. É possível, ainda a individualização das áreas cobertas por extensas capas lateríticas.

Na fase de interpretação da imagem SAR/SIPAM observa-se que a discriminação e extração dos alvos (estradas, desmatamentos, etc.) são extremamente facilitadas graças a resolução espacial do produto utilizado. Já as drenagens maiores foram razoavelmente discriminadas por suas características de sinuosidade e reflexão especular, o mesmo não observado nas drenagens secundárias e terciárias. Tais drenagens secundárias e terciárias mostram aspecto interrompido, ligações complexas, trechos irregulares, ou seja, feições características para a região amazônica.

A utilização da filtragem adaptativa FGAMMA, como em outros processamentos de imagens de radar, demonstrou-se eficaz para a ampliação nos contrastes texturais, o que proporcionou, nas áreas de relevo arrasado, uma maior discriminação de unidades fotolitológicas, e a fácil individualização de unidade Fanerozóica correspondente aos sedimentos da Formação Nhamundá, até então não individualizadas na região.

O uso das imagens SAR/SIPAM demonstrou claramente seu potencial nos estudos geológicos na Amazônia, seja para delimitação de arranjos geomorfológicos, seja para a identificação de estruturas geológicas (falhas, fraturas, juntas, etc) de pequeno e médio porte.

Esse potencial pode se ampliado se considerar outros produtos gerados pelo mesmo sensor com diferentes comprimentos de onda, diferentes polarizações, diferentes resoluções e diferentes ângulos de visada.

7. Referências Bibliográficas

- Araújo Neto, H., Moreira, H.L. 1976. Projeto Estanho de Abonari. MME/DNPM/CPRM. Brasília, Vol. 1, 232p
- Caputo, M. V.; Rodrigues, R.; Vasconcelos, D.N.N. 1971. Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. Petrobrás, (relatório interno 641-A).
- CPRM. 2002. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas – SIG e Mapas na escala 1:2.500.000. Brasília.Santos, J.O.S., Moreira, A.S.,
- Lima, M. I. C. 2002. Análise de drenagem e seus significados geológico-geomorfológico. Belém – PA. p.207Pessoa, M.R., Oliveira, J.R., Malouf, R.F., Veiga JR., J.P., Nascimento, J.O. 1974. Projeto Norte da Amazônia, domínio baixo Rio Negro. Relatório Final Integrado, DNPM/CPRM. Vol. 4.
- Santos J.O.S., Faria M.S.G, Hartmann L. A., Mcnaughton N.J., Fletcher, I.R. 2001a. *Oldest charnockite magmatism in the Amazon craton: zircon U–Pb SHRIMP geochronology of the Jaburu Charnockite. Southern Roraima, Brazil.* In: SBG/NO, Simpósio de Geologia da Amazônia, 7, Belém. Workshop II, 4p.
- Soares, P.C & Fiori, A.P.1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas e geologia. São Paulo.

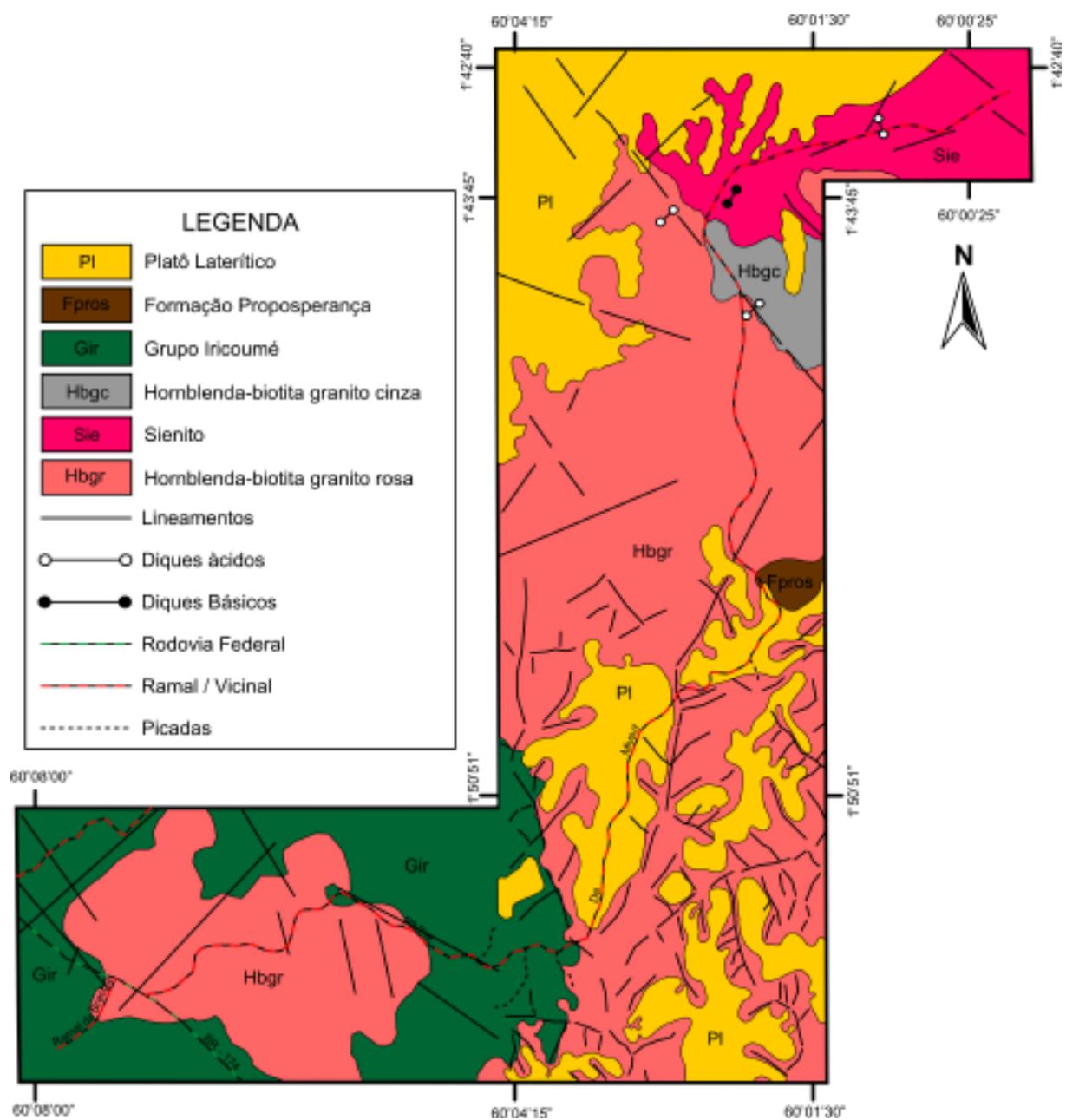


Figura 3. Mapa geológico da área de estudo.