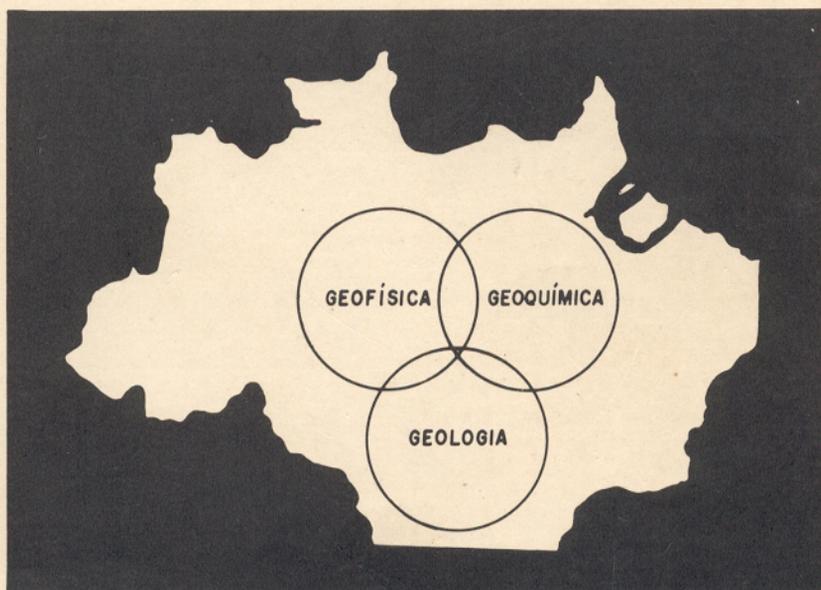


TESE DE MESTRADO

FOSFATOS DA REGIÃO DE SANTA LUZIA
(NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ)

NILSON PINTO DE OLIVEIRA



NÚCLEO DE CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLÓGICAS

FOSFATOS DA REGIÃO DE SANTA LUZIA
(NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ)

Por :

Nilson Pinto de Oliveira

TESE DE MESTRADO EM GEOQUÍMICA

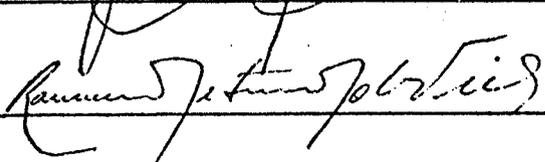
Aprovação da Banca Examinadora :



(Roland G. Schwab)
Orientador



(Juan Rolando Z. Roncal)



(Raimundo Netuno N. Villas)

ÍNDICE DOS ASSUNTOS

<u>ASSUNTO</u>	<u>PÁGINA</u>
ABSTRACT	1
RESUMO	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. ASPECTOS GEOGRÁFICOS	5
2.1. Localização e extensão da área	5
2.2. Clima e vegetação	5
2.3. Acesso	7
3. MÉTODOS DE TRABALHO	8
3.1. Técnicas de campo	8
3.2. Técnicas de laboratório	9
4. GEOLOGIA	11
4.1. Geologia regional	11
4.2. Geologia da área	12
4.2.1. Estratigrafia	12
4.2.1.1. Grupo Gurupi	12
4.2.1.1.1. Quartzo xisto ...	12
4.2.1.1.2. Xisto grafitoso..	15
4.2.1.1.3. Sericita filito..	16
4.2.1.2. Grupo Barreiras	17
4.2.2. Estrutura	18
5. OS FOSFATOS DA REGIÃO DE SANTA LUZIA	21
5.1. Relações de campo	21
5.1.1. Ocorrência 1	21
5.1.2. Ocorrência 2	22
5.1.3. Ocorrência 3	23
5.1.4. Ocorrência 4	23
5.2. Dados mineralógicos	24
5.2.1. Difractometria de Raios X	24
5.2.2. Análise química	26
5.2.3. Métodos termo-analíticos	26
5.2.4. Elementos traços	27

<u>ASSUNTO</u>	<u>PÁGINA</u>
6. CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE DOS FOSFATOS	31
6.1. Condições normais de formação da crandalita ...	31
6.2. Dados geológicos	31
6.3. Distribuição dos elementos traços	33
6.4. Idade	36
7. A SITUAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE SANTA LUZIA EM RELAÇÃO AOS OUTROS DEPÓSITOS DE FOSFATOS DA REGIÃO PARÁ - MA RANHÃO	37
8. CONCLUSÕES	41
9. AGRADECIMENTOS	43
10. APÊNDICES	44
Apêndice 1. Determinação dos elementos traços dos fosfatos por espectrografia de emissão..	45
Apêndice 2. Determinação colorimétrica do P ₂ O ₅	59
Apêndice 3. Descrição das seções delgadas das rochas estudadas	63
Apêndice 4. Fotomicrografias	67
Apêndice 5. Mapa geológico da área de Santa Luzia ..	70
11. REFERÊNCIAS	71

ÍNDICE DAS ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

	<u>PÁGINA</u>
Figura 1. Mapa de localização	6
Figura 2. Coluna estratigráfica da área	13
Figura 3. Diagrama DTA para a crandalita de Santa Luzia	28
Figura 4. Variação das concentrações dos elementos traços dos fosfatos	34
Figura 5. Ocorrências de fosfatos na região Pará - Maranhão	38
Figura 6. Curvas fotométricas	49
Figura 7. Curvas analíticas para boro e berílio	52
Figura 8. Curvas analíticas para chumbo e vanádio	53
Figura 9. Curva analítica para o cobre	54
Figura 10. Curvas analíticas para níquel e cromo	55
Figura 11. Curva padrão para colorimetria	62

TABELAS

Tabela 1. Análise difratométrica de raios X para a crandalita	25
Tabela 2. Análise difratométrica de raios X para a vavelita	25
Tabela 3. Composição química da crandalita (ocorrência 1)	26
Tabela 4. Variação de massa da crandalita com a temperatura	27
Tabela 5. Amostras de fosfatos analisadas por espectrografia de emissão	30
Tabela 6. Concentrações de alguns elementos traços dos fosfatos de Santa Luzia	30
Tabela 7. Composição do padrão 1000 ppm para a análise espectrográfica	45

TABELASPÁGINA

Tabela 8.	Proporções de matriz e padrão 1000 ppm utilizados para a preparação dos padrões para a análise espectrográfica	46
Tabela 9.	Linhas analíticas utilizadas para a leitura dos valores da "função P"	48
Tabela 10.	Valores da "função P" para os padrões para espectrografia	50
Tabela 11.	Intensidade das linhas analíticas para os padrões	50
Tabela 12.	Valores de $(I_{el}/I_{Ge} - I_{o_{el}}/I_{o_{Ge}})$ utilizados para a confecção das curvas analíticas	51
Tabela 13.	Cálculo do limite de detecção para o berílio ..	56
Tabela 14.	Valores da "função P" para as amostras	58
Tabela 15.	Concentração X absorvância dos padrões para colorimetria	60
Tabela 16.	Absorvância e concentrações das amostras analisadas por colorimetria	61

ABSTRACT

Four occurrences of aluminum phosphates in Santa Luzia, Pará State, Brazil were studied in terms of their field relations, mineralogy and trace element contents. Crandallite is the dominant phosphate and less frequently wavellite can be found. The phosphates occur in metamorphic pre-Cambrian rocks of the Gurupi Group and are essentially structurally controlled. A disseminated level of crandallite at the basis of the metamorphic sequence, probably originated from the alteration of sedimentary apatite, is considered to be the source of phosphate which was dissolved by solutions flowing through it. These phosphorous-rich solution moved upward and precipitated phosphate-bearing minerals in the upper units of that metamorphic sequence.

The occurrences have no economical value in the mapped area but the presence of a crandallite level with about 16 wt. % P_2O_5 leads to consider prospecting for phosphate in the neighboring areas to be attractive.

RESUMO

O mapeamento geológico de uma área de 64 km² no NE do Estado do Pará, Brasil, foi executado e quatro ocorrências de fosfatos de alumínio aí contidas foram estudadas em termos de suas relações de campo, mineralogia e conteúdo em elementos traços. A crandalita é o fosfato predominante, com a vavelita ocorrendo em menores quantidades. As ocorrências estão encaixadas em rochas metamórficas pré-cambrianas pertencentes ao Grupo Gurupi e são, em grande parte, estruturalmente controladas. Um nível de crandalita disseminada existente na base da sequência metamórfica e provavelmente originado por alteração de apatita sedimentar, é considerado a fonte do fósforo remobilizado que deu origem as outras ocorrências da área.

As ocorrências não apresentam interesse econômico nos limites da área mapeada, mas a presença de um nível de crandalita disseminada com cerca de 16% em peso de P₂O₅ torna interessante a prospecção de fosfatos nas regiões vizinhas.

1. INTRODUÇÃO

As primeiras evidências da ocorrência de fosfatos nas vizinhanças do povoado de Santa Luzia, Município de Ourém, Pará, foram obtidas por alunos do Curso de Geologia da UFPa. em dezembro de 1973 durante a realização de um trabalho de campo naquela área. Observações mais acuradas efetuadas por pesquisadores do NCGG em 1975 demonstraram a existência de 4 ocorrências principais de fosfatos nas proximidades de Santa Luzia, distantes entre si até um máximo de 7 km e compostas essencialmente de fosfatos de alumínio e cálcio.

Embora as dimensões das porções aflorantes dos depósitos localizados fossem bastante reduzidas e a possibilidade de seu aproveitamento econômico remota, considerou-se oportuna a realização de um trabalho de detalhe na área, com vistas ao melhor entendimento das ocorrências e de suas relações, tentando a partir daí, estabelecer critérios que possibilitassem a determinação futura das relações entre os depósitos de Santa Luzia e as outras ocorrências de fosfatos de alumínio existentes na região fronteira Pará-Maranhão.

Os trabalhos para a determinação das relações geológicas regionais entre os depósitos de fosfatos da região Pará-Maranhão, e o conseqüente estabelecimento de critérios para a prospecção de novas ocorrências na área devem, a custa das dificuldades que o meio natural impõe às campanhas geológicas (forte intemperismo, espessa cobertura de solo e vegetação, e pobreza em afloramentos), ser iniciados pelo estudo de detalhe de cada ocorrência e sintetizados pela integração dos dados assim obtidos. Estudos dessa natureza, cuja necessidade é reforçada pelo avanço atingido em outros países na tecnologia de aproveitamento de fosfatos de alumínio para a fabricação de fertilizantes (SSPT 1971; Abreu, 1973; Suszczynski, 1975), podem levar a descoberta de uma solução alternativa para o problema de fertilizantes no país, aplicável, em particular, ao aproveitamento mais racional dos solos extremamente lixiviados e empobrecidos da Região Bragantina.

A literatura geológica referente aos depósitos de fos fatos citados é escassa, relacionando-se principalmente aos existen tes na ilha de Trauíra e na chapada de Pirocaua, no Maranhão, e, em menor escala, ao de Itacupim, no Estado do Pará. Para as ocorrên cias menores como a da serra do Cansa Perna, Santa Luzia e Tracua teua, que compõem a faixa oeste da área de afloramentos de fosfatos na região, as referências bibliográficas são praticamente inexisten tes.

O presente trabalho tem a finalidade de preencher parte da lacuna de informações referentes aos depósitos de Santa Luzia, particularmente em termos de suas relações de campo, mineralogia e geoquímica. Para este fim foram utilizados dados obtidos no mapea mento geológico da área das ocorrências, no estudo de suas paragêne ses e na análise dos elementos traços contidos nos fosfatos afloran tes na área, úteis como indicadores das condições nas quais eles se formaram.

2. ASPECTOS GEOGRÁFICOS

2.1. Localização e extensão da área

A área estudada tem a forma de um quadrado de 64 km², limitado pelas coordenadas 01°27'58"S - 01°32'27"S e 46°51'21"W - 46°55'49"W Gr., e contido na folha SA.23-V-C (Castanhal), segundo o corte cartográfico internacional (fig. 1). O povoado de Santa Luzia fica localizado na sua porção centro-oeste, às margens da Rodovia BR-316. O quadrilátero abrange terrenos pertencentes aos Municípios de Ourém e Bragança, limitados no local pelo curso do rio Curibas; as terras situadas a direita deste rio fazem parte do Município de Bragança, enquanto aquelas localizadas na sua margem esquerda pertencem ao Município de Ourém.

2.2. Clima e vegetação

O clima na área de Santa Luzia caracteriza-se pela presença de duas estações anuais distintas: a estação chuvosa, que se estende de meados de dezembro a início de junho, com chuvas praticamente todos os dias, e a estação seca, onde as chuvas são raras e as estiagens prolongadas, que predomina durante o restante do ano.

A este clima tipicamente equatorial úmido não se associa, no entanto, a vegetação exuberante característica de grande parte da Região Amazônica. Ao contrário, a vegetação predominante é composta de árvores de baixo a médio porte e arbustos densamente distribuídos, que se associam formando um emaranhado de difícil penetração, compondo a típica capoeira.

A capoeira, como já acentuado por Ackermann (1966), é um tipo de vegetação secundária desenvolvida em áreas de solos empobrecidos pela intensa lixiviação, facilitada principalmente pela queima da mata original para a implantação de roçados, prática até hoje comum em toda a Região Bragantina.

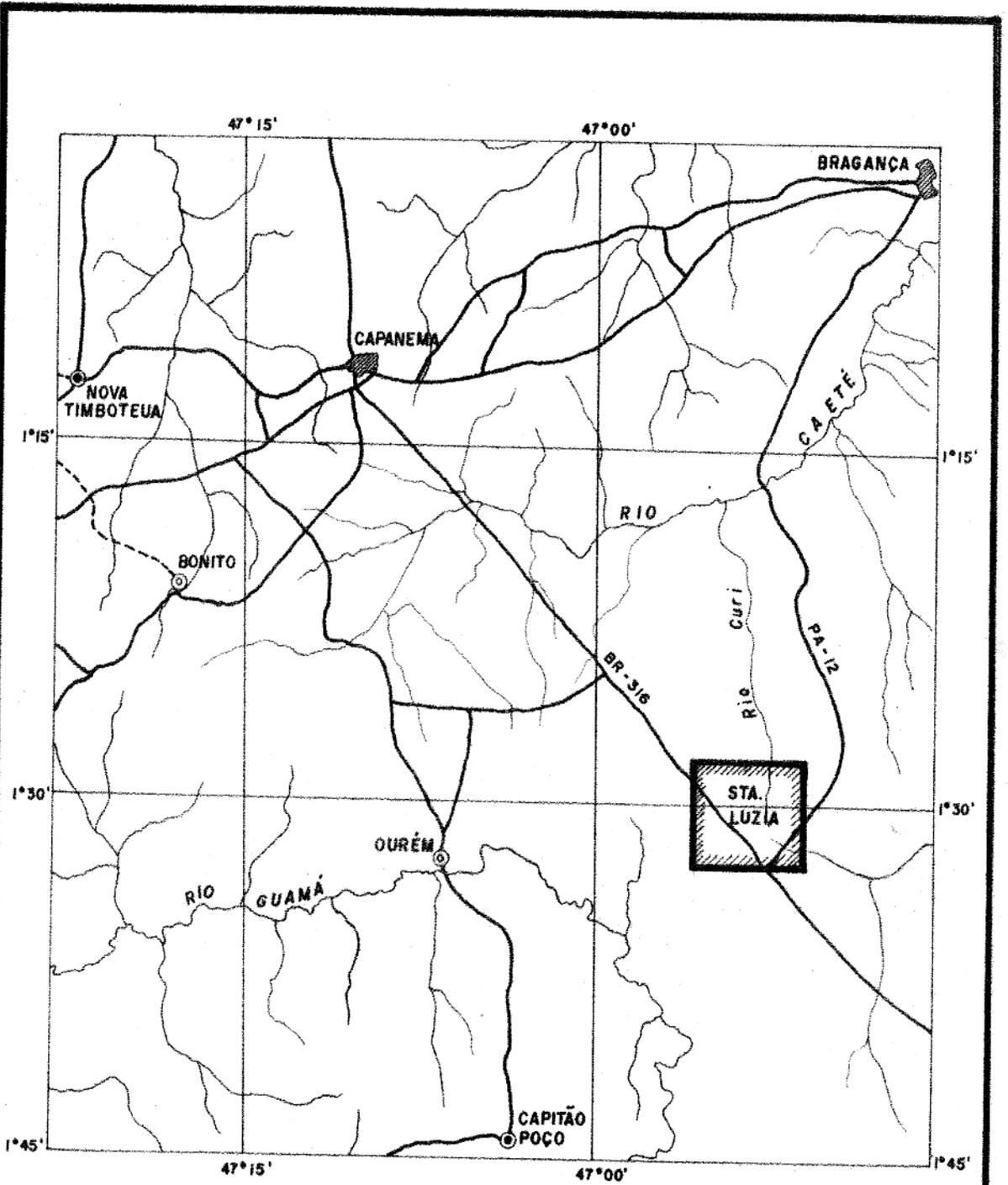
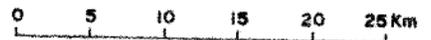


FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO

 Área estudada



2.3. Acesso

A base logística natural para os trabalhos na área é o povoado de Santa Luzia, a partir do qual, através de caminhos e estradas, pode-se atingir todos os pontos da mesma. Santa Luzia localiza-se na região de maior densidade populacional do Estado do Pará, a Região Bragantina, sendo por isso de fácil acesso a partir de centros maiores. A rodovia BR-316 (Pará-Maranhão) é a via de acesso mais comumente utilizada a partir de Belém, de qual o povoado dista cerca de 200 km.

3. MÉTODOS DE TRABALHO

3.1. Técnicas de campo

O trabalho de campo constou do mapeamento geológico da área e da coleta de amostras de rochas e minerais (fosfatos) para análise em laboratório.

Para a confecção do mapa planimétrico base da área, assim como do mapa geológico, foi utilizado o método passo-bússola. O emprego deste método tornou-se necessário pela inexistência de mapas ou fotografias aéreas em escala apropriada para o tipo de detalhe pretendido. Fotografias multiespectrais em escala 1:130.000 do Projeto Radam, foram empregadas, no entanto, como guias para a determinação dos grandes traços estruturais com continuidade regional que aparecem na área.

A limitação da precisão do mapa geológico apresentado deve ser atribuída a 3 fatores principais: 1) o método empregado na sua confecção; 2) o pequeno número de bons afloramentos da área e 3) o baixo relevo da área.

As influências do primeiro e do último fator são óbvias. O segundo merece, no entanto, ser ressaltado. Além dos afloramentos existentes ao longo das rodovias BR-316 e PA-12 poucos outros são encontrados na área que forneçam informações importantes. A maioria é de pequena extensão e encontra-se bastante afetada pelo intemperismo, permitindo pouco mais que a identificação da rocha aflorante. Em muitos locais a localização mais precisa dos contatos se tornou impraticável em virtude da cobertura de solo e/ou vegetação existente. A representação no mapa geológico das estruturas assim mascaradas no campo, foi feita através de linhas tracejadas, admitindo-se uma variação lateral máxima possível, a partir da localização mostrada no mapa, da ordem de 70 m para cada margem.

A escolha dos pontos de amostragem de rochas foi determinada unicamente pela disponibilidade de rocha fresca aflorante. Na realidade, apenas do quartzo xisto, mais resistente ao intemperismo

rismo, obteve-se amostras integralmente frescas. O xisto grafitoso apresentava-se em geral moderadamente alterado e o sericita filito bastante alterado.

As amostras de fosfatos foram também coletados nos pontos onde se encontravam mais frescas. Nos locais onde amostras dessa natureza não se encontravam disponíveis em superfície, foram abertos poços para amostragem, o que garantiu a coleta de espécimes integralmente inalterados.

3.2. Técnicas de Laboratório

As técnicas de laboratório empregadas na execução deste trabalho constaram do estudo de minerais através de difratometria de raio x e métodos termo-analíticos, análise de elementos traços por espectrografia de emissão, análise colorimétrica para a determinação do teor de P_2O_5 em minerais e rochas e do estudo de seções delgadas de rochas ao microscópio. Todo o procedimento analítico foi desenvolvido no laboratório de Geoquímica da UFFa, com exceção da análise por via úmida da crandalita, efetuada no Instituto de Mineralogia da Universidade Erlangen-Nuremberg, República Federal da Alemanha.

Os tipos mineralógicos de fosfatos foram identificados através de difratometria de raio x. Dados adicionais sobre a crandalita foram obtidos através de análises termo-diferencial e termogravimétrica.

A análise dos elementos traços dos fosfatos foi processada através de espectrografia de emissão. Foram efetuadas análises quantitativas para 7 elementos em 10 amostras de fosfatos representativas das ocorrências da área. O padrão interno utilizado foi o germânio e as linhas analíticas foram selecionadas entre aquelas sugeridas por Ahrens et al (1961). A descrição da metodologia utilizada é apresentada em detalhe no apêndice 1.

O teor de P_2O_5 em 3 amostras de minerais e 1 de rocha foi determinado através do método colorimétrico. A técnica utilizada baseia-se na coloração amarelada adquirida por uma solução de vanadomolibdato de amônio, quando em contato com uma solução fos

fatada. O procedimento é descrito no apêndice 2.

Foram estudadas ainda 8 seções delgadas de rochas da área, cujas descrições são apresentadas no apêndice 3.

4. GEOLOGIA

4.1. Geologia regional

A geologia da área paraense abrangida pela folha SA-23 foi alvo de pouco mais de uma dezena de trabalhos importantes. Entre aqueles de significação para a definição da estratigrafia regional destacam-se os de Ackermann (1964, 1969), Francisco et alii (1971), Arantes et alii (1972) e Nunes et alii (1973).

Segundo Arantes et alii (1972) ocorrem nesta área rochas de idade pré-Cambriana, representadas por granitos-gnaisses migmatizados de idade Arqueana e pelos filitos e clorita xistos do Grupo Gurupi, metassedimentos de possível idade Eopaleozóica, e uma sequência sedimentar Cenozóica, que se estende do Mioceno inferior ao Quaternário recente, onde se incluem as rochas do Grupo Barreiras.

A idade do Grupo Gurupi é admitida por todos os autores como pré-Cambriana superior e, embora o grupo tenha sido reconhecido como uma unidade estratigráfica importante já em 1936 por Pedro de Moura, que o cognominou de "Série Gurupi" (Francisco et alii, 1971), ele permanece até o momento estratigraficamente indiviso.

Informações sobre a idade e gênese dos fosfatos da região Pará-Maranhão são disponíveis apenas para a ocorrência da ilha de Trauíra, no Maranhão. As origens propostas variam da fosfatização de uma laterita (Abreu, 1973) a laterização de um depósito subenriquecido em fósforo (Suszczyński, 1975). Em ambos os casos, no entanto, a gênese do depósito é associada a época de formação das bauxitas do Vale Amazônico, atribuída ao Período Terciário.

De acordo com os dados geofísicos obtidos pela Petrobras, citados por Arantes et alii (1972), as estruturas geológicas proeminentes na área são as feições do tipo "Horst-Graben" limitadas por falhas de direções NW-SE e NNE-SSW, que foram originadas por deslocamentos de blocos do embasamento cristalino, possivelmente a partir do Mesozóico, à custa da reativação de linhas de fraqueza de idade Proterozóica.

4.2. Geologia da área

4.2.1. Estratigrafia

As rochas aflorantes na área mapeada consistem de meta sedimentos do Grupo Gurupi e rochas sedimentares Cenozóicas do Gru po Barreiras (figura 2), além daquelas que compõem as ocorrências de fosfatos estudadas, de extensão areal bem mais reduzida. A dis tribuição das unidades observadas é apresentada no mapa geológico do apêndice 5.

4.2.1.1. Grupo Gurupi

As rochas metamórficas ocorrentes na área são atribuídas ao Grupo Gurupi e se apresentam em três tipos litológicos distintos: quartzo xisto, xisto grafitoso e sericita filito. O contato entre os dois primeiros é gradacional, enquanto que o contato entre o xis to grafitoso e o sericita filito ocorre sempre, na área, ao longo de planos de falhas. A deformação mais pronunciada do xisto grafito so em relação ao sericita filito sugere, embora não demonstre, a existência de uma relação discordante entre eles.

4.2.1.1.1. Quartzo xisto

O quartzo xisto é a unidade basal de toda a sequência estratigráfica da área. Essa rocha tem granulação fina a média ⁽¹⁾, coloração cinza clara, é bastante compacta, apresenta-se frequente mente cortada por veios milimétricos de quartzo e, mais raramente,

(1) A classificação granulométrica das rochas, assim como os valo res referentes aos diâmetros das partículas, são aqui utiliza dos, salvo indicação em contrário, no sentido empregado por Williams et alii (1955), p. 279.

IDADE	UNIDADE LITOSTRATIG.	SIMBOLOGIA	ESPESS. (m)	RESUMO DA DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
Terciário	Gf. Barreiras		+ 4	ARENITO ARGILOSO VERMELHO, FRIÁVEL, COM NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS E ACAMAMENTO HORIZONTAL.
PRÉ - CAMBRIANO	GRUPO GURUPI		?	SERICITA FILITO VERMELHO ESCURO A AMARELO CINZA COM SERICITA, QUARTZO, CLORITA, EPIDOTO, ALBITA E OPACOS, CORTADO POR VEIOS DE QUARTZO E GERALMENTE BASTANTE DECOMPOSTO.
			+200	XISTO GRAFITOSO CINZA COM SERICITA, QUARTZO, GRAFITA, CLORITA, EPIDOTO E ALBITA, BASTANTE DEFORMADO E CORTADO POR VEIOS DE QUARTZO E VÊNULAS DE VAVELITA.
			+ 40	QUARTZO XISTO PASSANDO LOCALMENTE A QUARTZO-MUSCOVITA XISTO, COR CINZA CLARO, FINO A MÉDIO, DURO, COM QUARTZO, SERICITA (MUSCOVITA), CLORITA, ALBITA, ESFENO, ZIRCÃO E GRANADA. CORTADO POR FINOS VEIOS DE QUARTZO E CRANDALITA, E CONTENDO UM NÍVEL DE DISSEMINAÇÕES DE CRANDALITA.

FIG. 2 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA ÁREA

de crandalita e mostra-se, em geral, pouco decomposta pelo intemperismo. Sua área principal de afloramento localiza-se na região central do anticlinal a NW da Falha de Santa Luzia, mas um afloramento menor é observável ao norte da área mapeada. Apesar de sua maior resistência ao intemperismo a rocha pouco se salienta topograficamente em relação ao xisto grafitoso e ao sericita filito, e seu melhor afloramento está restrito a uma região de topografia baixa no terminal do Ramal do Narciso.

Mineralogicamente a rocha compõe-se predominantemente de quartzo, com proporções menores de sericita (fotomicrografia 1). Como acessórios ocorrem epidoto, clorita, zircão, esfeno e, raramente, albita. A quantidade de sericita na rocha varia amplamente desde menos de 5% até 25% em volume e a rocha varia, assim, de um quartzo xisto a um quartzo-sericita xisto ⁽²⁾. O termo "quartzo xisto" é aqui utilizado como a denominação geral da unidade, englobando todas essas variações.

A estrutura xistosa da rocha é acentuada nos locais onde ela sofreu maior recristalização, como em algumas áreas próximas à Falha de Santa Luzia. Ali a recristalização mais forte provocou o desenvolvimento de porfiroblastos de quartzo e muscovita de até 3 mm de diâmetro, a xistosidade tornou-se mais pronunciada e a rocha tomou o aspecto de um quartzo-muscovita xisto (fotomicrografias 2 e 3).

Uma outra modificação textural do quartzo xisto, associada adicionalmente a uma modificação mineralógica, é observada no Ramal dos Canas a cerca de 1 km do leito da rodovia BR-316. Ali nota-se a existência de um nível de esferólitos de crandalita disseminados no xisto em uma faixa de 2 m de largura, aflorante no leito do

(2) A classificação dos tipos litológicos segue as regras propostas em "Ein Vorschlag zur qualitativen und quantitativen Klassifikation der kristallinen Schiefer" (ein Symposium). Neues Jahrb. Mineralogie Monatsh. (1962), p. 163-172.

ramal. O afloramento é descrito mais detalhadamente sob o item 5.1.2.

A espessura total do quartzo xisto não foi definida em virtude do fato de sua parte aflorante restringir-se a seus níveis superiores, não tendo sido observado o seu contato basal. A parte aflorante desta unidade apresenta uma espessura estimada de 40m.

4.2.1.1.2. Xisto grafitoso

Em contato gradacional com o quartzo xisto subjacente encontra-se uma rocha de estrutura igualmente xistosa, cor cinza escura com faixas cinza-claras e, mais esporadicamente, avermelhadas, de granulação mais fina que a rocha sotoposta, e que se apresenta bem mais deformada que ela. Seu melhor afloramento ocorre em um corte na Rodovia BR-316, imediatamente a SE da Falha da Cachoeira. Esta rocha, embora contendo em muitos locais proporções consideráveis de sericita e clorita, é caracterizada pela presença de frequentes níveis de grafita, motivo pelo qual é aqui classificada como xisto grafitoso.

A porção aflorante do xisto grafitoso corresponde, em sua maior parte, ao flanco NW do anticlinal contido no "Horst" de Santa Luzia, sendo interrompida, tanto a NW como a SE, pelas falhas limitantes deste "Horst". Um aflorante menor ocorre na margem esquerda do rio Jeju, a NW da rodovia PA-12.

O contato basal, gradacional, desta unidade é observado a nível de afloramento nas proximidades da confluência entre o Ramal do Tomé e a Falha da Cachoeira, fora dos limites da área mapeada. A SW do povoado de Santa Luzia, no terminal da bifurcação SE da Passagem São José, é possível observar-se a presença de blocos de uma rocha de caráter transicional entre o quartzo xisto e o xisto grafitoso. Esta rocha apresenta níveis de grafita, de cerca de 5 a 10 mm de espessura, intercalados no quartzo xisto e os blocos são provavelmente provenientes da zona de contato entre as duas unidades basais da sequência metamórfica observada.

O xisto grafitoso é cortado por grande número de veios

de quartzo, que variam de largura desde alguns milímetros até um máximo de 1,20 m. Os veios distribuem-se tanto concordante como discordantemente à foliação, predominando entre os últimos os de direção N 60° W.

Microscopicamente a rocha é basicamente um sericita-clo₂rita xisto, com níveis de grafita dispostos segundo a foliação principal (fotomicrografia 6). Epidoto e albita são constituintes menores da rocha. O quartzo acompanha a sericita nos níveis onde este mineral é mais abundante e torna-se mais raro nos níveis ricos em grafita.

A deformação do xisto grafitoso é bastante pronunciada, algumas vezes observando-se a existência de foliações secundárias, formadas a custa do dobramento da foliação principal. Em termos gerais a foliação principal apresenta mergulhos que variam de 30° até subverticais.

A espessura do xisto grafitoso não pode ser definida em sua totalidade, dado a sua interrupção pela Falha da Cachoeira. A faixa aflorante apresenta uma espessura estimada de 200 m.

4.2.1.1.3. Sericita filito

O sericita filito é a rocha de maior distribuição superficial na área mapeada. Ele ocorre tanto na parte SE como a NW do "Horst" de Santa Luzia, numa extensão superior a 70% da área estudada.

O filito tem a coloração predominantemente vermelha escura, passando, menos frequentemente, a cinza amarelada. Encontra-se em geral, bastante decomposto e tem sua melhor seção de afloramentos na área ao longo da rodovia PA-12. Na maior parte do restante da área o filito ocorre apenas em afloramentos pobres, ou é identificável por seus fragmentos centimétricos dispersos no solo laterítico originado de sua decomposição.

O contato basal do filito não é observável, ocorrendo seus limites com as rochas estratigraficamente inferiores ao longo de planos de falhas. Um poço perfurado na margem direita do rio

Jeju, próximo a rodovia PA-12 alcançou o xisto grafitoso a uma profundidade de 4 m, logo abaixo do nível freático. A presença da água tornou impossível a melhor observação do contato.

O filito apresenta-se bem menos deformado que o xisto subjacente, sendo possível, em alguns locais, identificar-se o seu acamamento original. Um destes locais é o afloramento na margem da rodovia BR-316, a 100 m a NW da Falha da Cachoeira, onde o acamamento é caracterizado pela presença de níveis arenosos ricos em quartzo, de espessura variável entre 4 e 7 mm, esparsos dentro do filito, e com atitude sub-horizontal. Os veios de quartzo que cortam o filito são também mais raros que aqueles encaixados no xisto grafitoso e raramente ultrapassam a largura de 30 cm.

Mineralogicamente a sericita é o constituinte principal da rocha, constituindo entre 50 e 60% do seu volume. Quartzo e clorita apresentam-se em quantidades menores, enquanto que albita e epidoto são raros. São observados ainda minerais opacos idiomórficos, possivelmente magnetita, dispersos na rocha. A sericita pode se tornar, em alguns locais, tão abundante a ponto de formar bolsões de centenas de metros de diâmetro onde sua exploração econômica é viável, como na mina existente no sul da área, a 900 m da rodovia BR-316, onde este mineral é lavrado para uso em cerâmica.

4.2.1.2. Grupo Barreiras

Os arenitos argilosos vermelho-amarelados, friáveis e mal selecionados, contendo níveis conglomeráticos, e que repousam discordantemente sobre todas as unidades estratigraficamente inferiores mapeadas, são atribuídos ao Grupo Barreiras, de idade Terciária. Eles ocorrem na forma de dois platôs baixos, cujo desnível em relação aos vales não ultrapassa 4 m. O contato basal desta unidade é marcado pela presença de um conglomerado de quartzo em matriz argilosa, observável especialmente quando a rocha sotoposta é o sericita filito.

Esta unidade não mostra sinais de perturbação tectônica, suas camadas apresentam-se horizontais, e mesmo as alterações diagenéticas por ela sofrida são incipientes, como demonstrado pelo

baixo grau de compactação das rochas que a constituem.

4.2.2. Estrutura

A feição estrutural mais importante na área de Santa Luzia é o "Horst" de direção NE-SW ocorrente na porção NW da área, que elevou o pacote quartzo xisto-xisto grafitoso em relação ao sericita filito. Esta estrutura tem expressão regional, podendo ser seguida através do alinhamento que a reflete nas fotografias multi-espectrais em escala 1:130.000 do Projeto Radam. O "Horst" tem uma largura aproximada de 2 km e uma expressão topográfica pouco saliente. As falhas que o limitam a NW e a SE podem, no entanto, ser facilmente reconhecidas no campo através das feições menores a elas associadas.

A Falha da Cachoeira, limite NW do "Horst", tem sua direção definida no campo pelo vale de direção N 45° E, que é atravessado pela rodovia BR-316 a cerca de 1 km da extremidade NW do povoado de Santa Luzia. O vale serve como limite, neste local, entre as áreas de ocorrência do xisto grafitoso fortemente deformado, a SE, e do sericita filito sub-horizontal, a NW. Uma outra feição geomorfológica provavelmente relacionada à falha é a pequena queda d'água de cerca de 2 m de altura que, à falta de denominações geográficas mais precisas, foi utilizada como cognome para a falha. Nos extremos norte e oeste da área ocorrem ainda dois afloramentos de brecha tectônica, igualmente relacionados à Falha da Cachoeira. Essas brechas contêm fragmentos angulosos de quartzo, xisto grafitoso e, em menor proporção, de sericita filito, de tamanhos variáveis, atingindo até 2,5 cm na maior dimensão.

A Falha de Santa Luzia é mais rica em feições menores associadas. Duas ocorrências de brecha são à ela relacionadas, uma das quais contem fragmentos de crandalita. Ao longo do traço do plano da falha com a superfície podem ser observados vários afloramentos de veios de quartzo, de largura variável até um máximo de 3 m. A desintegração desses veios pelo intemperismo provoca, em alguns locais, o acúmulo de fragmentos angulosos de quartzo no solo, bem

observável nas proximidades do Ramal do Narciso, onde esta faixa de fragmentos chega a se estender até 500m a NW da falha.

Outras evidências do falhamento são a ocorrência de microdobramentos do tipo "Chevron" no xisto grafitoso, no norte da área, e o fraturamento acentuado do quartzo xisto aflorante no Ramal dos Canas. A modificação petrográfica do quartzo xisto próximo a bifurcação dos Ramais do Tomé e dos Canas, com a formação de um quartzo-muscovita xisto, é limitada as áreas próximas à falha e deve ser, também geneticamente, a ela relacionada.

O rejeito da Falha de Santa Luzia é superior, na área de contato entre o filito e o quartzo xisto, a 200 m. correspondentes a espessura atual estimada do xisto grafitoso deslocado.

Dentro da área limitada pelo "Horst" aflora o flanco NW de um anticlinal, cuja erosão provocou o aparecimento do quartzo xisto, mais antigo, no centro da estrutura. O mergulho da aba é inferior a 30°. Embora seja difícil observar as variações do acamamento no xisto grafitoso, por causa do mascaramento imposto pelas foliações secundárias, o conhecimento da posição estratigráfica das unidades e do padrão de distribuição das mesmas no mapa geológico sugerem que a feição considerada é um anticlinal.

A idade de formação do "Horst" de Santa Luzia é pouco definível a partir dos dados obtidos. As falhas que o limitam cortam toda a sequência pré-Cambriana e são recobertas pelas rochas do Grupo Barreiras, deixando assim o amplo intervalo do pré-Cambriano ao Terciário como limite para sua formação. Como um dado adicional acrescenta-se que o desenvolvimento da estrutura é posterior ao metamorfismo principal do Grupo Gurupi, a se concluir pelas modificações texturais que o Falhamento da Santa Luzia imprimiu no quartzo xisto, descritas no item 4.2.1.1.1., e pelas novas foliações que gerou no xisto grafitoso.

O "Horst" de Santa Luzia, sendo uma feição estrutural de expressão regional, parece se enquadrar entre aquelas do tipo "Horst-Graben", formada durante o Mesozóico e comuns em toda a área abrangida pela folha SA-23 (Francisco et alii, 1971; Arantes et alii, 1972). A diferença entre as direção do "Horst" de Santa

Luzia (N 45°E) e das feições descritas por aqueles autores(NNE-SSW) deve ser resultante de uma variação local na área de Santa Luzia.

A idade provável do "Horst" é, assim, Mesozóica.

5. OS FOSFATOS DA REGIÃO DE SANTA LUZIA

5.1. Relações de campo

Os fosfatos da região de Santa Luzia encontram-se distribuídos em 4 ocorrências principais, assinaladas esquematicamente no mapa geológico do apêndice 5. Essas ocorrências são aí indicadas através de algarismos (1,2,3 e 4), não vinculados à ordens de grandeza ou prioridades, e utilizadas unicamente para facilidade de referência no texto deste trabalho. As ocorrências são de pequenas dimensões, sem interesse econômico nos limites da área mapeada, e compõem-se essencialmente de vavelita e crandalita, com predominância do segundo.

5.1.1. Ocorrência 1

A ocorrência 1 localiza-se na porção SE da área, na margem esquerda do rio Jeju, sendo cortada pela rodovia PA-12 a 1,4 km da rodovia BR-316. Sua largura de afloramento é da ordem de 80 m e sua extensão na direção NW-SE não foi determinada em virtude da cobertura de solo e vegetação sobre ela existente em ambas as margens da rodovia PA-12.

A mineralogia do depósito é bastante simples, constando de agregados de quartzo e crandalita, ocorrentes sob a forma de veios de direção principal N 70°W, distribuídos em matriz argilosa. Os veios tem largura variável entre 30 cm e 2 m e nestes a crandalita branca fibrorradiada apresenta-se na forma de agregados botrioidais onde os minerais isolados podem atingir até 6 cm de diâmetro, sendo estes cortados por veios de quartzo menores, dando ao conjunto o aspecto característico de uma brecha.

A ocorrência não se diferencia topograficamente da encaixente, sericita filito, aflorando ao mesmo nível que esta. Sobre a superfície do depósito salientam-se os veios de quartzo alinhados, sendo a crandalita dissolvida mais rapidamente pelo forte intemperismo reinante na área. O conjunto é, em grande parte, coberto por partículas angulosas originadas pela desagregação dos veios de

quartzo ou por um solo argiloso duro, de aspecto vesicular, que raramente apresenta espessura superior a 20 cm.

Dois poços abertos no local para coleta de amostras de monstraram que os veios são irregulares em profundidade, variando tanto em espessura como no conteúdo em crandalita. Estes poços alcançaram, no entanto, uma profundidade máxima de 4 m. insuficiente para a obtenção de dados mais precisos sobre a variação do teor de crandalita com a profundidade. Não obstante a distribuição irregular do mineral nos veios, estima-se para os níveis observados uma percentagem média de 40 a 50% em volume de crandalita nos veios de quartzo e uma percentagem da ordem de 20 a 25% em relação ao volume total da ocorrência até a profundidade de 4 m.

O depósito é estruturalmente controlado pelo falhamento de direção N 70°W, que também condiciona o curso do rio Jeju, e que se reflete nas fotografias aéreas pelo alinhamento deste rio.

5.1.2. Ocorrência 2

O afloramento de rocha fosfatada observado sobre o leito do Ramal dos Canas, a 1 km da rodovia BR-316, representa parte da aqui denominada ocorrência 2, de características bastante diferentes daquelas do depósito da margem do rio Jeju. Aí o fosfato (crandalita) aparece na forma de esferólitos concêntricos de 3 mm de diâmetro em média, brancos ou cinza-claros, disseminados no quartzo xisto em um nível de 2 m de largura de afloramento. O afloramento em si restringe-se ao leito do ramal, sendo suas margens encobertas por solo e vegetação.

Embora as disseminações não mostrem qualquer tipo visível de alinhamento quando observadas em amostras de mão, o nível que as contem possui uma direção aproximada de N 5°W, como inferido a partir do reaparecimento das mesmas sob a cobertura de solo, em poço aberto a 150 m do afloramento, segundo aquela direção. As disseminações naquele local são menos frequentes que as ocorrentes no leito do ramal, as quais somam em seu conjunto cerca de 55 a 60% do volume da rocha, proporcionando um teor de 16,20% em peso de

P₂O₅.

Observados ao microscópio os esferólitos mostram ser constituídos por crandalita fibro-radiada com estrutura concêntrica, dispersa na matriz de quartzo e sericita, que forma, em essência, o quartzo xisto. A maior parte dos esferólitos preserva sua forma aproximadamente circular, a despeito da nítida orientação dos outros minerais, sendo raros os que apresentam uma leve orientação na direção da xistosidade. Em ambos os casos, porém, os esferólitos não se apresentam maciços, sendo, ao contrário, completamente retalhados e deslocados pelas lamelas de sericita e pelos blastos de quartzo, numa relação típica de substituição do fosfato por estes minerais (fotomicrografias 4 e 5).

Ainda na área da ocorrência 2, a 100 m a SW do afloramento descrito, a crandalita é novamente observada, não mais sob a forma de disseminações e sim como veios de até 4 cm de largura encaixados discordantemente no quartzo xisto. Os veios tem direção principal N 70°W, e neles a crandalita apresenta sua forma tipicamente fibro-radiada, coloração branca, e assemelha-se muito mais a existente na ocorrência 1. Esta faixa de veios no quartzo xisto estende-se por aproximadamente 40 m ao longo do Ramal dos Canas.

5.1.3. Ocorrência 3

Denominou-se de ocorrência 3 a uma brecha de falha contendo crandalita, aflorante a 90 m a leste do Ramal do Tomé, a cerca de 250 m da bifurcação entre os Ramais do Tomé e dos Canas. A brecha é parte de um afloramento maior de quartzo xisto, da ordem de 20 m em sua maior extensão, e ocorre na parte sul do mesmo, na forma de uma parede de 1,20m de altura e 2m de comprimento. Sua composição consiste de fragmentos de quartzo xisto e de crandalita fibro-radiada de cor branca, angulosos e de diâmetros médios de 5 cm, e em proporções aproximadamente equivalentes.

5.1.4. Ocorrência 4

A ocorrência 4 localiza-se às margens da rodovia BR-316, no afloramento imediatamente a SE da Falha da Cachoeira. O fosfato

ai presente é a vavelita de coloração levemente esverdeada e distribuída na forma de veios finos ao longo dos 200 m de um afloramento de xisto grafitoso. Os veios são em geral, milimétricos, raramente atingindo 1 cm de largura, e são numericamente raros no afloramento. A vavelita ocorre associada aos veios de quartzo que cortam o xisto, em igual frequência para os veios concordantes e discordantes à foliação, na forma de vênulas finas em suas margens, que se espessam nos locais mais ricos em grafita. Dentro do xisto nota-se ainda, esporadicamente, a presença de vavelita, associada aos níveis grafitosos, e concordante com a foliação principal. O mineral torna-se raro ou ausente nos níveis ricos em quartzo e sericita.

5.2. Dados mineralógicos

Vavelita e crandalita são fosfatos aluminosos, de composição química $Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5 H_2O$ e $CaAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$, respectivamente (Palache et alii, 1951). Nas ocorrências de Santa Luzia esses minerais possuem hábitos semelhantes, ambos apresentando-se fibro-radiados, diferindo apenas na coloração, levemente esverdeada na vavelita e branca na crandalita, e na maior facilidade com que as agulhas da primeira são destacadas quando pressionadas.

A identificação dos minerais foi obtida através da difratometria de raios X. Para a crandalita foram efetuadas ainda análises químicas e estudos através de métodos termo-analíticos, considerando a sua não observação, até o presente, na paragênese dos depósitos de fosfatos da região costeira Pará-Maranhão. A vavelita, no entanto, é um mineral já reconhecido nestes depósitos (Sakamoto et al, 1959).

5.2.1. Difratometria de raios X

Os dados obtidos pela análise difratométrica de raios X da crandalita e da vavelita são apresentados nas tabelas 1 e 2, respectivamente. Os picos registrados para a crandalita estão em concordância com aqueles citados por Slade (1974) e Blount (1974).

A vavelita segue o padrão registrado pela ASTM (1974).

d	IR	d	IR	d	IR	d	IR
5,67	30	2,69	35	1,79	45	1,425	25
5,42	7	2,42	7	1,70	5	1,383	5
5,36	7	2,35	15	1,645	5	1,369	7
4,845	35	2,20	30	1,60	7	1,356	6
4,25	5	2,16	85	1,55	5	1,340	7
3,49	35	2,04	15	1,52	7	1,320	7
3,33	6	1,99	5	1,51	8		
2,975	85	1,89	55	1,49	7		
2,935	100	1,84	5	1,47	10		
2,84	12	1,80	8	1,43	75		

Tabela 1 - Análise difratométrica de raios-X para a crandalita de Santa Luzia (d=espaçamentos interplanares em Angstroms; IR=intensidade relativa do pico; radiação $CuK\alpha$)

d	IR	d	IR	d	IR	d	IR
9,11	7	3,60	5	2,57	12	1,59	5
8,59	70	3,42	10	2,35	30	1,57	6
8,38	100	3,35	5	2,32	5	1,55	5
6,68	5	3,26	7	2,25	16	1,53	5
5,65	17	3,22	55	2,10	65	1,52	20
5,37	15	3,15	55	2,05	5	1,51	10
4,95	16	3,08	8	2,03	20	1,47	25
4,79	90	3,04	9	1,98	9	1,45	12
4,33	5	2,97	5	1,96	13	1,44	65
4,07	8	2,92	6	1,81	6		
4,04	6	2,81	45	1,72	6		
3,96	7	2,80	90	1,65	7		
3,86	5	2,60	25	1,61	6		

Tabela 2 - Análise difratométrica de raios-X para a vavelita de Santa Luzia (d=espaçamentos interplanares em Angstroms; IR=intensidade relativa dos picos; radiação $CuK\alpha$)

5.2.2. Análise química

A análise química por via úmida da crandalita de Santa Luzia foi efetuada no Instituto de Mineralogia da Universidade Erlangen-Nuremberg. Apenas 96,61% em peso de sua composição total foram determinados, o restante sendo constituído por resíduos insolúveis não identificados. A análise (amostras provenientes da ocorrência 1) demonstra um teor relativamente elevado de sílica (tabela 3), devido a presença de quartzo em mistura com a crandalita nas amostras. À exceção deste fato, a composição situa-se dentro da faixa de variação na composição química deste mineral citada por Palache et alii (1951).

COMPOSIÇÃO	% em peso
SiO ₂	6,00
TiO ₂	0,02
Al ₂ O ₃	31,20
FeO + Fe ₂ O ₃	0,10
MgO	0,16
CaO	9,13
Na ₂ O	0,16
K ₂ O	0,04
P ₂ O ₅	30,30
<u>Perda ao fogo</u>	<u>19,50</u>
Total	96,61

Tabela 3 - Composição química da crandalita de Santa Luzia (ocorrência 1), em mistura com quartzo; os 3,39% restantes não foram determinados.

5.2.3. Métodos termo-analíticos

Um estudo da crandalita foi efetuado através da análise térmica diferencial, na faixa entre zero e 890°C, e da análise termo-gravimétrica, entre zero e 800°C.

O mineral sofre na faixa de temperaturas indicadas 3

reações térmicas, refletidas por 2 picos endotérmicos e 1 exotérmico (figura 3). O primeiro pico endotérmico ocorre a 100°C e reflete a perda de água higrométrica do mineral. O segundo pico endotérmico, a 530°C, é provocado pela perda de sua água molecular. Os dados sobre a variação de massa da crandalita com a temperatura, apresentadas na tabela 4, demonstram uma perda considerável de massa na faixa de temperaturas de 300 a 700°C, da ordem de 3,5 moléculas-gramas de água, relacionadas a este pico. O pico exotérmico ocorrente a temperatura de 795°C não envolve variação de massa, devendo responder a uma modificação estrutural do mineral.

Temperatura (°C)	Perda de massa (%)
110	0,5
200	1,4
300	2,9
400	5,9
500	12,6
600	17,5
700	18,0
800	18,0

Tabela 4 - Variação de massa da crandalita com a temperatura

Os resultados da análise termo-diferencial da crandalita de Santa Luzia são semelhantes aos registrados por Capdecombe (1953) para a crandalita da região de Thies (Senegal).

5.2.4. Elementos traços

A proximidade geográfica entre as várias ocorrências da área, suas semelhanças mineralógicas e a parcial similaridade nas suas relações de campo, sugerem, pelo menos como hipótese de trabalho, a existência de um relacionamento genético entre elas. Um teste dessa hipótese foi efetuado através do estudo da distribuição dos elementos traços nos fosfatos. O objetivo principal desse estudo

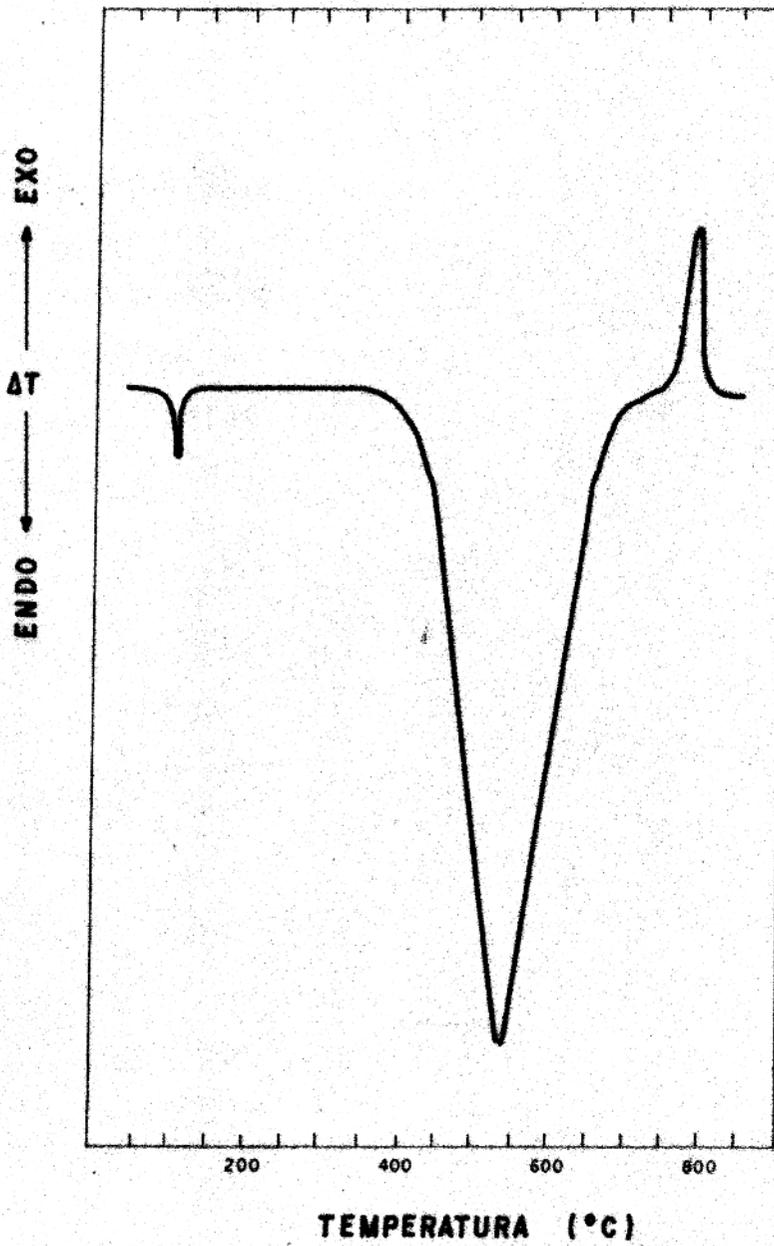


FIGURA 3 - DIAGRAMA DTA PARA A CRANDALITA DE SANTA LUZIA

foi o de determinar as variações no padrão de distribuição dos elementos traços que refletissem, em termos gerais, as tendências e as condições reinantes durante a cristalização dos fosfatos. Os resultados obtidos neste estudo são discutidos no capítulo 6, dedicado a considerações sobre a gênese dos depósitos da área.

As amostras de fosfatos foram analisadas através do método espectrográfico de emissão ótica. Foram determinados quantitativamente os elementos Be, B, Pb, V, Cu, Ni e Cr. Outros elementos que comumente se apresentavam como traços, mas que não foram determinados quantitativamente, foram Mn, Sr e Ba. Os elementos maiores foram determinados apenas para a crandalita da ocorrência 1, através de métodos clássicos de via úmida, e os resultados são apresentados no item 5.2.2.

Foram analisadas 10 amostras de fosfatos representativas das 4 ocorrências da área. A localização e a identificação dos espécimes analisados são mostradas na tabela 5 e os resultados obtidos são apresentados na tabela 6.

As percentagens de erro analítico contidos nos valores apresentados na tabela 6 são aproximadamente constantes para cada elemento e são as seguintes: Be(6,9%), B(6,7%), V(11%), Cu(7,5%), Cr(5%) e Pb(19%). O erro analítico nas determinações para Ni não foi calculado pois os teores deste elemento situaram-se sempre abaixo do seu limite mínimo de detecção.

Amostra	Ocorrência	Tipo mineralógico
SL.F.1.1	1	Crandalita (brecha de falha)
SL.F.1.2	1	Crandalita (brecha de falha)
SL.F.2.1	2	Crandalita (veios no quartzo xisto)
SL.F.2.2	2	Crandalita (veios no quartzo xisto)
SL.F.2.3	2	Crandalita (disseminada no quartzo xisto)
SL.F.2.4	2	Crandalita (disseminada no quartzo xisto)
SL.F.3.1	3	Crandalita (brecha de falha)
SL.F.3.2	3	Crandalita (brecha de falha)
SL.F.4.1	4	Vavelita (veios no xisto grafitoso)
SL.F.4.2	4	Vavelita (veios no xisto grafitoso)

Tabela 5 - Amostras de fosfatos analisadas por espectrografia de emissão.

Amostra	Be	B	Pb	V	Cu	Ni	Cr
SL.F.1.1	120	2100	<7	650	15	<25	<28
SL.F.1.2	133	2060	<7	790	33	<25	<28
SL.F.2.1	21,5	1430	145	490	20	<25	30
SL.F.2.2	18,5	1250	97	490	23	<25	30
SL.F.2.3	<7,5	250	4400	390	33	<25	145
SL.F.2.4	<7,5	265	2900	320	33	<25	115
SL.F.3.1	92	1550	127	315	48	<25	53
SL.F.3.2	92	1370	190	330	55	<25	58
SL.F.4.1	168	3000	74	175	36	<25	71
SL.F.4.2	196	3100	67	148	42	<25	70

Tabela 6 - Concentrações (em ppm) de alguns elementos traços nos fosfatos de Santa Luzia.

6. CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE DOS FOSFATOS

6.1. Condições normais de formação da crandalita

A crandalita é, tipicamente, um fosfato de baixa a média temperatura, sendo um constituinte comum de lateritas fosforosas (Palache et alii, 1951; Blount, 1974). Nestas ela pode se formar como o primeiro produto de alteração da apatita, em um processo no qual a vavelita é o produto final (Altschuler et alii, 1956), ou por alteração da variscita (Larsen, 1942). Mc Kelvey (1967) e Cathcart et al (1974) citam um processo de formação da crandalita através do contato de soluções ricas em fósforo com rochas argilosas.

Ignatova et alii (1965) sintetizaram o mineral a temperaturas ambientes, enquanto Slade (1974) obteve sua síntese a 200°C, demonstrando a possibilidade, já sugerida por outros autores (Trueman e Zanin, citados por Russel et al, 1971), de uma origem hidrotermal para a crandalita. Russel et al (1971) sugerem para a crandalita do depósito de Duchess, Austrália, uma origem autigênica, admitindo, no entanto, a possibilidade de sua formação através da alteração diagenética da apatita. O mineral já foi encontrado em pegmatitos, mas como um produto de alteração "hidrotermal ou outra" da ambligonita (Murdoch, 1955).

A crandalita forma-se, portanto, em temperaturas que variam desde aquelas reinantes em ambientes hidrotermais até aquelas características de ambientes superficiais (25 a 200°C).

6.2. Dados geológicos

Os dados relativos às condições de formação da crandalita, apresentados no item anterior, estabelecem os limites de temperatura para a formação dos depósitos de fosfatos da área de Santa Luzia. As condições reinantes durante a formação desses depósitos podem ter sido, assim, tanto características de ambientes sedimentares como de ambientes hidrotermais de baixa temperatura.

Para a maioria das ocorrências da área, a origem hidro

termal parece ser a mais provável. A presença de veios de vavelita nas bordas dos veios de quartzo que cortam o xisto grafitoso na ocorrência 4, a associação da crandalita à falhas, tanto na forma de brechas (ocorrências 1 e 3) como nos veios de crandalita da ocorrência 2, e o tamanho dos cristais desse mineral nas ocorrências citadas, chegando a atingir 6 cm de diâmetro (ocorrência 1), são evidências bastante sugestivas em favor deste tipo de origem.

Os fosfatos das ocorrências 1, 3 e 4 e os veios de crandalita da ocorrência 2 devem, portanto, ter sido depositados por soluções ricas em fósforo provenientes de níveis estratigraficamente inferiores enriquecidos neste elemento.

As disseminações de crandalita da ocorrência 2, situadas estratigraficamente abaixo das demais ocorrências de fosfatos da área, representam um problema algo diferente. Os dados de campo obtidos sobre as mesmas são indicativos de que as disseminações representam um nível originalmente sedimentar dentro do xisto. Dois fatos principais suportam esta idéia:

- 1) Nenhum controle estrutural foi observado para essas disseminações. Ao contrário, o nível que as contém parece ser concordante com o acamamento original do xisto (ver mapa geológico do apêndice 5).
- 2) As disseminações são cortadas pela xistosidade (fotomicrografias 4 e 5), indicando que as mesmas são anteriores ao metamorfismo.

Esses dados sugerem que o nível de disseminações é de natureza originalmente sedimentar, tendo sido, provavelmente, constituído por um depósito original de apatita, posteriormente transformada em crandalita. Essa suposição é corroborada pela semelhança de forma entre as disseminações e os óolitos de apatita típicos de fosforitas sedimentares.

O fato do nível de disseminações ser de provável origem sedimentar e estar situado em posição estratigraficamente inferior em relação às outras ocorrências de fosfatos da área o tornaria, em princípio, uma fonte potencial para o fósforo depositado por soluções para formar as outras ocorrências estudadas. Essa idéia se reforça ao se observar que o fosfato das disseminações foi par

cialmente dissolvido e substituído por quartzo e sericita. O fosfato dissolvido foi, forçosamente, transportada para outros locais e estes locais podem ser exatamente aqueles onde hoje se encontram as outras ocorrências da área.

A comprovação da hipótese acima formulada exigiria a efetivação de um balanço geoquímico total na área, não apenas em termos da quantidade de fosfato dissolvido e precipitado, como também em termos de possíveis contribuições fornecidas pelo xisto grafitoso e pelo sericita filito. Dada a impossibilidade da realização do citado balanço neste trabalho, uma avaliação desta hipótese foi efetuada através do estudo das variações no padrão de distribuição dos elementos traços contidos nos fosfatos da área.

6.3. Distribuição dos elementos traços

Considerando-se, como sugerido pelos dados geológicos obtidos, que as disseminações provavelmente sedimentares de fosfato da ocorrência 2 foram parcialmente dissolvidas por soluções hidrotermais e o fosfato precipitado em níveis estratigraficamente superiores, seria de esperar que o padrão de distribuição dos elementos traços nesses fosfatos se modificasse continuamente com o aumento da distância a partir da fonte, desde um padrão sedimentar pouco modificado, como sugerido nestas condições por Usdowski (1975), até um padrão tipicamente hidrotermal. A identificação desta tendência se constituiria em uma corroboração para os dados de campo.

A interpretação da distribuição dos elementos traços é complicada, todavia, pela possibilidade de existência de contribuições a partir das rochas encaixantes, que poderiam modificar o padrão de distribuição dos elementos na solução e, conseqüentemente, nos minerais dela precipitados. Desde que não foram feitas análises químicas dessas encaixantes e pelo fato de se desconhecer a composição das soluções aquosas que dissolveram os fosfatos no xisto, as possíveis contribuições não puderam ser avaliadas quantitativamente. Algumas informações importantes podem ser obtidas, no entanto, ao se considerar as variações nas concentrações de determinados elementos nas várias ocorrências da área.

A variação das concentrações dos elementos traços analisados nos fosfatos de Santa Luzia é apresentada na figura 4, sendo as amostras assinaladas de acordo com suas posições estratigráficas aproximadas. Os valores das concentrações apresentados nesta figura correspondem a média dos valores apresentados na tabela 6 para amostras de mesma procedência.

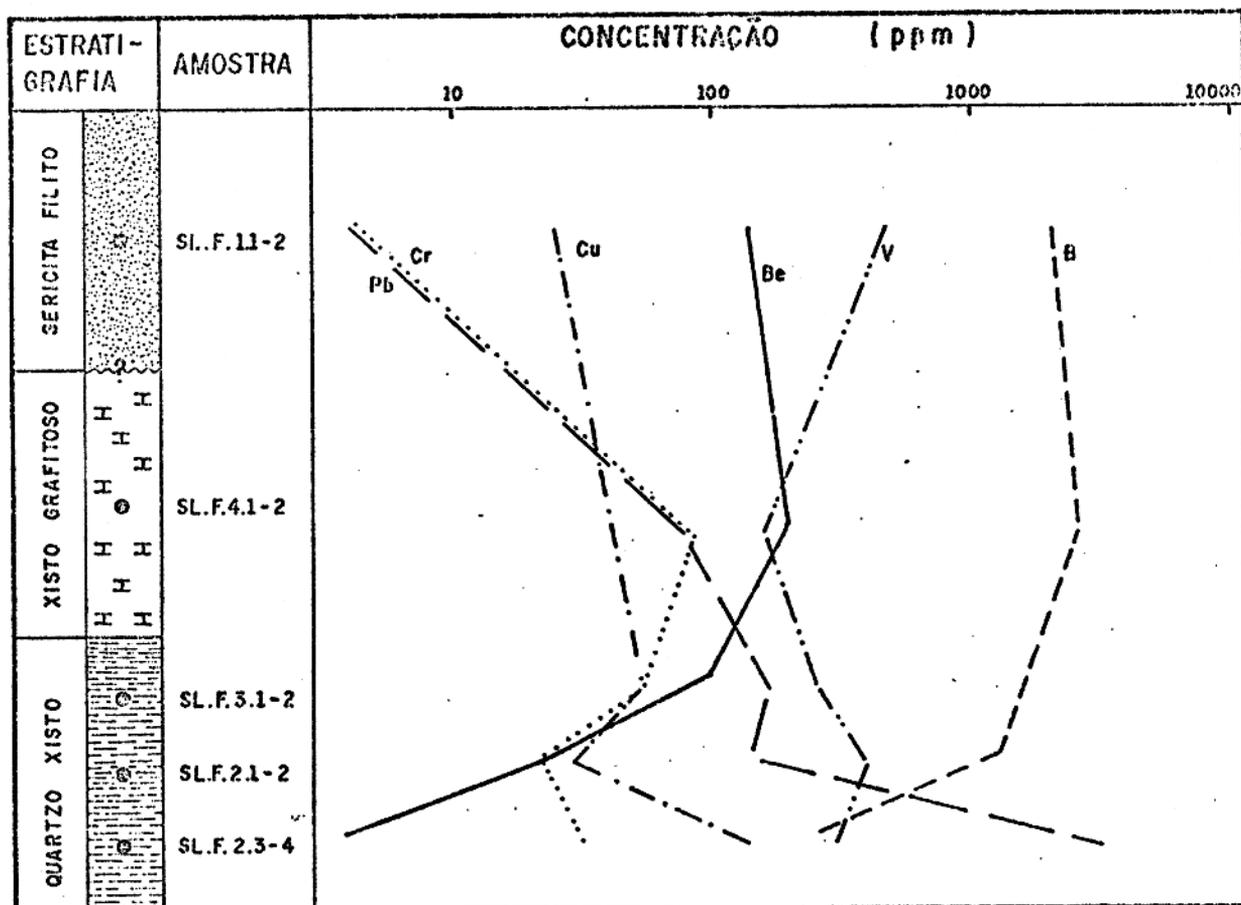


FIGURA 4 - VARIACÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS TRAÇOS DOS FOSFATOS.

Dos elementos determinados nas análises das amostras de fosfatos, as variações mais significativas são apresentadas por B, Be e Pb. As concentrações de B e Be nos fosfatos aumentam ao longo do perfil, de baixo para cima, de fatores superiores a 10. As

concentrações de Pb, em contraposição, decrescem no mesmo sentido de um fator aproximado de 10^3 .

Variações tão acentuadas como essas são incomuns e não podem ser admitidas como aleatórias. Elas devem, mais provavelmente, refletir o comportamento geoquímico desses elementos nas soluções que depositaram os fosfatos e a variação de composição dessas soluções a custa de contribuições das rochas encaixantes.

No caso do B, essas variações devem ter sido provocadas, pelo menos em grande parte, por contribuições a partir das rochas encaixantes. Como acentuado por Harder (1959), este elemento encontra-se normalmente enriquecido na sericita, um mineral abundante em todas as unidades metamórficas mapeadas, e seu enriquecimento nos fosfatos, da base para o topo da coluna estratigráfica da área, parece indicar tão somente o enriquecimento das soluções durante sua ascensão, pelo contato com aquele mineral.

O comportamento do Pb, no entanto, não pode ser explicado simplesmente a custa de interações das soluções com a encaixante. A redução do teor deste elemento é de tal ordem acentuada e contínua, que somente pode ser explicada considerando-se que sua mobilidade nas soluções que depositaram os fosfatos era extremamente baixa. A se admitir este fato, as soluções que depositaram os fosfatos não deveriam ter sido de origem magmática, pois em ambientes ligados ao magmatismo a mobilidade do Pb é relativamente alta (Sahl et alii, 1974; Schroll, 1976).

O elemento mais importante para os objetivos desta seção é o berílio. Este elemento é relativamente raro em rochas metassedimentares do tipo das encontradas na área de Santa Luzia (Ranaka et al, 1968) e o aumento de sua concentração nos fosfatos, a medida que se passa a níveis estratigraficamente superiores, não deve ser, assim, consequência de contribuições das rochas encaixantes. Este aumento parece refletir, mais provavelmente, a alta mobilidade do berílio nas soluções que depositaram os fosfatos. Este comportamento do berílio, típico em se tratando de soluções hidrotermais (Goldschmidt, 1958) mas não em soluções superficiais (Andrew-Jones, 1968), é uma corroboração à idéia de uma origem hidrotermal para os fosfatos das ocorrências 1, 3 e 4 e para os veios de crandalita da

ocorrência 2.

O aumento da concentração do berílio nos fosfatos, da base para o topo da coluna estratigráfica, segue de modo significativo o modelo esperado no caso da existência do relacionamento genético entre as disseminações de crandalita da ocorrência 2 e as demais ocorrências da área, descrito no início desta seção. As concentrações de berílio aumentam de modo quase contínuo da base para o topo, evoluindo desde valores inferiores a 7,5 ppm, como encontrado em outras crandalitas sedimentares (Owens et alii, 1960), até valores superiores a 100 ppm, mais sugestivos de fosfatos precipitados a partir de soluções hidrotermais. É pouco provável que este padrão seja devido a fatores aleatórios.

As variações na concentração de Pb e Be nos fosfatos da área corroboram, assim, a hipótese de que o fosfato dissolvido das disseminações de crandalita (ou de apatita, originalmente) da ocorrência 2 foi transportado por soluções hidrotermais de baixa temperatura, provavelmente águas subterrâneas aquecidas, para níveis estratigraficamente superiores e depositados ao longo da coluna estratigráfica para formar as outras ocorrências de fosfatos da área.

6.4. Idade

O nível de disseminações da ocorrência 2, sendo originado pela alteração "in situ" da apatita sedimentar, é tão antigo quanto o quartzo xisto, ou seja, pré-Cambriano superior.

Os fosfatos restantes estão associados à estruturas epigenéticas e devem ter, no máximo, a idade das mesmas. Como essas estruturas devem ter sido formadas durante a reativação tectônica da área ocorrida no Mesozóico, a remobilização do fósforo e a formação das ocorrências 1, 3 e 4 e dos veios de crandalita da ocorrência 2 devem ter ocorrido, também, no Mesozóico.

7. A SITUAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE SANTA LUZIA EM RELAÇÃO AOS OUTROS DEPÓSITOS DE FOSFATOS DA REGIÃO PARÁ-MARANHÃO

Os depósitos de fosfatos existentes nas proximidades do povoado de Santa Luzia não constituem ocorrências isoladas na região NE do Pará e NW do Maranhão. Na verdade, vários outros depósitos, contendo igualmente fosfatos de alumínio, são encontrados nesta área (figura 5). Os mais importantes destes depósitos estão situados próximos à costa (ilha de Trauíra, chapada de Pirocaua e Itacupim), mas ocorrências menores, como as da serra do Cansa-Perna e de Tracuateua, são encontradas, juntamente com as de Santa Luzia, mais para o interior do continente.

A existência de várias ocorrências de fosfatos, via de regra raros, nesta área relativamente pequena, é significativa e justifica uma discussão sobre a possibilidade de correlação entre as mesmas. Os resultados dessa discussão são importantes para a realização de futuros trabalhos de prospecção de fosfatos na região, particularmente quando se considera que a área que separa a faixa de ocorrências situadas no interior do continente daquela onde se situam os depósitos costeiros é, geralmente, de difícil acesso e apresenta ainda, em muitos locais, uma cobertura sedimentar recente que impede a observação direta de possíveis depósitos de fosfatos sotopostos.

Os dados para comparação atualmente disponíveis são escassos, e restritos, principalmente, aos depósitos da ilha de Trauíra e da chapada de Pirocaua. Mesmo para esses depósitos, no entanto, muitas questões básicas, como a definição correta de suas paragêneses, não estão ainda resolvidas. As informações registradas na literatura geológica por Brandt (1932), Abreu (1937 e 1973), Rabello (1945), Putzer (1956 e 1976), Sakamoto et al (1959), Argentiére (1971) e Suszczynski (1975) permitem, apesar disso, o estabelecimento de algumas comparações preliminares.

A parte a proximidade geográfica, o dado mais sugestivo de um relacionamento genético entre as ocorrências de Santa Luzia e os depósitos da costa é a paragênese, todos eles contendo fos

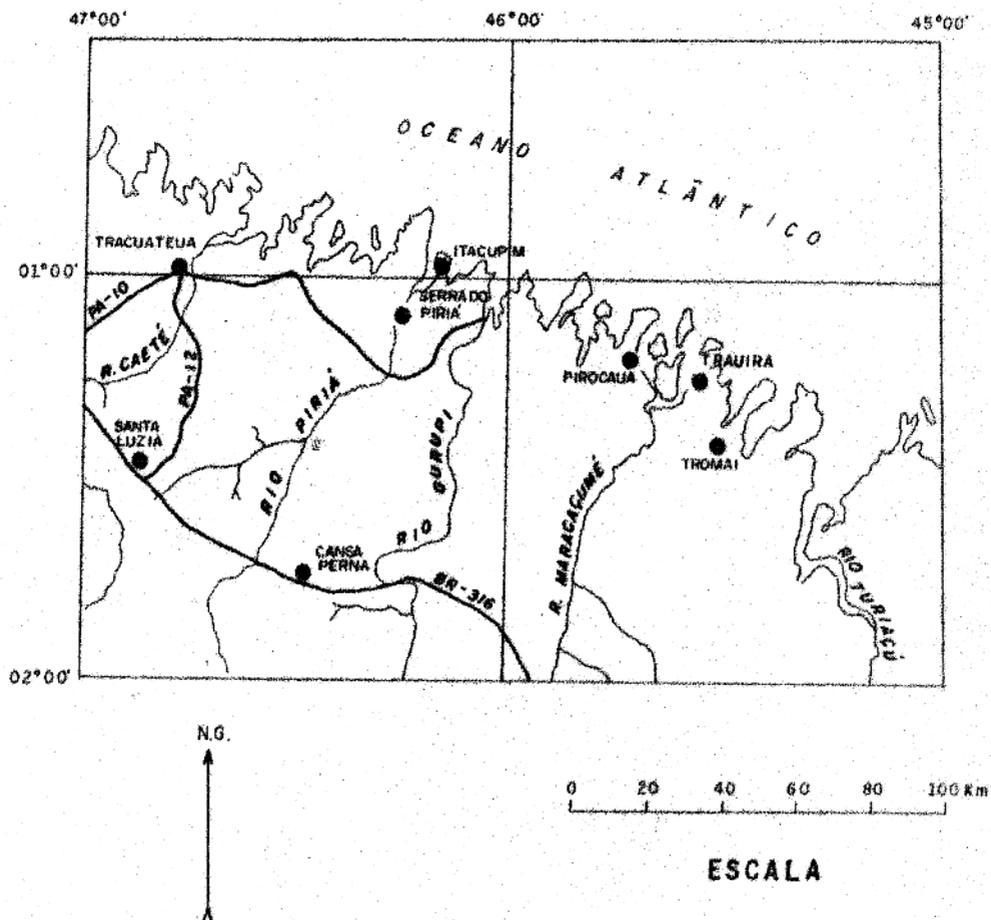


FIGURA 5 - OCORRÊNCIAS DE FOSFATOS NA
REGIÃO PARA - MARANHÃO

fatos de alumínio (Al e Ca nos depósitos da Santa Luzia e Al e Fe nos depósitos costeiros). As comparações com base em dados de campo, todavia, são mais difíceis de se estabelecer.

Uma tentativa de correlação entre as ocorrências de Santa Luzia e as da ilha de Trauíra e da chapada de Pirocaua deve ser baseada na comparação de possíveis horizontes fosfatados primários reconhecidos em cada ocorrência. Partes dos depósitos formadas por remobilização não devem ser consideradas, pelo menos em princípio, pois as mesmas podem assumir características diferentes de ocorrência para ocorrência, não se prestando, assim, como guias no trabalho de correlação. Em Santa Luzia o horizonte primário é, provavelmente, o nível de disseminações de fosfato da ocorrência 2, encaixado em rochas pré-Cambrianas. Nos depósitos da costa os fosfatos ocorrem em laterita fosforosa (Abreu, 1937) situadas sobre rochas pré-Cambrianas, não tendo sido, ainda, comprovada a existência de um horizonte primariamente enriquecido em fósforo, que possa ter sido a fonte daquele elemento concentrado na laterita. Na realidade, o modelo genético mais aceito para o depósito da ilha de Trauíra é conflitante com a existência de tal horizonte. Este modelo, proposto por Brandt (1932) e seguido pela maioria dos autores que estudaram posteriormente o assunto (Abreu, 1937 e 1973; Rabello, 1945; Putzer, 1956 e 1976; Sakamoto et al, 1959; Argentiére, 1971), estabelece a formação do depósito através da fosfatização de uma laterita pré-existente por dejetos de aves.

Uma hipótese diferente foi levantada por Suszczynski (1975). Segundo este autor a formação do depósito de Trauíra teria ocorrido pela laterização de uma rocha pré-enriquecida em fósforo, que tanto poderia ser ígnea como sedimentar.

A comparação destes modelos com aquele relativo às ocorrências de Santa Luzia permite o estabelecimento de duas conclusões:

- 1) A se admitir para as ocorrências da região costeira o modelo genético comumente aceito (fosfatização de uma laterita por dejetos de aves), os depósitos de Santa Luzia constituiriam um tipo de jazimento especial na região, sem relação alguma com os depó

sitos da costa.

2) No caso do modelo proposto por Suszczynski (1975) estar correto e, adicionalmente, existir um relacionamento genético entre os depósitos da costa e os de Santa Luzia, é possível que a rocha pré-enriquecida em fósforo, mencionada por aquele autor, seja correlacionável com o nível de disseminações de crandalita da ocorrência 2 de Santa Luzia.

A solução desse problema poderá ser obtida através de estudos geológicos, mineralógicos e geoquímicos sistemáticos e detalhados em todas as ocorrências de fosfatos da área, procurando esclarecer a gênese desses depósitos. Esses estudos devem ter como objetivos básicos a determinação precisa das espécies mineralógicas presentes, o estudo dos zoneamentos mineralógico e geoquímico (elementos principais e traços) existentes e a identificação de possíveis rochas-fontes para o fósforo.

8. CONCLUSÕES

Os depósitos de fosfatos da área de Santa Luzia ocorrem nas 3 unidades metamórficas mapeadas pertencentes ao Grupo Gurupi, as quais, por sua vez, apresentam-se parcialmente recobertas por rochas sedimentares do Grupo Barreiras. O fosfato predominante é a crandalita, com a vavelita ocorrendo em muito menor abundância.

Com exceção do nível de disseminações no quartzo xisto todas as outras ocorrências de crandalita observadas estão diretamente associadas aos falhamentos de provável idade Mesozóica que afetaram a área e que provocaram ainda a formação do "Horst" de Santa Luzia, a principal feição estrutural lá observada.

O controle da ocorrência de crandalita disseminada no quartzo xisto parece ser essencialmente estratigráfico, sendo sua origem provavelmente relacionada à alteração de um nível originalmente portador de apatita sedimentar. Provavelmente durante a reativação tectônica da área ocorrida no Mesozóico, o fósforo contido nessas disseminações foi remobilizado por soluções hidrotermais, que ascenderam através de falhas e fraturas e o depositaram em níveis estratigráficos superiores, originando as outras ocorrências da área.

A se admitir para os vários depósitos de fosfatos de alumínio existentes na região NE do Pará e NW do Maranhão o modelo genético mais aceito para as ocorrências da ilha de Trauíra e da chapada de Pirocaua (fosfatização de uma laterita por dejetos de aves), os depósitos de Santa Luzia constituiriam um tipo de jazimento especial na região, sem relacionamento genético com as ocorrências restantes. Caso o modelo proposto por Suszczynski (1975) para a gênese do depósito da ilha de Trauíra (laterização de uma rocha pré-enriquecida em fósforo) seja correto, é possível que essa rocha seja correlacionável com o nível de disseminações da ocorrência 2 de Santa Luzia.

As ocorrências estudadas não apresentam interesse econômico nos limites da área mapeada. Apesar disso, a existência de

um nível sedimentar dentro do quartzo xisto, com um teor de P_2O_5 da ordem de 16% em peso, torna interessante a prospecção de fosfatos nas regiões vizinhas.

9. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi orientado pelo Prof. Roland G. Schwab, ao qual o autor registra seus agradecimentos. Agradecimentos especiais são devidos ao Prof. Thomas Scheller pela orientação nos trabalhos com métodos termo-analíticos, ao Prof. Manoel Gabriel Siqueira Guerreiro por sua valiosa participação durante a primeira etapa dos trabalhos de campo, e as colegas Sandra Almeida e Vanda Porpino pela colaboração nos trabalhos de análise colorimétrica.

O autor é grato ainda a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo suporte financeiro para a realização do trabalho de campo e ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento de grande parte do material utilizado nos trabalhos analíticos, através do Programa Trópico Úmido da Superintendência de Implementação de Programas, e ainda do Projeto Geoquímica, dentro do Acordo Bilateral CNPq/KFA, mantido pela Superintendência de Cooperação Internacional.

10. APÊNDICES

DETERMINAÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS DOS FOSFATOS POR
ESPECTROGRAFIA DE EMISSÃO

A análise espectrográfica qualitativa de 3 amostras de fosfatos das ocorrências de Santa Luzia, demonstrou a presença de traços de Be, Pb, V, Cu, Ni e Cr. Com a finalidade de determinar quantitativamente estes elementos foram efetuadas as etapas abaixo descritas.

A.1.1. Preparação dos padrões

Os padrões para a análise quantitativa foram preparados em matriz de fosfato tribásico de cálcio ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$), inicialmente com concentração equivalente a 1000 ppm de cada elemento (tabela 7). Os compostos padrões para cada elemento foram, sempre que possível, óxidos espectroscopicamente puros ou, na ausência destes, compostos simples dos elementos a serem analisados.

Composto	Massa (mg)
Matriz $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	4878,80
BeSO_4	58,30
H_3BO_3	28,60
V_2O_5	8,90
Cr_2O_3	7,30
NiO	6,40
CuO	6,30
PbO	5,40
Total	5000,00

Tabela 7 - Composição do padrão 1000 ppm para a análise espectrográfica. Os óxidos utilizados são espectroscopicamente puros e as substâncias restantes são P.A.

A partir do padrão 1000 ppm, por adição com a matriz, preparou-se os padrões de 10, 30, 100 e 300 ppm, que também serviriam como referência para a construção das curvas analíticas. Como padrão zero ppm foi utilizada a própria substância matriz. O preparo de 500 mg de cada um destes padrões exigiu as proporções mostradas na tabela 8.

Padrão	Padrão 1000 ppm	Subst. matriz
1000 ppm	500 mg	zero mg
300 ppm	150 mg	350 mg
100 ppm	50 mg	450 mg
30 ppm	15 mg	485 mg
10 ppm	5 mg	495 mg
zero ppm	zero mg	500 mg

Tabela 8 - Proporções de matriz e padrão 1000 ppm utilizadas para a preparação dos padrões para a análise espectrográfica.

Cada um destes padrões foi homogeneizado por cerca de duas horas em graal de ágata, adicionado a uma massa equivalente da mistura C/GeO₂ :: 80/20 e re-homogeneizado. O germânio contido nesta mistura seria utilizado como padrão interno para a análise quantitativa.

A.1.2. Queima e revelação

A queima dos padrões e, posteriormente, das amostras foi efetuada no espectrógrafo de emissão JENA Q24 da UFPa. As características do aparelho e as condições de queima utilizadas foram as seguintes:

Prisma de quartzo 60° tipo Cornu

Objetivas: colimador $f=540$ mm; câmara $f=500$ mm (ambas para o comprimento de onda de 2558 \AA).

Dispersão: $7,8 \text{ \AA/mm}$ (2500 \AA) e 32 \AA/mm (4000 \AA)

Iluminação: método da imagem intermediária

Fonte : gerador de arco universal RFT UBI 1

Eletrodos: forma RWO
 para amostras forma RWO 078
 contra-eletrodo forma RWO 063

Arco : intermitente de corrente contínua

Período de queima: 64/32 s

Tempo de queima : 102 s

Fendas : 3,2 e 10 micra

Intensidade de corrente: 6 A

Posição da amostra: catodial

Filtros : 100% (B), 48% (C) e 11,5% (A)

Chapas : Agfa Scientia 34 B 50

O processo de revelação consistiu em imersão das chapas durante 4 min em solução reveladora Agfa G3P, rápida lavagem em água destilada e posterior imersão durante 4 min em solução fixadora.

A.1.3. Preparação das curvas fotométricas e analíticas

Após a secagem, as chapas foram observadas através de suas projeções ampliadas e as linhas analíticas selecionadas entre aquelas sugeridas por Ahrens et al (1961). Estas linhas são apresentadas na tabela 9.

Duas linhas situadas nas proximidades das linhas analíticas do germânio foram selecionadas para a construção das curvas fotométricas. Os valores da "função P"⁽³⁾ correspondentes aos filtros

(3) A "função P" ou "função transformada P" é uma função matemática, de domínio $(-\infty, +\infty)$, representada pela equação

$$P = \frac{\log (I_0/I) + \log (I_0/I - 1)}{2}, \quad \text{onde}$$

P = valor da função; I_0 =intensidade da luz emitida sobre a linha e I = intensidade da luz que atravessa a linha (Honerjäger-Sohm et al, 1944). No fotodensitômetro utilizado os valores da "função P" encontram-se já multiplicados pelo fator 100. Todos os valores da função citados neste trabalho contêm esse fator.

Elemento	Linha analítica (Å)
Be	2348,60
B	2496,78
Ge _I	2651,58
Pb	2833,07
V	3185,40
Ge _{II}	3269,40
Cu	3273,96
Ni	3414,76
Cr	4254,35

Tabela 9 - Linhas analíticas utilizadas para a leitura dos valores da "função P"

A, B e C dessas linhas foram plotados em papel log-normal como função da transparência do filtro correspondente. As curvas fotométricas assim obtidas são mostradas na figura 6. As regiões do espectro pertinentes a estas curvas estão aí indicadas por 2500 Å e 3300 Å, relativos as linhas de referência do padrão interno Ge 2651,58 Å e 3269,40 Å, respectivamente.

Para a construção das curvas analíticas foram efetuadas inicialmente as leituras dos valores da "função P" para cada linha analítica e seus respectivos "backgrounds" à direita e à esquerda. Para todos os elementos determinados estas leituras foram efetuadas no filtro B, com exceção do Cr que foi também observado no filtro C. Os valores obtidos são apresentados na tabela 10.

Os valores da "função P" foram transformados em intensidade através das curvas fotométricas. Para a obtenção do valor real da intensidade de linha, subtraiu-se a intensidade correspondente a "função P" aquela correspondente a média de seus "backgrounds". Os resultados estão contidos na tabela 11.

Os efeitos das variações ocorridas de queima para queima foram minimizados através da utilização do padrão interno. Assim, a intensidade de cada linha, já subtraída de seu respectivo "background", foi dividida pela intensidade da linha do Ge correspondente a mesma queima e a mesma região do espectro. Os elementos Be, B e Pb foram então relacionados como o Ge_I, enquanto os elemen

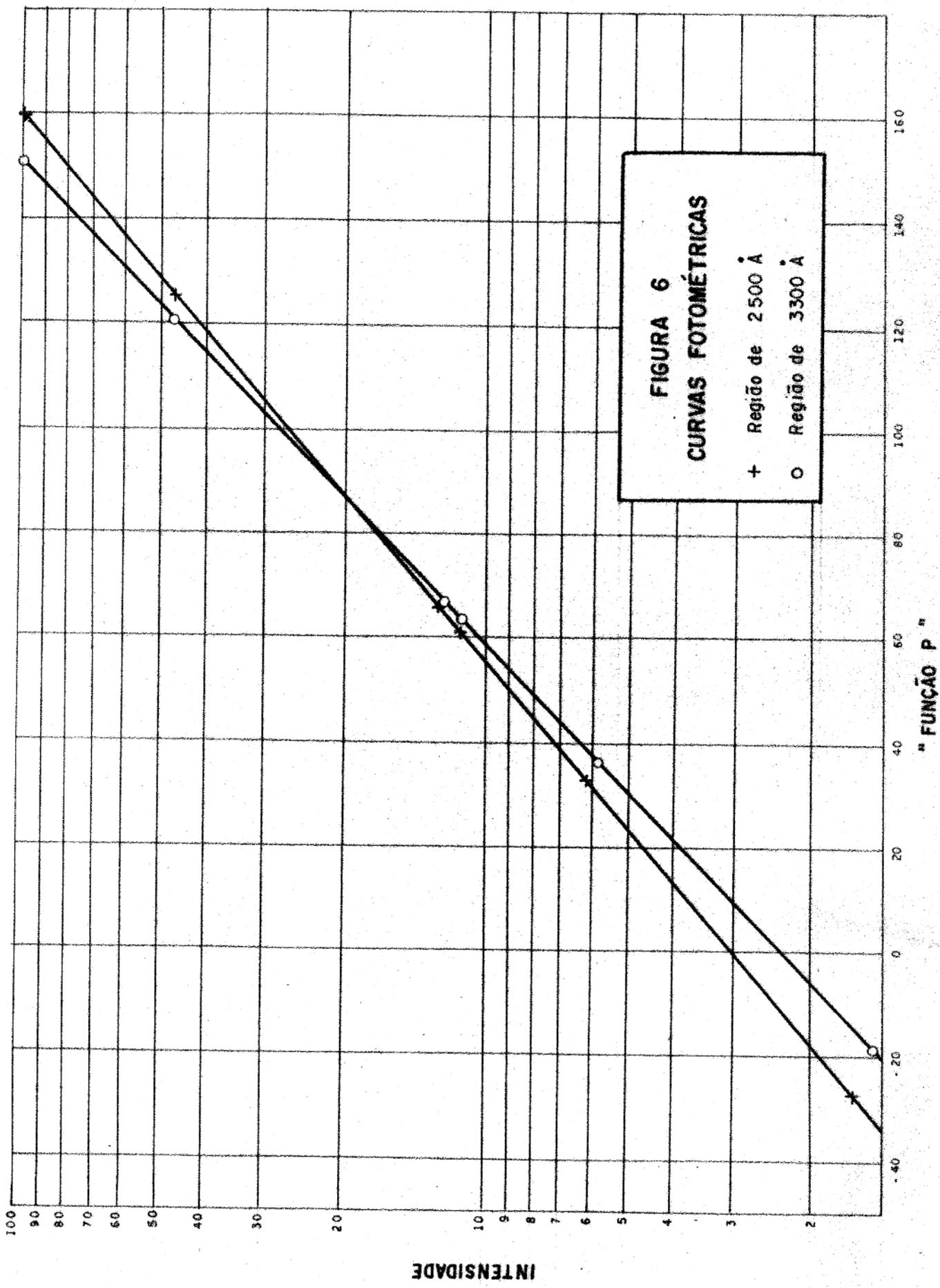


FIGURA 6
CURVAS FOTOMÉTRICAS
+ Região de 2500 Å
O Região de 3300 Å

Elem.	zero ppm	10 ppm	30 ppm	100 ppm	300 ppm	1000 ppm
Be	-40 (-47)	-18 (-40)	-6(-34)	26(-34)	49 (-36)	72 (-29)
B	-38 (-48)	-34 (-51)	-32(-54)	-10(-47)	19 (-52)	50 (-48)
Ge _I	126 (7,5)	130,5(28)	118(7,5)	127(13,5)	128 (11,5)	114 (6)
Pb	-42 (-45)	-38 (-48)	-35(-51)	-12(-46)	22 (-43)	42 (-39)
V	-5 (-23)	8 (-16)	-5(-24)	16(-20)	33 (-22)	61 (-15)
Ge _{II}	104 (19)	122 (25,5)	91(11,5)	109(15)	109 (15,5)	100 (11)
Cu	7,2 (0,5)	23,5(6,5)	46,5(3,5)	76,5(8)	124 (18,5)	142 (15)
Ni	10 (4,5)	16 (7)	8,5(-0,5)	39 (7)	77 (1,5)	132 (4)
Cr _(c)	-10 (-13)	-1 (-9)	-12(-23)	30 (-9)	77 (-6)	126 (-19)
Cr _(B)	35 (33)	55 (46)	42(24)	93,5(43)	-	-

Tabela 10 - Valores da "função P" para as linhas analíticas e valores médios de seus respectivos "backgrounds" (entre parênteses) referentes às amostras padrões. Todos os valores foram observados através do filtro B, com exceção daqueles para Cr(C) para os quais foi utilizado o filtro C.

Elem.	-0- ppm	10 ppm	30 ppm	100 ppm	300 ppm	1000 ppm
Be	0,14	0,6	0,97	3,42	6,95	13,13
B	0,20	0,33	0,43	1,08	3,05	7,49
Ce _I	52,25	57,35	42,75	53,75	54,95	38,32
Pb	0,06	0,19	0,31	0,97	3,21	5,73
V	0,82	1,40	0,88	2,20	4,18	9,18
Ge _{II}	28,30	39,20	18,37	29,30	29,25	23,40
Cu	0,45	1,51	5,18	12,65	42,75	65,14
Ni	0,38	0,73	0,65	3,53	13,10	51,00
Cr _(C)	0,24	0,86	1,18	6,60	27,46	93,30
Cr _(B)	0,29	1,77	2,40	15,87	-	-

Tabela 11 - Intensidades das linhas analíticas observadas das amostras padrões; os valores apresentados já se encontram subtraídos de seus respectivos "back grounds".

tos V, Cu, Ni e Cr o foram com o Ge_{II} . Esta relação representava para o padrão zero ppm as impurezas contidas na matriz não espectrosopicamente pura e necessitava, portanto, ser subtraída de cada um dos valores I_{el}/I_{Ge} . Os resultados oriundos dessa subtração são mostrados na tabela 12 e foram utilizados para a construção das curvas analíticas das figuras 7, 8, 9 e 10.

Elem.	zero ppm	10 ppm	30 ppm	100 ppm	300 ppm	1000 ppm
Be	0,00267	0,00779	0,02002	0,06095	0,12380	0,33997
B	0,00382	0,00193	0,00623	0,01627	0,05188	0,19170
Pb	0,00110	0,00220	0,00615	0,01694	0,05742	0,14840
V	0,02826	0,00745	0,01695	0,04682	0,11454	0,35634
Cu	0,01590	0,02262	0,26608	0,41584	1,44563	2,76786
Ni	0,01342	0,00520	0,02196	0,10705	0,43444	2,16606
Cr(C)	0,00848	0,01345	0,05575	0,21677	0,93032	3,97869
Cr(B)	0,00989	0,03526	0,12075	0,53174	-	-

Tabela 13 - Valores de $(I_{el}/I_{Ge} - I_{o_{el}}/I_{o_{Ge}})$ utilizados para a confecção das curvas analíticas.

A. 1.4. Determinação dos limites de detecção

O limite de detecção do método foi calculado para cada elemento, com base na variação das intensidades dos "backgrounds" nas amostras padrões.

Observou-se, a partir da avaliação qualitativa preliminar da variação das intensidades dos "backgrounds", que a intensidade mínima de uma linha, necessária para que ela possa ser visualizada com precisão, deve ultrapassar o valor da intensidade média do "background" em uma quantidade equivalente a 2,5 vezes o desvio padrão em relação a esta média. A concentração equivalente a $(I_{back} + 2,5\tau)$ corresponde, assim, ao limite de detecção do método. Para que esta concentração seja calculada através das figuras 7, 8, 9 e 10 o valor da intensidade mencionada deve inicialmente ser dividido pela intensidade da linha do germânio correspondente e, a seguir, subtraído do valor (I_{back}/I_{Ge}) . O resultado desta operação $(2,5\tau/I_{Ge})$ permite o cálculo do limite de detecção diretamente através das cur

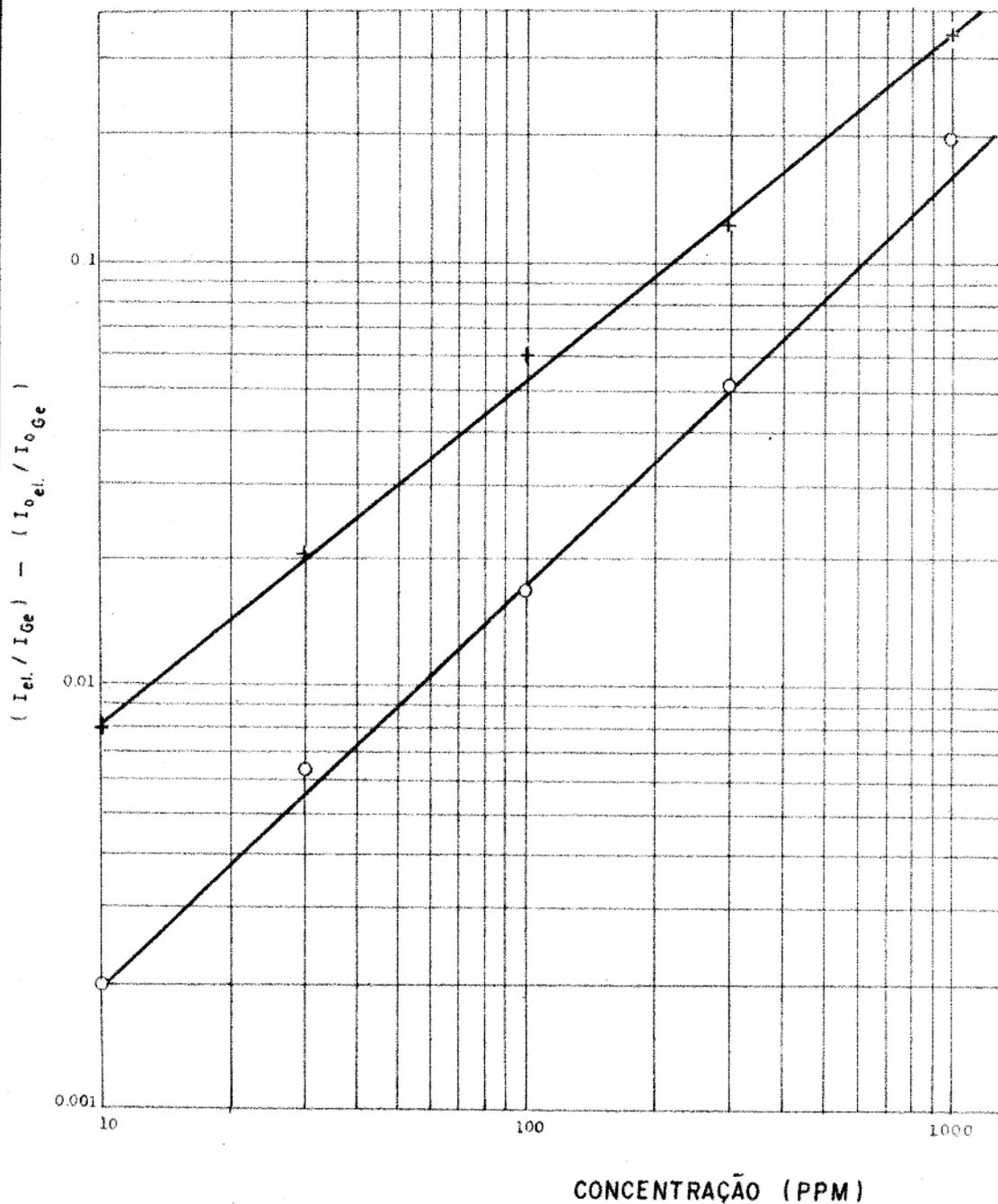


FIGURA 7 - CURVAS ANALÍTICAS PARA BORO E BERÍLIO.

○ - Boro (2496,78 Å)

+ - Berílio (2348,60 Å)

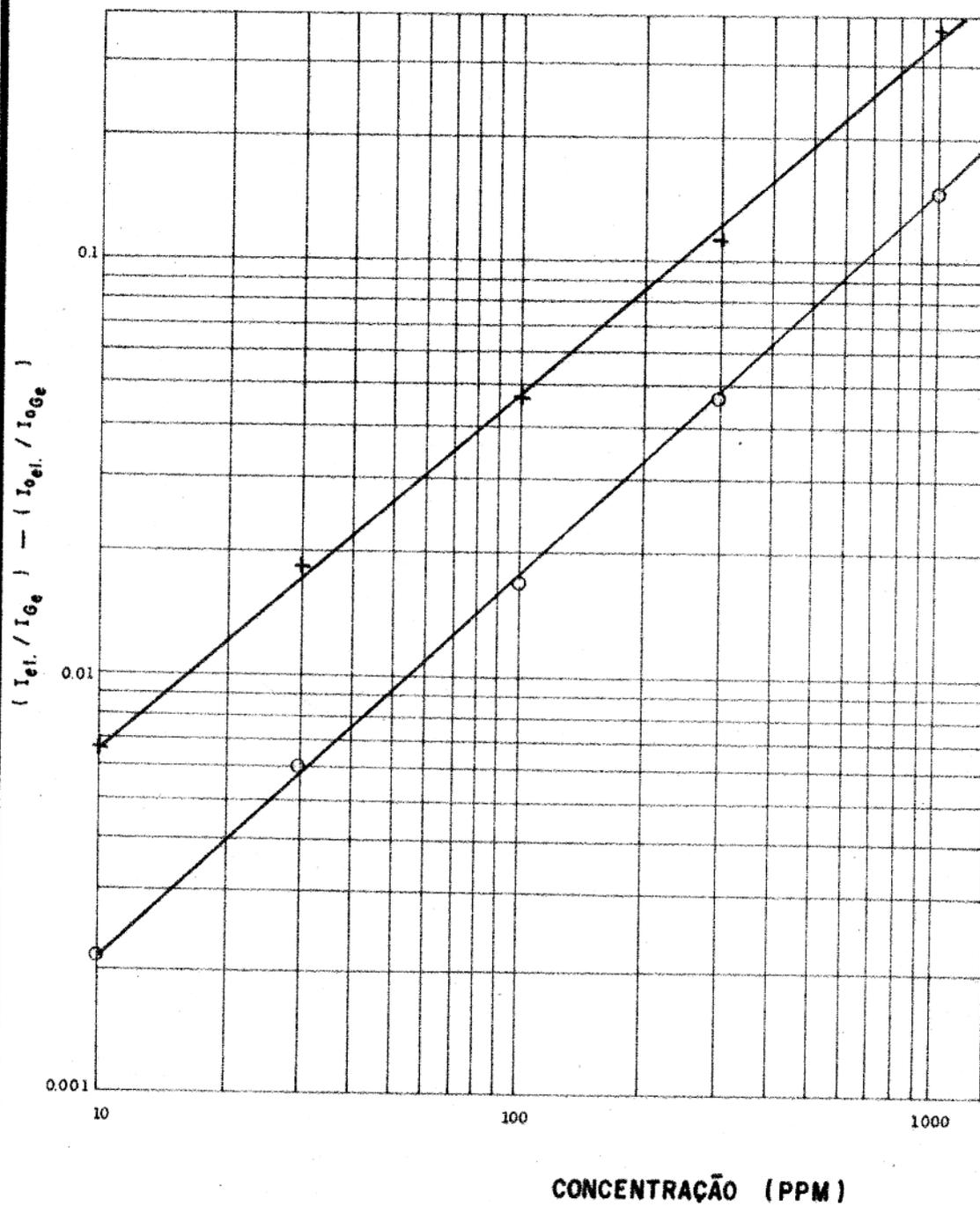


FIGURA 8 - CURVAS ANALÍTICAS PARA CHUMBO E VANÁDIO

○ - Chumbo (2833 Å)

+ - Vanádio (3185 Å)

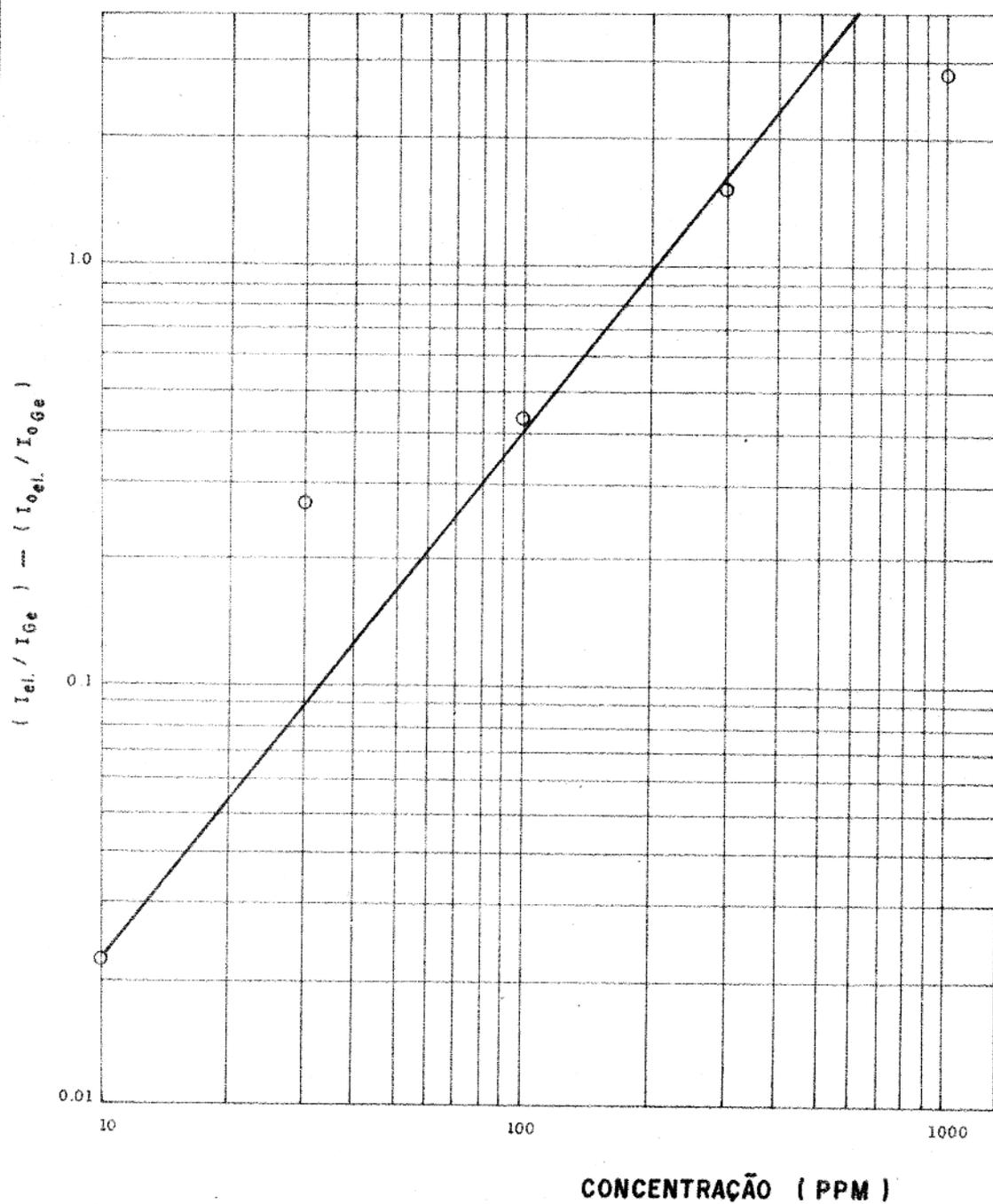


FIGURA 9 - CURVA ANALÍTICA PARA O COBRE

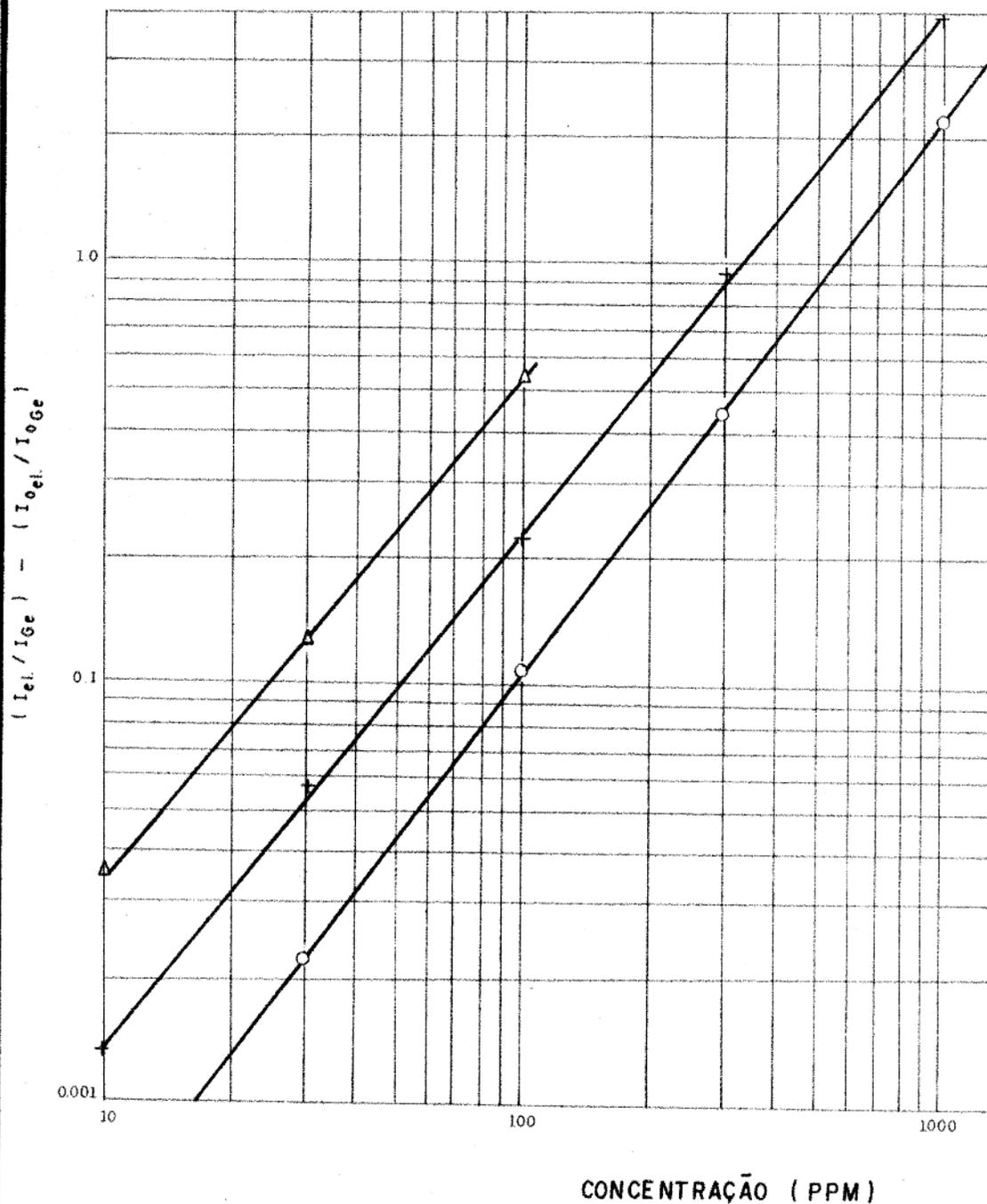


FIGURA 10 - CURVAS ANALÍTICAS PARA NÍQUEL E CROMO

○ - Níquel (3414,76 Å)

+ - Cromo (4254,35 Å) filtro C; Δ - Cromo (4254,35 Å) filtro B

vas analíticas construídas.

A tabela 13 exemplifica o cálculo do limite de detecção para o berílio.

x	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$
0,71	-0,219	0,047961
0,85	-0,079	0,006241
0,98	0,051	0,002601
0,98	0,051	0,002601
0,95	0,021	0,000441
1,07	0,141	0,019881
$\bar{x} = 0,929$		$\Sigma(x - \bar{x})^2 = 0,079726$
Desvio padrão: $\tau = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n-1}}$ $\tau = \sqrt{\frac{0,079726}{5}}$ $\tau = 0,1262$		
Threshold: $T = 2,5 \cdot \tau / I_{Ge_I}$ $T = 2,5 \times 0,1262 / 49,875$ $T = 0,0063258$		
Limite de detecção: LD = 7,5 ppm		
OBS: x = valor médio dos "backgrounds" a direita e a esquerda da linha.		

Tabela 13 - Cálculo do limite de detecção do método para o berílio.

Os limites assim calculados são os seguintes: Be(7,5 ppm) B (10,5 ppm), Pb (7 ppm), V (23,5 ppm), Cu (18,5 ppm), Ni(25 ppm) e Cr (28 ppm). À exceção dos limites para o B e o Be, os valores acima são bem mais elevados que aqueles reportados por Taylor et al (1960) e por Levinson (1974), fato cuja razão deve ser creditada a alta volatilidade da matriz utilizada.

A. 1.5. Análise das amostras

As amostras de fosfatos foram isoladas, trituradas, pulverizadas em graal de ágata, secas e misturadas com quantidades e equivalentes de mistura C/GeO₂: 80/20. As misturas foram homogeneizadas por cerca de 2h e levadas a queima. As condições de queima foram semelhantes as usadas para os padrões. As linhas analíticas foram observadas no densitômetro, os valores da "função P" medidos e transformados em intensidades com o uso das curvas fotométricas. As intensidades foram relacionadas com as correspondentes do padrão interno e as concentrações foram, a partir daí, calculadas através das figuras 7, 8, 9 e 10. Os valores da "função P" para os elementos analisados são mostrados na tabela 14.

As curvas de trabalho, construídas na faixa de zero a 1000 ppm, mostraram-se bem aplicáveis aos elementos Be, V, Cu, Ni e Cr. As concentrações de boro são, entretanto, superiores a 1000 ppm em 8 das amostras analisadas, assim como acontece para a concentração de chumbo em 2 amostras. Esses resultados devem, portanto, ser encaradas como aproximações.

Amostra	Be	B	Ge _I	Pb	V	Ge _{II}	Cu	Ni	Cr
SL.F.1.1	2(-49)	59(-51)	105(19)	-	40(-28)	95(-8,5)	2(-11)	-	0,5(-17)
SL.F.1.2	-6(-58)	48(-57)	94(3)	-	26(-33)	78(-2)	5(-20)	-	-16(-23)
SL.F.2.1	-30(-49)	43(-55)	101(7,5)	-26(-58)	21(-35)	86(2)	0(-18)	-	20(-13)
SL.F.2.2	-29(-49)	44(-59)	108(12)	-26(-50)	21(-40)	90(4)	5(-15)	-	18(-16)
SL.F.2.3	-	13(- 7)	106(24)	80(-37)	31(-14)	103(23)	30(5,5)	-	x28(-33)
SL.F.2.4	-	7(-16)	102(16)	63(-47)	24(- 9)	95(19)	25(2,5)	-	x21(-16)
SL.F.3.1	-3(-48)	50(-49)	104(6)	-26(-58)	7(-35)	84(1,5)	-12(-17)	-	-16(-26)
SL.F.3.2	15(-47)	70(-51)	128(22)	2,5(-49)	27(-32)	110(22)	6(- 2)	-	5(- 8)
SL.F.4.1	25(-44)	8(-44)	119(18)	-24(-50)	0(-45)	100(17,5)	26(- 5)	-	-8(-25)
SL.F.4.2	24(-51)	4(-53)	116(12)	-30(-55)	-6(-46)	97(11)	27(- 8)	-	-12(-29)

Tabela 14 - Valores da "função P" para as linhas analíticas dos elementos analisados nas amostras de fosfatos e média de seus respectivos "backgrounds" (entre parenteses). Todos os valores foram observados no filtro B, com exceção daqueles assinalados com (x) que foram lidos no filtro C.

DETERMINAÇÃO COLORIMÉTRICA DO P₂O₅

O método colorimétrico utilizado para a determinação dos teores de P₂O₅ em amostras da área de Santa Luzia é baseado na coloração amarela adquirida pela solução de vanadomolibdato de amônio em contato com uma solução contendo fósforo.

A.2.1. Preparação das soluções

Solução 1000 ppm de P₂O₅ - 1000 mg de P₂O₅ (=1860 mg de (NH₄)₂ HPO₄) foram pesados e dissolvidos em água destilada até 1 litro.

Solução 100 ppm de P₂O₅ - Obtidos pela diluição 1:10 da solução 1000 ppm.

Solução 5% de molibdato de amônio - 5 gramas de molibdato de amônio dissolvidos em 100 ml de água.

Solução de vanadato de amônio - 25000 mg de metavanadato de amônio foram dissolvidos em 500 ml de água destilada quente. Após o resfriamento foram adicionados 20 ml de HNO₃. A solução resultante foi diluída em água destilada até 1 litro.

Solução 1:1 HNO₃ - 50 ml de HNO₃ concentrado +50 ml de água destilada.

A.2.2. Preparação dos padrões

Em cinco balões de 100 ml foram colocados respectivamente zero, 5, 10, 15 e 20 ml de solução 100 ppm de P₂O₅. A cada balão foram adicionados 10 ml da solução de vanadato de amônio e 10 ml da solução HNO₃ 1:1. Cada balão foi preenchido com água destilada até 100 ml. Após 30 minutos foram efetuadas as leituras dos valores de absorvância, no colorímetro, para cada solução padrão.

A.2.3. Leitura

As leituras das absorvâncias foram feitas sob as seguintes condições do aparelho:

Comprimento de onda: 430 m

Filtros : 380, 500

Cubeta : 1 cm³

Os valores obtidos foram plotados em papel milimetrado normal contra as concentrações correspondentes (figura 11) e são apresentados na tabela 15.

Concentração	Absorbância
zero ppm	zero
5 ppm	0,081
10 ppm	0,16
15 ppm	0,238
20 ppm	0,32

Tabela 15 - Concentração X Absorbância dos padrões para colorimetria.

A.2.4. Execução das análises

100 mg do fosfato pulverizado e seco foram misturados com 600 mg da mistura de carbonatos K_2CO_3/Na_2CO_3 :: 1/1 e levadas a fusão. O resíduo da fusão foi dissolvido em água destilada quente e após o resfriamento transferido para um balão volumétrico de 10ml, completado posteriormente até a marca com água destilada. Da solução da amostra foram retirados 5 ml, aos quais foram adicionados 10 ml da solução 5% de molibdato de amônio, 10 ml da solução de vanadato de amônio e 10ml da solução HNO_3 1:1, e aferidos até 100 ml em balão volumétrico. O fator de diluição assim obtido equivale a 1:20000 e permitiu a leitura dos teores de P_2O_5 de quatro amostras analisadas dentro dos limites da curva construída. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 16.

Amostra	Absorbância	% em peso
SL.F.1.1	0,227	28,40
SL.F.1.2	0,225	28,10
SL.R.2.3	0,130	16,20
SL.F.3.1	0,225	28,10

Tabela 16 - Absorbâncias e concentrações das amostras analisadas por colorimetria. A amostra SL.R.2.3 corresponde à rocha total da ocorrência 2 (quartzoxisto com disseminações de crandalita).

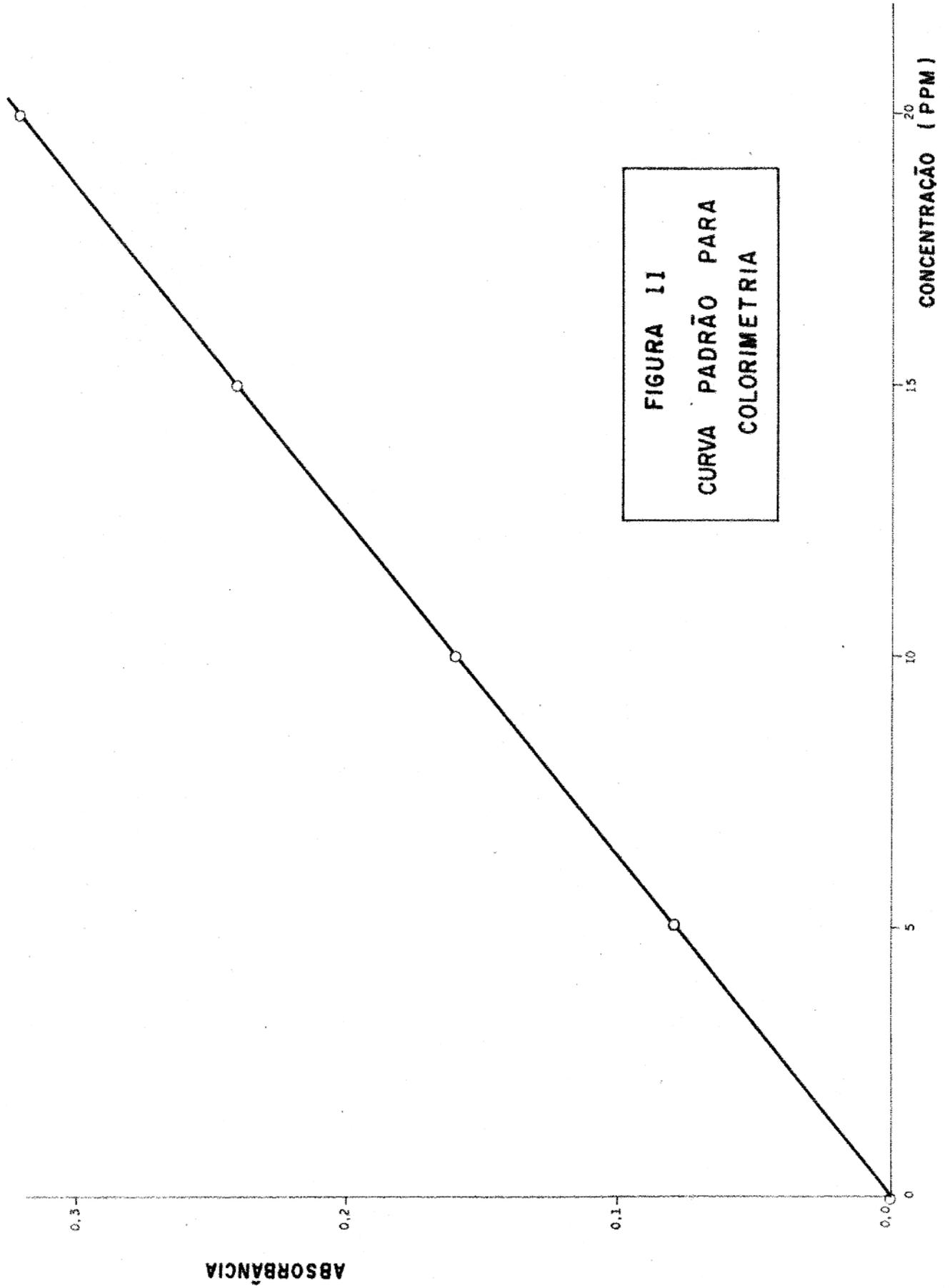


FIGURA 11
CURVA PADRÃO PARA
COLORIMETRIA

DESCRIÇÃO DAS SEÇÕES DELGADAS DAS ROCHAS ESTUDADAS

Amostra: SL.R.2.1/SL.R.2.2

Procedência: Ramal dos Canas, 1 km da rodovia BR-316

Quartzo-sericita xisto com disseminações de crandalita

Rocha metamórfica de textura xistosa, com matriz fina, composta principalmente por quartzo e sericita e contendo esferólitos de crandalita dispersos. A xistosidade é definida pela nítida orientação dos cristais de quartzo e sericita da matriz. O quartzo ocorre, ainda, como raros porfiroblastos xenomórficos, circundados por lamelas de sericita, e com forte extinção ondulante. A crandalita apresenta-se em grãos maiores, com diâmetro médio de 3 mm, fibro radiados, com estrutura concêntrica, de forma aproximadamente circular ou ligeiramente alongada na direção da xistosidade, em geral completamente cortados pelas lamelas de sericita e pelos cristais orientados de quartzo. A crandalita é uniaxial positiva, tem cor de interferência cinza e relevo pouco superior ao do quartzo. O mineral ocorre ainda em grãos menores, de dimensões semelhantes às dos minerais da matriz e nela dispersos. Como constituintes menores da rocha aparecem zircão, esfeno e rara clorita. Minúsculos grãos isotrópicos de alto relevo, provavelmente de granada, podem ser visualizados sob a lente de maior aumento e são distribuídos em toda a seção. Microveios discordantes de quartzo cortam esporadicamente a rocha.

Grau metamórfico: BAIXO (Winkler, 1974); fácies metamórfico: XISTO VERDE.

Amostra: SL.R.4.1

Procedência: rodovia BR-316, ocorrência 4

Clorita-sericita xisto com grafita (xisto grafitoso)

Rocha metamórfica de textura xistosa, com a foliação principal bastante deformada provocando muitas vezes a formação de uma foliação secundária perpendicular a primeira. A rocha apresenta

uma alternância de níveis mineralógicos, constituídos, perpendicularmente à xistosidade principal, por grafita, quartzo-sericita e sericita-grafita. A grafita apresenta-se na forma de fibras delgadas contínuas, sendo os espaços entre as mesmas algumas vezes preenchidos por vavelita. A vavelita tem cor verde-amarelada, hábito fibro-radiado e ocorre principalmente nas bordas de microveios de quartzo que cortam a rocha. As faixas mais ricas em sericita e quartzo contém ainda, em menor proporção, clorita, albita e epidoto, os quais se tornam raros nos níveis grafitosos. O quartzo raramente aparece como porfiroblastos, estando, mais comumente, restrito a matriz fina da rocha, ou ocorrendo na forma de microveios discordantes.

Grau metamórfico: BAIXO (Winkler, 1974); fácies metamórfico: XISTO VERDE.

Amostra: SL.R.4.2

Procedência: Passagem São José, a 450 m a norte da bifurcação Clorita-sericita xisto com grafita (xisto grafitoso)

Rocha metamórfica de textura xistosa fina, composta de sericita, quartzo, grafita, clorita e epidoto. A rocha apresenta-se bastante deformada, com foliações secundárias desenvolvendo-se em posição aproximadamente perpendicular à xistosidade principal, e constitui-se predominantemente de sericita e quartzo, este com forte extinção ondulante. Esporadicamente observa-se a presença de clorita dispersa em toda a seção. Finos níveis de grafita alternam-se dentro da massa de quartzo e sericita. O epidoto apresenta a forma prismática e é pouco frequente. A rocha é cortada por estreitos veios de quartzo, em cujas bordas aparece a vavelita fibro-radiada, em níveis que se tornam mais espessos no contato com as faixas mais ricas em grafita.

Grau metamórfico: BAIXO (Winkler, 1974); fácies metamórfico: XISTO VERDE.

Amostra SL.R.9

Procedência: rodovia PA-12, a 2 km da rodovia BR-316

Sericita fíli

Rocha metamórfica de textura xistosa fina, composta de sericita, quartzo, clorita, epidoto, opacos e óxidos de ferro. A sericita é o constituinte principal da rocha, compondo entre 50 e 60% do seu volume, e ocorre na forma de lâminas orientadas que definem a foliação da rocha. O quartzo a segue em abundância, apresentando-se como microblastos anédricos orientados e com extinção ondulante. Os opacos possuem a forma de losango ou de quadrado e correspondem, provavelmente a magnetita. O epidoto é raríssimo e ocorre na forma de diminutos cristais prismáticos associados a sericita. Também associada a sericita ocorrem lamelas de clorita verde, dispersas na seção. A rocha encontra-se bastante alterada pelo intemperismo.

Grau metamórfico: BAIXO (Winkler, 1974); fácies metamórfico: XISTO VERDE.

Amostra: SL.R.14

Procedência: terminal do Ramal do Narciso

Quartzo xisto

Rocha metamórfica de textura xistosa, granulação fina, composta de quartzo, sericita, zircão, esfeno, epidoto e clorita. O constituinte principal da rocha é o quartzo, que ocorre tanto na matriz fina como em porfiroblastos irregulares, alongados segundo a xistosidade e com forte extinção ondulante. A sericita aparece na forma de fibras delgadas circundando os porfiroblastos de quartzo ou associada ao quartzo da matriz, sendo raramente acompanhada por clorita. O zircão e o esfeno são raros e dispersos em toda a seção. O epidoto é raríssimo e ocorre na forma de minúsculos blastos de alto relevo e forma prismática, sem concentração preferencial.

Grau metamórfico: BAIXO (Winkler, 1974); fácies metamórfico: XISTO VERDE.

Amostra SL.R.15

Procedência: Ramal do Tomé, a 100m da bifurcação para o Ramal dos Canas

Quartzo Xisto

Rocha metamórfica de xistosidade grosseira, composta por quartzo, sericita, esfeno, zircão, epidoto e clorita. O quartzo é o constituinte predominante, compondo mais de 80% do volume da rocha, e ocorre na forma de porfiroblastos anédricos alongados segundo a foliação e dispersos na matriz fina de quartzo e sericita. O zircão apresenta-se como diminutos blastos de granulação idêntica a da matriz e nela dispersos. A clorita é rara e acompanha a sericita, tanto no hábito como na orientação, enquanto o epidoto é raríssimo. Grãos isolados, isotrópicos e de alto relevo, raros e observados apenas sob a maior ampliação, devem ser constituídos de grana da. Pequenos núcleos de crandalita fibro-radiada são dispersos na matriz. A crandalita aparece ainda preenchendo microveios, discordantes à foliação.

Grau metamórfico: BAIXO (Winkler, 1974); fácies metamórfico: XISTO VERDE.

Amostra: SL.R.16

Procedência: Ramal dos Canas, 2,4 km da rodovia BR-316

Quartzo-muscovita xisto

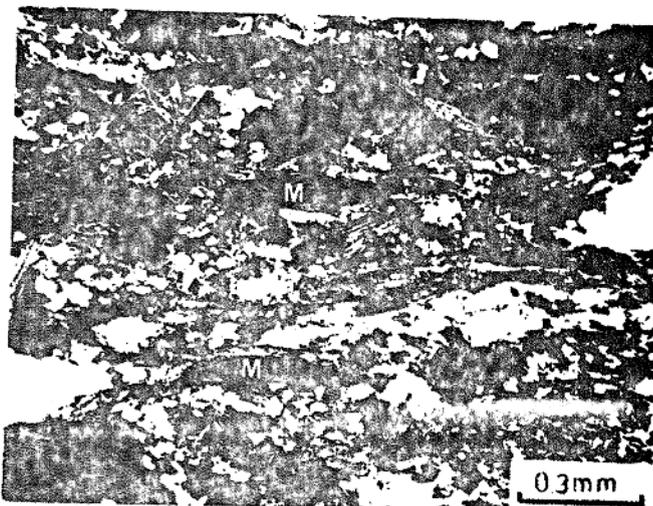
Rocha metamórfica de xistosidade grosseira, composta principalmente por quartzo, muscovita e albita. Clorita, zircão e esfeno são constituintes menores da rocha. O quartzo é o constituinte principal, ocorrendo em porfiroblastos xenomórficos alongados segundo a foliação e apresentando nítida extinção ondulante, ou como blastos de granulação mais fina associados a muscovita da matriz. A muscovita aparece na forma de lâminas individualizadas em porfiroblastos, de até 3 mm na principal dimensão, e também na matriz fina, juntamente com o quartzo. A albita é menos abundante, ocorrendo em blastos esparsos na matriz e sem orientação preferencial.

Grau metamórfico: BAIXO (Winkler, 1974); fácies metamórfico: XISTO VERDE.



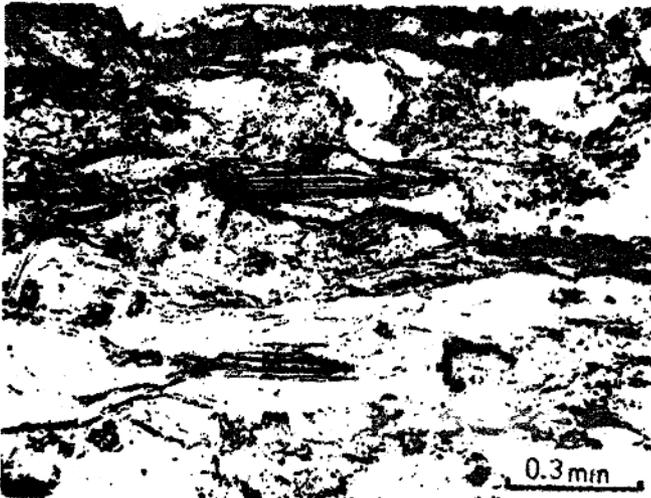
Fotomicrografia 1

Quartzo xisto (seção SL.R.14). Porfiroblastos de quartzo (Q) destacam-se na matriz fina de quartzo e sericita (Q+S). Nicóis cruzados.



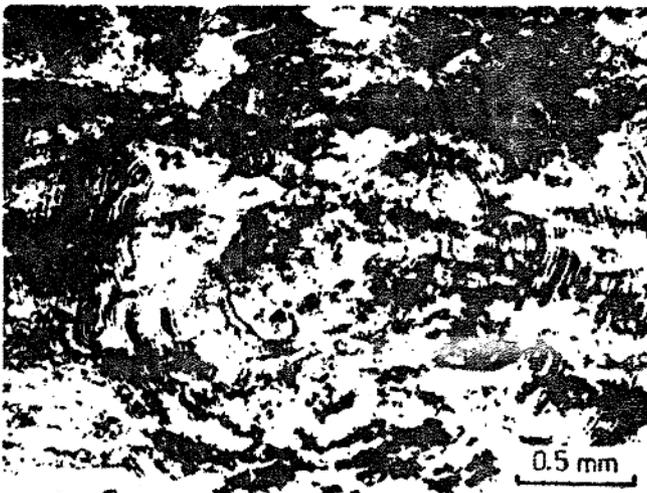
Fotomicrografia 2

Quartzo-muscovita xisto (seção SL.R.16). Porfiroblastos de muscovita (M) destacam-se no centro da foto. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 3

Quartzo-muscovita xisto (seção SL.R.16). A seção da foto 2 é aqui observada com nicóis descruzadas. Notar os bem desenvolvidos porfiroblastos de muscovita (M).



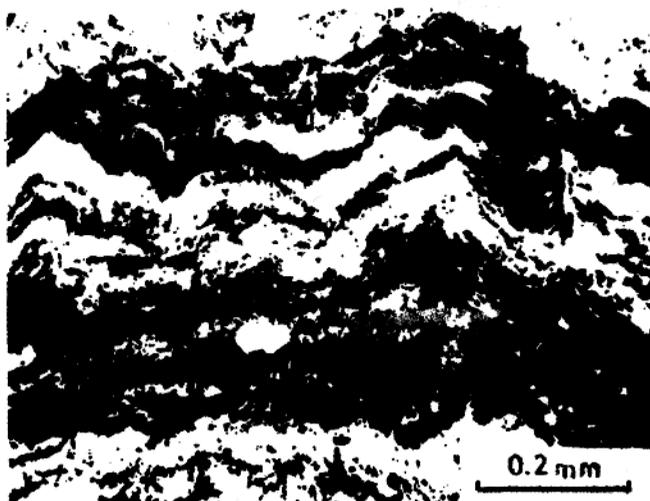
Fotomicrografia 4

Esferólito de corundita (seção SL.R.2.1) parcialmente substituído por quartzo e sericita. Nicóis descruzados.



Fotomicrografia 5

Esferólito de crandeli
ta (seção SL.R.2.2) parci
almente substituído por
quartzo e sericite. Nicóis
cruzados.



Fotomicrografia 6

Xisto grafitoso (seção
SL.R.4.1). As faixas es
curas correspondem a ní
veis grafitosos. O nível
inferior contém vavelita
não aparente na foto. No
tar a deformação e o des
locamento das bandas. Ni
cóis cruzados.

CONVENÇÕES

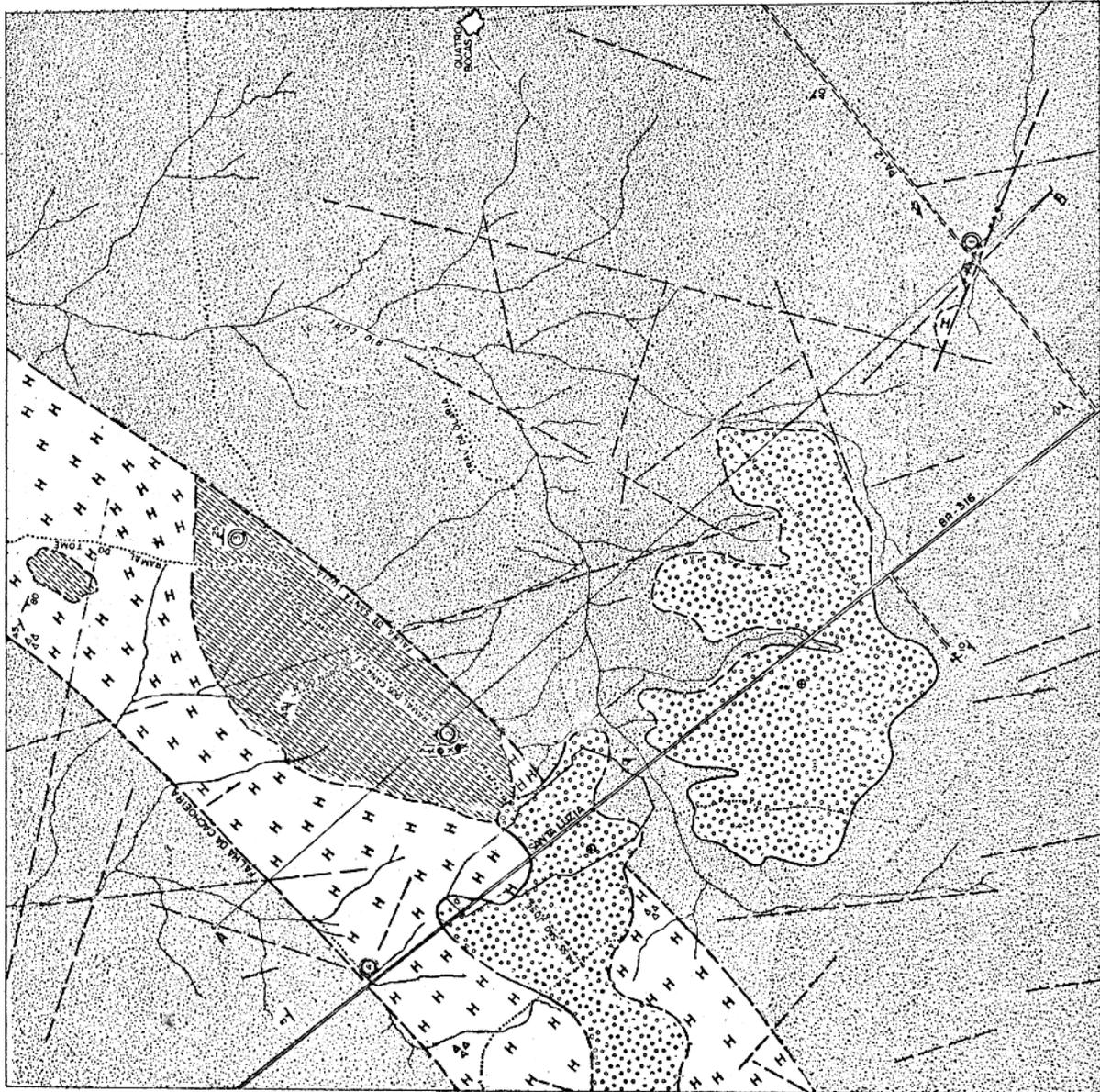
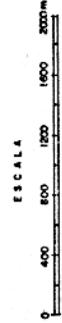
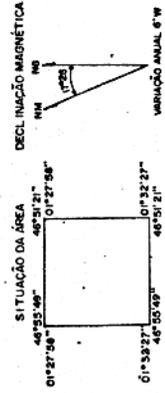
GEOLOGICAS:

- ARENITO ARGILOSO FRIÁVEL AMARELO A AVERMELHADO (GRUPO BARREIRAS)
- ZONA DE VEIOS QUARTZO-FOSFATO, ONDE PORTUADO ENCObERTO OU INEXISTENTE
- BRECHA DE FALHA
- SERICITA FILITO
- XISTO GRAFÍTOSO
- QUARTZO XISTO C/NÍVEL DE GRANDALITA DISSEMINADA

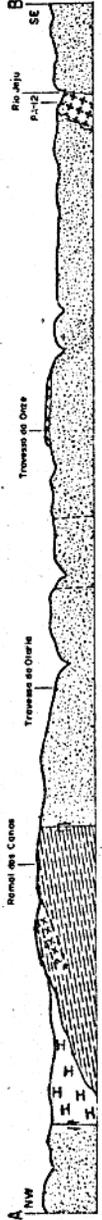
- FALHA NORMAL
- FRATURA (OU FALHA NÃO CONFIRMADA)
- CONTATO
- CONTATO APROXIMADO (MÁX. DESLOCAMENTO POR P/CADA MARCEN)
- ATITUDE DO ACAMAMENTO
- ATITUDE DA XISTOSIDADE
- ACAMAMENTO E XISTOSIDADE PARALELOS
- ACAMAMENTO HORIZONTAL
- MINA DE SERICITA
- POÇO P/AMOSTRAGEM
- OCORRÊNCIA DE FOSFATO

TOPOGRÁFICAS:

- DRENAGEM
- ESTRADA PAVIMENTADA
- ESTRADA NÃO PAVIMENTADA
- POVOADO



NÚCLEO DE CIÊNCIAS GEOFÍSICAS E GEOLOGICAS UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ	
FOSFATOS DA REGIÃO DE STA. LUZIA - NORDESTE DO PARÁ	
MAPA GEOLOGICO DA ÁREA DE SANTA LUZIA	
AUTOR	DATA
NILSON P. DE OLIVEIRA	1976



11. REFERÊNCIAS

- ABREU, S.F., 1937, Nota sobre os phosphatos de Trauhira (Bauxita e laterita phosphorosa): Serv. Fom. Prod. Mineral, Bol. n° 13, parte IV, p. 133-172.
- ABREU, S.F., 1973, Recursos Minerais do Brasil, 2 ed, v. 1 (coord. J.C. Mendes e R.R. Franco): São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da USP; Rio de Janeiro, Inst. Nac. Tecnologia, 325 p.
- ACKERMANN, F.L., 1964, Geologia e Fisiografia da Região Bragantina (Estado do Pará): Manaus, Inst. Nac. Pêsq. Amazônia, Cadernos da Amazônia, n° 2, 90 p.
- ACKERMANN, F.L., 1966, A depredação dos solos na Região Bragantina e Amazônia: Belém, Imprensa da UFPa., 59 p.
- ACKERMANN, F.L., 1969, Esboço para a Geologia entre Belém - Rio Gu rupi e Atlântico - Rio Guamã: Belém, Imprensa da UFPa., 79 p.
- AHRENS, L.H. e TAYLOR, S.R., 1961, Spectrochemical analysis, 2 ed., Mass., Reading, Addison-Wesley Pub. Co., Inc., 454 p.
- ALTSCHULER, Z.S., JAFFE, E.B. e CUTTITTA, F., 1956, The aluminum Phosphate Zone of the Bone Valley Formation, Florida, and its Uranium Deposits: U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, v. 300, p. 495-504.
- ANDREW-JONES, D.A., 1968, The application of geochemical techniques to mineral exploration: Color. School Mines, Min. Ind. Bull., v. 11, n° 6.
- ARANTES, J.L.G. et alii, 1972, Projeto Argila - Belém: Belém, Dep. Nac. Prod. Mineral.
- ARGENTIERE, R., 1971, Notas sobre a Ilha de Trauira: Min. Met., v. 54, n° 321, p. 110-112.

- ASTM, 1974, Powder Diffraction File: Philadelphia, Joint Committee on Powder Diffraction Standards.
- BLOUNT, A.M., 1974, The Crystal Structure of Crandallite: Am. Mineralogist, v. 59, p. 41-47.
- BRANDT, F., 1932, Ein neuer Typ von Eisen-Tonerdephosphat-Vorkommen (Maranhão, Nordbrasilien): Chemie d. Erde, Band 7, p. 389-425.
- CAPDECOMME, L., 1953, Etude mineralogique des gites de phosphates alumineux de la region de Thies (Senegal): Cong. Geol. Int., Comptes Rendus, XI Session, Alger, p. 103-117.
- CATHCART, B. e GULBRANDSEN, R.A., 1974, Phosphate Deposits: U. S. Geol. Survey Prof. Paper, v. 600-C, p. C4-C12.
- FRANCISCO, B.H.R. et alii, 1971, Contribuição a Geologia da Folha de São Luiz (SA-23) no Estado do Pará (III-Estratigrafia; IV- Recursos Minerais): Bol. Museu Par. Emílio Goeldi, n. ser., Geologia, v. 17, 45 p.
- GOLDSCHMIDT, V.M., 1958, Geochemistry: London, Oxford University Press, 730 p.
- HARDER, H., 1959, Beitrag zur Geochemie des Bors: Fortschr. Mineralogie, v. 37, p. 82-87.
- HONERJÄGER-SOHN, M. e KAISER, H., 1944, Berücksichtigung des Untergrundes bei der Messung von Intensitätsverhältnissen: Spectrochim. Acta, v. 2, n° 8, p. 396-416.
- IGNATOVA, L.I., KARPOVA, L.I. e ZHIL'TSOVA, I.G., 1965, Synthesis of the aluminophosphate minerals: Geokhimiya, v. 11. p.1355-1363 (em russo); resumo em inglês em: Geochemistry Internat., v. 2, p. 1021.
- LARSEN, E.S., 1942, The mineralogy and paragenesis of the variscite nodules from near Fairfield, Utah: Am. Mineralogist, v. 27, p. 281-300, 350-372, 441-451.

- LEVINSON, A.A., 1974, Introduction to Exploration Geochemistry :
Calgary, Appl. Publ. Ltd., 614 p.
- Mc KELVEY, V.E., 1967, Phosphate Deposits: U.S. Geol. Survey Prof.
Paper, v. 1252-D, p. D1-D17.
- MURDOCH, J., 1955, Phosphate minerals of the Borborema pegmatites
(I-Patrimônio): Am. Mineralogist, v. 40, p. 50-63.
- NUNES, A.B. et alii, 1973, Geologia da Folha SA.23 São Luiz e parte
da Folha SA.24 Fortaleza, in Levantamentos de Recursos Naturais,
v. 3: Rio de Janeiro, DNPM-Projeto Radam, SUDENE-Programa de In
tegração Nacional, p. I/1-I/41.
- OWENS, J.P., ALTSCHULER, Z.S. e BERMAN, R. 1960, Millisite in
phosphorite from Homeland, Florida: Am. Mineralogist, v. 45, p.
547-561.
- PALACHE, C., BERMAN, H. e FRONDEL, C., 1951, The System of Minera
logy, 2 ed., v. 2: New York, John Wiley & Sons, 1124 p.
- PUTZER, H., 1956, Mineralmacht Brasilien: São Paulo, 136 p.
- PUTZER, H., 1976, Metallogenetische Provinzen in Südamerika :
Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u.
Obermiller), 316 p.
- RABELLO, C.Q., 1945, Bauxita fosforosa de Pirocaua, Turiaçu, Mara
nhão: Min. Met., v. 9, nº 51, p. 123-126.
- RANKAMA, K. e SAHAMA, TH. G., 1968, Geochemistry, 2 ed: Chicago,
The University of Chicago Press, 912 p.
- RUSSEL, R.T. e TRUEMAN, N.A., 1971, The Geology of the Duchess
Phosphate Deposits, Northwestern Queensland, Australia: Econ.
Geol., v. 66, p. 1186-1214.
- SAHL, K., DOE, B.R. e WEDEPOHL, K.H., 1974, Lead, in Handbook of
Geochemistry (Ed.: K.H. Wedepohl), v. 4, p. 82-C-1 - 82-D-13.

- SAKAMOTO, T. e VARGAS, L.F.C., 1959, Relatório preliminar sobre o depósito de Bauxita fosfatada na Ilha de Trauíra, Município de Cândia Mendes, Estado do Maranhão /e/ Relatório preliminar sobre o depósito de Bauxita fosfatada no Morro de Pirocaua, Município de Cândia Mendes, Estado do Maranhão, in Notas sobre: 1) Depósitos de evaporitos da Bacia Amazônica; 2) Minério de bauxita fosforosa do Maranhão; 3) Reconhecimento geológico em áreas do Estado do Amazonas e Territórios do Rio Branco e Rondônia (súmula organizada por C. Pandolfo), Tomo II: Belém, SPVEA, p. 77-121.
- SCHROLL, E., 1976, Analytische Geochemie, Band 2 (Grundlagen und Anwendungen): Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag, 374 p.
- SLADE, P.G., 1974, The Synthesis of Crandallite $\text{CaAl}_3\text{H}((\text{OH})_6/\text{PO}_4)_2$: Neues Jahrb. Mineralogie Monatsh., p. 22-27.
- SSPT, 1971, Le Phosphal: Lam-Lam, Senegal, Soc. Senegal. des Phosphates de Thies (cóp. mimeog), 5 p.
- SUSZCZYNSKI, E.F., 1975, Os Recursos minerais reais e potenciais do Brasil e sua metalogenia: Rio de Janeiro, Interciência, 356p.
- TAYLOR, S.R. e AHRENS, L.H., 1960, Spectrochemical analysis, in Methods in Geochemistry (Ed.: A.A. Smales e L.R. Wager): New York, Interscience, p. 81-110.
- USDOWSKI, H.E., 1975, Fraktionierung der Spurenelemente bei der Kristallization: Berlin, Springer-Verlag, 106 p.
- WILLIAMS, H., TURNER, F.J. e GILBERT, C.M., 1955, Petrography: an introduction to the study of rocks in thin sections: San Francisco, W.H. Freeman & Co, 406 p.
- WINKLER, H.G.F., 1974, Petrogenesis of metamorphic rocks, 3 ed: New York, Springer Verlag, 237 p.