



A expressão dos diques máficos do setor oeste da Província Mineral do Tapajós visualizada em dados aeromagnetométricos de baixa e alta resolução: novas interpretações geológicas

Thais Andressa Carrino, LGA-UnB; Adalene Moreira Silva, LGA-UnB; Nilson Francisquini Botelho, IG-UnB; Marcelo Pinto, Mapex Mineração; Luiz Carlos Pinheiro Clerot, Mapex Mineração; Alexandre Augusto Cardoso da Silva (CENPES/PETROBRAS S.A.)

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

Mafic dykes' swarms of the Tapajós Mineral Province western portion were investigated by use of airborne geophysical data characterized by different resolutions. Additionally, geochemistry data related to amount of gold in soil and in rock were integrated with geophysical images and interpretations were done. Specifically, the relationship of gold anomalies with the approximation of mafic dykes was observed, like in Rosa de Maio, Bandeirante and Maués prospects, besides the deformations of this mafic geologic unit, which give new insights for interpretations for this area.

Introdução

A Província Mineral do Tapajós (PMT) está inserida no segmento sul da província geocronológica Tapajós-Parima (Santos et al., 2006) do Cráton Amazônico (Fig. 1 (a)), e é caracterizada por um notável potencial mineral, com destaque à exploração aurífera, visto, por números não oficiais, ter havido exploração de mais de 500 toneladas deste metal desde 1958 (Rodrigues et al., 2008). Todavia, até o momento nenhuma mina de grande porte foi aberta nesta região.

As unidades geológicas mais antigas possuem idade paleoproterozóica, destacando-se o Grupo Jacareacanga (~2,1 Ga; rochas metassedimentares), Complexo Cuiú-Cuiú (~2,0 Ga; ortognaisses, granitos), Suíte Intrusiva Parauari (~1,8 Ga; granitos, monzogranitos etc) e o Grupo Iriri (~1,8 Ga; rochas vulcânicas ácidas como riolitos, riolitos). Estas unidades são as principais hospedeiras de mineralizações auríferas paleoproterozóicas, mas ainda não há um consenso, para a maioria das ocorrências de ouro da província, da determinação de um modelo genético (Fig. 1 (b)).

Alguns trabalhos propõem modelos de depósitos auríferos do tipo epitermal de baixa e alta sulfetação, tipo *lode* e *intrusion related*. Maiores informações podem ser observadas em Faraco et al. (1997), Dreher et al. (1998), Klein et al. (2001), Santos et al. (2001), Klein et al., (2004), Juliani et al. (2002, 2005), Coutinho (2008). Um

outro padrão já verificado em outros prospectos da PMT compreende a ocorrência de diques paleoproterozóicos atuando como barreira geoquímica para a precipitação de ouro. De acordo com Santos et al. (2002), os diques máficos hospedeiros de ouro possuem uma idade estimada em 1,89 Ga e são interpretados como orogênicos e relacionados com corpos gabróicos da Suíte Intrusiva Ingarana. Ainda conforme estes autores, esta idade de 1,89 Ga permite diferenciar os diques mineralizados daqueles mais jovens e não portadores de ouro, como aqueles associados ao magmatismo máfico Crepori (1780±9 Ma) e Cachoeira Seca (1186±12 Ma).

A disponibilização de dados aerogeofísicos da CPRM (Bloco 1 – Província Aurífera do Tapajós de 1998) e dados aerogeofísicos de maior resolução cedidos pela empresa Mapex Mineração (adquiridos em 2006) são empregados neste artigo para a análise de diques máficos presentes na porção oeste da PMT e sua relação com ocorrências de ouro conhecidas atualmente, mais especificamente, nos prospectos Maués, Rosa de Maio e Bandeirante, conforme ilustrado na Fig. 1.

O Prospecto Maués caracteriza-se por rochas hospedeiras relacionadas com metassedimentos do Grupo Jacareacanga, como os quartzo-muscovita xistos, e veios de quartzo sulfetados. No caso dos prospectos Rosa de Maio e Bandeirante, as rochas hospedeiras são, em sua maioria, granitos da Suíte Intrusiva Parauari, como os biotita monzogranitos, associados a veios de quartzo mineralizados.

Diques máficos

Os diques máficos da região oeste da PMT são apresentados no mapa geológico 1:500.000 do PROMIN-Tapajós (Klein et al., 2001) como diques máficos interpretados na aeromagnetometria e os diques máficos pertencentes ao Diabásio Periquito. A maior parte destes diques é caracterizada por extensão quilométrica e orientação preferencial na direção NE-SW e NNE-SSW, (Fig. 1 (b)). Neste conjunto de rochas máficas estão inclusos diabásios e olivina diabásios com coloração cinza escura a preta.

A datação pelo método K-Ar de dique de diabásio resultou na idade de 179±3 Ma (e.g., Amaral, 1974). Entretanto, Santos et al. (2002), datando dique similar (olivina gabro) pelo método U-Pb em badeleita, obteve idade de 507±4 Ma. Ressalta-se que estes autores denominaram este enxame de diques de Diabásio Piranhas, pela proximidade da amostra coletada em

relação à ilha homônima inserida no rio Tapajós (Fig. 2 (a)). De acordo com Santos et al. (2002), os extensos diques do oeste da PMT não são mesozóicos e sim cambrianos e relacionados com o período de rifteamento que precedeu o início da sedimentação da Bacia

Amazônica. Além disso, o sistema de rifteamento em 507 Ma pode ser contemporâneo com as atividades do final do Brasileiro ao longo das margens leste e sudeste do cráton.

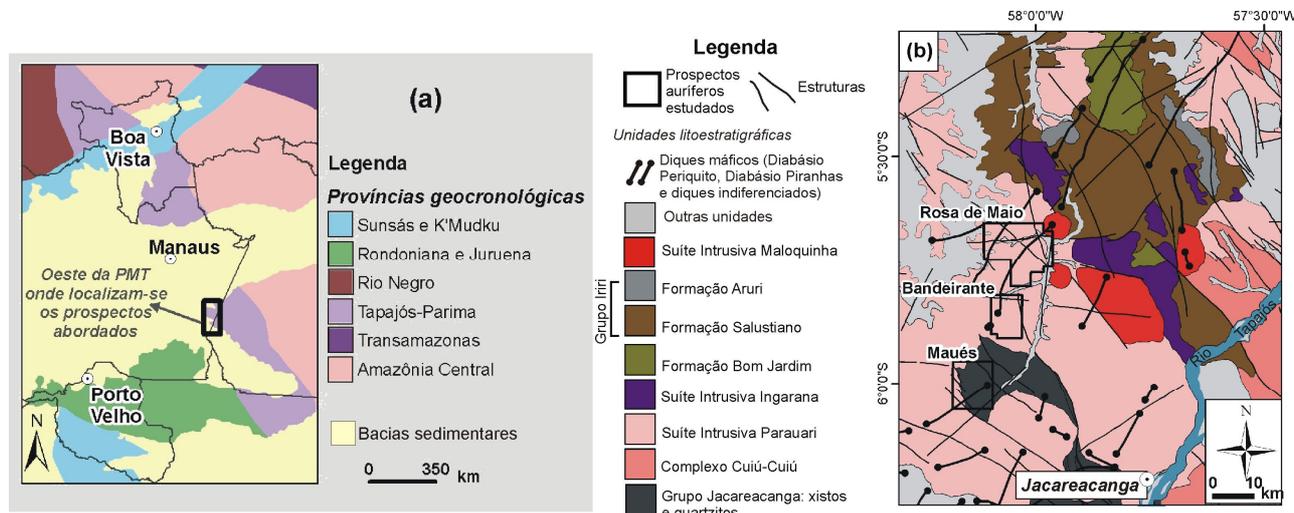


Figura 1. Localização da Província Mineral do Tapajós na província geocronológica Tapajós-Parima (a). Em (b), mapa geológico simplificado e localização dos prospectos Rosa de Maio, Bandeirante e Maués (modificado de Klein et al., 2001).

Materiais

Dados magnetométricos regionais do aerolevante Bloco 1- Província Aurífera do Tapajós da CPRM (1997) foram selecionados, e são caracterizados por linhas de voo (N-S) e de controle (E-W) de 1 e 13 km, respectivamente, e foram coletados em altura de voo de 100 metros utilizando-se o sistema aeromagnético Picodas PDAS 1000 (aquisição e compensação) acoplado a um sensor de vapor de césio modelo CS-12 da SCINTREX, com resolução de 0,001 nT.

Dados aeromagnetométricos gradiométricos de alta resolução foram disponibilizados pela empresa Mapex Mineração e são referentes aos aerolevantes efetuados nos prospectos Rosa de Maio, Bandeirante e Maués em janeiro de 2006. A altura de voo foi mantida constante em 100 m. As linhas de voo (N-S) e de controle (E-W) variaram, respectivamente, da seguinte maneira: 75 m e 750 m (Rosa de Maio), 400 m e 4000 m (Bandeirante), 400 m e 4500 m (Maués). O aeromagnetômetro empregado caracteriza-se por três sensores de vapor de césio SCINTREX, modelo CS-3, com resolução de 0,001 nT que foram montados nas asas e na cauda da aeronave, objetivando o registro de dados do campo magnético total (sensor cauda) e dos gradientes horizontais lateral (Gx) e longitudinal (Gy).

Complementarmente, foram usados dados geoquímicos referentes à concentração de ouro em rocha cedidos pela empresa Mapex Mineração para as áreas dos prospectos Rosa de Maio (560 amostragens) e Bandeirante (40 amostragens). Os dados geoquímicos de rocha foram obtidos a partir de análises no Laboratório ACME – Analítica Laboratórios Ltda., Canadá. As análises foram realizadas segundo as rotinas 4a e 4b. Nestas rotinas, os

elementos maiores são analisados por ICP-AES, S e C em forno Leco, e os elementos terras raras, refratários, metais preciosos e metais base no ICP-MS. Os elementos maiores, terras raras e refratários são anteriormente fundidos por metaborato e tetraborato de Li e digeridos em ácido nítrico. Os metais preciosos e metais base são digeridos com água régia.

Processamento de dados aeromagnetométricos

Os dados aeromagnetométricos referentes ao projeto Bloco 1 – Província Aurífera do Tapajós foram processados por Silva (2003), que efetivou testes de consistência dos dados, seguindo-se da metodologia utilizada por Blum (1999), como análise das linhas de voo, cálculo do parâmetro P e da diferença quarta, removendo-se dados espúrios. Silva (2003) calculou o campo magnético anômalo (CMA) a partir da subtração do campo magnético total (CMT) pelo IGRF associado ao local e à época de aquisição destes dados aéreos, e gerou o *grid* por meio da metodologia de micronivelamento de Minty (1991), empregando-se o interpolador curvatura mínima e um tamanho de célula de 250 m. A partir do CMA, obteve as derivadas horizontais nas direções x e y (DX e DY) e vertical (DZ), tomando possível o cálculo da amplitude do sinal analítico (ASA), um filtro que permite uma rápida identificação da posição das fontes e da geometria magnética (Nabighian, 1972; 1974; Roest et al., 1992), e da amplitude do gradiente horizontal total (AGHT) (Graunch & Cordell, 1987), visando o realce de bordas de corpos magnéticos.

Os dados magnetométricos gradiométricos dos levantamentos Bandeirante, Rosa de Maio e Maués foram analisados similarmente aos dados regionais da

CPRM processados por Silva (2003). Para estes três conjuntos de dados, não foram observadas inconsistências em termos de sobreposição de linhas de vôo e valores espúrios. Os dados do CMA (calculados a partir do registro do CMT do sensor localizado na cauda da aeronave subtraído dos valores de IGRF) foram micronivelamentos de acordo com a metodologia de Minty (1991), empregando-se o interpolador bi-direcional e tamanho de células de 15 m ao levantamento Rosa de Maio, 100 m ao levantamento Maués e 80 m ao levantamento Bandeirante. Desta forma, foram obtidas as imagens das derivadas horizontais DX e DY e da derivada vertical DZ visando o cálculo da ASA. Complementarmente, e em função destes dados serem gradiométricos, foi possível gerar os *grids* dos gradientes horizontais medidos nas direções x e y (GX e GY) que são superiores em relação às respectivas derivadas calculadas. Dentre as vantagens, destaca-se: **(a)** a melhoria na discriminação de anomalias rasas e na definição de feições subparalelas às linhas de vôo e de fontes alongadas na direção N-S em baixas latitudes, **(b)** a redução da necessidade de correções regionais que são requeridas para levantamentos convencionais de campo magnético total, **(c)** a possibilidade de redução ou mesmo de eliminação das linhas de controle usadas para nivelamento, favorecendo a diminuição de custos em programas de aerolevamentos (Schmidt & Clark, 2006). Com base nos *grids* de GX e GY, foi possível gerar a imagem da AGHT.

Resultados

As Figs. 2 e 3 sintetizam os produtos obtidos através do processamento dos dados aeromagnetométricos de alta e baixa resolução, integrando-os com dados de ouro em rocha e interpretações de principais diques máficos e falhamentos presentes nas áreas abordadas.

Na Fig. 2 (a) observa-se a ocorrência de um número maior de assinaturas magnéticas relacionadas com diques máficos em relação ao mapa regional disponível desta região (*cf.*, Fig. 1 (b)). Além disso, é possível verificar que os diques intrudem as unidades geológicas com idade de até 1,8 Ga, como as rochas graníticas da Suíte Intrusiva Parauari (~1,8 Ga) e as rochas máficas como gabro-noritos, dioritos e diabásios pertencentes à Suíte Intrusiva Ingarana (esta também caracterizada por altos gradientes na imagem da amplitude do sinal analítico). Este fato é condizente com a idade obtida por Santos et al. (2002) para uma amostra de dique máfico inclusa na unidade Diabásio Piranhas datada em ~510 Ma (*cf.*, Fig. 2 (a)). Se confirmada esta idade a todo o enxame de diques máficos desta região, implicará que estes são posteriores à geração de ouro paleoproterozóico como apontado na literatura.

Diques E-W não cartografados anteriormente são visíveis no domínio do Prospecto Rosa de Maio, assim como uma notável deformação dos diques NNE-SSW e NE-SW em função da instalação de falhas sinistrais com orientação aproximada E-W (Fig. 3). Destaca-se que somente ao se utilizar os dados magnetométricos gradiométricos de alta

resolução associada a este prospecto (Fig. 3 (b, c)) foi possível observar o padrão de falhamento mencionado acima, pois a imagem da ASA regional derivada do projeto Bloco 1 não revela os detalhes associados a este evento tectônico pós-intrusão fissural máfica (vide Fig. 3 (a)). A existência destes falhamentos é claramente visualizada em perfis das linhas de vôo, como a indicada na Fig. 3 (d) (L10240), na qual é possível observar a instalação do atual curso do Igarapé Anta na falha sinistral que secciona dique máfico.

Um padrão similar de deformação é observado nas ambiências do Prospecto Bandeirante (Fig. 2 (b, c)), visualizando-se a segmentação de diques máficos de direção NE-SW (alguns dos quais compreendem a mesma intrusão quilométrica que afeta os prospectos Maués e Rosa de Maio) em função da instalação de falha sinistral que, por sua vez, caracteriza-se pela mesma orientação do sistema de falhas NW-SE pertencentes ao *trend* aurífero Patrocínio-Espírito Santo (Coutinho, 2008).

No caso da região do Prospecto Maués, esta é marcada pela intrusão de dique máfico, orientado na direção aproximada N-S, e marcado por altas amplitudes do sinal analítico (Fig. 3 (e)). O ponto MA-MAG06 obtido em campo, caracteriza-se como um dique gabróico. Observando-se a imagem da ASA, é possível verificar que há um domínio a leste do aerolevamento marcado por relevo magnético suave e que está relacionado com o pacote de sedimentos metamorfizados do Grupo Jacareacanga, enquanto a parte oeste apresenta relevo magnético rugoso (interface Grupo Jacareacanga/Suíte Parauari/dique máfico) e é a área prioritária à exploração, marcada por valores de ouro em solo ≥ 50 ppb.

Essas novas interpretações geológico-geofísica das intrusões fissurais máficas abrem espaço às discussões acerca da gênese destes enxames, se **(a)** são pertencentes a uma mesma época de formação, **(b)** se possuem um papel importante na metalogênese do ouro e **(c)** se as intrusões foram favorecidas pela existência de estruturas mais antigas, algumas das quais podem ter tido papel como condutos de fluidos hidrotermais. Como pode ser observado nas Figs. 2 (b, c) e 3 (b, c, d), as anomalias de ouro em rocha e as ocorrências auríferas mapeadas pela Mapex Mineração estão associadas espacialmente com a presença de diques máficos.

Conclusões

Novas caracterizações e informações geológico-geofísicas do setor oeste da PMT foram obtidas, destacando-se a deformação de diques máficos nos prospectos Rosa de Maio e Bandeirante que permite questionar, caso estes diques possuam a idade de 510 Ma, a ocorrência de evento tectônico posterior a esta idade cambriana e que estaria relacionada, de forma genérica, à sexta fase tectono-evolutiva apresentada no PROMIN-Tapajós (período pós-1,0 Ga) (Klein et al., 2001). Neste caso, as estruturas E-W, que são bem marcadas na região do Prospecto Rosa de Maio e que podem ter um papel relevante na gênese do ouro, podem ter sido reativadas num período pós 510 Ma e os diques

podem ter tido um papel importante como fonte de calor responsável pela remobilização do ouro, visto a intrínseca relação da disposição espacial de ocorrências auríferas dos prospectos Rosa de Maio, Maués e Bandeirante com a proximidade de diques máficos.

Estas conjecturas, entretanto, devem ser ainda balizadas por intensos trabalhos geocronológicos, objetivando-se esclarecer se todos os diques máficos relacionam-se a uma mesma época de formação, com associação ou não ao dique datado em 510 Ma que está numa região mais distante dos prospectos abordados neste artigo (cf., Fig. 2), e se talvez possam ser contemporâneos à formação do ouro paleoproterozóico, apesar das relações de campo até o momento não mostrarem tal co-geneticidade.

Agradecimentos

À UnB pelo suporte técnico, ao CNPq (projeto CT-Mineral 555063/2006-2). A.M. Silva e N.F. Botelho agradecem ao CNPq pelas bolsas de produtividade em pesquisa.

Referências

- Amaral G. 1974. *Geologia pré-cambriana da região Amazônica*. Tese de livre docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 212 p.
- Blum M.L. 1999. Processamento e interpretação de dados de geofísica aérea no Brasil central e sua aplicação à geologia regional e à prospecção mineral. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 229 p.
- Coutinho M.G.N. (ed.) 2008. *Província Mineral do Tapajós: geologia, metalogenia e mapa preliminar para ouro em SIG*. Rio de Janeiro, CPRM, 402p.
- Dreher A.M., Vlach S.R.F., Martini S.L. 1998. Adularia associated with epithermal gold veins in the Tapajós Mineral Province, Pará State, northern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**(3): 397-404.
- Faraco M.T.L., Carvalho J.M.A., Klein E.L. 1997. Carta metalogenética da Província Aurífera do Tapajós. In: Costa M. L. & Angélica R. S. (Coord.). Contribuições à geologia da Amazônia. Belém, SBG-Núcleo Norte, **1**: 423-437.
- Grauch VJS & Cordell L. 1987. Limitations of determining density or magnetic boundaries from the horizontal gradient of gravity or pseudogravity data. *Geophysics*, **52**: 118-121.
- Juliani C., Rye R.O., Nunes C.M.D., Snee L.W., Corrêa Silva R.H., Monteiro L.V.S., Bettencourt J.S., Neumann R., Alcover Neto A. 2005. Paleoproterozoic high-sulfidation mineralization in the Tapajós gold province, Amazonian Craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age, and stable-isotope constraints. *Chemical Geology*, **215**: 95-125.
- Juliani C., Corrêa-Silva R.H., Monteiro L.V.S., Bettencourt J.S., Nunes C.M.D. 2002. The Batalha Au-granite system-Tapajós Gold Province, Amazonian craton, Brazil: hydrothermal alteration and regional implications. *Precambrian Research*, **119**:225-256.
- Klein EL, Rosa-Costa LT & Carvalho JMA. 2004. Estudo de inclusões fluidas em veio de quartzo aurífero do prospecto Patinhas, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(1): 59-66.
- Klein E.L., Almeida M.E., Vasquez M.L., Bahia R.B.C., Santos M.L.E., Ferreira A.L. 2001. Geologia e recursos minerais da Província Mineral do Tapajós. Folhas Vila Mamães Anã (SB.21-V-D), Jacareacanga (SB.21-Y-B), Caracol (SB.21-X-X), Vila Riozinho (SB.21-Z-A) e Rio Novo (SB.21-Z-C). Estados do Pará e Amazonas. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001, 81 p.
- Minty B.R.S. 1991. Simple micro-levelling for aeromagnetic data. *Exploration Geophysics*, **22**: 591-592.
- Nabighian NM. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, **37**: 507-517.
- Nabighian NM. 1974. Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross section. *Geophysics*, **39**: 85-92.
- Rodrigues J.L., Braga J.B.P., Oliveira R.A.F., Danin T. 2008. Tapajós Mineral: um novo ciclo de oportunidades e domínios. In: XLIV Congr. Bras. Geol., 44: 2008, Curitiba. *Anais...Curitiba: SBG*, 2008, p. 187.
- Roest WR, Verhoef J & Pilkington M. 1992. Magnetic interpretation using 3-D analytic signal. *Geophysics*, **57**: 116-125.
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Riker S.R., Souza M.M., Almeida M.E., McNaughton N.J. 2006. A compartimentação do cráton Amazonas em províncias: avanços ocorridos no período 2000-2006. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, SBG, Belém, resumos expandidos (CD-ROM).
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2002. Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implications for the evolution of the Amazon Craton: evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, **15**: 409-429.
- Santos J.O.S., Groves D.I., Hartmann L.A., Moura M.A., McNaughton N.J. 2001. Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta domains, Tapajós-Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil. *Mineralium Deposita*, **36**: 278-299.
- Schmidt PW & Clark DA. 2006. The magnetic gradient tensor: its properties and uses in sources characterization. *The Leading Edge*, 75-78.
- Silva, A.A.C. Processamento, interpretação e integração de dados geológicos e geofísicos da Província Mineral do

Tapajós. 2003. 137 p. Dissertação (Mestrado em

Geologia) - Universidade de Brasília, Brasília-DF. 2003.

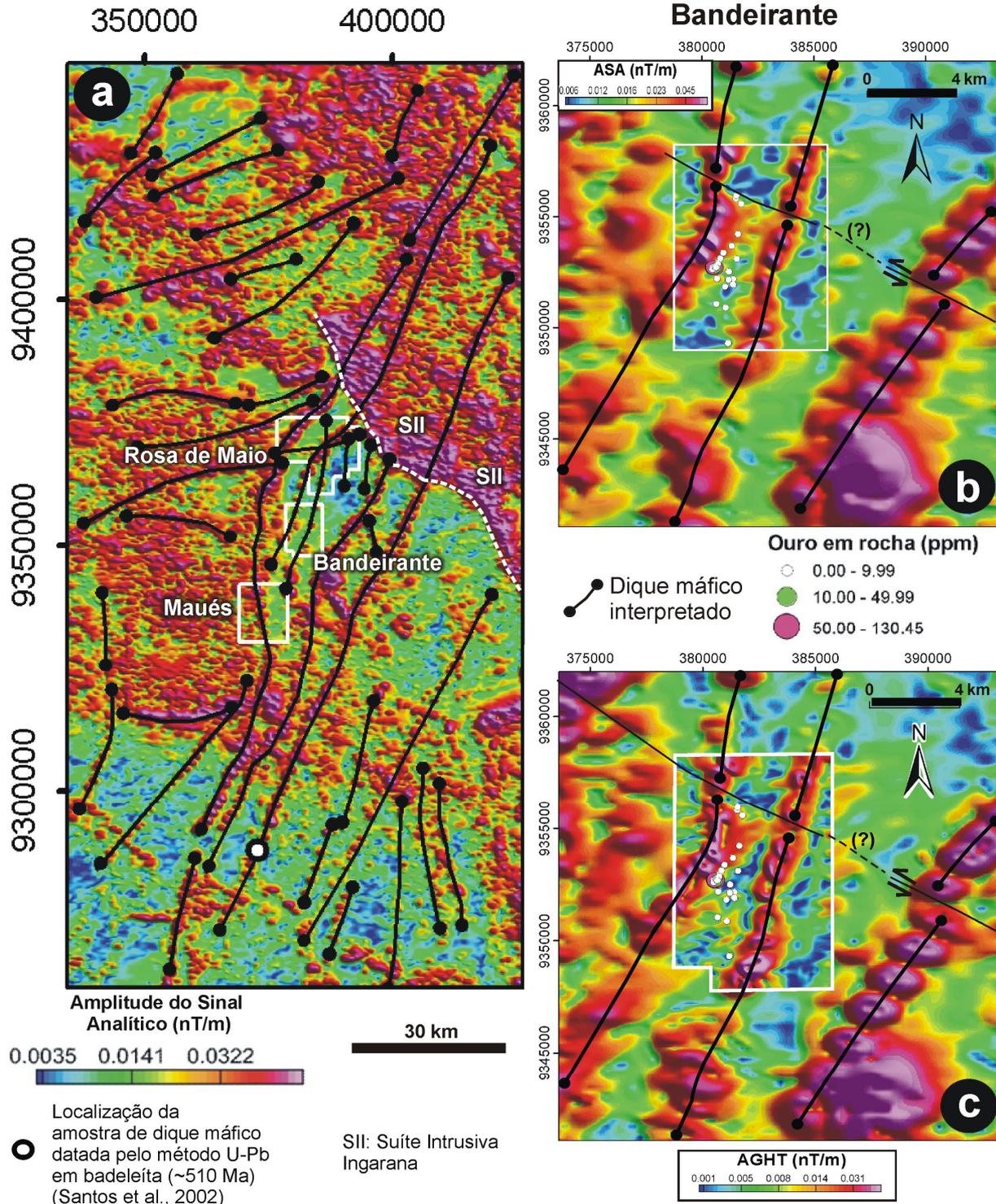


Figura 2. Imagem da ASA regional gerada por Silva (2003) e interpretação de principais diques máficos no setor oeste da PMT (a). A região do Prospecto Bandeirante é mostrada em (b) na integração das imagens da ASA regional (Silva, 2003) e de detalhe referente aos dados cedidos pela empresa Mapex Mineração. Esta mesma região é mostrada em (c) na imagem da AGHT regional e de detalhe. Destaca-se que a imagem da AGHT de detalhe foi produzida por meio do uso dos gradientes horizontais medidos Gx e Gy.

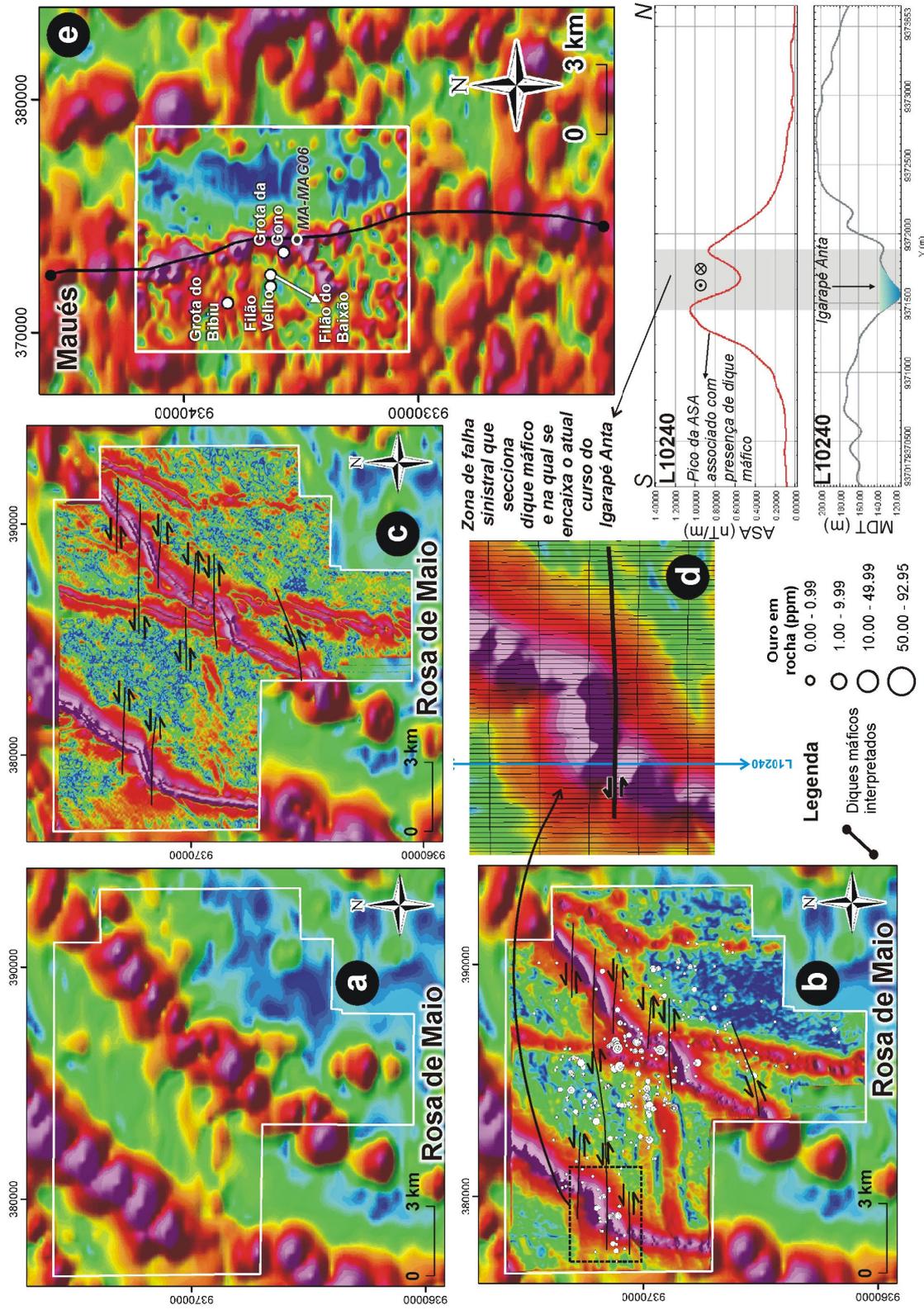


Figura 3. Imagens magnetométricas referentes às ambiências dos prospectos Rosa de Maio e Maués. Em (a), imagem da ASA regional gerada por Silva (2003) e em (b) mesmo recorte integrado com a imagem de alta resolução gerada a partir dos dados cedidos pela empresa Mapex Mineração. Em (c), imagem regional e de detalhe da AGHT na região do Prospecto Rosa de Maio. Destaca-se que a imagem da AGHT de detalhe foi produzida por meio do uso dos gradientes horizontais medidos Gx e Gy. Em (d), recorte da imagem da ASA é mostrado e é referente a uma região marcada pela existência de falhas sinistrais, melhor visualizadas a partir da análise de perfil de linha de vôo (L10240). Imagem da ASA regional (Silva, 2003) e de detalhe referente ao Prospecto Maués é apresentada em (e), incluindo-se principais ocorrências auríferas mapeadas pela Mapex Mineração indicadas por círculos brancos.