



APLICAÇÃO DO MÉTODO ELETROMAGNÉTICO *FDEM-GCM* PARA CARACTERIZAÇÃO GEOELÉTRICA DE UMA OCORRÊNCIA CUPRÍFERA.

Jorge da Cruz Bitencourt¹, José Pedro Rebés Lima^{2*}, Marco Antônio Fontoura Hansen² e Marcelo Lusa².

¹(jorge_cb.1987@hotmail.com).

²Universidade Federal do Pampa, Laboratório de Geofísica Aplicada, Grupo de Pesquisa GEOCOMAR.

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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.

The electromagnetic method is applicable to copper mining research due to be conductive thus behaves as an excellent conducting body in the presence of a magnetic field. This study aims to map fracture zones that may possible contain copper mineralization and gold applying electromagnetic geophysical method of shallow investigation in the frequency domain using the Terrain Conductivitymeter (*FDEM-GCM*). In the field were identified the main directions of the fractures containing mineral deposits that are aligned according to the tectonic direction NW-SE. These occur in volcanic tuffs of basic composition of Acampamento Velho Formation comprising rhyolite lava flows, pyroclastic flow deposits and autobreccias and were classified as rhyolites, ignimbrite, tuff to dust, ash and volcanic breccia. The result of digital image processing of Landsat TM 5 compared to the structural geology was effective for confirmation of fractures.

Introdução

A importância da pesquisa mineral é justificada pela necessidade da caracterização de novas reservas. A pesquisa de recursos minerais compreende o uso de ferramentas diretas e indiretas de investigação.

Na pesquisa mineral são realizadas as investigações e trabalhos de prospecção e pesquisa mineral, cujo objetivo é o de encontrar os indícios da presença de um corpo mineral e definição de teores e reservas. Posteriormente são desenvolvidas investigações baseadas em mapas geológicos, coleta de amostras para análise química, mineralógica e petrográfica, em

prospecção geoquímica e em geofísica de superfície ou aérea (PEREIRA, 2003).

A geofísica é uma ciência baseada em fundamentos físicos que permitem estudos indiretos do meio geológico, por meio instrumental que possibilita medidas de propriedades físicas intrínsecas aos solos e rochas (KEAREY *et al.*, 2002).

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia magnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos.

A aplicação do método eletromagnético no domínio da frequência (*FDEM*) de investigação rasa Condutivímetro de Terreno (*GCM*) é indicada em pesquisas de prospecção mineral e de água subterrânea em meio cristalino, em especial para mapear zonas fraturadas (LIMA, 2009).

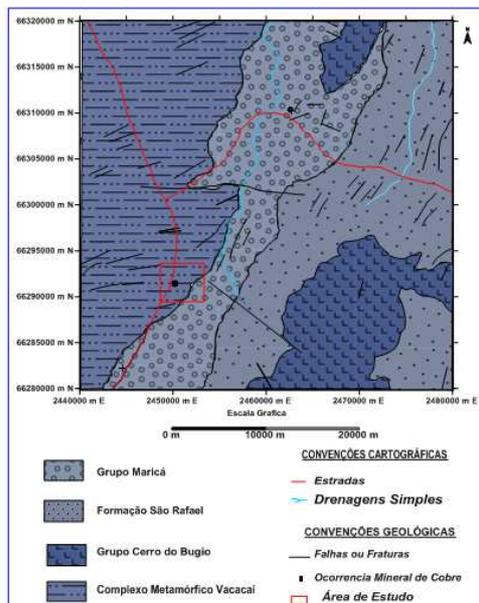
Os métodos eletromagnéticos envolvem a propagação de campos eletromagnéticos em diversas frequências e baseiam-se nos fenômenos físicos de eletricidade e magnetismo. Quando uma corrente elétrica passa por uma bobina, é gerado um campo magnético nas vizinhanças dessa bobina. A corrente que flui na bobina induz a um campo eletromagnético primário nas proximidades da bobina, que se propaga em subsuperfície, onde corpos condutores na presença deste campo geram correntes elétricas de contorno. Estas correntes, ao fluírem pelo condutor induzem a um novo campo magnético que então é chamado de campo magnético secundário. Esse processo é conhecido como indução eletromagnética (KEAREY *et al.*, 2002).

O método eletromagnético é aplicável em pesquisa mineral devido ao cobre ser condutivo, deste modo se

comporta como excelente corpo condutor na presença de um campo magnético, gerando uma boa resposta de condutividade elétrica.

A escolha da área de estudo deve-se a existência de ocorrência mineral cuprífera. A ocorrência de cobre está caracterizada por uma zona mineralizada constituída em superfície por carbonatos de cobre associada a zonas fraturadas, alojadas em rocha metamórfica encaixante, representada por anfíbolitos e clorita mica xistos. O objetivo desta pesquisa é mapear zonas de fraturas que podem conter possíveis mineralizações cupríferas e auríferas, aplicando o método geofísico eletromagnético de investigação rasa no domínio da frequência (*FDEM*), Condutivímetro de Terreno (*GCM*). Caracterizar geoelectricamente a área mineralizada de cobre, alojada em rochas metavulcânicas.

A ocorrência cuprífera estudada, esta localizada em rochas do escudo Sul-Rio-Grandense que congrega associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares, de idade, origem e evolução diversas, distribuídas num complexo arranjo tectono-estratigráfico, controlado por lineamentos regional (NE-SW) e (NW-SE), que segmentam este escudo, com base em determinações radiométricas pelo método U/Pb em zircão, caracterizaram quatro unidades geotectônicas Complexo Granulítico Santa Maria Chico, Cinturão São Gabriel, Cinturão Tijuca e Cinturão Dom Feliciano (CHEMALE JR *et al.*, 1995). O mapa geológico de maior detalhe para a área foi extraído do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos (PLGB) folha Passo Salsinho, escala 1:50.000 (PORCHER *et al.*, 1995) (Figura 1).



Fonte - Adaptado de (PORCHER *et al.*, 1995).
FIGURA 1 – Mapa Geológico (coordenadas UTM).

Foi Realizado levantamento geológico estrutural de detalhe, na área de estudo, para delimitar as zonas de fraturas, e realizados perfis com o método geofísico *FDEM-GCM*, ortogonais as fraturas que contém a presença de malaquita, identificadas no levantamento geológico estrutural de detalhe em campo.

Metodologia de trabalho

A seguir são descritos sobre o levantamento geológico estrutural da área de estudo e aquisição geofísica com o equipamento EM34-XL3.

Levantamento geológico estrutural de Detalhe

Para a execução dessa etapa foi realizado um mapeamento estrutural de detalhe dos principais afloramentos existentes na área de estudo, foram realizadas 142 medidas de direção e mergulho das fraturas, utilizando a bússola do tipo Brunton, os valores foram anotados em forma de tabela.

Foi utilizando a regra da mão direita para todos os afloramentos, sendo possível identificar fraturas de diferentes famílias, e classificar famílias de fraturas mais antigas das mais recentes, e outros elementos encontrados nos afloramentos foram descritos, sendo fraturas preenchidas por veios de quartzo e malaquita.

Após a etapa de campo os dados obtidos foram transferidos para elaboração de planilhas no *Microsoft Office Excel 2007*. Para construir o diagrama de rosetas da área de estudo, os dados foram transferidos para um arquivo *.txt do programa StereoNet 3.01. Após os dados tabelados foi construído o diagrama de rosetas da área estudada utilizando o programa StereoNet 3.01.

Aquisição geofísica

No trabalho de campo foi utilizado o condutivímetro de terreno EM-34, modelo XL.

O método eletromagnético *FDEM-GCM*, é uma ferramenta importante para investigação e mapeamento estrutural. É um sistema equivalente ao Slingram (McNEILL, 1980).

O EM34-3XL é um equipamento portátil, possui duas bobinas que são conectadas entre si com distâncias variáveis, sendo que tanto o transmissor e o receptor são móveis. As bobinas podem ser operadas, tanto no plano vertical, quanto no plano horizontal (figura 2).

Esse equipamento foi desenvolvido para aplicação em pesquisas minerais, e tem se mostrado efetivo para mapeamento de falhas, fraturas e zona de cisalhamento. E permite leituras de condutividade aparente em (mS/m).

As frequências de operação variam conforme o espaçamento entre as bobinas, para 10, 20 e 40 m as frequências 6,4 kHz, 1,6 kHz e 0,4 kHz, respectivamente.

Em campo foram realizados cinco perfis com direção (NE-SW) e dois perfis (N-S), as distâncias variaram de 370 m a 500 m, com um espaçamento de 50 m um do outro e efetuadas medidas nos modos dipolo horizontal e vertical a cada dez metros, utilizando-se os três cabos, de 10, 20 e 40 metros.



Figura 1 - Equipamento EM34-3XL, A) Bobina de transmissão (branca) e de recepção (laranja); B) Módulo Receptor; C) Módulo Transmissor.

Os espaçamentos entre os perfis foram medidos com trena, e os pontos de início e fim do perfil foram obtidos utilizando equipamentos de GPS. Os perfis de caminhamento eletromagnético foram realizados em direções perpendiculares aos lineamentos estruturais. Os dados adquiridos em campo (figura 3) foram tabulados digitalmente. O processamento dos dados consistiu em interpolar os valores de condutividade aparente levando-se em conta as profundidades de investigação teóricas. Os resultados são apresentados na forma de pseudo-seções.



Figura 2 - Aquisição dos dados em campo utilizando o equipamento EM34-3XL.

Resultados e Discussões

Primeiramente foi realizado um levantamento geológico estrutural abrangendo uma área de 1.400 m², onde foram encontrados oito afloramentos e realizadas medidas de direção e mergulho das fraturas, sendo georreferenciado cada um destes afloramentos (Figura 4).

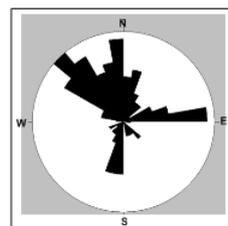


Figura 4 - Diagrama de rosetas com 142 medidas de fraturas.

As direções obtidas pelo levantamento estrutural de detalhe realizado na área de estudo, obteve as direções preferenciais em (NW-SE), e verificou-se que as fraturas preenchidas por malaquita estão nestas direções.

Utilizando o *software* SPRING foram interpretados 518 lineamentos estruturais e selecionados os que ocorrem na área de estudo (figuras 5 e 6).

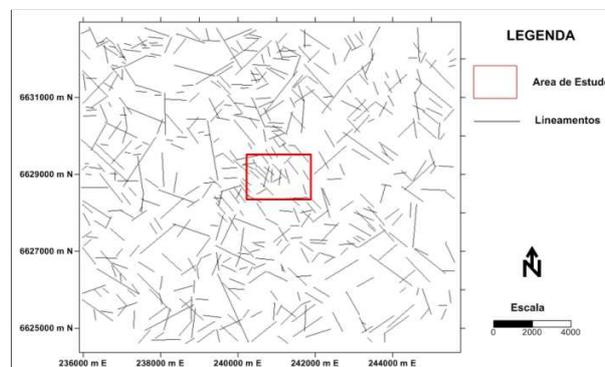


Figura 5 - Mapa de lineamentos da área regional estudada.

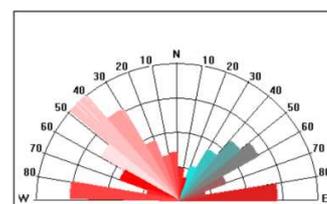


Figura 6 - Diagrama de Rosetas (frequência absoluta) da área regional estudada com todas as direções, N=518.

Comparando os valores da figura 04 com os valores da figura 06, observa-se que os valores estão coerentes. Tendo-se em conta os valores de direção das fraturas, foram realizados cinco perfis nas direções de 45° (NE-SW) ortogonal as fraturas que estão preenchidas por carbonato de cobre, e dois perfis de direção (N-S) (figura 7).

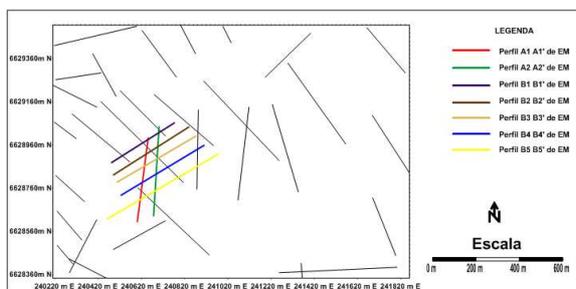


Figura 7 - Mapa de lineamento tectônico local existente na área de estudo.

Analisando as pseudo-seções dos perfis A1 e A2 ilustrados na figura 8 e a figura 7 foram observados as seguintes interpretações: **a)** Aproximadamente aos 240 m os perfis A1 e A2 cruzaram por uma fratura, onde se observa altos valores de condutividade que estão relacionados a uma fratura na direção (NW-SE); **b)** O perfil A2 identificou fraturas com altos valores de condutividade aparente que permanecem até uma profundidade de 60 m; **c)** Entre 270 m e 330 m foi possível identificar valores bem altos de condutividade aparente que variam de 14 a 18 (mS/m), sendo que esta área está próxima a uma fratura com direções (NW-SE) identificado pelo processamento das imagens de satélite. Aos 325 metros, os valores de condutividade aparente estão variando entre 14 a 20 (mS/m) e provavelmente, afirmar que estes valores altos de condutividade aparente estão relacionados com as fraturas de direções (NW-SE), os valores condutivos estão em uma profundidade máxima de 40 metros é provável que esta fratura está preenchida com material condutivo.

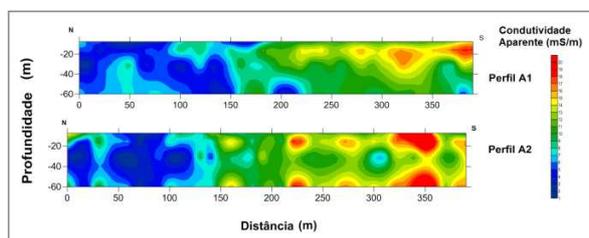


Figura 8 – Pseudo-seções dos perfis A1 e A2 realizados com os cabos de 10, 20 e 40 metros.

Os cinco perfis realizados nas direções de 45° (NE-SW) estão paralelos entre si separados por uma distância de 50 m (figura 9).

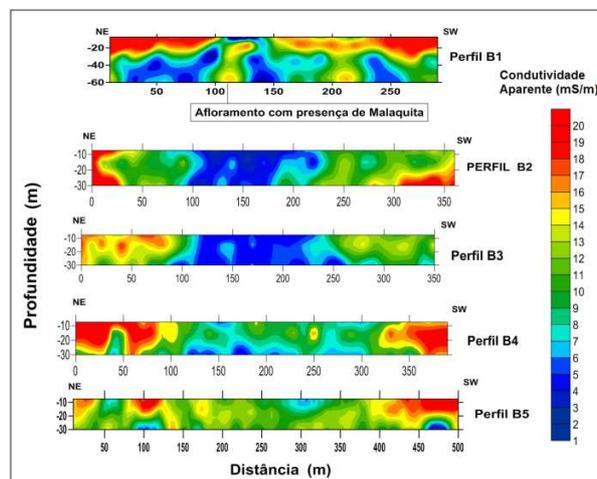


Figura 9 – Pseudo-seções dos perfis realizados em direção 45° (NE-SW).

Analisando as pseudo-seções dos perfis B, B2, B3, B4 e B5 foram observadas as seguintes interpretações: **a)** O perfil B1 foi marcado do início até uma distância de 100 metros por altos valores de condutividade aparente variando de 14 a 20 (mS/m) atingindo uma profundidade de 30 metros até os 90 m, atingindo uma profundidade de 30 m foi identificado a presença de um corpo condutivo variando de 13 a 20 (mS/m) que pode ser a presença de cobre disseminado, por estar em baixas profundidades e próximo ao afloramento que está aproximadamente 115 m do início do perfil, onde o perfil cruzou bem em cima do afloramento que apresentava a ocorrência de cobre é nesta posição foi identificado uma fratura com altos valores de condutividade aparente. Pode observar estes valores até uma profundidade de 60 metros variando de 12 a 17 (mS/m), dos 150 m até 300 m marcou altos valores de condutividade aparente, sendo que nos 215 m, o perfil identificou uma fratura com altos valores de condutividade variando de 14 a 17 (mS/m), pode afirmar que esta fratura está na direção (NW-SE) confirmado pelo processamento de imagem de satélite, que confirma com os dados estrutural local, a parte condutiva vai diminuindo e fica bem marcado a presença da fratura, neste caso o material condutivo está migrando da fraturas e encontra em superfície de forma disseminada; **b)** O perfil B2 foi possível observar no início do perfil até uma distância de 50 m e marcado por altos valores de condutividade aparente em torno de 14 a 20 (mS/m), estes valores altos de condutividade aparente pode estar associados a uma fratura de direção (NW-SE) que está próxima ao início do perfil, que foi identificada através do processamento de imagem de satélite, é possível afirmar que esta fratura esteja preenchida por carbonato de cobre. Próximo aos 90 m identificou a presença de um corpo condutivo que pode ser a disseminação do cobre por estar próximo ao afloramento, devido presença de um

corpo resistivo os dados de condutividade aparente ficaram influenciados. Entre 90 a 210 m foi mapeado um corpo resistivo com valores de condutividade aparente variando de 1 a 5 (mS/m), estes baixos valores deve se a presença de quartzo que aflora em superfície. Entre 240 metros foram encontrados valores condutivos. Entre 300 m a 370 m ocorre a presença de altos valores de condutividade aparente em uma profundidade entre 20 a 30 metros, que confirma a existência de outra fratura; **c)** O perfil B3 e possível observar da posição 0 até 100 m altos valores de condutividade aparente que variam de 12 a 18 (mS/m), é possível identificar a presença de fraturas preenchidas por material metálico, e em superfície encontra de forma disseminada. Próximo aos 110 m até 250 m fica bem marcada a presença de baixos valores condutivos que variam de 1 a 8 (mS/m) que correspondem a presença de quartzo. Nos 250 m a 350 m ocorrem altos valores de condutivos variando de 10 a 15 (mS/m), estes altos valores pode ser a continuidade de uma fratura (NW-SE); **d)** O perfil B4 e possível observar da posição 0 até 80 m é marcado por altos valores condutivo que variam de 14 a 20 (mS/m). Estes altos valores confirmam à existência de uma fratura (N-S) identificada através do processamento de imagens de satélite sendo que próximo aos 40 m o perfil cruzou por esta fratura. Nos 250 m foi identificado anomalias com altos valores de condutividade aparente variando de 15 a 16 (mS/m), nesta posição o perfil cruzou uma fratura com direção (NW-SE) identificada pelo processamento de imagens de satélite. Entre 320 m até 400 m foram identificados altos valores de condutividade que variaram de 14 a 20 (mS/m) por continuarem até uma profundidade de 30 m, pode afirma a existência de uma outra fratura; **e)** O perfil B5 identificou se no início do perfil até os 40 m, altos valores de condutividade variando de 15 a 18 (mS/m) é em seguida aos 100 m identificaram-se também alto valores condutivos, sendo que estes altos valores no início do perfil estão relacionados a uma fratura (N-S) que o perfil cruzou próximo aos 100 m que pode ser observado no mapa de lineamentos tectônicos, observando em uma profundidade de 30 metros os valores de condutividade aparente encontram em menor quantidade, neste caso o carbonato de cobre esta migrando da fratura e se encontrado de forma disseminada. Próximo aos 170 m o perfil cruza por uma fratura mostrado no mapa de lineamento tectônico, ocorrem altos valores condutivos que variam de 10 a 14 (mS/m), esta fratura pode conter à presença de carbonato de cobre disseminado no solo. Próximo aos 360 metros em uma profundidade de 20 a 30 metros pode se observar altos valores condutivos entre 13 à 14 (mS/m) estes altos valores confirmam a existência da fratura que foi observada no final do perfil B4, confirmando a continuação lateral desta fratura. Entre 280 m a 500 m ocorrem altos valores de condutividade que variam de 14 a 20 (mS/m) estes valores estão em uma profundidade de 20 metros, estes altos valores encontrados podem estar associados a umidade no solo que foi observado em campo.

Conclusões

A análise estrutural identificou a presença de três famílias de fraturas sendo que a direção preferencial esta a NW-SE, nesta direção pelo levantamento estrutural de detalhe, que foi realizado na área de estudo identificou a presença de fraturas preenchidas por malaquita, em afloramento de rochas vulcânicas básicas.

Os resultados foram satisfatórios na caracterização da ocorrência cuprífera, pois corresponde a uma grande área condutiva, sendo possível a identificação de fraturas nas direções NW-SE com altos valores de condutividade aparente. Os valores baixos de condutividade estão associados à presença de quartzo que aflora em superfície.

Agradecimentos

Agradecemos a pró-reitoria de pesquisa PROPESQ/Unipampa pela aquisição do equipamento Condutivímetro EM-34-3XL através do edital de Apoio a Pesquisa/2009 referente ao projeto de registro N^o 03.002.09. Agradecemos ainda a empresa Mining Ventures Brasil pela permissão de estudo na área e pela divulgação do trabalho.

Referências Bibliográficas

- CHEMALE Jr., F.; HARTMANN, L.A.; SILVA, L.C. da. 1995. **Stratigraphy and Tectonism of Brasiliano Cycle in Southern Brazil**. *Communs geol. Surv. Namibia*, v.10, p. 151-166.
- KEAREY, Philip; BROOKS, Michel; HILL, Ian. **Geofísica de Exploração**. São Paulo, 2002. p. 355-390.
- LIMA, J.P.R., et al., 2009. **Use of FDEM-GCM Method for Groundwater Prospecting in Crystalline**. 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 2009, Rio de Janeiro.
- McNEILL J. **Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbres**. Technical Note TN, 6: 1980. Disponível em: (<http://www.geonics.com>). Acesso em: 26 Abril 2011.
- PEREIRA, R.M. **Fundamentos de Prospecção Mineral**. Editora Interciência. 2003, 167p.
- PORCHER, C.C.; FERNANDES, L.A.D.; MONTEIRO, A.O. 1995. **Zoneamento Metamórfico das Granadas e Dados de Geotermometria dos Metamorfitos Cerro do Facão – Suíte Metamórfica Porongos (RS)**. In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 5. Gramado,

1995. Boletim de resumos Expandidos... Gra mado: SBG,
p. 69-70.

[SPRING: "Integrating remote sensing and GIS by
object-oriented data modelling" Camara G, Souza
RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20:
\(3\) 395-403, May-Jun 1996.](#)