

Levantamento Magnetométrico na Mina de Cerro Rico – Município de Lavras do Sul - R.S. – Mapa Preliminar

Maximilian Fries*¹, Delia Del Pilar Montesinos¹, Fernanda Garcia da Silva¹, Jônathan Nereu Lisbôa Rojas², Walter Malagutti Filho³, João Carlos Dourado³ e César Augusto Moreira³.

¹ Universidade Federal do Pampa, Centro de Ciências Exatas e da Terra – Campus de Caçapava do Sul, R.S.

² Geólogo

³ Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP - Campus de Rio Claro.

Copyright 2009, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th 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

This paper presents the results of a geophysical study – magnetometry - carried out at south of the Rio Grande do Sul State - Brazil. The study area near the Lavras do Sul town, located 300 km from Porto Alegre city. In this area mineralizations and ore deposits occurrences of gold, copper, pyrite, iron and chrome are known. Most of these ore associations were explored in the past where the gold ore mineralizations are related to granitic and volcanic rocks. The Cerro Rico Mine (Au and Ag) was discovered by the Brazilian Gold Field Ltd., being activated until 1915 thereafter the continuing exploration was performed by Estrada de Ferro e Minas São Jerônimo company. Potential geophysical method such as magnetometry is a valuable tool in the understanding of structural *trends* litologic variations related to the geologic evolution. This study is currently in data acquisition but a preliminary total field magnetometric map provides a better visualization and allows new concepts and theories of the structural geology and mineralizations in this area.

Introdução e Objetivos

Um levantamento magnetométrico a nível local permite a identificação e localização de feições geológicas e estruturais. Este estudo, associado às informações geológicas, estruturais e petrológicas, fornece importantes resultados que permitem a geração de um modelo geológico/estrutural coerente. Um levantamento magnetométrico na escala de detalhe, em conjunto com um mapa dos dados magnetométricos e suas respectivas anomalias geradas, servem como base para modelos baseados no estudo e conhecimento geológico de superfície e fornece informações para confirmar e/ou elaborar novas teorias e conceitos a cerca das principais feições estruturais, litologias e principais *trends* das ocorrências das mineralizações na Mina de Cerro Rico, município de Lavras do Sul – R.S. As principais etapas de desenvolvimento deste estudo preliminar são:

- Levantamento bibliográfico, digitalização e geração de mapas;
- Levantamento magnetométrico terrestre;
- Processamento dos dados (geração de um *grid*);
- Mapa de isovalores com os valores magnetométricos de campo total;
- Determinação dos principais gradientes horizontais (anomalias) e sua correlação com as litologias, lineamentos e estruturas na área.

Localização da Área e Contexto Geológico

A área de estudo localiza-se no município de Lavras do Sul, situado a 300 km da cidade de Porto Alegre, na porção sul do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O acesso dá-se pelas rodovias federais BR 290 e BR 392 e pela rodovia interestadual RS 11 (Figura 1).

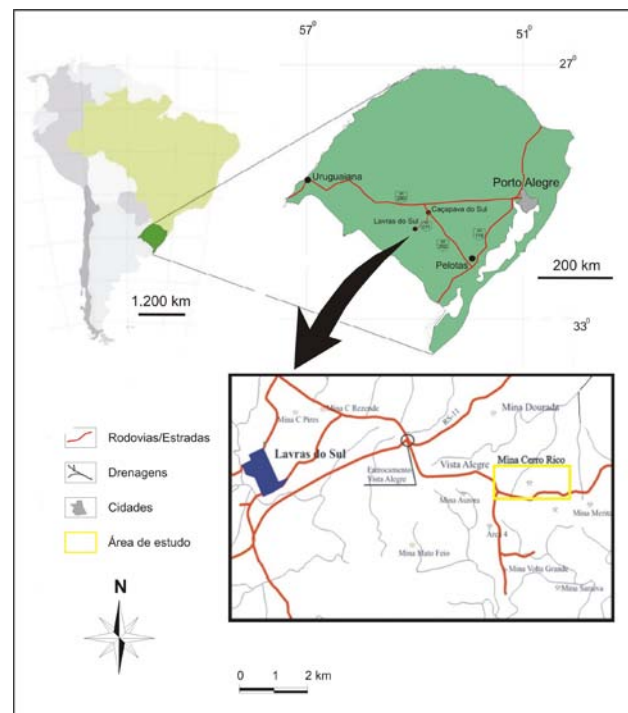


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo, principais cidades e rodovias.

No município de Lavras do Sul existem inúmeras ocorrências e depósitos metálicos de ouro-cobre, de pirita, ferro e cromo, a maioria parcialmente minerada no passado, com mineralizações auríferas principalmente associadas a rochas graníticas e vulcânicas. A Mina de Cerro Rico (Au e Ag) foi descoberta pela *Brazilian Gold Field Ltd*, atuando até meados de 1915. Logo após, foi pesquisada pela Companhia Estrada de Ferro e Minas São Jerônimo. A partir de 1938, passou a ser explorada pela Companhia de José Hipólito de Souza, a qual instalou um equipamento Krupp, no antigo engenho da mina, funcionando até 1952, sendo vendido em seguida para a Minesul, responsável pela Mina de Ouro Bossoroca, em São Sepé (Reischl, 1998).

Contexto Geológico

No contexto geológico regional a área é representada pelas rochas do embasamento, rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Camaquã e o Complexo Granítico de Lavras do Sul. Para o embasamento é importante citar o Setor Meridional da Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1977) no Rio Grande do Sul, que é denominado de Escudo Sul Rio-Grandense (ESRG) e corresponde a um conjunto de terrenos geotectônicos distintos, de acordo Chemale Jr (2000):

- Bloco Taquarembó, composto pelo Complexo Granulítico Santa Maria Chico e rochas brasileiras.
- Cinturão Vila Nova, compreendido pelos Terrenos Metamórficos de Acresção Palma (Complexo Cambaí, Supercomplexo Vacacaí), Associação Vulcano-Sedimentar Seival (Alosupergrupo Camaquã), rochas da Suíte Intrusiva Lavras do Sul, Complexos São Sepé, Ramada, Cerro da Cria, Jaguarí e Caçapava, Cinturão Tijucas, formado pelo Complexo Encantadas, Complexo Metamórfico Porongos e rochas sedimentares siliciclásticas.
- Cinturão Dom Feliciano, constituído por Embasamentos (Complexos Metamórfico Várzea do Capivarita, Arroio dos Ratos e Anortosito Capivarita), Suíte Intrusiva Pinheiro Machado, Suítes Intrusivas Erval, Viamão, Encruzilhada do Sul, Suítes Graníticas Cordilheiras e Dom Feliciano.

As rochas da Bacia do Camaquã encontram-se sobre os blocos tectônicos do ESRG e representa um conjunto de sub-bacias as quais preservam parte do registro vulcano-sedimentares (Paim *et al.*, 2000) e também conseqüentes da fase de transição da Plataforma Sul Americana segundo Almeida (1969). Estratigraficamente a seqüência de preenchimento da BC foi denominada de Alosupergrupo Camaquã e subdividida em cinco alogrupos: Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas, separados entre si por discordâncias angulares. Os alogrupos Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas foram divididos em aloformações, limitadas por discordâncias erosivas. A atividade magmática estaria representada por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas de composição básica a ácida, que ocorrem nos Alogrupos Bom Jardim, Cerro do Bugio e Guaritas, e por manifestações plutônicas representadas

por complexos graníticos. No contexto geológico local, afloram, na região de Lavras do Sul, em cerca de 2/3 da sua área (Kaul & Rheinheimer, 1974), rochas graníticas do Complexo Granítico de Lavras (Nardi, 1984), as quais intrudem a seqüência vulcano sedimentar (Nardi & Lima, 1985) da Formação Hilário do Alogrupos Bom Jardim (Paim *et al.*, 2000). A Região da Mina Cerro Rico, caracteriza-se pela predominância de um ambiente essencialmente vulcânico que grada para leste para um ambiente predominantemente vulcano-sedimentar, pertencentes a Formação Hilário, (580Ma, Remus *et al.*, 1999). O termo Hilário foi utilizado por Robertson (1966) para designar rochas andesíticas. Ribeiro *et al.* (1966) formalizaram esta unidade na categoria de Membro da Formação Crespos e foram por Horbach *et al.* (1986) incluídas na categoria de Formação. Paim *et al.* (2000), atribuiu as rochas vulcano-sedimentares da Formação Hilário ao Alogrupos Bom Jardim. Este vulcanismo, está representado por derrames básicos a intermediários, rochas piroclásticas de queda, fluxos piroclásticos, lampróiros com intercalações de rochas epiclásticas. Segundo Janikian (2003) as litologias predominantes são basaltos, latito-basaltos, latitos e andesitos. Os principais litotipos identificados na Mina Cerro Rico abrange andesitos, tufos ácidos, riolitos e conglomerados vulcânicos (Fig. 2).

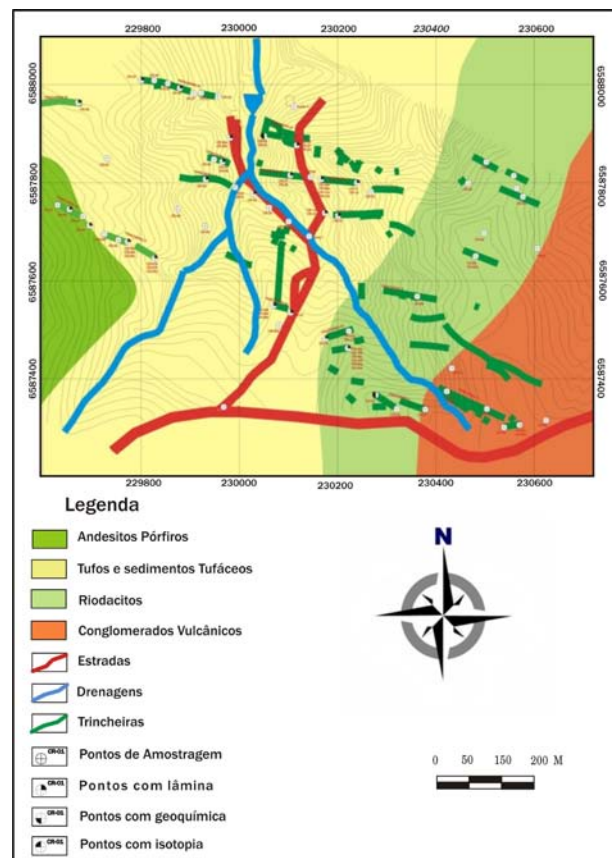


Figura 2 Mapa da Mina de Cerro Rico com as principais unidades geológicas, trincheiras e pontos amostrados (geoquímica, lâminas petrográficas e estudos isotópicos) segundo Rojas (2007).

Andesitos: caracterizam-se por serem macroscopicamente maciços, de coloração cinza-esverdeada escura, por vezes porfirítica. Ao microscópio os principais minerais identificados são plagioclásios (andesina a labradorita), raros anfibólios (hornblendas cloritizadas) e biotitas. O andesito é a rocha mais antiga, evidenciado por clastos nos tufos, anglomerados e distalmente, fora da área de estudo, presente em conglomerados e brechas vulcânicas.

Riolitos: estes derrames observam-se em superfície como corpos circulares entre as rochas tufáceas, são de coloração rósea, com textura porfirítica e matriz afanítica. Ao microscópio foram identificados fenocristais de quartzo com bordas corroídas, sanidinas alteradas para adulária/sericita/clorita, raros plagioclásio e alguns cristais de biotita cloritizadas. Matriz com direções de fluxo, dada pela orientação de cristais de feldspato. Estão inclusos como litoclastos nos tufos

Conglomerados Vulcânicos: são rochas de coloração marrom-avermelhadas, sendo encontrados a leste da mina Cerro Rico, intercalados com siltitos, arcóseos e conglomerados finos.

Tufos: de coloração cinza a verde clara, com partículas de tamanhos cinza a lápili. Foram identificados tufos à cristal, tufos vítreos, tufos líticos, e tufos soldados. Nos tufos à cristal observam-se cristaloclastos de plagioclásio, feldspatos alcalinos e prováveis anfibólios. Os tufos vítreos e tufos soldados, apresentam textura eutáxita bem desenvolvida, onde ripas de feldspato estão orientadas segundo o fluxo do sistema. Destacam-se ainda as estruturas reliquiares de perlitos e shards de vidro (cuspatas e estirados). Nos tufos líticos prevalecem os litoclastos irregulares de rochas vulcânicas, dentre eles destacam-se basaltos (?) amigdaloidais, lamprófiros e derrames riolíticos.

Caracterização e Associação Mineral de Alteração Hidrotermal na Mina de Cerro Rico

Os minerais de minério estudados sob luz refletida e no MEV são: pirita, pirrotita, calcopirita, covelita, rutilo, lmenita, zincita, prata nativa e óxidos e hidróxidos de Fe (magnetita, hematita, limonita e goethita). Além desses minerais metálicos, foram identificados no MEV barita, hialofano, adulária, crisocola e azurita. Por Difração de Raios-X evidenciou-se a presença de jarosita, hematita, quartzo, illita, esmectita, clorita, ankerita, anatásio, adulária, albita, caolinita e gibsita.

As mineralizações da mina Cerro Rico estão associadas aos filões de quartzo, que estruturalmente se comportam semelhante às famílias de fraturas NW/EW, nos quais os teores Au são mais elevados.

A mina Cerro Rico, apresenta as seguintes paragêneses minerais:

- quartzo-adulária-ankerita-sericita(illita)-rutilo(anatásio) de alteração argílica intermediária a avançada que caracterizam um depósito epitermal de baixa sulfetação.
- alunita-caolinita, correspondendo a uma zona de alta sulfetação caracterizada por um ambiente de alto enxofre, de temperaturas mais baixas que 180°C,

desenvolvidos acima das mineralizações do tipo pórfiro. A alunita foi reconhecida ao microscópio.

- sericita-quartzo-pirita, diagnosticando alteração filica ou sericitica onde ocorrem como envelopes adjacentes a veios de quartzo (zona silicificada) com pirita.

- quartzo-clorita, correspondendo às disseminações de clorita e quartzo nas rochas encaixantes e venulações, geralmente correlacionadas a zonas abaixo do minério.

- jarosita-hematita, correspondendo a alteração supergênica, formada em ambientes de pH ácido gerando gossans auríferos, e sugerem que possa existir mineralizações de Au em profundidade devido ao tipo de lixiviamento e paragêneses de sulfetos encontradas.

Metodologia

Foram adquiridas, numa etapa preliminar deste trabalho, um total de 48 estações magnetométricas terrestres. As leituras magnéticas das estações levantadas foram obtidas através de um magnetômetro de precessão de prótons da GEM Systems Inc, modelo GSM – 19T. As estações foram medidas com um espaçamento de vinte metros ao longo de dois perfis de caminhamento principais pré-estabelecidos. As coordenadas horizontais (X e Y) para localização das estações foram determinadas usando-se um GPS portátil de mão. Como a aquisição foi feita em um curto período de tempo, não houve a realização de uma correção para o registro das variações diurnas do campo magnético terrestre.

Características do mapa magnetométrico de campo total

O mapa magnetométrico de campo total gerado é produto de um *grid* gerado por interpolação pelo método da mínima curvatura.

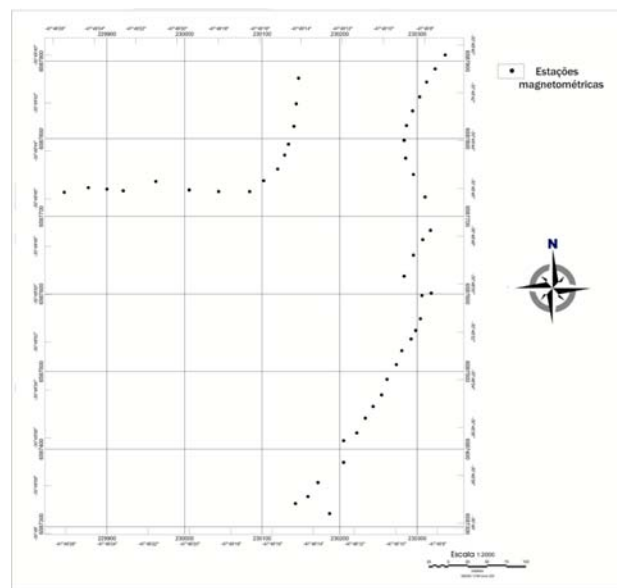


Figura 3 Mapa com as estações magnetométricas na área da Mina de Cerro Rico adquiridas até o presente momento.

O *grid* é composto por 51 X 61 pontos (direções X e Y respectivamente), com uma separação da malha de 10 metros. Os valores interpolados no *grid* permitem a geração de um mapa de cores com os respectivos isovalores das anomalias magnéticas apresentadas.

A base de dados com as estações magnetométricas, coordenadas, dados das anomalias magnéticas e o mapa de contorno, foram elaborados por rotinas próprias no *software* OASIS/MONTAJ comercializado pela Geosoft Inc.

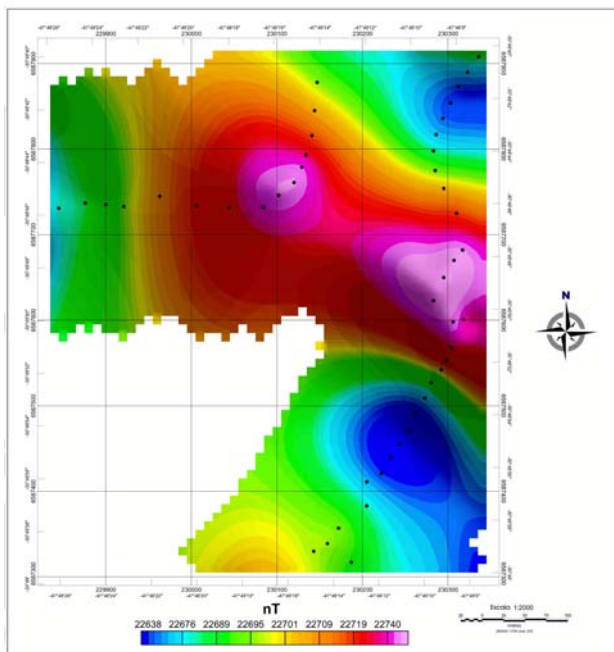


Figura 4 Mapa de contorno sombreado com os dados magnéticos de campo total da Mina de Cerro.

Discussões e Conclusões

As estações magnetométricas adquiridas preliminarmente na área evidenciam significativas variações (anomalias magnéticas) nos valores do campo magnético total segundo o mapa de contorno dos valores magnéticos anômalos gerado. Relações desses valores anômalos com a geologia local, com estudos geoquímicos da área estudada (Rojas, 2007), e pelo contraste lateral nos valores de suscetibilidade magnética podem ser estabelecidas. Essas litologias compõem-se, em grande parte, de rochas vulcânicas e associadas (andesitos, tufo, riolitos e aglomerados vulcânicos pertencentes à Formação Hilário). Há também a presença de andesito, evidenciado na área por clastos nos tufo, aglomerados e distalmente, fora da área de estudo, presente em aglomerados e brechas vulcânicas. Derrames riolíticos que representam litotipo formado na área, encontram-se e inclusive com litoclastos nos tufo. Deve-se considerar, também, a presença de minerais de minério da Mina de Cerro Rico, associadas a filões de quartzo, que estruturalmente, comportam-se às famílias de fraturas reconhecidas com direções predominantes NW/SE, e onde os teores de Au são mais elevados.

Correlações com as anomalias magnéticas:

Na área em questão, valores magnéticos anômalos com variações de 22.638 a 22740 nT (102 nT) são observados ao longo de toda a área. Maiores anomalias encontram-se no quadrante NE do mapa dos valores de campo magnético anômalo total. Observa-se uma anomalia proeminente de formato alongado que varia de 22.697 a 22.740 nT e de direção NW.

O número inicial de estações magnetométricas adquiridas até o momento, apesar da pouca densidade de amostragem, permite uma correlação com as litologias predominantes da área e de sua variação e contraste lateral e, também, em profundidade. Esses contrastes nos valores das anomalias apresentados no setor NE do mapa, evidenciam possível relação com altas suscetibilidades magnéticas diretamente relacionadas a presença de minerais de minério como pirita, pirrotita ilmenita, e óxidos e hidróxidos de ferro (magnetita, hematita, limonita e goethita (Telford, 1976). Associação de jarosita-hematita, resultante da alteração supergênica e responsável pela formação de gossans auríferos (Rojas, 2007) pode, da mesma forma, ser responsável por essas respostas magnéticas inicialmente observadas. Essas análises preliminares na Mina de Cerro Rico envolvendo o método geofísico da magnetometria permitem concluir uma correlação coerente dos resultados magnetométricos em relação aos estudos e resultados geológicos/estruturais e geoquímicos anteriores na área. Conclui-se, também, que a identificação e determinação dos principais *trends* estruturais, das variações litológicas e seus limites em superfície e a elaboração de um modelo mais detalhado, exigem maior densidade de estações magnetométricas na área de estudo.

Referencias Bibliográficas

ALMEIDA, F.F.M. 1969. Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia., 23, *Anais*, 1:29-46

GEM SYSTEMS – 2005 – GSM 19 v 7.0 *Instruction Manual*, <http://www.gemsys.ca>

GEOSOFT INCORPORATED. 1999. Montaj MAGMAP filtering; 2 – D frequency domain of potential field data extension for Oasis Montaj v. 6.1. Toronto, Ontario, Canada.

HORBACH, R. KUCK, L. MARIMON, R.G. MOREIRA, H.L. FUCK, G.F. MOREIRA, M.L.O., MARIMON, M.P.C., PIRES, J.L., VIVIAN, O., MARINHO, D.A., TEIXEIRA, W. 1986. Geologia. In: Folha SH.22 Porto Alegre e parte da folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: IBGE (Levantamento de Recursos Mineriais, 33), p.p.: 29-312.

NARDI L, V.S. 1984. Geochemistry and petrology of the Lavras Granite Complex, RS, Brasil. Tese Doutorado, Department of Geology, King's College, 268 p.

NARDI, L.V.S. & LIMA E.F. 1985. A associação shoshonítica de Lavras do Sul, RS. *Rev.Bras. Geoc.*, 15:139-146.

PAIM, P.S.G., CHEMALE JR. F., LOPES R.C. 2000. A Bacia do Camaquã. *In: M. Holz & L.F. De Ros (eds.) Geologia do Rio Grande do Sul. Edição CIGO/UFRGS, p.: 231-274.*

REISCHL, J.L. 1998. Diagnóstico das Potencialidades Minerais do Município de Lavras do Sul. Relatório Mineropar. 6 volumes.

REMUS, M.V.D; HARTMANN, L.A.; McNAUGHTON, N.J. & GROVES, D.I., REICHEL, J.L., and DORNELES, N.T. 1999. The Camaquã Cu (Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) Deposits, Southern Brazil – Is their mineralization syngenetic, diagenetic or magmatic hydrothermal?. *In: Silva, M.G. and Misi, A. (Ed). Base Metal Deposits of Brazil MME/CPRM/DNPM, p.p.:54-63.*

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO FILHO, P. M.; TESSARI, R. I. 1966. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul. Rio de Janeiro: DNPM, 1966. Boletim nº 127.

ROBERTSON, J.F. 1966. Revision of Stratigraphy and nomenclature of rock units in Caçapava-Lavras Region. *IG-UFRGS, Notas e Estudos, 1(2):41-54.*

ROJAS, J.N.L. 2007. Caracterização Geológica e Mineral da Mina Cerro Rico – Leste de Lavras do Sul – RS. TRABALHO DE CONCLUSÃO- CURSO DE GEOLOGIA-UNISINOS

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. & KEYS, D.A. 1976. Applied Geophysics. Cambridge: Cambridge University, 860p.

Agradecimentos

Os autores agradecem os professores doutores Walter Malagutti Filho, João Carlos Dourado do Departamento de Geologia Aplicada da UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Campus de Rio Claro – SP, pelo empréstimo do equipamento. Ao geólogo, doutor César Augusto Moreira, pelo auxílio prestado durante as primeiras aquisições magnetométricas de campo na área estudada. A FAPERGS pelo apoio financeiro, através do Projeto Pró COREDES “Estudo das Mineralizações de Au e Cu, associadas ao Granito Lavras: Apoio ao desenvolvimento da região de Lavras do Sul (Processo 04/0671.1), coordenado pela Dra. Delia Del Pilar M. de Almeida.