

*Wanda*

Marcondes Lima da Costa  
Prof. do Dept. de Geoquímica e Petrologia  
Centro de Geociências - UFPA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

CENTRO DE GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

CURSO DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

"ESTUDOS GEOQUÍMICOS E PETROLÓGICOS DA REGIÃO DE OCORRÊNCIAS  
DE FOSFATOS DE SANTA LUZIA - RIO PERITORÓ, ESTADO DO PARÁ"

por

RÔMULO SIMÕES ANGÉLICA

Bolsista de Iniciação Científica do CNPq

(Processo nº 134609/85-9)

orientador

MARCONDES LIMA DA COSTA

1988

Belém-Pará

## SUMÁRIO

	Pag.
SUMÁRIO	i
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	iii
RESUMO	v
I INTRODUÇÃO	01
1.1 <u>Apresentação</u>	01
1.2 <u>Localização e Acesso</u>	03
1.3 <u>Metodologia</u>	03
1.3.1 Pré-Campo	03
1.3.2 Campo	03
1.3.3 Laboratório	04
1.4 <u>Trabalhos Anteriores</u>	05
II GEOLOGIA DA ÁREA	07
2.1 <u>Grupo Gurupi</u>	07
2.1.1 Quartzitos Milonitos	07
2.1.2 Filonitos Carbonosos	08
2.1.3 Sericita Filonitos	08
2.1.4 Filonitos Bandados	08
2.1.5 Discussão	09
2.2 <u>Granito cantão</u>	09
2.3 <u>Formação Piriá</u>	10
2.4 <u>Coberturas Sedimentares</u>	10
III ASPECTOS GEOQUÍMICOS DO GRUPO GURUPI E DOS FOSFATOS ASSOCIADOS	11
3.1 <u>Aspectos Gerais</u>	11
3.2 <u>Quartzitos Milonitos</u>	11
3.3 <u>Sericita Filonitos</u>	13
3.4 <u>Filonitos Carbonosos</u>	13
3.5 <u>Filonitos Bandados</u>	14
3.6 <u>Arenitos da Formação Piriá</u>	16

IV	ASPECTOS GEOQUÍMICOS E PETROLÓGICOS DO GRANITO CANTÃO	17
4.1	<u>Aspectos gerais</u>	17
4.2	<u>Elementos Maiores</u>	17
4.3	<u>Elementos Traços</u>	20
4.4	<u>Elementos Terras Raras</u>	22
V	QUADRO EVOLUTIVO	28
VI	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	30
VII	AGRADECIMENTOS	31
VIII	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXO I	- Mapa de Pontos	
Anexo II	- Procedimentos Analíticos detalhados realizados no Laboratório de Análises Químicas da UFPA.	
	I) ABERTURA	I
	II) SÍLICA	II
	III) ALUMÍNIO	III
	IV) FERRO II	IV
	V) FÓSFORO	V
	VI) FERRO TOTAL	VII
	VII) TITÂNIO	VIII
	VIII) MAGNÉSIO	X
	IX) CÁLCIO	XII
	X) POTÁSSIO	XIII
	XI) SÓDIO	XIII

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

TABELAS		Pag.
01	Quadro comparativo entre as principais nomenclaturas para os litotipos da área de Santa Luzia.	09
02	Composição química parcial dos quartizitos milonitos.	12
03	Composição química parcial dos sericita filonitos.	12
04	Compilação dos dados de Costa (1985).	12
05	Composição química parcial dos filonitos carbonosos.	15
06	Composição química parcial dos filonitos bandados.	15
07	Composição química parcial dos Arenitos Piriá.	15
08	Análises químicas dos elementos maiores (%) e menores (ppm) do Granito Cantão e xenólito.	18
09	Norma CIPW do Granito Cantão e xenólito.	18
10	Quadro comparativo dos elementos traços do Granito Cantão com as médias dos elementos traços para granitos de diversos autores.	21
11	Quadro comparativo dos elementos traços do xenólito com as médias dos elementos traços para rochas sedimentares de diversos autores.	21
12	Análises dos elementos terras raras para o Granito Cantão e para o xenólito.	23
13	Quadro comparativo dos elementos terras raras do Granito Cantão e do xenólito, com as médias dos elementos terras raras de rochas de diversos autores.	23
14	Principais subdivisões das rochas sieno e monzograníticas com base no conteúdo de elementos terras raras, segundo Cullers & Graf (1984).	26

## FIGURAS

Pag.

01	Mapa de localização da área	02
02	Distribuição geográfica dos depósitos de fosfatos do NE do Pará e NW do Maranhão.	06
03	Diagrama de variação do índice de alcalinidade para o Granito Cantão e o xenólito.	19
04	Diagrama AFM para o Granito Cantão e o xenólito	19
05	Triângulo QAP mostrando os domínios ocupados pelas séries graníticas de Lameyre & Bowden, 1982, (in Biondi, 1986).	19
06	Diagrama de variação $K_2O - Na_2O - CaO$ , para o Granito Cantão e o xenólito.	19
07	Padrões de distribuição de elementos terras raras para o Granito Cantão e o xenólito.	24

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a caracterização geoquímica e petrológica da área entre a vila de Santa Luzia e o rio Peritoró, na região Bragantina, com atenção para as ocorrências de fosfatos e para o Granito Cantão, aflorante a SE da área.

Foram feitas análises químicas parciais para  $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$  (total),  $TiO_2$ , por espectrocolorimetria e  $Al_2O_3$ , por volumetria, para todas as amostras. Para o Granito Cantão foi feita análise total, utilizando-se os métodos da absorção atômica (elementos maiores) e fluorescência de raios-x (elementos traços), além da análise dos elementos terras raras (por espectrometria de plasma - ICP), nos laboratórios da Geosol-geolab.

As amostras analisadas provêm das unidades geológicas aflorantes na área, a saber: Grupo Gurupi, compreendendo filonitos carbonosos, quartzitos milonitos, sericita filonitos e filonitos bandados; Granito Cantão; Formação Piriá e Depósitos Coluvionares, evidenciando retrabalhamento "in situ" das unidades subjacentes.

Em relação aos fosfatos, estes estão restritos as rochas do Grupo Gurupi, com excessão dos filonitos bandados, sendo mais abundantes nos filonitos carbonosos. Ocorrem principalmente associados a brechas e zonas de falhas e veios de quartzo. Os principais fosfatos em ordem decrescente de abundância são: a vavelita, a crandalita e a variscita. Os teores de  $P_2O_5$  detectados variam de 0,9 a 16,1%.

Os elevados teores de  $Fe_2O_3$  nas amostras estudadas, caracterizam o adiantado estado de intemperismo dessas rochas, enquanto que os teores elevados de  $Al_2O_3$ , associados aos baixos teores de  $Fe_2O_3$  (em amostras não intemperizadas), confirmam a natureza pelítica dos metamorfitos do Grupo Gurupi.

O Granito Cantão é uma rocha de natureza calco-alcalina, com afinidade sódica, enquanto o xenólito apresenta uma afinidade mais cálcica. As análises realizadas nesta última rocha, e a sua comparação com folhelhos normais, sugerem uma correlação com os filonitos bandados do Grupo Gurupi, nos quais o Granito Cantão teria intrudido.

### 1.1 Apresentação

O presente relatório é fruto de plano de trabalho apresentado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), durante os anos de 1986 e 1987, para a aquisição de bolsa de estudos na categoria de Iniciação Científica. Foi utilizado como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia, pela Universidade Federal do Pará.

O mesmo foi realizado na região do Gurupi, nordeste do Estado do Pará, às proximidades da vila de Santa Luzia (antigo Km 47), pertencente ao município de Ourém, conforme ilustra a figura 1.

Durante o ano de 1986, foi feito o mapeamento geológico em escala 1:100.000, com a individualização das principais unidades geológicas e realização de algumas análises químicas. Os resultados dos trabalhos, neste ano, estão resumidos no primeiro relatório apresentado ao CNPq (Angélica e Borges, 1987). Durante todas as fases da pesquisa, houve a participação do colega Maurício da Silva Borges, também estudante de geologia.

A partir do ano de 1987, com vistas ao TCC, optou-se por dar continuidade ao trabalho na mesma área, individualizando-o em dois tópicos: estudos petrográficos e estruturais, desenvolvidos pelo colega Maurício, e estudos geoquímicos e petrológicos, a encargo do autor do presente relatório.

Este trabalho contou com o apoio financeiro do Projeto "Fosfatos na Amazônia", com financiamento do PADCT/FINEP, sob coordenação do Professor Marcondes Lima da Costa, contando com o apoio e orientação científica do mesmo.

Como principais objetivos deste trabalho, podem ser citados:

- A caracterização geoquímica e petrológica da área citada, com atenção para os fosfatos e para o Granito Cantão, aflorante a sudeste da mesma;

- O treinamento técnico-científico e complementação da formação acadêmica do autor, estudante de geologia, principalmente no que diz respeito as metodologias e técnicas de análises químicas.

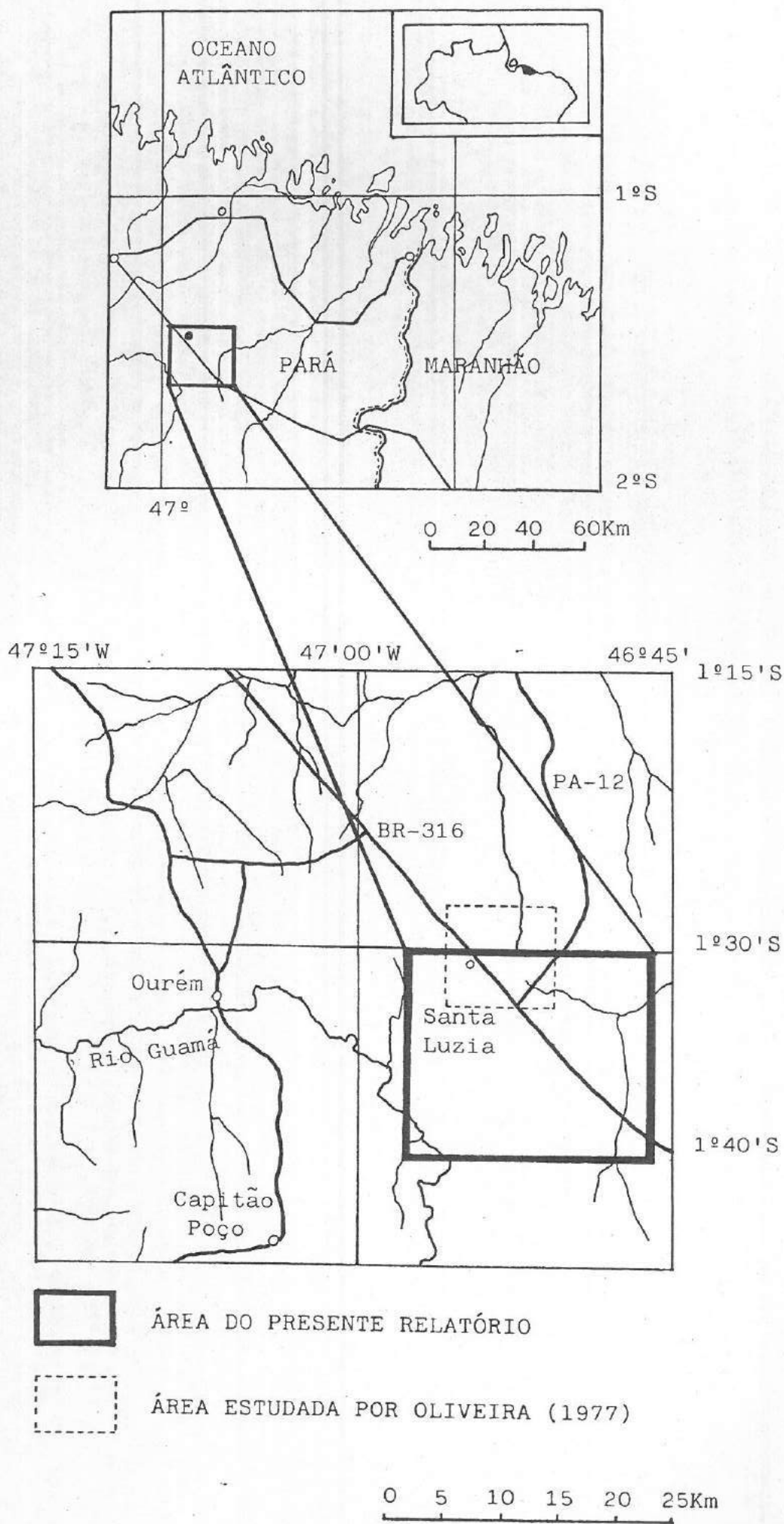


FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO



A presente área de trabalho está delimitada pelas seguintes coordenadas geográficas: 46°58' W, 46°46' W e 1°30' S, 1°40' S; contida na folha SA.23-V-C-VI.

A noroeste da mesma encontra-se a vila de Santa Luzia, utilizada como ponto de apoio para os trabalhos de campo. É cortada a oeste pelo rio Peritoró e a sul-sudoeste pelo rio Guamá.

Seu acesso a partir de Belém é muito bom, ligada pela rodovia BR-316, distando desta 200 km.

Cortando a estrada, nos dois sentidos, encontram-se inúmeros caminhos e ramais, com boas exposições de rochas. Outros bons afloramentos geralmente são encontrados no leito de pequenos igarapés, apresentando frequentemente rochas não intemperizadas.

### 1.3 Metodologia

Os trabalhos tiveram início em março de 1986 e consistiram basicamente das seguintes fases: Pré-Campo, Campo e Laboratório.

#### 1.3.1 Pré-Campo

Inicialmente foi realizada pesquisa bibliográfica e síntese dos conhecimentos da região. Para este relatório, foi feita uma compilação mais específica direcionada para os fosfatos.

O mapa-base utilizado (anexo I) foi feito com base em imagem de radar em escala 1:100.000 (ampliada do original 1:400.000), do Projeto RADAM, folha SA.23-V-C-VI. Posteriormente foram utilizadas fotografias aéreas em escala 1:100.000, da Força Aérea Brasileira (FAB), as quais apresentavam uma melhor resolução.

#### 1.3.2 Campo

Foram realizadas várias etapas de campo, haja vista a relativa proximidade da área de estudos, aproveitando-se geralmente os finais de semana prolongados. Para isto foi utilizado veículo automotor pertencente ao Centro de Geociências, além de veículos particulares.

Foram feitos perfis geológicos ao longo da BR-316 (20 km), na PA-12 (3 km), na estrada entre o km 64 e a vila do Broca, que corta o

Granito Cantão, e um perfil de Santa Luzia até a vila de Jacarequara, no rio Guamá (18 km). Foram feitas coletas regulares de amostras para posterior encaminhamento para a petrografia e/ou análise química.

### 1.3.3 Laboratório

#### a) Análises Petrográficas

As análises petrográficas envolveram a descrição de 17 seções delgadas, com atenção para os aspectos texturais e composicionais das amostras. É importante citar que estas descrições foram feitas no ano de 1986 (Angélica e Borges, 1987) e vão servir apenas para uma breve caracterização das rochas aflorantes na área, no capítulo da Geologia Local. Essas lâminas foram cedidas ao colega Maurício, que ficou responsável pela petrografia detalhada das mesmas, em seu trabalho.

#### b) Análises Químicas

Essa fase do trabalho foi realmente uma das mais importantes, absorvendo grande parte do tempo do bolsista dedicado a esta pesquisa. Como foi citado na apresentação, o aprendizado das metodologias e técnicas para análises químicas de materiais geológicos consistiu num dos principais objetivos deste trabalho. Esta fase é bastante delicada e exige muita dedicação e paciência, além de uma extrema meticulosidade, para que haja precisão e fundamentalmente, confiabilidade nos resultados analíticos obtidos.

Haja visto o exposto, tenter-se-á apresentar uma síntese detalhada dos procedimentos tomados no laboratório de Análises Químicas do Centro de Geociências, bem como os métodos analíticos empregados (vide Anexo II). O mesmo pode ser de grande valia para os estudantes de graduação em geologia que tenham necessidade deste tipo análise, e que muitas vezes não encontram a orientação adequada para este fim.

Todas as análises realizadas foram conduzidas nas dependências do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará. As análises por espectrocolorimetria foram realizadas em aparelho Zeiss, modelo PM6, e posteriormente em aparelho Beckman DU-6, mais moderno, com impressora acoplada. Na Absorção Atômica foi utilizado espectrofotômetro Zeiss, modelo FMD-4.

Os trabalhos mais antigos sobre os fosfatos nas regiões nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, citados na literatura, são da década de 30.

Costa (1980), cita os trabalhos de Brandt (1932), Abreu (1937), Miranda (1940), Rabello (1945), entre outros, nos quais todos esses autores atribuem origem orgânica para o fósforo, através de dejetos de aves marinhas (guanós), já que as primeiras ocorrências estavam na região costeira (Ilha de Trauíra). Posteriormente então, estes depósitos seriam sujeitos a processos de lateritização.

Os trabalhos do Projeto Gurupi (Costa et al., 1975 e 1977), os quais estavam voltados para o mapeamento geológico e reconhecimento geoquímico da região do Gurupi, também dão atenção às ocorrências de fosfatos, inclusive propondo um modelo de deposição marinha de material fosfático sobre lateritas pré-existentes, a partir de transgressões pós-Cretácicas.

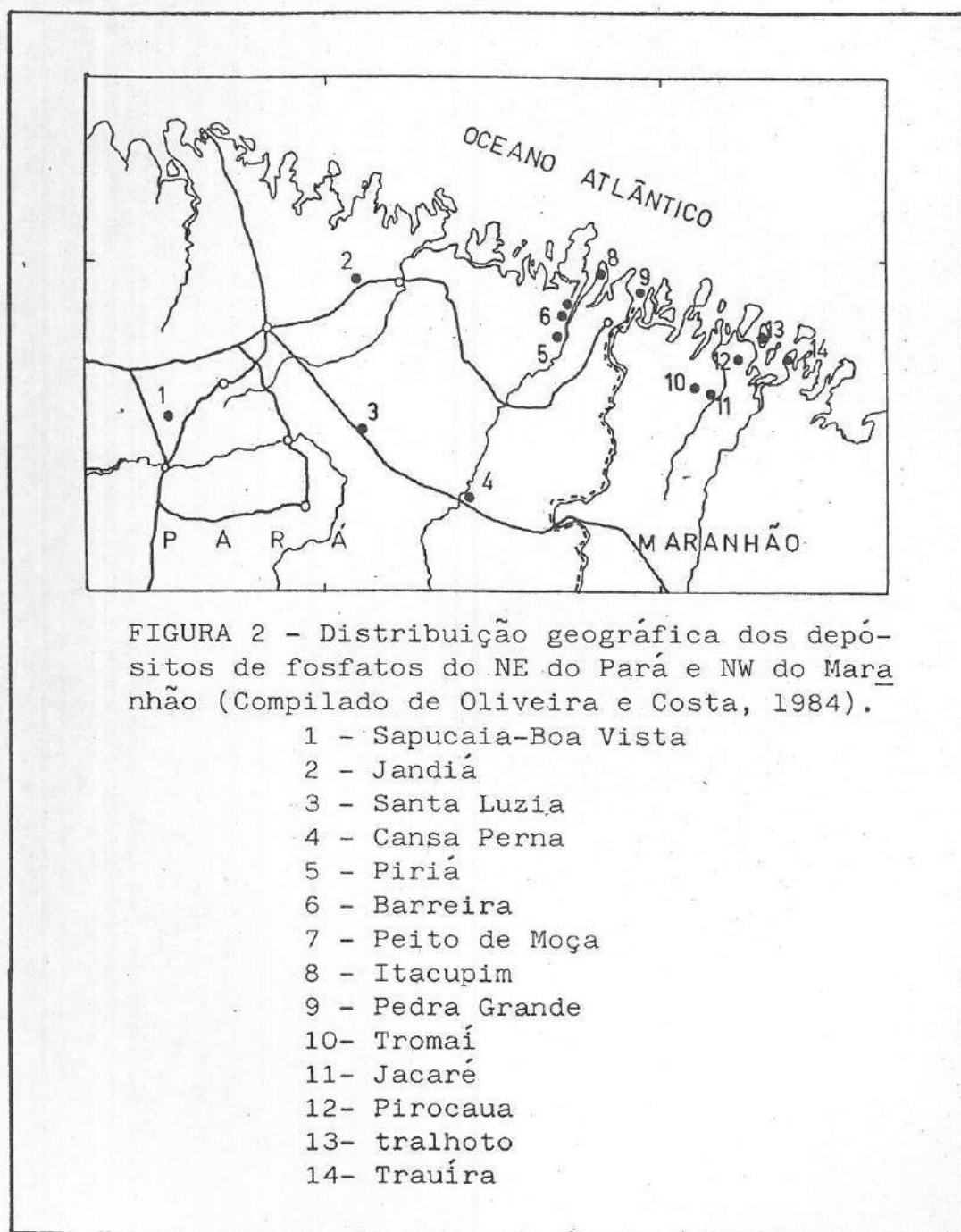
A partir desta época, os trabalhos sobre os fosfatos se intensificaram, principalmente na forma de teses de mestrado e doutorado, pelos professores e pesquisadores do Centro de Geociências (antigo NCGG), da UFFa.

Uma dessas teses foi a de Oliveira (1977), com uma abordagem exclusiva do depósito de Santa Luzia. Esse autor propõe para essas ocorrências, uma remobilização do fósforo contido em níveis sedimentares específicos e posterior precipitação em zonas de brechas e falhas. São descritas ainda quatro ocorrências principais de fosfatos, onde as duas primeiras também foram visitadas durante esta pesquisa:

- 1) PA-12, a 1,4 km da BR-316, no igarapé Jeju;
- 2) Ramal das Canas, a 1 km da BR-316;
- 3) 90 m a leste do ramal do Tomé;
- 4) BR-316, afloramento imediatamente a SE da falha da Cachoeira.

Costa (1980), também em tese de mestrado, já estuda as ocorrências de origem laterítica, onde segundo este, o enriquecimento se dá a partir de rochas com fácies ricas em fosfatos primários. São descartadas, portanto, as hipóteses de origem orgânica e das transgressões marinhas. Neste trabalho são estudadas as ocorrências de Jandiá, Cansa Perna e Itacupim, no Pará e Trauíra e Pirocaua, no Maranhão, onde posteriormente vão ser tratados com mais detalhe quanto a sua geoquímica e gênese (Costa, 1982), em tese de doutorado.

Atualmente são conhecidas 14 ocorrências de fosfatos, sendo oito no estado do Pará e seis no estado do Maranhão, onde o único depósito de origem não-laterítica é o de Santa Luzia (Figura 2).



## II GEOLOGIA DA ÁREA

A geologia da área aqui investigada, com base em trabalhos anteriormente realizados por este autor em conjunto com o bolsista Maurício Borges (Angélica e Borges, 1987) e por Borges (1988) é composta predominantemente por rochas metamórficas de fácies xisto-verde e mais raramente por granitos intrusivos, arcósios e aluviões. Estas litologias são todas do Proterozóico (com exceção dos aluviões, é claro) e estão reunidas nas seguintes unidades litoestratigráficas:

### 2.1 Grupo Gurupi

O Grupo Gurupi está representado por quartzitos milonitos, filonitos carbonosos, sericita filonitos e filonitos bandados. Optou-se por esta nomenclatura em face da importância dos processos do metamorfismo dinâmico sobre estas rochas, com desenvolvimento de texturas e estruturas características. Após a descrição de todos os litotipos dessa unidade, será feita uma discussão relativa aos problemas estratigráficos das mesmas.

#### 2.1.1 Quartzitos Milonitos

Inicialmente descritos por Oliveira (1977), foi descrito por Costa (1985) como quartzo-mica xisto. É uma rocha de coloração esbranquiçada, cinza clara até cinza escura. Composta predominantemente por quartzo e sericita, de granulometria fina, anteriormente observada por Costa op cit. Apresenta-se macroscopicamente sob a forma de leitões descontínuos, estirados e boudinados, intercalados aos sericita-filonitos, que serão descritos a seguir.

Microscopicamente observa-se uma intercalação de bandas milimétricas mais grosseiras e outras mais finas, compostas essencialmente de quartzo. Este mineral apresenta-se com extinção fortemente ondulante, policristalino, com cristais bastante estirados e recristalizados em subgrãos, definindo uma foliação milonítica. Esta é composta ainda pela muscovita, bastante intemperizada nas amostras estudadas, dando um carácter ligeiramente anastomosado a esta estrutura. Como mineral acessório, apresenta ainda pequenos cristais de epidoto.

### 2.1.2 Filonitos Carbonosos

Descritos por Costa (1985) como xistos carbonosos, correspondem aos xistos grafitosos de Oliveira (1977). São rochas de coloração cinza escura, de granulação fina, marcadas por bandas félsicas, de composição quartzosa e outras máficas, compostas por material carbonoso e sericita. Em geral apresentam-se crenuladas, cortadas por uma malha complexa de veios e vênulas. Mineralogicamente constituem-se de quartzo e muscovita, além de opacos, provavelmente relacionados a material carbonoso. Costa (1985), por difratometria de raios-x, identificou teores menores de microclínio e zeólitas, além de traços de vavelita, variscita, crandalita e clorita. Mesoscopicamente, a vavelita é encontrada nestas rochas sob a forma de cristais aciculares, nas bandas quartzosas. Boas exposições destas rochas encontram-se no leito do riacho das pedras, como é conhecido pelos moradores das redondezas, situado a 3 km a sul de Santa Luzia, além de um pequeno nível intercalado aos sericita filonitos, na Jazida da Inca (5 km a SE de Santa Luzia, próximo da BR-316).

### 2.1.3 Sericita Filonitos

Rochas de coloração cinza clara e até esverdeadas, quando inalteradas, e amareladas até avermelhadas quando intemperizadas. São compostas predominantemente por sericita, além de quartzo de granulação fina e venular. Os veios de quartzo apresentam-se boudinados, isolados e até dobrados, entre a massa de sericita filonitos. É importante ressaltar a presença dos quartzitos milonitos, anteriormente descritos, geralmente sob a forma de boudins ou lentes decimétricas, intercalados a estas rochas.

Correlacionou-se esta unidade as rochas aflorantes no leito do rio Guamá, na localidade de Jacarequara, descritos por Veríssimo (1986) como quartzo-sericita xistos.

### 2.1.4 Filonitos Bandados

Descritos inicialmente por Oliveira (1977) como sericita filonitos, foram individualizados por Abreu et al. (1980) como Formação Gurupi. São rochas com intensa coloração avermelhada a arroxeada, devido a pigmentação de oxi-hidróxidos de ferro, em função do adiantado intemperismo. São compostas predominantemente por sericita e quartzo, além de pontuações de magnetita (moldes), agora completamente goethitizados. São comuns veios de quartzo concordantes e discordantes a estruturação principal da rocha.

Os três primeiros grupos de rochas inicialmente descritos, enquadram-se na Formação Santa Luzia, de Abreu et al. (1980), enquanto o último à Formação Gurupi, dos referidos autores. Segundo estes, as duas unidades estariam separadas por uma discordância estrutural, onde uma primeira fase de dobramentos atingiu apenas a Formação Santa Luzia, enquanto que a última fase atingiu as duas formações. É importante ressaltar que o trabalho desses autores não teve nenhum critério petrográfico. No entanto, desde o mapeamento anterior, não foram encontrados os elementos necessários para tal subdivisão. Optou-se portanto, na continuidade do uso do Termo Grupo Gurupi (Francisco et Al., 1971), para todos os tipos litológicos anteriormente descritos. A tabela 1 compara as principais nomenclaturas utilizadas até então para as rochas da área aqui estudada.

OLIVEIRA (1977)	ABREU et al.(1980)	COSTA (1985)	ANGÉLICA & * BORGES (1987)	ANGÉLICA(1988) BORGES (1988)
Sericita Filitos	Formação Gurupi	Muscovita Quartzo Xistos	Sericita Filitos	Filonitos Bandados
Xistos Grafi- tosos	Formação Santa Luzia	Xistos Carbo- nosos	Xistos Carbo- nosos e Seri- cita Xistos	Filonitos Car- bonosos e Seri- cita Filonitos
Quartzo Xistos		Quartzo Mica Xistos	Quartzo Xistos	Quartzitos Milonitos

\* Nomenclatura Temporária

TABELA 1 - Quadro comparativo entre as principais nomenclaturas para os litotipos da área de Santa Luzia.

## 2.2 Granito Cantão (Angélica & Borges, 1987)

Trata-se de uma rocha de composição granítica, de natureza intrusiva, aflorando na porção SE da área. Embora ainda não citado na literatura, a ocorrência deste granito já era do conhecimento de alguns professores do departamento de geologia, especialmente do professor José Pedro de Azevedo Martins, que realizava excursões com os alunos da disciplina Geologia de Campo para esta região.

Macroscopicamente constitui-se de uma rocha isótropa, holocristalina, de coloração leucocrática, com granulação média a grossa. A textura, de uma maneira geral é granular hipidiomórfica, apresentando localmente textura gráfica e intercrescimento mimerquítico. Observa-se também pequenos agregados máficos, inclusive a nível macro, de biotita, epidoto e titanita. Esta rocha apresenta xenólitos abundantes, que juntamente com o granito foram objetos de uma análise química detalhada, para discussão petrológica e geoquímica a seguir.

### 2.3 Formação Piria

Representados por um excelente afloramento as margens da rodovia BR-316, com intercalações centimétricas a métricas de uma grande variedade de arenitos, arcósios e subarcósios finos, médios e grossos. Apresentam coloração amarela esbranquiçada a avermelhada, em decorrência dos processos de intemperismo. Sua mineralogia é constituída por quartzo, feldspato e mica detrítica, além de argilo-minerais e goethita. Como estruturas primárias, apresenta estratificação plano-paralela, bem marcada pelas diferenças granulométricas, além de acamamentos bem evidentes. Em uma rocha provavelmente fresca, foram identificadas laminações plano-paralelas milimétricas, advindas da intercalação de arenitos sílticos finos e leitos de argila. O intemperismo laterítico sobre estas rochas se dá fundamentalmente sob a forma de esfoliação esferoidal.

### 2.4 Coberturas Sedimentares

Inicialmente relacionadas ao Grupo Barreiras, observou-se tratar de material proveniente do retrabalhamento colúvio-eluvionar das próprias rochas subjacentes. Uma dessas evidências é a observação de concreções lateritizadas, comportando estruturas das rochas metamórficas pretéritas, geralmente de formas alongadas e gradando no perfil de alteração, para rochas menos alteradas na base.



### III ASPECTOS GEOQUÍMICOS DO GRUPO GURUPI E DOS FOSFATOS ASSOCIADOS

#### 3.1 Aspectos Gerais

Neste capítulo será dada atenção aos aspectos geoquímicos e mineralógicos das rochas estudadas, principalmente aquelas pertencentes ao Grupo Gurupi, com atenção para as mineralizações de fosfatos e suas formas de ocorrências.

Os resultados químicos parciais (apenas  $P_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$ ) confirmam a natureza pelítica desses metamorfitos, indicada pelos teores elevados de  $Al_2O_3$  e baixos em  $Fe_2O_3$ . São característicos nestas rochas, os teores elevados de  $P_2O_5$ , confirmando a presença dos fosfatos.

Os principais fosfatos que ocorrem na região, associados a essas rochas, em concordância com os dados de Costa (1985), em ordem decrescente de abundância, são:

- |              |                                   |
|--------------|-----------------------------------|
| - Vavelita   | $Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$  |
| - Crandalita | $CaAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$ |
| - Variscita  | $AlPO_4 \cdot 2H_2O$              |

Estes estão restritos aos quartzitos milonitos, filonitos carbonosos e sericita filonitos, sendo entre esses, mais abundantes nos filonitos carbonosos.

#### 3.2 Quartzitos Milonitos

Nessas rochas o fosfato principal é a crandalita, presente em vênulas de quartzo associadas. É de coloração branca, com formas esferulíticas e/ou fibro-radiais, em observações macroscópicas. Foi descrita em afloramento no Ramal da Canas, a 1 km a norte de Santa Luzia, citado por Oliveira (1977) como a ocorrência de nº 2, onde este autor descreve o fosfato em hábito esferulítico de até 3 cm de diâmetro.

Os quartzitos milonitos, encaixantes desses fosfatos, são caracterizados por um teor variável e relativamente baixo de  $Al_2O_3$  (tabela 2), com média de 9,3%, devido a pequena quantidade de sericita presente, o que é compensado pelo quartzo em grande abundância. Os teores de  $P_2O_5$  são variáveis e alcançam até 10,0%, devido a amostragem em cima de vênulas de quartzo, geralmente bastante ricas em crandalita.

TABELA 2 - Composição química parcial dos quartzitos milonitos

% \ *	10	11	19	20	37
$P_2O_5$	1,10	10,0	6,20	1,77	0,13
$TiO_2$	0,40	0,66	0,17	1,38	0,86
$Fe_2O_3$	2,15	10,5	27,2	3,80	0,55
$Al_2O_3$	12,2	8,16	6,12	10,2	9,81

\* amostras

10 - Próximo ao Riacho das Pedras (NI)

11 - " " " (Veio com crandalita)

19 e 20 - Ramal das Canas (I)

37 - Próximo a Jazida da Inca (NI)

TABELA 3 - Composição química parcial dos sericita filonitos

% \ *	04	09	13B	15	28	34	35	36
$P_2O_5$	1,64	0,90	1,10	0,86	8,60	2,30	3,60	0,36
$TiO_2$	0,82	0,42	1,48	1,88	0,13	1,00	1,21	0,61
$Fe_2O_3$	3,20	8,35	8,75	11,8	4,83	8,32	8,90	6,60
$Al_2O_3$	19,4	18,4	21,2	11,2	17,3	23,5	11,2	19,4

\* amostras

04 - BR-316, a 12 km de Santa Luzia (I)

09 e 13B - Próximo ao Riacho das Pedras (I)

15 - Perfil Santa Luzia - Rio Guamá, a 4 km da vila (I)

28 - Entroncamento da Br-316 com a PA-12, possível zona de falha, com sericita filonitos e filonitos carbonosos (I)

34 - PA-12, 1,2 km, após o igarapé Jeju (I)

35 - Br-316, a 3 km de Santa Luzia, início da área (I)

36 - Afloramento no Rio Guamá (Rocha Fresca)

TABELA 4 - Compilação dos dados de Costa (1985)

% \ *	a	b	c
$P_2O_5$	3,90	28,5	30,9
$TiO_2$	0,38	0,07	0,02
$Fe_2O_3$	3,30	0,17	0,19
$Al_2O_3$	19,1	33,2	33,1

a - Média dos filonitos carbonosos de Santa Luzia

b - Crandalita esferulítica

c - Vavelita esferulítica

(I) Rocha parcialmente intemperizada

(NI) Rocha fresca

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , elevados em algumas amostras (11 e 19), são tão relacionados a uma pigmentação ferruginosa provocada pelo intemperismo (observação microscópica), enquanto que em amostras inalteradas o teor não ultrapassa 2,15%.

### 3.3 Sericita Filonitos

Em relação as demais litologias, essas rochas são caracterizadas pelos teores mais elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , com média de 18,7%, relacionados a grande quantidade de sericita presente (tabela 3). A diminuição desse mineral é observado em porções mais quartzíticas, com a consequente diminuição de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (amostras 11 e 35).

Os teores bastante variáveis e mais elevados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3,20 a 11,8%) estão relacionados a um estágio intempérico menos ou mais adiantado, cujo processo afetou estas rochas em toda a região. Isto é confirmado pelos teores de  $\text{TiO}_2$  na ordem de 1,0%, semelhantes aos dos quartzitos milonitos.

Os teores mais elevados de  $\text{P}_2\text{O}_5$  foram encontrados em zonas de falhas, como no entroncamento da BR-316 com a PA-12 (amostra 28), inclusive com filonitos carbonosos associados. Ainda na BR-316, a 12 km a SE de Santa Luzia, foram observados pequenos cristais aciculares, preenchendo pequenas fraturas nos veios de quartzo, que cortam essas rochas. Os teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  são significativos mas menores do que nas demais litologias. O fósforo se apresenta na forma de vavelita, como principal ocorrência. Quando a coleta de amostras não envolvia os veios de quartzo ou porções brechadas ou fraturadas, os teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  eram sensivelmente menores, o que foi observado também para os quartzitos milonitos, e para os filonitos carbonosos.

### 3.4 Filonitos Carbonosos

Trata-se de uma seqüência litológica muito peculiar da área, cuja melhor exposição está no riacho das pedras, já citado no capítulo anterior, em barrancos de até 3 m de altura.

Apresentam teores relativamente elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , com média de 12,23%, menores apenas que o dos sericita filonitos, onde segundo Costa (1985), estas duas unidades estariam em contato gradacional, com

variação apenas composicional. Os teores mais elevados de  $Al_2O_3$  estão na forma de sericita e fosfatos aluminosos (tabela 5)

Os teores de  $P_2O_5$  são os mais variáveis e em média mais elevados do que nas demais litologias do Grupo Gurupi, com média de 7,95%. O fósforo manteve-se caracteristicamente sob a forma de vavelita, ocorrendo em locais restritos, como na Jazida da Inca, em granulometria fina, de hábito acicular e coloração esverdeada. Foi observado ainda, microscopicamente, na interface dos planos de foliação, geralmente associado aos leitos quartzosos, o que já havia sido descrito por Costa (1985). Um quadro com alguns dados do trabalho deste autor está na tabela 4.

A amostra 31, representa uma brecha de falha, no Igarapé Jeju (ocorrência nº 1 de Oliveira, 1977), contendo fragmentos dos filonitos carbonosos e cristais centimétricos fibro-radiais de crandalita. Explica-se, portanto, nesta amostra, o teor mais elevado de  $P_2O_5$  das análises realizadas neste trabalho (16,1%).

Os teores de  $Fe_2O_3$  são baixos, onde os valores maiores representam rochas parcialmente intemperizadas, acompanhadas diretamente pelo  $TiO_2$ , em teores inferiores a 1,0%, dentro do nível dos folhelhos.

### 3.5 Filonitos Bandados

Estas rochas encontram-se intensamente lateritizadas, com altos teores de  $Fe_2O_3$  (tabela 6), sob a forma de oxi-hidróxidos, responsáveis pela coloração avermelhada característica. Os teores de  $P_2O_5$  encontram-se abaixo de 0,30%, mostrando portanto, a quase ausência de fosfatos nestas rochas.

Os filonitos bandados apresentam inúmeros veios de quartzo os quais apresentam importantes mineralizações, como ouro, principalmente nas proximidades do rio Gurupi (Garimpo do Cachoeiro, Serra do Cansa Perna), fora da área desse trabalho.

Essas rochas são, desta maneira, as únicas, dentro do Grupo Gurupi, que não apresentam mineralizações de fosfatos associadas.

TABELA 5 - Composição química parcial dos filonitos carbonosos

15

% \ *	12a	12b	12c	13a	31	32
$P_2O_5$	6,10	9,20	3,20	6,10	16,1	7,00
$TiO_2$	1,33	0,21	0,83	0,85	0,15	0,26
$Fe_2O_3$	4,15	0,38	2,15	3,13	2,18	2,85
$Al_2O_3$	13,8	10,2	9,18	10,2	18,3	11,7

\* amostras

12 a 13 - Amostras em um perfil ao longo do Riacho das Pedras

31 - PA-12, 1,2 km, próximo ao Jeju

32 - PA-12, Brecha de falha do Jeju

TABELA 6 - Composição química parcial dos filonitos bandados

% \ *	24	26	a
$P_2O_5$	0,28	0,30	0,37
$TiO_2$	1,15	0,65	0,35
$Fe_2O_3$	21,7	25,2	2,20
$Al_2O_3$	8,16	14,4	21,2

\* amostras

24 e 25 - Ramal do Broca, respectivamente antes e depois do contato com o Granito Cantão (amostras intensamente goethitizadas).

a - Média das amostras de Costa (1985)

TABELA 7 - Composição química parcial dos arenitos Piriá

% \ *	21	22	42	a	b
$P_2O_5$	1,67	0,28	0,78	-	0,24
$TiO_2$	0,43	0,12	0,23	0,10	0,08
$Fe_2O_3$	4,43	2,70	4,49	2,20	2,73
$Al_2O_3$	8,87	6,12	9,18	7,30	10,9

\* amostras

21 - Ramal do Broca (300 m da Br-316)(I)

22 - " " (1 km da Br-316) (I)

42 - " " (Próximo ao contato com o Granito Cantão)(I)

a e b - Composição média de alguns arenitos intemperizados (a) e frescos (b), segundo Truckenbrodt e Correa (1985).

(I) Rocha parcialmente intemperizada

(NI) Rocha fresca

### 3.6 Arenitos da Formação Pirriá

Foram analisadas as amostras desta unidade coletadas ao longo do Ramal do Broca, desde o seu entroncamento com a BR-316, até as proximidades do contato com o Granito Cantão. Infelizmente as amostras neste trecho, se mostram bastante intemperizadas.

Não foram observados teores anômalos de  $P_2O_5$  (tabela 7). A atuação dos processos intempéricos explica o desenvolvimento de minerais secundários ferruginosos (goethita e hematita), não observáveis nas rochas frescas, com teores de  $Fe_2O_3$  variando nas amostras estudadas entre 2,70 e 4,49%.

Os teores relativamente altos de  $Al_2O_3$  para arenitos estão relacionados a grande quantidade de feldspatos na rocha não intemperizada, com média de 33% (Truckenbrodt e Correa, 1985). Na rocha alterada, esses teores refletirão justamente a quantidade de argilo-minerais presentes, frutos da decomposição daqueles feldspatos. Na tabela 7, são apresentados ainda, as médias das análises realizadas pelos autores supra-citados, onde o teor de  $Al_2O_3$  mostra-se ligeiramente superior, se comparado com as rochas intemperizadas. É conhecido que, durante os processos intempéricos, o Al é liberado dos feldspatos para formar os argilo-minerais, onde nas condições tipicamente ácidas da região, predominou a formação da caolinita.

#### 4.1 Aspectos Gerais

As análises dos elementos maiores do Granito Cantão e seu xenólito foram obtidas através de métodos combinados de absorção atômica, espectrocolorimetria, volumetria e gravimetria (Anexo II). Os elementos traços foram obtidos por fluorescência de raios-x. Todas as análises foram conduzidas nas dependências do Centro de Geociências da UFGA.

As análises para os elementos terras raras foram feitas nos laboratórios da Geosol. Como procedimento analítico padrão, as amostras foram pré-concentradas com resinas de trocas iônicas e então analisadas por espectrometria de plasma - ICP (de acordo com o método descrito por Dutra, 1984).

Segundo os estudos petrográficos de Borges (1988), o Granito Cantão foi classificado como biotita monzogranito.

Os resultados das análises químicas, com as respectivas composições normativas estão resumidos nas tabelas 8 e 9, respectivamente.

#### 4.2 Elementos Maiores

O Granito Cantão é uma rocha calco-alcalina, de afinidade sobretudo sódica. Isso é observado no diagrama de variação de alcalinidade x sílica (Figura 3), além do diagrama AFM (Figura 4). Todos esses valores concordam com os dados petrográficos para o Granito Cantão de Borges (1988), onde segundo este, a rocha ocupa o domínio 3 do diagrama de Lameyre & Bowden (1982), in Biondi (1986), relacionado aos granitóides calco-alcalinos com teor normal em K (figura 5). Esse é superposto ao Streckeisen (1976), onde esse domínio 3 coincide com o campo dos monzogranitos.

No diagrama de variação  $\text{CaO}-\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$  (Figura 6), que acentua a distribuição dos álcalis, observa-se um enriquecimento em  $\text{Na}_2\text{O}$ , em relação aos conteúdos de  $\text{CaO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , o que caracteriza a sua afinidade sódica.

	GRANITO(%)	XENÓLITO(%)
SiO <sub>2</sub>	69,85	61,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,33	17,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,03	5,65
FeO	1,15	2,95
CaO	0,95	4,34
MgO	0,85	4,04
Na <sub>2</sub> O	4,49	3,14
K <sub>2</sub> O	1,82	1,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28	1,21
MnO	0,023	0,093
P.F.	0,89	1,21
	ppm	ppm
CO <sub>2</sub>	3.500*	-
F	800*	-
Nb	4	17
Y	11; 13*	17
Zr	141	282
Rb	177	367
Sr	561,820*	531
Ba	960*	-

TABELA 8 - Análises Químicas dos elementos maiores (%) e traços (ppm) do Granito Cantão e do xenólito.

\* Os valores com essa simbologia foram obtidos nos laboratórios da GEOSOL.

	GRANITO(%)	XENÓLITO(%)
Q	35,37	24,46
Or	10,86	9,13
Ab	38,37	25,67
An	0,68	13,17
C	6,80	5,19
Hy	2,55	9,73
Mt	2,97	7,91
Il	0,08	1,01
Ap	0,62	2,55
Cc	0,08	-
Wa	0,90	1,17

TABELA 9 - Norma CIPW do Granito Cantão e o xenólito

- Q - Quartzo
- Or - Ortoclásio
- Ab - Albita
- An - Anortita
- C - Corindon
- Hy - Hiperstênio
- Mt - Magnetita
- Il - Ilmenita
- Ap - Apatita
- Cc - Calcita
- Wa - H<sub>2</sub>O



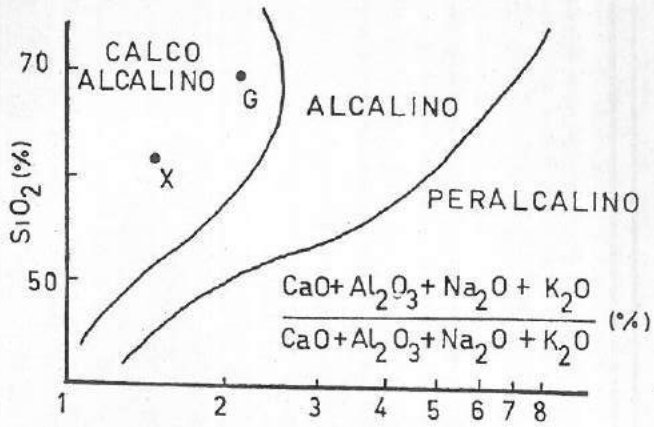


Figura 3 - Diagrama da variação do índice de alcalinidade, segundo Wright (1969) in Nardi (1986).

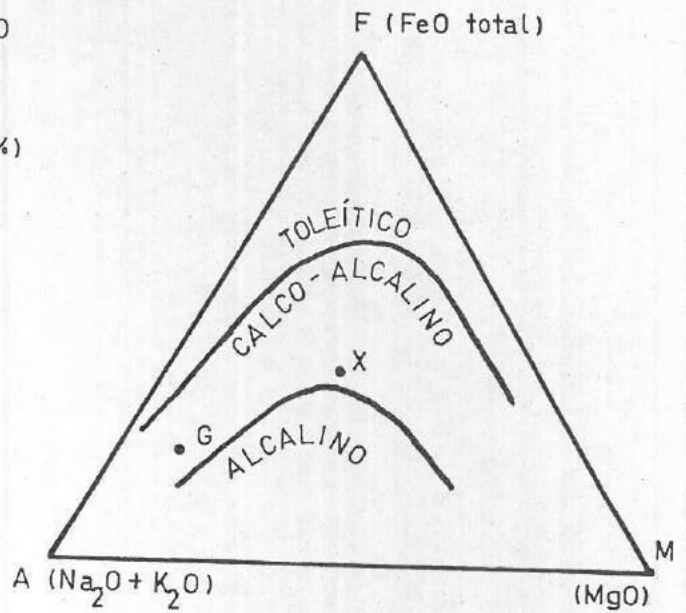


Figura 4 - Diagrama AFM

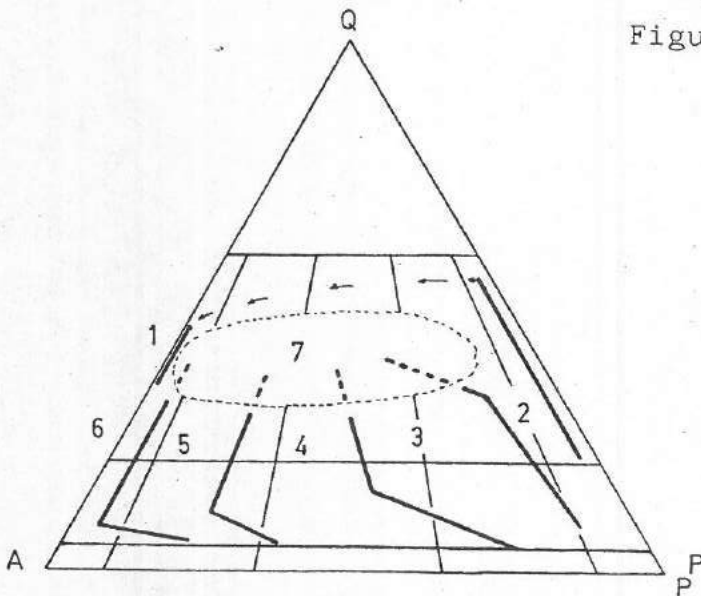


Figura 5 - Triângulo QAP mostrando os domínios ocupados pelas séries graníticas de Lameyre & Bowden, 1982 (in Biondi, 1986).

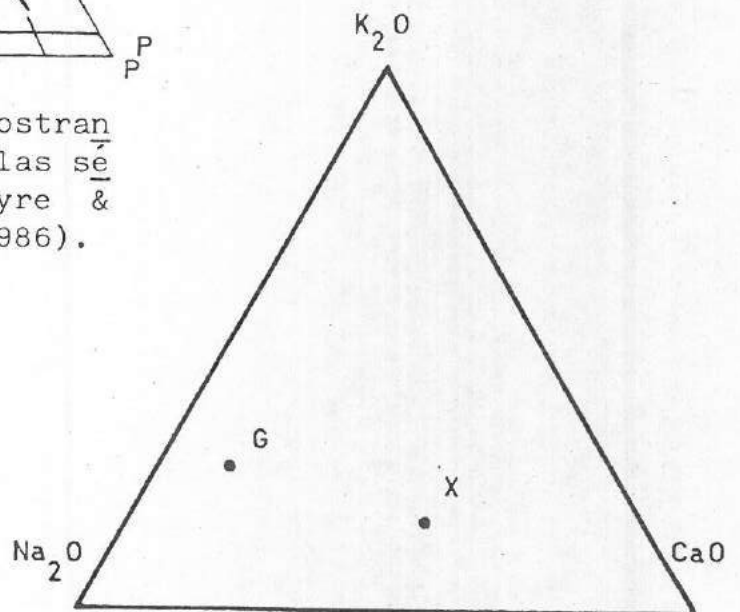


Figura 6 - Diagrama de variação K<sub>2</sub>O - CaO - Na<sub>2</sub>O.

G - Granito Cantão

X - Xenólito

O xenólito acompanha o Granito Cantão em sua afinidade calco-alcalina, apenas mostrando uma maior tendência ao campo magnesiano, no diagrama AFM (Figura 4) e maiores teores em CaO do que em  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , sugerindo uma afinidade mais cálcica (Figura 6).

As grandes diferenças portanto, entre o granito e o xenólito são observados nos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e MgO, mais abundantes neste último, relacionados a maior quantidade de biotita presente, refletindo nos maiores valores de hiperstênio e magnetita normativos (Tabela 9). O teor de CaO, também mais elevado no xenólito, está relacionado a presença do plagioclásio mais cálcico, além da maior quantidade em epidoto e titanita, em relação ao granito. Esse valor se reflete na presença de anortita normativa (13,17%), enquanto que para o Granito Cantão o valor chega apenas a 0,68%.

#### 4.3 Elementos Traços

Em relação aos elementos traços, o Granito Cantão apresenta teores bastante semelhantes aqueles de Taylor (1965) e Turenkian (1971), ambos in Schroll (1975), enquadrando-se nos granitos com teor de CaO menor que 1% de Turenkian & Wedepohl (1961), in Schroll op cit. (Tabela 10). Para todos esses valores, observa-se apenas no Granito Cantão, uma menor quantidade de Nb e Y, além de um enriquecimento em Sr. Este elemento juntamente com o Ba, também em teores normais, pode estar substituindo tanto o K (nos microclínios), como o Ca (nos plagioclásios).

Para o xenólito, um elemento com um teor relativamente alto foi o Rb, com 367 ppm (enquanto o granito apresenta 177 ppm). Apesar do Rb substituir o K e as duas rochas apresentarem teores bastante aproximados de  $\text{K}_2\text{O}$ , o xenólito concentrou mais este elemento devido a maior quantidade de biotita presente. Como o Rb apresenta um grande raio iônico ( $\text{Rb}^+ = 1,47 \text{ \AA}$ ), ele se enriquece preferencialmente nas micas, onde é maior o espaço inter-atômico, do que nos álcali-feldspatos.

Na Tabela 11 são observadas as concentrações dos elementos traços para o xenólito, comparando-os com os teores médios para algumas rochas sedimentares. A princípio, o xenólito não apresenta semelhanças com nenhuma delas, apesar de no conteúdo de elementos terras raras, como será descrito a seguir, apresentar estreita correlação com os valores para os folhelhos. Portanto, se for comparado com essas rochas, o xenó-

TABELA 10 - Quadro comparativo dos elementos traços (ppm) do Granito Cantão, com os elementos traços para granitos de diversos autores.

	GRANITO CANTÃO	(1)	(2)	(3)	
				CaO < 1%	CaO > 3%
F	800	-	850	850	520
Nb	4	20	21	-	-
Y	11,13*	35	41	-	-
Zr	141	160	175	175	140
Rb	177	120	190	170	110
Sr	561,820*	350	100	100	440
Ba	960*	550	840	840	420

Os números entre parênteses significam as médias dos granitos de: (1) Taylor (1965); (2) Turenkian (1971); (3) Turenkian & Wedepohl (1961); in Schroll (1975)

TABELA 11 - Quadro comparativo dos elementos traços (ppm) do xenólito, com as médias dos elementos traços de diversos autores.

	XENÓLITO	FOLHELHOS (1)	ARGILAS NORMAIS (2)	GRAUVACAS (3)
Nb	17	18	14	-
Y	17	41	90	30
Zr	282	160	150	450
Rb	367	140	110	80
Sr	531	300	180	200

(1) Wedepohl (1970); (2) Turenkian & Wedepohl (1961); (3) Wedepohl (1958); in Schroll (1975)

lito apresentará valor aproximado de Nb, ausência de Y e excesso de Zr, Rb e Sr. O Zr está relacionado a presença do mineral zircão, observado petrograficamente (menor que 1%), provavelmente como resistato, da rocha preteritamente meta-sedimentar. O Rb e o Sr, como já foi descrito anteriormente, tem a ver com a grande quantidade de biotita presente.

#### 4.4 Elementos Terras Raras (ETR)

Foram realizadas análises de duas amostras para elementos terras raras: uma para o Granito Cantão e outra para o xenólito. Os valores de condritos utilizados para normalização são os de Wakita et al. (1971) in Henderson (1984), além de serem apresentados os valores de normalização de Evensen et al. (1978) in Henderson op cit., apenas para efeitos de comparação, já que são os valores utilizados nos laboratórios da GEOSOL.

A concentração dos ETR, juntamente com os valores de normalização e os valores já normalizados, são apresentados na Tabela 12.

Na Tabela 13 encontram-se as médias de ETR para granitos e para rochas sedimentares de alguns autores, para efeitos de comparação com as rochas em estudo. Como foi descrito na secção referente aos elementos traços, o xenólito apresenta grande semelhança com os teores de elementos terras raras leves (ETRL) para os folhelhos de Wedepohl (1970) in Schroll (1975). Em relação ao granito, o seu conteúdo de ETRL está condizente com os valores de Turenkian (1971) in Schroll op cit. e semelhantemente ao xenólito, apresenta uma acentuada depleção nos ETRP, o que será dado ênfase a seguir.

A Figura 7 ilustra o comportamento dos ETR para o Granito Cantão e para o xenólito, onde vários pontos podem ser observados. Inicialmente, o fracionamento bastante evidente dos terras raras leves (La-Sm) em relação aos pesados (Gd-Lu), expressos numericamente no quadro a seguir:

ROCHA	ETR	ETRL	ETRP	$Ce_N/Yb_N$
GRANITO	130,86	125	4,66	36,34
XENÓLITO	180,82	171	8,12	35,69

TABELA 12 - Análises dos elementos terras raras para o Granito Cantão (G) e para o xenólito (X).

ETR	(1)		(2a)	(2b)		(3a)	(3b)	
	G	X		G	X		G	X
La	34,2	40,7	0,340	100,59	119,7	0,2446	139,9	166,4
Ce	57,2	81,2	0,91	62,86	89,23	0,6329	89,7	127,3
Nd	28,9	41,5	0,64	45,16	64,84	0,4738	61,0	87,6
Sm	4,7	7,6	0,195	24,10	38,97	0,1540	30,5	49,4
Eu	1,2	1,7	0,073	16,44	23,29	0,5880	20,7	29,3
Gd	2,7	4,7	0,26	10,38	18,08	0,2043	13,2	23,0
Dy	1,0	1,7	0,30	3,33	5,67	0,2541	3,9	6,7
Ho	0,14	0,27	0,078	1,79	3,46	0,0567	2,5	4,8
Er	0,39	0,83	0,20	1,95	4,15	0,1660	2,3	5,0
Yb	0,38	0,55	0,22	1,73	2,50	0,1651	2,3	3,3
Lu	0,05	0,07	0,034	1,47	2,06	0,0254	2,0	2,8
Σ ETR	130,86	180,82						
Eu/Eu*				0,95	0,82		0,95	0,81

(1) Abundância (ppm) dos ETR; (2a) Valores de normalização dos meteoritos condriticos segundo Wakita et al. (1971) in Henderson (1984); (2b) Valores já normalizados; (3a) Valores normalizados segundo Evensen et al. in Henderson op cit.; (3b) Valores já normalizados.

TABELA 13 - Quadro comparativo dos ETR do Granito Cantão e do xenólito, com a média dos ETR de diversos autores.

	GRANITO CANTÃO	XENÓLITO	GRANITO (a)	FOLHELHOS (b)	ARGILAS MA RINHAS (c)	GRAUVACAS (d)
La	34,2	40,7	55	40	115	33
Ce	57,2	81,2	57	95	345	62
Nd	28,9	41,5	33	39	140	31
Sm	4,7	7,6	7,1	7,3	38	5,1
Eu	1,2	1,7	1,1	1,6	6	1,3
Gd	2,7	4,7	7,1	7,0	38	0,8
Dy	1,0	1,7	-	5,5	-	1,1
Ho	0,14	0,27	1,2	1,6	7,5	1,1
Er	0,39	0,83	4,04	3,9	15	3,3
Yb	0,38	0,55	4,0	3,7	15	3

(a) Turenkian (1971); (b) Wedepohl (1970); (c) Turenkian & Wedepohl (1961); (d) Wedepohl (1958); in Scroll (1975).

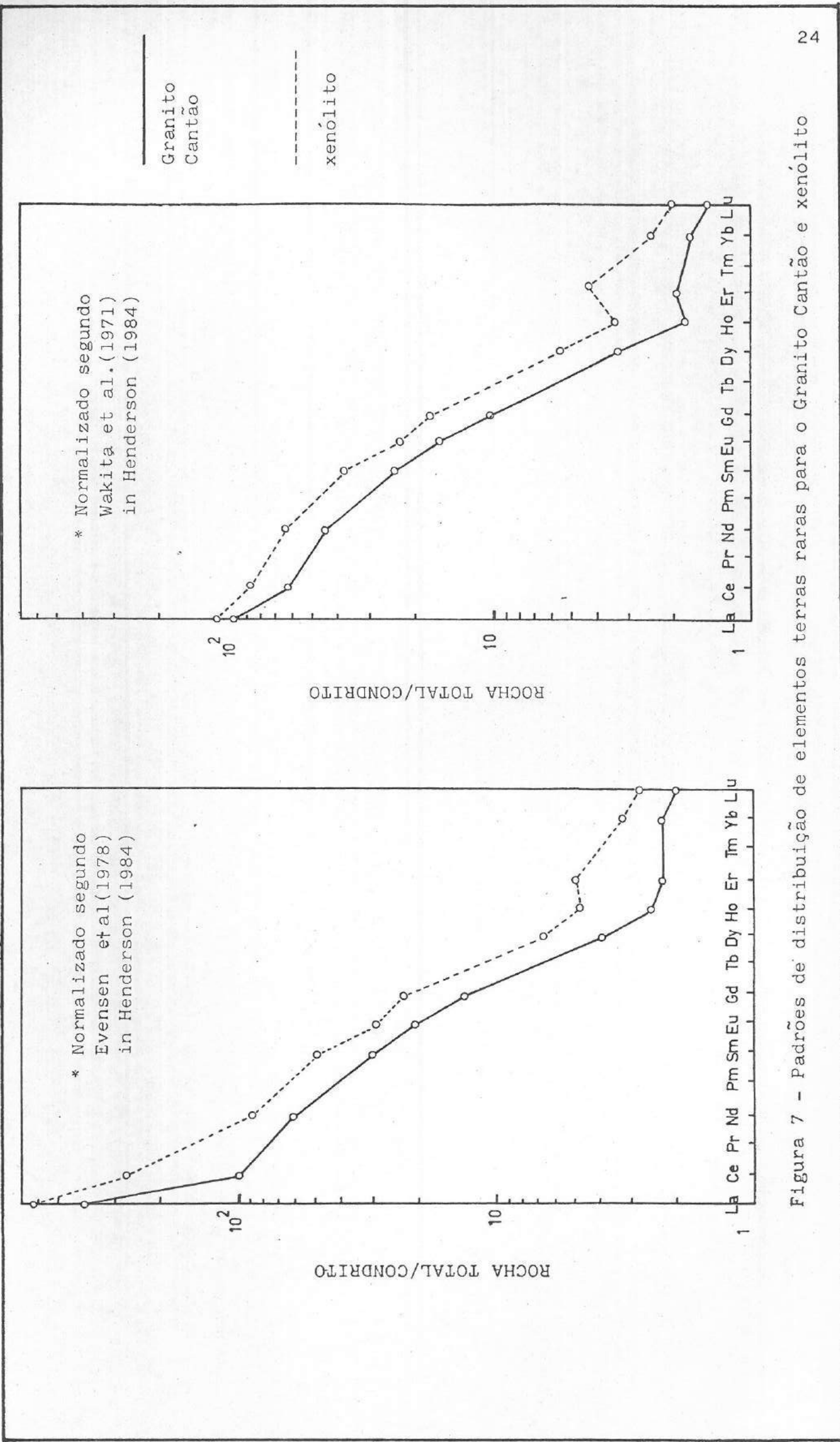


Figura 7 - Padrões de distribuição de elementos terras raras para o Granito Cantão e xenólito

A razão  $Ce_N/Yb_N$  maior que 10, evidencia esse alto fracionamento (em granitóides alcalinos, com menor grau de fracionamento, essa razão é menor que 10). Outro ponto que se destaca é a ausência de anomalia de Eu, onde a razão  ${}^1Eu/Eu^*$  é aproximadamente 1 (Tabela 12). Segundo Nardi (1984) in Nardi (1986), essa ausência de anomalia de Eu, associada ao alto grau de fracionamento caracteriza os granitóides da série calco-alcalina. Esse autor sugere ainda que a geração de anomalias de Eu pode ser inibida pela alta concentração de Ba e Sr na fusão, que evitariam a eliminação do mesmo durante a cristalização. Como foi destacado no item referente aos elementos traços, as rochas aqui estudadas apresentam elevadas concentrações de Sr, embora o granito apresente teor normal de Ba. Dutra et al. (1986) fazem a mesma referência a ausência de anomalias de Eu, ao estudarem os biotita granitos ricos em ETRL, na região NE de Minas Gerais.

É importante destacar, em observação a Figura 7, que os comentários realizados até agora são válidos tanto para o Granito Cantão como para o xenólito, haja vista a semelhança em seus padrões de distribuição de ETR.

Um dos trabalhos recentes mais importantes pela sua abrangência no estudo dos ETR em rochas graníticas é o de Cullers & Graf (1984). Utilizando os dados de 260 amostras de sienos e monzogranitos, com base no conteúdo total de elementos terras raras ( $\Sigma$  ETR) e nas relações  $La_N/Lu_N$  e  $Eu/Sm$ , estes autores dividem estas rochas em quatro grupos distintos (Tabela 14). Com base nestas razões, o Granito Cantão, assim como o xenólito, enquadrar-se-iam no grupo com "pequena ou nenhuma anomalia de Eu" (A razão para tal subdivisão é que a presença ou ausência de anomalia de Eu geralmente está relacionada a quantidade de equilíbrio do magma com o plagioclásio; por ex., anomalias de Eu crescentes em uma série de rochas vulcânicas pode indicar uma remoção progressiva de plagioclásio do magma, se esse mineral é observado como um fenocristal).

---

<sup>1</sup>  $Eu/Eu^*$  é a divisão da concentração de Eu normalizado ( $Eu_N$ ) pelo  $Eu^*$ , que é a interpolação entre  $Sm_N$  e  $Gd_N$ . Toda vez que o "N" vier após o símbolo do elemento químico, quer dizer que este valor está normalizado pelo padrão condritico.

TABELA 14 - Principais subdivisões das rochas sienograníticas e monzograníticas, com base no tipo e intensidade da anomalia de Eu, somatória dos elementos terras raras ( $\Sigma$  ETR) e nas relações Eu/Sm e  $La_N/Lu_N$ , segundo Cullers & Graf, 1984. Comparação com o Granito Cantão e com o xenólito.

ANOMALIA DE Eu	INTENSIDADE DA ANOMALIA	Eu/Sm	$\Sigma$ ETR	$La_N/Lu_N$
(-)	Pequena a moderada	0,09-0,23	106-877	2,5-50,0
(-)	Moderada a grande	0,0009 a 0,074	40-1977	1,1-22,0
(+)	-	0,41-10,7	40-210	4,8-9,7
(+) (-)	Pequena ou nenhuma	0,20-0,36	108-1426	4,5-137
GRANITO		0,26	130,86	68,4
XENÓLITO		0,22	180,82	58,1



No entanto, a partir dessas divisões em grupos com base nas relações anteriormente citadas, poucas conclusões podem ainda ser tomadas. As interpretações são bastante especulativas e há dificuldade de se fazer generalizações. Dessa maneira, haja visto o escopo deste trabalho, serão apenas citadas algumas hipóteses levantadas pelos autores supracitados, com vistas a uma pequena abordagem petrológica para o Granito Cantão, com base no seu conteúdo em ETR:

1) Inicialmente, a maior parte dos estudos das rochas graníticas ganha importância nos modelos de fusão parcial e da cristalização fracionada;

2) No caso das fusões ricas em álcali-feldspatos sem anomalias de Eu, se destaca o modelo da fusão parcial. Assim, tais fusões são geralmente tidas como primárias e sujeitas ao fracionamento do feldspato, ao invés de produzirem rochas associadas com anomalias de Eu;

3) Monzogranitos ou sienogranitos com alta relação ETRL/ETRP e sem anomalia de Eu, necessitam de granada na fonte, sem muito feldspato (fontes eclogíticas ou quartzo-eclogíticas);

4) Os modelos de cristalização fracionada geralmente focalizam a geração de rochas graníticas com maior teor em plagioclásio, através da cristalização do feldspato para aumentar a anomalia de Eu durante a diferenciação. Estas rochas também apresentam eclogitos como áreas fontes, com presença de plagioclásio.

## V QUADRO EVOLUTIVO DA ÁREA

O entendimento da situação geológica da área é dificultado face a complexidade estrutural e as similaridades petrográficas de suas rochas, além do elevado estado de intemperismo das mesmas. Os dados aqui obtidos permitem apenas se fazer um quadro preliminar de sua evolução, aliados aos dados já obtidos por outros autores.

Os parametamorfitos da área estudada (Santa Luzia - rio Peritoró), constituem restos de seqüências sedimentares antigas. Segundo Costa (1985), os filonitos carbonosos corresponderiam a folhelhos marinhos com tendência fosforítica e os filonitos bandados estariam relacionados a folhelhos normais, ambos depositados em águas não muito rasas, sob condições climáticas úmidas, redutoras e ligeiramente alcalinas. O fósforo teria sido depositado adsorvido nos argilo-minerais e matéria orgânica, e durante a diagênese mais antiga teria se transformado em *va*velita e *variscita*.

Para posicionar esses eventos no tempo geológico é preciso levar em consideração os eventos metamórficos subseqüentes que atuaram sobre essas rochas. A referência é feita ao intenso metamorfismo dinâmico — com esforços tectônicos compressivos — que atuou na área, objeto de estudo de Borges (1988). Esses processos se materializaram segundo uma tectônica tangencial de baixo ângulo, levando concomitantemente a formação de suítes miloníticas e vários tipos de zonas de cisalhamento, extensivamente desenvolvidas em toda a área.

Esses processos prevaleceram durante o Arqueano, devido as condições de "crosta" mais dúctil e elevado gradiente geotérmico (regime permóvel), se estendendo até o final do Proterozóico, já em menor intensidade.

Em relação aos fosforitos, esses não se formaram durante o Arqueano (Windley, 1986). Os primeiros depósitos vão aparecer no Proterozóico Inferior (2.200 Ma; Cook, 1984 in Costa, 1985), em menores quantidades, indo prevalecer no Proterozóico Médio.

Com base no exposto e correlacionando-se os processos metamórficos anteriormente descritos ao Evento Transamazônico (2.000 ± 200 Ma), a deposição/diagênese das seqüências psamo-pelíticas ricas em fósforo e matéria orgânica do Grupo Gurupi, não deve ter ultrapassado o Proterozóico Inferior. Essas rochas seriam portanto, como já

descrito por Costa (1985), precursoras das primeiras deposições de fosfatos na crosta terrestre.

Os fosfatos aluminosos da região de Santa Luzia, na forma como são encontrados atualmente (brechas, zonas de falhas e/ou veios de quartzo), podem ter sido remobilizados durante o Ciclo Transamazônico, na forma de soluções hidrotermais. Essas soluções ricas em fósforo migrariam e recristalizariam nessas estruturas preferenciais, na forma de crandalita, variscita ou vavelita.

Em relação ao Granito Cantão, os dados disponíveis sugerem tratar-se de um corpo intrusivo em condições anorogênicas, provavelmente de idade Brasileira, encaixado nos filonitos bandados do Grupo Gurupi. Os estudos realizados nos xenólitos dessa rocha e a sua correlação com folhelhos normais sugerem essa hipótese. Trata-se de um pluton formado a partir de magma calco-alcalino, com tendência sódica e sem mineralizações associadas.

No final do Ciclo Brasileiro, houve ainda a formação de sistemas de falhas em blocos. Nos grabens assim originados, encontram-se os sedimentos da Formação Piriá, admitida como Eopaleozóico (Costa et alii 1975 e 1977).

Desde o Paleozóico, até o Terciário-Quaternário, tem-se o desenvolvimento de discordâncias associadas aos ciclos erosivos, sendo os últimos registros na área, os lateritos que capeiam o topo dos morros, provavelmente relacionados a fase de podzolização tropical, de Costa (1984), de desenvolvimento regional.

## VI IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Na área mapeada são identificadas algumas ocorrências minerais de interesse econômico, principalmente para a indústria cerâmica e de construção civil.

No que diz respeito a primeira, é grande a ocorrência de caolinitas e sericitas no Grupo Gurupi, destacando-se a jazida da INCA, matéria-prima fundamental para a fabricação de lajotas cerâmicas.

A ocorrência de rochas graníticas a SE da área (Granito Cantão), permite a exploração em pedreiras, destinada principalmente para a obtenção de britas.

No que diz respeito aos fosfatos, é conhecida a sua importância como matéria-prima para os fertilizantes, na agricultura (Oliveira & Costa, 1984). Entretanto, nenhuma ocorrência significativa foi mapeada, além daquelas conhecidas na literatura, onde apesar dos teores relativamente elevados, as pequenas reservas não justificariam a exploração em escala industrial.

## VII AGRADecIMENTOS

Ao fim de um curso de graduação em uma universidade (brasileira), dentro da atual realidade econômica, política e social do nosso país, da qual infelizmente esta instituição não pode escapar, ao invés de se vangloriar, muito haveria que se lamentar!

O desfecho desses cinco (ou mais) anos para todos os novos bacharéis é o mesmo daquele ensaiado desde os primeiros dias de "cabeça raspada": Essa não era a universidade que eu esperava!

No entanto, o momento não é para lamúrias, pois esse é o espaço que existe, num trabalho desta envergadura, para que se possa fazer desabafos dessa espécie, e fundamentalmente, para que se possa agradecer; expressar um pouco de gratidão aquelas pessoas que me apoiaram e incentivaram a não desistir desta caminhada. Agradecer fundamentalmente aquelas pessoas que vivem de fato esta universidade e lutam para modificar esta situação, sem utilizá-la como "cabide" de empregos" ou para fins escusos de promoções e interesses pessoais.

Particularmente, nesta oportunidade, eu não poderia deixar de agradecer ao Professor Dr. Marcondes Lima da Costa, Mestre e Amigo, não apenas pela orientação neste e nos outros trabalhos, mas por me ter iniciado na pesquisa científica, acreditando e investindo nos estudantes novatos.

Aqueles Professores do Centro de Geociências, dos quais eu tive prazer de ser aluno, e que hoje não preciso virar a cabeça nos corredores. Que nunca se relaxem ou se enquadrem naqueles ensinadores que nos fazem sentir vergonha de ser estudantes de um curso superior.

Ao seu Albino dos Anjos; ao Arlindo da xerox; a Dona Letícia e a Dona Judith da biblioteca; e ao Natalino, do laboratório de análises químicas, funcionários da UFPA que sempre me ajudaram e estiveram sempre dispostos a servir.

E as Instituições:

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsa de pesquisa nesses dois últimos anos, que servem de grande estímulo e apoio (\$) para nossos estudos.

Ao Projeto Fosfatos na Amazônia, no qual este trabalho está inserido, pelo suporte financeiro.

Num âmbito mais pessoal:

Ao povo da minha paróquia: os padres franciscanos, o grupo de jovens, o pessoal da missa das crianças e do Centrão, a toda essa gente amiga que sempre me apoiou indiretamente, que rezou por mim e que torce pelo meu sucesso.

A dois amigos muito especiais: a Dona Anésia e ao Jorge Edson a quem eu muito quero bem.

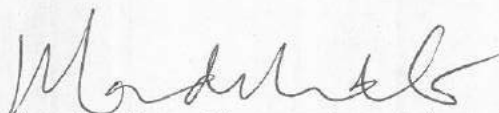
E finalmente, a minha família, meus pais e meus irmãos, a quem ofereço este trabalho. Infelizmente, pouca coisa eles entenderão do que aqui foi escrito, mas isso não será o mais importante, pois a sabedoria deles enxergará mais longe; e o que interessa para eles, eu espero seja mostrado no nosso dia-a-dia.... pois a luta continua...

Muito obrigado por tudo !

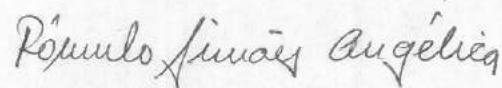
## VIII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F.A.M. de; VILLAS, R.N.N.; HASUY, Y. - 1980 - Esboço estratigráfico do Pré-Cambriano da Região do Gurupi, estados do Para e Maranhão. An. XXXI Cong. Bras. Geol., 2:647-658. Camboriú.
- ANGÉLICA, R.S. e BORGES, M.S. - 1987 - Mapeamento geológico e prospecção de fosfatos na região de Santa Luzia - Rio Guamá. Relatório interno de pesquisa - CNPq (Inédito), 25 p.
- BIONDI, J.C. - 1986 - Depósitos de Minerais Metálicos de Filiação Magmática. CBMM/T.A. QUEIROZ, Editor. São Paulo, 602 p.
- COSTA, J.L.; VILLAS BOAS, J.M.; PASTANA, J.M.N; WANDERLEY, V.J.R.; ARAÚJO, A.A.F.; FRIZZO, S.J. - 1975 - Projeto Gurupi; Relatório Preliminar. Belém, DNPM/CPRM, v. 1, 251 p.
- COSTA, J.L.; ARAÚJO, A.A.F.; VILLAS BOAS, J.M.; FARIA, C.A.S.; NETO, C.S.S.; WANDERLEY, V.J.R. - 1977 - Projeto Gurupi; Relatório Final. Belém, DNPM/CPRM, v. 1, 258 p.
- COSTA, M.L. - 1982 - Petrologisch - Geochemische Untersuchungen zur Genese der Bauxite und Phosphat - Laterite der Region "Gurupi" (Ost-Amazonien). Erlangen (RFA), 189 p. (Dissertação de Doutorado).
- COSTA, M.L. - 1984 - A Dinâmica da Formação das Lateritas: o exemplo do NE do Pará e do NW do Maranhão. An. XXXIII Cong. Bras. Geol., 10: 4.823-4837. Rio de Janeiro.
- COSTA, M.L. - 1985 - Petrologia e geoquímica dos xistos carbonosos de Santa Luzia (Ourém-PA). An. II Simp. Geol Amaz., 2:18-32. Belém.
- CULLERS, R.L. & GRAF, J.L. - 1984 - Rare Earth Elements in Igneous Rocks of the Continental Crust: Intermediate and Silic Rocks - Ore Petrogenesis. In: RARE EARTH ELEMENT GEOCHEMISTRY. P. HENDERSON (Editor). Elsevir, 510 p.
- DUTRA, C.V. - 1984 - Método para Determinação de Traços e Subtraços de Terras Raras em Rochas por Espectrometria de Plasma - ICP - Aplicação em Petrogênese. An. XXXIII Cong. Bras. geol., 10:4792-4805. RJ.
- DUTRA, C.V.; SAD, J.H.G; SOARES, A.C.P. - 1986 - Terras Raras em Lito-geoquímica - Um exemplo de distribuição em rochas graníticas. Rev. Bras. Geoc. 16(2):224-228.

- FRANCISCO, B.H.R.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, D.F.; SILVA, G.G. - 1971 - Contribuição a geologia da folha de São Luís (SA-23) no Estado do Pará. Bol. Ser. Geol., MPEG, Belém.
- HENDERSON, P. - 1984 - General Geochemical Properties and Abundances of the Rare Earth Elements. In: RARE EARTH ELEMENTS GEOCHEMISTRY. Paul Henderson (Editor). Elsevier, 510 p.
- NARDI, L.V.S. - 1986 - As rochas granitóides da série shoshonítica. Re vista Bras. Geoc. 16(1): 3-10.
- OLIVEIRA, N.P. - 1977 - Fosfatos da Região de Santa Luzia (Nordeste do Estado do Pará). Tese de Mestrado. NCGG/UFGA (inédito).
- OLIVEIRA, N.P. e COSTA, M.L. - 1984 - Os Fosfatos Aluminosos do Pará e do Maranhão: Estágio atual de conhecimentos e estratégia para o aproveitamento econômico. Rev. Ciências da Terra, 10:16-19.
- SCHROLL, E. - 1975 - Analytische Geochemie. Methodik. In zwei Bänden. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart (RFA), 292 p.
- STRECKEISEN, A. - 1976 - To each plutonic rock its proper name. Earth Sci. Rev., 12:1-33.
- VERÍSSIMO, C.U.V. - 1986 - Contribuição a geologia de Ourém - Capitão Poço (PA). Trabalho de Conclusão de Curso (Inédito). CG/UFGA.
- WINDLEY, B.F. - 1977 - The Evolving Continents. John Wiley & Sons, Editor, 385 p.



Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa



Rômulo Simões Angélica



## A N E X O II

Foram feitas análises químicas quantitativas parciais para 36 amostras e análises químicas totais para o Granito Cantão e seu Xenólito. Para isto, foram utilizados os seguintes métodos:

- a) MÉTODO GRAVIMÉTRICO: SÍLICA e PERDA AO FOGO ( $H_2O^+$ )
- b) MÉTODO VOLUMÉTRICO: ALUMÍNIO e FERRO II
- c) MÉTODOS ESPECTROANALÍTICOS
  - Colorimetria: P, Ti e Fe (total)
  - Absorção Atômica: Ca, Mg, Na, K e Mn
  - Fluorescência de Raios-X: Nb, Y, Zr, Rb e Sr

Foram ainda feitas análises para os Elementos Terras Raras por Espectrometria de Plasma - ICP, nos laboratórios da GEOSOL-GEOLAB, para o Granito Cantão e seu Xenólito.

O cálculo da norma CIPW foi feito através de programa de computador pertencente ao Prof Tomas Scheller, do Centro de Geociências.

### I) ABERTURA

Para todas as amostras foi feita abertura alcalina (fusão), em cadinhos de platina, utilizando como fundente o Tetraborato de Lítio ( $Li_2B_4O_7$ ). Seguiu-se o seguinte roteiro:

- 1) Pesar 0,2g do material pulverizado para um cadinho de platina. Secar, antes de pesar, na estufa, a 120°.
- 2) Pesar 0,8g do fundente, separadamente, depois misturá-lo aos poucos com o material pesado, tendo o cuidado da mistura ficar bem homogênea.
- 3) Levar o cadinho à mufla, a 900°, durante 1 hora.
- 4) Após a fusão, o cadinho ainda em rubro é levado a um becker com um pouco d'água (choque térmico), tendo-se o cuidado da água não penetrar no cadinho.

- 5) Depois de soltar do cadinho, o material fundido e fragmentado é passado à água do becker e cuidadosamente tratado com 10ml de  $\text{HNO}_3$  1:1.
- 6) Retira-se o cadinho cuidadosamente com um bastão de vidro, lavando-o bem com água destilada, para não perder material (Não esquecer de anotar o número do cadinho no becker).
- 7) Evapora-se a mistura em banho de areia até a secura (Não esquecer de cobrir o becker com um vidro de relógio).
- 8) Depois da secura, umidecer com 5ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado e novamente levar até a secura.
- 9) Adiciona-se 10 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado e deixa-se a solução em repouso para que todos os sais sejam transformados em nitratos.
- 10) Dilui-se a solução acrescentando 100ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada e aquecer até o ponto de ebulição.
- 11) Esperar esfriar e filtrar para um balão (no meu caso de 200ml), com papel de filtro lento.
- 12) Seguindo esta técnica, tudo será dissolvido, -menos a sílica, que fica retida no papel de filtro, cujo tratamento será dado depois.
- 13) O filtrado será a solução estoque. É a partir dela que serão tomadas alíquotas para a determinação de cada elemento químico a ser analisado.

OBSERVAÇÕES A SEREM SEGUIDAS EM TODAS AS ANÁLISES: Toda a vidraria deve ser muito bem lavada, antes e depois da análise, geralmente seguindo-se a seguinte ordem:

- 1) Bastante água (da torneira)
- 2) Sabão ou detergente
- 3) Bastante água da torneira
- 4) ácido diluído
- 5) Água destilada

Toda a vez que houver referência a água, daqui pra frente, está implícito que se trata de água destilada.

## II) SÍLICA

- 1) Tomar o papel de filtro com o resíduo (especificado no item 12 do roteiro da abertura) secos, dobrar e colocar cuidadosamente dentro de um cadinho de platina.
- 2) O cadinho é levado ao bico de bunsen para ser carbonizado. Deixá-lo inicialmente sobre a tela de amianto, até que o papel fique amarelado e comece a chamuscar, sem pegar fogo.

3) Após o papel ficar totalmente enegrecido, retirar a tela e levar o cadinho diretamente a chama, até que o resíduo fique completamente branco. Depois, calcinar o material a 900°.

4) deixar esfriar num dessecador (30 minutos) e pesar a quantidade  $Q_1$ .

5) A sílica do cadinho é então umidecida com duas gotas de  $H_2SO_4$  concentrado mais 10 ml de HF concentrado (Quando usar HF, utilizar material de plástico e nunca de vidro).

6) O cadinho é colocado em banho de areia e a solução é evaporada completamente. Esfriar e adicionar mais 10 ml de HF concentrado.

7) Evaporar novamente até a secura, calcinar 10 minutos na mufla e depois esfriar, para agora pesar a quantidade  $Q_2$ .

8) A quantidade de  $SiO_2 = Q_1 - Q_2$ . Para se saber a % de sílica, parte-se da quantidade inicial do material pesado, através da relação:

$$\begin{array}{rcl} 0,2g & - & 100\% \\ Q SiO_2 & - & x\% \end{array}$$

### III) ALUMÍNIO (Método do EDTA)

1) Pipetar 25 ml da solução estoque (filtrada da sílica) para um becker de 400 ml e adicionar duas gotas de azul de bromofenol.

2) Adicionar NaOH 22% gota a gota, com uma pipeta, até viragem para o azul; colocar em excesso 5 ml até ficar com uma cor marrom, que é o Ferro III que está precipitando (Pode-se usar KOH).

3) Levar ao banho de areia para digerir durante 30 minutos.

4) Esfriar, filtrar com papel médio para um erlenmeyer de 250 ml.

5) Colocar uma gota de azul de bromofenol, depois adicionar HCl concentrado gota a gota até a viragem do azul para o amarelo e mais 5 gotas.

6) Juntar 10 ml de uma solução de EDTA 0,05 M.

7) Colocar  $NH_4OH$  1:1 gota a gota, até o aparecimento de um azul claro.

8) Juntar 10 ml de uma solução Tampão pH 4,5.

9) Levar ao Bico de Bunsen para ebulição durante 5 minutos.

10) Esfriar e colocar 40 ml de álcool etílico e 10 ml de água.

11) Titular com  $ZnSO_4$  0,05 M em presença de solução alcoólica de ditizina 0,02% (1 ml). A cada titulação, zerar a bureta e anotar o volume gasto de  $ZnSO_4$ . A solução ficará com uma cor púrpura.

Cálculo da % de  $Al_2O_3$  (Ex. da amostra 12)

$$\begin{array}{rcl} 1000 \text{ ml EDTA} & \text{---} & 1 \text{ M} & \text{---} & 51 \text{ g (PM } Al_2O_3) \\ 1 \text{ ml EDTA} & \text{---} & 1 \text{ M} & \text{---} & 51 \text{ mg} \\ 1 \text{ ml EDTA} & \text{---} & 0,05 \text{ M} & \text{---} & \underline{2,55 \text{ g de Al}_2O_3} \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 V \text{ consumido EDTA} &= V \text{ gasto EDTA} * f \text{ EDTA} - V \text{ gasto ZnSO}_4 * f \text{ ZnSO}_4 \\
 V &= 10 * 1 - 8,65 * 1 \\
 V &= 10 - 8,65 \\
 V &= 1,35 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1 \text{ ml EDTA} &\text{ ————— } 0,05 \text{ M} && 2,55 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \\
 1,35 &\text{ ————— } 0,05 \text{ M} && \underline{3,4425 \text{ mg Al}_2\text{O}_3}
 \end{aligned}$$

a diluição utilizada foi: 0,2 — 200 — 25

logo, a massa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é igual a:  $m = \underline{3,4425 \text{ mg Al}_2\text{O}_3} / 25 \text{ ml}$

$$\begin{array}{r}
 3,4425 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ ————— } 25 \text{ ml} \\
 x \text{ ————— } 200 \text{ ml} \qquad \qquad \qquad \underline{x = 27,54 \text{ mg}}
 \end{array}$$

$$200 \text{ mg} \text{ ————— } 100 \%$$

$$27,54 \text{ mg} \text{ ————— } x$$

$$x = \underline{13,77 \% \text{ Al}_2\text{O}_3}$$

#### IV) FERRO II

- 1) Pesar 0,5 g da amostra bem pulverizada e transferir para um cadinho de Teflon com tampa.
- 2) Adicionar 5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:1 e agitar. Adicionar 5 ml de HF concentrado e cobrir o cadinho com a tampa firmemente. Colocar o cadinho num banho de areia e aquecer por 15 minutos, até entrar em ebulição suave.
- 3) Remover o cadinho e transferir o seu conteúdo quantitativamente para um becker de 600 ml contendo 300 ml de água recém fervida e gelada. À esse becker já deve ter sido adicionado 10 g de ácido bórico, que deverá ser dissolvido, 15 ml da mistura  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4$  e 10 gotas do indicador difenilamino sulfonato de sódio. A operação deve ser rápida, porque nas condições normais, o ferro II oxida muito rapidamente.
- 4) Titular a solução com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,1 N, até o aparecimento de uma cor púrpura.

Cálculo da % do ferro II

$$\begin{aligned}
 1000 \text{ ml K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 &\text{ — } 1 \text{ N} && 71,85\text{g(PM FeO)} \\
 1 \text{ ml K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 &\text{ — } 1 \text{ N} && 71,85 \text{ mg FeO} \\
 1 \text{ ml K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 &\text{ — } 0,1 \text{ N} && 7,185 \text{ mg FeO} \\
 V \text{ gasto} &\text{ — } 0,1 \text{ N} && x
 \end{aligned}$$

$$x = \frac{V \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 * 0,1 * 7,185}{1 * 0,1} = 2,05 * 7,128$$

$$x = 14,73 \text{ mg FeO}$$

$$500 \text{ mg} \text{ — } 100 \%$$

$$14,73 \text{ mg} \text{ — } x$$

$$x = 2,95 \% \text{ FeO}$$

#### V) FÓSFORO

Para esta análise foram feitas três diluições diferentes, de acordo com a concentração de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em cada amostra. No entanto, para simplificar, será apresentada apenas uma diluição, pois o restante é apenas repetição. Será feita uma descrição bem detalhada, que será utilizada para qualquer análise colorimétrica.

Para a preparação dos padrões, partindo-se de uma solução estoque de 100 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , usa-se a seguinte relação: Qual o volume (alíquota) que se deve tomar de uma solução 100 ppm, para que ela fique 2 ppm num balão de 50 ml ? Ou seja:

$$V * C = V' * C'$$

$$V * 100 = 50 * 2$$

$$V = 1 \text{ ml}$$

logo, teremos os seguintes padrões:

$$V = 0 \quad V = 1 \text{ ml} \quad V = 2 \text{ ml} \quad V = 3 \text{ ml}$$

$$C = 0 \text{ ppm} \quad C = 2 \text{ ppm} \quad C = 4 \text{ ppm} \quad C = 6 \text{ ppm}$$

Preparação das amostras + padrões

- 1) Juntar 1 ml da amostra em um balão de 50 ml
- 2) juntar 0,1, 2 e 3 ml da solução estoque de 100 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em balões de 50 ml, cada.
- 3) Adicionar tanto na amostra como nos padrões, na seguinte ordem, os seguintes reagentes: 5 ml de  $\text{HNO}_3$  1:1; 5 ml de Metavanadato de Amônio 0,25% e 10 ml de Molibdato de Amônio 5%. Completar o volume com água.

Os complexos devem apresentar coloração amarela, sendo que a intensidade de cor da maior amostra não deve ultrapassar o maior padrão.

Fator de Diluição (fd)

$$0,2 \xrightarrow{1000} 200 \xrightarrow{1} 50$$

(quantidade usada na abertura) balão (alíquota tomada) balão

$$fd = 1000 * 50 = 50.000$$

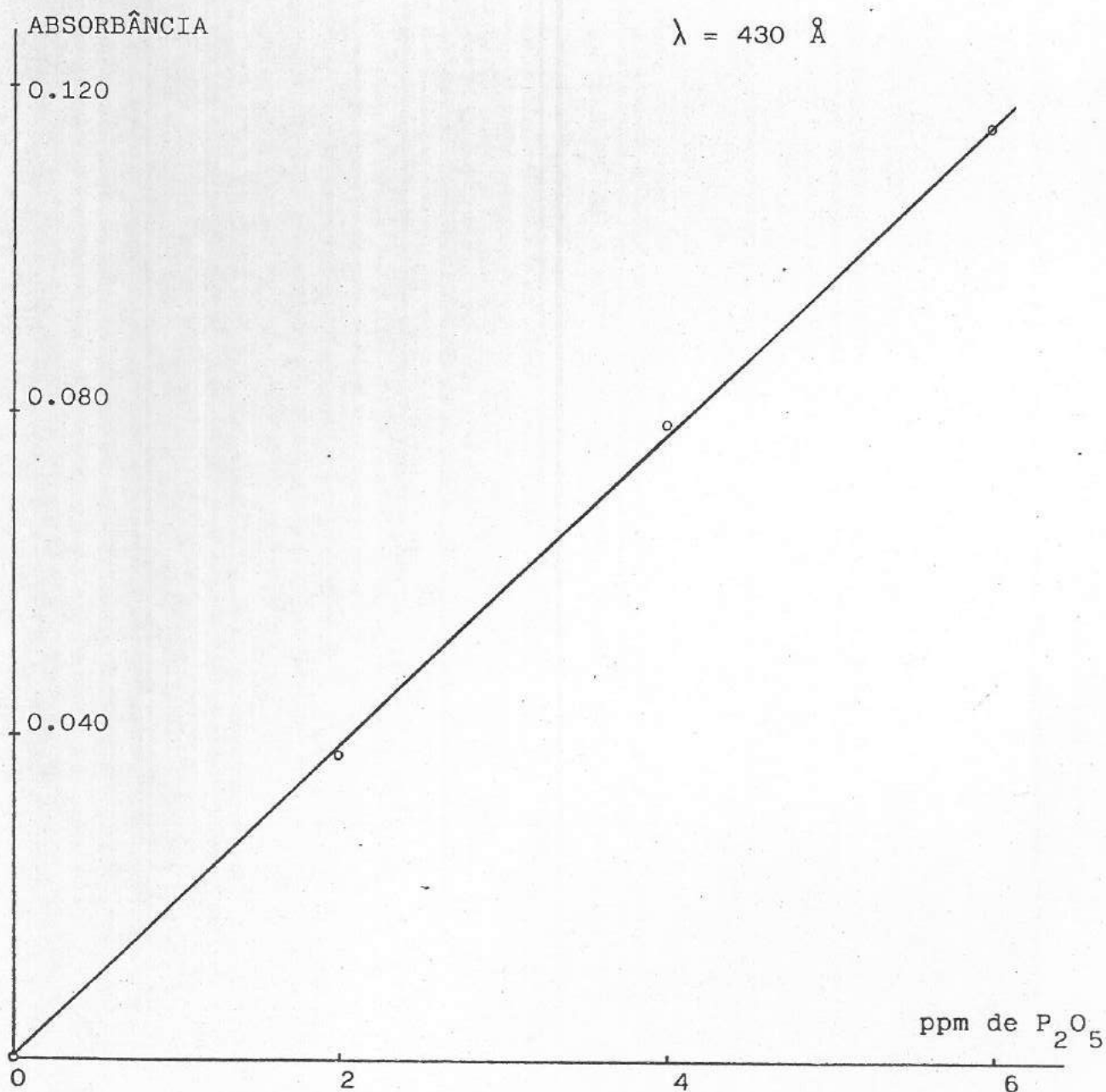
como 1% — 10.000 ppm  
x — 50.000 ppm

$$\text{Fator de Conversão } fc = \frac{fd}{10.000} \text{ em \%} \quad fc = 5$$

logo:  $\boxed{\% \text{ amostra} = x \text{ ppm} * fc}$  Fórmula 1

Absorbância - De acordo com a maior ou menor quantidade de fósforo nas amostras, estas desenvolverão uma intensidade de cor maior ou menor, respectivamente. O aparelho (espectrocolorímetro) irá "ler" justamente essa variação na intensidade da cor e exprimi-la na forma de "valores de absorbância".

Curva de Calibração - Para se saber a % de  $P_2O_5$  na amostra, constrói-se uma curva de calibração, onde no eixo das ordenadas serão plotados os valores de absorbância e no eixo das abcissas os valores da concentração em ppm. Após ler o valor em ppm, aplicando-se a fórmula 1, encontra-se o valor em %.



Amostra	Absorbância	ppm	%
Padrão 0	0.000	0	0
Padrão 2	0.038	2	10
Padrão 4	0.078	4	20
Padrão 6	0.116	6	30
PSL-19	0.024	1,24	6,2
PSL-31	0.062	3,2	16,0

## VI) FERRO TOTAL

Partindo-se de uma solução estoque de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de 100 ppm, com alíquotas de 0, 1, 2, 3, 4 e 5 ml, construiu-se padrões de 0, 1, 2, 3, 4 e 5 ppm, respectivamente, em balões de 100ml, conforme as relações anteriormente mostradas no procedimento para o fósforo.

Preparação das amostras + padrões:

- 1) Juntar 1 ml da amostra em balão de 100 ml;
- 2) Juntar 0,1,2,3,4 e 5 ml da solução estoque de 100 ppm de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , em balões de 100 ml cada;
- 3) adicionar tanto na amostra como nos padrões, na seguinte ordem, os seguintes reagentes: 5 ml de solução de Cloridrato de Hidroxilamina a 10%; 10 ml de solução de Orto-Fenantrolina (0,1%); 10 ml de solução de Citrato de Sódio (10%); completar os volumes com água destilada.

Os complexos devem apresentar coloração vermelho-sangue.

Fator de Diluição (fd) e Fator de Conversão (fc)

$$0,2 \xrightarrow{1000} 200 \xrightarrow{100} 1 \xrightarrow{100} 100$$

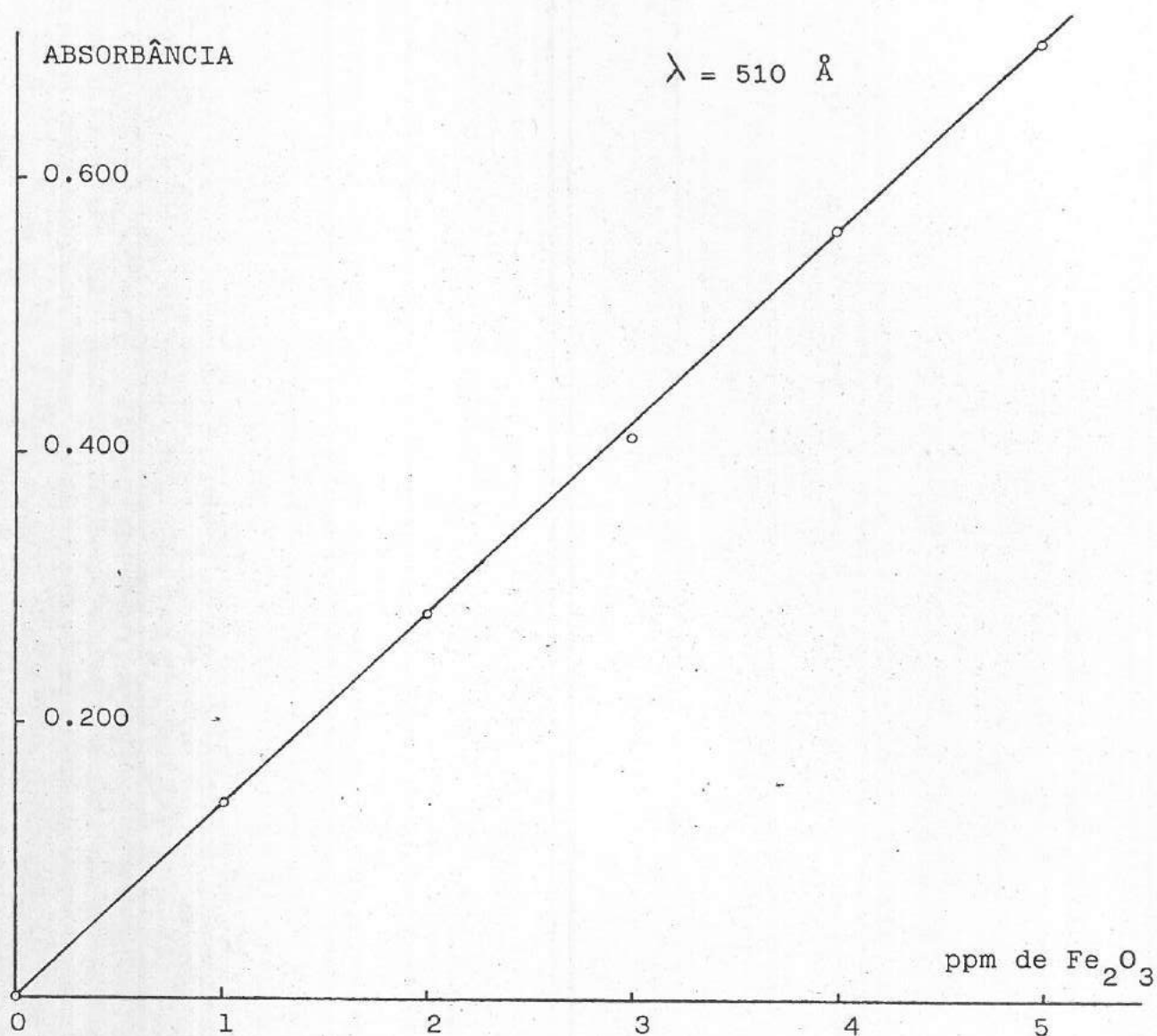
$$fd = 1000 * 100 = \underline{100.000}$$

$$fc = \frac{fd}{10.000} \quad fc = \underline{10}$$

logo, de acordo com a fórmula 1:

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = x \text{ ppm} * 10$$

Amostra	Absorbância	ppm	%
Padrão 1	0,142	1	10
Padrão 2	0,283	2	20
Padrão 3	0,417	3	30
Padrão 4	0,572	4	40
Padrão 5	0,703	5	50



## VII) TITÂNIO

Partindo-se de uma solução estoque de  $\text{TiO}_2$  de 40 ppm, com alíquotas de 0, 5, 10 e 15 ml, construiu-se padrões de 0, 4, 8 e 12 ppm, respectivamente, em balões de 50 ml.

Preparação dos padrões + amostras:

- 1) Juntar 10 ml da amostra em balão de 50 ml;
- 2) Juntar 0, 5, 10 e 15 ml da solução estoque de 40 ppm de  $\text{TiO}_2$  em balão de 50 ml cada;
- 3) Adicionar tanto nas amostras como nos padrões, na seguinte ordem, os seguintes reagentes: 10 ml de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  2:3; 10 ml de  $\text{H}_2\text{O}_2$  6% e completar o volume com água destilada.

Os complexos devem mostrar coloração amarelada, sendo que as leituras no aparelho devem ser feitas em cubetas maiores e rapidamente após serem preparados, pois eles são bastante instáveis, perdendo coloração com o tempo.





Para o material a ser analisado na absorção atômica, o procedimento na preparação dos padrões e amostras é praticamente o mesmo, sendo que não são adicionadas soluções complexantes e sim soluções tampões, para diminuir a interferência de determinados elementos sobre o elemento que se quer determinar. Além disso, é preciso adicionar o "branco", na mesma quantidade da alíquota da amostra a ser analisada. Para se preparar o branco, repete-se o mesmo procedimento da abertura, com todos os reagentes utilizados, sem colocar a amostra, é claro.

Antes da preparação dos padrões e amostras, geralmente é feita uma leitura preliminar diretamente na amostra (solução estoque), para se ter uma idéia da concentração aproximada do elemento e a quantidade da solução tampão a ser adicionada. De acordo com essa leitura preliminar, faz-se uma diluição que se enquadre em uma curva padronizada (estas curvas se encontram no laboratório). Essa etapa deve ser acompanhada pelo químico do laboratório.

É importante lembrar que as análises na absorção atômica fornecem a concentração do elemento químico, enquanto que na colorimetria é obtida a concentração na forma do óxido do elemento químico.

Os procedimentos descritos a seguir, foram executados apenas para o Granito Cantão e o Xenólito, cujas análises foram em duplicata, com a seguinte simbologia: Granito (G e G') e Xenólito (X e X').

### VIII) MAGNÉSIO

a) Granito (preparação da amostras + padrões)

- Juntar 5 ml da amostra em balão de 50 ml
- juntar 0, 1, 2 e 3 ml do solução estoque de 10 ppm de Mg em balões de 50 ml para que eles fiquem 0; 0,2; 0,4 e 0,6 ppm, respectivamente.
- Adicionar tanto na amostra como nos padrões 5 ml da solução tampão de La 5%. Completar o volume com água destilada.
- As leituras foram feitas com  $\lambda = 570,4 \text{ \AA}$

Fator de Diluição (fd) e Fator de Conversão (fc)

$$0,2 \xrightarrow{1000} 200 \xrightarrow{5} 5 \xrightarrow{10} 50 \quad \text{fd} = 10.000 \quad \text{fc} = 1$$

Na absorção atômica a concentração do elemento também é expressa em valores de absorbância. Durante estas análises, esses valores



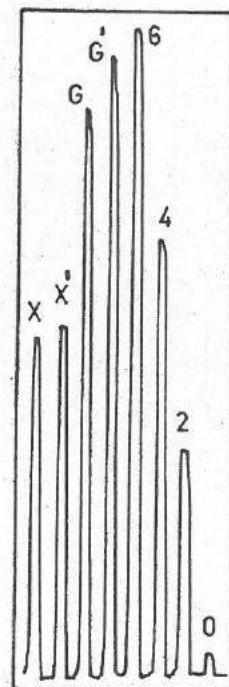
## IX) CÁLCIO

### a) Granito (preparação das amostras + padrões)

- Juntar 20 ml da amostra em balão de 25 ml.
- Juntar 0, 1, 2 e 3 ml da solução estoque de Ca de 50 ppm, em balões de 25 ml, para que eles fiquem 0, 2, 4 e 6 ppm, respectivamente.
- Adicionar tanto na amostra como nos padrões 4 ml da solução tampão de La 0,5%. Adicionar somente nos padrões, 20 ml do branco.
- Completar o volume com água destilada.
- Fazer as leituras com  $\lambda = 422.7 \text{ \AA}$

1000                      1.25  
0,2 — 200 — 20 — 25

$f_d = 1250$        $f_c = 0,125$



PADRÕES/ AMOSTRAS	ALTURA DO PICO (cm)	ppm (Ca)	% Ca (x0,125)	% CaO (x1,399)
0	0,3	0	0	0
2	3,0	2	0,25	0,35
4	5,75	4	0,5	0,67
6	8,5	6	0,75	1,05
G	7,45	5,26	0,65	0,91
G'	8,1	5,72	0,71	0,99

### b) Xenólito (preparação dos padrões + amostras)

- Juntar 5 ml da amostra em balão de 25 ml.
- Utilizar os mesmos padrões usados para o granito.
- Adicionar nas amostras 4 ml de solução tampão de La 0,5 %.
- Completar o volume com água destilada
- Fazer as leituras com  $\lambda = 422.7 \text{ \AA}$

1000                      5  
0,2 — 200 — 5 — 25

$f_d = 5.000$        $f_c = 0,5$

PADRÕES/ AMOSTRAS	ALTURA DO PICO (cm)	ppm (Ca)	% Ca (x 0,5)	% CaO (x1,399)
0	0,3	0	0	0
2	3,0	2	1	1,399
4	5,75	4	2	2,798
6	8,5	6	3	4,197
X	4,45	3,03	1,52	2,13
X'	4,46	3,04	1,58	2,21

## X) POTÁSSIO

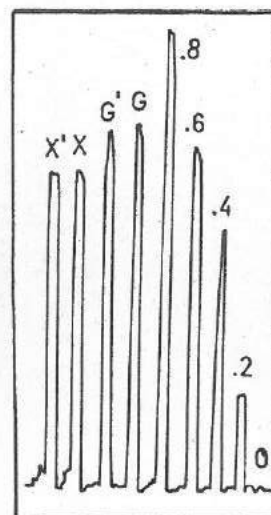
Para este elemento foi necessária apenas uma diluição para o granito e o xenólito.

Preparação da amostras + padrões:

- Juntar 1 ml da amostra em balão de 25 ml.
- Juntar 0; 0,5; 1; 1,5 e 2 ml de uma solução de K 10 ppm, em balões de 25 ml, para que eles fiquem 0; 0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 ppm.
- Adicionar tanto nas amostras como nos padrões 2,5 ml de uma solução tampão de Cs 1%. Adicionar somente nos padrões 1 ml do branco.
- Completar o volume com água destilada e ler em  $\lambda = 766,5 \text{ \AA}$

$$0,2 \xrightarrow{1000} 200 \xrightarrow{25} 1 \xrightarrow{25} 25 \quad \underline{fd = 25.000} \quad \underline{fc = 2,5}$$

PADRÕES/ AMOSTRAS	ALTURA (cm)	ppm (K)	% K (x2,5)	% K <sub>2</sub> O (x 1,205)
0	-	0	0	0
0,2	1,25	0,2	0,5	0,60
0,4	3,40	0,4	1,0	1,20
0,6	4,55	0,6	1,5	1,81
0,8	6,10	0,8	2,0	2,41
G	4,8	0,61	1,52	1,83
G'	4,7	0,59	1,49	1,80
X	4,2	0,53	1,33	1,60
X'	4,15	0,52	1,32	1,59



## XI) SÓDIO

Para este elemento, de acordo com a leitura preliminar, também foi necessária apenas uma diluição para o granito e o xenólito.

Preparação das amostras + padrões:

- Juntar 20 ml da amostra em balão de 25 ml.
- Juntar 0, 1, 2, 3 e 4 ml de uma solução 100 ppm de Na, em balões de 25 ml, para que eles fiquem 0, 20, 40, 60 e 80 ppm, respectivamente.
- Adicionar tanto nas amostras como nos padrões, 1 ml de solução tampão de Cs 1%. Adicionar somente nos padrões, 20 ml do branco. Completar o volume com água destilada e ler em  $\lambda = 330,2 \text{ \AA}$ .

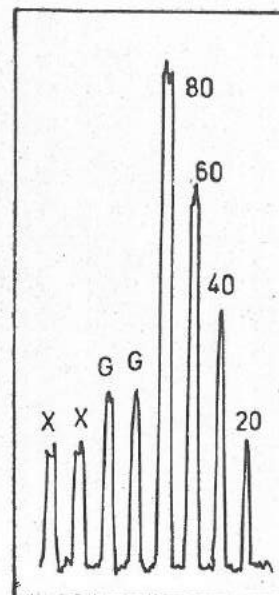
1000  
0,2 — 200 — 20 — 25

1,25

fd = 1250

fc = 0,125

PADRÕES/ AMOSTRAS	ALTURA (cm)	ppm (Na)	% Na (x0,125)	% Na <sub>2</sub> O (x 1,35)
0	-	0	0	0
20	1,7	20	2,5	3,37
40	3,35	40	5,0	6,74
60	5,0	60	7,5	10,1
80	6,45	80	10,0	13,5
G	2,3	27,3	3,41	4,59
G'	2,2	26,1	3,26	4,39
X	1,6	18,9	2,37	3,19
X'	1,55	18,4	2,30	3,09

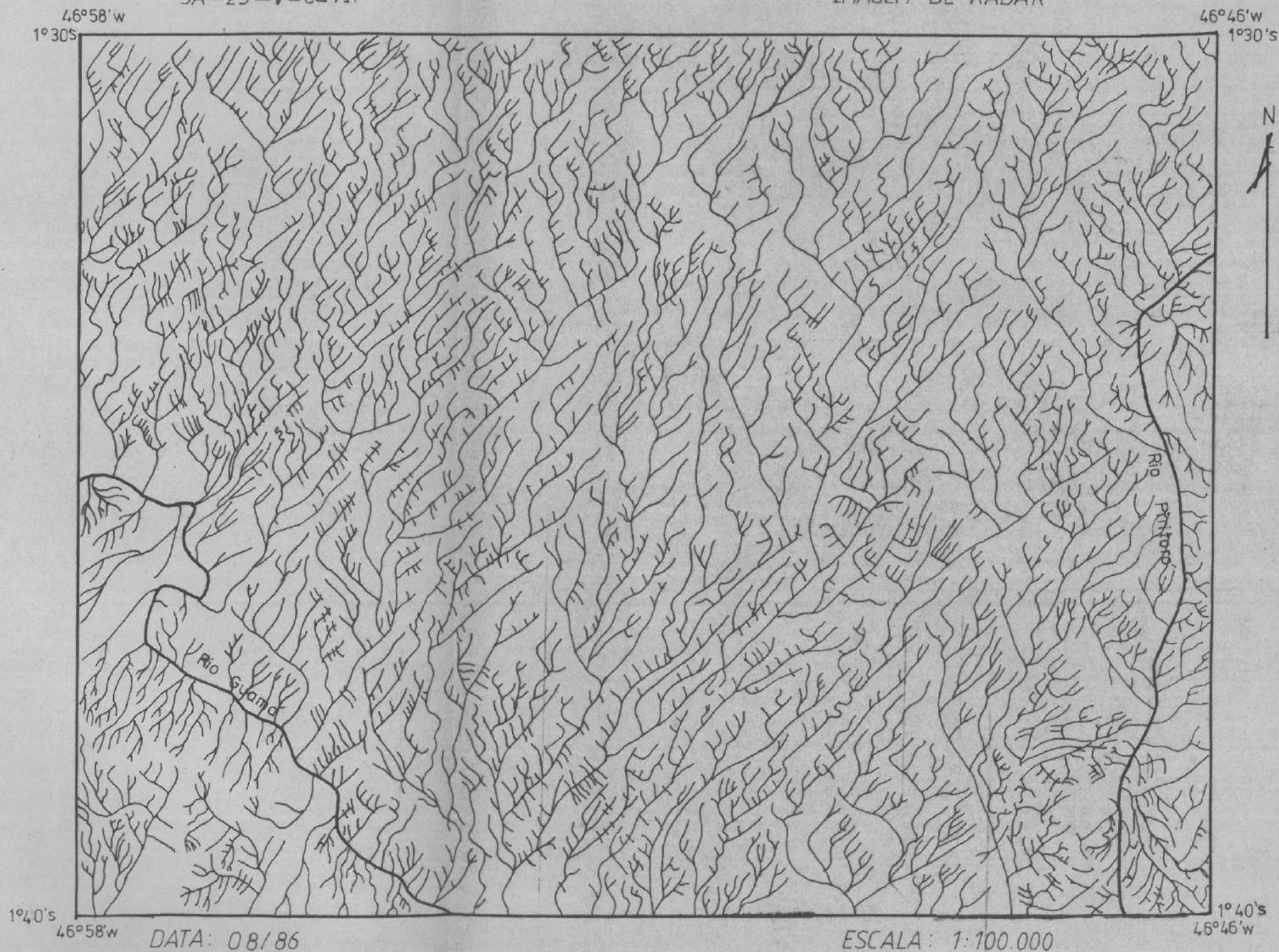


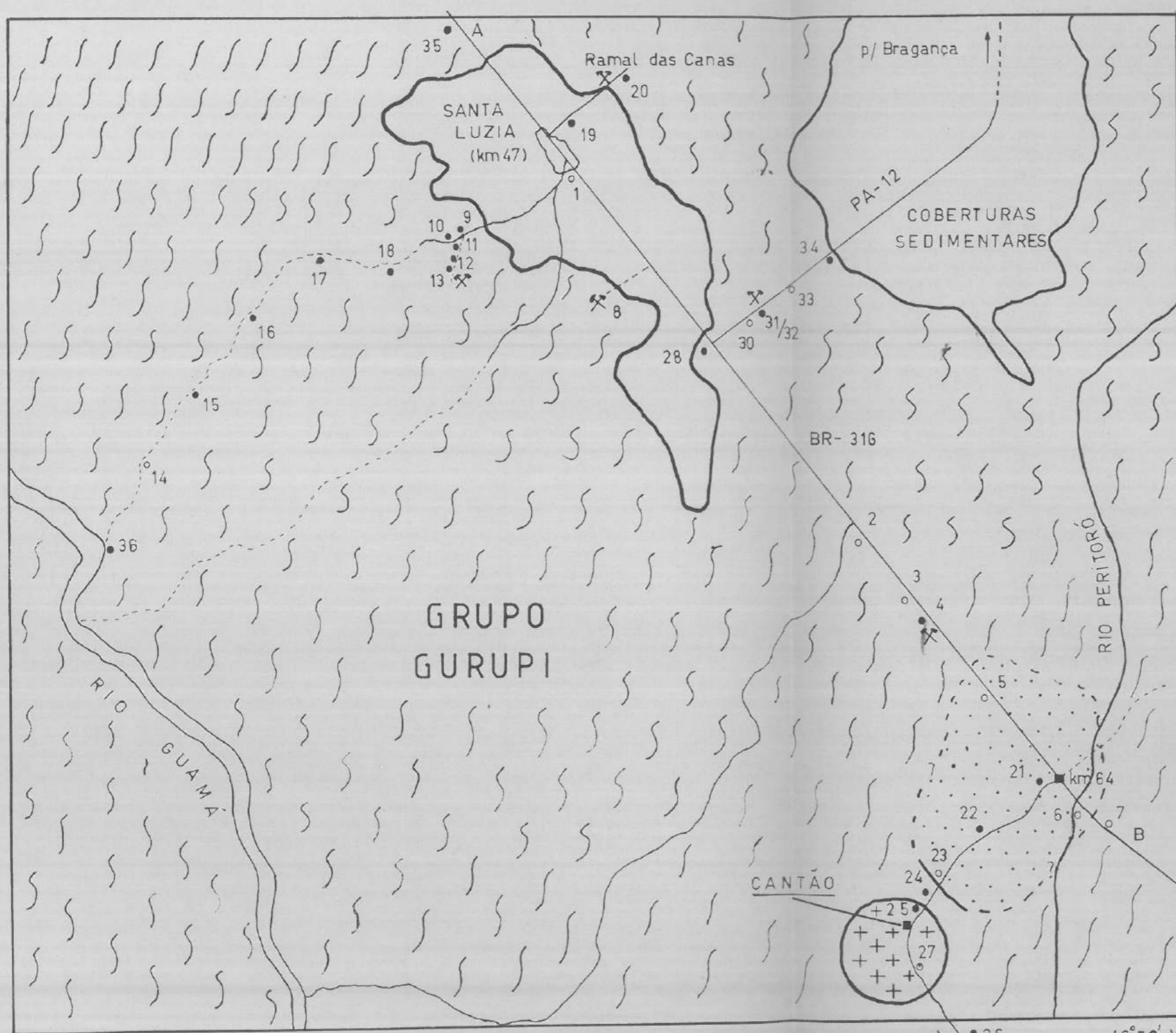
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS

MAPA DE DRENAGEM

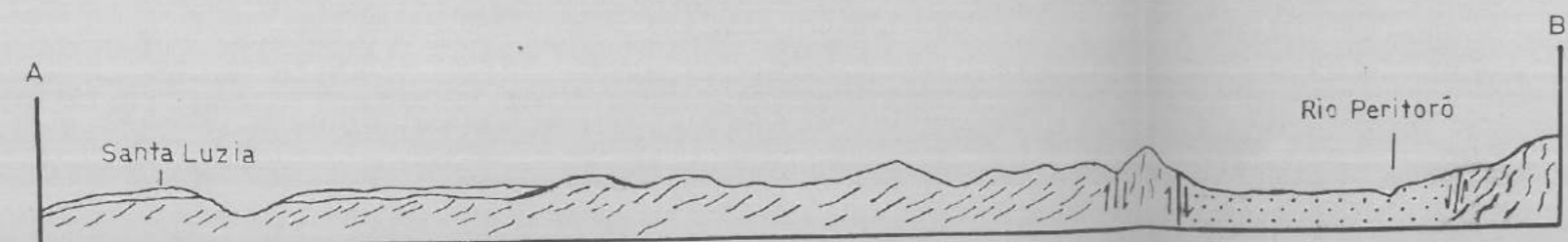
SA-23-V-C-VI.

IMAGEM DE RADAR





SEÇÃO GEOLÓGICA

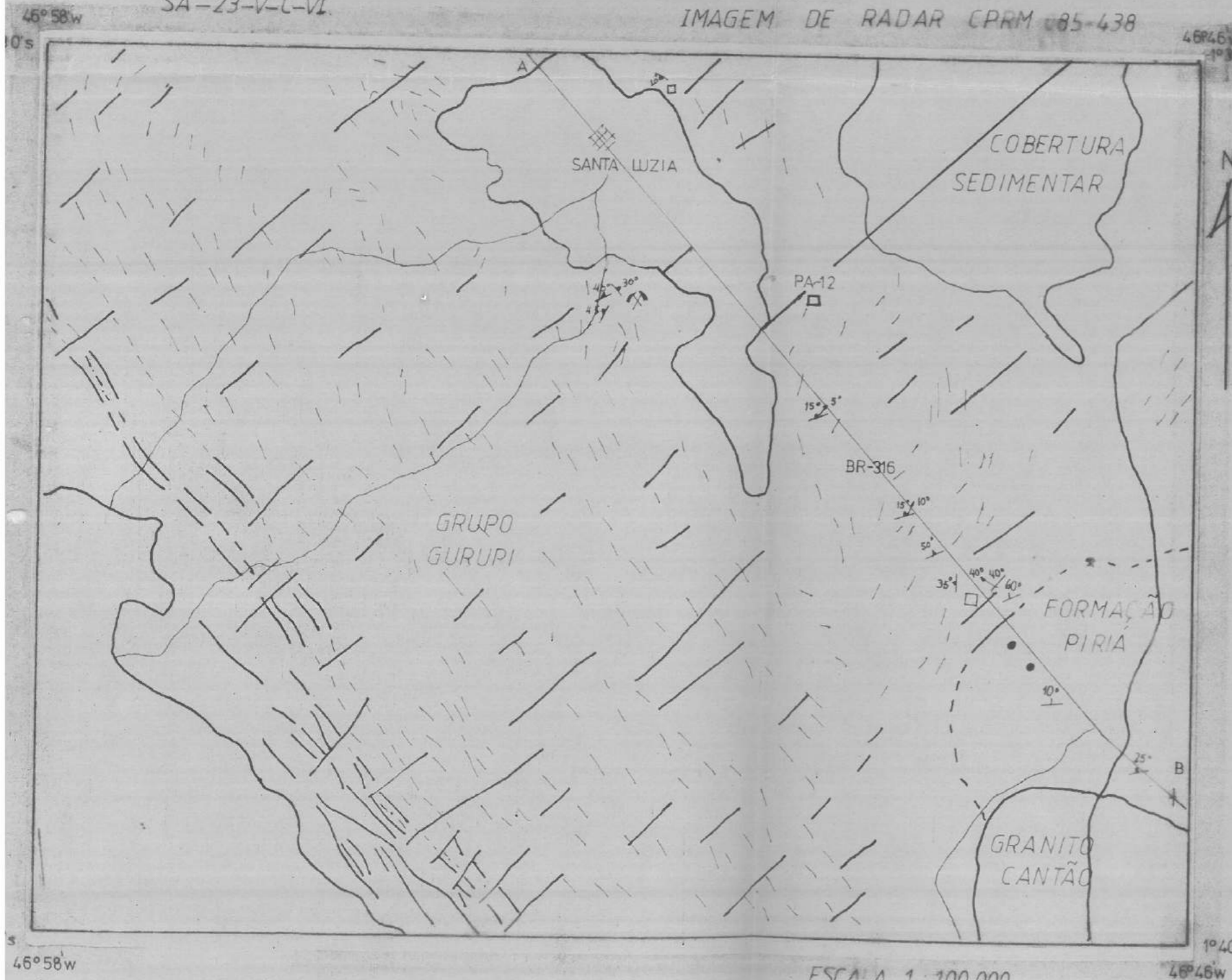




MAPA GEOLÓGICO

SA-23-V-C-VI

IMAGEM DE RADAR CPRM 85-438

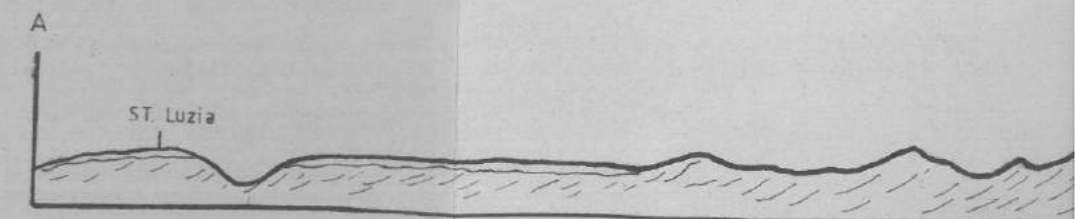


LEGENDA:

- Quebra Negativa (CONTATO GEOLÓGICO)
- Quebra Positiva
- Falha? Indiscriminada
- Falha Normal, onde  
a: Bloco Alto  
b: Bloco Baixo
- VI — Zona Fototectônica
- Foliação
- Foliação Com Caimento
- Acamamento C/ Caimento
- Acamamento Horizontal
- Lineação Mineral
- Acamamento Subvertical
- Foliação Subvertical
- Ocorrência de Fosfatos
- Jazida de Sericita-Caolinita (INCA)


ESCALA 1:100.000

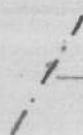
SEÇÃO GEOLÓGICA




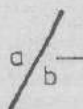
6°46'w  
1°30's

LEGENDA:


 — Quebra Negativa  
(CONTATO GEOLÓGICO)


 — Quebra Positiva


 — Falha? Indiscriminada


 — Falha Normal, onde  
a: Bloco Alto  
b: Bloco Baixo


VI — Zona Fotolitológica


 — Foliação


 — Foliação Com Caimento

 — Acamamento C/ Caimento


 — Acamamento Horizontal

 — Lineação Mineral

 — Acamamento Subvertical

 — Foliação Subvertical

 — Ocorrência de Fosfatos

 — Jazida de Sericita—Caolinita (INCA)

SEÇÃO GEOLÓGICA

