

DIRETORIA DA ÁREA DE PESQUISAS
SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO BORDA LESTE DA BACIA DO MARANHÃO

SUPERVISÃO :

DEPARTAMENTO DE PROSPECÇÃO

José Vargas da Silva Filho

DIVISÃO DE GEOFÍSICA


Mário José Metelo

EQUIPE DO PROJETO :

Luís Marcelo F. Mourão

João Batista F. de Andrade

I-96

	SUREMI
CPRM	SEDOE
ARQUIVO TÉCNICO	
Relatório n.º	1280
N.º de Volumes:	4 v.: 2-5
Phl 009188	

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

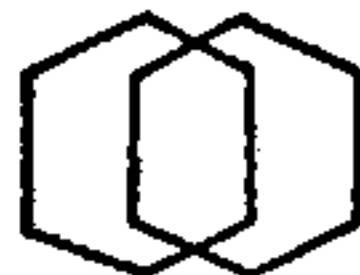
PROJETO BORDA LESTE DA BACIA DO MARANHÃO

RELATÓRIO FINAL

VOLUME II

Luís Marcelo F. Mourão

João Batista F. de Andrade



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS MINERAIS

1982

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL

PROJETO BORDA LESTE DA BACIA DO MARANHÃO

ÍNDICE DOS VOLUMES

- VOLUME I — Texto do Levantamento da Área
- VOLUME II — Texto do Processamento dos Dados
- ANEXO I — Mapas de Contorno do Campo Magnético Residual
(Escala 1:100.000 e 1:250.000)
- ANEXO II — Mapas de Contorno Radiométrico (Contagem Total)
(Escala 1:100.000 e 1:250.000)

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	1
2. LOCALIZAÇÃO	1
3. PESSOAL TÉCNICO	1
4. METODOLOGIA DOS TRABALHOS EXECUTADOS	2
5. COMENTÁRIOS FINAIS	21
6. BIBLIOGRAFIAS	22
ANEXOS	23
ANEXO 1 (FLUXOGRAMA GERAL DO PROCESSAMENTO DE DADOS)	
ANEXO 2 (GRÁFICO PARA DETERMINAÇÃO DAS CONSTANTES UTILIZADAS NA CORREÇÃO DO ESPALHAMENTO COMPTON NOS CRISTAIS)	

APRESENTAÇÃO

O presente texto constitui o Volume II do Relatório Final do Projeto Borda Leste da Bacia do Maranhão, o qual descreve os procedimentos adotados durante o processamento dos dados obtidos através do aerolevanteamento magnetométrico (campo total) e radiométrico (com discriminação de energia) da área do referido projeto, propiciando a elaboração de mapas de contorno magnético (residual) e de isoradas (contagem total).

O Volume I refere-se à fase de aquisição dos dados, executada pela ENCAL S/A CONSULTORIA E AEROLEVANTAMENTOS.

O Anexo I contém os Mapas de Contorno do Campo Magnético Residual, perfazendo o total de 10 folhas na escala 1:100.000 e 4 na escala 1:250.000.

O Anexo II contém os Mapas de Contorno de Isoradas (contagem total), totalizando 10 folhas na escala 1:100.000 e 4 na escala 1:250.000.

A área do projeto foi dividida em duas (2) sub-áreas distintas para efeito de aerolevanteamento e de processamento de dados, denominadas sub-áreas I e II, as quais estão situadas, respectivamente, a sul e a norte do paralelo 7°00'00" latitude sul, fato que ocasionou falta de continuidade das curvas de contorno nas junções das folhas das duas sub-áreas, assunto que é comentado com detalhes no item Comentários Finais.

RESUMO

Este Relatório descreve todas as etapas do processamento dos dados aeromagnetométricos (campo total) e aerogamaespectrométricos do Projeto Borda Leste da Bacia do Maranhão.

Os resultados finais são apresentados sob a forma de mapas de contorno do campo magnético residual e de isoradas (canal da contagem total) nas escalas 1:100.000 e 1:250.000, as quais serão úteis para posterior interpretação qualitativa e integração geológica-geofísica.

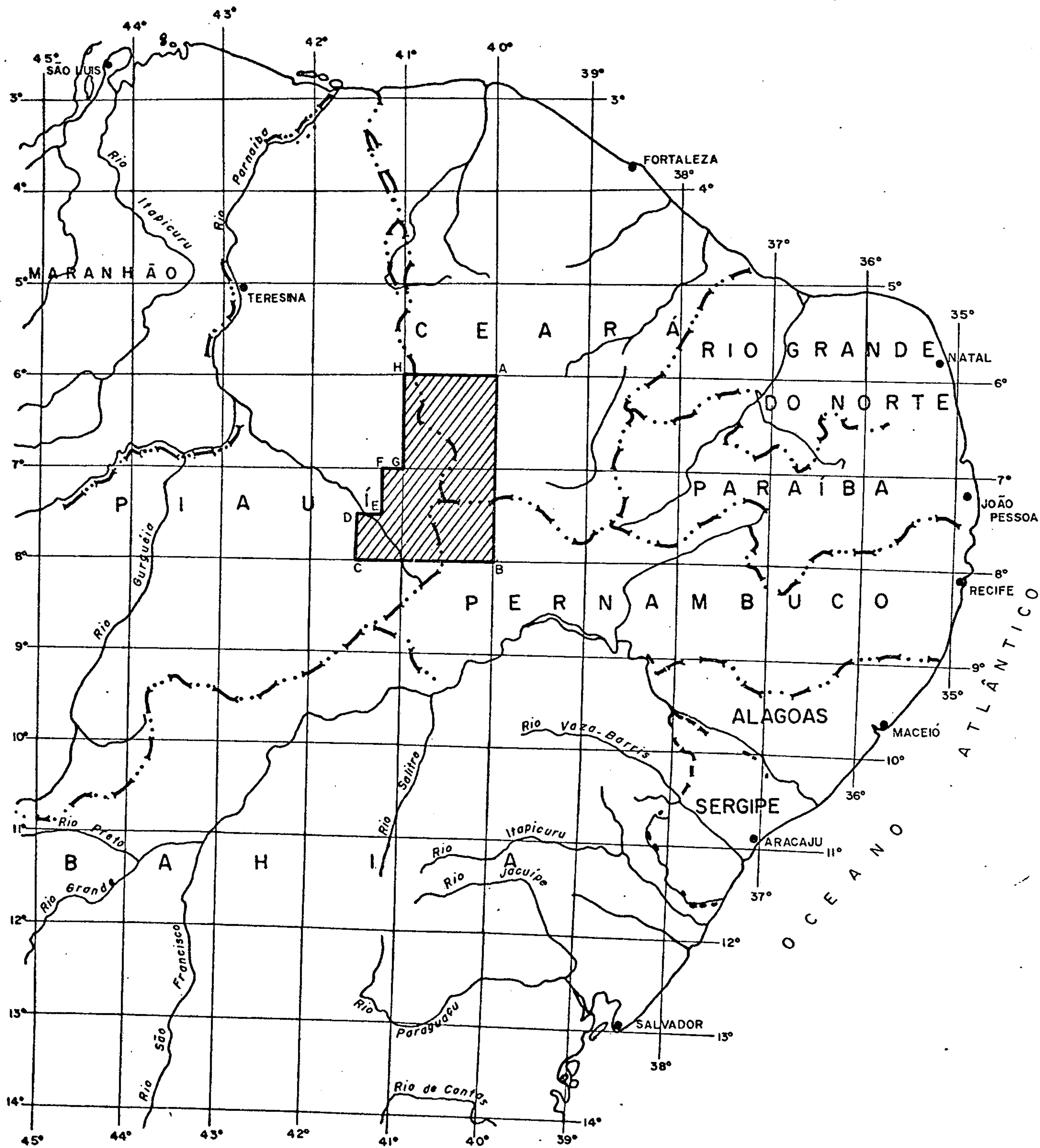
Devido à subdivisão da área do Projeto em duas sub-áreas, I e II, para efeito do aerolevanteamento e, conseqüentemente, do processamento dos dados, há falta de continuidade das curvas de contorno na junção das folhas das duas referidas sub-áreas.

ABSTRACT

This report relates all the stages of aeromagnetometric (total field) and gamma spectrometric data processing of the Borda Leste da Bacia do Maranhão Project.

The final results are presented as a form of residual magnetic field and isoradas (total count) contour maps at 1:100.000 and 1:250.000 scales, which will be useful for a subsequent qualitative interpretation and geological-geophysical integration.

Due to the existence of the two distinct subareas, named I and II, for the geophysical airborne survey and therefore for data processing, there is no contour curves continuity on the junctions of the sheets related with the two referred subareas.



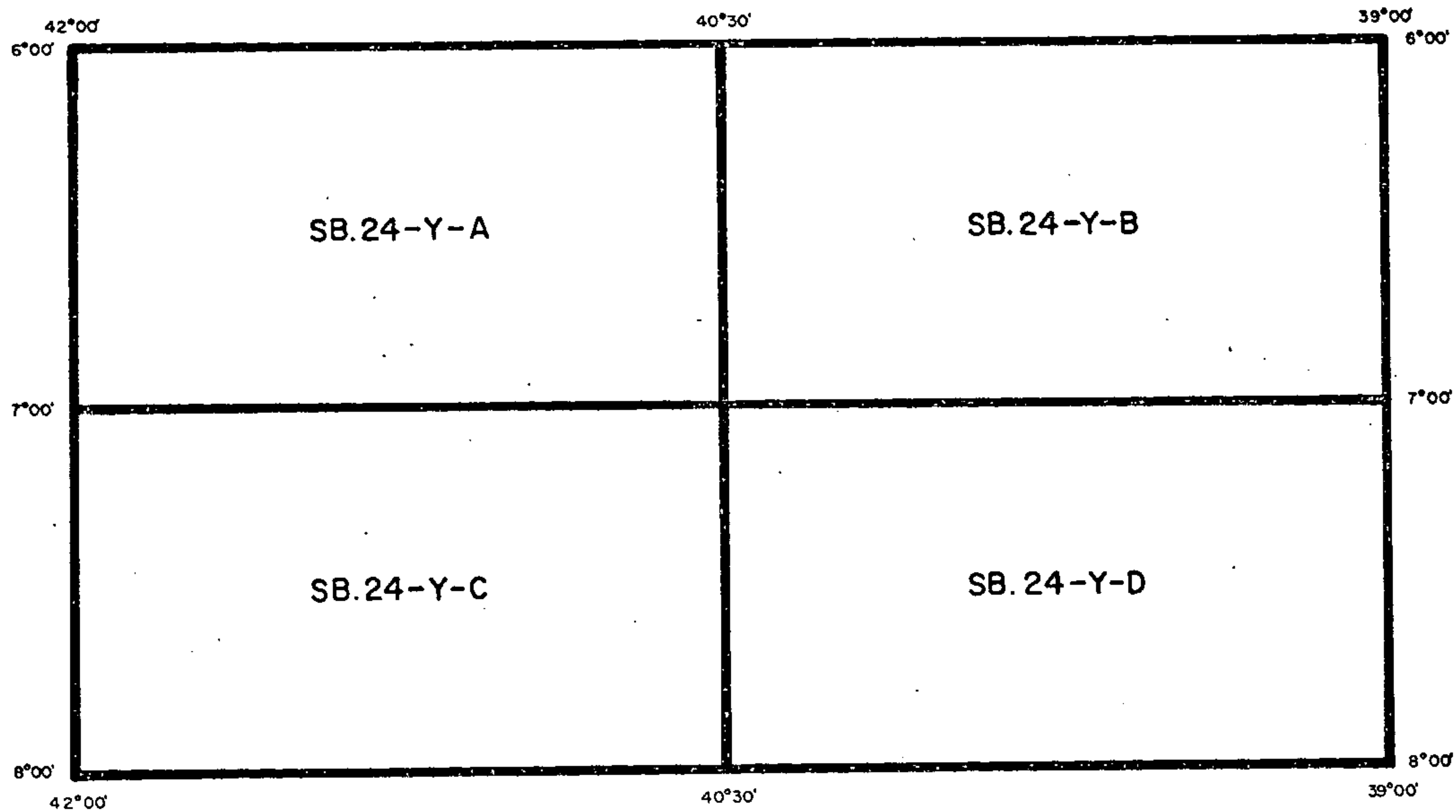
PROJETO BORDA LESTE DA BACIA DO MARANHÃO

SITUAÇÃO DA ÁREA DO PROJETO

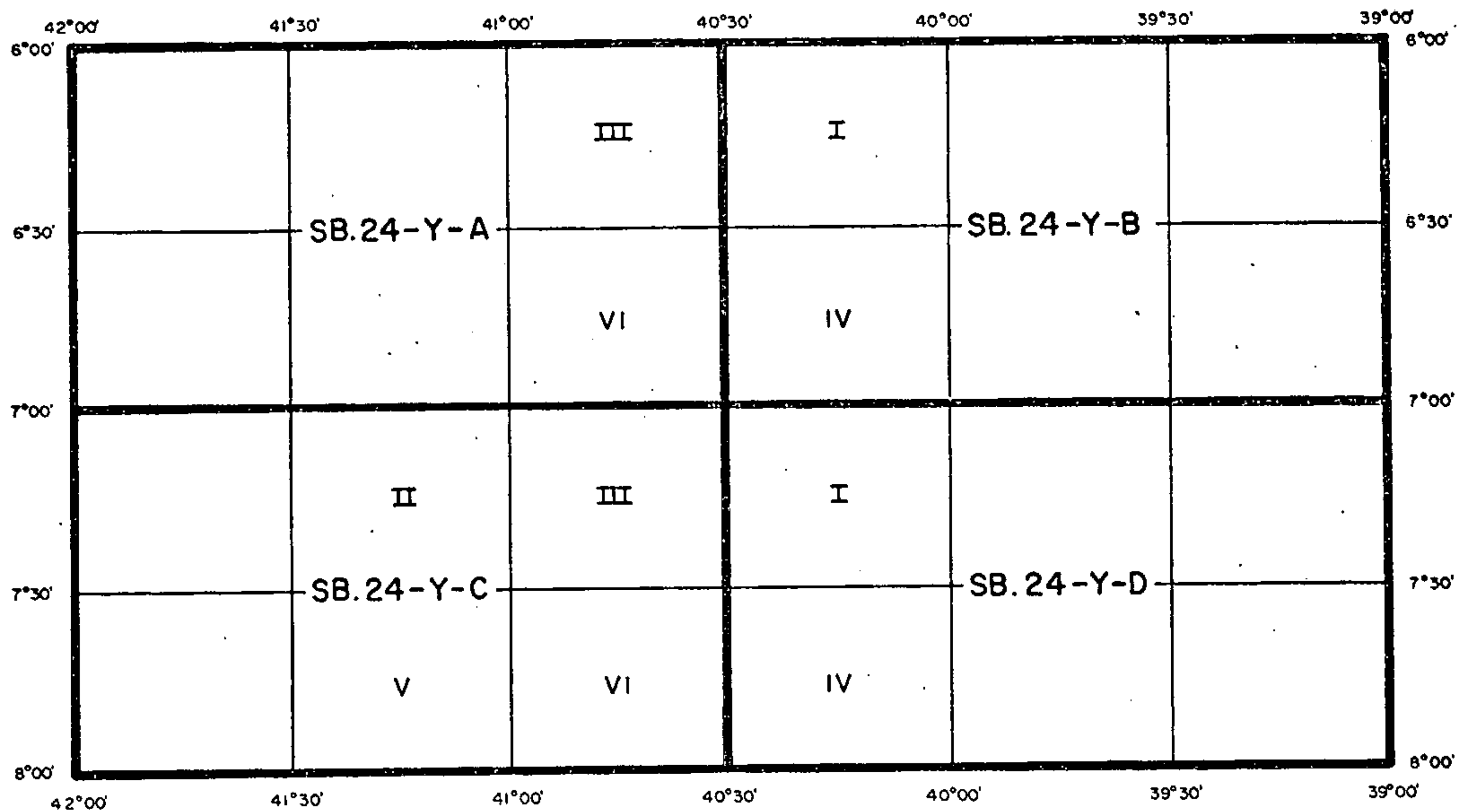
ESCALA APROXIMADA



PROJETO BORDA LESTE DA BACIA DO MARANHÃO
ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS (ESCALA:1:250000)



PROJETO BORDA LESTE DA BACIA DO MARANHÃO
ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS (ESCALA:1:100.000)





1. INTRODUÇÃO

A ENCAL S/A CONSULTORIA E AEROLEVANTAMENTOS executou a fase de aquisição de dados durante o período de 29/07 a 16/10/79 (Volume I) quando foram levantados cerca de 30.400 km lineares, utilizando os métodos magnético (campo total) e gamaespectrométrico em uma área aproximada de 29.000 km² no noroeste de Pernambuco, leste do Piauí e sudoeste do Ceará.

Os trabalhos de processamento dos dados foram iniciados em abril de 1982 pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM e concluídos em maio de 1983.

2. 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:

- A - 6°00' S/40°00' W
- B - 8°00' S/40°00' W
- C - 8°00' S/41°30' W
- D - 7°30' S/41°30' W
- E - 7°30' S/41°15' W
- F - 7°00' S/41°15' W
- G - 7°00' S/41°00' W
- H - 6°00' S/41°00' W

3. PESSOAL TÉCNICO

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



Geólogo: Luis Marcelo Fontoura Mourão
Geólogo: João Batista Freitas de Andrade
Analista de Processamento: Elenir Delboni Gusmão

O Projeto também contou com a participação dos estudantes de Geologia Luis Eduardo C. L. Pereira e Roberto Bravo M. Pinheiro, os quais estagiaram no Setor de Aerogeofísica da CPRM, contribuindo grandemente na execução dos trabalhos.

4. METODOLOGIA DOS TRABALHOS EXECUTADOS

4.1 - Planejamento do Processamento

A área aerolevantada possui características específicas que foram levadas em consideração no processamento, quais sejam:

- a) Subdivisão em duas (2) sub-áreas, uma a sul do paralelo $7^{\circ}00'00''$ latitude sul (sub-área I) e outra a norte do referido paralelo (sub-área II).
- b) Existência de uma única base de operações (Juazeiro do Norte) para todo o projeto, havendo portanto uma estação-base para o registro da variação magnética diurna para as duas sub-áreas.
- c) Utilização de uma aeronave, prefixo PT-KRO, para o recobrimento das duas sub-áreas.
- d) Cada sub-área possui distintamente suas respectivas linhas de vôo e de controle.

Em virtude dos fatos acima expostos, cada sub-área teve seus dados processados independentemente uma da outra no que concerne à determinadas etapas do tratamento geofísico, tais como os dados magnetométricos (correção da variação diurna e distribuição dos erros nos cruzamentos). Os parâmetros utilizados para a corre

ção gamaespectrométrica foram os mesmos para as duas sub-áreas uma vez que foi utilizada uma aeronave para o recobrimento de todo o projeto.

A digitalização das fiduciais dos perfis também foi executada para as quadrículas de cada sub-área, procurando-se digitalizar o máximo de fiduciais nas quadrículas limítrofes de cada sub-área visando a melhor superposição das referidas quadrículas.

4.2 - Pré-Processamento e Processamento dos Dados

Para se obter os resultados finais correspondentes ao tratamento geofísico dos dados digitais de magnetometria e gamaespectrometria das duas sub-áreas I e II, três (3) etapas básicas podem ser consideradas:

I) Pré-Processamento dos Dados Digitais

I.1 - Reformatação

I.2 - Digitalização das fiduciais dos perfis

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

Objetivando proporcionar melhor visualização do fluxo operacional do Sistema de Aerogeofísica nas diversas etapas executadas no Projeto, apresenta-se, através o Anexo I, o "Fluxograma Geral do Processamento de Dados".

A Etapa (I) (Pré-Processamento dos Dados Digitais) com



preende as fases de Reformatação e Digitalização das Fiduciais dos Perfis.

A Reformatação é o programa que recebe como entrada os dados de campo fornecidos pela empreiteira do aerolevante e cujo processamento objetiva colocar os referidos dados conforme o "lay-out" do Sistema de Aerogeofísica da CPRM. O programa transforma o tempo dado em horas, minutos e segundos para segundo e a altura, dada em pés, para metros.

A fase da Digitalização das Fiduciais dos Perfis objetiva criar um arquivo que contenha as coordenadas UTM das fiduciais digitalizadas, as quais, posteriormente, através de outro programa (Posicionamento das coordenadas UTM) serão alocadas no campo correspondente do registro lógico dos dados aerolevados. Para tanto, inicialmente, a digitalização das fiduciais dos perfis é executada sobre os "Mapas de Traço de Vôo, os quais contêm os trechos de perfis posicionados em relação à rede UTM e que serão efetivamente processados. Para esta operação utilizou-se um Digitalizador, marca GRADICON, acoplado a uma perfuradora automática de cartões, sendo estes o veículo de saída utilizado devido à rapidez nas correções necessárias. Os cartões informam as coordenadas UTM da origem de cada mapa digitalizado, (correspondendo à origem das coordenadas cartesianas x, y), o número dos perfis com seus respectivos índices, as coordenadas retangulares cartesianas x e y de cada fiducial na precisão de centésimo de milímetro, assim como os códigos de cruzamento entre as linhas de vôo e de controle (cruzamento identificado através dos filmes de rastreamento ou cruzamento calculado mediante interpolação).

Após a digitalização das fiduciais dos perfis de cada mapa de linha de vôo (na escala 1:100.000) os cartões da digitalização correspondentes a cada mapa são todos classificados em ordem crescente de perfis e de fiduciais dentro de cada perfil, os quais

serão a entrada para o programa "Conversão das Coordenadas da Digitalização em UTM" o qual apresenta três (3) saídas: um relatório, uma massa de cartões com as coordenadas UTM de cada fiducial e uma fita para o "plotter". O "plotter" traçará o caminho da digitalização, reconstituindo os mapas de traço de linhas de vôo para posterior conferência com os referidos mapas originais.

O passo seguinte é o programa "Crítica da Velocidade entre Fiduciais" que recebe como entrada os cartões com as coordenadas UTM de cada fiducial digitalizada e o cartão-mestre com a especificação dos parâmetros do programa e tem como saída o relatório mostrando as velocidades entre as fiduciais digitalizadas, relatório este que possibilita as correções de trechos que não estejam dentro dos padrões de velocidade permitidas. O critério adotado consistiu em considerar-se a média da velocidade do perfil, a qual corresponde a mais ou menos dez por cento da velocidade da aeronave (220 km/h).

Uma vez todas as velocidades corrigidas, os cartões corretos serão a entrada para o programa "Classificação dos Perfis e Crítica dos Códigos de Cruzamento", tendo como saídas uma fita contendo as coordenadas UTM das fiduciais digitalizadas dos perfis classificados e um relatório da crítica, o qual informa os erros existentes, os quais serão corrigidos através do programa "Correção dos Códigos de Cruzamento", cuja entrada é a fita anteriormente citada e os cartões com as correções a serem feitas e como saída uma fita com os dados corrigidos e um relatório. Esta fita está pronta para ser uma das entradas para o programa "Posicionamento das Coordenadas UTM".

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 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 são criticados segundo a técnica da segunda diferença. Se houver erros indicados pela listagem do programa anterior há necessidade da preparação das correções que no caso consiste no preenchimento das folhas de codificação para a perfuração dos cartões, cartões esses 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 na listagem de saída asteriscos.

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

Em seguida, 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 da digitalização das fiduciais serão a entrada para o programa "Posicionamento das Coordenadas UTM", cujas saídas são o relatório de situação e uma fita com as coordenadas UTM de todas as fiduciais dos perfis, a qual está pronta 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.

Conforme pode ser visto no "Fluxograma Geral do Processamento de Dados" do Anexo 1 as correções geofísicas foram divididas em duas partes: os programas de tratamento dos métodos magnético e gamaespectrométrico.

Em primeiro lugar descreveremos suscintamente os programas utilizados para o tratamento dos dados de magnetometria os quais, em ordem, são:

1) Correção da Variação Diurna

Conforme o próprio nome indica, este programa objetiva fazer a correção nos dados de campo da variação magnética diurna. Para tal são retirados dos registros da estação-base os tempos (em horas, minutos e segundos) e os valores magnetométricos nos pontos de inflexão correspondentes aos tempos inicial e final dos perfis de produção, informações estas que são perfuradas em cartões e que, juntamente com a fita magnética, constituem a entrada do referido programa.

2) Espectro da Potência

Ao se analisar os dados obtidos de aerolevantamentos geofísicos, é notável a constatação da existência de "sinal", isto é, a informação devida à geologia local e de "ruído", a qual é uma componente espúria que se sobrepõe ao "sinal" e é caracterizada pela presença de valores de alta frequência e pequena amplitude.

No que tange à magnetometria o ruído é devido a anomalias superficiais, ao equipamento, em si, à existência de tempestades magnéticas e à variação diurna do campo geomagnético.

Este programa objetiva determinar quais as frequências que contribuem para a formação do "ruído", sendo as mesmas eliminadas através da filtragem tipo "low-pass".

Para a obtenção do espectro da potência dos perfis magnetométricos do projeto foram escolhidos trechos de perfis, totalizando 200 pontos cada, com espaçamento de uma fiducial, situados sobre uma zona de litologia homogênea de tal forma que, no trecho, estivesse representado, principalmente, o "ruído".



Após a escolha do trecho de 200 pontos de perfis a partir dos registros analógicos, as informações são transferidas para o cartão-mestre de entrada do programa (nº do perfil, trecho e nº do canal) para que o mesmo, recebendo também como entrada a fita magnética após a correção da variação magnética diurna, gere a listagem que possibilitará determinar a frequência de corte (f_c), que será informada no programa seguinte (Filtragem do tipo "low-pass").

O teste do espectro da potência relativo aos dados magnetométricos determinou a frequência de corte de 0,11 ciclos/unidades de amostragem, sendo as frequências maiores que esta eliminadas através da filtragem.

A escolha da frequência de corte também se baseou em uma regra de processamento de dados aerogeofísicos, a qual especifica que, para a 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 entre as linhas de vôo. Com base nestes fatos podemos considerar que a frequência de corte para a filtragem do tipo "low-pass" dos dados, antes do contorno, pode ser a frequência correspondente a um espaço (comprimento de onda) igual a duas vezes o intervalo de amostragem utilizado, ou seja: "grid" = 500 m, comprimento de onda (λ) = 1.000 m, espaçamento entre fiduciais igual a 100 m.

Como $\lambda = \text{espaçamento entre fiduciais} / \text{frequência}$, logo, $f_c \gg 0,10$ ciclos/unidade de amostragem. Conforme assinalado anteriormente, considerou-se $f_c = 0,11$ ciclos/unidade de amostragem.

Para a determinação do número de coeficientes do filtro (N) para ser informado no programa de filtragem, 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/unidade 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 $N > 9,09$

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

3) Filtragem do Tipo "low-pass"

Após a determinação dos parâmetros para a filtragem, obtidos através do programa anterior, em que a frequência de corte (f_c) = 0,11 e o número de coeficientes do filtro (N) = 11 são informados no cartão-mestre de entrada, o programa recebe também como entrada a fita magnética com os dados corrigidos da variação diurna e tem como saídas uma fita magnética com os dados magnetométricos filtrados e uma listagem contendo a relação dos perfis filtrados e os valores dos 11 coeficientes do filtro, os quais são :

0.22000, 0.20290, 0.15634, 0.09298, 0.02929, -0.01967,
-0.04479, -0.04511, -0.02724, -0.00222, 0.01871.

4) Distribuição dos Erros nos Cruzamentos

Este programa objetiva determinar e distribuir os erros existentes nos valores magnetométricos nas interseções das linhas de vôo com as de controle, durante o aerolevanteamento, erros esses ocasionados principalmente devido 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.

Estas diferenças são minimizadas através do uso de parâmetros obtidos no ajuste de retas pelo método dos mínimos quadrados, em um processo iterativo, no nosso caso 10 iterações, visando obter a melhor concordância possível.

As entradas do programa são a fita magnética com os dados magnetométricos filtrados e o cartão-mestre com o número de perfis existentes e o número de iterações. 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 fornece, a partir de informações das coordenadas UTM dos vértices das quadriculas na escala 1:100.000, das coordenadas UTM de um ponto da área, da fração do ano do aerolevramento e de determinada altitude, o valor do campo geomagnético, que é definido por uma superfície do 2º grau da forma:

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

A seguir apresentamos os parâmetros fornecidos ao programa (a, b e c), bem como os parâmetros calculados pelo mesmo (d):

- a) Coordenadas UTM de um ponto correspondente a 7°00'00" latitude sul e 40°30'00" longitude oeste de Gr: Este = 334 298 m; Norte = 9 225 978 m.
- b) Fração do ano do aerolevamento: 1979.7
- c) Altitude utilizada para cálculo: 800 m
- d) Coeficientes da superfície do 2º grau da forma $Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F$:

$$A = 0,540 E - 09$$

$$B = 0,368 E - 09$$

$$C = -0,683 E - 09$$

$$D = 0,215 E - 02$$

$$E = 0,040 E - 03$$

$$F = 26145,7$$

Desta forma, o referido programa tem como entrada um cartão-mestre, contendo as informações acima referidas e tem como saída a listagem contendo, entre outras coisas, os valores dos coeficientes A, B, C, D, E e F da superfície do 2º grau anteriormente referenciada.

6) Redução do Campo Geomagnético

Este programa efetua a redução propriamente dita do campo geomagnético (IGRF) tendo como entradas a fita magnética contendo os dados após a distribuição dos erros nos cruzamentos e o cartão-mestre contendo os valores dos coeficientes A, B, C, D, E e F fornecido pelo programa anterior para cada sub-área.

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

7) Amostragem de Pontos para Contorno

A capacidade física de memória dos computadores não permite a utilização de todos os pontos (registros) medidos para a geração dos mapas de contorno. Além disso, a exigência de disposição dos dados, para a confecção do contorno automático por computador, segundo uma malha ("grid") regular, implica na aplicação de uma 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 caso do presente projeto escolheu-se u'a malha quadrada de 0,5 km visto as linhas de vôo estarem espaçadas de 1 km.

O intervalo da amostragem escolhido foi de 7 pontos, correspondendo a uma distância de 700 metros, sendo que todas as linhas de vôo foram então amostradas segundo este intervalo.

Desta forma, 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, segundo o intervalo informado, dos perfis.

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

8.1) SORT

Este programa tem como entradas a fita contendo os dados amostrados e o cartão-mestre que informa a área a ser plotada, segundo as coordenadas UTM das vértices e o número do canal a ser plotado, no caso o de magnetometria. As saídas são a fita magnética contendo os valores magnetométricos dos perfis ordenados relativos à área a ser plotada, a qual será a entrada para o programa seguinte (STAMPEDE), e uma listagem contendo a relação dos valores magnetométricos dos perfis, segundo a área selecionada.

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

Este programa recebe como entradas a fita de saída do programa anterior (SORT) e o cartão-mestre especificando o intervalo da malha, no caso 500 metros, e as coordenadas UTM



dos vértices da área a ser plotada.

Basicamente este programa utiliza os dados ordenados pelo programa anterior e calcula os valores correspondente aos vértices (nós) de u'a malha regular de dimensões estabelecidas (500 m), ordenando-os segundo u'a matriz. O programa permite também, opcionalmente, a suavização do valor correspondente a cada nó da malha, utilizando valores relativos aos nós circunvizinhos.

Nos dados do 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 as quais deverão ser informadas no próximo programa (GPCP).

8.3) GPCP (General Purpose Contouring Program)

A fita magnética contendo os valores em malha do programa anterior, juntamente com o cartão-mestre informando o intervalo de contorno de 10 em 10 nanoteslas e as curvas-mestres de 100 em 100 nanoteslas bem como as coordenadas UTM da área a ser plotada, constituem as entradas para este programa que, basicamente, cria sub-"grids", aumentando, dessa forma, o número de informações dentro da malha original visando otimizar a precisão do contorno dos valores magnetométricos.

As saídas do programa 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 do mapa de contorno.

O "plotter" recebe a fita gerada pelo programa

anterior e plota os "Mapas de Contorno do Campo Magnético Residual".

Dando continuidade ao tratamento geofísico, veremos, em segundo lugar, os programas utilizados para a correção dos dados gamaespectrométricos, os quais serão sucintamente abaixo descritos, conforme o "Fluxograma Geral" mencionado anteriormente:

1) Espectro da Potência

As considerações sobre este programa foram discutidas quando do tratamento geofísico dos dados magnetométricos.

Em dados gamaespectrométricos, a principal fonte causadora de "ruído" é a flutuação estatística nos dados registrados pelos equipamentos utilizados no sensoriamento. Outras importantes fontes de "ruído" são a imperfeição das correções aplicadas aos dados no processamento digital, as quais simplificam extraordinariamente as complexas interações das partículas radioativas no solo, na atmosfera e nos detetores, assim como as variações mineralógicas e de intemperismo ocorrentes em uma mesma litologia.

Foram selecionados trechos de perfis (200 pontos) dos canais de urânio, tório, potássio, contagem total, incluindo também o canal da altura.

A frequência de corte (f_c) adotada é de 0,11 ciclos/unidade de amostragem, sendo o número de coeficientes do filtro (N) igual a 11.

2) Filtragem do Tipo "low-pass"

Após a determinação da frequência de corte (f_c), 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 radio métricos, 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 descreveremos sucintamente cada subitem 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, con

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:

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

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 Tório 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 no 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:

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

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

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-se, tem-se que:

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

$D(K)_{\text{CORR}}$ = 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)

$D(\text{Th})$ = 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 no Anexo 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 1024,0 polegadas cúbicas, são os seguintes os valores determinados dos coeficientes de correção em função do volume dos cristais, segundo o gráfico do Anexo 2: $\alpha = 0,306$; $\beta = 0,408$ e $\gamma = 0,704$.

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 aerogamaespectrometria 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.

N₀ = 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.

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

Para o K: 0,0064617/m

Para o U: 0,0083722/m

Para o Th: 0,0046820/m

Para a CT: 0,0041023/m

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.

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 7 pontos, correspondendo a uma distância de 700 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.



5. COMENTÁRIOS FINAIS

O processamento dos dados do Projeto Borda Leste da Bacia do Maranhão foi executado separadamente em relação às duas sub-áreas I e II, as quais foram divididas pela empreiteira executante para facilidade do aerolevanteamento.

Devido a não se ter em uma sub-área a continuação dos perfis localizados na outra sub-área, a superposição das áreas contíguas às duas sub-áreas, embora suficiente, não possibilitou a continuidade das curvas de contorno nas junções das quadrículas limites das referidas sub-áreas.

É como se estivesse processando duas áreas independentes, porém usando-se os mesmos parâmetros geofísicos.

Os mapas de contorno do campo magnético residual inicialmente apresentaram algumas curvas de contorno alinhadas paralelamente à direção das linhas de vôo, havendo necessidade de se eliminar vinte e cinco perfis do projeto a fim de que os referidos alinhamentos desaparecessem. Todos os cruzamentos entre as linhas de vôo e de controle foram calculados e esta informação foi levada em consideração no programa de nivelamento magnético (distribuição dos erros nos cruzamentos).

Deve ser explicado que o atraso na entrega do Relatório Final, segundo o cronograma do projeto, foi devido a inúmeros fatores, tais como a demora da entrega dos mapas de traços de linha de vôo para a digitalização, a excessiva quantidade de erros na velocidade entre as fiduciais digitalizadas que necessitaram de correções, os defeitos sistemáticos no "plotter" da CPRM, ficando o mesmo paralisado durante vinte e cinco dias para manutenção geral e a espera da montagem fotográfica do Projeto Norte da Chapada Diamantina pela Divisão de Fotografia da CPRM.

Após a superação de todos esses contratempos esperamos

que, afinal, os resultados apresentados sejam de grande utilidade para a interpretação e integração geológica-geofísica.

6. BIBLIOGRAFIAS

CARDOSO, C.E.T. - Determinação dos coeficientes de absorção - Projeto Serra de Itiuba - 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. Áustria, 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.



ANEXOS

ANEXO 1

ANEXO 2

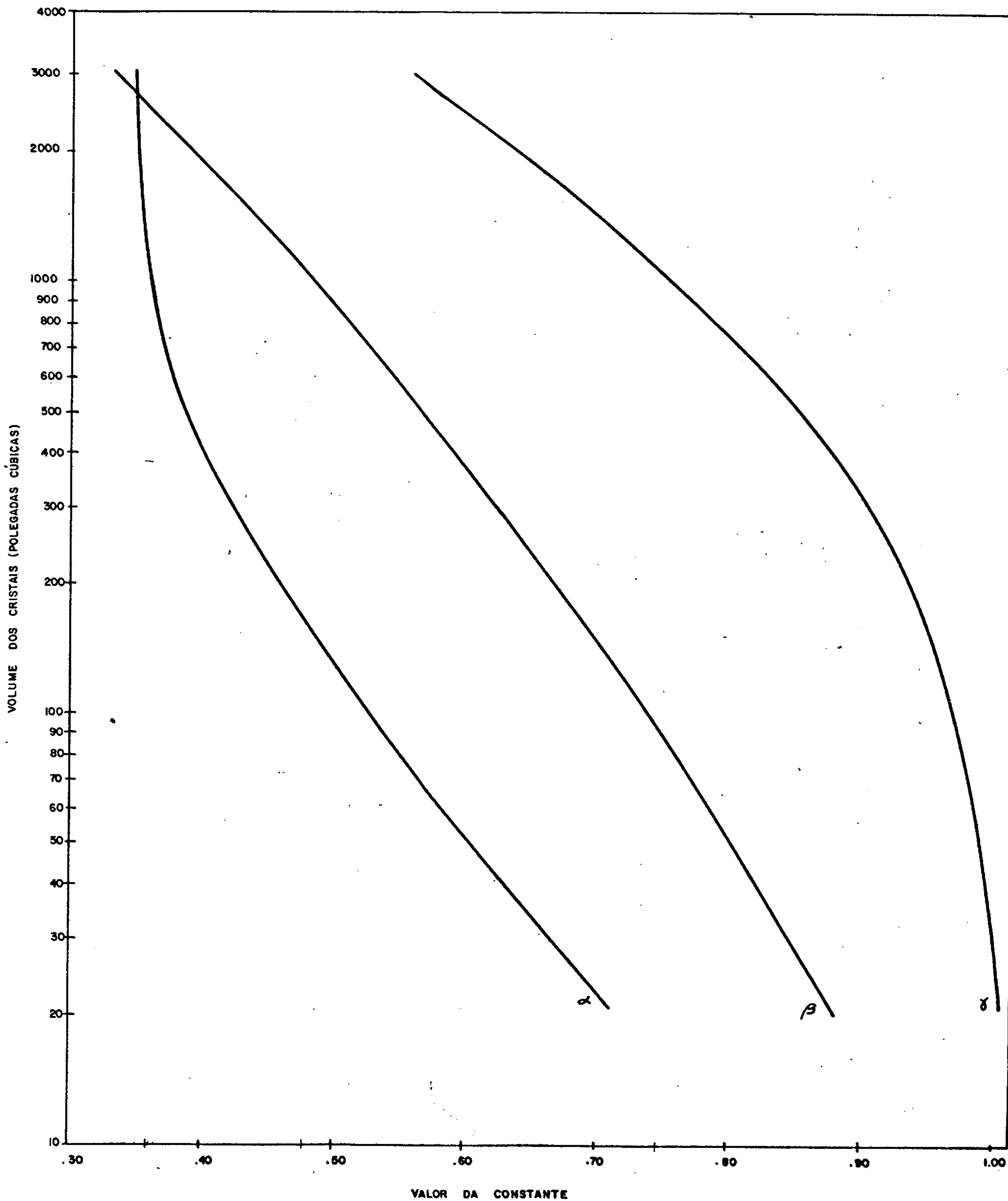


Gráfico para determinação das constantes utilizadas na correção do espalhamento Compton nos cristais (Fonte: Preliminary Technical Memo - GEOMETRICS)