

## **Application of aerogeophysical data in digital geological mapping: example of the Sobral/CE.**

Márcia V. dos Santos\*, Camila N. Alves\*\*, Francisco de A. M. de Abreu\*\*\* ...

\*Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562 – Cidade Universitária, São Paulo – SP, marciaval@usp.br

\*\*Universidade Federal do Maranhão, Av. Aurila Maria Santos Barros de Sousa, s/n, Grajaú - MA, cn.alves@ufma.br

\*\*\*Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Correa, 01, Belém – PA, famatos@ufpa.br

Received 12 August 2021; accepted 18 November 2021

### **Abstract**

Folha Sobral (SA. 24-YD-IV) on a scale of 1: 100,000, in the northwestern region of Ceará, comprises land belonging to the Middle Coreau and Central Ceará domains of the Borborema Province. Due to its diversity and geological complexity, it has been the target of activities from the geological mapping disciplines of the Institute of Geosciences / UFPA, since the 1980s. This extensive collection was recovered, systematized and included in a geographic database. The pre-existing geological information was integrated and refined through the processing, analysis and interpretation of remote sensor and aerogeophysical products, which helped to better define the structural and lithological aspects present in the geological context of Folha Sobral. The main result was the making of the geological map of Folha Sobral, based on the partnership between UFPA and CPRM.

Keywords: Collection, Remote Sensing, Geological Cartograph.

## **Aplicação de dados aerogeofísicos no mapeamento geológico digital: exemplo da folha Sobral/CE.**

### **Resumo**

A Folha Sobral (SA. 24-Y-D-IV) em escala de 1:100.000, na região noroeste do Ceará compreende terrenos pertencentes aos Domínios Médio Coreau e Ceará Central da Província Borborema. Devido a sua diversidade e complexidade geológica tem sido alvo das atividades das disciplinas de mapeamento geológico do Instituto de Geociências/UFPA, desde a década de 1980. Esse extensivo acervo foi resgatado, sistematizado e incluído em um banco de dados geográfico. As informações geológicas pré-existent foram integradas e refinadas por meio do processamento, análise e interpretação de produtos de sensores remotos e aerogeofísica, que auxiliaram na melhor definição dos aspectos estruturais e litológicos presentes no contexto geológico da Folha Sobral. O principal resultado foi a confecção do mapa geológico da Folha Sobral, a partir da parceria entre UFPA e CPRM.

Palavras-chave: Acervo, Sensoriamento Remoto, Cartografia Geológica.

### **1. Introdução**

A porção Noroeste do Ceará, onde se encontra a Região de Sobral, está inserida no contexto geológico da Província Borborema, denominação introduzida por Almeida et al. (1977), e aplicado para a parte leste da região nordeste da Plataforma Sul-Americana. A Província é considerada uma colcha de retalhos de terrenos de diferentes litologias, de idades distintas, separados por falhas e zonas de cisalhamento importantes.

Esta importante região nordestina foi alvo de vários trabalhos de mapeamento geológico, por professores e discentes do IG/UFPA, durante as décadas de 1980 e 1990, os quais foram retomados a

partir do ano de 2005, além de trabalhos da UFC, UFRN, UNESP, U. KANSAS. Nestes trabalhos foi possível a obtenção de uma série de dados geológicos, que foram resgatados no decorrer deste trabalho. E para que não se perca esse extenso acervo de dados, preservando-se informações importantes, eles foram repassados do meio analógico para meio digital.

Além das informações resgatadas dos inúmeros trabalhos que foram feitos nesta região, acrescentaram-se também dados geológicos obtidos de forma indireta, através do processamento, análise e interpretação de produtos de sensores remotos e aerogeofísica, que auxiliaram na melhor definição dos aspectos estruturais e litológicos presentes no

contexto geológico desta região. Para melhor entendimento do quadro geológico através da coleta de informações geológicas das regiões não recobertas por mapeamento geológico, foram executadas três campanhas de campo.

Complementarmente foi confeccionado um modelo geométrico-cinemático para melhor visualização e entendimento do padrão estrutural regional, além de outros mapas temáticos que poderão ser utilizados na questão do planejamento e aptidões desta importante área do Estado do Ceará.

## 2. Material e métodos

As atividades realizadas neste trabalho foram organizadas em etapas. A primeira etapa consistiu no resgate e catalogação do acervo técnico pré existente dos trabalhos realizados pelo IG/UFPA na região Noroeste (NW) do Ceará, que foram associados aos relatórios técnicos da disciplina Estágio de Campo II realizados na área da Folha Sobral (Tabela 1), sobretudo os mapas geológicos preliminares, de amostragem e de drenagem que estavam anexados a estes relatórios. Foram também catalogados os relatórios de iniciação científica,

monografias, dissertações e teses. Grande parte deste material estava na Litoteca do IG/UFPA.

Tabela 1 – Relatórios de campo da disciplina Estágio de Campo II executados na região de Sobral.

| Estágio de Campo        | Quantidade | Sub-área                          |
|-------------------------|------------|-----------------------------------|
| Cariri (1989)           | 4          | II, VI, VII, VIII                 |
| Groaíras (1992)         | 11         | I,II,III,IV,V,VI,VII,VIII,IX,X,XI |
| Massapê (1994)          | 5          | I,II,IV,V,VI                      |
| Forquilha (1995)        | 4          | I,II,V,VI                         |
| Cariri II (2005)        | 5          | I,II,III,IV,V,VI,VII              |
| Sobral (2006)           | 8          | I,II,III,IV,V,VI,VII,VIII         |
| Massapê-Sobral (2007)   | 7          | I, II, III, IV, V, VI, VII        |
| Serra do Barriga (2007) | 6          | I, II, III, IV, V, VI             |

Após a catalogação deste acervo foi possível definir a área total recoberta pelos mapeamentos geológicos realizados pela Faculdade de Geologia, do IG-UFPA, no NW do Ceará, que incluíam além da Folha Sobral, as folhas Frecheirinha, Ipú e Santa Quitéria (Figura 1).

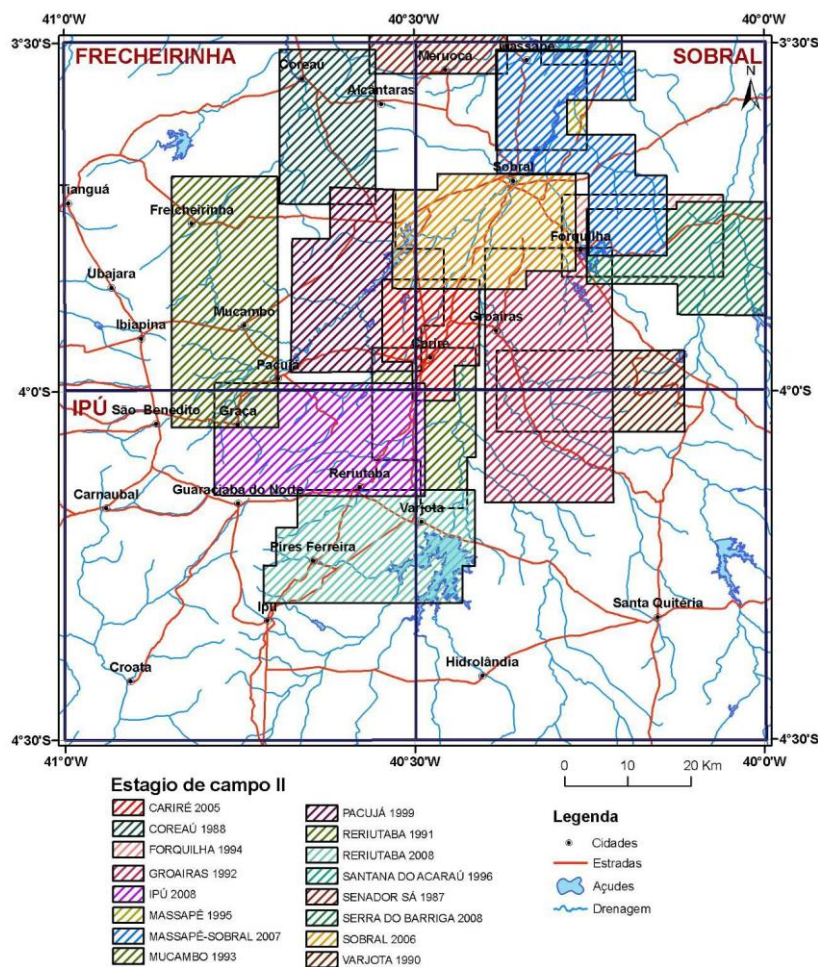


Figura 1- Áreas recobertas pelos mapas geológicos dos Estágios de Campo II (folhas Sobral, Frecheirinha, Ipú, Santa Quitéria).

A segunda etapa consistiu na elaboração do Banco de Dados (BD) digital com as informações extraídas dos relatórios, dissertações e teses (Figura 2). Neste BD é possível fazer consultas às informações obtidas anteriormente no acervo geológico e permite também a colocação de novas informações de trabalhos de campo recente. O BD

digital da região de Sobral (Figura 2) contém informações acerca da localização dos pontos de afloramento, tipos de pontos, litotipos, estrutura e fotos. Quando existentes fichas de descrição petrográfica foram também colocadas em meio digital.

| COD | LAT    | LONG    | PONTOS     | TIPO            | LITOLOGIC                          | FOTOS |
|-----|--------|---------|------------|-----------------|------------------------------------|-------|
| 814 | 335505 | 9564396 | ECA-III-12 | Ponto Descrito  | Muscovita Gnaiss                   |       |
| 815 | 335528 | 9564226 | ECA-III-13 | Ponto Descrito  | Muscovita Gnaiss                   |       |
| 816 | 335476 | 9564160 | ECA-III-14 | Ponto Descrito  | Muscovita Gnaiss                   |       |
| 817 | 335472 | 9564070 | ECA-III-15 | Ponto Descrito  | Granada Gnaiss                     |       |
| 818 | 335380 | 9563823 | ECA-III-16 | Ponto Amostrado | Muscovita Gnaiss                   |       |
| 819 | 334298 | 9564457 | ECA-III-17 | Ponto Descrito  | Muscovita-anfibólio Gnaiss         |       |
| 820 | 333911 | 9564683 | ECA-III-18 | Ponto Descrito  | Muscovita-anfibólio Gnaiss         |       |
| 821 | 333668 | 9564646 | ECA-III-19 | Ponto Amostrado | Muscovita-anfibólio Gnaiss         |       |
| 822 | 333175 | 9565118 | ECA-III-20 | Ponto Amostrado | Muscovita-anfibólio Gnaiss         |       |
| 823 | 333128 | 9565235 | ECA-III-21 | Ponto Descrito  | Muscovita-anfibólio Gnaiss         |       |
| 824 | 332233 | 9566043 | ECA-III-22 | Ponto Controle  | Ponto Controle                     |       |
| 825 | 331781 | 9566344 | ECA-III-23 | Ponto Controle  | Ponto Controle                     |       |
| 826 | 329676 | 9566885 | ECA-III-24 | Ponto Controle  | Ponto Controle                     |       |
| 827 | 329872 | 9566819 | ECA-III-25 | Ponto Laminado  | Quartzo-Diorito                    |       |
| 828 | 330222 | 9566560 | ECA-III-26 | Ponto Descrito  | Muscovita-anfibólio-Biotita Gnaiss |       |
| 829 | 331267 | 9566621 | ECA-III-27 | Ponto Laminado  | anfibólio-Biotita Gnaiss           |       |
| 830 | 332268 | 9566043 | ECA-III-28 | Ponto Descrito  | Biotita-Clorita Gnaiss             |       |
| 831 | 324586 | 9567439 | ECA-III-29 | Ponto Descrito  | Arcóseo                            |       |
| 832 | 325781 | 9566670 | ECA-III-30 | Ponto Controle  | Arcóseo                            |       |
| 833 | 325218 | 9566715 | ECA-III-31 | Ponto Controle  | Ponto Controle                     |       |
| 834 | 324081 | 9568060 | ECA-III-32 | Ponto Controle  | Ponto Controle                     |       |
| 835 | 324586 | 9567439 | ECA-III-33 | Ponto Amostrado | Biotita Gnaiss                     |       |
| 836 | 324876 | 9567127 | ECA-III-34 | Ponto Descrito  | Ponto Controle                     |       |
| 837 | 325834 | 9566012 | ECA-III-35 | Ponto Controle  | Ponto Controle                     |       |
| 838 | 325725 | 9565901 | ECA-III-36 | Ponto Descrito  | Anfibólio Gnaiss                   |       |
| 839 | 326209 | 9566287 | ECA-III-37 | Ponto Controle  | Ponto Controle                     |       |
| 840 | 326603 | 9566610 | ECA-III-38 | Ponto Controle  | Granada Gnaiss                     |       |
| 841 | 327789 | 9566711 | ECA-III-39 | Ponto Amostrado | Biotita-anfibólio Gnaiss           |       |
| 842 | 328654 | 9567062 | ECA-III-40 | Ponto Descrito  | Anfibólio Gnaiss                   |       |
| 843 | 328946 | 9567041 | ECA-III-41 | Ponto Descrito  | Anfibólio Gnaiss                   |       |
| 844 | 334138 | 9566726 | ECA-III-42 | Ponto Descrito  | Anfibólio Gnaiss                   |       |
| 845 | 334230 | 9566726 | ECA-III-43 | Ponto Laminado  | Ponto Controle                     |       |

Figura 2- Estruturação do banco de dados da Folha Sobral.

#### Processamentos dos dados aerogeofísicos

As atividades de processamento e interpretação dos dados aerogeofísicos (magnéticos e radiométricos) foram realizadas a partir das informações do Projeto rio Acaraú levantadas em 1974 e cedidos pela CPRM (Figura 3). Estes

procedimentos foram efetuados com a finalidade de contribuir para a melhor caracterização do arcabouço estrutural e dos litotipos presentes na região de Sobral. Para o tratamento desses dados foi utilizado o software OASIS Montaj™.

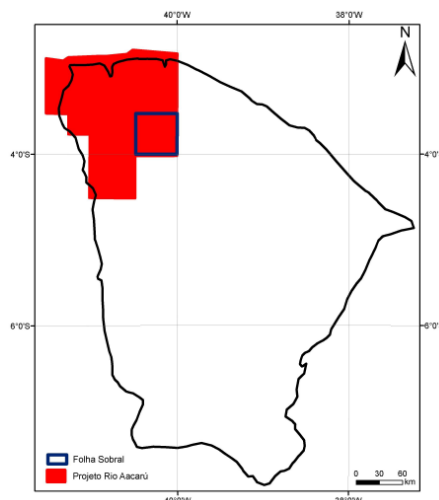


Figura 3 – Localização do Projeto Aerogeofísico rio Acaraú.

## Dados aeromagnetométricos

No processamento dos dados aeromagnetométricos foram realizados vários testes, com a finalidade de se obter produtos que pudessem ser interpretados de forma satisfatória. Os detalhes destes procedimentos serão descritos a seguir:

### I. Pré processamento

Nesta etapa foi criada a base de dados a ser manipulada durante todo o trabalho de processamento. Foram feitos os testes de consistência dos dados, com a análise dos perfis e utilização da técnica de perfis rebatidos (Figura 4) e o método da quarta derivada (Figura 5) a fim de identificar problemas nas linhas de vôo e do tipo “efeito pepita” ou “picos”.

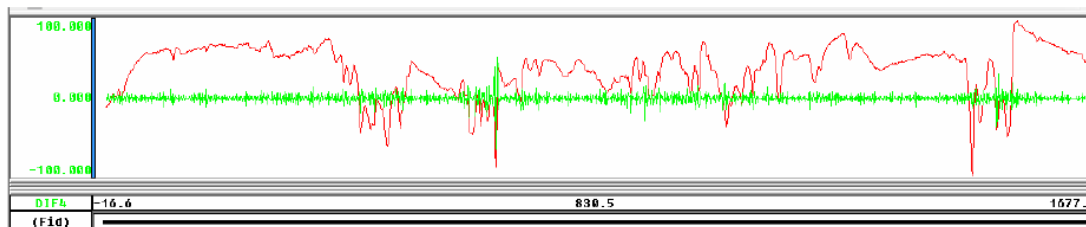


Figura 4 – Perfil do campo magnético anômalo para o método da quarta derivada. Fonte: Santos (2009).

Após esses procedimentos os dados foram interpolados em uma malha regular (*grid*), com espaçamento de célula de 250 m (1/4 do espaçamento da linha de vôo), por dois métodos: Curvatura

Mínima e SplinesBi-Cúbicos. Sendo que utilizando a Curvatura Mínima obtiveram-se resultados mais satisfatórios (Figura 6).

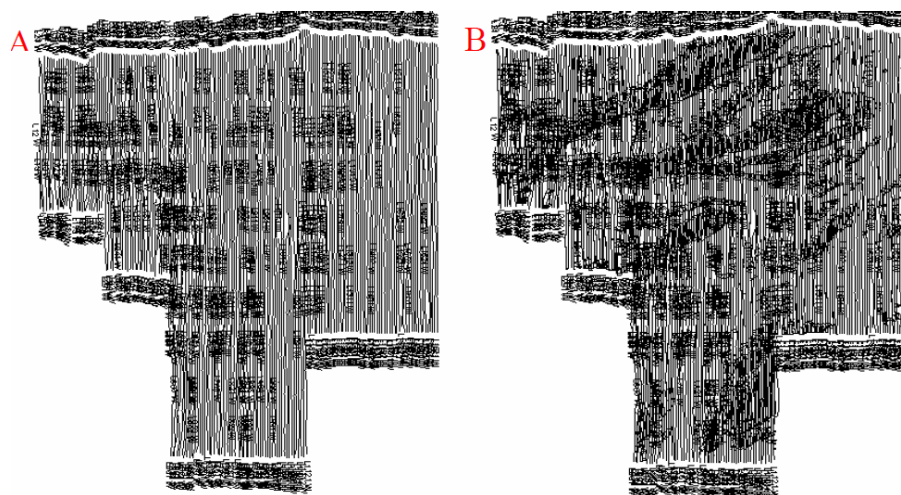


Figura 5 – a) Mapa da linha de vôos b) Perfil rebatido. Fonte: Santos (2009).

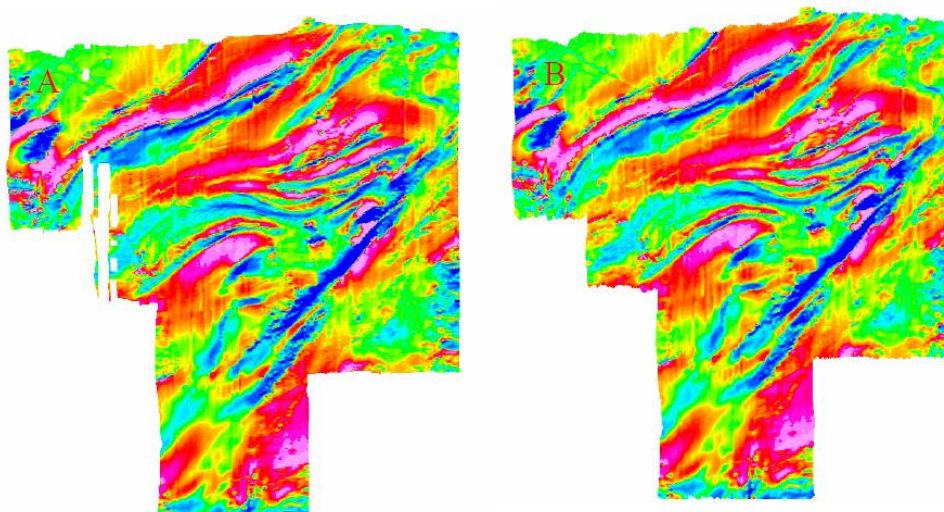


Figura 6 - A) MetodoSplinesBi-Cúbicos; B) Metodo Curvatura Mínima. Fonte: Santos (2009).

Para minimizar as tendências na direção das linhas de voo (N-S) foi aplicado o método do micronivelamento (Figura 7) de acordo com a rotina desenvolvida por Blum (1999), com base no que foi

proposto por Minty (1991). Visualmente foram notadas algumas diferenças depois do micronivelamento, principalmente na porção NW do projeto.

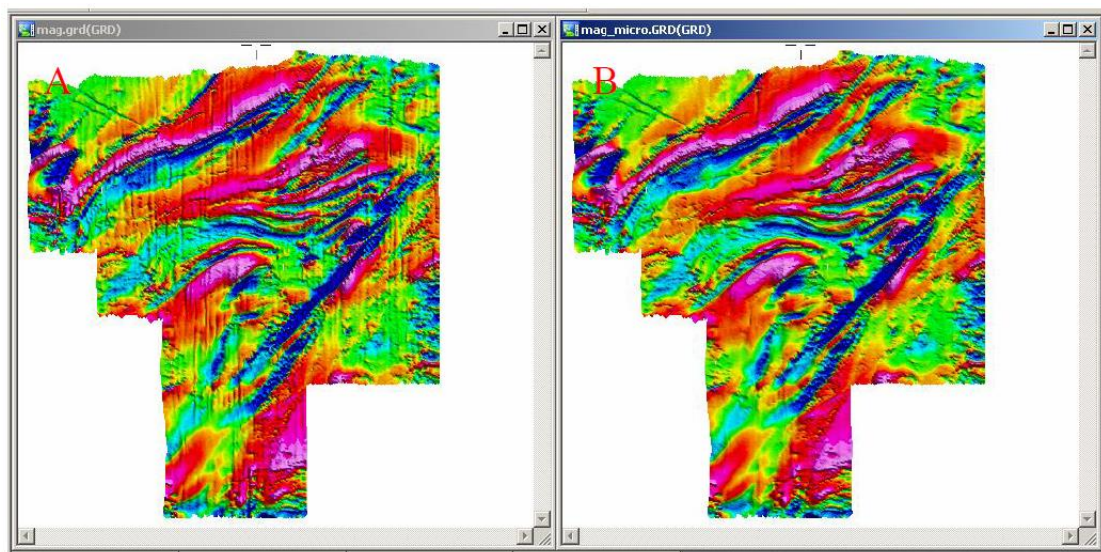


Figura 7- A) Antes do micronivelamento; B) depois do micronivelamento

## II. Processamento

Nesta etapa foi feita a determinação e análise do espectro de potência e a aplicação de filtros para gerar mapas transformados do campo magnético anômalo. Essas transformações ocorrem no domínio de Fourier, através da utilização da transformada rápida de Fourier. Os produtos obtidos neste processamento serão mostrados a seguir.

Com a finalidade de aperfeiçoar os trabalhos de melhor caracterização geológica, foi gerado o espectro de potência ponderado da área de trabalho (Figura 8), o qual mostra a frequência de Nyquist a 0,5 ciclos por Km, com a localização das fontes magnéticas infracrustais e supracrustais, também é possível ser observada neste espectro.

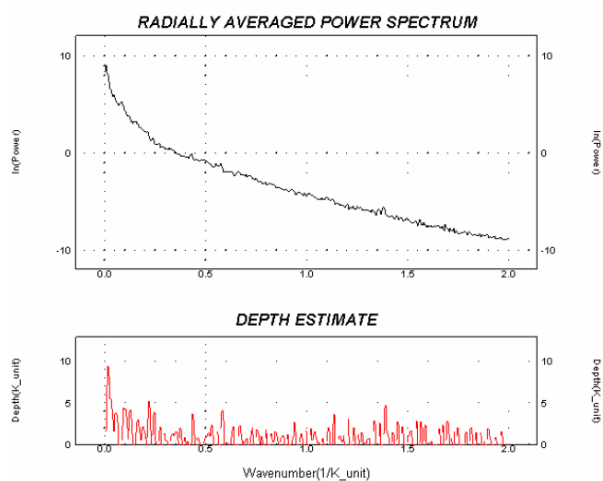


Figura 8 – Espectro de potência da área de trabalho.

## 3. Resultados e discussão

Da integração de informações geológicas pré-existent resultou um mapa geológico preliminar, integrado, vetorizado, organizado e georreferenciado com simbologia própria, que posteriormente sofreu nova edição, sobretudo com a integração das informações extraídas das imagens de sensores e aerogeofísica.

Após o processamento dos dados magnetométricos anômalos a imagem (Figura 9) teve como finalidade a análise dos sinais que compunham o relevo do campo magnético anômalo. Assim, pode-se demarcar padrões que individualizassem unidades geológicas com respostas espectrais diferenciadas, ou seja, com comportamento distintos.

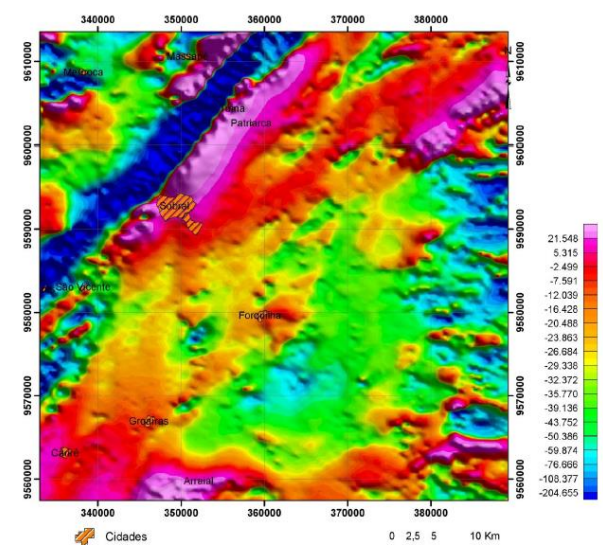


Figura 9 - Imagem do campo magnético anômalo da região de Sobral.

As imagens das derivadas horizontais (x,y) tem como principal finalidade a discriminação de feições estruturais. Assim como a imagem da derivada vertical (dz) busca o realce das estruturas (Figuras 10, 11 e 12).

A imagem de amplitude do sinal analítico (ASA) também ressalta as estruturas magnéticas, assim como o de amplitude do sinal analítico (ISA) (Figuras 13, 14 e 15).

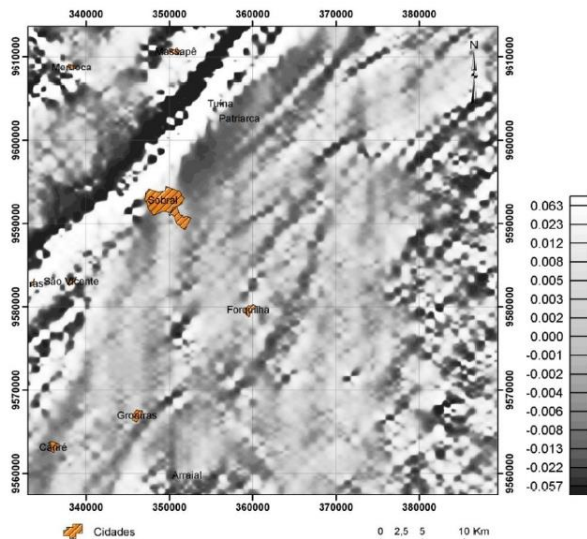


Figura 10 - Mapa da derivada horizontal (X).

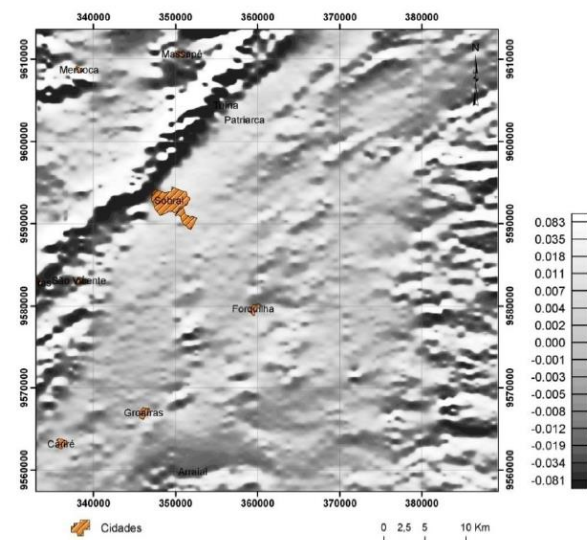


Figura 11 - Mapa da derivada horizontal (Y).

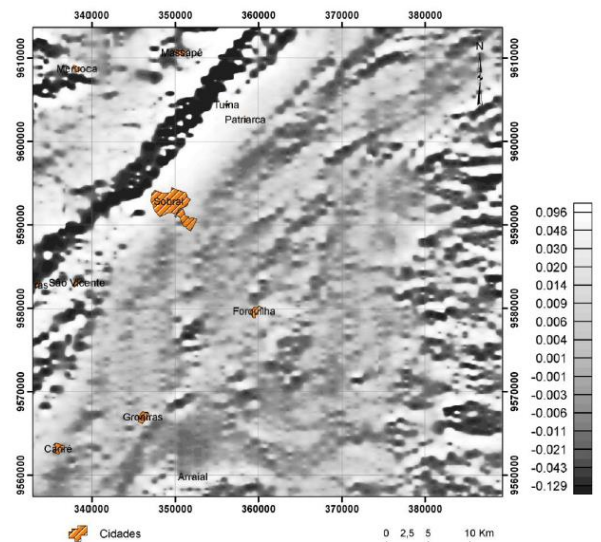


Figura 12 - Mapa da derivada vertical (Z).

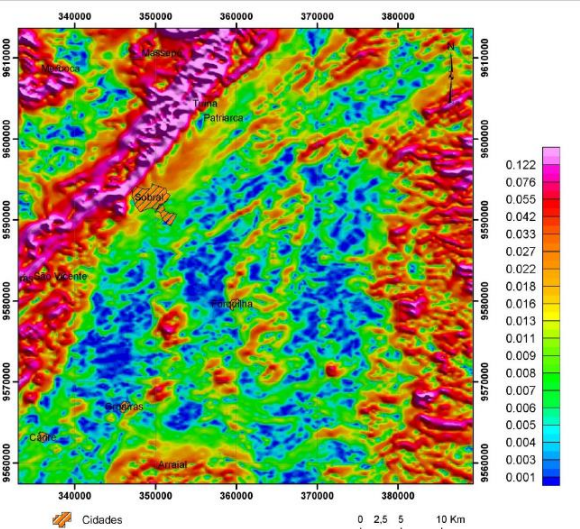


Figura 13 - Mapa da amplitude do gradiente horizontal.

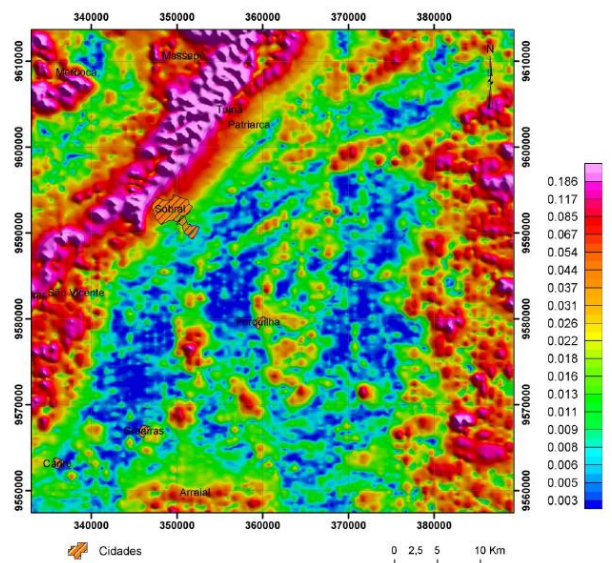


Figura 14- Mapa da amplitude do sinal analítico.

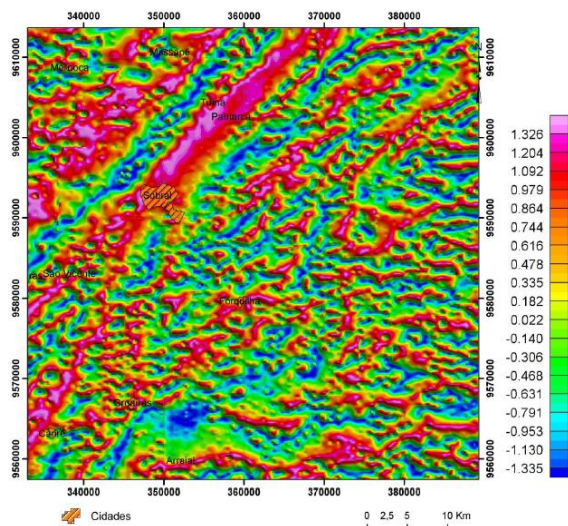


Figura 15 - Mapa da inclinação do sinal analítico.

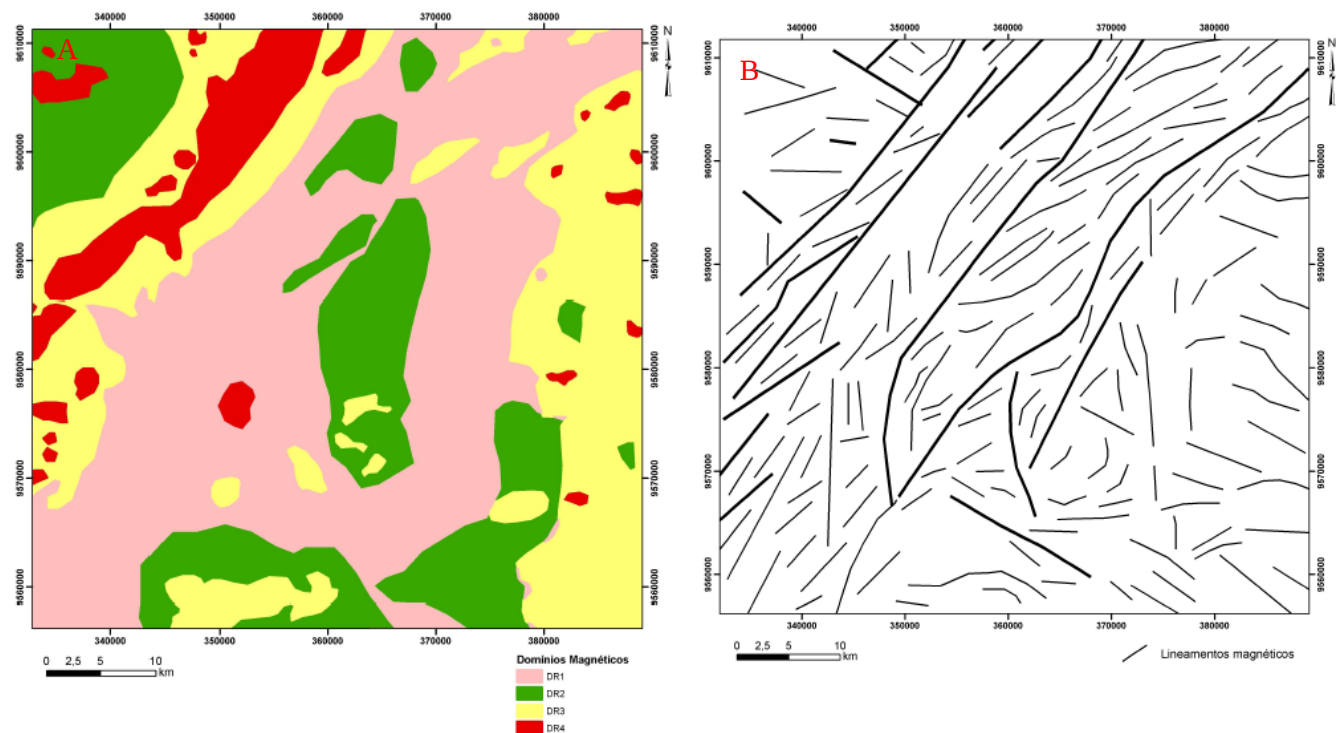


Figura 16 - a) Mapa de domínios magnéticos; b) Mapa de lineamentos magnéticos.

Os dados gamaespectrométricos aéreos foram processados com a finalidade de delimitar e diferenciar as variações dos litotipos existentes na região de trabalho. Os procedimentos efetuados sobre os dados gamaespectrométricos foram semelhantes aqueles adotados nos dados magnetométricos, principalmente aqueles relacionados ao pré-processamento, tais como teste de consistência, interpolação dos dados para malha regular, onde a

No caso dos dados magnéticos foi possível a identificação de dois tipos de feições: unidades magnéticas e descontinuidades lineares. As unidades magnéticas compreendem corpos geológicos com magnetismo característico ou uniforme. Elas não coincidem necessariamente com as unidades geológicas.

As descontinuidades lineares, geralmente, são evidentes e representam falhas, fraturas ou tendências litológicas (Figura 16). Vale ressaltar que as respostas magnéticas são mais características de um grupo de rochas do que de litotipos individuais. A seguir são mostrados os mapas de domínios magnéticos e o mapa de lineamentos magnéticos.

mínima curvatura apresentou melhor resultado e em seguida foi feito o micronivelamento.

Foram confeccionadas após a etapa de micronivelamento as imagens individuais dos canais de U, Th, K e Contagem Total (Figuras 17 a 20), além de mapas ternários K, U, Th, uma composição falsa cor que consiste de uma técnica básica de realce digital.

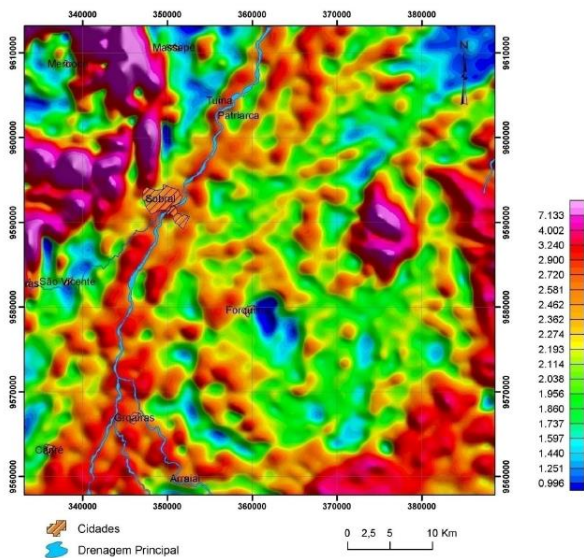


Figura 17 - Mapa radiométrico do canal K.

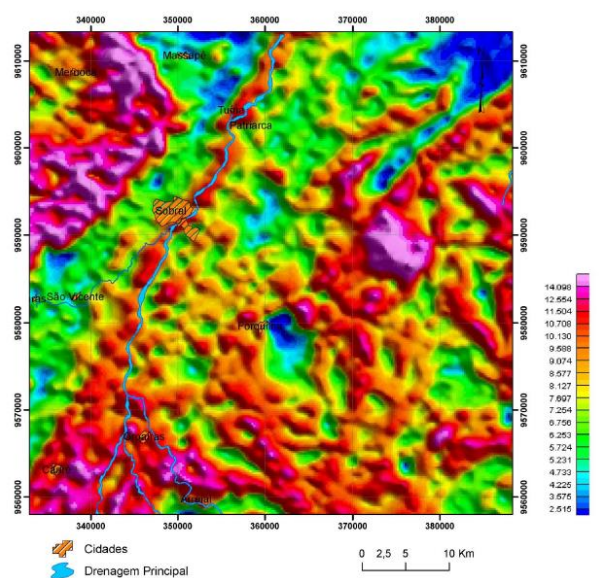


Figura 20 - Mapa radiométrico do canal CT.

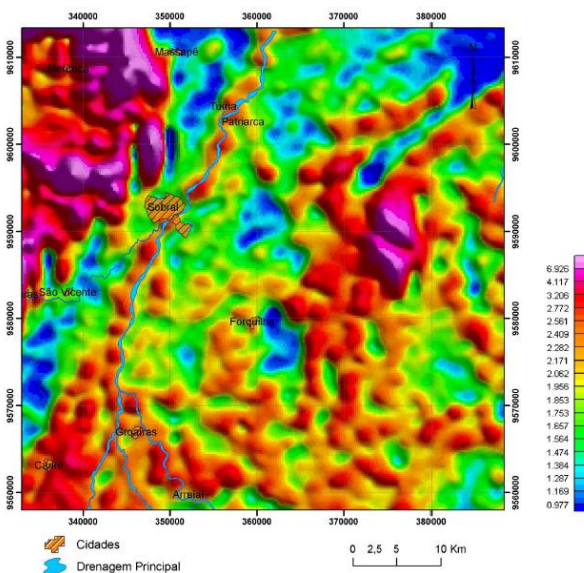


Figura 18 Mapa radiométrico do canal U.

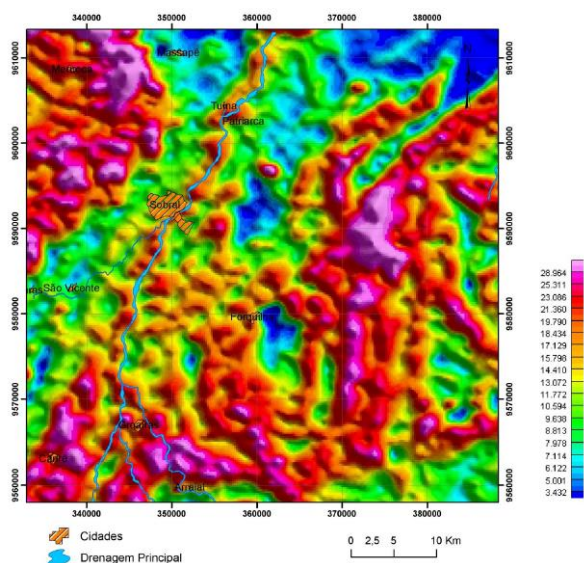


Figura 19 - Mapa radiométrico do canal TH

Na interpretação de imagens gamaespectrométricas deve-se utilizar principalmente as variações relativas nas concentrações dos radioelementos, para uma maior seletividade na interpretação.

O processo de interpretação é apoiado pelo uso de SIGs com atributos de processamento de imagens, que permite a integração desses dados com outros tipos de dados.

As interpretações de unidades gamaespectrométricas contribuem para a delimitação das unidades de mapeamento geológico, assim como de estruturas superficiais, além das anomalias fornecerem informações a cerca dos processos tectônicos envolvidos.

A imagem do canal de Potássio mostra áreas com concentrações elevadas desse elemento, nas porções do extremo noroeste e nordeste da imagem. Os dois pontos de maior concentração desse elemento encontram-se nas porções mais elevadas da área de trabalho. A presença moderada desse elemento ao longo das regiões com drenagem mostra que esse elemento sofreu lixiviação.

Com relação à estruturação, observa-se uma tendência NE-SW para corpos, além de lineamentos seguindo esse mesmo padrão.

As imagens do canal de Urânio forneceram valores elevados desse elemento também nas porções mais elevadas da área como no canal de Potássio. Na porção nordeste da área esses elementos formam feições arqueadas, com concentrações moderadas. Ao longo da rede de drenagem principal da área esse elemento também é observado, com estruturação alongada, NE-SW.

O elemento tório, por ser um radioelemento com baixa mobilidade química no ambiente natural, forneceu boas imagens, com boa delimitação das

feições geológicas. Os valores mais elevados desse elemento também estão relacionados com as regiões de relevo mais alto. Valores mais elevados também foram encontrados em dois corpos, na porção extremo noroeste que merece destaque por seu bom delineamento, o que não aconteceu com o corpo da porção centro-leste, no qual se observou uma dispersão, com alongamento N-S.

A estruturação arqueada, com direção NW-SE, também foi bem delimitada nessa imagem. Outra feição de destaque nessa imagem é a presença de dobras na região centro-sul.

Grandes lineamentos são observados nesta imagem, os quais muitas vezes delimitam as grandes unidades separadas no mapeamento de superfície. Eles apresentam orientação preferencial NE-SW.

A imagem da contagem total (CT) possibilitou uma definição do arranjo do arcabouço

gama espectrométrica regional. Nesta imagem foi possível observar que os grandes lineamentos delimitam várias unidades de mapeamento. Dentre elas se destacam o lineamento do lado oeste do mapa de direção NE-SW que secciona a área de trabalho.

As imagens aerogeofísicas forneceram informações preliminares sobre o comportamento regional, em superfície e sub-superfície das feições geológicas presentes na região de Sobral. A partir das imagens aeromagnetométricas foi possível identificar que os *trends* magnéticos principais orientam-se NE-SW, destacando-se um grande corpo magnético NE-SW, na porção Noroeste da folha, correspondente ao Graben Jaibaras. As imagens aerogamaespectrométricas possibilitaram principalmente a individualização dos corpos ígneos presentes nesta região com destaque para os granitos Meruoca e Serra do Barriga.

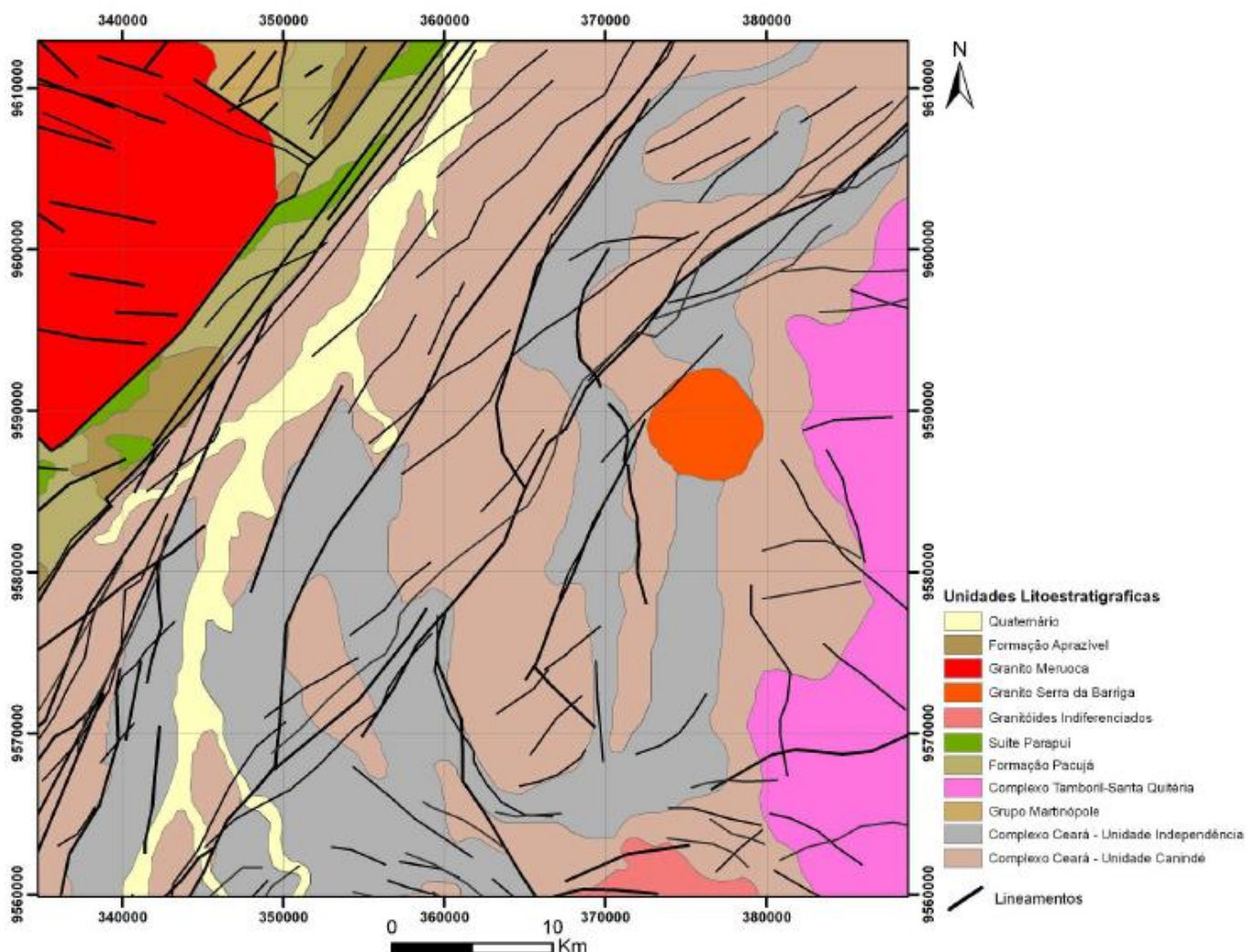


Figura 21 - Mapa de Unidades Geológicas gerado a partir da interpretação de dados aerogeofísicos.

#### 4. Conclusão

A partir das atividades desenvolvidas neste trabalho, foi possível realizar uma cartografia

geológica digital por meio do uso de técnicas de sensoriamento remoto e dados geológicos pré existentes dessa importante região nordestina que é o

Noroeste do Ceará, mais precisamente a área abrangida pela Folha Sobral.

A utilização de softwares de SIG (Sistema de Informações Geográficas) possibilitaram a transferência de dados analógicos para meio digital, além de possibilitarem a construção de um SIG da Folha Sobral, contribuindo então para a ampla divulgação das informações geológicas da região NW do Ceará, antes restritas aos escaninhos da UFPA.

As informações extraídas a partir das imagens de sensoriamento remoto e arogeofísicas, a partir principalmente de interpretação visual, dão ao mapa geológico da Folha Sobral maior confiabilidade e credibilidade.

Os procedimentos empregados, desenvolvidos e testados ao longo desse trabalho podem ser utilizados como modelo para a preparação de cartas geológicas no padrão estabelecido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, na escala de 1: 100.000, resgatando inclusive acervo de dados e informações considerados como praticamente perdidos, posto não terem sido tratados de forma adequada em seu arquivamento pretérito.

Os resultados finais são também importantes na medida em que disponibilizam informações valiosas para as atividades de treinamento e capacitação de pessoal dedicado à cartografia geológica básica, atividade que ainda será desenvolvida por décadas pelo Brasil afora.

O trabalho, por hora aqui apresentado conseguiu reunir uma série de informações, oriundos de multifontes de conhecimento das geotecnologias e dos trabalhos executados ao longo de mais de 20 anos no NW do Ceará.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) na elaboração da presente pesquisa.

### **Referências**

- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1977. Províncias estruturais brasileiras. Simpósio de Geologia, Campina Grande. NE.
- Blum, M.L.B., 1999. Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil Central e suas aplicações a geologia regional e a prospecção mineral. Tese (Doutorado). Brasília, UNB.
- Minty, B.R.S., 1991. Simple micro-levelling for aeromagnetic data. *Exploration Geophysics* 22, 591-592.
- Santos, M.V., 2009. Ferramentas multidisciplinares aplicadas à cartografia geológica: o exemplo da Folha Sobral – CE (SA-24-Y-D-IV). Dissertação (Mestrado). Belém, UFPA.