

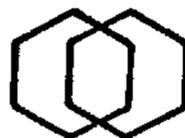
MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

PROJETO RIO BRANCO

VOLUME II

RELATÓRIO FINAL

Luis Marcelo Fontouro Mourão



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS MINERAIS

1984



DIRETORIA DA ÁREA DE OPERAÇÕES
SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS MINERAIS

J 96

PHL
012864
2007

CPRM - DIDOTE	
ARQUIVO TÉCNICO	
Relatório n.º	869
N.º de Volumes:	8 v: 2-8

PROJETO RIO BRANCO

SUPERVISÃO :

DEPARTAMENTO DE PROSPECÇÃO

Fernando de Britto Dantas

DIVISÃO DE GEOFÍSICA

Moisés Bentes

EQUIPE DO PROJETO :

Luís Marcelo F. Mourão

Maria Lauro V. de Azevedo

Morio Mitio Sugahara



MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

PROJETO RIO BRANCO

ÍNDICE DOS VOLUMES

- VOLUME I — Texto do Levantamento da Área
- VOLUME II — Texto do Processamento dos Dados
- ANEXO I - A — Mapas de Contorno do Campo Magnético Residual - Escala 1:100.000 das Seguintes Folhas:
- | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| NA.20-X-A-III | NA.20-X-B-III | NA.20-X-C-III | NA.20-X-D-III |
| NA.20-X-A-VI | NA.20-X-B-IV | NA.20-X-C-VI | NA.20-X-D-IV |
| NA.20-X-B-I | NA.20-X-B-V | NA.20-X-D-I | NA.20-X-D-V |
| NA.20-X-B-II | NA.20-X-B-VI | NA.20-X-D-II | NA.20-X-D-VI |
- ANEXO I - B — Mapas de Contorno do Campo Magnético Residual - Escala 1:100.000 das Seguintes Folhas:
- | | | | |
|---------------|---------------|---------------|--------------|
| NA.20-Z-A-III | NA.20-Z-B-III | NA.20-Z-C-III | NA.21-V-A-I |
| NA.20-Z-A-VI | NA.20-Z-B-IV | NA.20-Z-D-I | NA.21-V-A-IV |
| NA.20-Z-B-I | NA.20-Z-B-V | NA.20-Z-D-II | NA.21-V-C-I |
| NA.20-Z-B-II | NA.20-Z-B-VI | NA.20-Z-D-III | NA.21-V-C-IV |
- ANEXO I - C — Mapas de Contorno do Campo Magnético Residual - Escala 1:250.000
- ANEXO II - A — Mapas de Contorno Radiométrico (Contagem Total) - Escala 1:100.000 das Seguintes Folhas:
- | | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| NA.20-X-A-III | NA.20-X-B-III | NA.20-X-C-III | NA.20-X-D-III |
| NA.20-X-A-VI | NA.20-X-B-IV | NA.20-X-C-VI | NA.20-X-D-IV |
| NA.20-X-B-I | NA.20-X-B-V | NA.20-X-D-I | NA.20-X-D-V |
| NA.20-X-B-II | NA.20-X-B-VI | NA.20-X-D-II | NA.20-X-D-VI |
- ANEXO II - B — Mapas de Contorno Radiométrico (Contagem Total) - Escala 1:100.000 das Seguintes Folhas:
- | | | | |
|---------------|---------------|---------------|--------------|
| NA.20-Z-A-III | NA.20-Z-B-III | NA.20-Z-C-III | NA.21-V-A-I |
| NA.20-Z-A-VI | NA.20-Z-B-IV | NA.20-Z-D-I | NA.21-V-A-IV |
| NA.20-Z-B-I | NA.20-Z-B-V | NA.20-Z-D-II | NA.21-V-C-I |
| NA.20-Z-B-II | NA.20-Z-B-VI | NA.20-Z-D-III | NA.21-V-C-IV |
- ANEXO II - C — Mapas de Contorno Radiométrico (Contagem Total) - Escala 1:250.000

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO

RESUMO

ABSTRACT

I. INTRODUÇÃO	1
II. LOCALIZAÇÃO	1
III. PESSOAL TÉCNICO	2
IV. METODOLOGIA DOS TRABALHOS EXECUTADOS	2
V. COMENTÁRIOS GERAIS	25
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
VII. BIBLIOGRAFIAS	29

APRESENTAÇÃO

O Projeto Rio Branco visou à aquisição, processamento e interpretação dos dados aeromagnetométricos (campo total) e aerogamaespectrométricos de parte da área centro-oriental do Território Federal de Roraima.

O Relatório Final do Projeto, ora entregue ao Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, no que tange à aquisição e processamento dos dados aerogeofísicos, consiste dos seguintes tomos, os quais estão explicados na página "Índice dos Volumes" : Volume I, Volume II, Anexo I-A, Anexo I-B, Anexo I-C, Anexo II-A, Anexo II-B e Anexo II-C.

Os mapas aerogeofísicos referem-se a 32 folhas na escala 1:100.000 e a 10 folhas na escala 1:250.000 (2 completas e 8 incompletas) e serão, sem dúvida alguma, subsídio marcante para o maior conhecimento do comportamento geológico-estrutural de área tão extensa e potencialmente importante sob o ponto de vista econômico.

RESUMO

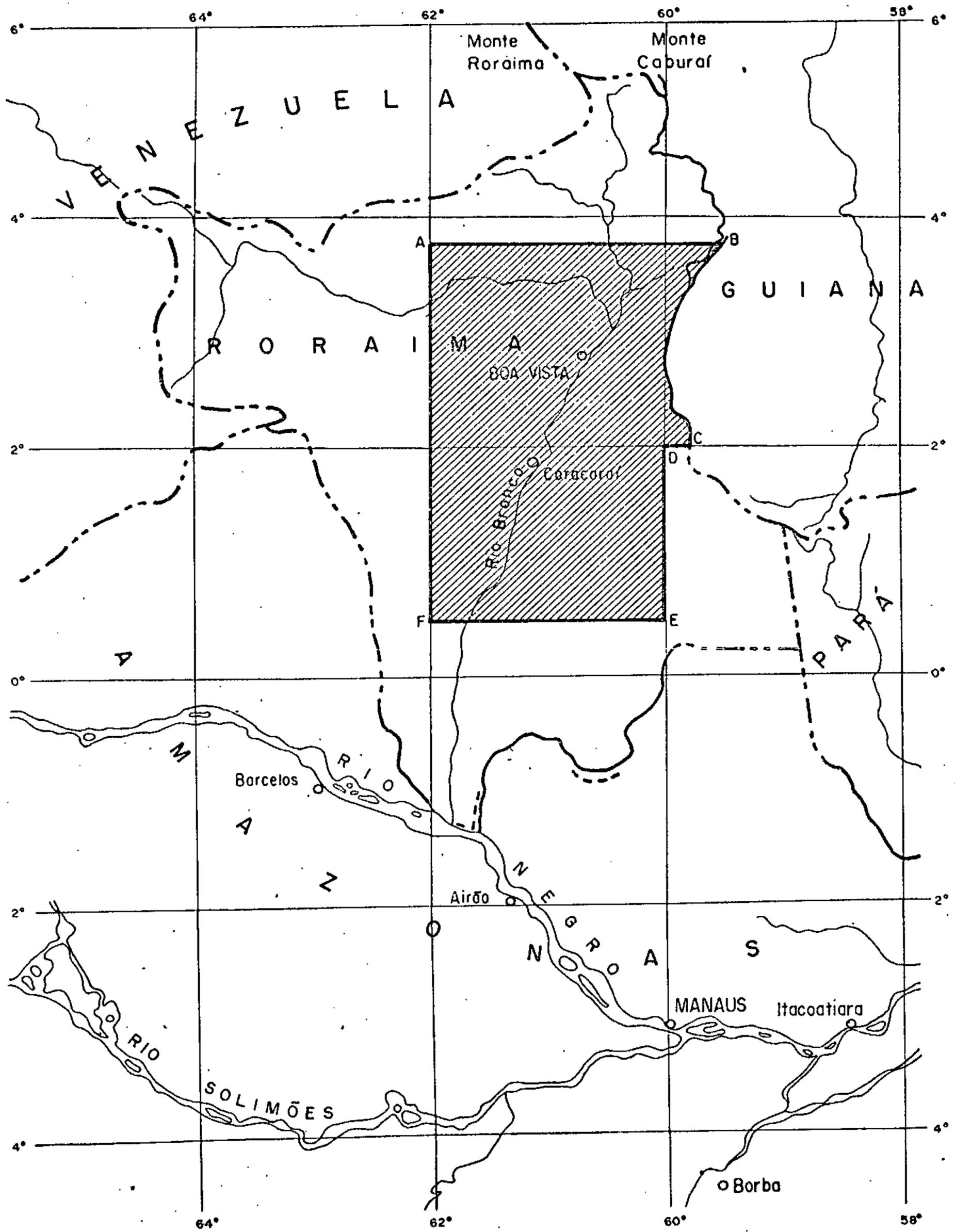
Este Relatório descreve todas as etapas do processamento dos dados aeromagnetométricos (campo total) e aerogamaespectrométricos do Projeto Rio Branco.

Os resultados finais são apresentados sob a forma de mapas de contorno (após a redução do IGRF e do canal de contagem total), nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, as quais serão úteis para posterior interpretação geofísica e integração geológica.

ABSTRACT

This report describes all the stages of aeromagnetometric (total field) and aerogammaspectrometric data processing of the Rio Branco Project.

The final results are presented in the fashion of contour maps (after IGRF reduction and total count channel) at scales of 1:100.000 and 1:250.000, which will be useful for subsequent geophysical interpretation and geological integration.



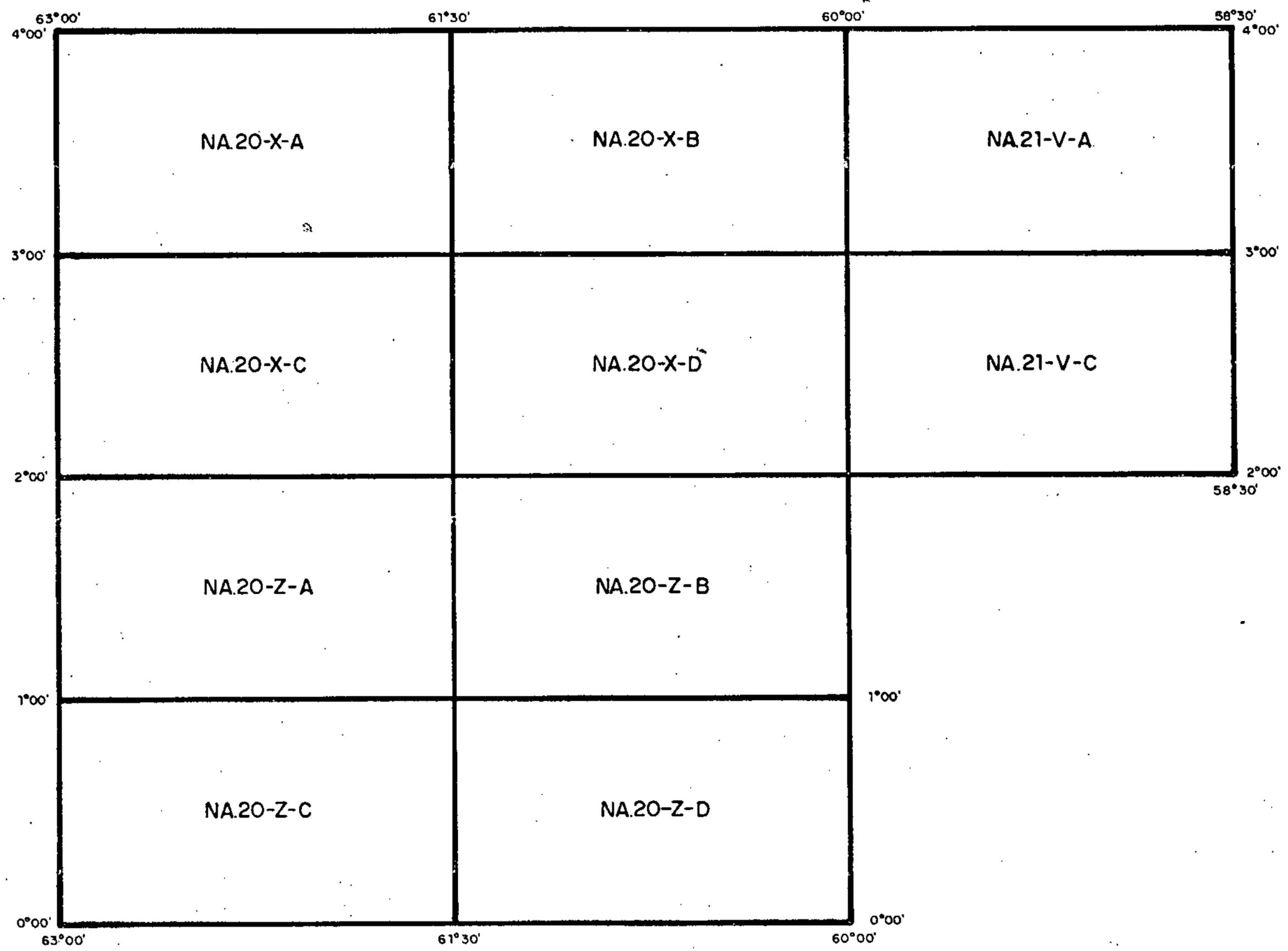
PROJETO RIO BRANCO

SITUAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO

ESCALA: 1:5.000.000

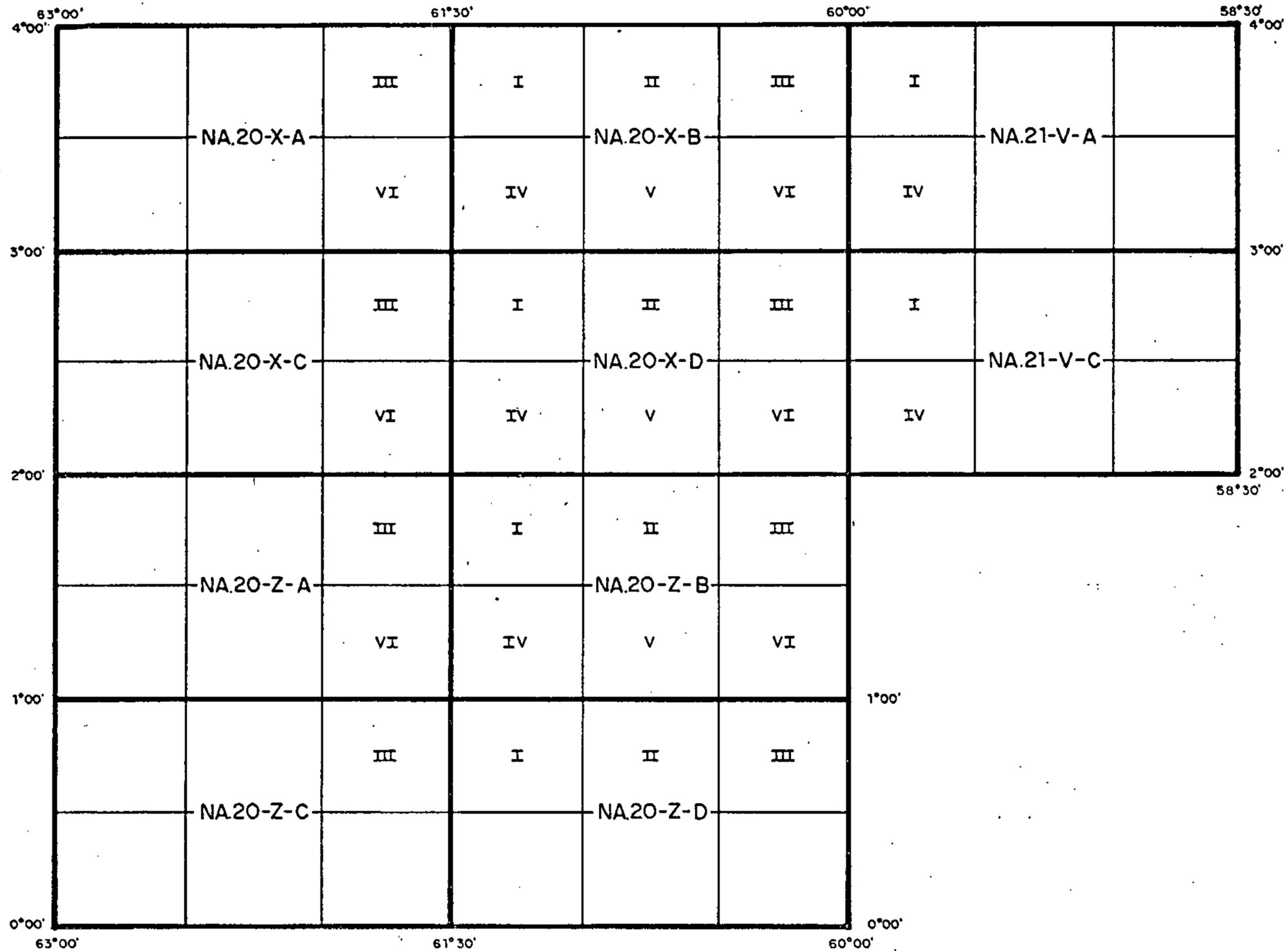
PROJETO RIO BRANCO

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS (ESCALA 1:250.000)



PROJETO RIO BRANCO

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS (ESCALA 1:100.000)



I - INTRODUÇÃO

A PROSPEC S/A - Geologia, Prospecções e Aerofotogrametria e executou o aerolevanteamento (fase de aquisição de dados) durante o período de 10 de fevereiro a 18 de março de 1978, totalizando cerca de 45.800 quilômetros lineares, através da utilização dos métodos magnético (campo total) e gamaespectrométrico de uma área aproximada de 82.000 km² na porção centro-oriental do Território Federal de Roraima.

Os trabalhos de processamento dos dados foram iniciados em novembro de 1983 pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e concluídos em dezembro de 1984, em atenção à Solicitação de Serviço DNPM/DGM/CPRM nº042/83 de 23/11/83.

II - LOCALIZAÇÃO

A área do projeto pode ser definida pelo polígono que tem como vértices as seguintes coordenadas geográficas, conforme ilustrado na página da Situação da Área do Projeto :

<u>VERTICE</u>	<u>Longitude (WGr)</u>	<u>Latitude (N)</u>
A	62°00'	03°45'
B	59°40' (Fronteira c/Guiana)	03°45'
C	59°43' (Fronteira c/Guiana)	02°00'
D	60°00'	02°00'
E	60°00'	00°30'
F	62°00'	00°30'

III - PESSOAL TÉCNICO

Para o processamento dos dados, a equipe do Projeto contou com a participação dos seguintes técnicos :

Geólogo :	Luís Marcelo Fontoura Mourão
Geofísico :	Maria Laura Vereza de Azevedo
Geólogo :	Mário Mitio Sugahara
Analista de Processamento :	Elenir Delboni Gusmão
Analista de Processamento :	Jorge Motta

Durante a fase inicial, o projeto recebeu a colaboração do geólogo Mário Mitio Sugahara, o qual ficou incumbido do controle dos dados relativos aos Registros Magnéticos da estação-base com vista ao programa Correção da Variação Magnética Diurna, bem como com o controle dos índices dos perfis e códigos de cruzamento para o programa Distribuição dos Erros Magnéticos nos Cruzamentos.

A partir do mes de setembro de 1984 a geofísica Maria Laura Vereza de Azevedo passou a integrar o projeto na sua fase final.

IV - METODOLOGIA DOS TRABALHOS EXECUTADOS

IV.1 - Planejamento do Processamento

A área aerolevantada possui as seguintes características (Volume I) :

- a) Foram utilizadas duas (2) aeronaves Islander, de prefixos PT-KAB e PT-KAC, as quais voaram os blocos B e D (PT-KAB) e os blocos A e C (PT-KAC), sendo que todas as linhas de controle foram levantadas pela aeronave PT-KAB..
- b) A cidade de Boa Vista foi a base de operações para todo o projeto e, conseqüentemente, a referida cidade serviu de estação-base para o Registro das Variações Magnéticas Diurnas.
- c) A área do projeto abrange dois meridianos centrais, o de 57° WGr. e o de 63° WGr. e, devido a este fato, a PROSPEC S/A entregou à CPRM dois (2) arquivos contendo os dados do projeto : um referente à área relacionada ao meridiano central 57° WGr. e outro contendo a área pertencente ao meridiano central 63° WGr.
- d) Os registros (fiduciais) dos perfis gravados digitalmente tiveram suas coordenadas UTM previamente digitalizadas pela PROSPEC S/A com referência aos respectivos meridianos centrais supra mencionados.

Devido aos fatos acima citados, e para fins de processamento, foi montada a seguinte estratégia:

- a) Foram gerados dois (2) arquivos independentes, um com relação à aeronave PT-KAB e o outro com relação à PT-KAC, visando proceder às correções gamaespectrométricas com relação a cada aeronave, independentemente de os perfis ou trechos de perfis pertencerem a zonas UTM distintas.

- b) Após as correções gamaespectrométricas realizadas em relação a cada aeronave, os dois arquivos (PT-KAB e PT-KAC) foram concatenados e classificados os perfis em ordem crescente. Para efeito da plotagem das curvas de contorno geofísicas de magnetometria e radiometria, a área abrangida pelo meridiano central 57° WGr. (furo 21) foi digitalizada com referência ao meridiano central 63° WGr. (furo 20), pelo fato de os perfis e trechos de perfis relativos aquele meridiano central (57° WGr.) serem em pequeno número e de não advir nenhum problema de caráter cartográfico, visto ser o avanço dos perfis naquela zona UTM de cerca de 15 minutos de grau.
- c) Após a etapa da plotagem das curvas de contorno geofísicas, os dados finais corrigidos foram separados em arquivos digitais independentes, conforme o recebimento inicial pela PROSPEC S/A, isto é, com perfis situados respectivamente com relação aos meridianos centrais 57° WGr. e 63° WGr. para fins de arquivamento final do projeto na CPRM.

IV.2 - Pré-Processamento e Processamento dos Dados

Para se obter os resultados finais correspondentes ao tratamento geofísico dos dados digitais de magnetometria e gamaespectrometria tres (3) etapas básicas podem ser consideradas :

I) Pré-Processamento dos Dados Digitais

I.1 - Reformatação

I.2 - Preparação para o Posicionamento dos Índices dos Perfis e Códigos de Cruzamento.

II)- Processamento dos Dados Digitais

II.1 - Crítica dos Dados

II.2 - Correção dos Dados Criticados

II.3 - Tratamento dos Dados

III)- Mecanografia

III.1 - Geração dos Mapas de Contorno em "plotter"

III.2 - Montagem Fotográfica dos Mapas Finais.

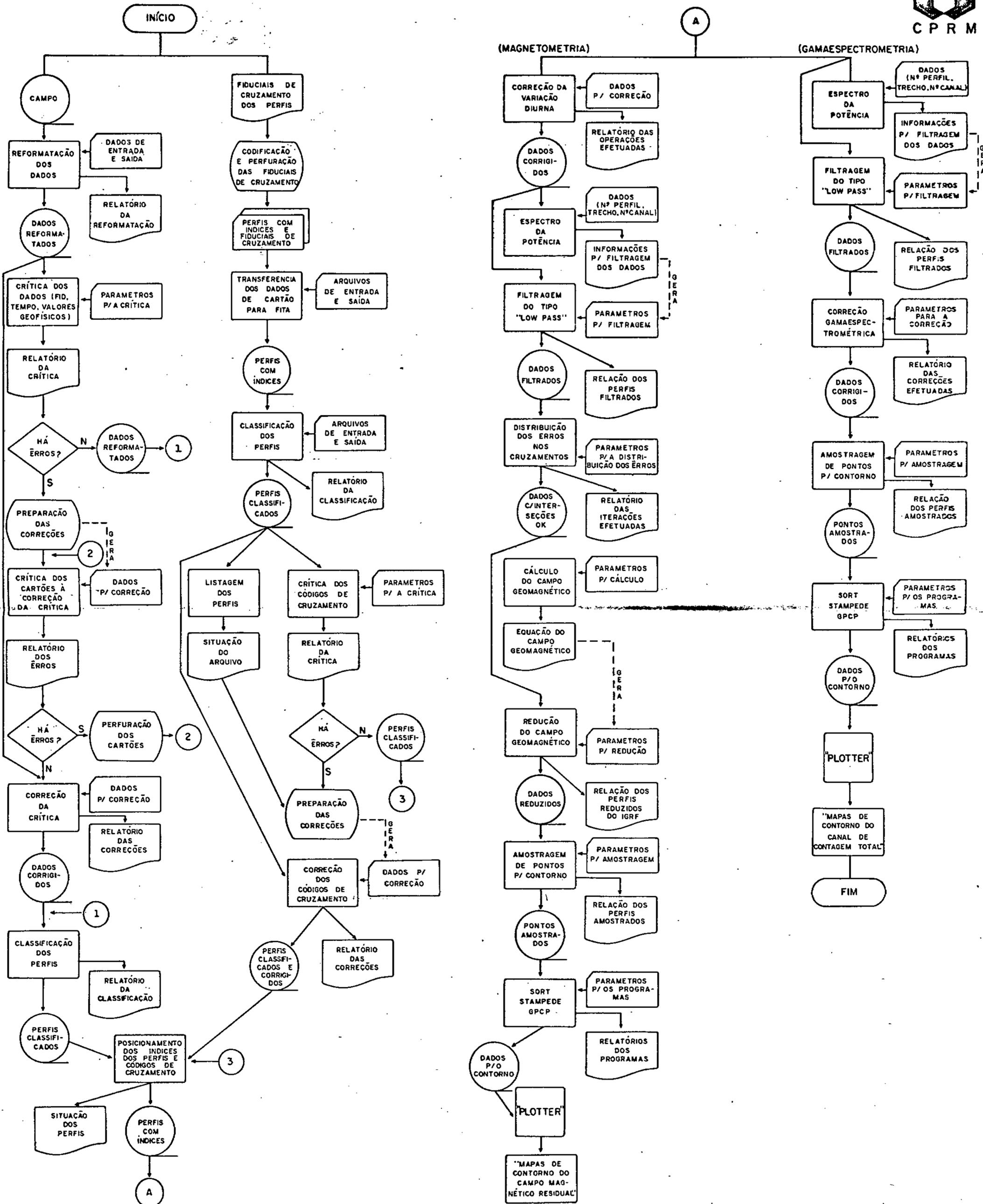
Partindo-se da premissa de que, para um melhor acompanhamento descritivo de todas as etapas acima mencionadas, é necessária uma visualização abrangente do Sistema de Aerogeofísica, apresentamos, através da Figura 1, o "Fluxograma Geral do Processamento de Dados", a partir do qual será calcado o texto a seguir :

A Etapa (I) (Pré-Processamento dos Dados Digitais) compreende as fases de "Reformatação" e "Preparação para o Posicionamento dos Índices dos Perfis e dos Códigos de Cruzamento".

A Reformatação (I.1) é o programa que recebe como entrada os dados de campo fornecidos pela empreiteira do aerolevante e cujo processamento objetiva dispor os referidos dados de acordo com "lay-out" do Sistema de Aerogeofísica da CPRM. O programa transforma o tempo inicialmente informado em horas, minutos e segundos para segundo e a altura, dada em pés, para metros. A saída é constituída de um relatório (da reformatação) e uma fita com os dados reformatados prontos para entrar na fase de crítica (II.1).

A fase da "Preparação para o Posicionamento dos Índices dos Perfis e dos Códigos de Cruzamento" (I.2) visa compor o arquivo que já contém as coordenadas UTM das fiduciais, através do programa "Posicionamento dos Índices dos Perfis e dos Códigos

FLUXOGRAMA GERAL DO PROCESSAMENTO DE DADOS AEROGEOFÍSICOS (MAGNETOMETRIA E GAMAESPECTROMETRIA)





gos de Cruzamento", com as informações de índices de perfis e códigos de cruzamento (identificado e calculado), parâmetros que serão utilizados quando da passagem do programa "Distribuição dos Erros Magnéticos nos Cruzamentos" (Fase II-3 - Tratamento dos Dados). Para tanto, inicialmente, a partir de uma listagem de computador, fornecida pela PROSPEC S/A, a qual contém todas as fiduciais de cruzamento das linhas de vôo e de controle e dos respectivos códigos de cruzamento (2 = identificado e 3 = calculado), essas informações são transcritas, juntamente com o índice de cada perfil, para a folha de Codificação, de acordo com "lay-out" padronizado, visando posterior perfuração em cartões. Estes cartões são submetidos, em seguida, a um programa auxiliar que objetiva listá-los de modo a possibilitar a conferência da perfuração com a Folha de Codificação. Uma vez feitas todas as correções, se houver, os dados em cartões são transferidos para fita magnética através do programa "Transferência dos Dados de Cartão para Fita", fita esta que será a entrada para o programa "Classificação dos Perfis", o qual tem como saídas um relatório e uma fita magnética com os perfis classificados e seus respectivos registros de cruzamento.

Dando continuidade ao processamento, a fita contendo os perfis classificados será a entrada para os programas "Crítica dos Códigos de Cruzamento" e "Listagem dos Perfis", os quais, respectivamente, terão como saídas o "Relatório da Crítica" e o relatório "Situação do Arquivo". Se houver erros apontados no "Relatório da Crítica" inicia-se a "Preparação das Correções", atividade "off-line" que utiliza o relatório "Situação do Arquivo" como veículo informativo da disposição de todos os dados dos perfis gravados em fita, ocasionando a geração de cartões de dados para correção que, juntamente com a fita contendo os perfis classificados, serão a entrada para o programa "Correção

dos Códigos de Cruzamento", o qual tem como saídas uma fita contendo os perfis classificados e corrigidos e o relatório das correções. Se o "Relatório da Crítica" não apresentar erros, a fita contendo os perfis classificados será uma das entradas para o programa "Posicionamento dos Índices dos Perfis e Códigos de Cruzamento", conforme pode-se ver através do referido fluxograma. Neste ponto, a fase I.2 é concluída, tendo-se finalmente uma fita contendo todas as fiduciais dos perfis classificados e corrigidos, com seus respectivos índices, bem como a presença de todas as fiduciais de cruzamento com seus códigos de cruzamento, no caso 2 (identificado) ou 3 (calculado).

A Etapa II (Processamento dos Dados Digitais) refere-se às três (3) fases denominadas de "Crítica dos Dados", de "Correção dos Dados Criticados" e "Tratamento dos Dados".

A primeira fase desta etapa (II.1) inicia-se com o programa "Crítica dos Dados" sobre a fita reformatada, o qual fornecerá uma listagem indicando os erros dos parâmetros fiducial, tempo e valores geofísicos quando estes se situam fora das constantes especificadas no cartão-mestre. Os valores geofísicos foram criticados segundo a técnica da segunda diferença e as constantes utilizadas foram as seguintes:

- a) Para magnetometria = 40
- b) Para o tório = 50
- c) Para o urânio = 50
- d) Para o potássio = 100
- e) Para a contagem total = 250

A constante utilizada para a crítica de fiducial e tempo foi 1, visto ser a diferença entre um valor desses parâmetros e o seu antecedente igual àquela constante, uma vez que a cada segundo é gravada uma fiducial.

Os erros de crítica apontados na listagem, no que se refere aos valores geofísicos, devem ser analisados com reserva visto serem os mesmos calculados em função das constantes adotadas. Se os valores geofísicos indicados na listagem como erro forem iguais aos valores existentes nos registros analógicos, consideram-se os mesmos como corretos. Em caso contrário há necessidade da preparação das correções que, no caso, consiste do preenchimento das folhas de codificação para a perfuração dos cartões, cartões estes que serão a entrada para o programa "Crítica dos Cartões à Correção da Crítica", o qual fornece uma listagem com o espelho dos cartões. Se houver erros de dados o programa imprimirá asteriscos na listagem de saída.

A segunda fase (Correção dos Dados Criticados) consiste na submissão do programa "Correção da Crítica" sobre a fita reformata, cuja entrada serão os cartões com as correções desejadas e a saída uma fita magnética com os dados corrigidos e um relatório das correções efetuadas.

Posteriormente, a fita anterior (dados corrigidos) é submetida ao programa "Classificação dos Perfis", cuja saída é uma fita com os perfis classificados, fita esta que, juntamente com a fita obtida na fase I.2 (perfis classificados e corrigidos contendo seus respectivos índices e fiduciais de cruzamento com seus códigos de cruzamento) serão a entrada para o programa "Posicionamento dos Índices dos Perfis e Códigos de Cruzamento", cujas saídas são um relatório da situação dos perfis e uma fita com a alocação de todos os índices dos perfis bem como de todas as fiduciais de cruzamento com os seus respectivos códigos de cruzamento, a qual está preparada para ser submetida ao processo de "Tratamento dos Dados" (3ª fase), o qual consiste na passagem de diversos programas que visam à correção geofísica dos dados.



CPRM

Com relação à terceira fase desta etapa (II.3), a qual denominamos "Tratamento dos Dados", a mesma foi dividida em duas (2) partes, conforme pode ser visto através do "Fluxograma Geral do Processamento de Dados" da Figura 1: os programas de tratamento geofísico dos métodos magnético e gamaespectrométrico.

Em primeiro lugar procuraremos descrever sucintamente os programas utilizados para o tratamento dos dados de magnetometria os quais, em ordem, são :

1) Correção da Variação Diurna

Segundo o próprio nome indica, este programa visa corrigir os dados de campo, gravados digitalmente, da influência da variação magnética diurna. Para tal, a partir dos registros analógicos da estação-base, são anotados nos mesmos os tempos (em horas, minutos e segundos) e os valores magnéticos nos pontos de inflexão nos trechos compreendidos entre os tempos inicial e final dos perfis de produção (linhas de vôo e de controle), informações estas que são transferidas para a Folha de Codificação para posterior perfuração em cartões. Estes cartões, juntamente com a fita magnética contendo os perfis com seus respectivos índices (obtida na fase I.2) constituem as entradas do referido programa. As saídas são uma fita magnética com os dados magnetométricos corrigidos da variação diurna e o relatório das operações efetuadas.

2) Espectro da Potência

Ao se analisar os dados oriundos de aerolevantamentos geofísicos é necessário se distinguir o que é "sinal", isto é, a informação devida à geologia local, do "ruído", uma componente alheia que se sobrepõe ao "sinal" e que é caracterizada pela presença aleatória de valores de alta frequência e pequena amplitude, parâmetros que mascaram o padrão dos dados do perfil.



CPRM

No que concerne à magnetometria, o "ruído" é devido a anomalias superficiais, ao próprio equipamento, à presença de tempestades magnéticas e à variação diurna do campo geomagnético.

O presente programa tem por finalidade determinar quais as frequências que contribuem para a formação do "ruído" a fim de que as mesmas sejam eliminadas através do programa de filtragem tipo "low-pass". Para tal, inicialmente, através dos registros analógicos, são escolhidos trechos de perfis magnéticos, totalizando 200 pontos consecutivos cada, localizados em zona de litologia homogênea, de maneira que, no referido trecho, esteja representado principalmente o "ruído".

Após a determinação dos trechos representativos dos perfis, as informações são perfuradas no cartão-mestre de entrada do referido programa (nº do perfil, nº do canal e fiduciais inicial e final do trecho) o qual, juntamente com a fita de entrada (após a correção da variação diurna), gera a listagem com o gráfico do espectro da potência, gráfico este que possibilita a determinação da frequência de corte (f_c), a qual será informada no programa seguinte (Filtragem do tipo "low-pass"), se for o caso.

A determinação da frequência de corte (f_c) também depende de uma regra de processamento de dados aerogeofísicos, a qual especifica que, para a melhor representação dos dados obtidos, a amostragem de pontos para a confecção da malha para contorno deve ser efetuada a um intervalo em torno do equivalente à metade do espaçamento das linhas de vôo. No caso do presente projeto a distância entre as linhas de vôo foi de 2000 m e o "grid" utilizado foi de 1000 m.

Com base nesta assertiva, podemos considerar que a frequência de corte (f_c) para a filtragem do tipo "low-pass" dos dados ,

antes do contorno, pode ser a frequência correspondente a um espaço (comprimento de onda λ) igual a duas (2) vezes o intervalo de amostragem utilizado, ou seja, para o "grid" = 1000 m tem-se o comprimento de onda (λ) = 2000 m. No caso do projeto o espaçamento entre as fiduciais foi de 60 m.

Como $\lambda = \text{espaçamento entre fiduciais/frequência}$, obtém-se 0.03 ciclos/unidades de amostragem.

Analisando-se o gráfico da listagem do programa verificou-se que não apareceram picos de alta frequência, característica de "ruído", fato que justificou a não submissão dos dados magnetométricos à filtragem.

3) Filtragem do tipo "low-pass"

Conforme citado no último parágrafo do item anterior, não houve necessidade de se submeter os dados magnetométricos à filtragem, porém este programa foi aqui mencionado apenas para manter a ordem da sequência do "Fluxograma Geral", anteriormente mencionado.

4) Distribuição dos Erros nos Cruzamentos

O programa inicialmente dispõe os dados magnéticos sob a forma de uma matriz a fim de calcular todos os erros existentes nas interseções entre as linhas de vôo e de controle, erros esses devidos principalmente ao posicionamento destas interseções que são, em geral, inferidas, e pelas diferenças altimétricas existentes nas linhas de vôo e de controle em relação ao mesmo ponto.

Por intermédio de um processo iterativo, através do uso de parâmetros obtidos no ajuste de retas pelo método dos mínimos quadrados, estes erros são minimizados, obtendo-se diferenças cada vez menores que visam otimizar o nivelamento entre os perfis,

o que, em última instância, propicia a geração de uma superfície magnética que apresenta a melhor regularidade possível em função dos dados do projeto. No nosso caso foram feitas 10 iterações.

As entradas do programa são a fita magnética contendo os dados após a correção da variação diurna (visto não ter havido necessidade de efetuar a filtragem) e o cartão-mestre com o número de iterações (10 no caso). As saídas do programa são a fita magnética com a distribuição dos erros nas interseções e uma listagem (relatório das iterações efetuadas).

5) Cálculo do Campo Geomagnético

Este programa calcula os valores dos coeficientes da equação do campo geomagnético, que é definido por uma superfície do 2º grau da forma $Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F$, a partir das informações das coordenadas UTM dos vértices das quadrículas do projeto, na escala 1:100.000, das coordenadas UTM de um ponto o mais central da área, bem como da fração do ano do aerolevanteamento e da altitude, esta última obtida considerando-se o somatório das médias das altitudes da área e da altura do aerolevanteamento.

Os coeficientes da referida equação serão utilizados pelo próximo programa (Redução do Campo Geomagnético), o qual reduzirá, de acordo com a posição geográfica de cada registro, os valores magnéticos gravados durante o aerolevanteamento do valor do campo geomagnético que passa naquele lugar, obtendo-se, portanto, valores residuais ou anômalos.

Abaixo discriminam-se os valores fornecidos ao programa (5.1 a 5.3) e os calculados pelo programa (5.4) :

5.1) Coordenadas UTM de um ponto o mais central da área do projeto correspondente a $02^{\circ}15'00''$ latitude norte e $60^{\circ}45'00''$ longitude oeste de Gr: Este: 750251 m, Norte: 248890 m.

5.2) Fração do ano do aerolevanteamento: 1978.1

5.3) Altitude utilizada para cálculo : 900 m

5.4) Coeficientes da equação do campo geomagnético da forma

$$Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F :$$

$$A= 0,521724 \quad E-09$$

$$B= -0,148252 \quad E-09$$

$$C= -0,428813 \quad E-09$$

$$D= 0,475322 \quad E-02$$

$$E= -0,122518 \quad E-02$$

$$F= 31678,8$$

Desta maneira, o programa tem como entrada um cartão-mestre contendo as informações acima referidas e os cartões-detalhes com as coordenadas UTM dos vértices das quadrículas do Projeto e tem como saída a listagem contendo os valores dos coeficientes A, B, C, D, E e F da equação do 2º grau.

6) Redução do Campo Geomagnético

Conforme dito anteriormente, este programa efetua a redução do campo geomagnético (IGRF) dos valores registrados durante o aerolevanteamento. O mesmo tem como entradas a fita magnética contendo os dados após a distribuição dos erros nas interseções e o cartão-mestre com os valores dos coeficientes A, B, C, D, E e F, calculado pelo programa anterior, bem como a fração do ano do aerolevanteamento e a altitude considerada.

As saídas são a fita magnética contendo os valores magnéticos residuais e a listagem contendo a relação dos perfis reduzidos do IGRF.

7) Amostragem de Pontos para Contorno

Devido à existência de limitação da capacidade física da memória dos computadores, não é possível utilizar todas as infor

mações (registros) medidas para a geração dos mapas de contorno. Além do mais há necessidade de se dispor os dados segundo u'a malha (grid) regular, no nosso caso quadrada, para a confecção do contorno automático por computador, o que implica na aplicação de u'a amostragem dos pontos em função dos requisitos acima.

Há uma regra prática para o dimensionamento da malha para contorno, a qual estabelece que as dimensões da mesma devem corresponder à metade ($1/2$) ou um quarto ($1/4$) do espaçamento entre as linhas de vôo. No nosso caso escolheu-se u'a malha quadrada de 1 km visto as linhas de vôo estarem espaçadas de 2 km.

As linhas de vôo e de controle foram amostradas de 10 pontos, correspondendo a uma distância de cerca de 600 metros de intervalo.

Dessa maneira o programa tem como entradas a fita magnética contendo os dados magnetométricos residuais e o cartão-mestre com a informação do intervalo de amostragem, tendo como saídas a fita magnética contendo os dados amostrados prontos para os programas SORT, STAMPEDE e GPCP, os quais visam a confecção dos mapas de contorno, e uma listagem fornecendo os pontos amostrados dos perfis, segundo o intervalo informado.

8) SORT, STAMPEDE e GPCP (Contorno dos Dados)

8.1) SORT

Este é o primeiro programa relativo ao contorno dos dados geofísicos. Sua particularidade é a de, a partir das informações das coordenadas UTM de uma área que se deseja contornar e do número do canal desejado, classificar em ordem crescente a numeração dos perfis pertencentes à referida área, gerando como saída uma fita com estas informações, as quais serão utilizadas pelo próximo programa (STAMPEDE).



CPRM

Desta forma, o programa tem como entradas a fita contendo os dados amostrados (saída do programa anterior) e o cartão-mestre que informa as coordenadas UTM da área a ser contornada e o número do canal, no caso o de magnetometria. As saídas são a fita magnética contendo os valores magnetométricos dos perfis ordenados relativos à área a ser plotada e uma listagem contendo a relação dos valores magnetométricos dos perfis, bem como os valores mínimo e máximo existentes na referida área.

8.2) STAMPEDE (Surface Techniques, Annotation and Mapping Programs for Exploration, Development and Engineering).

Este segundo programa para o contorno recebe como entradas a fita de saída do programa anterior (SORT) e o cartão - mestre especificando o intervalo da malha quadrada, no caso de 1000 m , e as coordenadas UTM dos vértices da área a ser contornada.

O programa utiliza os dados ordenados pelo programa anterior e calcula os valores magnetométricos correspondentes aos vértices (nós) de u'a malha regular de dimensões estabelecidas (1000 m), ordenando-os segundo u'a matriz. O programa permite também, opcionalmente, a suavização do valor relativo a cada nó da malha, utilizando valores pertencentes aos nós circunvizinhos.

Com relação ao projeto considerou-se uma suavização utilizando os valores correspondentes a 12 nós circunvizinhos a cada nó.

O programa tem como saídas a fita magnética contendo todos os valores segundo a malha utilizada e a listagem informando as coordenadas UTM que deverão ser especificadas no próximo programa (GPCP).

8.3) GPCP (General Purpose Contouring Program).

A fita magnética contendo os valores magnetométricos em



CPRM

malha do programa anterior, juntamente com o cartão-mestre informando o intervalo de contorno de 20 em 20 nanoteslas e as curvas -mestres de 200 em 200 nanoteslas, bem como as coordenadas UTM da área a ser plotada, constituem as entradas para este programa que, basicamente, a partir dos "grids" existentes, cria sub-"grids", aumentando, dessa forma, o número de informações dentro da malha original, fato que objetiva otimizar a precisão do contorno dos valores magnetométricos.

As saídas deste terceiro programa de contorno são a fita magnética após a criação de "sub-grids", a qual está pronta para o "plotter", e a listagem informando o número de "blocos" para a confecção dos mapas de contorno.

O "plotter" recebe a fita gerada pelo programa anterior e plota os "Mapas de Contorno do Campo Magnético Residual".

Em prosseguimento ao tratamento geofísico, veremos, em segundo lugar, os programas envolvidos para a correção dos dados gamaespectrométricos, os quais serão sucintamente em seguida descritos, conforme o "Fluxograma Geral" da Fig.1.

1) Espectro da Potência

As considerações sobre este programa foram, em parte, discorridas quando do tratamento dos dados magnetométricos.

Com relação à gamaespectrometria, a principal fonte causadora do "ruído" é a flutuação estatística dos dados registrados pelos equipamentos utilizados no sensoreamento. Outras importantes fontes de "ruído" são a imperfeição das correções digital, as quais simplificam extraordinariamente as complexas interações das partículas radioativas no solo, na atmosfera e nos detectores, assim como as variações mineralógicas e de intemperismo ocorrentes em uma mesma litologia.

A partir dos registros analógicos foram selecionados trechos de perfis com intervalos de 200 fiduciais nos quais o "ruído" poderia estar representado, correspondentes aos canais de tório, urânio, potássio, contagem total, incluindo também a altura, sendo estes dados informados no cartão-mestre do programa (nº do perfil, nº dos canais, fiduciais inicial e final do trecho), o qual, juntamente com a fita magnética de saída do programa "Posicionamento dos índices dos perfis e códigos de cruzamento", constituem as entradas para o presente programa. A saída do programa é uma listagem com os gráficos do espectro da potência para cada canal mencionado.

Segundo os parâmetros utilizados para o projeto, verificou-se anteriormente que a frequência de corte (f_c) deveria ser igual ou maior do que 0,03 ciclos/unidades de amostragem. Analisando-se os gráficos do espectro da potência para os dados radiométricos e mais a altura adotou-se para frequência de corte (f_c) o valor de 0,11 ciclos/unidades de amostragem.

Para a determinação do número de coeficientes do filtro (N) para ser informado no programa seguinte (Filtragem do tipo "low-pass"), utilizou-se a seguinte fórmula, baseada no Princípio da Incerteza:

$$(FH - FL) > \frac{1}{DT \cdot N}$$

Em que:

FH = frequência mais alta, no caso 0,11 ciclos/unidades de amostragem.

FL = menor frequência. No caso da filtragem do tipo "low-pass" é igual a zero.

DT = espaçamento dos dados amostrados. No caso como são tomadas de uma em uma fiducial, DT= 1.

Então $N > \frac{1}{FH}$, logo $N > 9$

Como o número de coeficientes do filtro (N) deve ser sempre ímpar, devido a função ser simétrica, considerou-se $N=11$.

2) Filtragem do tipo "low-pass"

Após a determinação da frequência de corte (f_c) e do número de coeficientes do filtro (N), parâmetros obtidos através do programa anterior, procedeu-se ao programa "Filtragem do tipo "low-pass" (ruído).

Dessa forma as frequências superiores a 0,11 ciclos/unidade de amostragem serão eliminadas por este programa, nos canais relativos à altura, tório, urânio, potássio e contagem total.

Os 11 coeficientes do filtro, calculados pelo programa, são : 0.22000, 0.20290, 0.15634, 0.09298, 0.02929, - 0.01967, - 0.04479, - 0.04511, 0.02724, - 0.00222, 0.01871.

As saídas do programa são uma fita magnética com os dados gamaespectrométricos filtrados e uma listagem contendo a relação dos perfis filtrados.

3) Correção Gamaespectrométrica

Este programa visa submeter os dados radiométricos, após a filtragem, às seguintes correções :

- 3.1) Redução do "background" atmosférico.
- 3.2) Correção do espalhamento COMPTON nos cristais.
- 3.3) Correção altimétrica.

Abaixo descrevemos sucintamente cada sub-ítem citado acima :

3.1) Redução do "background" atmosférico

O "background" atmosférico é definido como a interação devida à radiação cósmica, a relativa à estrutura da aeronave e de seus equipamentos, bem como causas diversas.

Os valores do "background" são registrados em fita magnética antes e após cada missão de produção, a 2500 pés de altura, sob a forma de perfis-testes. Um programa auxiliar lê os valores do "background", calcula a média aritmética, os valores máximos e mínimos, além do desvio-padrão de cada canal.

O "background" final representativo, considerado para a redução dos dados, é obtido através do cálculo da média aritmética das médias dos valores do "background" anterior e posterior a cada missão. Exemplificando-se, abaixo apresentamos a fórmula adotada :

$$\text{Média Final} = \frac{\text{Média}(\text{anterior}) + \text{Média}(\text{posterior})}{2}$$

Média(anterior) = média aritmética dos valores anteriores ao registro dos perfis de produção de determinada missão.

Média(posterior) = média aritmética dos valores posteriores ao registro dos perfis de produção de determinada missão.

Os valores médios finais do "background" dos canais, obtidos da forma acima, são informados no cartão-mestre de entrada do programa "Correção Gamaespectrométrica" para a redução do "background" atmosférico.

3.2) Correção do espalhamento COMPTON nos cristais

A correção do espalhamento COMPTON nos cristais é indispensável devido à maior energia emitida pelo Tálcio 208 (Tório), cuja radiação "espalhada" irá contribuir para o aumento do nível da radiação medida nos canais de Urânio e Potássio, de menores energia, enquanto que a radiação proveniente do Bismuto 214 (Urânio) "espalhada" irá contribuir para o aumento do nível da radiação medida do canal do Potássio.

Em consequência do exposto acima, é necessária a correção nos valores registrados digitalmente nos canais de urânio e potássio, visto que no registro analógico os referidos canais já se apresentam corrigidos do efeito COMPTON, não sofrendo, no entanto, correção os canais de Tório e Contagem Total.

Esta correção na fita magnética é efetuada mediante a determinação e redução das parcelas responsáveis pelo aumento do nível da radiação dos canais de Urânio e Potássio a partir dos valores reduzidos do "background" atmosférico (correção anterior) da seguinte forma:

$$D(U)_{CORR} = D(U) - \alpha \cdot D(Th)$$

$$D(K)_{CORR} = D(K) - \beta \cdot D(Th) - \gamma \cdot D(U)_{CORR}$$

onde α é o coeficiente de correção do Urânio com relação ao Tório; β é o de correção do Potássio com relação ao Tório e γ o de correção do Potássio com relação ao Urânio (já corrigido do efeito COMPTON).

Resumindo, tem-se que:

$D(U)_{CORR}$ = Valor com a correção do efeito COMPTON(Urânio).

$D(K)_{CORR}$ = Valor com a correção do efeito COMPTON(Potássio).

$D(U)$ = Valor com correção do "background" atmosférico(Urânio).

$D(K)$ = Valor com correção do "background" atmosférico(Potássio).

$D(Th)$ = Valor com correção do "background" atmosférico(Tório).

Os coeficientes de correção do espalhamento COMPTON nos cristais (α , β e γ) dependem da largura da janela empregada, bem como do tamanho, número e espaçamento dos cristais. Os fabricantes dos equipamentos, em função do tipo montado na aeronave, fornecem gráficos-padrões para a determinação dos referidos coeficientes de correção.

Conforme pode ser visto na Fig.2, o gráfico apresenta no seu eixo horizontal valores dos coeficientes α , β e γ e no eixo vertical o volume dos cristais, em polegadas cúbicas.

Como no caso deste Projeto o volume total dos cristais é de 830,94 polegadas cúbicas, são os seguintes os valores determinados dos coeficientes de correção em função do volume dos cristais, segundo o gráfico da Fig.2: $\alpha = 0,367$; $\beta = 0,507$; $\gamma = 0,781$.

3.3) Correção altimétrica

Em virtude da impossibilidade de a aeronave manter, durante o aerolevanteamento, a mesma altura de vôo sobre o terreno, devido às diferenças altimétricas bruscas e também devido a velocidade média da aeronave (220 km/h), e como as intensidades das radiações gama emitidas pelas rochas e solos são atenuadas pela altura, há necessidade de se escolher trecho de uma linha de vôo, em local de topografia pouco acidentada e com anomalia conspícua, para a execução do teste de absorção, o qual consiste em sucessivos vôos a diferentes alturas e no mesmo sentido, objetivando o cálculo do coeficiente de atenuação atmosférica (μ) para os canais de K, U, Th e CT. O coeficiente de atenuação total é a soma dos coeficientes devido ao espalhamento COMPTON, efeito fotoelétrico e formação de pares. Para a aerogamaespectro

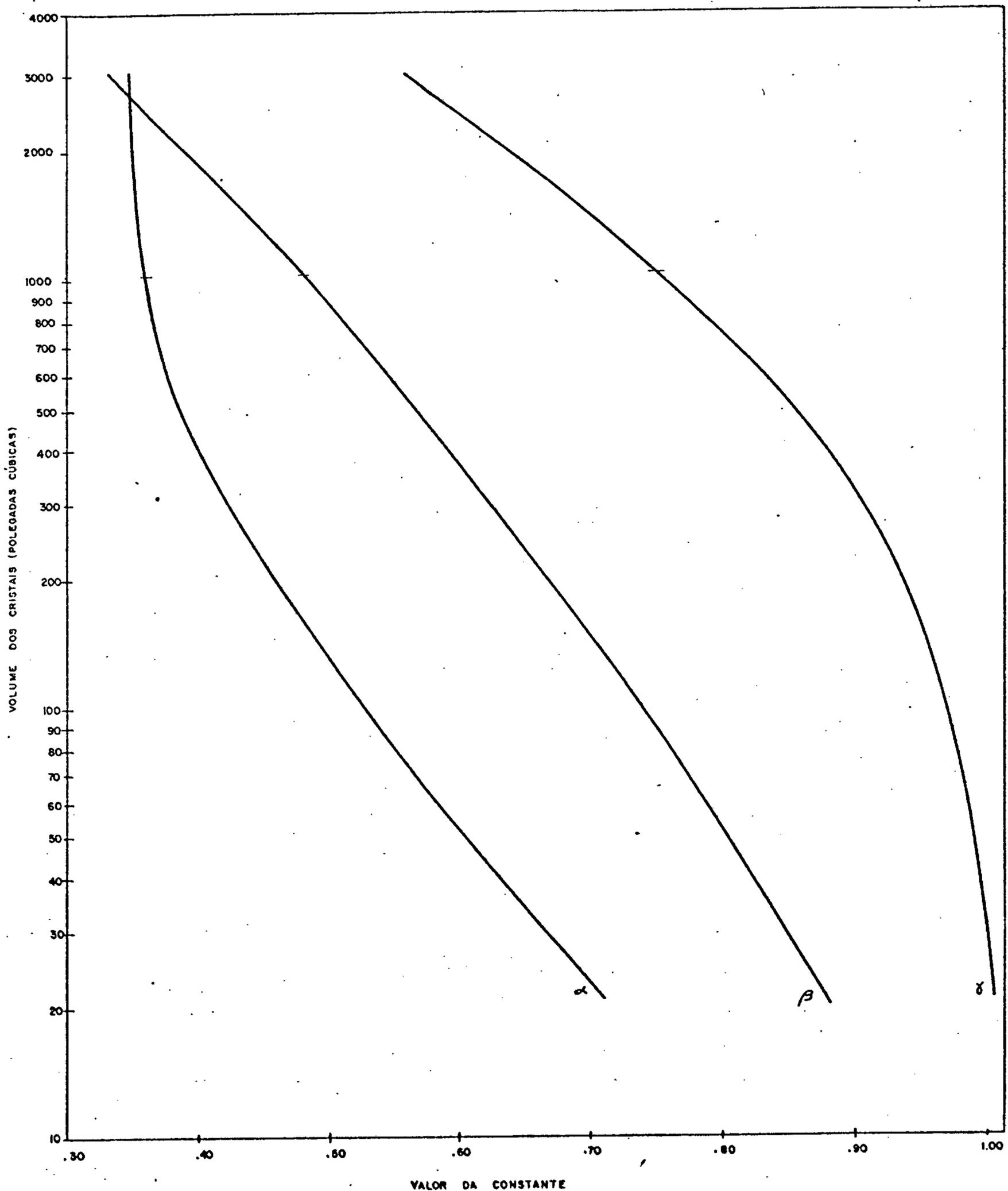


Gráfico para determinação das constantes utilizadas na correção do espalhamento Compton nos cristais (Fonte: Preliminary Technical Memo - GEOMETRICS)

Fig.2

metria considera-se apenas o espalhamento COMPTON, tendo em vista a insignificância do efeito fotoelétrico e da formação de pares (CARDOSO, 1976).

A atenuação dos níveis de radiação com o incremento da altura de vôo obedece, aproximadamente dentro da faixa de variação da altura entre 50 e 250 m, a uma função exponencial (DARNLEY, 1973) da forma :

$$N = N_0 \cdot e^{-\mu H} \quad (I)$$

onde :

N = é a radiação medida em um canal a uma altura H .

N_0 = é a radiação medida na elevação zero, isto é, em rocha ou solo aflorante.

μ = coeficiente de atenuação atmosférica do canal.

Desenvolvendo-se a equação (I), tem-se :

$$\ln (N) = -\mu H + \ln (N_0) \quad (II)$$

onde $\ln (N)$ e $\ln(N_0)$ são os valores dos logaritmos neperianos de N e N_0 , sendo esta equação (II) a equação de uma reta onde $(-\mu)$ é o coeficiente angular da reta e $\ln (N_0)$ o termo independente .

Para se achar a função matemática mais próxima dos dados medidos, determinam-se os parâmetros μ e $\ln (N_0)$ pelo método dos mínimos quadrados :

$$\mu = \frac{\sum h \cdot \sum \ln (N) - n \sum (h \cdot \ln (N))}{n \cdot \sum h^2 - (\sum h)^2}$$

$$\ln (N_0) = \frac{\sum h^2 \cdot \sum \ln (N) - \sum h \cdot \sum (h \cdot \ln (N))}{n \cdot \sum h^2 - (\sum h)^2}$$

onde n é o número de valores medidos.



CPRM

Os valores de μ obtidos, para a aeronave PT-KAB, foram :

Para o K : 0,0019440/m

Para o U : 0,0036852/m

Para o Th : 0,0056997/m

Para a CT : 0,0021070/m

Os valores de μ obtidos, para a aeronave PT-KAC, foram :

Para o K : 0,0039487/m

Para o U : 0,0021071/m

Para o Th : 0,0058527/m

Para a CT : 0,0029945/m

Por intermédio das Figuras 3 e 4 apresentamos, respectivamente, o "Gráfico Representativo da Atenuação Atmosférica" das aeronaves PT-KAB e PT-KAC.

Através dos valores do coeficiente de absorção corrigem-se os valores das radiações gama para uma mesma altura, no caso 150 m, permitindo a correlação entre os dados geológicos e geofísicos.

Desta forma, determinados os coeficientes de atenuação atmosférica dos canais, os dados medidos foram corrigidos, ponto a ponto, para uma altura - base de 150 m, através da seguinte equação :

$$D = D_0 \cdot e^{\mu(H-150)}$$

onde D_0 é o valor do ponto corrigido do espalhamento COMPTON no cristal, μ o coeficiente de atenuação atmosférica calculado para o canal; H a altura em relação ao solo, na qual foi medido o valor, e D é o valor do canal corrigido da altura.

PREFIXO DA AERONAVE - PT-KAB

AREA -

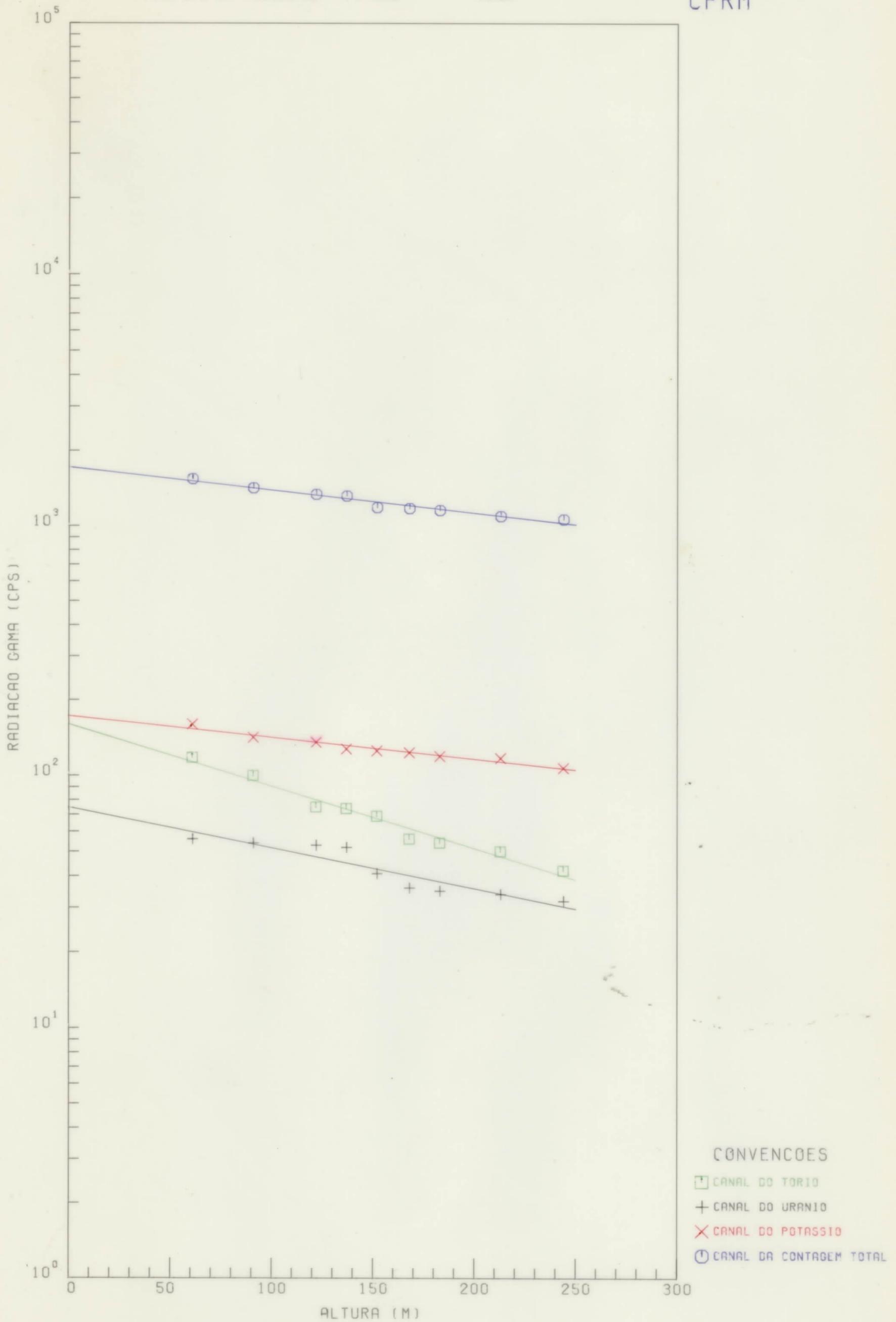


Fig. 3

PREFIXO DA AERONAVE - PT-KAC

AREA -

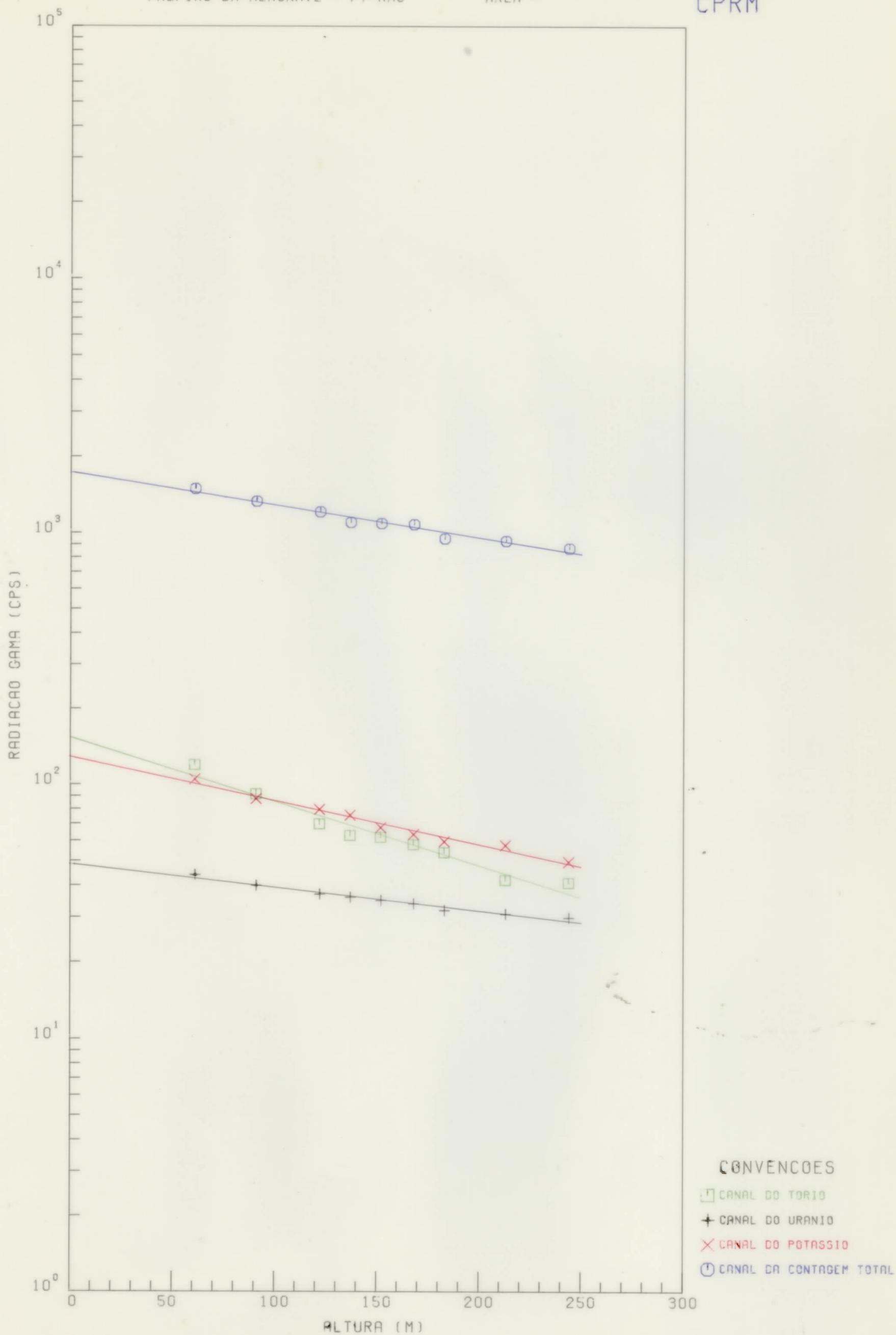


Fig. 4

O programa "Correção Gamaespectrométrica" tem como saídas a fita magnética com os dados radiométricos corrigidos e o relatório das correções efetuadas.

4) Amostragem de pontos para contorno

Da mesma forma que os dados magnetométricos foram amostrados para o contorno, foi utilizado o intervalo de amostragem de 10 pontos, correspondendo a uma distância de 600 metros.

O programa tem como entradas o cartão-mestre com o intervalo de amostragem e a fita magnética com os pontos amostrados.

5) Sort, STAMPEDE e GPCP (Contorno dos Dados)

As características gerais destes programas para o contorno foram descritas quando da referência dos dados magnetométricos. Por esta razão somente enfatizaremos que no cartão-mestre de entrada do programa SORT, além das coordenadas da área a ser plotada fornecemos o número do canal da contagem total.

O intervalo de contorno informado no programa GPCP para o referido canal é de 50 CPS, sendo que as curvas-mestras são numeradas de 250 em 250 CPS.

O "plotter" recebe a fita gerada pelo programa GPCP e plota os "Mapas de Contorno do Canal de Contagem Total".

A Etapa (III) (Mecanografia) consiste na confecção dos mapas de contorno no "plotter" e na montagem fotográfica final dos mesmos.

V - COMENTÁRIOS GERAIS

- 1) Os perfis 0144 (fiduciais entre 11651 e 13420) e 0225 (fiduciais entre 9669 e 10685) foram criados através do desmembramento, respectivamente, dos perfis 0143 e 0222 devido a trechos destes últimos perfis estarem cruzando perfis contíguos.
- 2) No decorrer do processamento dos dados, vários fatos foram constatados, os quais ocasionaram atraso no cronograma inicialmente previsto para o projeto. Dentre eles destacamos :
 - a) Incompatibilidade das informações gravadas digitalmente em relação às mesmas informações registradas analogicamente em trechos de alguns perfis no que tange à gama - espectrometria. Exemplificando, verificou-se que em determinados registros digitais, de maneira quase sistemática, há um incremento de 200 CPS em relação ao mesmo ponto no registro analógico, no canal da contagem total.

Houve falta de gravação automática no registro digital quando o operador mudou a escala no registro analógico, permanecendo na fita magnética a escala anterior à mudança pelo operador. Houve casos de erros grosseiros verificados na fita magnética em que na mesma foi gravada, em determinado ponto, valores menores em 1000 CPS em relação ao valor registrado analogicamente na mesma posição. Para exemplificar, a escala analógica do canal da contagem total variava de 0 (zero) a 2000 (dois) mil CPS. Quando o ponto, no analógico, atingia 2.100 CPS, com mudança de fundo de escala, o registro digital

registrava sistematicamente 1.100 CPS. Como estes fatos aconteciam diversas vezes, houve necessidade de se verificar ponto a ponto todos os registros dos perfis, anotar todas as incompatibilidades de escala, listar determinados trechos que não apareciam na crítica (em virtude das constantes utilizadas no programa de crítica) para, depois, através de um programa auxiliar de computador, nivelar todos os trechos gravados erroneamente nos registros digitais, principalmente nos canais de contagem total e do potássio.

- b) Quanto aos dados magnéticos, os fatos citados acima não ocorreram. No entanto, grandes quantidades de "spikes" gravados analógica e digitalmente tiveram que ser corrigidos, havendo locais em que a forma da anomalia era caracterizada por uma sequência de "spikes" ascendentes e descendentes, fato que implicou no atraso previsto para a etapa da correção.
- 3) Após o contorno preliminar dos dados magnéticos verificou-se que, devido ao gradiente médio da área do projeto, o intervalo de contorno mais aplicável seria de 20 em 20 nanoteslas, imprimindo valores de 100 em 100 nanoteslas, sendo as curvas-mestras impressas de 200 em 200 nanoteslas. Após consulta ao DNPM sobre o intervalo de contorno de 20 em 20 nanoteslas, já que o intervalo convencional é de 10 em 10 nanoteslas, aquele Departamento autorizou a mudança devido à justificativa apresentada.
- 4) Os arquivos digitais finais do projeto constam dos seguintes registros :

- a) Registro "header" de arquivo
- b) Registro mestre de perfil
- c) Registro de detalhe
- d) Registro de fim de perfil ("flag")

Considerando que o presente projeto procurou guardar as informações de magnetometria, nas diversas etapas do tratamento geofísico, em canais específicos, abaixo informaremos o conteúdo contido nos diversos campos do registro de detalhe.

<u>CAMPO</u>	<u>CONTEÚDO</u>
1 =	Número do perfil
2 =	Tempo (segundo)
3 =	Meridiano central
4 =	Coordenada UTM norte (x)
5 =	Coordenada UTM leste (y)
6 =	Número da fiducial
7 =	Código do cruzamento
8 =	Índice 1 do perfil
9 =	Índice 2 do perfil
10 =	Número de canais (16 no caso)
11 =	Altura elétrica (após filtragem)
12 =	Altura barométrica (zerado no caso)
13 =	Canal 1 - Magnetometria bruta
14 =	Canal 2 - Tório filtrado
15 =	Canal 3 - Urânio filtrado
16 =	Canal 4 - Potássio filtrado
17 =	Canal 5 - Contagem Total filtrado
18 =	Canal 6 - Tório corrigido
19 =	Canal 7 - Urânio corrigido
20 =	Canal 8 - Potássio corrigido

21 =	Canal 9 - Contagem Total corrigido
22 =	Canal 10- Razão U/Th corrigida
23 =	Canal 11- Razão U/K corrigida
24 =	Canal 12- Razão Th/K corrigida
25 =	Canal 13- Altura corrigida
26 =	Canal 14- Magnetometria (após corr.vari ação diurna).
27 =	Canal 15- Magnetometria (após distribui ção dos erros nos cruzamen tos).
28 =	Canal 16- Magnetometria (após redução do IGRF).

VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Salvo alguns contratempos, em linhas gerais poder-se-ia dizer que o projeto transcorreu conforme o cronograma, o qual previa a entrega do Relatório Final em novembro/84. As principais dificuldades encontradas referem-se aos fatos mencionados em 2 no ítem V deste relatório (Comentários Gerais).

Gostaríamos de frizar, nesta oportunidade, que, embora tenhamos descrito sucintamente as diversas etapas do "Sistema de Processamento de Dados Aerogeofísicos", o mesmo, por sua natureza intrínseca, visto se referir a dois métodos geofísicos, requer alguns detalhamentos pelo fato de ter sido elaborado pe la própria CPRM e de não ter sido, até o momento, documentado a ponto de servir de referência bibliográfica.

É importante enfatizar-se que os resultados aerogeofísicos finais obtidos, particularmente os magnetométricos, irão propiciar, através da etapa de interpretação e integração geológica-geofísica, a delimitação de diversas anomalias localizadas,

bem como favorecer o estudo das grandes feições estruturais assinaladas nos mapas geológicos, particularmente o "graben" de Tacutu, ocorrente nas folhas NA-20-X-B, NA-20-X-D e NA-21-V-A .

Finalizando, esperamos que estes produtos finais venham realmente contribuir para o melhor conhecimento da geologia de área tão extensa e potencialmente digna de estudos mais detalhados.

VII - BIBLIOGRAFIAS

- CARDOSO, C.E.T. - Determinação dos coeficientes de absorção - Projeto Serra de Itiúba - gamaespectrometria. CPRM, Rel.Tec.Int.Rio de Janeiro, 1976, 12 p.
- DARNLEY, A.G. - Airborne gamma-ray survey techniques - present and future. In:International Atomic Energy Agency, ed. Uranium Exploration Methods, Proceedings of Panel. Austria, 1973, p. 67-108.
- ANJOS, I.L.S. dos et alii - Projeto Serra de Itiúba, Relatório Final, Vol.II, MME.DNPM/CPRM, 1980, 19 p.