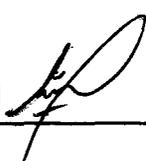


1. Publicação nº <i>INPE-2995-PRE/447</i>	2. Versão	3. Data <i>Jan., 1984</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>PEMINE/RECFMI</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>IMAGENS LANDSAT PESQUISA MINERAL PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:553.521(811.1)</i>			
8. Título <i>UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS LANDSAT NO ESTUDO DE CORPOS GRANITÓIDES EM RONDÔNIA: CASO-EXEMPLO DO MACIÇO PEDRA-BRANCA</i>		10. Páginas: <i>10</i>	
		11. Última página: <i>8</i>	
9. Autoria <i>Raimundo Almeida Filho Bruno L. Payolla * Onofre G. de Pinho * Jorge S. Bettencourt *</i>		12. Revisada por <i>Ícaro Vitorello</i>	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>Imagens multiespectrais MSS-LANDSAT realçadas através de computadores e ampliadas para a escala de vídeo de 1:100.000, mostraram, na área do maciço granítico Pedra Branca, em Rondônia, feições geológicas não observadas em fotografias aéreas ou imagens de Radar. Levantamentos de campo mostraram que as feições fotogeológicas delineadas a partir das imagens orbitais correspondiam a variações entre tipos litológicos que compõem o maciço granítico. Os resultados obtidos indicam que, mesmo sob as condições da Amazônia (floresta tropical, profundo intemperismo e coberturas sedimentares quaternárias) a utilização adequada de imagens digitais de sensoriamento remoto orbital, se convenientemente utilizadas, podem ser ferramentas importantes de orientação aos trabalhos de campo, resultando em economias razoáveis de tempo e de recursos em campanhas de prospecção mineral na região.</i>			
15. Observações * Grupo de Pesquisa da Mineração Oriente Novo S/A - Grupo Brumadinho. <i>Trabalho a ser apresentado no II Simpósio Amazônico, Manaus, 08 a 15 de abril de 1984.</i>			

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS LANDSAT NO ESTUDO DE CORPOS GRANITÓIDES EM

RONDÔNIA: CASO-EXEMPLO DO MACIÇO PEDRA BRANCA

RAIMUNDO ALMEIDA FILHO *

BRUNO L. PAYOLLA **

ONOFRE G. DE PINHO **

JORGE S. BETTENCOURT **

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
C.P. 515 - 12200 - São José dos Campos - SP

** Grupo de Pesquisa da Mineração Oriente Novo S/A
Grupo Brumadinho
Rua Eugênio de Medeiros, 242
05425 - São Paulo - SP

ABSTRACT Analysis of digital-multispectral MSS-LANDSAT images enhanced through computer techniques and enlarged the video scale of 1:100.000, showed the main geological and structural features of the Pedra Branca granitic massif in Rondônia. These are not observed in aerial photographs or Radar images. Field work showed that LANDSAT photogeological units correspond to different facies of granitic rocks in the Pedra Branca massif. The results obtained in this study show that, even under the particular characteristics of Amazônia (Tropical Forest, deep weathering, and Quaternary sedimentary covers), an adequate utilization of orbital remote sensing images can be important tools for the orientation of field works, yielding reasonable saving in time and resources during mineral prospecting campaigns in the region.

INTRODUÇÃO A floresta tropical é o fator natural mais limitante ao desenvolvimento normal dos trabalhos geológicos na Amazônia. Sob essas condições, a utilização de fotografias aéreas é fortemente prejudicada, uma vez que a cobertura vegetal geralmente mascara o registro das feições superficiais do terreno, inibindo, assim, os recursos da fotointerpretação clássica. A ausência de um mapa fotogeológico preliminar no início dos trabalhos leva, conseqüentemente, a um maior prolongamento da etapa de campo. A baixa qualidade das fotografias aéreas, aliada à ausência de mapas plano-altimétricos, dificulta ainda a amarração, extrapolação e integração das escassas informações geológicas pontuais obtidas em campo. Diante deste quadro torna-se imperativo a busca de novos métodos indiretos que visem orientar e otimizar os trabalhos de campo nessa Região.

O presente trabalho tem como objetivo a análise da potencialidade das imagens digitais MSS-LANDSAT, realçadas através de técnicas de computação, como ferramenta de auxílio a campanhas de prospecção mineral na Amazônia, exemplificada no estudo do maciço granítico Pedra Branca, pertencente à Província Estanífera de Rondônia.

Apesar de terem sido analisados através de imagens de satélite vários maciços granitoides da região, escolheu-se como área teste o Maciço Pedra Branca (Bom Futuro), pelo fato de os trabalhos de campo, a nível de semidetalhe (escala de 1:25.000), terem sido concluídos, permitindo, assim, que os dados extraídos das imagens pudessem ser avaliados quanto ao seu real significado geológico. A área teste localiza-se no município de Porto Velho, de onde dista cerca de 170 km. A partir dessa cidade o acesso à área é feito inicialmente pela rodovia BR-364 até à altura do quilômetro 134, tomando-se aí uma variante secundária à esquerda, com cerca de 35 km.

A análise e interpretação da imagem LANDSAT realçada por computador cobrindo o maciço Pedra Branca, foi realizada antes do início dos trabalhos de campo e, portanto, sem conhecimento prévio de qualquer informação geológica sobre o maciço, evitando-se, com isto, qualquer julgamento tendencioso no processo de análise e interpretação. Foram analisadas imagens LANDSAT da estação seca, correspondentes à órbita 346, ponto 19, obtidas em 21 de junho de 1976, com ângulo de elevação solar de 32° e azimute de 53°. Essas imagens foram realçadas através do algoritmo "Linear Contrast

Stretch", no Analisador Multiespectral I-100 (General Electric, 1975).

Foram responsáveis pelos levantamentos dos dados prévios de campo que serviram de parâmetro à análise das imagens LANDSAT os geólogos Bruno L. Payolla, Onofre G. de Pinho, Heins Trein e Jorge Bettencourt. Dada a inacessibilidade à área, devido à floresta tropical, foram abertas picadas mestres norte-sul espaçadas de 2 km e picadas secundárias este-oeste, espaçadas de 300 e/ou 500 metros. Elas permitiram que fossem executados mais de 800 km de perfis geológicos sobre o maciço Pedra Branca.

O maciço Pedra Branca está encaixado em rochas de alto grau de metamorfismo do Complexo Jamari (Isotta et alii, 1978) representadas em sua maioria por migmatitos transpostos e por gnaisses de composições granítica e tonalítica, além de ocorrências menores de anfibolitos e metabasitos. Mais de 90% da área é coberta por depósitos aluviais, coluviais e eluviais holocênicos, além de depósitos sedimentares ligados ao sistema fluvial pleistocênico. Essas coberturas quaternárias e a floresta tropical impedem quase sempre a observação dos contatos do maciço com as encaixantes regionais. No campo é comum passar do domínio das rochas encaixantes para o interior do maciço granítico, sem que seja observada qualquer feição indicativa desta passagem. Conforme discussão apresentada por Payolla et alii (1983) as rochas graníticas que compõem o maciço enquadram-se em três fácies principais, definidas por suas características texturais e petrográficas predominantes, a saber: Granitos Heterogranulares a Porfiríticos Médios, Granitos Equigranulares e Granitos Porfiríticos de Matriz Fina. A distribuição dessas tipologias na área do maciço Pedra Branca é mostrada na Figura 1.

ANÁLISE DA IMAGEM LANDSAT E INTEGRAÇÃO COM OS DADOS DE CAMPO A Figura 2 é o mapa fotogeológico do maciço Pedra Branca obtido a partir da interpretação da imagem do canal 7 do LANDSAT na escala de ampliação de 1:100.000, sem o conhecimento prévio de qualquer informação de campo. Nele foram reconhecidos dois elementos fotogeológicos maiores, a saber: a) Unidades Fotogeológicas e b) Lineamentos e Lineações.

Como Unidade Fotogeológica entende-se aqui uma área onde os elementos de textura fotográfica repetem-se com certa homogeneidade, definindo "Zonas Homôlogas de Textura e Estrutura" (Rivereau, 1970). O termo "Lineamento" é aqui empregado de acordo com a proposição de O'Leary et alii (1976), significando uma feição fotogeológica, retilínea ou levemente curvilínea, simples ou composta, a qual difere das feições adjacentes e presumivelmente reflete um fenômeno de subsuperfície. O termo "Lineação" deve também ser aqui entendido no sentido proposto por aqueles autores para designar um alinhamento estrutural, definido por uma linha ou um arranjo delas, representando possivelmente uma característica intrínseca da rocha, a qual não pode ser representada como uma feição individual sobre um mapa geológico. Os significados geológicos dessas feições fotointerpretadas a partir da imagem são discutidas a seguir em função dos dados levantados em campo.

A delimitação fotogeológica do maciço Pedra Branca em relação às rochas encaixantes regionais pode ser feita com relativa facilidade a partir da imagem do canal 7 realçada com "Contrast Stretch". O domínio das rochas graníticas que formam o maciço é caracterizado por textura fotográfica mais grosseira que aquela observada na área das rochas metamórficas encaixantes, fruto de um processo de dissecação mais avançado atuante sobre as rochas graníticas. À exceção da borda este-nordeste, onde os limites do maciço com as encaixantes não são bem definidos, os demais contatos são fotogeologicamente bem estabelecidos. Eles podem ser feitos de duas maneiras: através de limites fotogeológicos ou por traços de falhas. Ambos os tipos separam zonas da imagem com propriedades texturais e estruturais distintas; no segundo caso eles são fortemente estruturados e, assim, devem corresponder a traços de falhas, como será discutido mais adiante.

Além de individualizar o maciço Pedra Branca em relação às encaixantes, a interpretação da imagem permitiu diferenciar duas unidades fotogeológicas dentro do domínio das rochas graníticas, as quais são indicadas na Figura 2 como unidades UGa e UGb.

A Unidade Fotogeológica UGa, a qual forma o corpo principal do maciço e o caracteriza em relação às encaixantes, reúne as áreas de ocorrência dos tipos Heterogranular/Porfirítico Médio e Equigranular. A imagem não mostra indicações que permitam a diferenciação fotogeológica entre essas duas fácies. Também no campo nem sempre essa diferenciação é fácil, sendo relativamente comum a ocorrência local de tipos porfiríticos associados às fácies de Granitos Equigranulares.

A segunda Unidade Fotogeológica reconhecida no interior do maciço Pedra Branca (UGb) é caracterizada por apresentar grau de dissecação mais avançado que aquele da Unidade UGa, ocupando cotas topográficas ligeiramente mais rebaixadas. A unidade UGb predomina na porção centro-leste do maciço, onde forma um corpo grosseiramente circular, com diâmetro em torno de 5 km. Ela ocorre também na borda sudoeste do maciço onde forma um corpo igualmente circular, embora de menor diâmetro que o anterior. Os dados de campo mostram que esta unidade fotogeológica corresponde às áreas de ocorrências da fácies Granitos Porfiríticos Finos. A topografia mais rebaixada associada às áreas de ocorrências dessa litologia mostra efeitos da atuação de processos intempéricos e erosivos diferenciados sobre os tipos Porfiríticos Finos, em relação aos tipos Heterogranular e Equigranular.

Outra feição marcante observada na imagem LANDSAT é a presença de extensos lineamentos fotogeológicos cortando ou delimitando o maciço Pedra Branca. Eles foram interpretados como representativos de possíveis traços de falhas e/ou fraturas do substrato rochoso, manifestando-se nas imagens de sensoriamento remoto através da cobertura vegetal. Embora apresentem extensões geralmente superiores a 10 km, esses lineamentos nem sempre aparecem de maneira contínua na imagem. Em geral são constituídos por segmentos tonais alinhados que juntos compõem uma feição maior. Nota-se uma predominância mais acentuada deles na área do maciço, embora muitos desses lineamentos cortem tanto o maciço quanto as rochas encaixantes. Não se têm informações de campo que permitam caracterizar a natureza geológica da maioria dos grandes lineamentos assinalados nas imagens de satélite. Para alguns deles os dados de campo confirmam tratar-se de falhamentos, para outros esses dados não são conclusivos. No entanto, dada a forte expressão fotogeológica desses lineamentos e sua distribuição cortando ou limitando o maciço granítico, eles muito provavelmente devem corresponder a traços de falhas, nem sempre constatados a nível de observação de campo, devido ao profundo intemperismo, às coberturas sedimentares e à vegetação. Dentre eles merece destaque o padrão orientado segundo N60 - 70E, cujo principal representante é o falhamento que controla os cursos dos igarapês Bom Futuro e Catuqui do Norte, associado ao qual ocorrem frequentes veios de quartzo e corpos de greisens. Quanto aos lineamentos fotogeológicos orientados segundo N50 - 60W, foi constatado em campo um padrão de juntas e de microfalhas subordinadas àquelas orientação.

Os limites fotogeológicos nas bordas sudoeste e sudeste do maciço são marcados por extensos lineamentos que devem corresponder a falhamentos que serviram à colocação do corpo granítico.

Sob a denominação de lineação enquadram-se aqui as feições lineares de menor extensão que ocorrem formando padrões cerrados em áreas mais restritas. Elas desenvolvem-se tanto no domínio das rochas graníticas quanto das encaixantes, subordinadas a dois grandes lineamentos orientados segundo N5 - 10W. Essas feições foram interpretadas como traços de foliação cataclástica ligada a zonas de cisalhamentos ao longo dos grandes falhamentos de orientação próxima a norte-sul que cortam indistintamente o maciço e as rochas encaixantes.

Sob a denominação de "Feições Anelares" enquadram-se certas feições que possuem as mesmas características fotogeológicas dos lineamentos anteriormente discutidos, distinguindo-se destes por apresentarem padrão semi-anelar. Elas ocorrem tanto no domínio das rochas graníticas quanto das encaixantes. Não há informações de campo que permitam assegurar a natureza geológica dessas feições, embora na borda norte do maciço uma delas tenha sido interpretada como representativa de um dique semi-anelar de Granito Porfirítico Fino, separando tipos Heterogranulares de tipos Equigranulares.

MAPA GEOLÓGICO DO MACIÇO A PARTIR DA INTEGRAÇÃO FINAL DOS DADOS A integração final dos dados levantados em campo com as informações extraídas da imagem LANDSAT permitiu a elaboração do mapa geológico do Maciço Pedra Branca, mostrado na Figura 3.

Como indicado a partir da interpretação da imagem LANDSAT, e confirmado pelos dados de campo, o maciço possui forma grosseiramente circular, com diâmetro médio em torno de 13 km. Os contatos do maciço com as rochas encaixantes regionais, como indicados na Figura 2, foram traçados a partir de evidências fornecidas pelas imagens, ou inferidas a partir de dados de campo. A presença de lineamentos fotogeológicos fortemente estruturados nas bordas sudoeste, sudeste e nordeste do maciço, levou à interpretação de contatos por falhas com as encaixantes nesses locais. Os demais contatos com as encaixantes são considerados normais, tendo sido traçados também a partir de inferências fotogeológicas.

Os endo-contatos entre os tipos faciológicos observados no interior do maciço Pedra Branca foram também traçados a partir de evidências fotogeológicas, ou interpolados a partir de dados de campo. Assim, os contatos entre os tipos Equigranulares e Heterogranulares, os quais não mostram evidências nas imagens, foram inferidos a partir de afloramentos catalogados em campo. Trecho desse contato, no entanto, coincide em parte com um extenso lineamento observado através da imagem de sensorialmente remoto, e por isso, foi inferido como feito por falha.

A distribuição das áreas maiores ocupadas pelo tipo Porfirítico Finos no interior do maciço Pedra Branca foi definida a partir da imagem LANDSAT, tendo como parâmetros de diferenciação suas características fotogeológicas. Essa fácies predomina na parte centro-leste do maciço, onde forma um corpo grosseiramente circular, com diâmetro médio em torno de 5 km, e na sua extremidade sudoeste, também definindo um corpo circular, com diâmetro de 2 km. Além dessas duas áreas principais, os tipos Porfiríticos Finos ocorrem ainda em áreas mais restritas nas bordas do maciço, possivelmente formando diques. Nesses locais eles não possuem expressão fotogeológica na imagem e, assim, seus contatos foram inferidos a partir de dados de campo. Na extremidade norte do maciço foi inferido um dique semi-anelar de Granítico Porfirítico Fino, a partir de dois afloramentos que ocorrem ao longo de uma feição fotogeológica também de formato semi-anelar, classificada no mapa da Figura 2 na categoria de "Feições Anelares". Esta estrutura separa as áreas de ocorrências de tipos Heterogranulares e Equigranulares.

Ao nível de conhecimento atual os dados não permitem ainda estabelecer o papel de cada uma das fácies graníticas e das estruturas mapeadas no que diz respeito à importância delas, no controle da mineralização primária no maciço de Pedra Branca. Isto talvez só possa ser atingido através do estudo de um maior número de maciços geoquimicamente especializados dentro da Província Estanífera de Rondônia.

CONCLUSÕES Os dados de campo e as análises petrográficas mostraram que as zonas homólogas de textura observadas através das imagens do canal 7 do LANDSAT correspondiam a variações faciológicas no interior do maciço granítico Pedra Branca. Esta constatação indica que, mesmo sob todas as limitações impostas pela floresta tropical, pelo profundo manto de intemperismo e pelas coberturas sedimentares quaternárias, é possível obter informações acerca da litologia e da estruturação interna desses maciços através das imagens de sensoriamento remoto convenientemente realçadas através de técnicas de computação. No caso do maciço analisado, muitos dos contatos litológicos entre as fácies mapeadas não poderiam ter sido traçados sem a utilização da imagem, uma vez que o pequeno número de afloramentos e a baixa eficácia das fotografias aéreas dificultam a integração e extrapolação das informações pontuais levantadas em campo. A visão integrada de extensa área, propiciada pelas imagens orbitais, favorece ainda a observação de grande número de falhamentos que cortam o maciço, os quais podem representar importantes metalotectos da mineralização primária na região.

A abordagem executada no maciço Pedra Branca pode ser aplicada ao estudo de outras áreas semelhantes em Rondônia e em outras partes da Amazônia. À medida que, se com o avanço dos conhecimentos através do estudo de um maior número de maciços geoquimicamente especializados a Sn, for possível estabelecer relações entre mineralizações, fácies petrográficas e estruturação interna desses maciços granitoides,

a diferenciação de litotipos nesses corpos através de imagens poderá ser de grande utilidade prática para objetivos mineiros. O selecionamento prévio de áreas-alvos potenciais, onde os trabalhos de campo devem se concentrar, resultará em economias razoáveis de tempo e recursos em campanhas de prospecção mineral na região. Esta perspectiva torna-se mais factível à medida que estarão disponíveis, ainda este ano, imagens com melhores resoluções e em bandas espectrais mais apropriadas, obtidas pelo novo sistema sensor ("Thematic Mapper") do LANDSAT-5.

AGRADECIMENTOS Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e às Empresas Brumadinho que criaram os meios à realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GENERAL ELECTRIC - Image-100 user manual. Daytona Beach, Fl., 1975, 119p.

ISOTTA, C.A.L.; CARNEIRO, J.M.; KATO, H.T.; BARRROS, R.J.L. Projeto Província Estanhifera de Rondônia; relatório final. Convênio Departamento Nacional da Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Porto Velho, CPRM, 1978.

O'LEARY, D.W.; PRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A., Lineament, linear, lineation; some proposed new standards for old terms. Geological Society of America Bulletin, 87 (10):1463-1469, 1976.

PAYOLLA, B.L.; PINHO, O.G.; TREIN, H.A. Relatório Parcial do maciço Pedra Branca, São Paulo, Mineração Oriente Novo, 1983, 44p., inédito.

RIVEREAU, J.C. Curso de fotointerpretação. Brasília, D.F., Universidade de Brasília, 1970, 139 p (Série Didática, 4).

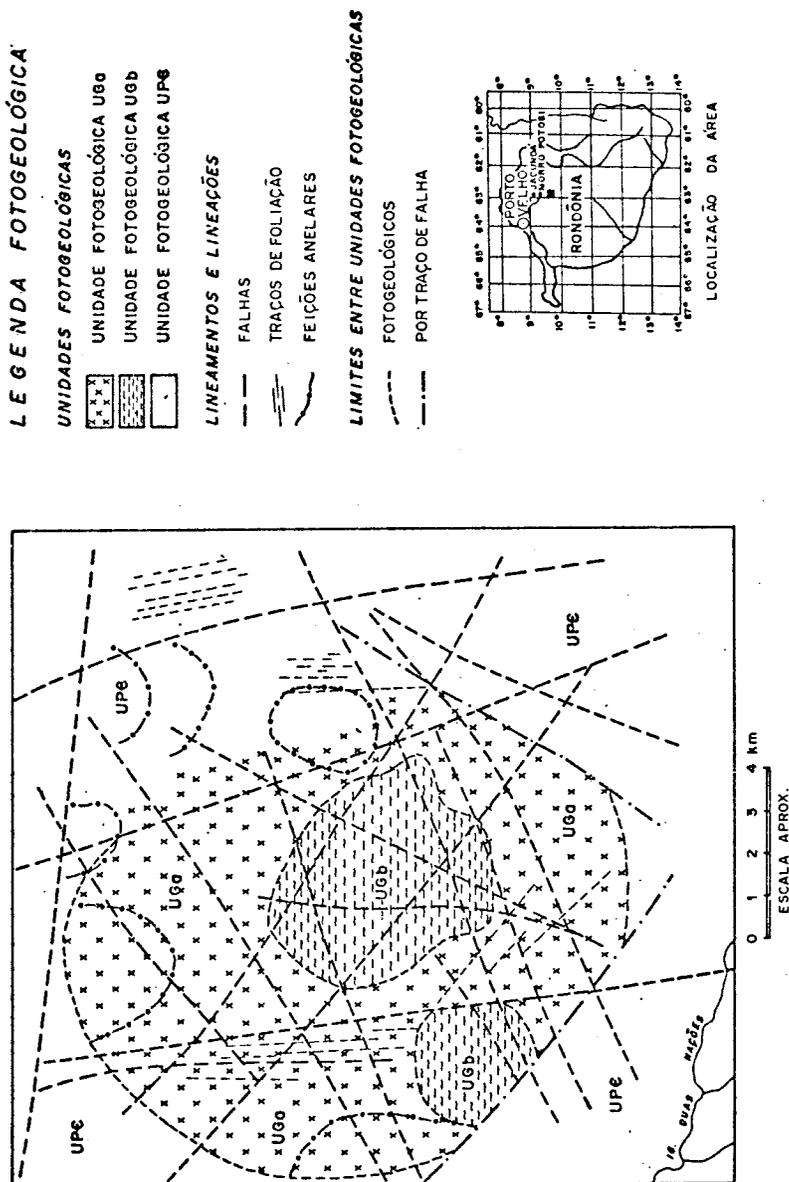


Fig. 2 - Mapa fotogeológico do Maciço Pedra Branca obtido através de imagem LANDSAT

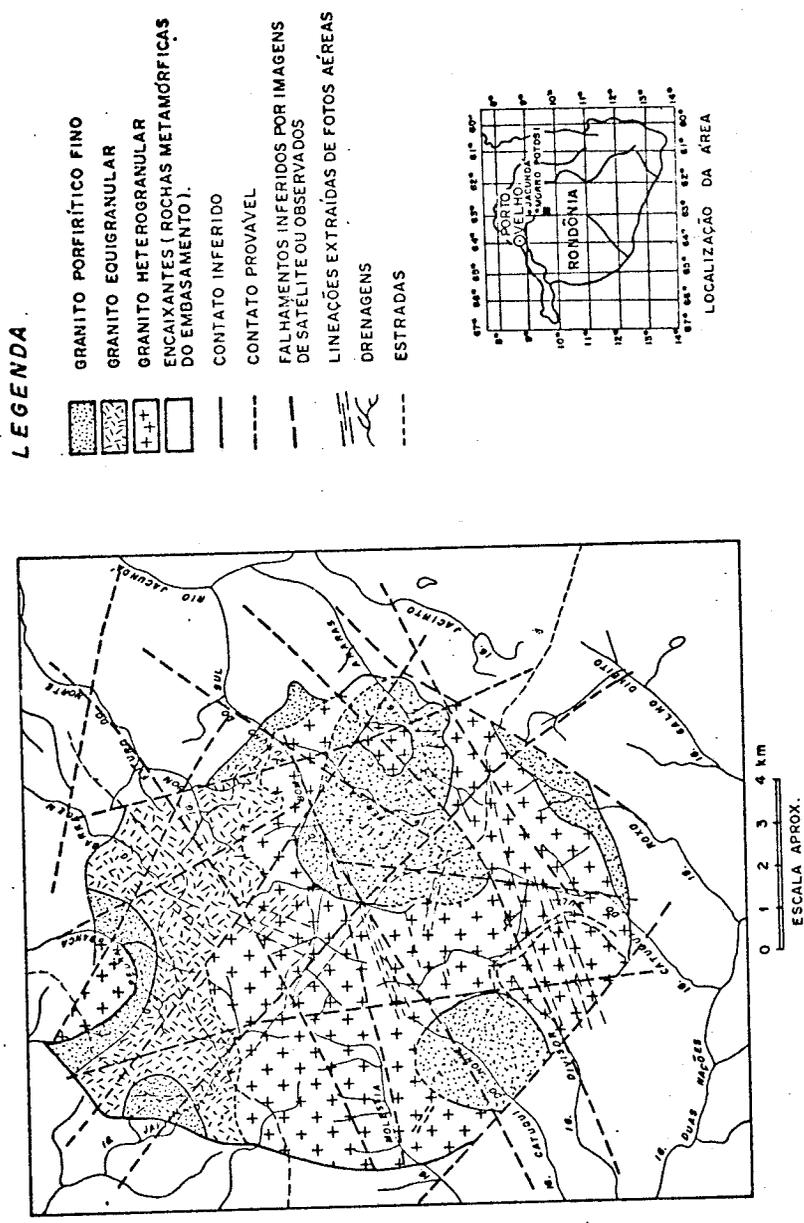


Fig. 3 - Mapa geológico simplificado do Maciço Pedra Branca obtido através da integração de dados de campo e da imagem LANDSAT