MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

CONVÊNIO CNEN/CPRM

CONTRATO Nº 154/DA/72 CPRM/PROSPEC

PHL
007528
2.06

AEROGAMAESPECTROMETRIA E AEROMAGNETOMETRIA NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, ESTADO DE MINAS GERAIS

R E L A T Ó R I O

- 1974 -

CPRM F. 96 SUREMI SEDOTE
ARQUIVO TÉCNICO
Relatório n.º 116-S
N.º de Volumes: 2 V.: 1

A P R E S E N T A Ç Ã O

Este relatório descreve as operações, os equipamentos e os resultados do levantamento aerogeofísico na área do Projeto Quadrilátero Ferrífero.

Apesar do esforço da Prospec em realizar o levantamento em tempo hábil, de acordo com o contrato celebrado entre esta companhia e a CPRM, fatores adversos, tais como, acidente com um de seus helicópteros, interrupções devidas a chuvas e atraso no processamento de dados devido ao despreparo técnico dos centros de computação brasileiros, fizeram com que o prazo para a sua execução fosse dilatado com a devida aquiescência do alto espírito compreensivo dos dirigentes da tão conceituada Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais.

O levantamento aerogeofísico constituiu-se na obtenção dos dados aeromagnéticos, medição da intensidade do campo magnético terrestre e de dados gamaespectrométricos, com discriminação de energias correspondentes ao potássio, ao urânio e ao tório. Por questões contratuais, apenas os dados gamaespectrométricos foram compilados, reduzidos para a forma de mapas de perfis de contagem total, rebatidos sobre 10 (dez) folhas de ortofotomosaicos, em escala 1:50.000, perfis de razão radiométrica (U/CT), também em 10 (dez) folhas sobre ortofotomosaico e, finalmente, foram integradas todas as folhas de perfis de contagem total para produzirem um só mapa de unidades radiométricas em escala 1:150.000, que foi em seguida analisado em correlação com a Geologia da área.

A G R A D E C I M E N T O S

Durante todo o decorrer da realização do presente trabalho, a Prospec contou com a colaboração efetiva e esforçada do seu pessoal do Escritório Técnico e Divisão de Geologia em Petrópolis e de sua Divisão de Operações Aéreas e Diretoria no Rio de Janeiro. Agradecimentos são, portanto, devidos a toda essa equipe técnica e administrativa, que muitas vezes devotou horas extras de trabalho para realizar, a contento, a tarefa que lhe foi conferida.

Aos técnicos da Northway Survey Corporation Ltd., companhia geofísica canadense, que apoiou a Prospec na aquisição e compilação dos dados geofísicos, treinando brasileiros para o desempenho de tarefas semelhantes futuras, agradecimentos são devidos especialmente ao Sr. Donald A. MacFadyen, Vice-Presidente, Sr. Harold Jantsh, Chefe da Divisão de Eletrônica, e aos Srs. Raymond Whitton e Wayne Mann.

Finalmente, cabe agradecer a todos os técnicos da Comissão de Energia Nuclear e Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, que, juntamente com a Prospec, cuidaram do bom andamento das fases de campo do levantamento, especialmente, atraves de suas Diretorias Técnica e Administrativa.

S U M Á R I O

1. INTRODUÇÃO 1

1.1 Localização 1

1.2 Diretrizes Gerais 2

1.3 Estatística de Produção 3

2. OPERAÇÃO DO LEVANTAMENTO 4

2.1 Mapas básicos 4

2.2 Plano, traço e altura dos voos 4

2.3 Instrumental e helicópteros do levantamento . . . 5

2.4 Calibrações do espectrômetro 6

2.4.1 Testes da sensibilidade e da correção do espalhamento Compton ("Stripping") 6

2.4.2 Medida da radiação do "background" atmosférico . 6

2.4.3 Supressão radiométrica por chuva e umidade . . 8

2.4.2 Fórmulas de correção para altitude 9

2.4.5 Retardo no espectrômetro 10

3. REDUÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS PARA A FORMA DE MAPAS 11

3.1 Mapas de traços dos voos 11

3.2 Processamento e redução dos dados do espectrômetro. 12

4. PROCESSOS DE ANÁLISE GAMAESPECTROMÉTRICA . 15

4.1 Mapas de zonas 15

4.2 Mapas da razão U/CT 18

5. GEOLOGIA DA ÁREA 19

6. ANÁLISE DOS DADOS RADIOMÉTRICOS 21

6.1 Rochas Graníticas Indivisas (gg) 22

6.2 Série Rio das Velhas 25

6.2.1 Série Rio das Velhas Indivisa 25

6.2.2 Grupo Nova Lima 25

6.2.3 Grupo Maquiné 26

6.3 Série Minas 27

6.3.1 Grupo Tamanduá 27

6.3.2 Grupo Caraça 27

6.3.3 Grupo Itabira 29

6.3.4 Grupo Piracicaba 30

6.4 Série Itacolomi Indivisa 31

6.5 Rochas Intrusivas 32

7. RESUMO 33

ANEXO A 35

A.1 Sistema Gamaespectrométrico 35

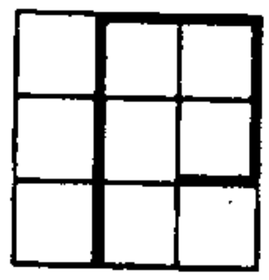
A.2 Aeromagnetometria GULF MARK III 38

A.3 Monitor de Tempestades MARK I 38

A.4 Câmara de Posição ou Rastreio, Modelo CARL MARK 7 . 39

A.5 Altímetro 39

BIBLIOGRAFIA 40



1. INTRODUÇÃO

Objetivando o cumprimento do Contrato 154/DA/72, celebrado entre a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e a PROSPEC S.A., esta última procedeu o levantamento aerocintilométrico com discriminação de energia, na área abrangida pela região mineira conhecida como Quadrilátero Ferrífero, daí a denominação do projeto. Paralelamente a esse levantamento cintilométrico, foram registrados analogicamente a intensidade do campo magnético total, porém, por questões contratuais, apenas os dados referentes à cintilometria foram compilados, apresentados sob a forma de mapas e analisados em relação à Geologia conhecida da área. Este relatório abrange também, procedimentos envolvidos na execução do levantamento aerogeofísico, objeto do referido contrato.

1.1 Localização

Situada inteiramente na região ferrífera mineira, mundialmente conhecida como Quadrilátero Ferrífero, a área do projeto foi inicialmente definida pelo polígono cujos vértices, em coordenadas geográficas de latitude sul e longitude oeste, respectivamente, foram:

A (19º30'-43º45'), B (19º30'-43º30'), C (19º45'-43º30'), D (19º45'-43º00'), E (20º00'-43º00'), F (20º00'-43º15'), G (20º30'-43º15'), H (20º30'-44º15'), I (20º15'-44º15'), J (20º15'-44º30'), L (20º00'-44º30'), M (20º00'-44º00'), N (19º45'-44º00'), O (19º45'-43º45').

Devido às inúmeras dificuldades encontradas para se manter uma produção aceitável de quilometragem, pela deterioração dos dados por condições metereológicas e topográficas adversas, CPRM e PROSPEC concordaram em limitar a área do projeto até o meridiano 43º30', a partir de sua porção ociden-

tal. Como fator independente do levantamento aerogeofísico, os ortofotomosaicos foram confeccionados para toda a área original do projeto, abrangendo 14 folhas 1:50.000 (15' X 15').

A figura 1 mostra a localização da área do projeto.

1.2 Diretrizes Gerais

Para execução do levantamento aerogeofísico, foram programadas as seguintes fases de trabalho:

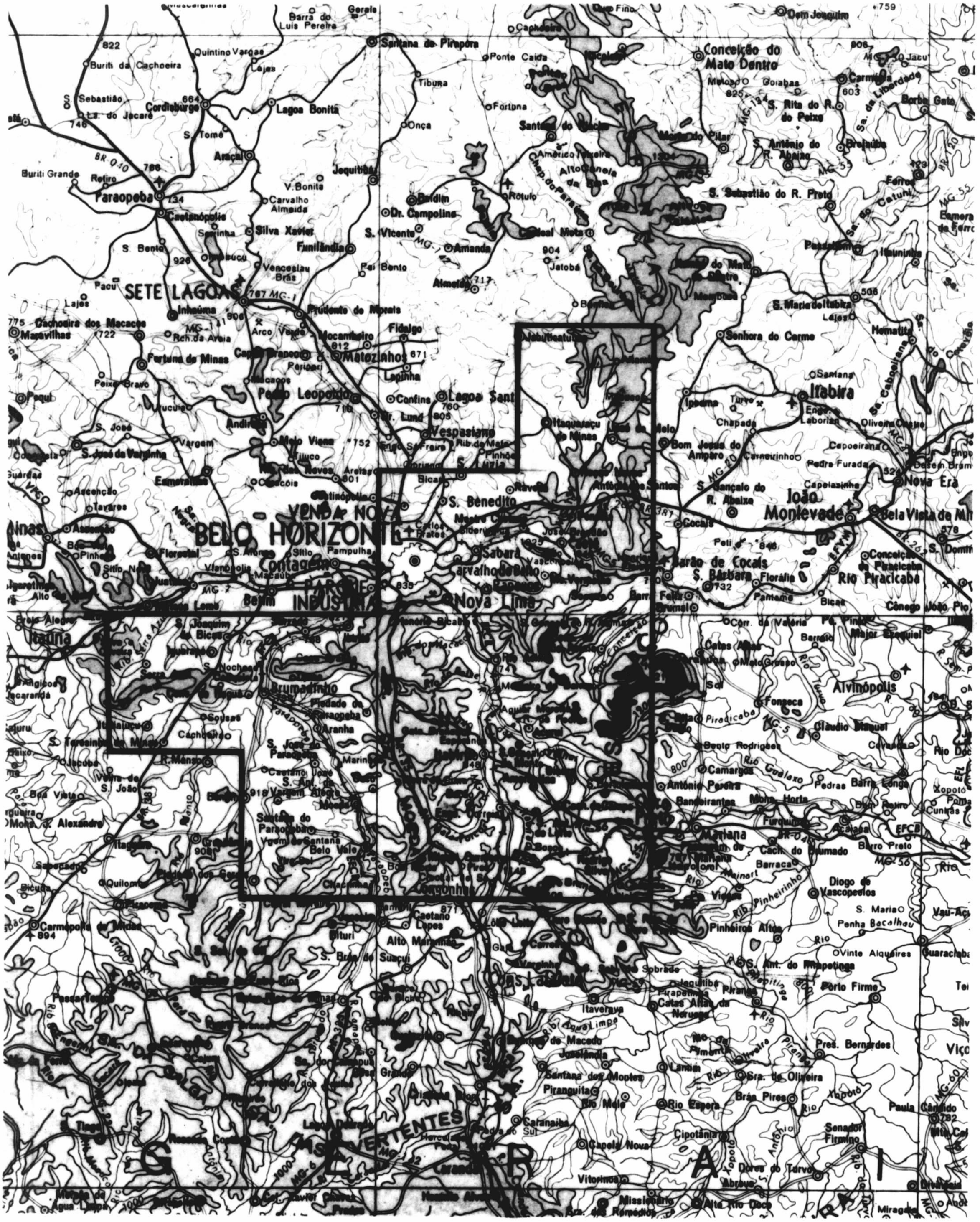
- Fase de Escritório, compreendendo:
  a) Preparação dos originais de planos de voo e mosaicos a serem utilizados no levantamento;
  b) Início da confecção dos ortofotomosaicos, a partir de fotografias USAF;
  c) Planejamento do apoio logístico, com escolha de base de operação e mobilização de pessoal e equipamentos.

- Fase de Campo:

  Devido à perda do primeiro helicóptero (Fairchild Hiller) usado no levantamento, a fase de campo desdobrou-se em dois períodos: o primeiro, de 10/09/72 a 27/10/72, e o segundo prolongando-se de 23/08/73 a 20/12/73, já com o novo helicóptero (Bolkow BO-105C), adquirido pela Prospec. Ambos os períodos desta fase de campo abrangeram a aquisição dos dados aerogeofísicos de magnetometria e aerocintilometria com discriminação de energia (gamaespectrometria). A base fixa de operações foi a cidade de Belo Horizonte, havendo, entretanto, algumas sub-bases para reabastecimento do helicóptero, ao longo das estradas principais dentro da área do projeto.

- 2a. Fase de Escritório, compreendendo:
  a) Preparação final das 14 folhas 1:50.000 dos ortofotomosaicos;
  b) Compilação e redução dos dados aerocintilométricos;

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO


Barra do Luis Pereira
Gerais
Santana do Pirapora
Cachoeira
Dom Joaquim
759
822
Quintino Vargas
Buriti da Cachoeira
Lajes
Ponte Caída
Conceição do Mato Dentro
Tiburtina
Onça
Fortuna
S. Sebastião
Cordisburgo
664
Lagoa Bonita
Rib. do Jacaré
746
S. Tomé
Araçaí
Jequitibá
BR-040
Buriti Grande
Retiro
786
Paraopeba
734
V. Bonita
Carvalho Almeida
Caetanópolis
Silva Xavier
Serrinha
S. Vicente
Funilândia
S. Bento
926
Pai Bento
Vencesláu Brás
Pacu
SETE LAGOAS
767 MG-1
Inhaúma
906
Prudente de Morais
Lajes
775
Cachoeira dos Macacos
Maravilhas
722
MG-111
Rib. da Areia
Arco Verde
Moçambeiro
812
Matozinhos
Fidalgo
671
Lagoinha
Fortuna de Minas
Capão Branco
Peixe Bravo
Pequi
Pedro Leopoldo
Confins
Lagoa Santa
760
Dr. Lund
805
Vespasiano
716
Andiroba
S. José
Melo Vianna
752
S. José da Varginha
Vargem
Tijuco
Esmeraldas
801
Ascenção
Tavares
Guardas
Contagem
BELO HORIZONTE
Florestal
Pampulha
Sítio
Betim
INDUSTRIAL
Ibirité
S. Benedito
Sabará
Nova Lima
Rio Acima
Brumadinho
Piedade do Paraopeba
Aranha
Souzas
Cachoeirão
S. José do Paraopeba
Marinhos
Santana do Paraopeba
Belo Vale
Jabuticatubas
Itaguara
Quilombo
Carmópolis de Minas
894
Caetano Lopes
Alto Maranhão
Suaçuí
Itaverava
Rio Acima
Jeceaba
Rio Manso
Boa Vista
S. João
Bonfim
Mons. J. Alexandre
Sapecado
Bicuíba
Pesqueiro
Rio Manso
Rio Grande
Rio Verde
Rio Paraopeba
Rio das Velhas
Rio Paraúna
Rio Pará
Rio Lambari
Rio Jequitibá
Rio Piracicaba
Rio Doce
Rio Xopotó
Rio Turvo
Rio Pomba
Rio Paraibuna
Rio Paraíba do Sul
Rio Preto
Rio Pirapetinga
Rio Aventureiro
Rio Pardo
Rio Manhuaçu
Rio Casca
Rio Matipó
Rio Piranga
Rio Gualaxo
Rio Carmo
Rio Turvo
Rio Xopotó
Rio Pinheirinho
Rio Vermelho
Rio Mole
Rio Espera
Rio Pimenta

c) Fotogeologia da parte restante da área não mapeada pelo convênio USGS / DNPM (Professional Paper 641-A), com elaboração do mapa geológico e do resumo da geologia da área do projeto para apoio à interpretação geofísica;
d) Interpretação dos dados aerocintilométricos;
d) Elaboração do relatório.

1.3 Estatística de Produção

Por motivos explicados anteriormente, a fase de campo desdobrou-se em dois períodos. O primeiro deles, com um total de 49 dias no campo, dos quais apenas 16 tornaram-se produtivos e 33 não operacionais. Destes, 21 dias improdutivos foram devidos a fatores metereológicos adversos e 12 por indisponibilidades diversas. Nesse primeiro período foram aceitos 1.697,5 km de um total produzido de 2.070,5 km. Sendo, portanto, rejeitados 373,0 km devido a não observância das especificações do contrato.

Já no segundo período, dos 109 dias no campo, apenas 39 foram produtivos e dos 10.607,5 km produzidos, somente foram aceitos 9:515 km. Reunindo-se os dois períodos, verifica-se que foram aceitos 11.212,5 km, de um total voado de 12.678,0 km.

Em termos de quilometragem produzida e aceita, observa-se uma produtividade de 34,64 km/dia, no primeiro período, e 87,29 km/dia, no segundo período, perfazendo portanto, uma produtividade total para os dois períodos de 70,96 km/dia. As figuras 2 e 3 fornecem uma visão de conjunto dos dados ora discutidos.

PRODUÇÃO ACUMULADA EM Km

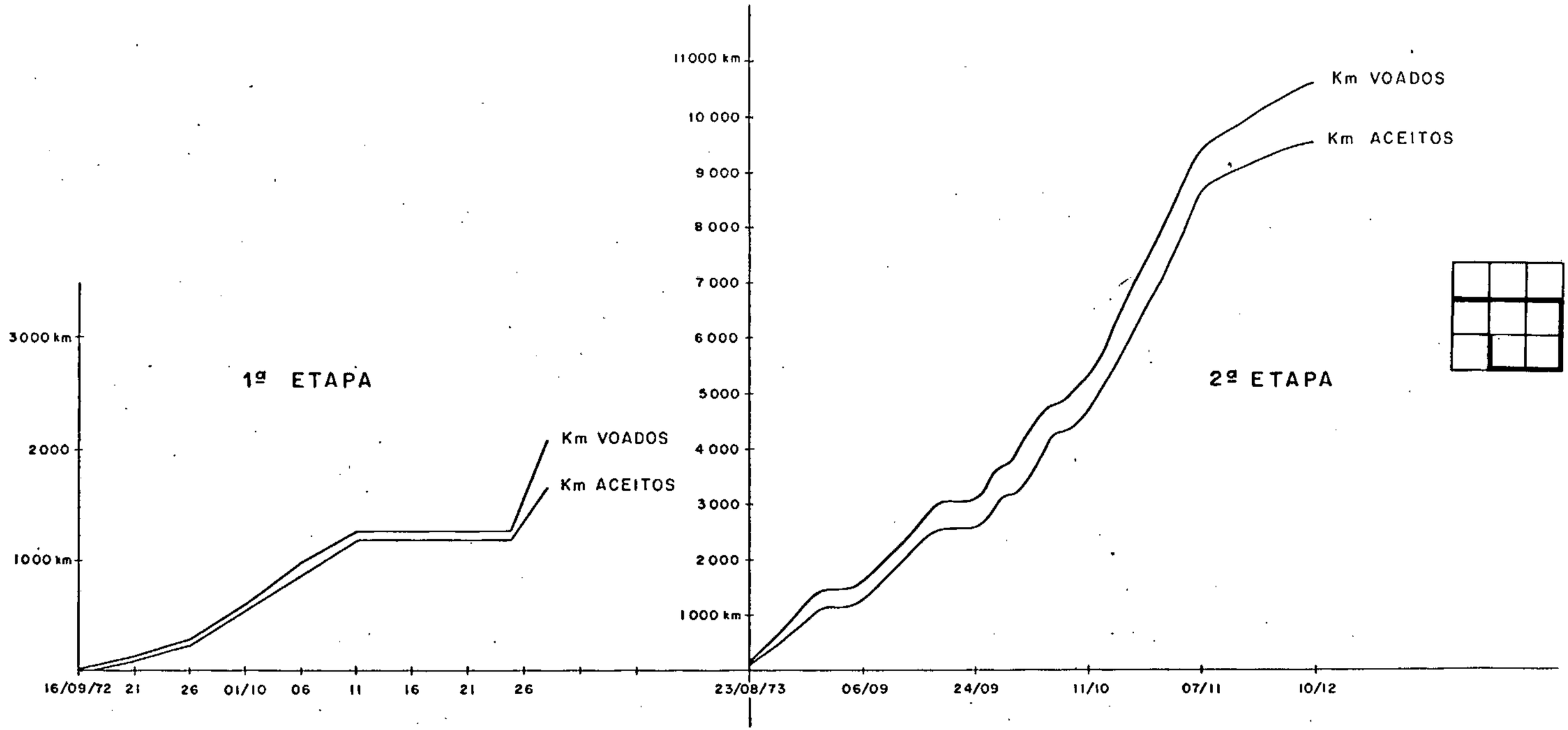


Fig. 2

PRODUTIVIDADES

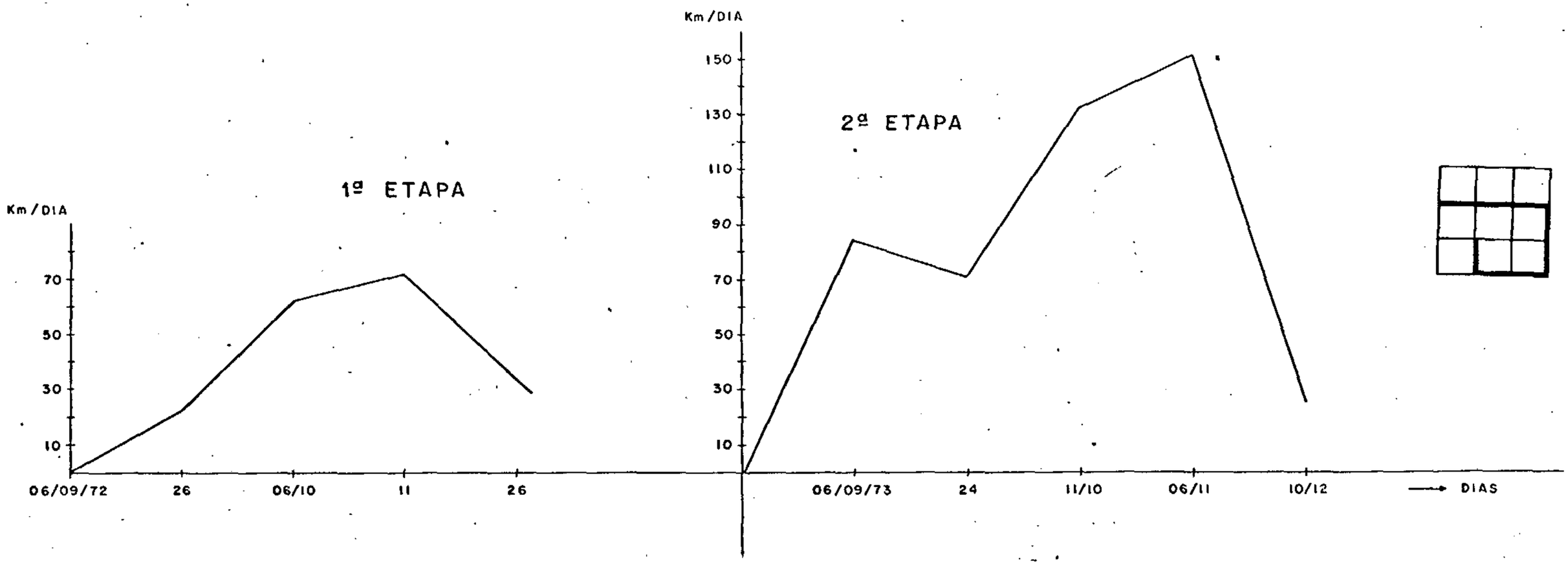
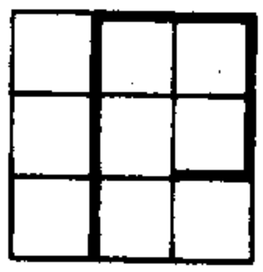


Fig. 3



2. OPERAÇÕES DO LEVANTAMENTO

2.1 Mapas básicos

O projeto lidou com diversos tipos de bases cartográficas para o seu desempenho. Utilizaram-se folhas planimétricas em 1:25.000 da SUVALE, cartas topográficas em 1:25.000, do Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S/A(SACS) e, por fim, foram confeccionados ortofotomosaicos na escala 1:50.000, a partir de fotografias USAF em 1:60.000.

2.2 Plano, traço e altura dos voos

Na primeira fase de escritório foram planejadas a direção e o posicionamento das linhas de voo sobre cartas topográficas em 1:25.000, confeccionadas pelo SACS. Essas linhas foram transferidas para faixas, em duplicatas, de mosaicos em escala 1:25.000, elaboradas a partir de fotografias USAF, 1:60.000. Cada uma das faixas serviu respectivamente para promover a navegação no helicóptero e para plotar a posição percorrida por ele, através de fotografias 35mm, que foram sendo tiradas pela câmara de rastreio durante o voo, por sobre cada linha planejada. A identificação do traço das linhas de voo foi sendo feita diariamente, a fim de se observar a performance da navegação, cuidando-se para que seu traçado não fugisse ao traçado original planejado. Se isso ocorria, o navegador do helicóptero era informado para que fosse revoado o trecho rejeitado.

A altura dos voos foi mantida tanto quanto possível dentro da faixa compreendida entre 105 e 165 metros por sobre o terreno. Quando não foi possível a observância dessa condição por questões de segurança da asa voadora, devido à péssima condição topográfica da área, a PROSPEC obteve da CPRM a compreensão necessária para buscar outra alternativa nos locais específicos considerados.

2.3 Instrumental e helicópteros do levantamento

O instrumental do registro dos dados aerogeofísicos foi instalado nos dois helicópteros que serviram ao levantamento. O primeiro helicóptero usado foi um Fairchild Hiller FH-1100, que, por ter sido acidentado, teve que ser substituído por um outro de marca Bolkow BO-105C. Nesses helicópteros foram instalados os seguintes equipamentos geofísicos:

- Um espectrômetro de raios gama de quatro canais, com um cristal de NaI como detector, com um volume de 6.809,55 cm^3 (415,47 polegadas cúbicas);
- Um magnetômetro aéreo do tipo "fluxgate", de registro contínuo, montado numa cápsula pendurada por um cabo ao helicóptero;
- Um altímetro de radar, para medir a altura livre helicóptero/terreno;
- Uma câmara de rastreio ou de posição de 35mm, com marcação fiducial integrada com todos os registros gráficos ou de outros instrumentos de bordo;
- Um registrador analógico de seis canais, mostrando gráfico de: contagem total radiométrica, controle térmico do sistema, contagem no canal do tório (Tl^{208}), contagem no canal do urânio (Bi^{214}), contagem no canal do potássio (K^{40}) e a altura livre entre o helicóptero e o terreno. As exposições da câmara de posição ou de rastreio são registradas nos gráficos, a intervalos pre-estabelecidos;
- Um registrador analógico de um só canal, mostrando a intensidade magnética do campo total e as exposições da câmara de rastreio.

A descrição detalhada do instrumental ou sensoriamento geofísico constitui o anexo A deste relatório.

Para registrar diariamente as variações de intensidade do campo magnético terrestre e possíveis tempestades magnéticas, instalou-se na base de operações, em Belo Horizonte, um magnetômetro "fluxgate". As figuras 4 e 5 são exemplos dos registros analógicos dos "fluxgates" do helicóptero e da terra, respectivamente.

EXEMPLO DO REGISTRO ANALÓGICO DO MAGNETÔMETRO.

ESCALA TOTAL = 1200 GAMAS.

PASSO = 1000 GAMAS.

PASSO PARA BAIXO

DIREÇÃO DO PERFIL

PASSO PARA CIMA

NIVEL DA LINHA CENTRAL DO GRÁFICO (MULTIPLICAR PELO VALOR DO PASSO)

FIDUCIAIS DA CÂMARA DE POSIÇÃO, CORRESPONDE A CADA DÉCIMA FOTOGRAFIA.

NÚMEROS DAS FIDUCIAIS CUJAS POSIÇÕES FORAM PLOTADAS NO ORTOFOTOMOSAICO.

Fig. 4

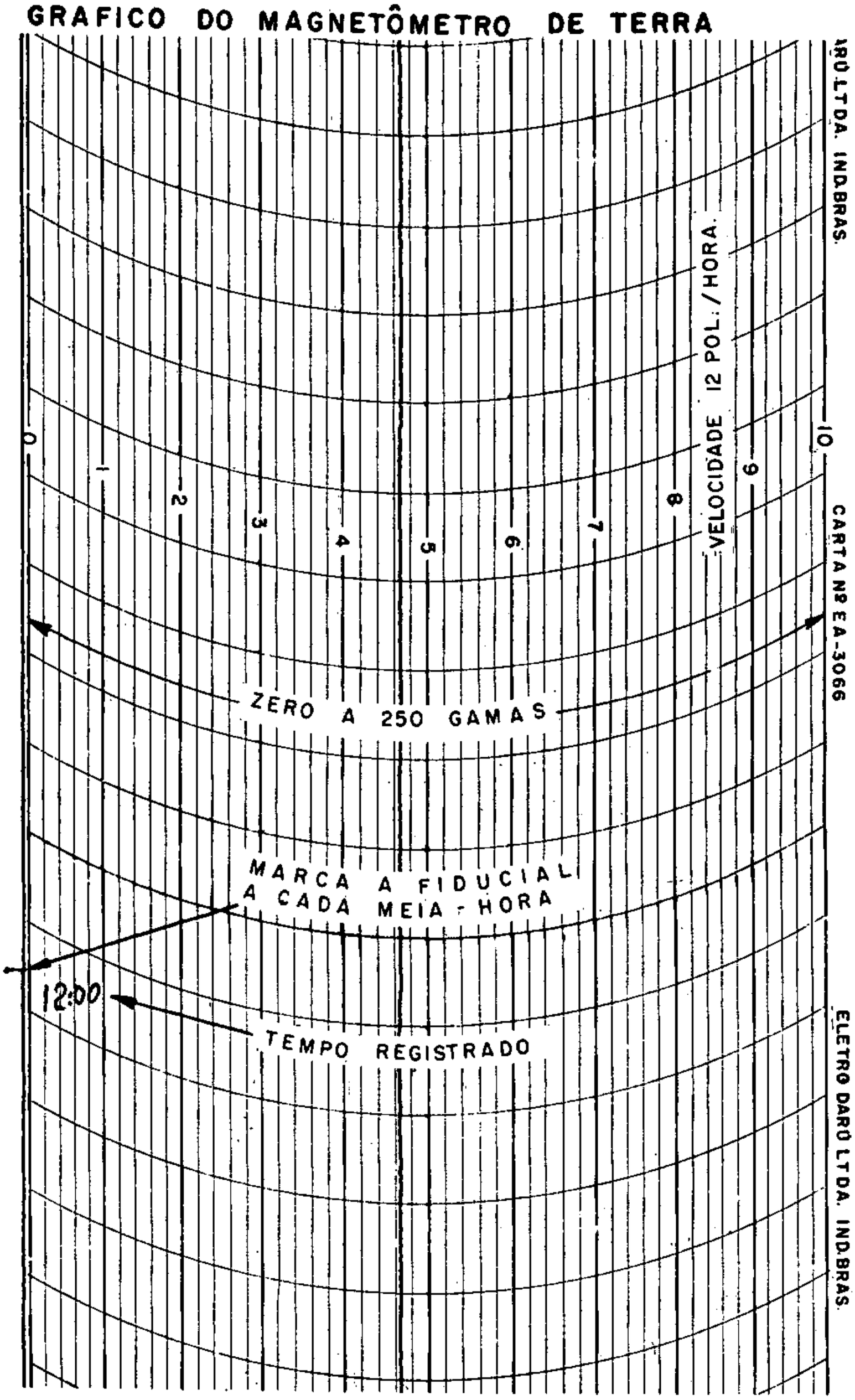


GRAFICO DO MAGNETÔMETRO DE TERRA
ELETRO DARO LTDA. IND.BRAS.
CARTA Nº EA-3066
VELOCIDADE 12 POL./HORA.
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
ZERO A 250 GAMAS
MARCA A FIDUCIAL
A CADA MEIA - HORA
12:00
TEMPO REGISTRADO

Fig. 5

2.4 Calibrações do espectrômetro

Alem das verificações eletrônicas de rotina para a manutenção dos subsistemas de sensores, certos testes específicos de funcionamento dos instrumentos foram sendo executados durante cada voo, visando assegurar a confiabilidade e utilidade dos resultados.

2.4.1 Testes da sensibilidade e da correção do espalhamento Compton ("Stripping").

Amostras de feldspato potássico (K), torita(Th) e pitchblenda (U), são colocadas na base do cristal do detector, sempre na mesma posição, de modo a fornecerem registros nos canais correspondentes a esses elementos radioativos, permitindo a verificação da sensibilidade do espectrômetro e a correção do espalhamento Compton, no cristal detetor.. A figura 6 exibe registros típicos nos quatro canais quando se coloca sucessivamente as amostras de teste na base do cristal. Observe a influência desprezível de radiação de nível mais alto de energia sobre os canais de registros de níveis mais baixos, isto é, Th sobre o U e K, e U sobre o K.

2.4.2 Medida da radiação do "background" atmosférico.

Segundo os estudiosos e pesquisadores de processos de desintegração radioativa,o fluxo de radiação observado pelo cristal detector do gamaespectrômetro, provem das seguintes fontes principais:

- radioelementos ocorrendo naturalmente no solo;
- radiação cósmica secundária;
- contaminação atmosférica e terrestre (produtos do Rn^{222});
- radioelementos associados com o detector;

Dentre os diversos isótopos radioativos que ocorrem nas rochas, somente o K^{40}, o Bi^{214} e o Tl^{208}, membros das

TESTES DA SENSIBILIDADE DO ESPECTRÔMETRO E VERIFICAÇÃO DA CORREÇÃO DO ESPALHAMENTO COMPTON ("STRIPPING")

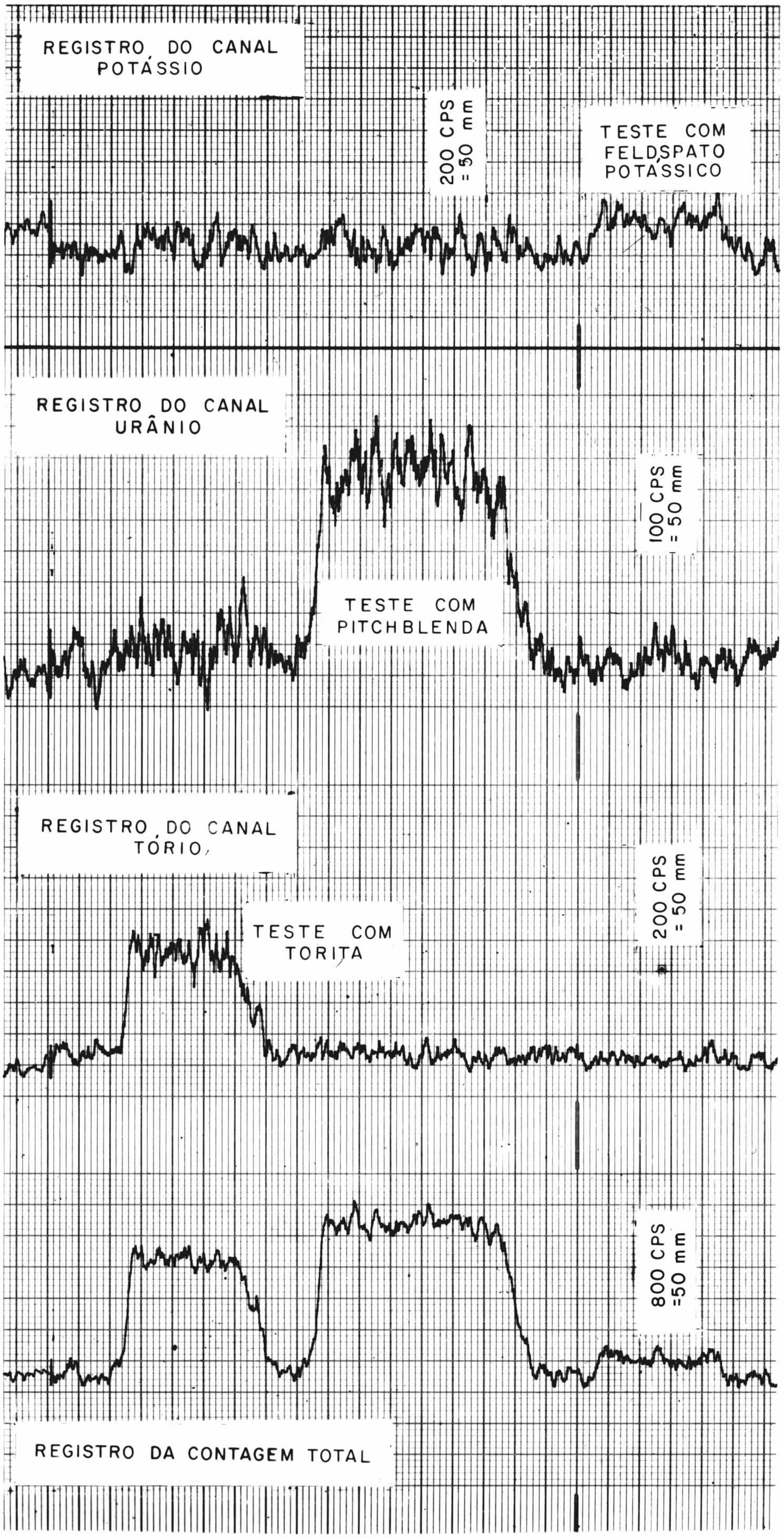


Fig. 6

séries de desintegração do potássio, do urânio e do tório, respectivamente, são considerados como fontes naturais importantes de radiação. Cada um desses isótopos emite radiação gama a níveis característicos de energia e o espectro de raios gama medido de uma rocha exibe picos com intensidade nos níveis de energia desses isótopos. As radiações emanadas desses radionuclídeos provem dos primeiros centimétros da superfície do solo da rocha fresca ou do manto de intemperismo. Os solos, às vezes, podem estar também contaminados por produtos de fissões depositados por chuvas radioativas.

As partículas cósmicas de alta energia que atravessam a atmosfera, também produzem radiação que inclui fotons gama. Essas radiações, se bem que sentidas principalmente a grandes altitudes, são detectadas na altura do levantamento.

Uma parcela do fluxo de radiação recebida no cristal detector é decorrente de contaminação atmosférica através dos seus radioelementos gasosos ou de contaminação terrestre atraves da liberação do Rn^{222}, que emanado do solo, logo atinge a atmosfera, chegando ao estágio de Bi^{214}, e, portanto, detectado pelos canais de urânio e de contagem total.

As fontes radioativas associadas ao sistema detector dos raios gama são os painéis luminosos do instrumental de bordo, relógios de pulso e lentes (tório ativado) das câmaras fotográficas. Cuidados são tomados para evitar radiações provenientes dessas fontes atraves de blindagem das partes comprovadamente radioativas.

Como o objetivo das medições radioativas é detectar todas as radiações que tenham fonte exclusivamente no solo, então tornou-se necessário o conhecimento dos valores da contribuição radioativa das demais fontes consideradas. Ao processo de determinação desses valores dá-se o nome genérico de medida da radiação do "background" atmosférico, que é feita a alturas um pouco superiores a 750 metros (aprox. 2.500 pés). A figura 7 ilustra o resultado de uma dessas medições, no início e no fim de uma jornada de voo.

µP

EXEMPLO DE TESTE PARA REMOÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO ATMOSFÉRICA ("BACKGROUND ATMOSFÉRICO").

CANAIS

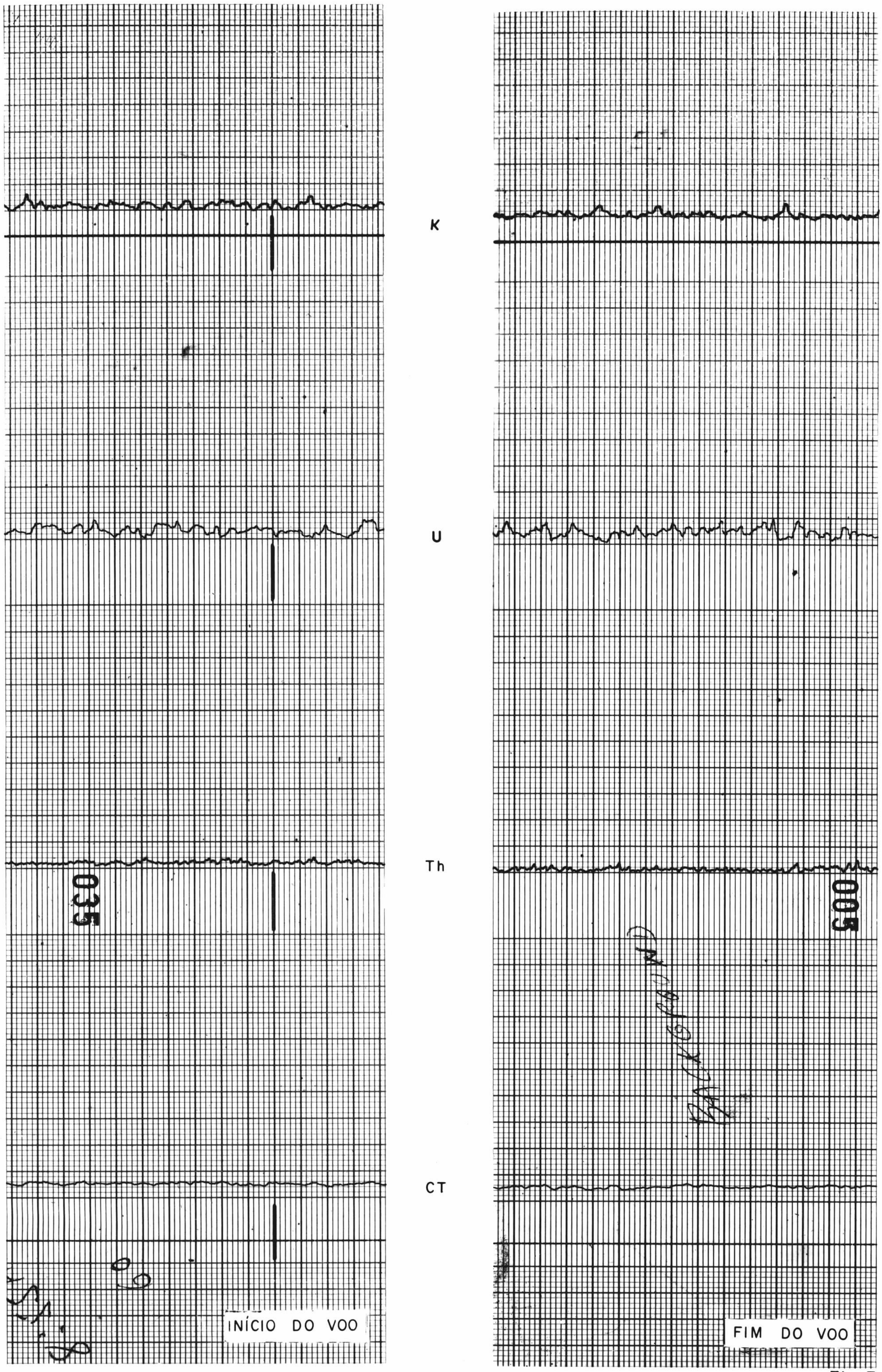
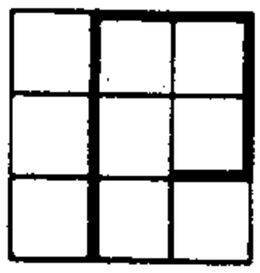


Fig. 7

2.4.3 Supressão radiométrica por chuva e umidade.

A água, atraves da umidificação e saturação do solo, atua eficientemente na supressão dos raios gama liberados pelo próprio solo. Por isso, torna-se importante a consideração desse efeito nas operações que envolvem medição gamaespectrométrica. Pode-se verificar facilmente que, depois de uma chuva, o fluxo que chega ao gamaespectrômetro é atenuado em relação àquele que seria esperado para um dia seco, sobre um mesmo local observado. Alèm disso, a supressão ou atenuação dos raios gama não desaparece imediatamente apos o cessar das chuvas, ao contrário, sofre uma diminuição gradativa até o restabelecimento das condições de secura original do solo. A velocidade do restabelecimento destas condições iniciais depende de vários fatores, destacando-se dentre eles: permeabilidade e taxa de saturação do solo, relevo e sistema de drenagem cobrindo a área prospectada. Todos esses fatores são considerados como um todo e atraves de revoos sistemáticos, apos 24 horas de chuvas sobre áreas pré-selecionadas, são verificados os coeficientes de atenuação nos canais gamaespectrométricos correspondentes. Essa verificação fornece informação suficiente para se decidir sobre a continuação dos trabalhos no dia específico do teste, caso contrário, se torna necessário esperar até que os coeficientes observados se minimizem ao máximo, atingindo padrões aceitáveis para permitir o prosseguimento dos voos.



2.4.4 Fórmulas de correção para altitude.

Assim como todos os tipos de radiação, a radiação gama está sujeita à lei do inverso do quadrado da distância e à absorção. Segundo esta lei, o fluxo a uma distância "d" de uma fonte pontual obedece à fórmula:

$$I = \frac{Io}{4\pi d^2} \qquad (1)$$

onde: I = fluxo total à uma distância "d"

Io = fluxo total emitido pela fonte

Para absorção de um raio colimado de radiação, a variação dI do fluxo, atravessando uma pequena distância dx do ar, é proporcional ao fluxo inicial e à uma constante chamada coeficiente de absorção, representada pela letra μ.

No limite, quando x tende a zero, pode-se escrever:

$$\frac{dI}{dx} = \mu I \qquad \text{ou} \qquad \frac{dI}{I} = \mu\, dx$$

Integrando-se esta última entre x = 0 e x = d para fornecer o fluxo que atravessa uma distância d, tem-se:

$$I = Ce^{-\mu d} \qquad \text{onde C é uma constante}$$

Usando-se o valor de d = 0, e I = Io, pode-se ver que C = Io, logo:

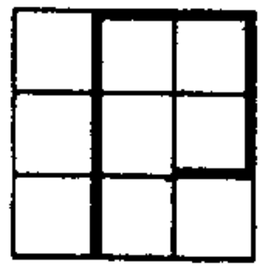
$$I = Ioe^{-\mu d} \qquad (2)$$

Combinando-se as equações (1) e (2), tem-se:

$$I = \frac{Ioe^{-\mu d}}{d^2} \qquad (3)$$

Esta equação é válida para uma fonte pontual, negligenciando-se as outras interações, que são de muito menor importância.

$\mu\rho$



Para o caso do cristal detector do gamaespectrômetro, o fluxo nele recebido não provem de um ponto, mas sim de uma área variável. O "field of view" efetivo é um ângulo sólido, cuja área subentendida da superfície da terra depende somente da altura do avião sobre o terreno. Como a área subentendida por um ângulo sólido varia proporcionalmente ao quadrado da distância, a equação (3) pode assim ser escrita:

$$I = Io \frac{e^{-\mu d}}{d^2} \cdot d^2 \quad \text{donde,}$$

$$I = Ioe^{-\mu d} \quad \text{que é a equação (2)}$$

Na realidade, a atenuação é mais complexa, porem, nos limites da altura empregada para levantamentos gamaespectrométricos, a equação acima é aplicada com bastante segurança para a determinação do coeficiente μ.

Para a correção dos perfis de contagem total a um nível de 135 metros, cláusula 2.3.4 do contrato, a fórmula empregada para esta correção é igual à equação (2), com a adição de uma modificação para nivelar a 135 metros.

$$CT(h) = CT(ho)\ e^{-\mu(h - ho)} \qquad (4)$$

CT(h) = Contagem total registrada

CT(ho) = Contagem corrigida da altura h para a altura prescrita ho (neste caso 135 m).

2.4.5 Retardo no espectrômetro.

Em todos os gamaespectrômetros ou mesmo sensores móveis, o registro dos fenômenos emanados por fontes fixas ou móveis, fora deles sofre sempre um atraso que dita a "performance" do aparelho em uso. No caso do gamaespectrômetro usado no levantamento, verifica-se um retardo de aproximadamente 1 segundo, calculado em função das fotografias de posição, tomadas a cada 3,1 segundos.

MP

3. REDUÇÃO DOS DADOS GEOFÍSICOS PARA A FORMA DE MAPAS

As especificações propostas pela CPRM para a apresentação dos dados radiométricos determinavam que os perfis, tanto de contagem total como os da razão urânio/contagem total, fossem corrigidos altimetricamente para a altura de 135 metros e que fossem rebatidos em torno de seus traços de voo, sobre ortofotomosaicos na escala 1:50.000, folhas com 15' de latitude por 15' de longitude, sob a forma de originais em filme tramado.

Para atender às especificações propostas, a PROSPEC observou os seguintes itens nessa fase de compilação dos dados:

3.1 Mapas de traços dos voos

As exposições da câmara de posições ou de rastreio foram sendo identificadas nas faixas de mosaicos fotográficos na escala 1:25.000, de modo que o número de cada foto se materializou como uma marca fiducial nesses mosaicos. A união consecutiva por linhas retas dessas marcas fiduciais reconstituem então o traçado efetivo da linha de voo percorrida pelo helicóptero. Em todo o projeto, a média das distâncias entre as marcas fiduciais está em torno dos 8 cm nos ortofotomosaicos finais em 1:50.000.

Por detalhes planimétricos e estereoscópicos, as marcas fiduciais das faixas dos mosaicos em 1:25.000 foram então transferidas para os mapas de ortofotomosaicos na escala 1:50.000.

A fim de se poder superpor os perfis rebatidos dos dados radiométricos sobre os traços de voos nos ortofotomosaicos, as marcas fiduciais destes últimos foram lançadas nos perfis radiométricos.

MP

3.2 Processamento e redução dos dados do espectrômetro

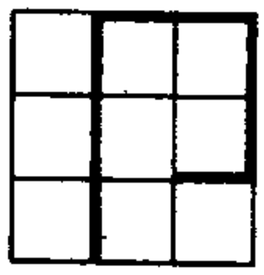
O processo de redução dos dados do espectrômetro começa praticamente no campo atraves da análise diária da qualidade dos dados obtidos. Ao chegar no escritório, os perfis espectrométricos sofrem marcações de fiduciais e são então efetivamente processados.

A transformação dos registros analógicos em dados digitais, bem como o uso do computador IBM/370/165 e do "Calcomp drum plotter", desempenharam papel importante na redução dos dados do espectrômetro. A redução dos dados consiste basicamente em:

1) identificação da fonte; os registros dos canais de potássio, urânio e tório foram analisados visualmente para identificação das radiações dominantes nos canais de contagem total. A identificação dessas zonas de influência no referido canal de contagem total, foi representada por códigos alfabéticos que, depois de transformados em números, puderam ser digitalizados.

2) digitalização dos gráficos do espectrômetro e do rádio altímetro: os perfis dos canais de urânio, de contagem total e de altura livre sobre o terreno foram digitalizados, utilizando-se uma modulação de "tempo", isto é, as posições x e y nos gráficos eram registradas em cartões perfurados a intervalos de um segundo. Também, cada número e posição das fiduciais da câmara de 35 mm no traço do voo, os valores da radiação correspondentes ao "background" atmosférico do urânio e contagem total, bem como a fonte de radiação neste canal, foram todos registrados em cartões perfurados. A digitalização emprega o sistema "Gradicon" da Instronics, que inclui uma mesa de trabalho com 121,9 x 152,4cm.

3) remoção do nível de radiação do "background" atmosférico: de acordo com o valor registrado no gráfico e lan



çado no cartão "header" do computador.

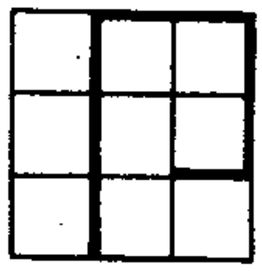
4) correção de altura: utilizando a fórmula de correção adotada, os dados da radiação de contagem total foram reduzidos a uma altura comum de 135m acima do nível do terreno.

5) escala horizontal: os dados digitalizados dos traços de voo serviram para reduzir todos os perfis em uma escala horizontal verdadeira de 1:50.000.

6) plotação dos perfis com um plotador (Calcomp drum Plotter), os perfis de contagem total residual, corrigidos para a altura pré-fixada de voo e os perfis da razão urânio/contagem total (U/CT), foram desenhados nas escalas respectivas de 1:50.000 e 1:25.000. Estes últimos sofreram redução para 1:50.000, para se ajustarem sobre os traços individuais de cada voo.

Simultaneamente, utilizou-se um programa de computador para:

- Correlacionar as posições dos perfis nos ortofotomosaicos com as respectivas fiduciais dos registros analógicos;
- Ajustar os valores da contagem total em concordância com a fórmula de correção de altura;
- Converter o código da fonte de radiação em símbolos predominantes, médios e baixos;
- Colocar a escala dos valores da contagem total em concordância com a escala dos ortofotomosaicos;
- Posicionar a radiação dos símbolos fontes;
- Calcular a razão U/CT;
- Comandar um "drum plotter" para plotar os traços das linhas de voo, nas suas posições corretas, na escala 1:50.000, mostrando os pontos plotados e os números fiduciais; para plotar os perfis corrigidos para a altura de 135m nos referidos traços de voo a uma escala vertical selecionada; para



plotar os perfis da razão U/CT; para anotar os dados das fontes radioativas ao longo dos perfis e para numerar os traços das linhas de voo.

O "plotter" foi comandado por uma fita magnética com todas as informações, para produzir os perfis rebatidos da razão U/CT e de contagem total, com informações dos elementos fontes predominantes. As folhas radiométricas foram inspecionadas visualmente para corrigir e eliminar possíveis erros incorporados durante as análises e manipulações iniciais com os perfis radiométricos, plotações dos códigos destes últimos, etc.

μR

4. PROCESSOS DE ANÁLISE GAMAESPECTROMÉTRICA

4.1 Mapas de zonas

A inspeção visual dos perfis radiométricos do levantamento convence de imediato o geólogo de que a radiometria pode e deve ser zoneada, dividindo-a em áreas de características radiométricas comuns. As anomalias locais podem então ser vistas em relação às características das áreas circunvizinhas.

O zoneamento com base no contraste dos valores gerais da radiometria no canal de contagem total é feito diretamente atraves da análise cuidadosa no perfil corrigido da contagem total. Este zoneamento semiquantitativo, pela contagem total pode separar amplas áreas de: desprezível, baixa, média e alta radiação, se elas tiverem contatos definidos.

O zoneamento com base na fonte dominante (tório, urânio ou potássio), ou na combinação dos elementos dominantes, é bastante eficiente. Em muitos casos, zonas de determinadas características se ressaltam nos canais fontes sem contudo serem aparentes no canal de contagem total. Os zoneamentos especialmente positivos ocorrem onde os contrastes das fontes radioativas coincidem com os contrastes semiquantitativos.

Os elementos qualitativos do levantamento tem sido examinados em duas fontes diferentes:

1) os perfis originais da contagem total, sem correção de altitude, foram divididos em seções representativas das variações nas fontes das radiações indicadas pelos elementos dos tres canais (K, U e Th); tais mudanças foram observadas como variações em ambos os níveis absoluto e relativo da fonte radioativa; onde um nível "significante" de radiação aparece no perfil de contagem total, a fonte responsável dessa relevância de nível foi então identificada como por exemplo: tório mais (Th^+) dominante sobre o urânio médio (U) e este, por exemplo,

sobre potássio baixo (K-).

Deve-se lembrar que, antes de se proceder o zoneamento dos perfis não corrigidos, a influência radioativa devido a efeitos atmosféricos, bem como o ruido do gráfico, são removidos do perfil, de modo que o zoneamento é feito acima dese "background" geral. Essa forma de classificação dos dados radiométricos, em termos da contribuição média do elemento fonte, ignora anomalias ocorrentes dentro dos canais fontes,em favor da identificação de setores de cada perfil com elementos particulares. Onde os setores ou zonas de vários perfis adjacentes são comuns em relação à predominância média de um elemento ou grupo deles, então um contato da zona pode ser desenhado de modo a definir as unidades radiométricas.

2) as identificações das fontes anotadas com os perfis da contagem total, corrigidos para altura e plotados nos "overlays" finais das folhas radiométricas apresentadas na escala 1:50.000, fornecem grupos de critérios diferentes para o zoneamento, ou seja, o agrupamento de símbolos fontes idênticos tende a delimitar pequenas feições anômalas, dentro de áreas mais gerais; o agrupamento do maior número de símbolos idênticos, ou aproximadamente semelhantes, como por exemplo, K+, K+, K, K+, K, tende a delimitar feições anômalas maiores e que, geralmente, correspondem mais à realidade geológica; o exame dos picos das anomalias dos perfis corrigidos da contagem total,em termos da sua fonte responsável, fornece a possibilidade de se focalizar áreas de interesse para investigação posterior.

Os contornos das feições radiométricas semelhantes formam as unidades radiométricas. Essas unidades são apresentadas no "Mapa de Unidades Radiométricas", escala 1:150.000, que acompanha este relatório.

Ao lado de cada símbolo do elemento, foram apostos os índices 1, 2 e 3, que servem para indicar a intensidade de radiação do elemento correspondente. Os índices decrescem quando o nível de radiação aumenta. A ordem de colocação de

MP

558 km E

570

20'

582

10'

594

SÃO JOAQUIM DAS BICAS

IGARAPÉ

SERRA AZUL

TATAIUÇU

WEIRAS

CONCEIÇÃO DO ITAGUÁ

BRUMADINHO

SARZEDO

IBIRITÉ

PIEDADE DO PARAOPEBA

MOEDA

MARINHO DA SERRA

BOM JESUS

R1

R2

R7

CONVENÇÕES

GEOFÍSICAS

BOLOS REPRESENTATIVOS DA RADIAÇÃO
NA NOS CANAIS CORRESPONDENTES.
POTÁSSIO; T=Th= TÓRIO; U= URÂNIO.
ÍNDICES CRESCEM QUANDO A PREDO-
MINÂNCIA DO ELEMENTO DECRESCE.
BOLOS ENTRE PARENTESIS INDICAM EQUI-
LÊNCIA NA ABUNDÂNCIA DAS RADIAÇÕES.

CARTOGRÁFICAS

ESTRADAS PRINCIPAIS

ESTRADAS SECUNDÁRIAS

7752

20'

558 km E

570

20'

um elemento da esquerda para direita, ou de cima para baixo, indica a predominância da radiação desse elemento sobre aquele que lhe segue.

As unidades radiométricas sem radiações devidas a quaisquer dos tres elementos, potássio, urânio ou tório e, por isso mesmo, com intensidade de radiação nula ou desprezível no canal de contagem total, são representadas pela letra b.

Os mapas radiométricos originais que serviram para as delimitações das unidades radiométricas, foram montados sobre base de ortofotomosaicos e são apresentados em 10 folhas em filme tramado, transparente e estável, na escala de 1:50.000.

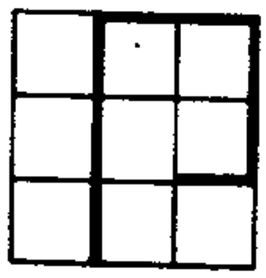
Um código de cores se torna de grande ajuda na análise visual dos dados e na construção das zonas ou unidades radiométricas nos mapas finais. As cores violetas, vermelhas e verdes foram utilizadas respectivamente para o K, U e Th.

Na maioria dos casos onde existem contatos geomórficos ou litológicos bastante contrastantes, os limites sugeridos pelo zoneamento concordam com eles, porém, há casos onde tal não acontece devido a outros fenômenos, como sejam: dreNagem espalhando material radioativo por sobre outros não radioativos, composições químicas semelhantes das rochas, etc... Há ainda um terceiro caso, onde os limites ou contatos radiométricos podem ser traçados com a ajuda dos mosaicos das fotografias aéreas, ou dos mapas geológicos existentes.

Na área do Projeto Quadrilátero Ferrífero, uma análise preliminar do canal de contagem total e dos perfis dos demais canais (K, U, Th) indica que o método satisfaz a ambos os objetivos de mapeamento e de prospecção.

Deve ser, contudo, observado que um gamaespectrômetro, voando a uma altura média de 135m sobre o terreno, "verá" somente uma faixa com 135m de largura para cada lado do traço do voo. O Projeto Quadrilátero Ferrífero, voado a 500m de espaçamento, representa um recobrimento da ordem de 54% da superfície.

µP



A principal limitação na coleta dos dados radiométricos é a variação no grau de umidade do terreno, devido a chuvas, lixiviações e alagados, que provocam atenuações na radiação gama. Dados inconsistentes podem ser obtidos em dias chuvosos e esse problema pode ser evitado se não se voa em tais dias.

4.2 Mapas da razão U/CT

Atendendo a exigências da cláusula 2.6.4 do contrato 154/DA/72 (CPRM - PROSPEC) para realização deste serviço, a PROSPEC elaborou mapas de perfis rebatidos da razão entre as contagens em cps (contagem por segundo), das radiações nos canais de urânio e de contagem total. Esses mapas, chamados de MAPA DA RAZÃO RADIOMÉTRICA (U/CT), são apresentados em 10 folhas de 15'x 15', na escala 1:50.000, montados sobre ortofotomosaicos em filme tramado, transparente e estável.

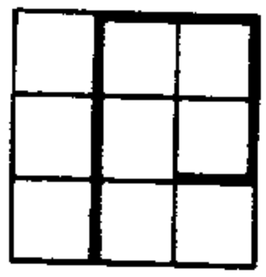
5. GEOLOGIA DA ÁREA

Aproximadamente 70% da região do Projeto Quadrilátero Ferrífero, do levantamento aerogeofísico objeto do presente relatório, já se encontram mapeados e estudados em detalhes, atraves de cerca de 25 folhas de mapas geológicos à escala 1:25.000. Este mapeamento resultou do acordo celebrado em 1945 entre o DNPM e o U.S.G.S, para mapear toda a região conhecida como Quadrilátero Ferrífero. Deste acordo, cujos mapeamentos geológicos se iniciaram em 1946 e se prolongaram até 1962, resultou a apresentação final de 47 folhas de mapas geológicos em escala 1:25.000; ficando assim a área totalmente coberta geologicamente à grande escala.

Em 1963, o geólogo do U.S.G.S., John Van N. Dorr II, reuniu todos os mapeamentos e trabalhos anteriores do Quadrilátero Ferrífero, compilando todos os mapas em um único, na escala 1:150.000, elaborando um relatório bem consubstanciado do desenvolvimento fisiográfico, estratigráfico e estrutural das áreas em apreço.

Os 30% restantes da área não abrangidos pelo trabalho de Dorr II, foram fotointerpretados pela Prospec (ver mapa de localização no mapa geológico anexo).

As áreas fotointerpretadas pela Prospec são quase todas extensões das mesmas unidades litológicas ou estratigráficas daquelas existentes nos limites do mapa de J.V.N.Dorr II. O complexo granítico-gnáissico (gg) foi estendido para o norte e para o sul, além dos seus limites originais; no extremo norte da parte mais ocidental do mapa, a Prospec fotointerpretou uma unidade fotogeológica que, duvidosamente, foi colocada na Série Rio das Velhas; no extremo norte do mapa, canto leste, foi fotointerpretada na região de Jaboticatubas uma unidade fotogeologicamente correlacionada ao Grupo Nova Lima da Série Rio das Velhas e, finalmente, as faixas de gabro que ocorrem no extremo norte do mapa geológico original, foram mapeadas



fotogeologicamente, como se prolongando para o norte, passando a leste e oeste da cidade de José de Melo.

Na análise dos dados radiométricos, que será efetuada no capítulo subsequente, são considerados os tipos litológicos de cada unidade estratigráfica, para facilidade de entendimento das causas primárias das radiações detectadas no mapa de unidades radiométricas. Ao leitor mais interessado na Geologia do Quadrilátero Ferrífero, a Prospec achou por bem apresentar em separado (Anexo B deste relatório) uma cópia do trabalho de J.V.N Dorr II, mencionado anteriormente e intitulado: Phisiographic, Stratigraphic and Structural Development of The Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais (Geological Survey Professional Paper 641-A, 1969).

6. ANÁLISE DOS DADOS RADIOMÉTRICOS

Considerações Gerais

A exemplo do que foi feito para os projetos Alto Garças e Iporá, realizados pela Prospec para a CNEN/DNPM e DNPM, respectivamente, também aqui será efetuada uma análise qualitativa das unidades radiométricas ocorrentes na área do Projeto Quadrilátero Ferrífero, em correlação com a sua Geologia.

As unidades radiométricas foram definidas atraves da delimitação de zonas radioativas comuns ou muito semelhantes, determinadas atraves do processo de zoneamento descrito no capítulo 4. Como resultado direto do zoneamento dos perfis de contagem total, em termos de radiação dos elementos fontes neles predominantes, observa-se que as unidades radiométricas caracterizam perfeitamente amplas áreas de feições radiométricas comuns, que em muitos casos são correlacionadas diretamente com a Geologia da região por elas englobadas; encontrando explicação direta nos tipos litológicos a elas correlatos. Há casos, entretanto, onde tal correlação não é observada, devido a inhomogeneidade química/mineralógica, dentro da própria unidade litológica e, que por razões de escala e de objetivo do trabalho, não foram mapeadas. De qualquer forma, essas unidades radiométricas promovem um mapeamento rápido de áreas de possíveis interesses para a pesquisa acadêmica ou exploratória, conforme seja o caso.

Para facilidade de desenvolvimento da presente análise, ela será iniciada pelas rochas mais antigas do Quadrilátero Ferrífero e, por isso, serão adotados os subtítulos deste capítulo, de acordo com a coluna estratigráfica da área sob as égides dos quais serão analisadas as unidades radiométricas em apreço.

No estudo subsequente são mencionadas as composições litológicas das unidades estratigráficas, no intuito de

evidenciar a correlação litológica/radiométrica. Obviamente, não serão reconsideradas as explicações dadas para as causas correlativas litologia/radiometria para litologia semelhante, ocorrente em outra unidade estratigráfica.

O mapa de unidades radiométricas, apresentado na mesma escala do mapa geológico, 1:150.000, será analisado em "overlay" sobre o geológico.

6.1 Rochas Graníticas Indivisas (gg)

As rochas englobadas no mapa geológico pela simbologia gg são constituídas de rochas provavelmente ígneas, rochas graníticas foliadas, englobando também rochas metassedimentares. Quartzitos lentiformes nelas estão incluídos, aparecendo nos locais indicados no mapa.

Essas rochas graníticas indivisas aparecem espalhadas no mapa,se caracterizando por uma densidade de unidades radiométricas maior do que quaisquer outras unidades litológicas dentro da área. Elas exibem propriedades radiométricas bastante diversificadas, denotando áreas predominantemente potássica, uranífera ou torífera. Unidades do tipo $K_1T_1U_2$, $K_1T_2U_2$, $K_2U_3T_3$, $K_2T_3U_3$, $K_3T_3U_3$ são mais comuns do que unidades às vezes bastante extensas de $U_1T_2K_2$, $U_1K_1T_2$, $U_2K_3T_3$, $U_1K_2T_2$. Unidades toríferas do tipo $T_2U_2K_3$, $T_2K_3U_3$, $T_2U_3K_3$, $T_3U_3K_3$ também são bastante evidentes.

Unidades de baixa radiação, expressas pela letra b, são esporadicamente encontradas dentro desses granitos.

De um modo geral, esses granitos são de radiação predominantemente potássica, a exceção daquele que abrange a cidade de Itabirito, conhecido originalmente como "Complexo de Bação".

O granito desse complexo possui radiações predominantemente toríferas, com intensidade média a baixa, unidades $T_2K_3U_3$, $T_3U_3K_3$. Algumas vezes são observadas pequenas unidades com níveis mais altos, como as $T_1U_2K_2$, $T_1K_2U_2$, $T_1U_2K_3$, ocorren-

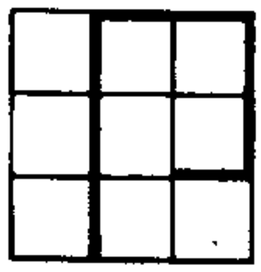
tes na parte leste da quadrícula definida pelas coordenadas UTM 642-630 com 7764-7752. As unidades potássicas não são aqui totalmente ausentes, elas aparecem seja diretamente subordinadas à radiação predominante do tório, unidade $T_1K_2U_2$, seja dominando sobre os demais elementos; unidades $K_2T_3U_3$, $K_2U_2T_2$, $K_3T_3U_3$.

Ainda nesse complexo granítico, podem ser contadas cerca de cinco pequenas unidades predominantemente uraníferas; unidades $U_2T_2K_3$; $U_2K_2T_3$, $U_2T_3K_3$, $U_3T_3K_3$ e U_3T_3.

Ao contrário do que ocorre para esse "Complexo de Bação", o granito da parte oeste do mapa é, conforme foi visto, predominantemente potássico; porém, as unidades radiométricas de predominância em tório e urânio são bastante extensas. As unidades toríferas tendem a se concentrar no canto SW do mapa, em torno do meridiano UTM 582. Manchas esporádicas de $T_1K_1U_2$ dominante ou de $K_2T_2U_2$, $K_1T_1U_2$ ou $K_1T_2U_2$, com o tório subordinado ao potássio, ocorrem a leste da cidade de Moeda, em torno do meridiano 606.

Ainda no granito dessa parte oeste do mapa são encontradas as unidades radiométricas mais extensas e de intensidade mais elevada em urânio de toda a área mapeada do projeto.

As unidades uraníferas possuem uma direção predominantemente norte-sul, exibindo radiações subordinadas com níveis de alto a baixo nos canais de tório e potássio; são elas, $U_1T_2K_2$, a mais extensa de todas, prolongando-se segundo o meridiano 594; as $U_1K_1T_2$ e $U_2K_3T_3$, situadas a leste da primeira, e algumas outras do tipo $U_1K_2T_2$, $U_2T_3K_3$, $U_1T_2K_2$, $U_2T_2K_3$, $U_1T_2K_3$, etc..., que se espalham para o sul e para oeste da faixa central maior $U_1T_2K_2$. No sentido oeste, na direção de Itatiaiaçu, porém, ainda dentro do granito, são observadas unidades do tipo $U_1K_2T_2$, $U_2T_3K_3$, ambas passando a leste de Brumadinho; $U_1T_3K_3$, $U_1K_2T_2$, passando a oeste desta cidade e unidades $U_1T_2K_3$, $U_1K_1T_2$, $U_2T_3K_3$, etc..., já perto do contato com as rochas do Grupo Nova Lima.



A porção desse granito que cobre a cidade de São Joaquim das Bicas possui radiação média a baixa em potássio e em tório, o primeiro dominante sobre o segundo elemento.

Alem dos diversos tipos de unidades radiométricas descritos para o granito gg, resta destacar aquela de formato quase ovalado, que ocorre a sudoeste de Itatiaiaçu, no canto sudoeste da folha; unidade $T_1U_{1-2}K_{1-2}$, com radiação muito alta no canal de tório, seguida de radiação alta a média no urânio e potássio. Apesar do contato entre o granito e as rochas do Grupo Nova Lima nessa região não coincidir exatamente com o contato entre as unidades radiométricas $T_1U_{1-2}K_{1-2}$ e b (baixa radiação), observa-se que elas são paralelas e seguem no sentido do sudoeste para fora do mapa.

O manto de intemperismo do granito é bastante extenso e sua espessura chega a atingir mais de 50 metros. Essa extensão superficial do manto intempérico pode promover facilmente a retenção da radioatividade potássica das micas e feldspatos das rochas graníticas indivisas, entretanto, onde ele é muito pouco espesso, da ordem de centímetros, ou a rocha fresca é aflorante, então ocorrerão as unidades radiometricamente potássicas. A impossibilidade da radiação potássica atravessar o manto de intemperismo mais espesso poderia explicar a pouca ocorrência dessas unidades nas rochas do Complexo de Bação,em favor de um maior espalhamento de unidades predominantemente toríferas.

A grande tendência do urânio em se oxidar no ion solúvel uranila (UO_2^{++}) permite que ele seja facilmente lixiviado nos processos superficiais de degradação das rochas originais. Quando ele ocorre no solo, está geralmente em minerais resistatos, tais como o zircão; ao contrário do que acontece para o tório, que pode estar tanto nos resistatos quanto nas argilas formadas dos processos de intemperismo.

MP

6.2 Série Rio das Velhas

6.2.1 Série Rio das Velhas Indivisa.

Ocorrendo no extremo norte da porção ocidental do mapa geológico, o conjunto de rochas fotointerpretadas pela Prospec foi colocado duvidosamente dentro da Série Rio das Velhas. Radiometricamente, seu comportamento é bastante modesto, destacando se amplas unidades predominantemente potássicas, porém de baixa radiação, unidades $K_3T_3U_3$; K_3U_3. Unidades com radiações médias nos canais de urânio são contudo observadas, são elas: $K_2(T_3U_3)$, T_2U_3. Apenas duas unidades fracamente uraníferas ocorrem nessas rochas; unidades: U_3 e $U_3T_3K_3$.

O contato entre essas rochas e os granitos gnaisses a sul-sudeste de Azurita está englobado dentro da unidade de radiação desprezível ou nula (unidade b).

6.2.2 Grupo Nova Lima.

As rochas deste grupo são: filito, clorita-xisto, rocha metavulcânica, dolomito, grauvaca, quartzito, rochas ferríferas (formação ferrífera), conglomerado, rocha de quartzo-ankerita-dolomita, alguns granodioritos e rochas graníticas.

O levantamento radiométrico revelou que tais rochas possuem níveis de baixa radiação, representadas, na sua maioria, por unidades b ou de predominância de terceira ordem no canal de potássio, tais como as unidades K_3U_3; $K_3T_3U_3$, K_3. Raramente aparecem unidades com radiação média, tais como as $T_{2-3}U_3K_3$, $K_2T_3U_3$ na região do Nova Lima, na parte oeste da folha; a exceção da grande unidade K_2T_3, abrangendo este grupo no extremo norte do mapa geológico.

Pelas rochas que constituem o Grupo Nova Lima, deduz-se facilmente que a assinatura radiométrica para os diversos tipos litológicos teria baixa expressão radioativa. Poder-se-ia esperar, entretanto, que os termos xistosos e filíticos, se bem

µl

que predominantemente quartzosos,porém com certa frequência de mus covita e biotita, exibissem radiações um pouco mais elevadas no ca nal de potássio. Isto é o que poderia estar ocorrendo para as man chas radiométricas K_2, K_2T_3 ou $K_2T_3U_3$, dentro das rochas do Nova Lima. Alem disso, a presença dessas unidades poderia encontrar explicação na metassomatose alcalina, que também poderia ter ocorrido nas rochas deste grupo dentro da área do projeto, a exemplo do que ocorre naquelas de Itabira, fora da área em estudo.

6.2.3 Grupo Maquiné.

Este grupo difere do Nova Lima por ser constituído por filitos quartzosos e conglomerados. Quartzitos sericíticos e filíticos, bem como algumas camadas de ardósias, aparecem na Formação Palmital deste grupo (ver Geologia no Anexo B em separado).

Estendendo-se segundo um sinclinal invertido, com mergulho para NE e direção NW-SE de seu eixo, o Grupo Maquiné apa rece representado somente no extremo oriental do mapa geológico do projeto em apreço.

Radiometricamente, este grupo não é representado por nenhuma unidade radiométrica característica, ou, em outras pa lavras, não se pode separá-lo do Grupo Nova Lima adjacente. Unidades radiométricas com baixa radiação no potássio, ou mesmo com radiação desprezível b, cobrem não só as rochas deste grupo, como também se estendem por sobre as do Grupo Nova Lima. Uma unidade K_2, dispondo-se segundo uma faixa de direção N-S, ocorre a NE de Rio Acima, alongando-se na direção do meridiano 630.

6.3 Série Minas

6.3.1 Grupo Tamanduá.

Este grupo constituído por quartzitos, xistos argilosos e quartzosos, itabirito filítico e dolomítico, ocorre segundo uma faixa NW-SE no canto sudeste da folha e na sua porção leste.

Radiometricamente, possui baixa radiação no canal de tório e urânio subordinada a radiação média no canal de potássio. Esta unidade radiométrica é limitada a NE e SW por unidades b ocorrentes respectivamente no Grupo Itabira (Série Minas) e Grupo Nova Lima (Série Rio das Velhas).

6.3.2 Grupo Caraça.

É constituído por formações metassedimentares quartzíticas e filíticas, por sobre as quais repousam os sedimentos de origem química do Grupo Itabira. Duas formações compõem esse grupo; são elas: Formação Moeda e Formação Batatal. A primeira delas é formada por quartzitos com granulação de fina a grosseira com termos conglomeráticos e filíticos, enquanto que a segunda, predominantemente argilosa, compõe-se largamente por filito, incluindo quantidades pequenas de metachert, formação ferrífera e filito grafitoso (Ver Anexo B para detalhes).

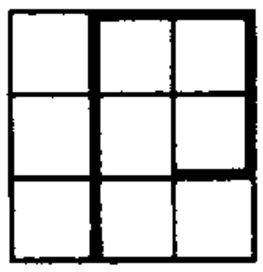
As rochas deste grupo ocorrem em todos os quadrantes da área do projeto. As unidades radiométricas comuns a ele são caracterizadas principalmente por radiações médias a baixas no canal de potássio; unidades $K_2T_3U_3$; $K_3T_3U_3$, predominantes sobre radiações baixas de tório e urânio. Quando a área de afloramento dessas rochas é pouco espessa, como acontece nas Serras do Funil e dos Tres Irmãos, ambas a norte de Brumadinho, elas ficam englobadas na unidade radiométrica b, pertencente ao Grupo Itabira.

Na Serra da Moeda, a oeste da cidade de Moeda, observa-se a unidade $K_2T_3U_3$, em cima da Formação Moeda, contrastando com a unidade $K_2T_2U_2$ a oeste, por sobre as rochas graníticas

indivisas. Nota-se, portanto, que a passagem dos granitos gnaisses para os quartzitos e conglomerados da Formação Moeda se dá segundo uma redução nos níveis de radiação do tório e urânio, que passam de T_2U_2 para T_3U_3, enquanto que o nível radioativo do potássio K_2, permanece o mesmo. Já um pouco mais ao norte, a unidade $K_2T_3U_3$ é comum aos granitos gnaisses e aos quartzitos /conglomerados. A radiação potássica dessa Formação Moeda pode ser oriundo dos feldspatos que, às vezes, são abundantes nos seus quartzitos quando próximos aos granitos.

Seria interessante notar a seguinte gradação de unidades radiométricas, segundo um corte E-W, efetuado logo ao norte do córrego Boa Esperança (oeste da cidade de Belo Vale). Indo-se do granito para os metassedimentos, a sequência seria: $K_1T_2U_2$; $K_2T_2U_2$; $K_1T_1U_2$; $K_1T_2U_2$; $K_2T_2U_2$; $K_2T_3U_3$ e b. Observa-se que o tório e o urânio se mantem em níveis dominantemente médios de radiação, quando dentro do granito, níveis: T_2U_2; T_1U_2. Quando se entra na Formação Moeda, os níveis de radiação para aqueles elementos caem igualmente para o nível baixíssimo T_3U_3 de radiação, terminando pelo nível desprezível b, este já em cima do Grupo Itabira. Às vezes, os níveis médios daquelas unidades se estendem por cima da Formação Moeda, conforme se pode notar nos locais R_1; R_2; R_3; R_4; R_5 e R_6, assinalados no mapa de unidades radiométricas.

A Serra das Gaivotas, situada aproximadamente a 9 km a sudeste da cidade de Ibirité, é formada predominantemente pelos quartzitos, localmente separados por membros de filito e com lentes de conglomerado, todos da Formação Moeda. Aqui também a radiometria demonstra um carater predominantemente potássico para esta formação. O nível desta radiação é de médio a alto, enquanto que o tório e o urânio ficam em terceiro plano. Vale, entretanto, ressaltar que a unidade radiométrica uranífera, que ocorre a oeste desta serra, não parece estar tão longe dela, se forem considerados os perfis gamaespectrométricos voados no sentido E-W, efetuados para os testes solicitados pela CNEN. A análise dos perfis de teste revelou que logo bem pró-



ximo ao contato dos quartzitos com o granito, existe uma unidade de radiação média dominante no canal de urânio. Esta unidade parece estar totalmente por cima da área mapeada como granito.

6.3.3 Grupo Itabira.

Este grupo foi dividido por Dorr em duas unidades intergradacionais: o Itabirito Caué, formado por itabirito com lentes de hematita compacta e pulverulenta e a Formação Gandarela, constituída por dolomito, calcário magnesiano e itabirito dolomítico, com filito e quartzito.

Do ponto de vista radiométrico, o Grupo Itabira, principalmente o Itabirito Caué, apresenta a melhor correlação radiométrica-geológica de toda a área do projeto.

Este itabirito é característico por uma unidade sem radiação detetável, devido a quaisquer dos tres elementos K, U ou Th e, por isso, representado pela letra b. Esta unidade segue o itabirito em toda sua extensão de ocorrência. Localmente, pode ocorrer pequenas descontinuidades da faixa radiométrica,causadas ou por estreitamento na área de afloramento do itabirito, ou por descontinuidade dele próprio, ou ainda devido a espalhamento de material fracamente radioativo de outras formações por sobre ele. Chama-se a atenção do leitor para seguir a faixa b no mapa de unidades radiométricas e compará-la com o croquis da página A41 do Anexo B, onde está desenhada a variação regional da espessura do Itabirito Caué. Para facilidade de análise, sugere-se a coloração dessa faixa pela cor amarela.

Ressalta-se que a correspondência Itabirito Caué /unidade de radiação desprezível b não é biunívoca; porque como já foi citado, as rochas do Grupo Nova Lima também tem a mesma característica radiométrica.

Raríssimas vezes são detetadas pequenas manchas de intensidade baixa de radiação, devida ao tório, manchas T_3 ou

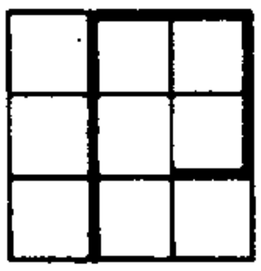
aos tres elementos; unidades $K_3T_3U_3$; T_3U_3, etc.

6.3.4 Grupo Piracicaba.

Separado do Grupo Itabira por uma discordância erosiva, na parte oeste do Quadrilátero Ferrífero, e possivelmente com contato gradacional na sua parte leste, o Grupo Piracicaba compõe-se predominantemente por rochas oriundas de sedimentos clásticos, variando de conglomerado fino até filitos grafitosos, passando intermediariamente por quartzito e filito. Formações químicas ou bioquímicas são encontradas intercaladas na sequência clástica, tais como dolomito e pequenas lentes de formações ferríferas. Como cita Dorr, todos esses sedimentos estão atualmente metamorfisados, a maioria dos quais no facies xisto-verde e no facies anfibólio-almandina. Todos esses tipos litológicos encontram-se representados na área do projeto e que, por questões de escala do mapeamento, são todos englobados indistintamente no Grupo Piracicaba. O mesmo ocorreu para todas as formações dos demais grupos das Séries Minas e Rio das Velhas.

As rochas deste grupo possuem radiações predominantemente potássicas em nível médio ao qual estão subordinados os níveis mais baixos de radiação do tório e urânio; unidades $K_2T_3U_3$; $K_2U_3T_3$. Esta é uma característica que se observa na faixa destas rochas, passando segundo uma direção NE-SW, a sul de Belo Horizonte; enquanto que na região denominada de "Moeda Plateau", compreendida entre as Serras da Moeda e do Itabirito, quadrícula 7776-7764 com 630-618; são observadas cerca de 10 pequenas unidades radiométricas com radiação predominante no canal do tório; unidades $T_2U_3K_3$; $T_2K_3U_3$; $T_3K_3U_3$. Entre estas unidades aparecem também pequenas outras com radiação forte e dominante no potássio, a qual se subordina à radiação média do tório; unidade $K_1T_2U_3$.

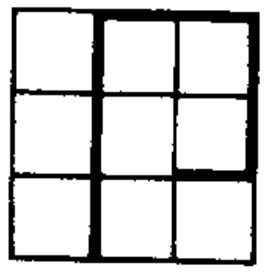
μP



6.4 Série Itacolomi Indivisa

As rochas desta Série são constituídas de quartzitos e filitos. Os quartzitos são conglomeráticos com camadas finas e lenticulares de filitos em algumas áreas. São colocadas à parte das rochas da Série Minas, em virtude de uma discordância angular, observada por Guimarães (in. Dorr), entre os seus quartzitos e as rochas da Série Minas.

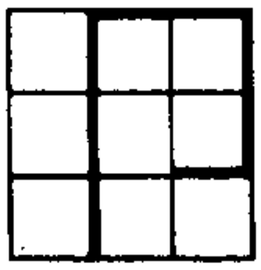
Esta Série ocorre mais extensamente a norte da cidade de Congonhas. Ali ela é representada por um sinclinal invertido com mergulho geral das camadas para NE e eixo na direção aproximada NNW. Radiometricamente, confunde-se com as rochas das Séries Minas e Rio das Velhas, que a circundam naquele local. O potássio é o elemento de radiação dominante, porém, num nível de intensidade baixo; unidade $K_3T_3U_3$. Observa-se que, grosseiramente, a Série Itacolomi neste local está circundada por unidades b, pertencentes ao Grupo Itabira ou ao Grupo Piracicaba.



6.4 Série Itacolomi Indivisa

As rochas desta Série são constituídas de quartzitos e filitos. Os quartzitos são conglomeráticos com camadas finas e lenticulares de filitos em algumas áreas. São colocadas à parte das rochas da Série Minas, em virtude de uma discordância angular, observada por Guimarães (in. Dorr), entre os seus quartzitos e as rochas da Série Minas.

Esta Série ocorre mais extensamente a norte da cidade de Congonhas. Ali ela é representada por um sinclinal invertido com mergulho geral das camadas para NE e eixo na direção aproximada NNW. Radiometricamente, confunde-se com as rochas das Séries Minas e Rio das Velhas, que a circundam naquele local. O potássio é o elemento de radiação dominante, porém, num nível de intensidade baixo; unidade $K_3T_3U_3$. Observa-se que, grosseiramente, a Série Itacolomi neste local está circundada por unidades b, pertencentes ao Grupo Itabira ou ao Grupo Piracicaba.



6.5 Rochas Intrusivas

As rochas intrusivas básicas e ultrabásicas, apesar de geralmente não possuirem radiações nos canais de K, U e Th, elas tem dimensões pequenas para permitir uma individualização radiométrica em relação às suas encaixantes.

As rochas intrusivas ácidas, se são ricas em minerais portadores de potássio, tais como feldspato potássico, muscovita, etc., podem ser perfeitamente destacáveis de suas encaixantes se estas também não são ricas naqueles minerais. Muitas pequenas unidades de alta radiação de potássio são encontradas na área do projeto; unidades $K_1T_xU_y$ ou $K_1U_xT_y$, onde o x = 1,2 ou 3 e y = 1,2 ou 3, porém, sem cheque de campo, é impossível predizer se aquelas unidades se correlacionam a rochas intrusivas ou se são variações metassomáticas dentro da rocha matriz (ex. metassomatose potássica, etc.). A presença do tório e/ou do urânio, em grande quantidade, associados a alta radiação potássica, poderia sugerir uma hipótese de trabalho para correlacionar tais manchas a rochas intrusivas ou a eventos metamórficos posteriores.

jlp

7. RESUMO

O levantamento aerogamaespectrométrico, com discriminação de energia nos níveis do potássio, do urânio e do tório, demonstra mais uma vez a aplicabilidade deste método geofísico para o mapeamento de rochas ígneas e metamórficas.

A transformação dos dados radiométricos originais para a forma de mapa de unidades radiométricas, forneceu um meio rápido para a correlação das unidades radiométricas com as unidades litoestratigráficas. Como exemplo mais típico da boa correlação entre a radiometria e a geologia, destaca-se a identificação dos itabiritos do Grupo Itabira, atraves da unidade radiométrica b (radiação desprezível).

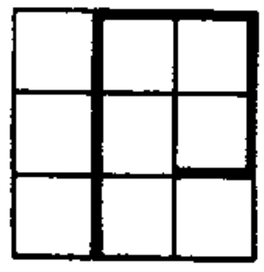
Rochas aparentemente homogêneas demonstraram exibir variações químico/mineralógicas, tais como se pode deduzir da diversificação de unidades radiométricas por sobre os granitos gnaisses da área, especialmente naqueles ocorrentes na porção oeste e sudoeste do mapa.

Esses granitos-gnaisses exibem pelo menos tres fácies radiométricos distintos, englobados da seguinte forma:

a) Fácies radiométrico do "Complexo de Bação".
b) Fácies radiométrico $T_1U_{1-2}K_{1-2}$, na parte sul do extremo ocidental do mapa.
c) Fácies radiométrico Granito-Gnaisse.

O fácies radiométrico do "Complexo de Bação" é definido por um conjunto de pequenas unidades radiométricas, com dominância de radiação em quaisquer dos tres elementos (K, U ou Th), porém exibindo uma tendência de predominância superficial de radiação torífera em nível baixo de intensidade radioativa.

O fácies radiométrico $T_1U_{1-2}K_{1-2}$ se caracteriza pela presença exclusiva da unidade radiométrica com alta intensidade de radiação devida ao tório, seguida por intensidades média a baixa devidas ao urânio e ao potássio, e pela sua for-



ma ovalada, ocorrendo dentro de um "background" de baixa radiação. Sugere-se investigação de campo nas áreas de sua ocorrência.

O fácies radiométrico Granito-Gnaisse se caracteriza pela diversificação de unidades radiométricas com dimensões grandes e variadas e radiações de intensidade de média a alta no canal do potássio, às quais se subordinam radiações de intensidade de baixa a alta nos canais de urânio e tório. Neste fácies são destacáveis as unidades radiométricas extensas, com intensidade alta de radiação no canal do urânio. Para elas são sugeridas investigações de campo.

Perto do contato dos granitos-gnaisses ou das rochas do Grupo Nova Lima com os quartzitos da Formação Moeda, são observados pequenos prolongamentos de unidades uraníferas entrando por sobre esses quartzitos. Esses locais foram marcados no mapa de unidades radiométricas e assinalados pela letra R, para investigações posteriores no campo.

Essa breve discussão finaliza o presente trabalho de levantamento aerogeofísico, que longe de qualquer outra intenção, pretende ser mais uma contribuição da Geofísica ao mapeamento geológico brasileiro. Espera-se também ter o presente relatório alcançado os objetivos almejados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, atraves da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais.

A Prospec se coloca à disposição dos geólogos e geofísicos da CNEN e da CPRM, para eventuais discussões sobre os dados aqui apresentados.

Prospec S.A. - Geologia, Prospecções e Aerofotogrametria.

Rio de Janeiro, Junho de 1974.

Marco Polo Pereira da Boa Hora

Divisão de Geofísica

A N E X O A

DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTAL DO HELICÓPTERO

A.1 Sistema Gamaespectrométrico

O gamaespectrômetro usado no levantamento é o de modelo DGRS-1002, fabricado pela Exploranium, e que constituiu, na época, o tipo mais novo da série de espectrômetros por ela fabricados. Trata-se de um modelo versátil, que pode ser montado tanto em aeronaves quanto em veículos terrestres. Compõe-se de quatro canais analógicos, que registram as radiações provenientes das radiações do potássio (K^{40}), do urânio (Bi^{214}), do tório (Tl^{208}), e da contagem total, em níveis de energia de 0,1 e 3 Mev. As medidas dessas radiações, juntamente com o registro do traço do altímetro e do controle térmico do sistema, foram documentadas num registrador de seis canais, modelo MARS 6, atraves de um estilete pressionado sobre papel sensível ao calor. O gamaespectrômetro compõe-se das seguintes unidades:

1) Cristal detector - é um cristal único de NaI, ativado por tálio, com volume de 6.809,55cm^3 (452,28 polegadas cúbicas), envolvido por uma blindagem protetora para livrá-lo de choques térmicos e mecânicos. Acopladas ao cristal estão as válvulas fotomultiplicadoras, para produzirem os pulsos eletrônicos, que, após serem amplificados, são dirigidos para cada um dos quatro canais do analisador. Esses canais tem saída para cada um dos registros analógicos, resultando, portanto, nos perfis correspondentes às radiações, em contagem por segundo do K, U, Th e Ct. Colocada junto ao cristal, existe uma fonte de cesium 137, que possui um espectro de pequena amplitude, monoenergético, muito mais intenso do que qualquer outro interesse geo-

lógico e que é utilizado para estabilização do espectro, regulando o sistema para a deriva da temperatura.

2) Válvulas fotomultiplicadoras - estão acopladas ao cristal de iodureto de sódio. Os pulsos de saída transmitidos por essas válvulas, conforme foi visto anteriormente, são amplificados numa unidade pré-amplificadora e subsequentemente conduzidos para um amplificador linear de voltagem. Quatro analisadores das alturas dos pulsos são empregados para discriminar os vários níveis de energia dos sinais recebidos.

3) Estabilização do espectro - os pulsos eletrônicos, produzidos pelas válvulas fotomultiplicadoras, são proporcionais à energia do raio que incide no cristal e nele é absorvido. Essas válvulas, por sua vez, são dispositivos de alto ganho, dependendo essa característica da voltagem a ela aplicada e a temperatura ambiente; assim, pequenas variações de temperatura causarão variação no ganho, produzindo daí pulsos de amplitudes diferentes, dando em consequência leituras incorretas. Entende-se, portanto, como estabilização do espectro, as técnicas empregadas para manter uma altura de pulso de energia constante em função da temperatura. Essas técnicas vem descritas muito detalhadamente nos manuais de instrução e manutenção, que acompanham o gamaespectrômetro e que já devem ser de conhecimento das pessoas envolvidas com medições de eventos radioativos, atraves de gamaespectrômetros semelhantes. Basicamente, a estabilização do espectro consiste em, primeiramente, na integração do detector a um sistema de realimentação ("feedback"). O circuito de realimentação compreende efetivamente o seguinte:

1) Fonte de energia de alta voltagem
2) Detetor (cristal e válvulas fotomultiplicadoras)
3) Pré-amplificador e amplificador

A fonte de referência para o sistema de realimentação é o cesium 137, monoenergético, com emissão de um simples

μr

raio a 0,662 Mev e uma meia vida de cerca de 30 anos. Esta fonte monoenergética é colocada perto do detector, de modo que o seu fotopico é convertido para uma voltagem de controle que, por sua vez, regula o suprimento da fonte de força de alta voltagem. Continuando-se a técnica, chega-se a uma correção contínua do "drift" do ganho das válvulas fotomultiplicadoras, permitindo, finalmente, uma análise precisa e durável do raio gama.

Correção do espalhamento "Compton" ("Stripping" do canal)

Às vezes se torna impossível a discriminação no gamaespectrômetro dos níveis de energia, provenientes dos elementos procurados; isso porque os elementos de nível de energia mais alto sempre contribuem no registrador do contador do elemento de nível mais baixo de energia, devido ao fenômeno conhecido como espalhamento "Compton". Quando se coloca, por exemplo, uma amostra de tório na base do cristal, as radiações desse elemento são detectadas não somente no seu canal correspondente, como também nos canais do urânio e potássio. O mesmo acontece com o urânio, cuja influência se faz sentir no canal do potássio (nível de energia mais baixo), mas, ao contrário, o canal do tório não é afetado. Como o objetivo do levantamento é efetuar medidas da contribuição individual de cada elemento, ou seja, com 100% de discriminação, torna-se necessário reconhecer ou remover a contribuição dos elementos de energia mais alta sobre os de mais baixos níveis. Para isso, o gamaespectrômetro DGRS-1002 possui um subsistema de computador, que permite uma total discriminação entre os tres elementos, potássio, urânio e tório.

A.2 Aeromagnetômetro GULF MARK III

O sistema Gulf Mark III é utilizado para medir as variações da intensidade do campo magnético da terra, na direção do campo total. O coração do magnetômetro é um núcleo saturado "fluxgate". Uma bobina é utilizada para reduzir a zero o campo ambiente que influencia o "fluxgate".

A corrente elétrica necessária para produzir isso é então proporcional à intensidade do campo ambiente e, portanto, utilizada para medir a intensidade do campo.

A cabeça sensora do magnetômetro, localizada num esporão suspenso ao helicóptero, consiste de dois "fluxgates" de orientação.

Em operação, os "fluxgates" de orientação são mantidos por servomotores em uma posição tal que anula ou minimiza o campo magnético da terra, permitindo que o "fluxgate" medidor tenha um rendimento máximo de operação.

As medidas do magnetômetro são registradas em forma analógica, num gráfico retilíneo com largura de 25,4 cm, no qual uma deflexão total tem o valor de 600 gamas.

A.3 Monitor de Tempestades MARK I

Este instrumento registra as variações do campo magnético total da terra, em função do tempo, para permitir que, durante suas perturbações, o levantamento seja descontinuado.

O instrumento consiste em um núcleo "fluxgate saturado", orientado manualmente, montado num tripé e controlado à distância.

As medidas do monitor são registradas de modo contínuo num gráfico de forma curvilínea, com largura de 11,4cm.

A velocidade do gráfico é de 30,5cm por hora e a deflexão, abrangendo a escala total, representa uma variação

$\mu\Gamma$

na intensidade magnética de 250 gamas.

Em cada hora ou quarto de hora são registradas marcas de referência por uma pena fiducial, para controle do instante do registro.

A.4 Câmara de Posição ou Rastreio, modelo CARL MARK 7

A câmara MARK 7 da CARL é um instrumento versátil, de magazine, que carrega filme de 35mm. É capaz de disparos controlados por intervalômetro a tempo fixo, ou disparos a intervalos controlados por Doppler, a que correspondem distâncias fixas. Num e noutro caso os intervalos são pré-determinàdos.

A câmara utiliza uma lente de 90 graus de abertura, ângulo este reduzido pela janela do chassi, de modo que a cobertura na direção do voo, se iguala à altura do mesmo.

Um contador iluminado é fotografado em cada exposição, que aparece com o seu número correspondente na margem do filme e marcas fiduciais,a que correspondem as décimas exposições, aparecem em todos os gráficos.

A.5 Altímetro

Utilizou-se no levantamento um radio altímetro tipo BONZER, que efetua medidas da distância livre entre o helicóptero e o terreno, segundo uma curva não linear e, por isso, precisa ser calibrado para diversas altitudes, tomadas em função do altímetro barométrico. A figura A.5.1 mostra um exemplo de calibração desse altímetro.

CALIBRAÇÃO DO ALTÍMETRO

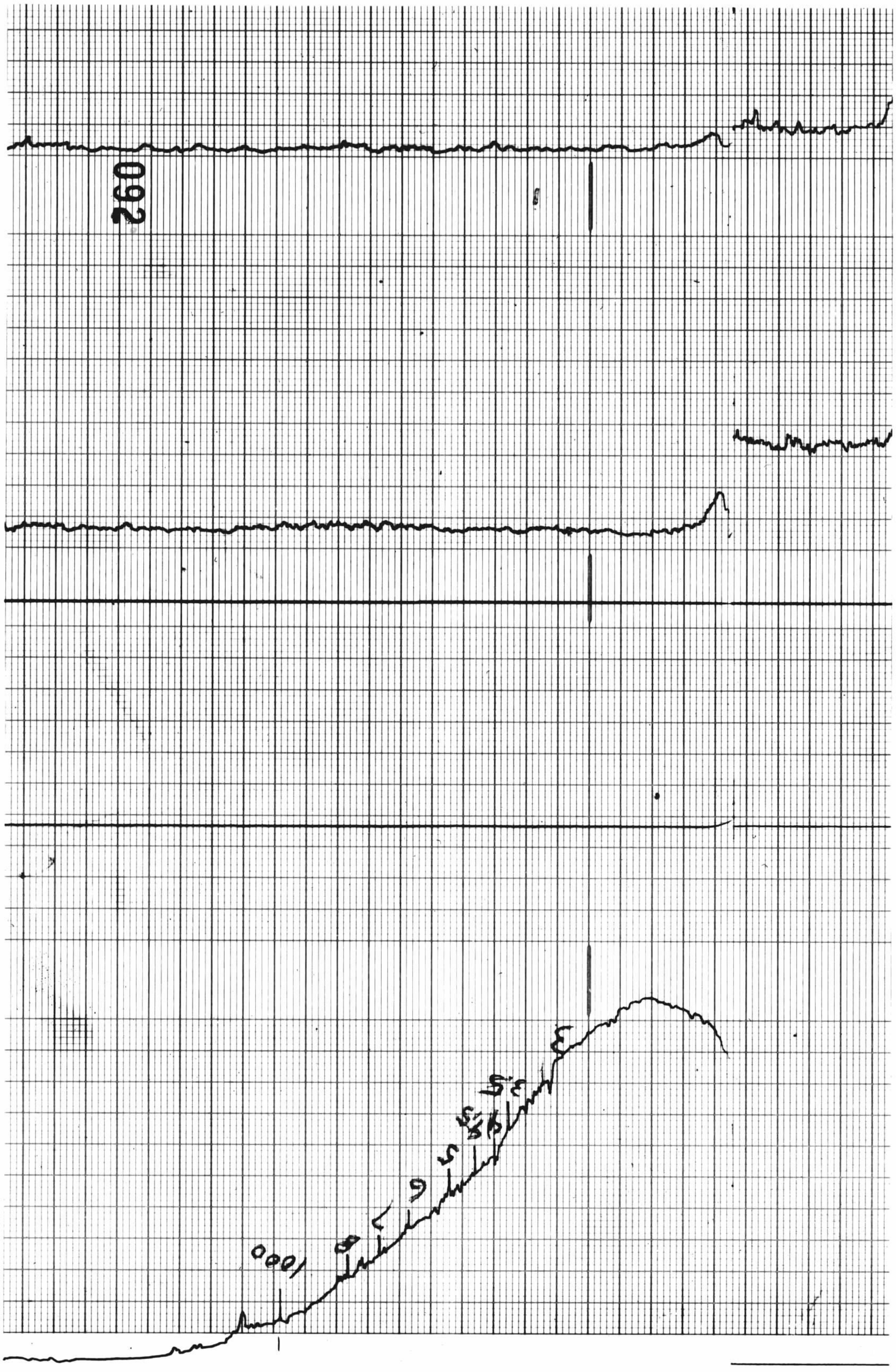


Fig. A.5.1

B I B L I O G R A F I A

BARRETO, P.M.C. - Aplicação da Espectrometria Gama na Prospecção Aérea de Minerais Nucleares. MME-CNEN, 1969.

BRASIL-MME-DNPM-CNEN - Levantamento Gama-Espectrométrico e Magnetométrico na Área do Projeto Alto Garças, nos Estados de Goiás e Mato Grosso. Prospec S.A., Março, 1972.

BRASIL-MME-DNPM-CPRM - Projeto Iporá: Aerogamaespectrometria e Aeromagnetometria na Área do Projeto Iporá, nos Estados de Goiás e Mato Grosso. Prospec S.A., Março, 1974.

DARNLY, A.G. - Airborne Gamma-Ray Survey Techniques - Present and Future. Department of Energy, Mines and Resources. Geological Survey of Canada. Ottawa, 1972.

DOIG, D. - The Natural Gamma-Ray Flux; In Situ Analysis. In Geophysics, 1968. U.33, p. 311-328.

DORR 2nd, J.V.N. - Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilatero Ferrifero Minas Gerais, Brazil. Geological Survey Professional Paper 641-A, United States Government Printing Office, Washington, 1969.

GREGORY, A. - Geological Application of Portable Gamma-Ray Spectrometers, 1970. McPhar Geophysics, Toronto, Canada.

KELLOG, W.C. - Aerial Radioactivity Surveying Techniques of Succesful Application, 1968. Lockwood Kessler Bartlett Inc., Pasadena, California.

SEGUIN, M.K. - Les Methodes Radioactives, 1971 - Les Presses de l'Université Laval - Quebec.

μr

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

PROJETO QUADRILÁTERO FERRÍFERO

MAPA DE UNIDADES RADIOMÉTRICAS

ESCALA 1:150 000

0 500 1000 1500 2000 m

PROSPEC S.A.

1974

CONVENÇÕES

GEOFÍSICAS

K_1 T_1 U_1
K_2 T_2 U_2
K_3 T_3 U_3 — SÍMBOLOS REPRESENTATIVOS DA RADIAÇÃO GAMA NOS CANAIS CORRESPONDENTES. K=POTÁSSIO; T=Th=TÓRIO; U=URÂNIO. OS ÍNDICES CRESCEM QUANDO A PREDOMINÂNCIA DO ELEMENTO DECRESCE. SÍMBOLOS ENTRE PARENTESIS INDICAM EQUIVALÊNCIA NA ABUNDÂNCIA DAS RADIAÇÕES.

UNIDADES RADIOMÉTRICAS. LIMITE INTERROMPIDO QUANDO MAL DEFINIDO.

b — UNIDADE SEM EXPRESSÃO PREDOMINANTE NOS CANAIS: K, U e Th.

? ? — REGIÃO SEM LEVANTAMENTO AEROGAMAESPECTROMÉTRICO.

R_2 — LOCAIS RECOMENDADOS PARA INVESTIGAÇÕES.

CARTOGRÁFICAS

ESTRADAS PRINCIPAIS

ESTRADAS SECUNDÁRIAS

ESTRADAS DE FERRO

BARRAGENS, REPRÊSAS

RIOS, RIBEIRÕES

LAGOS, LAGOAS

CAMPO DE AVIAÇÃO