



A Técnica IMIP, suas aplicações em aquisições de dados com alta resolução.

Rodrigo Tusi Costa* (AFC Geofísica), Marcos A.R. Tschoepke (AFC Geofísica), Antonio Flavio U. Costa (AFC Geofísica) and Pablo B. Pizutti (AFC Geofísica).

Copyright 2019, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 16th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 19-22 August 2019.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 16th 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

In recent years, the search for deeper mineralization has increased significantly. In this sense, the development of methods and techniques capable of generating good resolution images useful for the exploration of deep mineral deposits is fundamental both to facilitate investment in new areas and to increase the life of known mineral deposits. The IP method has been applied in the detection of massive sulfides and even more so when there is a need to prospect for disseminated bodies, which do not always present good responses with electromagnetic methods. However, the traditional IP method acquisition with the dipole-dipole arrangement, despite having high sensitivity for detection of these bodies, results in weak Vp signal so that the quality falls rapidly as the depth of investigation is increased. The objective of this work is to present the IMIP technique as a good alternative for conducting IP surveys, in which there is a need to prospect deep bodies, usually more than 100 meters deep, as well as discuss the advantages of using a system developed for this type of data acquisition. The IMIP technique, based on the combination of the electrode arrangement, allows the investigation of deep mineral deposits with higher quality and resolution than the traditional techniques.

Introdução

A mineração é uma atividade extremamente importante para o desenvolvimento da humanidade. A partir dela, é possível obter praticamente toda a matéria prima necessária para construção de carros, prédios, equipamentos eletrônicos, etc.

No entanto, a dificuldade para se encontrar minérios aflorantes ou rasos está cada vez maior. Por este motivo, nos últimos anos, tem aumentado significativamente a busca por mineralizações cada vez mais profundas. Atualmente, existem diversas minas que trabalham na extração de minérios em grande profundidade. Como exemplos podem ser citados as minas de cobre e níquel de Creighton no Canadá e as minas de ouro Norigwa,

Driefonten e Kusasaletu na África do Sul. Em todas elas o minério ocorre a mais de 2 km de profundidade. No Brasil, podem-se citar alguns exemplos de mineração profunda, com minérios a mais de 500 metros de profundidade, em áreas de cobre na Bahia, de potássio no Amazonas, e de ouro em Minas Gerais.

Desta forma, torna-se cada vez mais necessária a busca pelo desenvolvimento de métodos e técnicas, que sejam capazes de gerar imagens com boa resolução e úteis no auxílio de prospecções profundas de minério. Isto é fundamental tanto para facilitar os investimentos em novas áreas, quanto para aumentar a vida útil de depósitos minerais já conhecidos.

A técnica IMIP

O método IP tem sido muito aplicado na detecção de sulfetos maciços, e mais ainda, quando existe a necessidade de prospecção de corpos disseminados, os quais normalmente não apresentam boas respostas com os métodos eletromagnéticos.

Atualmente, no Brasil, os levantamentos de IP, em geral, são feitos através da técnica tradicional de aquisição que utiliza o arranjo dipolo-dipolo. Essa técnica, apesar de apresentar uma alta sensibilidade para detecção de corpos sulfetados, apresenta sinal Vp fraco de modo que a qualidade cai rapidamente com o aumento do nível de investigação. Por este motivo, o IP convencional, usando o arranjo dipolo-dipolo, é um método limitado para investigações profundas, sobretudo porque o aumento da profundidade de investigação está condicionado ao aumento do espaçamento entre os eletrodos, e consequentemente, a uma diminuição na resolução dos dados e na qualidade dos modelos obtidos nas inversões.

A técnica IMIP (Imageamento por IP) surgiu como uma evolução do método IP voltada para aquisição profunda (Costa, 2010 e Fornari, 2012). É uma técnica que visa, sobretudo, através da combinação de arranjos de eletrodos, investigar, com qualidade e boa resolução, profundidades maiores do que as técnicas convencionais alcançam.

Na Figura 1 é apresentado um exemplo comparativo entre uma malha de pontos em uma seção 2D com aquisição dipolo-dipolo e com o IMIP. A seção foi realizada em área de pesquisa de cobre e apresenta 1080 metros de comprimento e 40 metros de espaçamento entre eletrodos. A quantidade de pontos medidos no IMIP2D é cerca de oito vezes maior do que no dipolo-dipolo. Na Figura 1A é apresentado o número

de leituras feitas somente como o arranjo dipolo-dipolo, totalizando 215 medições de IP. Na Figura 1B é apresentada a quantidade de leituras feitas com o IMIP no mesmo trecho, totalizando 1838 medições.

A diferença entre os resultados obtidos nas modelagens 2D é significativa. No modelo de cargabilidade obtido somente com os dados de dipolo-dipolo (Figura 2B), a anomalia de alta cargabilidade que ocorre entre as distâncias -280 e 0 metros se estende até o limite em profundidade da seção (cota 770 metros) e por este motivo não pôde ser delimitada. Já no modelo obtido com a técnica IMIP2D (Fig. 3B), a anomalia fica completamente delimitada se estendendo até em torno da cota 600 metros.

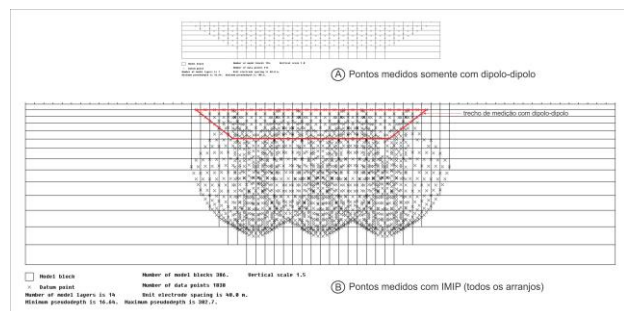


Figura 1 - Comparação entre pontos medidos com a técnica IMIP e o arranjo dipolo-dipolo.

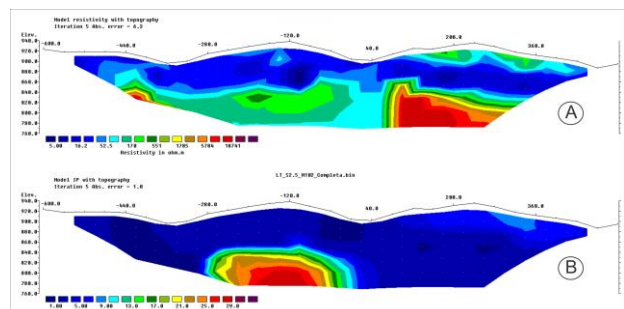


Figura 2 - Modelos de resistividade e cargabilidade obtidos com os dados de dipolo-dipolo.

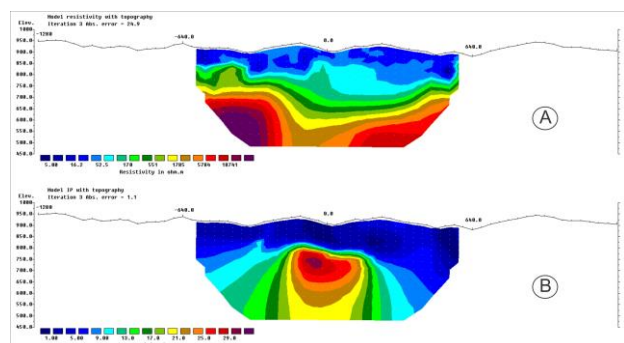


Figura 3 - Modelos de resistividade e cargabilidade obtidos com os dados de IMIP.

Na aquisição do IMIP em três dimensões (IMIP3D), é realizada uma malha de linhas receptoras com eletrodos

de potencial (não polarizáveis) distribuídos ao longo destas linhas. Os eletrodos para injeção de corrente elétrica são colocados em uma linha central para aquisição em maiores profundidades, e ao longo das próprias linhas receptoras para realização das medições mais rasas.

Na Figura 4 é apresentado um exemplo real de IMIP3D em uma malha de 900x800 metros (Fig. 4A) e da representação gráfica dos pontos medidos em subsuperfície (Fig. 4B). Na Figura 5 é apresentado o exemplo do resultado deste levantamento de campo, com ocorrência de minério de cobre detectado a mais de 500 metros de profundidade, coincidindo com a anomalia de IP delimitada. Na Figura 5A é apresentada a representação em 3D da anomalia mapeada, enquanto que na Figura 5B é apresentada uma seção 2D extraída do modelo 3D, com a representação das sondagens que detectaram o minério profundo (em amarelo nas sondagens) existente no local (Fornari & Costa, 2013).

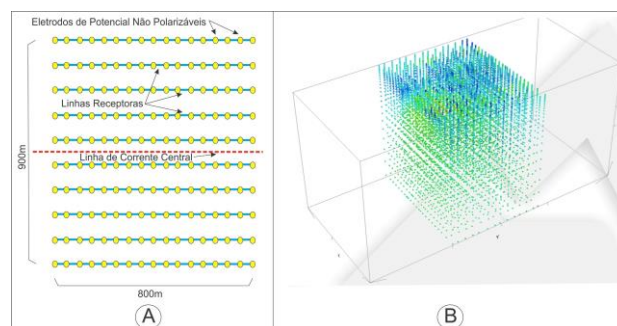


Figura 4 - Exemplo de Malha de IMIP3D e da representação gráfica dos pontos medidos.

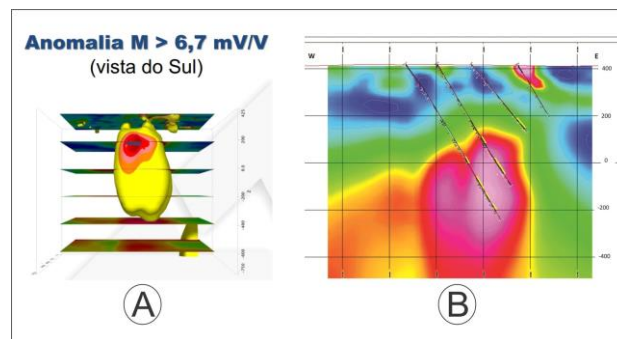


Figura 5.

Sistema para aquisição IP

Para a aplicação da técnica IMIP em aquisições 3D é necessário um grande número de eletrodos de potencial. A aquisição dados com os equipamentos existentes torna o processo lento uma vez que um limitado número de canais pode ser adquirido simultaneamente sendo necessária a realização de varias aquisições em sequência para a cobertura completa da área investigada. Além disso, as conexões de todos os

eletrodos devem estar disponíveis junto ao equipamento de aquisição IP implicando no uso de grandes extensões de cabos multipares. Para resolver este problema foi desenvolvido um sistema descrito a seguir.

Sistema de aquisição de dados de IP, com tecnologia wireless, sem a necessidade de cabos geofísicos em campo, que permite a aquisição de dados de cargabilidade e resistividade elétrica, com conexão de um número ilimitado de eletrodos e com medição simultânea dos mesmos, facilitando a realização de aquisições 2D e 3D com arranjos de eletrodos combinados.

O Sistema é composto por uma base e um conjunto de unidades remotas (Fig. 6). Os equipamentos da base controlam as unidades remotas, que fazem aquisição e processamento de sequência de amostras do sinal de IP.

O sincronismo do ciclo de IP é obtido do transmissor de corrente e enviado a cada unidade de aquisição via rádio garantindo, desta forma, que todas as unidades remotas estejam perfeitamente sincronizadas com o ciclo IP do transmissor de corrente.

Todo o sistema opera via wireless, ou seja, toda a comunicação da base com as unidades remotas, enviando e recebendo dados, é feita por sinal de rádio.

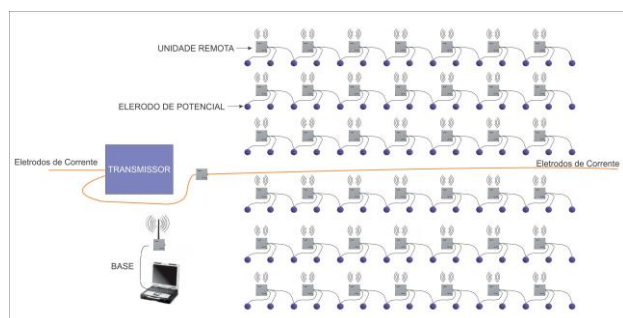


Figura 6 - Configuração de campo do sistema de aquisição IP.

O sistema dispõe de conversores $\Sigma\Delta$ de 24 bits e sensibilidade melhor que $1 \mu\text{V}$. Cada unidade remota de aquisição dispõe de processamento digital de sinais para tratar a "full waveform" (Fig. 7) de forma a obter bons resultados de IP mesmo com sinais de baixa amplitude e baixa relação sinal/ruído.

O sinal de IP amostrado é filtrado por filtros digitais de forma a eliminar interferências externas, interferência de rede de energia elétrica de 50 e 60Hz e suas harmônicas, ou outras fontes de interferência de frequência acima do espectro de frequências do sinal de IP.

O sinal é processado por algoritmos de forma a aproveitar somente os semiciclos que apresentam boa qualidade.

Os semiciclos que apresentam baixa qualidade são removidos automaticamente por um algoritmo na unidade de aquisição. Somente os semiciclos de melhor qualidade são empilhados e utilizados no cálculo das cargabilidades medidas (Fig. 8).

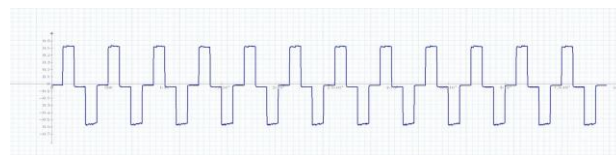


Figura 7 - Exemplo de sequência de dados de IP "full waveform".

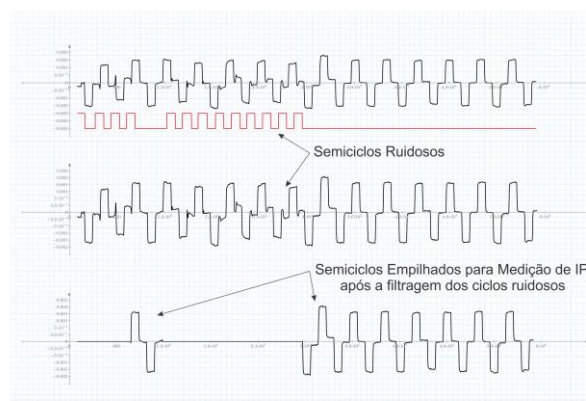


Figura 8 - Remoção automática dos semiciclos ruidosos que é feita em cada unidade remota de aquisição.

Devido ao processamento distribuído e simultâneo de um número ilimitado de canais é possível a realização de medições com um tempo grande de empilhamento de dados (Fig. 9), gerando dados com maior qualidade.

A figura 9 à esquerda mostra os semiciclos selecionados, a figura 9 à direita mostra o empilhamento progressivo dos semiciclos selecionados.

Os resultados obtidos em levantamentos de campo mostram o alto desempenho do sistema e a eficácia dos algoritmos de processamento de 'Fullwaveform' empregados quando comparado com equipamento fabricado fora do Brasil, que é comumente utilizado em projetos de IP, apresenta modelos 2D com menor desvio padrão.

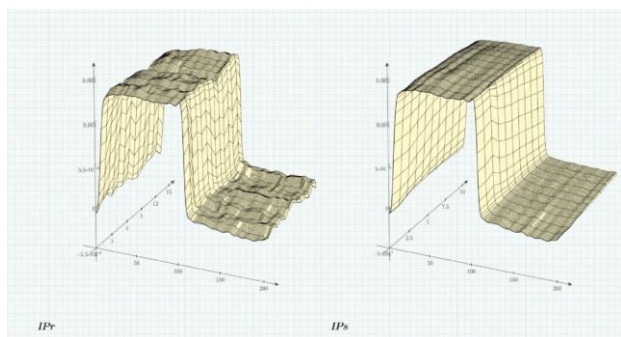


Figura 9 - Exemplo de Curva com Empilhamento de Dados.

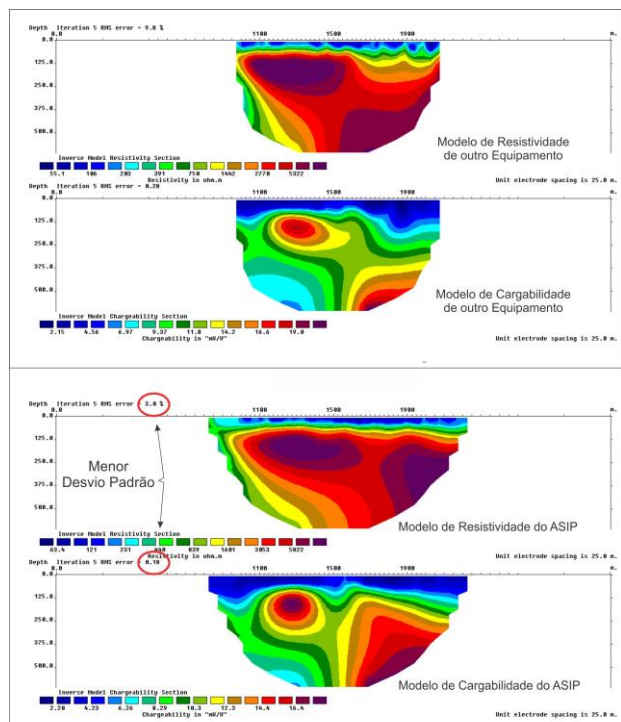


Figura 10 - Comparação entre o resultado das modelagens 2D feitas com o sistema desenvolvido e com outro equipamento.

Conclusão

O IMIP é uma técnica de aquisição de dados que permite a realização de levantamentos com alta resolução e grande quantidade de dados coletados, que é extremamente útil, principalmente quando o objetivo é investigar grandes profundidades (maiores que 100 metros).

O uso da aquisição tradicional com arranjo dipolo-dipolo, apesar de apresentar uma alta sensibilidade para detecção de mineralizações, apresenta sinal Vp fraco e a qualidade cai rapidamente com o aumento do nível de investigação, o que torna o método limitado para investigações profundas.

A técnica do IMIP2D é adequada para uma área de pesquisa na qual o objetivo é investigar profundidades

maiores que 100 metros, em que a malha geofísica possui grande extensão lateral e o espaçamento entre linhas é relativamente grande em relação ao espaçamento de eletrodos.

Já a técnica do IMIP3D é adequada quando se pretende investigar grandes profundidades, normalmente maiores que 400-500 metros, e a extensão lateral da malha não é tão grande. Uma sugestão de malha geofísica para realização de IMIP3D é de 1x1 km, com espaçamento entre linhas de 100 metros, e espaçamento entre eletrodos de potencial ao longo das linhas de 50 metros.

O uso do sistema desenvolvido em levantamentos terrestres de IP, principalmente quando utilizado em aquisições com a técnica IMIP, proporciona diversas vantagens em relação aos demais sistemas de aquisição que existem no mercado:

- Aquisição simultânea de dados com número ilimitado de canais;

- Aquisição dos dados sem a necessidade do uso de cabos geofísicos, pois o registro dos dados é feito nas unidades remotas, e o envio dos dados é via rádio;

- Processamento do sinal de IP na unidade remota para remoção de ruídos externos como, por exemplo, rede elétrica de 50 e 60 Hz e filtros automáticos dos semicírculos de IP ruidosos;

- Aquisição de dados mais rápida e consequentemente com custo mais baixo, que permite a realização de imagens 2D e 3D profundas com alta resolução;

- Devido à aquisição simultânea de um número ilimitado de canais, permite a realização de medições com um tempo maior de empilhamento de dados, gerando dados com maior qualidade e confiabilidade;

- A localização da base pode ser feita em qualquer lugar da malha geofísica, facilitando a aquisição em campo;

- O sistema possui equipamentos leves que facilitam a montagem do sistema em campo;

- O não uso de cabos em campo evita que o trabalho seja interrompido devido a cortes nos cabos provocados por animais. Ocorrência muito comum na região amazônica, por exemplo.

Referências

Costa, A.F.U., [2010]. Imageamento Elétrico por Polarização Induzida (IMIP): Novas Técnicas de Aquisição de Dados Profundos com Alta Resolução. Fórum de Negócios. SIMEXMIN. Ouro Preto.

Fornari, A. [2012]. Novo Método de Prospecção Geofísica Aplicado pela Mineração Caraíba S.A. – Imageamento Elétrico por Polarização Induzida – ImIP. SIMEXMIN. Ouro Preto.

Fornari, A. & Costa, A.F.U. [2013]. IMIP3D – Um Novo Método de Investigação Geofísica Profunda 3D e Resultados Obtidos em Alvos da Mineração Caraíba S.A. III Simpósio Brasileiro de Metalogenia. Gramado.