

## Controle litoestrutural e caracterização geofísica do Complexo Alcalino Planalto da Serra, Mato Grosso

*Lithostructural control and geophysical of Planalto da Serra Alkaline Complex, Mato Grosso, Brazil*

Gabriel Luiz Zaffari<sup>1</sup>, Amarildo Salina Ruiz<sup>1,2</sup> , Roberta Mary Vidotti<sup>3</sup> , Francisco Abel Pompeu de Campos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Faculdade de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2.367, CEP 78060-900, Boa Esperança, Cuiabá, MT, BR (zaffari89@msn.com; asruiz@gmail.com)

<sup>2</sup>Grupo de Pesquisa em Evolução Crustal e Tectônica - Guaporé, UFMT, Cuiabá, MT, BR (frpcampos@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade de Brasília - UnB, Instituto de Geociências, Brasília, DF, BR (roberta@unb.br)

Recebido em 04 de julho de 2016; aceito em 12 de junho de 2018

### Resumo

O Complexo Alcalino Planalto da Serra está alojado nas rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá, na Zona Interna da Faixa Paraguai, sendo composto de rochas ultramáficas alcalinas, como peridotitos, piroxenitos, carbonatitos, apatititos e bebedouritos. Os trabalhos iniciais indicavam formação desse complexo durante o Cretáceo, correlacionada ao magmatismo alcalino associado ao Lineamento Azimute 125°. Novos dados geocronológicos, obtidos pelos métodos de Rb/Sr, Ar-Ar e Sm/Nd, indicaram, no entanto, a idade de formação do complexo alcalino próximo a 600 Ma, remontando assim a um modelo de intrusão de diques e *stocks* diferente do já descrito. Com o intuito de compreender a relação entre as rochas alcalinas e o Grupo Cuiabá, tanto na relação temporal quanto ao modelo de intrusão, foram utilizados dois métodos de trabalho: o emprego de dados aerogeofísicos, gamaespectrometria e magnetometria, e o mapeamento litoestrutural nos sítios de ocorrência das intrusões alcalinas (Chibata e Lau-Massao). O alto contraste entre características magnéticas dos metassedimentos do Grupo Cuiabá e as rochas alcalinas permitiu a identificação e a delimitação de sete anomalias magnéticas relacionadas às intrusões alcalinas do Complexo Planalto da Serra. Baixos teores de potássio nos dados de gamaespectrometria permitiram delimitação dos corpos alcalinos. Feições como deformação penetrativa e reorientação mineral, presentes nas bordas de diques alcalinos, corroboram com modelo de intrusão sin a tardi-tectônica. A relação entre as idades, características deformacionais e metamórficas indica que os registros tectônicos verificados nas rochas alcalinas são correlatos aos observados nas rochas metamórficas do Grupo Cuiabá, Faixa Paraguai.

**Palavras-chave:** Complexo Alcalino Planalto da Serra; Grupo Cuiabá; Faixa Paraguai; Magnetometria; Gamaespectrometria; Deformação.

### Abstract

The Planalto da Serra Alkaline Complex is inserted in the metasediments of the Grupo Cuiabá and is composed by alkaline ultramafic rocks, such as peridotites, pyroxenites, carbonatites, apatitites and bebedourites. The first studies on the Planalto da Serra Alkaline Complex indicated that they were cretaceous rocks correlated to the alkaline magmatism occurring in Azimuth 125° lineament. However, recent geochronological studies, by the Rb/Sr and Sm/Nd methods, concluded that the age of the complex is about 600 My, reassembling, thus, an intrusion model of dikes and stocks, different from that already described. In order to understand the relation between the alkaline rocks and the rocks of Cuiabá Group, both in temporal relationship and in the question of intrusion model, two working methods were used: the geophysics, using gamma spectrometry and magnetometry, and the geological mapping, with lithostructural on the occurrences of alkaline intrusions (*Chibata and Lau-Massao*). The high contrast between magnetic characteristics of Cuiabá Group metasediments and the alkaline rocks allowed us to identify and delimit seven magnetic anomalies related to alkaline intrusions. Low potassium concentrations in gamma spectrometry data allowed mapping the alkaline bodies. Features such as penetrative deformation and mineral reorientation present in the edges of the alkaline dykes, corroborates with an intrusion model syn to tardi-tectonic. The relationship between age, structural and metamorphic characteristics indicates that the tectonic records verified in the alkaline rocks are correlated with those observed in the Cuiabá Group's metamorphic rocks, Paraguay Belt.

**Keywords:** Planalto da Serra Alkaline Complex; Cuiabá Group; Paraguay Belt; Magnetometry; Gamma spectrometry; Deformation.

## INTRODUÇÃO

Os complexos alcalinos são conhecidos em todos os continentes e ocorrem desde o Pré-Cambriano até o Cenozoico, porém se apresentam em um volume insignificante em relação a outras rochas da crosta terrestre. Apesar do pequeno volume, essas rochas possuem grande importância econômica como fonte de urânio, fosfato, elementos terras raras (ETR), entre outros.

O Complexo Alcalino Planalto da Serra (CAPS) está localizado na região de Nova Brasilândia e Planalto da Serra; este ocorre inserido em metassedimentos da Faixa Paraguai, em filitos e metaconglomerados do Grupo Cuiabá. Os corpos alcalinos intrudem os metassedimentos na forma enxame de diques com dimensões de 2 m de largura por 5 m de comprimento. O CAPS foi descrito primeiramente por Neder et al. (2005) e Pinho et al. (2005) como um conjunto de rochas ultramáficas-alcalinas relacionado ao Lineamento 125 da Província Alcalina de Poxoréu, relacionando, assim, essas rochas ao Período Cretáceo (Ormond, 2006). Contudo, novos estudos indicam que são rochas com idades mais antigas, de aproximadamente 600 Ma, e atribuem a intrusão do CAPS a períodos extensionais relacionados à separação entre o Laurentia e o Cráton Amazônico (De Min et al., 2013). Apesar de existirem trabalhos de mapeamento geológico sistemático na escala de 1:100.000 desenvolvidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM-SGB) (Lacerda Filho et al., 2004), trabalhos de graduação e pós-graduação (Ormond, 2006; Stropper, 2014) e estudos geocronológicos (Comin-Chiaromonte et al., 2014; De Min et al., 2013), a gênese do CAPS, assim como o modelo evolutivo e o controle estrutural, ainda permanece incompreendida.

Este trabalho teve como objetivo definir o controle estrutural e as condições metamórficas impostas às intrusões alcalinas e suas encaixantes. A aerogeofísica, particularmente a magnetometria e a gamaespectrometria, foi empregada com o propósito de definir e individualizar ocorrências já conhecidas, além de identificar novos corpos sem exposição, formato e profundidade das intrusões alcalinas, assim como os elementos litoestruturais das encaixantes que controlaram a colação dos corpos alcalinos, e também a caracterização magnética e gamaespectrométrica desses corpos. A utilização dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos, associados aos dados geológicos e estruturais, permitiu a definição do controle estrutural e metamórfico do Grupo Cuiabá e do CAPS.

## CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### Faixa Paraguai

A Faixa Paraguai é um cinturão de rochas dobradas e com cavalgamentos (Almeida, 1965), onde a intensidade da

deformação e do metamorfismo diminui em direção ao Cráton Amazônico. As regiões ausentes de metamorfismo correspondem a sedimentos de cobertura de plataforma. Alvarenga e Trompette (1993) denominaram três zonas estruturais, sendo elas: Zona Interna Metamórfica com Intrusões Graníticas (ZI), Zona Estrutural Externa Dobrada sem Metamorfismo (ZE) e Cobertura Sedimentar de Plataforma (CP). A ZI consiste em rochas com metamorfismo de baixo grau e dobramento isoclinal; a ZE possui dobramento aberto com sistemas de falhas reversas e é marcada pela inexistência de metamorfismo; e a CP consiste em rochas com suaves ondulações e metamorfismo inexistente (Figura 1).

Luz et al. (1980) dividiram a estratigrafia do Grupo Cuiabá em 8 subunidades, das quais as subunidades 1 e 2 são compostas de filitos intercalados com filitosgrafitos, mármore e metagrauvacas; as subunidades 3 e 5, por metaconglomerados, metarenitos e filitos gradacionais, metarcóseos e quartzitos; a subunidade 4, por metaconglomerados e metarritmitos arenopelíticos com “dropstones”; e as subunidades 6, 7 e 8, por filitos, metaconglomerados, quartzitos e mármore. Já as rochas da fase tectônica do evento foram separadas como Grupo Alto Paraguai. Tokashiki e Saes (2008) dividiram essas subunidades em formações, das quais as subunidades 1 e 2 compõem a Formação Campina de Pedras e representam a fase rift da orogenia; as subunidades 3, 4 e 5, e por vezes a 6, compõem a Formação Acorizal e tiveram seus sedimentos depositados em uma margem passiva; e as subunidades 6, 7 e 8 são separadas em Formação Coxipó, e suas deposições também ocorreram em um regime de margem passiva (Figura 2).

Vasconcelos (2014) apresenta um modelo no qual a tectônica é dominada por escamas de baixo ângulo de mergulho em uma fase inicial, seguida por duas fases deformacionais progressivas. A primeira fase é caracterizada por uma clivagem ardósiana plano axial das dobras isoclinais recumbentes e recristalização de minerais da fácies xisto verde. A segunda fase é caracterizada por uma clivagem de crenulação plano axial de dobras abertas de fase F2 que afeta  $S_0$  e  $S_1$ , localmente associada a falhas inversas. A terceira fase de deformação é caracterizada por falhas normais de alívio e fraturas subverticais. Com relação ao metamorfismo, a paragênese metamórfica indica uma deformação mais intensa em nível crustal mais profundo, na fácies xisto verde, durante a primeira fase de deformação. A fase F2 teve deformação mais sutil e comportou-se rúptil e ductilmente. A terceira fase foi menos intensa, acomodando a deformação na forma de falhas sinistrais subverticais.

O magmatismo alcalino associado ao magmatismo toleítico Paraná ocorreu restrito ao Cretáceo e à colocação de complexos de lavas alcalinas, alcalino-carbonatíticas, diques e soleiras pre, sin e pós-fases toleíticas. Esse magmatismo

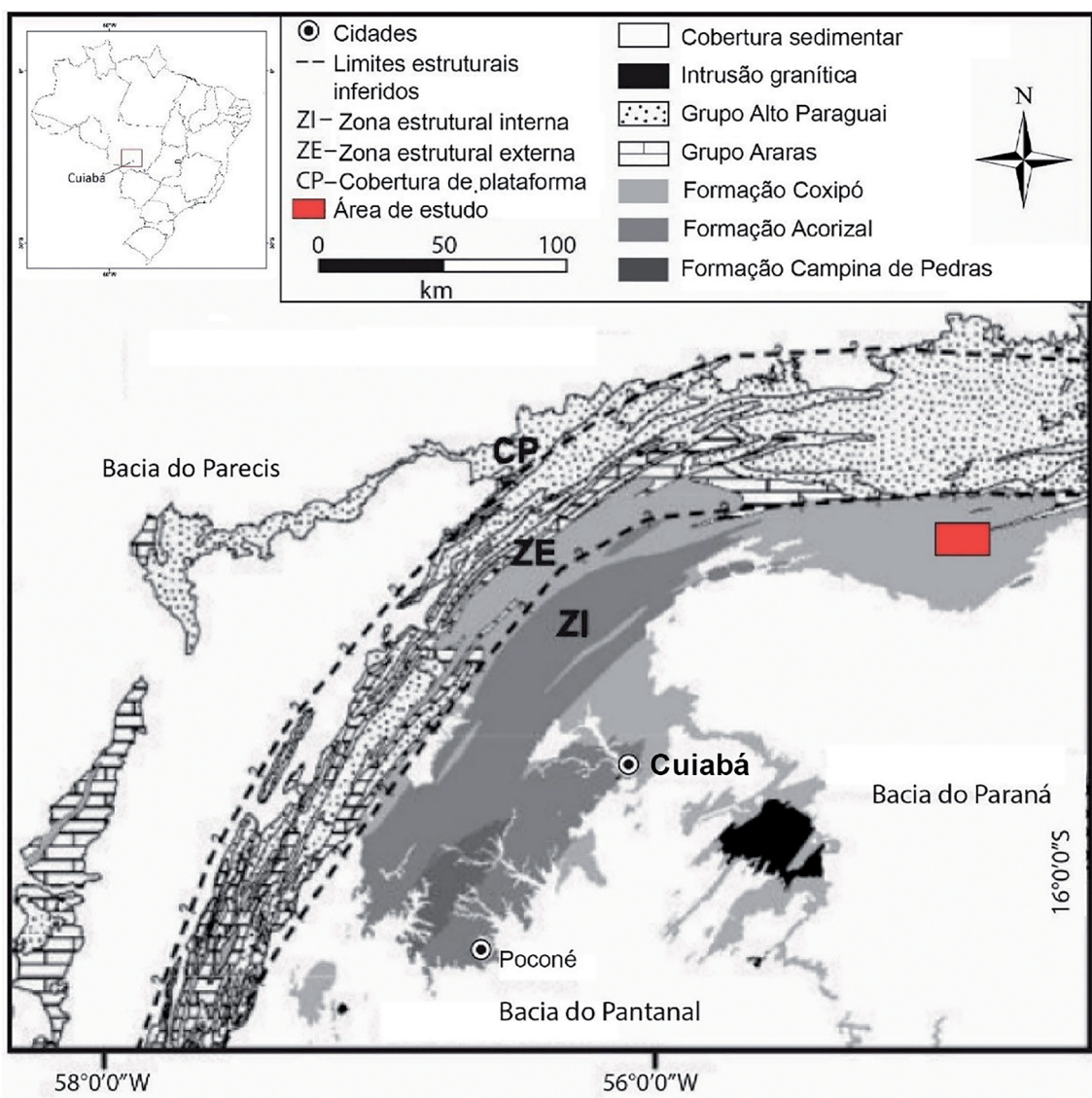
tem as principais ocorrências dentro e ao redor da Bacia do Paraná (Comin-Chiaramonti e Gomes, 2005).

Da costa do Rio de Janeiro até o estado de Rondônia está o Lineamento Azimute 125°, um dos principais lineamentos presentes na plataforma sul-americana; contidos nesse lineamento estão o complexo alcalino carbonatítico, complexos ultramáfico-alcalinos e kimberlitos com idades de intrusão entre 80 e 90 Ma (Bardet, 1977).

Pinho et al. (2005), Neder et al. (2005) e Ormond (2006) descreveram as rochas ultramáficas-alcalinas de Planalto da Serra, compostas por glimeritos e carbonatitos intrudindo meta-arenitos, metassiltitos e filitos do Proterozoico. Ormond (2006) sugeriu Período Cretáceo

para as rochas do CAPS, principalmente por sua proximidade ao “Azimute 125”.

Estudos recentes (De Min et al., 2013), por meio de idades de cristalização obtida pelos métodos de Rb/Sr, Sm/Nd e Ar/Ar, indicam idades de  $598 \pm 9$ ,  $570 \pm 72$  e  $604 \pm 12$  Ma, respectivamente, alterando assim a idade de intrusão do complexo alcalino para o Ediacarano. Com essas novas idades disponíveis, as rochas do CAPS são correlacionadas às rochas do tipo K-alcalinas-carbonatíticas presentes no Rift Rio de Cavalos, localizado na região de Planalto da Serra, que possuem idades de 600 Ma e podem ser consideradas como parte de eventos do Ciclo Brasileiro.



Fonte: modificado de Lacerda Filho et al., 2004.

**Figura 1.** Compartimentação estrutural da Faixa Paraguai. Com localização da área de estudo.

## MÉTODOS DE PESQUISA

### Geofísica

#### *Dados magnetométricos e gamaespectrométricos*

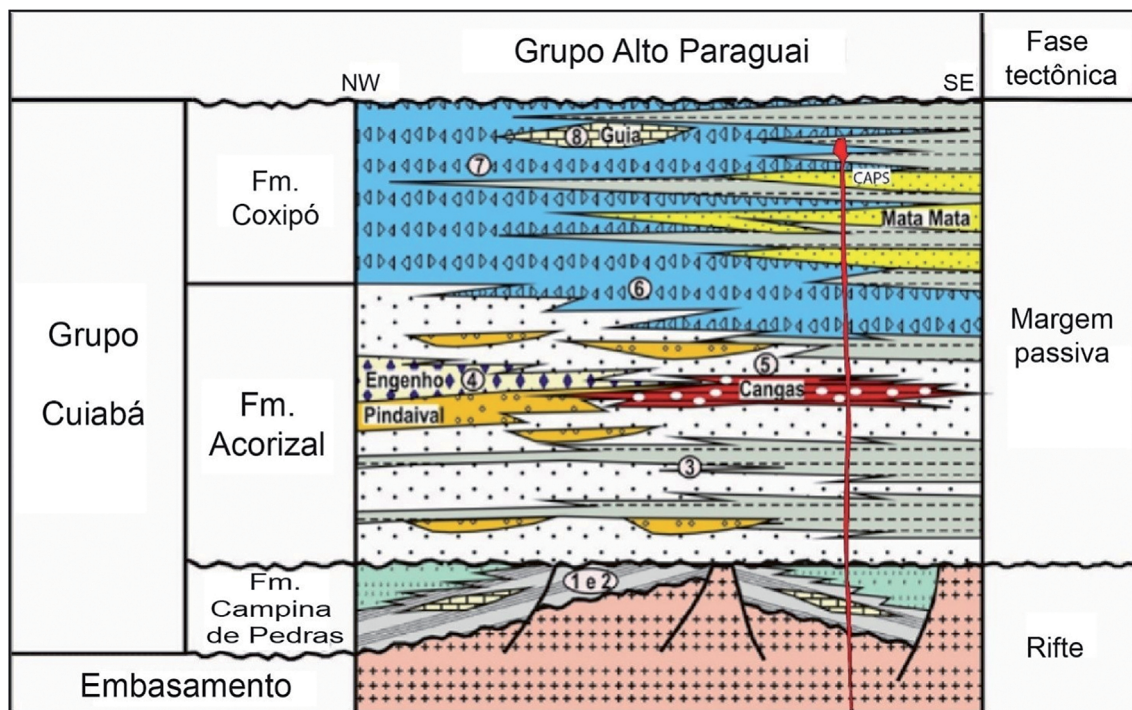
Neste trabalho foram utilizados os métodos magnetométrico e gamaespectrométrico com dados de alta resolução do projeto aerogeofísico Mato Grosso — Área 1, com linhas de voo e de controle espaçadas de 0,5 e 10,0 km, respectivamente, orientadas nas direções N-S e E-W. A altura nominal de voo foi de 100 m sobre o terreno. As aquisições foram realizadas entre 12 de dezembro de 2006 e 23 de março de 2007 (Mourão, 2007). Os dados geofísicos foram disponibilizados pelo CPRM na forma de banco de dados para utilização acadêmica. Os dados magnetométricos já haviam sido pré-processados, com todas as correções referentes à aquisição, ao nivelamento, ao micro-nivelamento e à correção do *International Geomagnetic Reference Field* (IGRF) realizadas. Este processamento teve início a partir do campo magnético anômalo. Os dados gamaespectrométricos também já haviam sido processados.

Para a geração dos produtos geofísicos apresentados neste trabalho foi utilizado o *software* Oasis Montaj da Geosoft, versão 8.0, na Universidade de Brasília (UnB).

A magnetometria é um método geofísico que mede o resultado da interação do campo geomagnético e das rochas

presentes na crosta terrestre. A resposta das rochas com relação ao campo magnético terrestre varia de acordo com a composição mineral, a geometria do corpo, a polaridade e a remanência magnética, permitindo a análise da geologia por meio da interpretação de dados magnéticos. Após a interpolação pelo Método de Interpolação de Dados Geofísicos Bi-direcionais (BIGRID) foram aplicados filtros para o realce do sinal de forma a permitir a caracterização de feições magnéticas. Para a interpretação desses dados recomenda-se produzir mapas e imagens realçando dados por meio de filtragem e transformações digitais (Isles e Rankin, 2013). Neste trabalho utilizou-se a anomalia magnética (AM), primeira derivada vertical (DV), sinal analítico 3D (SA3D) e derivada *Tilt* (TDR). O SA3D pode ser utilizado para a identificação dos limites de corpos magnéticos quando a razão tamanho do corpo e sua profundidade corresponder a 0,1 e não houver remanência (Li, 2006; Isles e Rankin, 2013). A TDR (Miller e Singh, 1994) foi aplicada para delimitar as bordas de fontes relacionadas com contatos magnéticos geológicos e trama estrutural.

A gamaespectrometria é um método geofísico que tem como objetivo estimar as concentrações de potássio, equivalentes de tório e urânio nas rochas, a partir da medida da radiação gama natural emitida por seus radioisótopos, que ocorrem na crosta terrestre. Esse decaimento radioativo é um processo natural e espontâneo no núcleo de isótopos radioativos instáveis, que se transmutam e formam núcleos



Fm: Formação; CAPS: Complexo Alcalino Planalto da Serra.  
Fonte: Tokashiki e Saes (2008).

**Figura 2.** Estratigrafia do Grupo Cuiabá na Baixada Cuiabana.

mais estáveis. Como produto desse decaimento, radiação gama é liberada no meio e pode atravessar até 30 cm de rocha e várias centenas de metros no ar, o que viabiliza a utilização desse método em levantamentos radiométricos aéreos (Minty, 1997). Com os dados obtidos e conhecendo o comportamento geoquímico dos elementos e da relação com as rochas, é possível relacionar suas concentrações à geologia de uma determinada área. Por meio dos teores de K, eTh e eU foi gerado o mapa de composição ternária RGB (*red-green-blue*) para delimitar áreas com diferentes composições (Jacques et al., 1997).

## Geologia

Inicialmente, foi realizado um estudo do acervo bibliográfico disponível na região e aquisição de imagens de Geocover de satélite e de relevo digital para interpretação do contexto litoestrutural, e apoio ao trabalho de checagem de campo. As atividades realizadas foram o reconhecimento da área, dos litotipos, das relações de contato e das estruturas presentes, juntamente com a coleta de dados estruturais e geológicos. Foram visitados 42 afloramentos e coletadas 33 amostras de rocha; foram confeccionadas e descritas 20 lâminas delgadas no Laboratório de Laminação e Ótica

Petrográfica da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Faculdade de Geociências. Os dados estruturais foram tratados estatisticamente pelo programa *OpenStereo 0.1.2* (Grohmann et al., 2011).

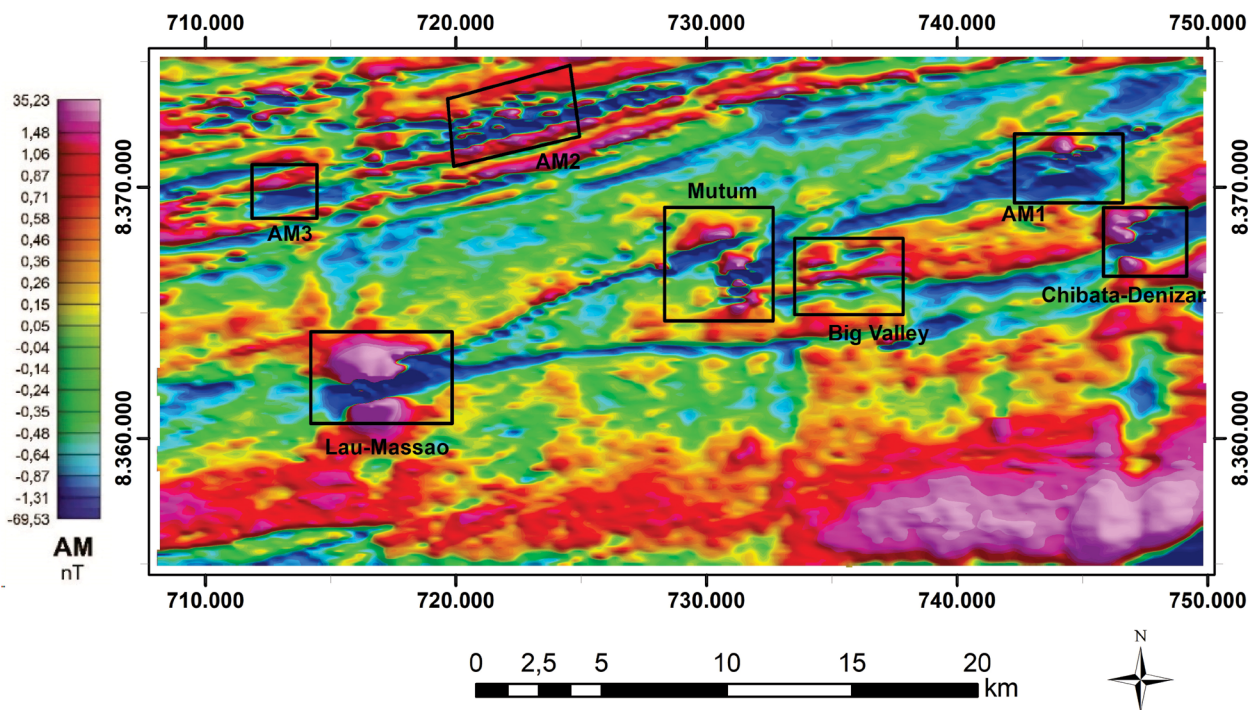
Os levantamentos de campo foram concentrados nas ocorrências Lau-Massao e Chibata, que permitiram a melhor definição da relação encaixante *versus* intrusão.

## RESULTADOS

### Aerogeofísica

#### *Anomalias magnéticas*

A análise dos produtos de realce dos dados magnetométricos permitiu a caracterização de dois domínios que correspondem às principais feições das rochas do Grupo Cuiabá na região, onde há evidente variação nas anomalias magnetométricas relacionadas às diferentes litologias. Os filitos apresentam baixa amplitude magnética, seguindo o *trend* regional da Faixa Paraguai. Já nos metaconglomerados a amplitude do sinal é mais elevada, respeitando também o *trend* regional, e as anomalias geradas pelo complexo alcalino se destacam (Figuras 3).



AM: anomalia magnética.

**Figura 3.** Mapa de anomalia magnética com a identificação das intrusões associadas. Os polígonos pretos representam os alvos com as anomalias relacionadas às intrusões alcalinas caracterizadas neste trabalho. Os cinco alvos inferiores (Lau-Massao, Mutum e Big Valley, AM1 e Chibata-Denizar) possuem características aflorantes. Os alvos a noroeste foram estimados exclusivamente por dados geofísicos.

Foram identificados no mapa de AM (Figura 3) cinco alvos principais com AMs e dois alvos secundários. Nos mapas do SA3D, os sete alvos atingiram valores de até 0,0134 nT/m. Essas fontes magnéticas foram correlacionadas às ocorrências das rochas alcalinas pelo amplo contraste magnético em relação às rochas encaixantes do Grupo Cuiabá. Como o CAPS ocorre em um volume pequeno de rochas expostas, a aplicação da geofísica permitiu estimar, de modo mais apurado, o tamanho de cada um dos corpos alcalinos já descritos anteriormente por meio de mapeamentos geológicos da região. Por meio dos produtos geofísicos fica clara a ocorrência de AMs correlacionadas aos corpos alcalinos alinhados no eixo de uma dobra sinclinal, com sentido principal do lineamento NE-SW em uma extensão aproximada de 35 km. A anomalia correspondente à intrusão Chibata-Denizar possui amplitude de 23,8 nT no mapa do campo magnético anômalo e encontra-se um pouco afastada do *trend* principal das intrusões Lau-Massao, e Mutum e Big Valley, com valores de 62 e 15 nT, respectivamente. Além dos corpos já conhecidos identificados anteriormente, AMs observadas nos mapas AM e SA3D possibilitaram a identificação de outras três fontes magnéticas, chamadas de AM1, AM2 e AM3. A AM1 se localiza ao norte da intrusão Chibata-Denizar e possui amplitude de 10,5 nT. Fazendo uma correlação entre dados geofísicos e dados geológicos das intrusões alcalinas já estudadas da área, sugerimos que a AM1 é uma intrusão com as mesmas características dos alvos Lau-Massao, Mutum e Big Valley. Já a AM2 e a AM3, que se encontram na porção noroeste da área, com amplitudes magnéticas de 16,2 e 6,8 nT, respectivamente, foram inferidas exclusivamente pelos dados geofísicos.

Com o objetivo de estimar a profundidade e os limites das fontes magnéticas da área, principalmente as geradas pelas rochas-alvo do estudo, foi realizada a deconvolução de *Euler* (Thompson, 1982; Reid et al., 1990). Utilizamos para isso índice estrutural 2 em função do objetivo de se localizar a profundidade das fontes magnéticas associadas às anomalias ocasionadas pela presença das rochas alcalinas. Os resultados da deconvolução para toda a área de estudo indicaram profundidades para oito fontes magnéticas, sendo que a localização de sete delas, correspondente aos corpos alcalinos e a uma fonte, ao sul da área, não está correlacionada às rochas do CAPS. Assim sendo, foi feita a opção de realizar a deconvolução localizada em cada alvo (Figura 5), para se ter um melhor controle, já que possuem localização e aspectos até então distintos entre eles, que serão apresentados nos capítulos de geologia. Quatro alvos foram definidos para apresentação das nuvens de solução da deconvolução de *Euler*, são eles:

- intrusão Lau-Massao, que aponta para profundidades de até 400 m, aproximadamente;
- intrusão Chibata-Denizar, que possui a maior profundidade da fonte magnética, de até 600 m;

- na região do Alvo AM1, foram obtidas soluções para a fonte magnética de até 425 m;
- a profundidade da fonte magnética onde ocorre a intrusão Mutum e Big Valley possui registro de profundidades de até 340 m.

Nota-se que em dois dos alvos, especificamente no alvos Mutum e Big Valley e Chibata-Denizar, as fontes indicam associação a um sistema linear análogo à estrutura da Faixa Paraguai. Para todos os alvos houve uma nuvem de solução de profundidades menores do que 100 m, relacionadas exatamente às maiores anomalias, representadas pelas cores de níveis verde e azul (Figura 5).

Os resultados para os outros corpos que estão sendo discutidos neste trabalho (Figura 4) e que ainda não foram mapeados em superfície apresentaram profundidades das fontes magnéticas de até 500 m para os corpos AM2 e AM3. Apesar da ocorrência em superfície de corpos alcalinos referentes às AMs dos alvos Lau-Massao, Mutum e Big Valley e Chibata-Denizar, o volume dessas ocorrências é escasso se comparado às informações obtidas pelos dados geofísicos para esses corpos.

#### *Gamaespectrometria*

Com os dados de gamaespectrometria de potássio, equivalente de à de urânio e à de tório, foi gerado um mapa ternário que foi utilizado como uma ferramenta de mapeamento geológico. O mapa gerado mostra com grande clareza a diferença entre as litologias que compõem a área, onde nas regiões de ocorrência de filitos observa-se altos teores de K, eTh e eU, gerando bom contraste com os metaconglomerados. Essas características permitiram a demarcação dos contatos entre essas duas litologias que compõem grande parte da área. Nas regiões onde ocorrem as intrusões do CAPS, notam-se variações significantes, registrando baixos teores de potássio. Os baixos valores desse elemento também são utilizados como critério para delimitação das áreas de ocorrência das rochas alcalinas.

Além da clareza na demarcação dos contatos entre as litologias, é possível identificar dobras em escala regional que estão presentes na área; juntamente com dados geológicos obtidos durante a fase de campo, foi possível separar as litologias da Formação Coxipó (Tokashiki e Saes, 2008) (Figura 6).

#### **Geologia e deformação**

Situada na zona interna da Faixa Paraguai, as ocorrências das intrusões alcalinas são alojadas em rochas metamórficas do Grupo Cuiabá, que nessa região é constituído por filitos, metaconglomerados e metarenito. O filito é cinza, possui laminação sedimentar preservada e clivagem ardósiana

bem desenvolvida. Os metaconglomerados são compostos por uma matriz muito fina e clastos variegados que vão de 0,5 a 8 cm, e a variação do  $S_0$  é marcada pela mudança da granulometria e pela quantidade de clastos. Os metarenitos ocorrem em lentes de até 50 cm de espessura com granulometria fina a muito fina. Estruturalmente, o Grupo Cuiabá na região estudada é constituído por dobras quilométricas, abertas a fechadas, assimétricas, com eixo/linha de charneira com caimento entre 10 e 16° para nordeste. As intrusões alcalinas estudadas (Lau-Massao e Chibata) estão associadas a uma dobra antiformal, aberta, com caimento suave, em torno de 10° para NEE. Zonas de cisalhamentos reversas são individualizadas nos flancos das dobras regionais.

As rochas metamórficas descritas anteriormente exibem foliação penetrativa como uma clivagem ardosiária nos metapelitos e xistosidade ( $S_1$ ) nos metaconglomerados, e possuem uma atitude média de 170/80 (Figuras 7, 8A a 8C). Dobras menores e parasíticas são observadas preferencialmente nos flancos das dobras regionais (Figura 8D).

Há registros de uma segunda fase de deformação, que provoca a formação de crenulações e lineações de intersecção localizadas (Figura 8D).

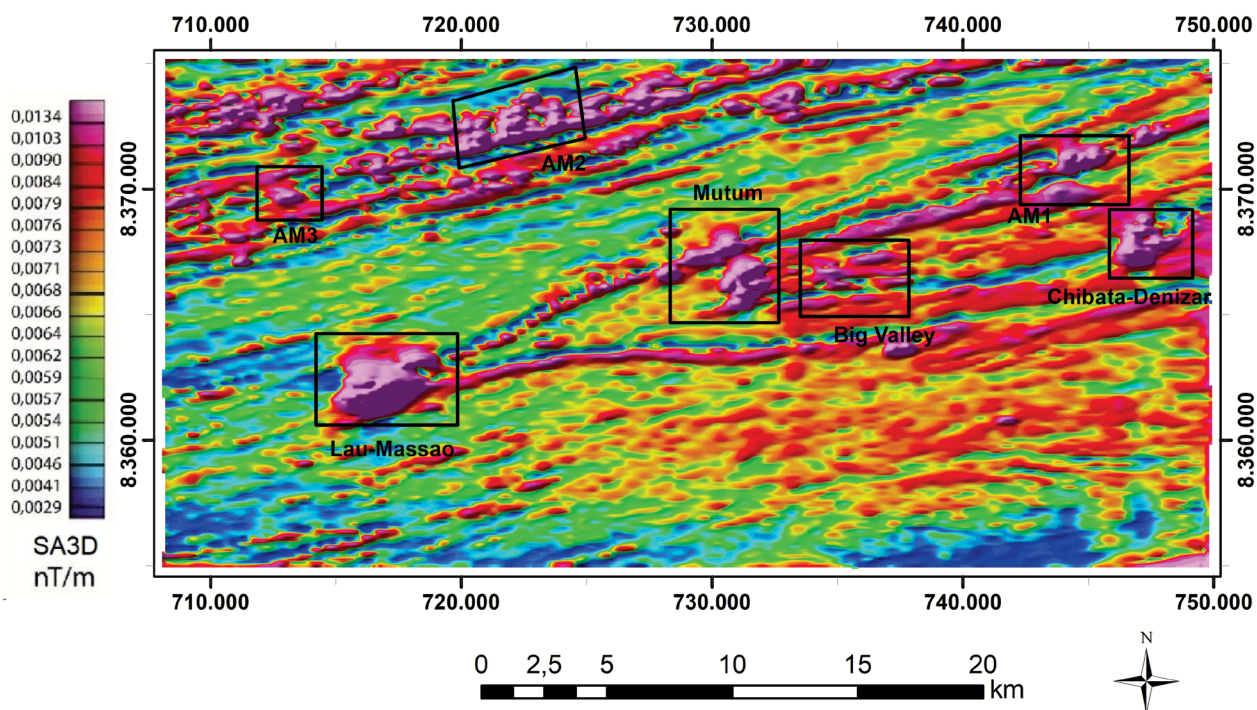
O acamamento ( $S_0$ ) nessa região, em escala de afloramento, é marcado pela diferença de cores e frações granulométricas nos sedimentos — a variação de cores é sempre

mais aparente nas argilas e as variações granulométricas, em metaconglomerados (Figuras 8B e 8D).

Os principais mecanismos de desenvolvimento dessa foliação é a recuperação por deformação intracristalina de clastos e blastos de quartzos e a recristalização dinâmica marcada pela formação da sombra de pressão e rotação de clastos (Figuras 9A e 9B).

Na região de ocorrência da intrusão Lau-Massao, a zona de charneira é marcada pela relação quase perpendicular entre a foliação das rochas e o acamamento (Figura 10), onde o  $S_0$ , do Grupo Cuiabá, tem uma atitude de 108/27, e o  $S_1$ , das rochas alcalinas, uma atitude de 171/82 (Figuras 11A, 11B e 11C), atitude esta que coincide com o  $S_1$  da encaixante. As rochas do CAPS ocorrem como corpos intrusivos na forma de diques e possuem de 50 cm a 2 m de largura e até 5 m de comprimento (Figura 11D). Estes estão contidos em zonas de fraqueza geradas na zona da charneira da dobra e são orientados paralelamente à foliação principal e de maneira discordante ao  $S_0$  das encaixantes, conforme os blocos diagramas (Figura 12).

Na região da intrusão Chibata, a relação entre o  $S_0$  e o  $S_1$  da rocha encaixante está oblíqua, sendo que o  $S_0$  tem uma atitude, nessa região, de 335/46, e o  $S_1$ , com uma atitude de 172/76, indica uma área que está entre a zona de charneira e o flanco da dobra (Figuras 13A e 13B). Diferentemente da



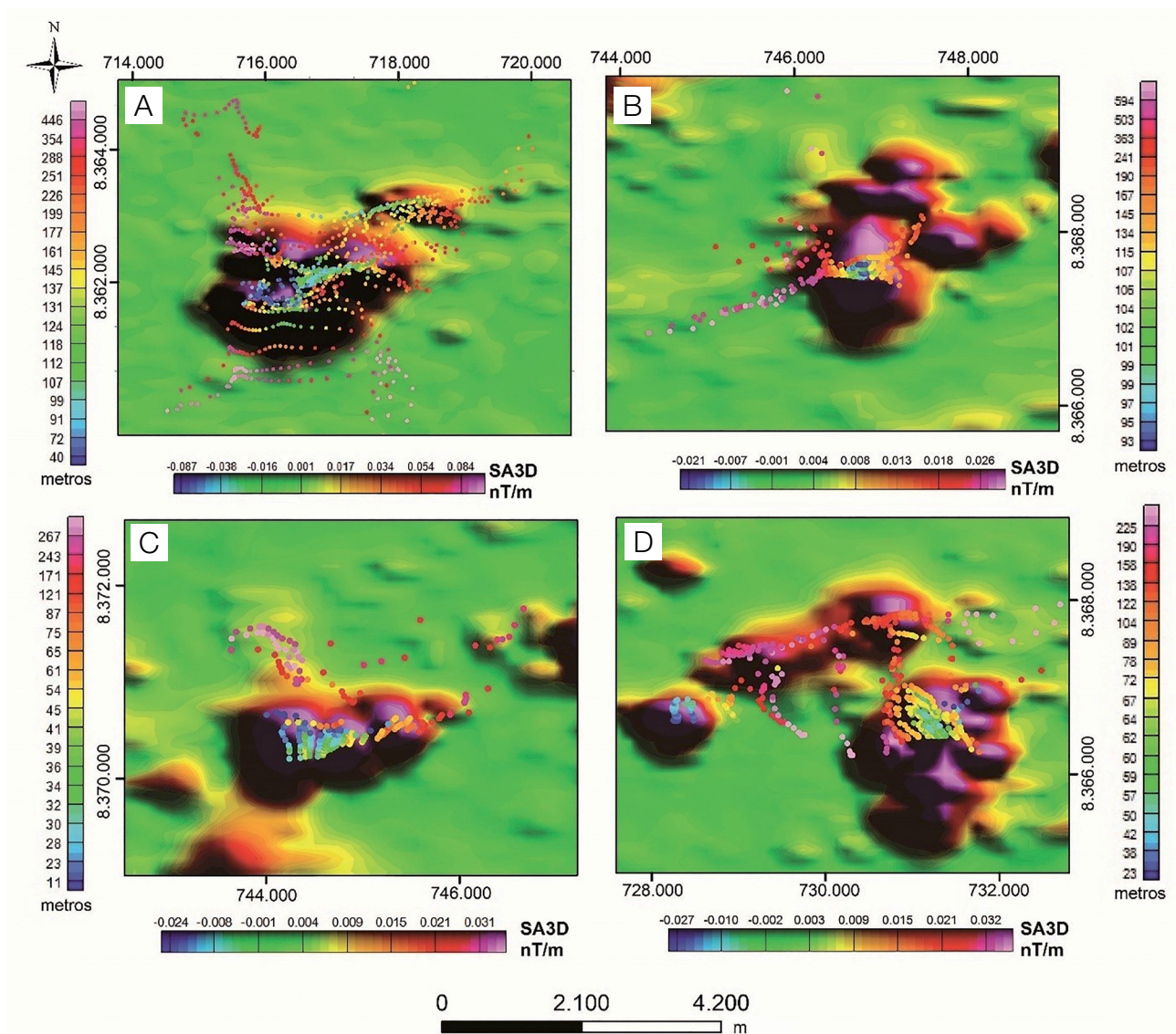
SA3D: sinal analítico 3D, AM: anomalia magnética.

**Figura 4.** Sinal analítico 3D, ressaltando os altos gradientes nas anomalias relacionadas às intrusões conhecidas (Lau-Massao, Mutum e Big Valley e Chibata-Denizar) e aos novos alvos selecionados (AM1, AM2 e AM3).

intrusão Lau-Massao, os corpos que compõem a intrusão Chibata intrudiram as rochas do Grupo Cuiabá de forma concordante ao acamamento, aproveitando região de fraqueza entre o contato do filito com o metaconglomerado.

Nota-se nas bordas de alguns diques foliação penetrativa, concordante com a foliação da encaixante, sugerindo que os diques sofreram os mesmos esforços tectônicos regionais observados no Grupo Cuiabá. A natureza incipiente da foliação nas intrusões alcalinas pode ser explicada pelo comportamento reológico mais resistente à deformação plástica dos diques alcalinos.

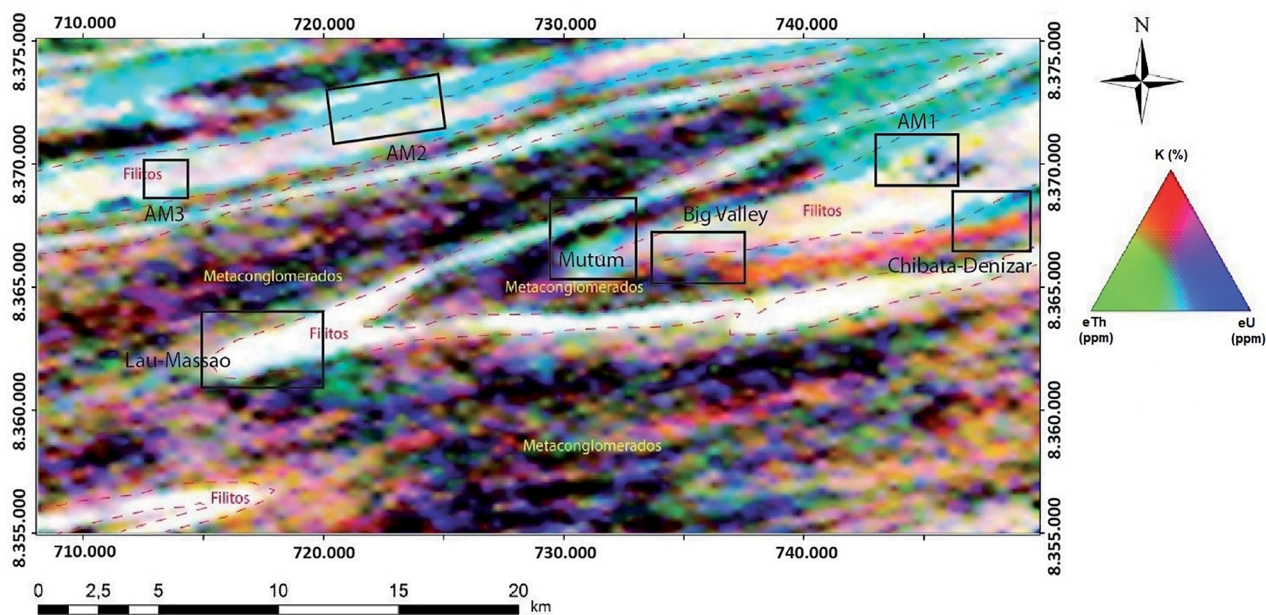
Onde é mais visível a foliação nas bordas dos diques alcalinos, ao microscópio foi possível a observação de lamelas de tetraferrihogopitas orientadas nos diques, porém esses cristais foram interceptados pela foliação, gerando septos e microlithons que ocorrem localmente na rocha, onde esses últimos são compostos por clorita e tetraferrihogopita primária, e o septo, que representa a foliação  $S_1$ , é constituído por uma massa carbonática. Nota-se também uma segunda família de tetraferrihogopitas que tiveram seu crescimento paralelo à foliação  $S_1$  (Figuras 14A e 14B).



SA3D: sinal analítico 3D.

**Figura 5.** Mapas do sinal analítico 3D com as soluções das profundidades das fontes magnéticas dos alvos: (A) Lau-Massao; (B) Chibata-Denizar; (C) AM1; (D) Mutum e Big Valley. As profundidades foram estimadas por meio da deconvolução de Euler, com índice estrutural 2 e tamanho de janela de 1.875 m, e são representadas nas legendas verticais.





AM: anomalia magnética.

Figura 6. Mapa ternário de potássio, urânio e tório para as ocorrências de rochas alcalinas do Complexo Alcalino Planalto da Serra.

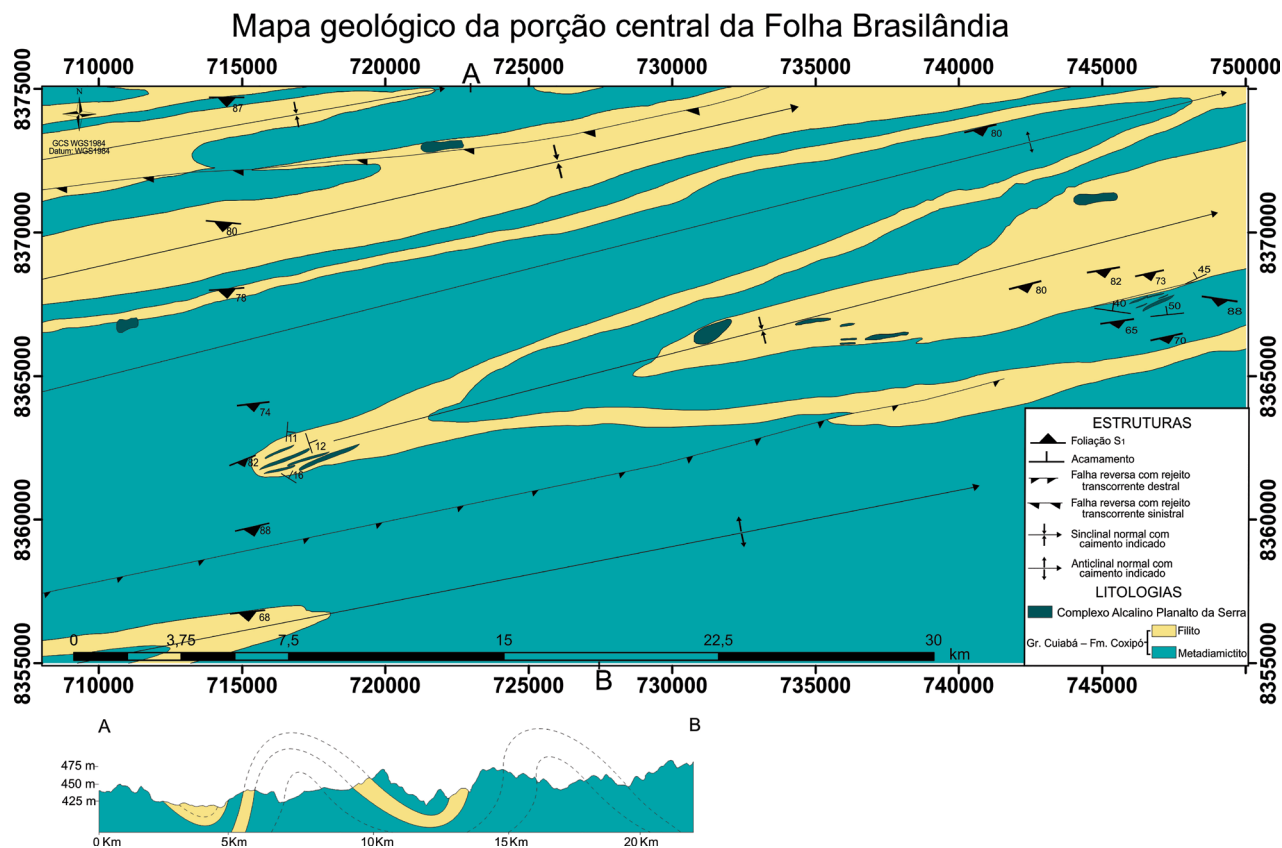
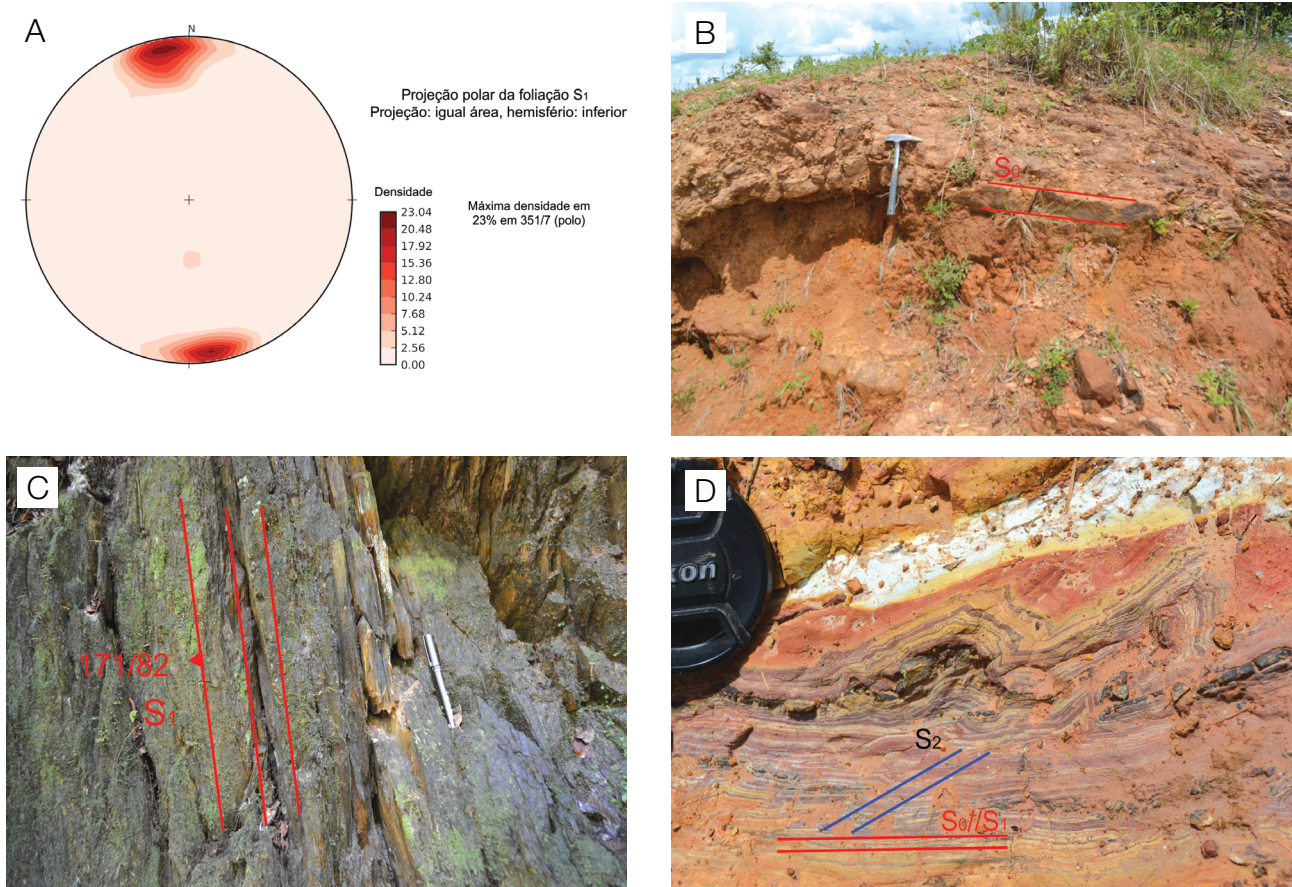


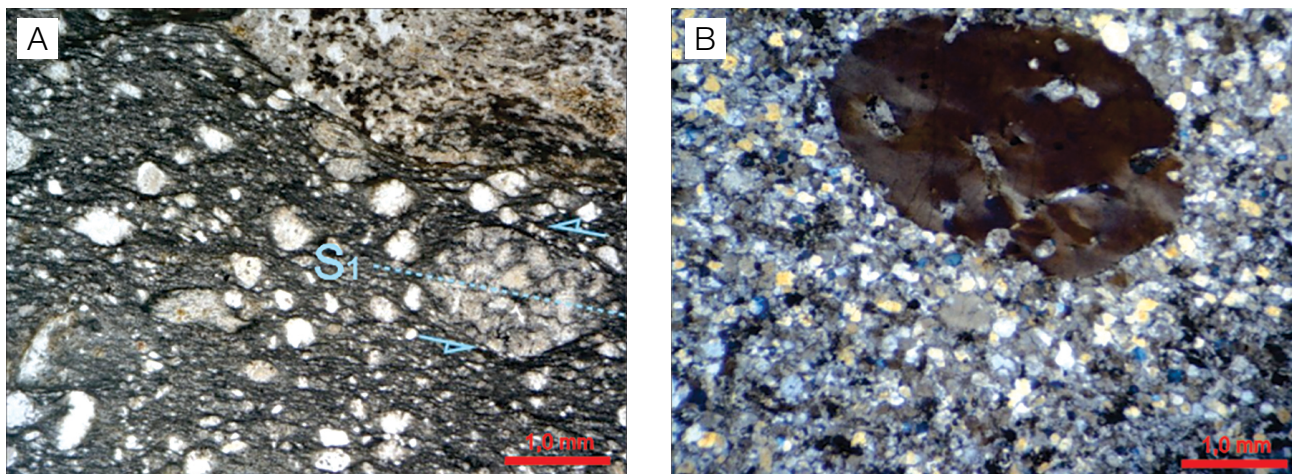
Figura 7. Mapa geológico do Grupo Cuiabá e das intrusões do Complexo Alcalino Planalto da Serra na área de estudo.

Em toda a região ocorrem fraturas e veios ortogonais à foliação regional, geralmente com atitude de 270/55. Os veios são predominantemente de quartzo e a região

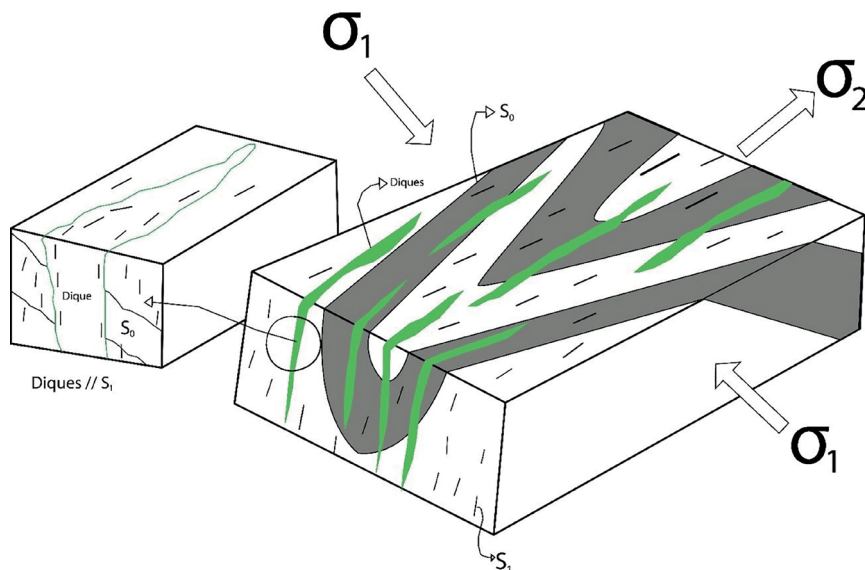
onde existem os corpos alcalinos é preenchida por um material fibroso com crescimento, com uma orientação de 70/16. (Figura 15).



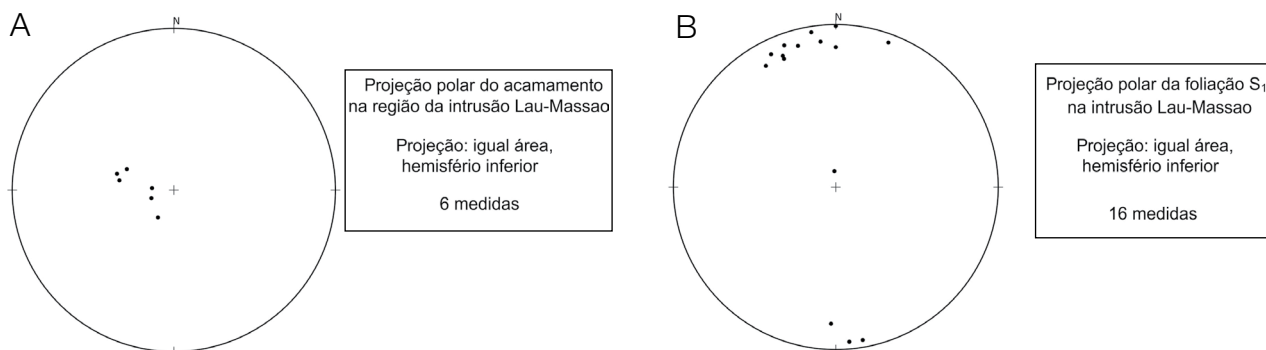
**Figura 8.** (A) Projeção estereográfica polar de  $S_1$  das rochas do Grupo Cuiabá na região; (B) variação granulométrica entre uma camada de areia e argila, marcando  $S_0$ ; (C) foliação principal nas rochas da região; (D)  $S_0$  e  $S_1$  paralelos redobrados por  $S_2$ .



**Figura 9.** (A) Sombra de pressão com rotação de um clasto em metaconglomerado; (B) neoformação mineral de quartzo sofrendo deformação marcada pela extinção ondulante presente no porfiroclasto.



**Figura 10.** Bloco diagrama ilustrando a forma de ocorrência dos diques na intrusão Lau-Massao e a relação com a da sinforma regional no Grupo Cuiabá.



**Figura 11.** (A e B) Projeções estereográficas polares de  $S_0$  e  $S_1$ , respectivamente, na região da intrusão Lau-Massao; (C) relação entre  $S_0$  e  $S_1$ , indicando zona de charneira de uma dobra; (D) ocorrência das rochas alcalinas na forma de diques orientados, de acordo com o  $S_1$  da região.

### Mapa geológico e perfil A-B da intrusão Lau – Massao

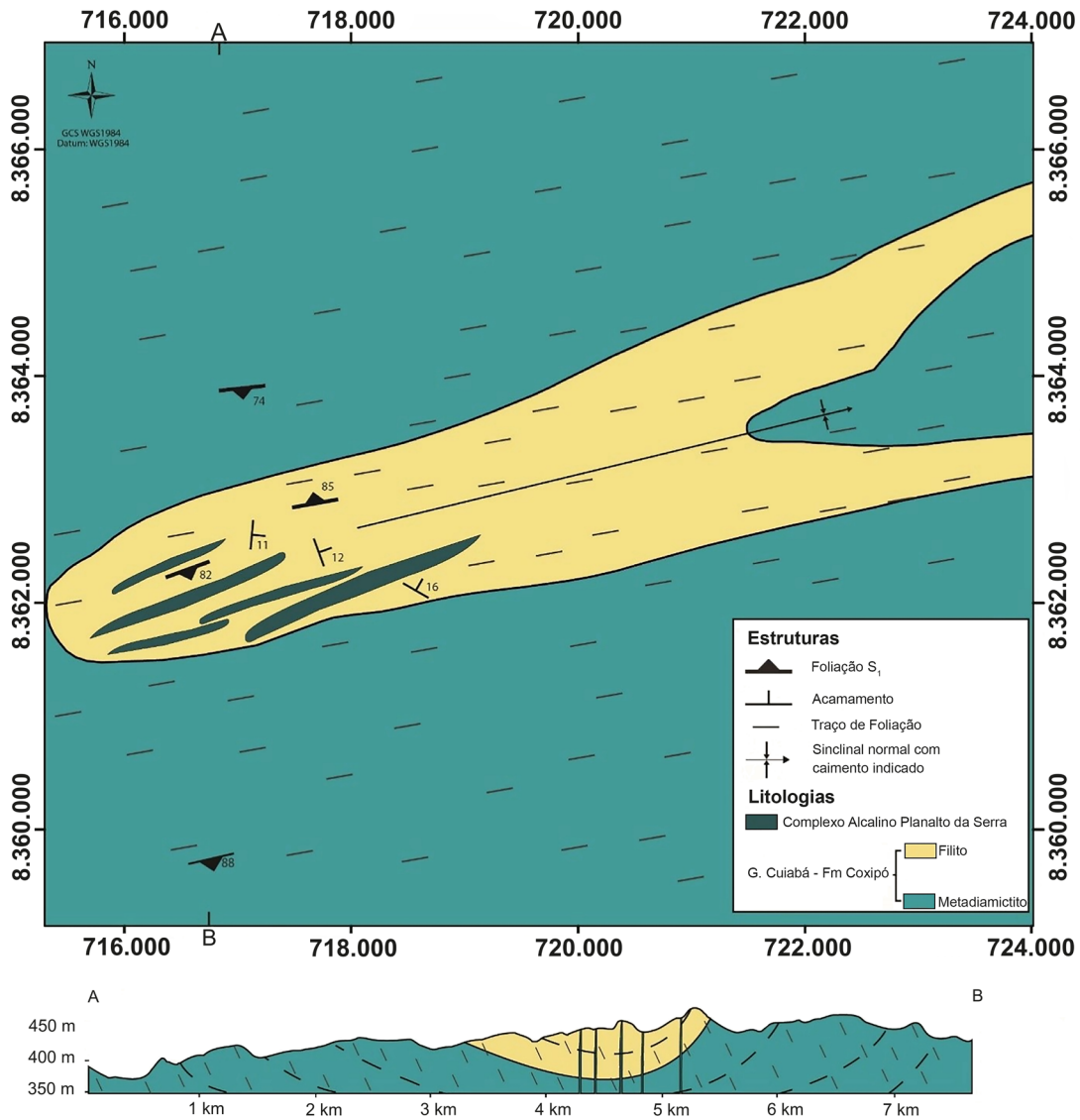


Figura 12. Mapa geológico em detalhe da intrusão Lau-Massao e perfil geológico A-B.

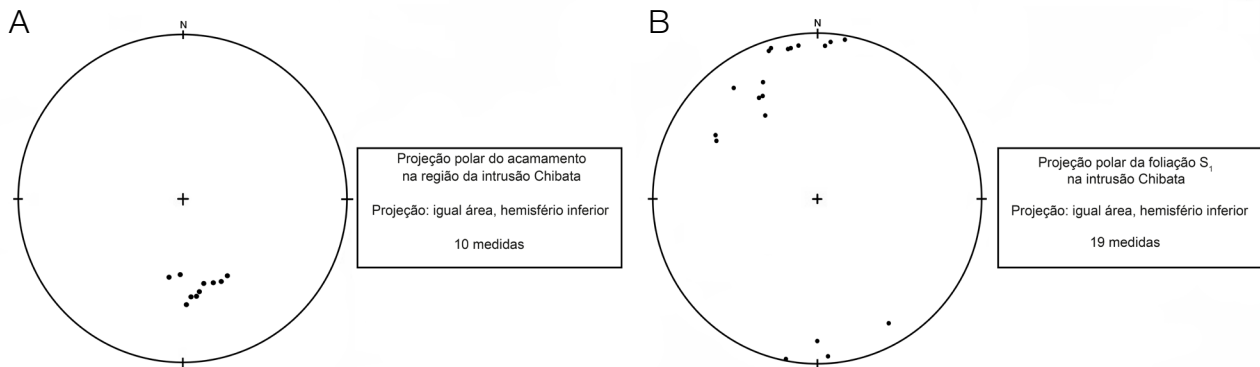


Figura 13. Projeções estereográficas polares de  $S_0$  e  $S_1$ , respectivamente, na região da intrusão Chibata.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O CAPS formou-se por um evento magmático muito particular na história evolutiva da Faixa Paraguai e da aglutinação do supercontinente Gondwana. Do ponto de vista estratigráfico, o Grupo Cuiabá é correlato à formação Coxipó, segundo Tokashiki e Saes (2008). As rochas dessa unidade foram inicialmente descritas com idades entre 80 e 90 Ma (Ormond, 2006), porém os dados obtidos neste trabalho, análises estruturais correlacionadas a interpretações das anomalias magnetométricas, deixam evidente a relação direta entre as intrusões alcalinas e as rochas do Grupo Cuiabá.

Por meio dos dados geofísicos, no mapa do SA3D foi possível identificar as anomalias responsáveis pelos alvos até então conhecidos: Lau-Massao, Chibata-Denizar, Mutum e Big Valley. Com a aplicação do método de deconvolução de Euler foi possível quantificar as soluções das fontes magnéticas para estimar as profundidades dos corpos. No geral, as soluções não passaram de 500 m de profundidade, e para todos os alvos analisados houve uma concentração de soluções rasas menores que 100 m.

Além dos corpos alcalinos já cartografados e previamente estudados, foram discriminadas outras 3 ocorrências, denominadas AM1, AM2 e AM3. Esses corpos foram reconhecidos principalmente com base na sua assinatura gamaespectrométrica e magnetométrica em analogia com as anomalias relacionadas aos corpos aflorantes. Para essa identificação foram utilizados as AMs e os baixos teores de potássio, um padrão previamente apresentado por Stropper (2014) para as rochas do complexo. Além das informações obtidas pela aerogeofísica, o controle estrutural das intrusões foi analisado, contribuindo para a definição dessas novas ocorrências de corpos alcalinos, sem afloramentos.

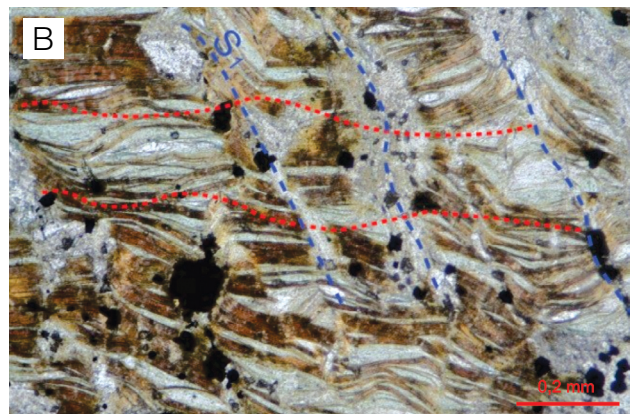
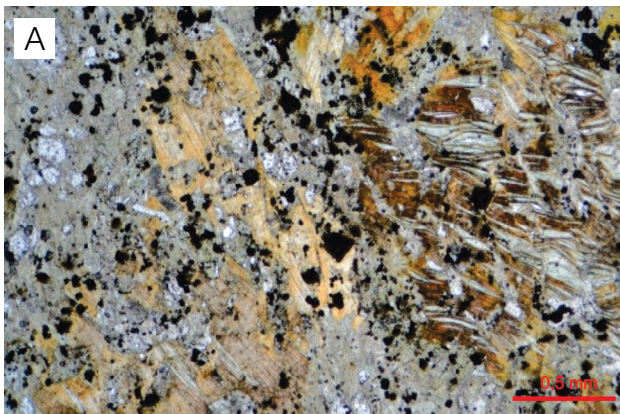
As intrusões Lau-Massao, Mutum e Big Valley e AM1 ocorrem principalmente em zonas de charneira de uma dobra

regional, e a colocação desses corpos se deu por meio de fraturas geradas preferencialmente na zona de charneira da dobra antiforma regional. O enxame de diques alcalinos, principalmente na ocorrência Lau-Massao, situa-se na zona apical de uma dobra sinformal e possui uma orientação perpendicular ao  $S_0$  e paralelo ao  $S_1$  regional. O contexto estrutural das intrusões Chibata-Denizar e AM3 é diferente do das outras, pois os diques que compõem essas intrusões são paralelos à foliação regional  $S_1$  e ao acamamento sedimentar  $S_0$ .

Os diques que compõem essa intrusão, por sua vez, possuem maior dimensão no sentido E-L, concordando com o  $S_1$  regional, e são paralelos aos  $S_0$  da área. A ocorrência AM2 está localizada mais ao norte da área e próxima a uma zona de cisalhamento com cinemática sinistral, porém o controle estrutural e o modelo de intrusão desse corpo são algo de difícil caracterização, pois esses corpos também estão próximos a zonas de contato entre camadas, como ocorre no alvo Chibata-Denizar; a falta de afloramentos dessa intrusão dificulta a precisão de sua



**Figura 15.** Rocha alcalina com veios ortogonais à foliação preenchidos por veios fibrosos (as fibras são paralelas à direção de estiramento regional).



**Figura 14.** (A) Deformação em cloritas e tetraferrihogopitas primárias e neocrescimento de tetraferrihogopitas, segundo a direção de  $S_1$ ; (B) microlithons compostos de clorita e tetraferrihogopita primária e septos marcados pelo preenchimento de carbonatos.

caracterização. Nas bordas dos diques da intrusão Lau-Massao, onde a deformação é mais visível em campo, foram identificadas microestruturas deformacionais como crenulação e reorientação mineral, que indicam o caráter deformado e metamórfico dos diques alcalinos.

Com os dados estruturais e petrográficos das encaixantes e dos diques alcalinos, associados à idade em torno de 600 Ma para as intrusões (De Min et al., 2013), pode-se concluir que o CAPS não está relacionado à evolução do Lineamento Azimute 125°, como preconizam Neder et al. (2005) e Pinho et al. (2005), como também não está relacionado à evolução de estrutura do tipo rifte continental — Rifte Rio dos Cavalos, proposta por Neder et al. (2005).

Admite-se que o CAPS corresponda a enxames de diques e plutons de composição alcalina, cuja colocação foi fortemente controlada pelo arcabouço estrutural regional, tendo se alojado durante o estágio sin a tardi cinemático da deformação principal do Grupo Cuiabá, exibindo condições metamórficas compatíveis com fácies xisto verde baixo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Geociências da Amazônia (INCT GEOCIAM), que disponibilizou recursos para que fosse possível a etapa de campo; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), a cessão de bolsa ao primeiro autor e o apoio financeiro (Projeto Induzido n. 0530714/2016); e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Faculdade de Geociências (PPGEC-FAGEO) da UFMT. Agradecemos aos revisores anônimos, cujas críticas e sugestões melhoraram consideravelmente a qualidade do trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M. (1965). Geossinclíneo Paraguai. *1ª Semana de Debates Geológicos*, atas, p. 87-101. Porto Alegre: Centro Acadêmico de Estudos Geológicos da UFRGS.
- Alvarenga, C. J. S., Trompette, R. (1993). Evolução tectônica brasileira da faixa Paraguai: a estruturação da região de Cuiabá. *Revista Brasileira de Geociências*, 23, 18-30.
- Bardet, M. G. (1977). Géologie du diamant. Part 3: gisements de diamants d'Asie, d'Amérique, d'Europe et d'Australasie. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*. 83 ed. Paris: Éditions B.R.G.M. 169p.
- Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C. B. (2005). *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo: Edusp/Fapesp. 752p.
- Comin-Chiaramonti, P., Gomes, C. B., De Min, A., Ruberti, E., Girardi, V. A. V., Slejko, F., Neder, R. D., Pinho, F. E. C. (2014). Petrology of potassic alkaline ultramafic and carbonatitic rocks from Planalto da Serra (Mato Grosso State), Brazil. *Central European Journal of Geosciences*, 565-587. <http://dx.doi.org/10.2478/s13533-012-0196-6>
- De Min, A., Hendriks, B., Slejko, F., Comin-Chiaramonti, P., Girardi, V., Ruberti, E., Gomes, C. B., Neder, R. D., Pinho, F. C. (2013). Age of ultramafic high-K rocks from Planalto da Serra (Mato Grosso, Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 41, 57-64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2012.06.010>
- Grohmann, C. H., Campanha, G. A. C., Soares Junior, A. V. (2011). OpenStereo: um programa Livre e multiplataforma para análise de dados estruturais. *XIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*. Campinas: SBG. CD-ROM.
- Isles, D. J., Rankin, L. R. (2013). *Geological Interpretation of Aeromagnetic Data*. Austrália: The Australian Society of Exploration Geophysicists. 657p.
- Jacques, A. L., Wellman, P., Whitaker, A., Wyborn, D. (1997). High-resolution geophysics in modern geological mapping. *Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2), 159-173.
- Lacerda Filho, J. V., Abreu Filho, W., Valente, C. R., Oliveira, C. C., Albuquerque, M. C. (2004). *Geologia e Recursos minerais do Estado do Mato Grosso*: texto explicativo dos mapas geológicos e de recursos minerais do Estado de Mato Grosso. Mapas Escala: 1:1.000.000. Cuiabá: CPRM/SICME-MT.
- Li, X. (2006). Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics*, 71(2), L13-L16. <https://doi.org/10.1190/1.2184367>
- Luz, J. S., Araújo, E.S., Godoi, H.O. (1980). Projeto Coxipó. *Relatório final. Fase I*. Cuiabá: DNPM/CPRM.
- Miller, H. G., Singh, V. (1994). Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources. *Journal of Applied Geophysics*, 32, 213-217. [https://doi.org/10.1016/0926-9851\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0926-9851(94)90022-1)

- Minty, B. R. S. (1997). Fundamentals of airborne gamma-ray spectrometry. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, 17(2), 39-50.
- Mourão, L. M. F. (2007). Levantamento aerogeofísico do estado de Mato Grosso – Área 1. *Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos*. Brasil: CPRM. v. 1.
- Neder, R. D., Pinho, F. E. C., Souza, I. M. (2005). Alcalinas ultrapotássicas de Planalto da Serra, MT. Alvos exploratórios para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Nióbio, Tântalo, Vermiculita, ETR, Metais Base e Diamante. *IX Simpósio de Geologia do Centro Oeste*, Atas, 41-43. Goiânia: SBG.
- Ormond, M. M. S. (2006). *Petrografia do complexo alcalino de Planalto da Serra e estudo geológico e geoquímico da intrusão Chibata-Denizar*. Dissertação (Mestrado). Cuiabá: Instituto de Ciências Exatas e da Terra – UFMT. 150p.
- Pinho, F. E. C., Neder, R. D., Brod, J. A., Ormond, M. M. S., Ganzer, E. (2005). Geoquímica do Complexo Alcalino de Planalto da Serra-MT. *IX Simpósio de Geologia do Centro Oeste*, Atas, 38-40. Goiânia: SBG.
- Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millet, A. J., Somerton, I. W. (1990). Magnetic Interpretation in three dimensions using Euler Deconvolution. *Geophysics*, 55, 80-91. <https://doi.org/10.1190/1.1442774>
- Stropper, J. L. (2014). *Petrologia do Complexo Alcalino Planalto da Serra – MT*. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências – UnB. 74p.
- Thompson, D. T. (1982). EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47, 31-37. <https://doi.org/10.1190/1.1441278>
- Tokashiki, C. C., Saes, G. S. (2008). Revisão estratigráfica e faciologia do Grupo Cuiabá no alinhamento Cangas-Poconé, baixada Cuiabana, Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(4), 661-675.
- Vasconcelos, B. R. (2014). *Deformação polifásica e metamorfismo do Grupo Cuiabá na região de Poconé (MT), Cinturão de dobras e cavalgamentos Paraguai*. Dissertação (Mestrado). Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso. 67p.