

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Geologia

**ESTUDO GEOFÍSICO EM DEPÓSITO DE MANGANÊS SUPERGÊNICO NO
MUNICÍPIO DE ITAPIRA - SP**

Pedro Lemos Camarero

Prof. Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro (SP)

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

PEDRO LEMOS CAMARERO

ESTUDO GEOFÍSICO EM DEPÓSITO DE MANGANÊS
SUPERGÊNICO NO MUNICÍPIO DE ITAPIRA-SP

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2013

551 Camarero, Pedro Lemos
C172e Estudo geofísico em depósito de manganês supergênico
no município de Itapira - SP / Pedro Lemos Camarero. - Rio
Claro, 2013
51 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geologia)
- Universidade Estadual Paulista,
Orientador: César Augusto Moreira

1. Geofísica. 2. Óxidos. 3. Gondito. 4. Supergênico. 5.
Eletrorresistividade. 6. Polarização Induzida. 7. Mineração. I.
Título.

PEDRO LEMOS CAMARERO

ESTUDO GEOFÍSICO EM DEPÓSITO DE MANGANÊS
SUPERGÊNICO NO MUNICÍPIO DE ITAPIRA - SP

Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira (orientador)

Prof. Dr. Antonio Celso Oliveira Braga

Prof. Dr. João Carlos Dourado

Rio Claro, 02 de Julho de 2013.

Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

***A meus pais, Sueli e José Luiz,
que sempre me deram liberdade para trilhar
meu caminho e fazer minhas escolhas.***

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde e lucidez. A toda minha família, o embasamento da minha vida, meus pais, meus irmãos de sangue Dú, Rê e Netão; aos respectivos irmãos herdados Fernanda, Toi e Lívia; e aos sobrinhos Maria Clara, João e meu afilhado Felipe. Agradeço a meu Vô Zé por ser quem ele é, e em memória dos meus queridos Vô Chico, Vó Dora e Vó Lígia, que mesmo longe, sempre estão presentes. Agradeço aos meus padrinhos, Marião e Lela, por sempre acreditarem e incentivarem. Agradeço ao Marcelinho Carioca, André, Dorinha, Rafinha e todos meus outros primos e primas, tios e tias. A família Landell por ter me acolhido tão bem. Agradeço em especial a Lígia Mangnani Landell – por tudo!

Agradeço ao suporte da UNESP e a todos os professores e funcionários que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação. Agradeço a Mineração Mil pela autorização de realização do trabalho. Agradeço ao meu mentor científico e, extremamente paciente, Doutor César Augusto Moreira, que acima de tudo é um grande amigo.

Agradeço a meus colegas de profissão e aos irmãos de faculdade Cícero Terra e João Motta. Em especial ao irmão, amigo e parceiro de tantos caminhos e tantas jornadas Luís Henrique Aquaroli e a todos outros amigos de geologia Daniel Kenzi, Antonio Mello, Viviane Gimenez, Daniel Marinzek, Claudio Breda, Igor Pelaes, Marina Lunardi, Ricardo Otto, Fábio Tozzi, Vinicius Rocha, Felipe Seguin e muitos outros. Aos amigos de peso Luís Fernando Cordido, Júlio César da Silva e Leonardo Carrazza. Pela contribuição de Mario Borges e Glauber Lira. Agradeço aos amigos de longa data Ricardo Siufi, Guilherme Lacerda, Rafael Mattar, Arnaldo Silveira, Deib Tozetto, Vitor Cocito, Gabriel Zucoloto, Gabriel Pereira, Sérgio Papa, Fernando Lopes, Murilo Cesca, Ricardo Sartorato, Rodolfo Gomes, Caio Perdoná, Tiago Zaneti, Caíque Muraca, Daniel Tablas, Mariana Ribeiro, Edna Gerolim, Izabela Brugognolli, Estevão Pacheco, Alexandre Copesco, Gabriela Abbari, Thaís Campos, Taísa Izilda Reque, Thales Fukushima, aos Amigos do Adamastor, a Família Super Extensivo e a tantos outros.

***To learn to succeed,
You must first learn to fail.
(Michael Jordan)***

RESUMO

A pesquisa mineral é uma atividade complexa, que deve envolver preferencialmente a combinação de técnicas diretas e indiretas de investigação geológica. A demanda crescente por metais base no mercado nacional e internacional proporcionam a reavaliação de ocorrências minerais, que podem ser convertidas em depósitos e minas. Este trabalho apresenta os resultados da aplicação dos métodos geofísicos de eletrorresistividade e de polarização induzida em arranjo paralelo à foliação principal da área, em um depósito de óxidos e hidróxidos em minério disseminado e maciço, encaixado em gnaisses e quartzitos, localizada no município de Itapira, no norte do estado de São Paulo. Os modelos de inversão indicam o predomínio de alta cargabilidade que coincidem parcialmente com valores de baixa resistividade. A integração dos dados geofísicos possibilitou a elaboração de seções de caminhamento elétrico com o cruzamento de dados distância x profundidade, para análises de detalhamento de alvos. A análise integrada de dados geofísicos e dados geológicos estruturais permite concluir que a mineração primária sofre controle estrutural, com os minérios alojados na foliação regional.

Palavras-Chave: Óxidos. Gondito. Supergênico. Eletrorresistividade. Polarização Induzida.

ABSTRACT

The mining research is a complex activity, which should preferably involve the combination of direct and indirect techniques of geological research. The increasing demand for base metals in domestic and international markets provide the revaluation of mineral occurrences, which can be converted into deposits and mines. This paper presents the results of the application of geophysical methods of electric resistivity and induced polarization in main foliation parallel to the arrangement of the area, in a deposit of oxides and hydroxides in massive and disseminated ores, docked in gneisses and quartzites, located in the municipality of Itapira, in the North of the State of São Paulo in Brazil. Inversion models indicate the predominance of high cargabilidade that partially coincide with low resistivity values. Integration of geophysical data made possible the drafting of sections of electric walking with cross-checking distance x depth, for detailing your target. The integrated analysis of geophysical and geological structural data leads to the conclusion that the primary mining suffers structural control with the regional foliation in ores.

Key-words: Oxides. Gondit. Supergenic. Electric Resistivity. Induced Polarization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização da área de estudos	14
Figura 2: Mapa geológico da região de Itapira	23
Figura 3: Detalhes das rochas da mina do Córrego do Cocho	26
Figura 4: Imagens da mina do Córrego do Cocho	27
Figura 5: Frente de lavra	28
Figura 6: Campo elétrico	30
Figura 7: Fenômenos de polarização	32
Figura 8: Esquema dos arranjos Wenner e Schlumberger	33
Figura 9: Aquisição dos dados sobre a geologia local e estrutural	34
Figura 10: Localização das linhas de geofísica da mina do Córrego do Cocho	35
Figura 11: Fixação, montagem e preparação dos eletrodos	36
Figura 12: Equipamentos utilizados no trabalho	36
Figura 13: Estereogramas da Foliação – Córrego do Cocho	38
Figura 14: Minério maciço encaixado na foliação	39
Figura 15: Linha 1 – Córrego do Cocho – Manganês	40
Figura 16: Linha 2 – Córrego do Cocho – Manganês	41
Figura 17: Linha 3 – Córrego do Cocho – Manganês	42
Figura 18: Linha 4 – Córrego do Cocho – Manganês	42
Figura 19: Frente de lavra x Linha 1	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	13
3. ÁREA DE ESTUDOS E ASPECTOS FISIOGRÁFICOS	14
4. ESTUDOS DE CASOS	16
5. GEOLOGIA	19
5.1. Geologia Regional	19
5.1.1 Complexo Guaxupé	19
5.1.2 Faixa Itapira/Amparo	20
5.2. Evolução e Contexto Tectônico	22
5.3 Geologia Local	25
6. MATERIAIS E MÉTODOS	30
6.1 Métodos Geofísicos	30
6.1.1 Eletrorresistividade	30
6.1.2 Polarização Induzida	31
6.2 Técnicas e Arranjos	33
6.3 Aquisição e Processamento dos Dados	34
7. RESULTADOS	38
8. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A economia brasileira é tradicionalmente alicerçada em atividades de extração mineral, algo que remonta o período do Brasil Colônia e Império. A expansão territorial foi motivada pela busca de pedras e metais valiosos, acentuados em períodos historicamente conhecidos como ciclos do diamante e do ouro.

Nos dias atuais, o Brasil está posicionado entre as sete maiores potências econômicas mundiais, com produto interno bruto (PIB) baseado na exportação de *commodities* como soja, carne bovina e minério como ferro, além de produtos como aço e alumínio.

O setor mineral, que compreende as etapas de pesquisa, mineração e transformação, é a base para diversas cadeias produtivas. Sua participação atual no produto interno bruto (PIB) nacional é de 4,2% e representa cerca de 20% das exportações brasileiras, por meio de uma cadeia produtiva que gera 1 milhão de empregos diretos, equivalente a 8% dos empregos industriais (BRASIL, 2010).

Os insumos minerais que atualmente destacam o Brasil no cenário internacional são o nióbio, ferro, bauxita, manganês e cobre, além de diversos outros como ouro e rochas ornamentais (BRASIL, 2010).

De suma importância para manutenção, desenvolvimento e crescimento econômico brasileiro, o setor mineral é dependente de pesquisas geológicas básicas para ampliação de jazidas conhecidas e em processo de lavra, além da descoberta de novas ocorrências e depósitos minerais.

Este conjunto de atividades é denominado pesquisa mineral, que reúne uma série de etapas de planejamento e estratégias baseadas no insumo mineral de interesse, que variam desde o modelo genético e forma de ocorrência no ambiente geológico, métodos e procedimentos de investigação, até condicionantes econômicos, como demanda, valor de mercado e projeções futuras.

A concentração das reservas mundiais de minério de manganês está em um grupo de sete países, que juntos somam praticamente 98% dos depósitos mundiais. Os países são: Ucrânia com 24,14%, África do Sul 20,69%, Austrália 16,03%, Brasil 10,34%, Índia 9,66%, Gabão 8,97% e China 7,59% (BRASIL, 2011).

A produção mundial de manganês em 2010 foi 14710 milhões de toneladas, onde o Brasil foi o segundo maior produtor (2620 milhões de toneladas), atrás

somente da China com 2800 milhões de toneladas produzidas. A produção nacional aumentou 13 % de 2009 para 2010 em detrimento ao reaquecimento da demanda mundial. A importação do concentrado de manganês quase dobrou no mesmo período.

O consumo interno do minério de manganês tem seu carro-chefe na produção de ferroligas à base de manganês e aço que em 2010 chegou à quantidade produzida de ferroligas a 210 mil toneladas, com 70% da produção total. Completam o consumo nacional de minério de manganês a indústria de pilhas eletrolíticas e indústria química, que somadas representam 15%. Na exportação, os bens primários foram os responsáveis por 68% da receita de exportação ou US\$ 360 milhões dos US\$530 milhões totais (BRASIL, 2011).

O metal manganês possui ampla diversidade e utilidade em indústrias de diferentes naturezas, além de representar um importante *commoditie* na economia mundial e nacional.

Estudos de prospecção e pesquisa mineral são fundamentais para o reconhecimento e incorporação de novas reservas, em atendimento a uma demanda crescente tanto para o mercado interno, quanto para exportação e equilíbrio da balança comercial. As ferramentas disponíveis compreendem métodos diretos (sondagem, amostragem de solo e rocha, análises químicas) e indiretos (análise de sensores remotos, métodos geofísicos) (MARANHÃO, 1985).

Devido ao baixo custo relativo e a possibilidade de cobertura de amplas áreas, os métodos geofísicos constituem uma importante ferramenta em pesquisa mineral. Os métodos mais utilizados para a pesquisa mineral de sulfetos e minerais metálicos são os Elétricos e Eletromagnéticos (MOON *et al.* 2006).

A aplicação de métodos Elétricos possibilita a caracterização de depósitos minerais a partir do contraste em parâmetros físicos como cargabilidade e resistividade, entre a rocha encaixante e o corpo mineralizado.

O método da Eletroresistividade possui aplicação em pesquisas de manganês disseminado devido a característica de elevada condutividade elétrica deste metal, freqüentemente contrastante em relação às rochas ao redor. O método de Polarização Induzida é amplamente aplicado neste tipo de pesquisa devido a elevada polarizabilidade de minerais disseminados no ambiente geológico. Este método foi desenvolvido e aperfeiçoado essencialmente para prospecção e pesquisa de sulfetos disseminados.

Diversos trabalhos demonstram as vantagens, desvantagens, benefícios e limitações de usos dos referidos métodos em pesquisa mineral, dentre os quais é possível citar, Allis (1990); Irvine *et al.* (1990); White *et al.* (2001), Moreira *et al.* (2011) e Moreira *et al.* (2012).

Com base nos dados citados, o presente estudo busca através de técnicas e arranjos simples de geofísica terrestre meios de detalhar alvos prospectivos e, otimizar a produção e o aproveitamento de empreendimentos mineiros vinculados ao metal.

2. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é demonstrar uma aplicação de métodos geofísicos terrestres em prospecção mineral à nível de detalhamento de alvos. Para isso foi realizado um reconhecimento da geologia estrutural básica do depósito de manganês da mina do Córrego do Cocho, e o cruzamento com o levantamento de dados geofísicos. Os métodos utilizados para a caracterização geofísica são eletrorresistividade e polarização induzida a partir de caminhamento elétrico com a combinação dos arranjos Wenner-Schlumberger.

O objetivo secundário do trabalho é demonstrar e interpretar a resposta do método de polarização induzida em minerais da classe dos óxido e hidróxidos, uma vez que o método é amplamente empregado em estudos da classe de sulfetos e raramente em óxidos e hidróxidos.

3. ÁREA DE ESTUDOS E ASPECTOS FISIOGRAFICOS

A área de estudos é situada na zona periférica da cidade de Itapira, localizada na porção Centro-Norte do Estado de São Paulo, próximo a divisa do Estado com Minas Gerais, distante da capital 177 km e a 72 km de Campinas. O acesso até Campinas é feito pelas rodovias SP-147 e SP-340 (Figura 1).

A região está geomorfologicamente situada em uma zona de transição de domínios climáticos: Depressão Periférica Paulista e Serrarias de Lindóia (SETZER, 1976). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima local é classificado como subtropical úmido (Cwa) e apresenta estações do ano bem definidas, com verões úmidos e invernos secos. O período da seca abrange os meses de abril a setembro e os valores médios da pluviosidade local variam entre 28 mm e 73 mm, enquanto que os meses de outubro a março representam a estação chuvosa, variando entre 113 mm e 226 mm. O mês de Fevereiro representa o mês mais quente do ano e a média é 24 °C, enquanto que Julho é o mês mais frio com uma média de 17,6 °C (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI, 2013).

Figura 1: Localização da área de estudos.



Região de Itapira e destaque para área de estudos. Fonte: Modificado de Google Earth, 2012.

Localizado a 660 metros acima do nível do mar, a cidade está na transição de dois grandes domínios geomorfológicos, segundo a classificação de King (1956): domínio dos depósitos sedimentares e domínio das faixas de dobramentos remobilizadas. O Complexo Amparo e o Grupo Itapira fazem limite com as rochas da bacia sedimentar do Paraná. O embasamento cristalino, contido no grande domínio Planalto Atlântico, é caracterizado por topos de morros arredondados, vertentes com perfis retilíneos e presença de serras restritas, com drenagens de alta densidade (SÃO PAULO, 1981).

A área de estudos está situada na transição de dois grandes biomas: Cerrado e Mata Atlântica (DONATTI FILHO, 2005). O cerrado compreende um mosaico de vários tipos de vegetação, desde fisionomias campestres, savânicas e até florestais, como em matas secas e as matas de galeria. A Mata Atlântica é formada por um conjunto de formações florestais (Florestas: Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Estacional Semidecidual, Estacional Decidual e Ombrófila Aberta) e ecossistemas associados como as restingas, manguezais e campos de altitude (BRASIL, [200-]). Na região de Itapira o tipo de vegetação que melhor representa a mata atlântica é a floresta ombrófila mista, que encontra facilidade de desenvolvimento principalmente em zonas com menor temperatura média anual, comum no sul do país e nas regiões serranas como a Serra da Mantiqueira.

4. ESTUDOS DE CASOS

A geofísica é tradicionalmente empregada em prospecção mineral, seja para encontrar áreas promissoras ou para detalhamento de alvos. Diversos autores empregam os métodos geofísicos como ferramentas essenciais para a prospecção mineral. A seguir são descritos estudos de casos de alguns desses autores.

Em estudo de depósitos de manganês à partir dos métodos de gravimetria, magnometria e eletrorresistividade por Murthy *et al.* (2009) no distrito de Orissa, na Índia. Os depósitos de manganês, ocorrem como lentes descontínuas alongadas associadas a uma camada de folhelhos e filitos de idade pré-Cambriana, que obedece a um alinhamento estrutural N-S aproximadamente. Sotoposto dos folhelhos e filitos, ocorrem conglomerados brechados e *cherts*-quartzosos. Esta sequência está assentada num embasamento composto por formações ferríferas bandadas de idade Arqueana. Os principais minerais manganíferos são psilomelana e pirolusita. O método empregado primeiramente foi magnometria, suportado pelos métodos de resistividade e gravimetria. A conclusão do estudo aponta o controle da mineralização por condicionantes estruturais, essencialmente a foliação regional, onde a geofísica contribuiu de forma a elucidar a controle regional das mineralizações.

Estudos realizados em sulfetos de metais base (Cu e Zn) à partir de métodos elétricos como potencial espontâneo (SP) e polarização induzida (IP) por Sadek *et al.* (1989) no distrito de Wadi Bidah, Arabia Saudita. A geologia do distrito de Wadi Bidah é disposta por uma grande dobra anticlinal de orientação N-S e mergulho do eixo para Sul. No centro dessa estrutura afloram as rochas metavulcânicas do Grupo Gharb, enquanto que os flancos afloram metavulcânicas mais jovens dos Grupos Bidah e Grupo Sharq. Todo o pacote é intrudido por *stocks* graníticos e rochas basálticas do Terciário. Os principais minerais de minério são pirita, calcopirita e esfarelita. Traços de ouro e prata também são encontrados. Os métodos geofísicos foram utilizados para um maior detalhamento da zona mineralizada. O cruzamento dos métodos permitiu comprovar que a zona mineralizada é associada a corpos de *gossan* superficiais, produtos de intemperismo.

Outro trabalho importante em prospecção mineral à partir de métodos de gravimetria, eletrorresistividade, polarização induzida (IP) e magnetometria é

descrito em Locke *et al.* (1998) em depósitos epitermais em Puhipuhi, na ilha do norte da Nova Zelândia. A geologia dos depósitos epitermais de Puhipuhi consistem basicamente em *greywackes* do mesozóico e coberturas basálticas do Terciário. A zona mineralizada em ouro e prata ocorre associada a veios de quartzo e alterações hidrotermais. Estruturalmente a área é controlada por um sistema de falha principal, denominada Falha de Waikioki e a região é considerada um gráben. O estudo apresentou ótimos resultados, identificando zonas mineralizadas e possíveis alvos econômicos abaixo da cobertura de basalto. Os autores afirmam que os bons resultados são decorrentes do cruzamento de métodos geofísicos. Métodos elétricos como a resistividade e polarização induzida apresentam melhores resultados em detalhamentos de alvos.

Estudos em três alvos de ouro são descritos à partir de métodos de magnetometria e eletrorresistividade em Henkle *et al.* (1992) no estado norte-americano de Nevada. O tipo de depósito atribuído a esses três alvos é o modelo epitermal com alterações hidrotermais. A primeira ocorrência de ouro ocorre preenchendo fraturas de sedimentos e níveis de cascalhos. A segunda ocorrência de ouro é alojada em rochas vulcânicas associadas a sedimentos e níveis de cascalhos. A mina de Flowery Gold está localizada num contexto geológico de rochas vulcânicas, associada a um tipo de depósito epitermal. Os autores ressaltam que depósitos de ouro do tipo epitermal apresentam uma assinatura geofísica marcante, caracterizada por elevada magnetização a baixa resistividade, embora sejam necessários detalhamentos por meio de métodos diretos para delimitação precisa dos depósitos.

Outro estudo de caso de ouro epitermal com alta sulfetação, à partir dos métodos de eletrorresistividade e polarização induzida (IP) é discutida em Irvine *et al.* (1990) na Austrália. No estudo de caso de Rhyolite Creek, no estado australiano de Victoria, onde a litologia local, de idade cambriana, é composta por clinopiroxênio andesíticos, riolitos sódicos e dácitos. O pacote faz parte do cinturão de falhas de Mt. Wellington. O modelo genético ainda propõem forte alteração hidrotermal, e zonas mineralizadas com ouro também são ricas em pirita e pirofilitas. Os resultados do estudo são que as zonas mineralizadas, com baixa resistividade e alta cargabilidade, apresentaram grandes contrastes com as rochas encaixantes, que possuíam alta resistividade e baixa cargabilidade. Os autores concluíram que a

geofísica terrestre associada ao conhecimento geológico, representa uma ferramenta de prospecção de suma importância.

No Brasil, ocorrências de cobre à partir de métodos de eletrorresistividade e polarização induzida na Bacia Sedimentar do Camaquã, são objetos de estudo em Moreira *et al.* (2011) e Moreira *et al.* (2012). A Bacia é formada por um conjunto de unidades estratigráficas sedimentares e vulcanogênicas, com intervalos erosionais, entre o Proterozóico Superior e o Ordoviciano. A bacia possui ainda uma orientação NE-SW e é fortemente afetada por eventos deformacionais, geradores de um padrão de preenchimento complexo.

Em Moreira *et al.* (2011) é empregado o método de eletrorresistividade, por meio da técnica de caminhamento elétrico azimutal. No local de estudos ocorre arenito arcoseano médio a grosseiro, de cor marrom avermelhado, com possíveis fragmentos de riolito, ambos intensamente silicificados e rescristalizados. A rocha apresenta mineralizações de cobre em malaquita e azurita, com calcosita e barita subordinaria, nos interstícios de fraturas e zonas de maior porosidade. Os resultados do estudo foram considerados satisfatórios pelos autores, devido ao contraste das propriedades físicas entre as rochas encaixantes e a zona mineralizada. O modelo genético provável para o local é o modelo cobre pórfiro, que apresenta alterações à carbonatação e silicificação. Apesar dos dados consistentes, não foi possível determinar a profundidade máxima de ocorrência mineral, pois, aparentemente, há continuidade abaixo de 50 metros.

Estudos em sulfetos disseminados e mineralizações de cobre, também foram estudados à partir de eletrorresistividade e polarização induzida e caminhamento azimutal em Moreira *et al.* (2012). No local de estudos ocorrem rochas vulcanossedimentares e metavulcânicas, além de sequências vulcanoclásticas, tufos vulcânicos, conglomerados vulcânicos, rochas dacíticas, diques e brechas. O estudo comprova que a zona mineralizada sofre um forte controle estrutural, ocorrendo principalmente na intersecção de planos de fraturas, com direção N50° e N150°. Os dados de resistividade e cargabilidade, juntamente com estudos de superfície e sondagens prévias, permitiram concluir a presença de mineralizações sulfetadas em tufos vulcânicos, possivelmente submetidos a hidrotermalismo associado ao modelo genético do tipo hidrotermal magmático.

5. GEOLOGIA

A região de Itapira faz parte do setor Central da Província Mantiqueira, que engloba o sul do Espírito Santo, o Sul e o Sudeste de Minas Gerais (Figura 2). São predominantes litotipos como muscovita quartzitos e paragnaisses, migmatitos, anfibolitos, rochas cálcio-silicatadas, xistos, rochas meta-ultramáficas, mármore, lentes de gonditos, reunidos nos Complexo Guaxupé, Grupos Amparo e Itapira (ZANARDO, 2003; ANGELI *et al.*, 2011).

5.1 Geologia Regional

5.1.1 Complexo Guaxupé

Constituído por gnaisses, migmatitos e granitóides de composições monzograníticas a sieníticas, mais raramente alcaligraníticas e granodioríticas. Essas rochas possuem intercalações litológicas de natureza tipicamente metassedimentares e de intrusivas sincinemáticas de composições sienítica e granítica. Na porção centro norte até o extremo sul, a foliação e o bandamento mergulham em média 30° para SW enquanto que o mergulho é inferior a 5° (ZANARDO *et al.*, 1998). No norte o mergulho médio da foliação é maior que 50° e o mergulho acompanha o aumento resultando num íngreme aumento das condições báricas, o que possibilita o aparecimento de granulitos de alta pressão (DEL LAMA *et al.*, 1998).

Segundo Lazarini (2000) na porção sul do Complexo Guaxupé, próximo ao contato com a Faixa Itapira/Amaparo é detectada a presença de uma quantidade maior de metassedimentos (granada paragnaisses, sillimanita-granada-biotita gnaisses, sillimanita xistos feldspáticos, rochas calciossilicáticas, etc.) do que a registrada na literatura. Nesta porção o padrão estrutural é dado por um bandamento composicional milimétrico, difuso a nítido, paralelo a uma foliação penetrativa em todos os litotipos, porém menos nítida nos ortognaisses e em alguns corpos de anfibolito e de rocha calciossilicática.

5.1.2. Faixa Itapira/Amparo

Representa uma faixa onde estão contidos os grupos Itapira e o Grupo Amparo. O Grupo Itapira é constituído por rochas metassedimentares (rochas pelíticas, psamíticas, calciossilicáticas, *greywackes*, carbonáticas e possivelmente arcossianas, tufáceas e/ou intrusivas básicas) intercaladas com gnaisses quartzo-feldspáticos e migmatitos de composição trondhjemíticas/tonalíticas a monzograníticas e granitóides (trondhjemíticos a sienograníticos) oriundos de anatexia e/ou injeções, além de rochas ultramáficas e máficas (LAZARINI, 2000).

As rochas supracrustais constituintes do Grupo Itapira podem ser relacionadas a cisalhamento simples, essencialmente dúctil, resultantes do transporte de massa para NW ou N e frutos de colisão continental durante o Proterozóico Superior (ZANARDO, 1988). Posteriormente essas estruturas foram rotacionadas e transportadas para NE, devido à atuação do cinturão de cisalhamento dextrógiro de Ouro Fino (HASUI *et al.*, 1988, ZANARDO, 1988).

A estruturação principal das rochas pertencentes ao grupo é definida pela foliação e bandamento resultante da deformação direcional dextral. Exibem mergulhos médios a altos voltados predominantemente para NNW e SSE, na porção mais oriental, e NW e SE, na porção mais meridional, com variações locais em outras direções (LAZARINI, 2000).

São reconhecidas estruturas circulares e elípticas, que sugerem estruturas dômicas, ocupadas por granitóides, porém a foliação e bandamento no ápice destas estruturas não são de baixo ângulo e as lineações seguem os mesmos padrões regionais, o qual sugerem a ocorrência de granitóides sin-tectônicos, durante tectônica transpressiva (ZANARDO, 1987 e ZANARDO *et al.* 1990).

A lineação mineral exhibe mergulhos baixos a moderados predominantemente NNE/SSW a NE/SW. Outra feição marcante é a alta frequência de feições de estricção e de *boudinage*, normalmente acompanhadas de pequenas zonas de cisalhamento (LAZARINI, 2000).

Associado à deformação rúptil-dúctil ocorrem as formações Pouso Alegre e Eleutério, constituídas por arcóseos, arenitos conglomeráticos, lamitos, ritmitos, siltitos, conglomerados, brechas e margas submetidos a metamorfismo incipiente a xisto-verde. Esses metassedimentos possuem contato em concordância estrutural ou não sobre rochas gnáissicas e migmatíticas, evidenciando forte discondância

erosiva e metamórfica (ZANARDO, 1987).

As rochas supracrustais apresentam grande diversidade de litotipos com quartzitos, quartzos xistos feldspáticos, xistos psamo-pelíticos, paragnaisses, para e ortoanfibolitos, rochas calciossilicáticas, mármore, gonditos, biotititos, magnetita-cummingtonita-quartzo xisto e grafita xistos. Essas rochas indicam origem a partir de sequências pelíticas, psamo-pelíticas, psamíticas, grauvaqueanas, arcóianas, margosas e calciossilicáticas com intercalações de derrames e/ou intrusivas básicas, e a rocha referida como gondito possui tendência pelítica (granada quartzitos e paragnaisses) e calciossilicática (metamarga silicosa). Trabalhos petrográficos (LAZARINI, 2000) indicam litotipos calciossilicáticos com granada, piroxênio e piroxenóide (diopsídio-johannsenita e piroxmanguita), anfibólio (cummingtonita-grunerita, hornblenda e actinolita), quartzo e raramente escapolita (ZANARDO 1987 e ZANARDO *et al.* 1996).

Os corpos mineralizados em manganês estão encaixados no Grupo Itapira, localmente interpretado como uma sequência vulcanossedimentar metamorfizada. Possui granitóides sin-tectônicos associados e subdivididos em duas unidades distintas: sequência inferior constituída por pelitos, *greywackes*, arcósios, intercalados por sedimentos areno-argilosos, argilo-arenosos, pelitos aluminosos, margas, formações ferríferas bandadas e sedimentos manganíferos. A sequência superior é composta por pelitos, pelitospsamíticos, pelitos aluminosos, margas, calcários, mármore e sedimentos manganíferos, que grada para um pacote psamo-pelítico (OLIVEIRA *et al.* 1998; LAZARINI, 2000; ZANARDO, 2003).

Toda a sequência metassedimentar correspondente ao Grupo Itapira sofreu deformação, metamorfismo e geração de corpos lenticulares, concordantes. Segundo Heilbron *et al.*, (2004), o Grupo Itapira é correlacionável a Megassequência Andrelândia. As rochas metassedimentares do Grupo Itapira diretamente associadas aos gonditos, representam litologias metamórficas geradas a partir de uma sequência plataformar progradante, constituída por muscovita xisto, talco xisto, muscovita quartzito, quartzito, com intercalações de rochas máficas/ultramáficas, com embasamento formado por rochas migmatíticas e gnáissicas do Grupo Amparo.

5.2 Evolução e Contexto Tectônico

O Grupo Amparo é atribuído ao Proterozóico Inferior-Arqueano, onde predominam ortognaisses e migmatitos, que correspondem a rochas da infra-crosta.

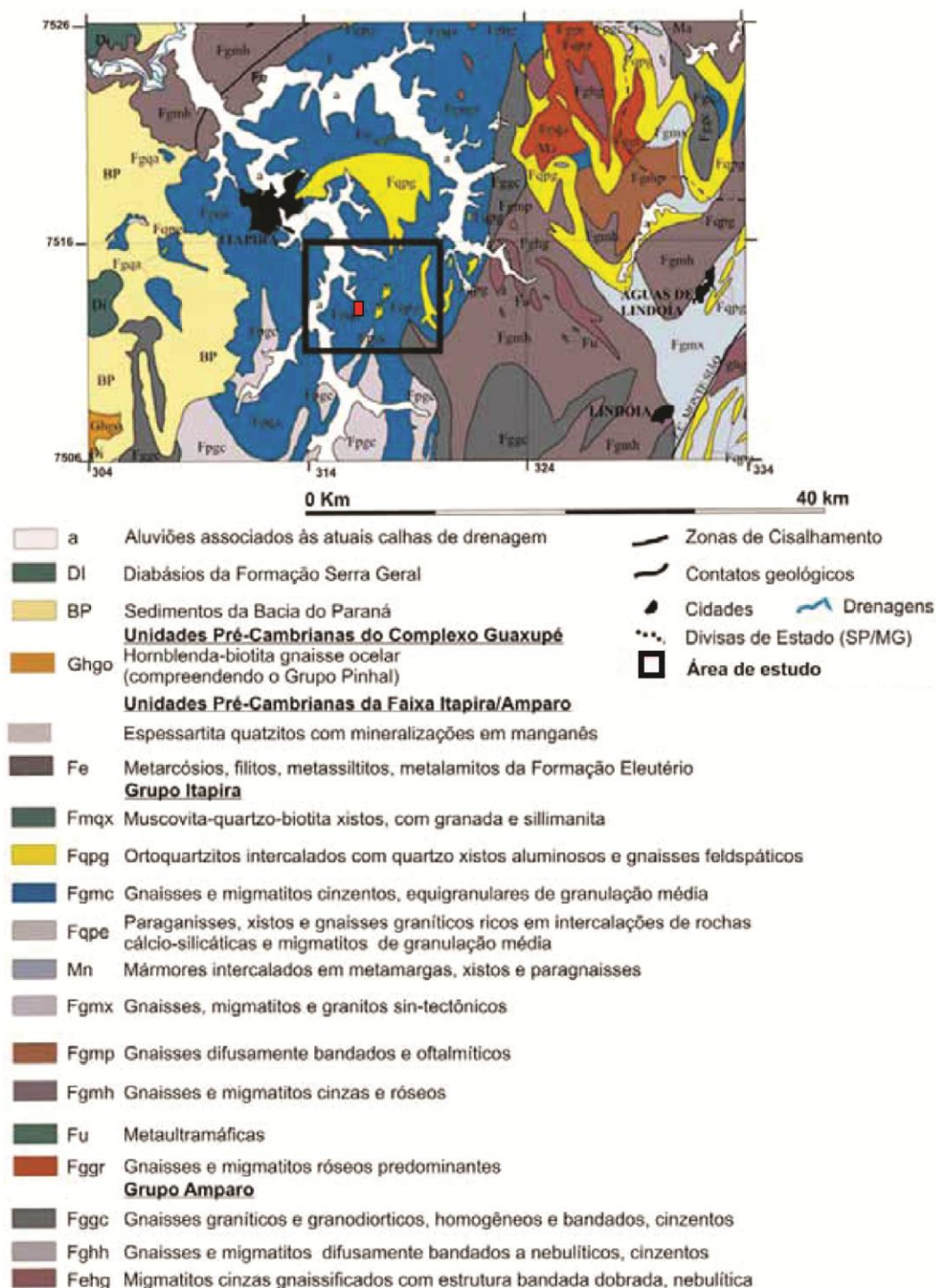
Os Grupos Amparo e Itapira são intrudidos pelos maciços graníticos que formam o Grupo Pinhal, em grande parte gnaissificado durante o Brasileiro. O Grupo Pinhal é classificado como uma unidade do Complexo Guaxupé na porção oeste da área pesquisada.

A região apresenta uma evolução polimetamórfica clássica, onde primeiramente ocorreu sedimentação de rochas predominantemente clásticas impuras, acompanhada da intrusão de rochas básicas, extrusão de lavas e tufos básicos (WERNICK, 1967). Esta sequência foi metamorfozizada e originou uma associação gnáissico-migmatítica, de fácies anfibolito a granulito (Grupo Amparo). Em seguida, ocorreu nova deformação tectônica no ciclo Brasileiro (Neoproterozóico), acompanhada da recrystalização e intrusão de grandes massas graníticas, que provocaram nova migmatização do Grupo Amparo (WERNICK, 1978). Além das deformações plásticas, grandes falhas transcorrentes, representadas pelas zonas de cisalhamento de Jacutinga e Inconfidentes, geraram domínios com zonas deformacionais mais tardias (ANGELI *et al.* 2011).

Em análises de rochas metamórficas da região de Águas de Lindóia, Zanardo (1987) reconheceu três ciclos tectono-térmicos, com idades arqueana (Grupo Amparo), transamazônica (Grupo Itapira e granitóides sintectônicos) e brasileira (Formação Eleutério e cataclasitos).

As unidades supracrustais (Grupo São João Del Rei, Carrancas, Andrelândia, Itapira e Araxá-Canastra) proterozóicas, sofreram metamorfismo barrowiano e várias fases de deformação, a última delas, de caráter rúptil, implicou em imbricamento tectônico e transporte de massa, com a formação de rochas metassedimentares alóctones (LAZARINI, 2000).

Figura 2: Mapa geológico da região de Itapira.



Geologia regional com realce da área de estudos. Fonte: Zanardo, 2003; Angeli *et al.* 2011.

O Grupo Amparo foi considerado inicialmente uma sequência predominantemente parametamórfica de médio a alto grau, caracterizada por duas unidades principais: a primeira, gnáissica, com intercalações frequentes de gnaisses quartzosos, quartzitos, rochas cálcio-silicáticas, mica xistos e anfibolitos, e a segunda,

migmatítica, seguindo um *trend* estrutural NE-SW, entre as cidades de Itapira, Lindóia e Amparo, com intercalações de natureza máfica a ultramáfica.

No final do Ciclo Brasileiro, sedimentos molassóides foram depositados em bacias tectônicas, deformados e fracamente metamorforizados, para o caso das Formações Eleutério e Pouso Alegre. Durante o Fanerozóico, a região foi continuamente afetada por movimentações do sistema de *rifts* da Serra do Mar, com reativação de lineamentos estruturais Pré-cambrianos. No Cenozóico ocorreu epirogênese positiva da área, com controle dos processos geomorfológicos e implantação de depósitos Cenozóicos.

A faixa delimitada pelos complexos Varginha e Socorro (CAVALCANTE *et al.* 1979) foi denominada de Faixa Alto Rio Grande por Campos Neto *et al.* (1990). Esses autores afirmam que esta representa uma margem continental ativa no Proterozóico Médio sobre uma crosta continental do Arqueano-Proterozóico Inferior, cujas unidades caracterizam uma sequência plataformar transgressiva (Carrancas), que gradam lateralmente para *greywackes* e contribuições vulcanoclásticas de bacia retro-arco (Andrelândia), ambos cobertos por uma sequência plataformar progradante (Itapira).

Na porção ocidental desse terreno ocorre um empilhamento do tipo alpino em direção ao Cráton São Francisco. O processo de subducção do tipo “A” representou a colagem destes terrenos. O limite inferior do processo de colagem estaria no regime tracional de 590 Ma (final do Ciclo Brasileiro). Dados K/Ar disponíveis no interior da Nappe Socorro-Guaxupé, indicam resfriamento sob condições de fácies anfíbolito a 650-600 Ma, permanecendo sob um regime de arco continental até 500 Ma (LAZARINI, 2000).

Segundo o mesmo autor, é possível reconhecer dois blocos continentais de evolução policíclica, um bloco constituído por terrenos arqueanos (Grupos Barbacena e Amparo, a Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro e talvez a Associação Máfica-Ultramáfica de Arcadas), com descaracterização em maior ou menor intensidade, resultado de retrabalhamentos em pelo menos dois ciclos geotectônicos mais jovens (Transamazônico e Brasileiro) e/ou zonas de cisalhamento. Esses terrenos são parcialmente cobertos por sequências supracrustais alóctones (grupos Araxá, Canastra, Itapira, Andrelândia, Carrancas, São João Del Rei, Supergrupo Minas, Formação Lafaiete) e autóctone (Grupo Bambuí).

Após movimentações desses blocos, foram determinados dois cinturões de cisalhamento, Campo do Meio e Rio Paraíba do Sul ou Atlântico (HASUI, 1990). O Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio é de natureza sinistral, localizado na zona de sutura que entre a crosta inferior (Complexo Guaxupé) e os terrenos arqueanos. O outro cinturão de cisalhamento (Atlântico) é de magnitude bem maior, natureza dextral transpressiva, gera dobras, rupturas e deslocamentos laterais e verticais, promovendo intercalações e imbricações tectônicas entre as diferentes unidades e, conseqüentemente, o afloramento do Grupo Itapira (supracrustal) intercalado com o Grupo Amparo (infracrustal). O cinturão de Cisalhamento Atlântico gera nos seus estágios finais bacias do tipo *pull apart* (Formações Eleutério e Pouso Alegre) (LAZARINI, 2000).

5.3 Geologia Local

As litologias pertencentes a região de ocorrência do Grupo Itapira são caracterizadas por bandamento sedimentar preservado, xistosidade, feições de transposição e lenticularização resultantes de processos de imbricamento tectônico regional (HASUI *et al.*, 1988). A associação mineral das rochas são compatíveis com a fácies xisto verde (médio-alto) até anfibolito médio, com migmatização por injeção de material granítico e ação de processos de anatexia localizadas, representada pelas seguintes assembléias mineralógicas: hornblenda+enstatita+diopsídio+Ca plagioclásio+antofilita (ANGELI *et al.*, 2011).

Na região de Itapira foram descritas diversas ocorrências minerais manganíferas. O trabalho de Angeli *et al.*, (2011) apresenta estudos de caracterização mineralógica e geoquímica para algumas ocorrências manganíferas para a região, onde é atribuída a presença de dois tipos de minérios, relacionados a gênese: protominério silicático, composto por quartzo e espessartita em proporções aproximadamente similares, e protominério cálcio-silicático, onde além de quartzo e espessartita, ocorrem piroxênios, anfibólios, plagioclásio, carbonatos e epidoto.

Segundo o mesmo autor, em lâminas e seções polidas o minério de manganês da mina do Córrego do Cocho apresenta textura granoblástica, constituído por criptomelana, como cristais granulares, e litioforita, como cristais prismáticos. Nas porções superiores dos perfis de alteração ocorrem, com certa frequência, cristais euedrais de magnetita, titano-magnetita subhedrais além de hematita e ilmenita, que

chegam a representar até 4% dos minerais presentes. Delgados veios de pirita, calcopirita e bornita, indicam localmente ambiente redutor além da presença de pequenos cristais reliquiais de sericita e epidoto. A matriz é composta por criptomelana, pirolusita e psilomelana.

Análises geoquímicas realizadas por Veríssimo (1991), sugerem um ambiente tectônico ativo com transporte rápido de sedimentos imaturos com contribuição vulcânica, para a formação do protominério manganífero (ANGELI *et al.* 2011).

O corpo manganífero da mina do Córrego do Cocho está embutido em paragneisses e espessartita quartzitos (Figura 3), sob forma de lentes alinhadas e segmentadas na direção NE, que corresponde a uma única camada estirada e rompida por processo de boudinage, como descrito por Choudhuri *et al.* (1984). Localmente, os gnaisses possuem bandas leucocráticas, granulação grossa, quartzo feldspáticas e bandas melanocráticas, menos espessas, ricas em biotita, além de níveis anfibolíticos, com fraturas preenchidas por óxidos e hidróxidos de manganês. Nas frentes de lavra, o minério explotado ocorre sob as formas oxidada na forma de oólitos, pisólitos e concreções, os quais ocorrem próximos da superfície (espessura média de 1,80m) e como minério coluvionar (Figura 4).

Figura 3: Detalhes das rochas da mina do Córrego do Cocho.

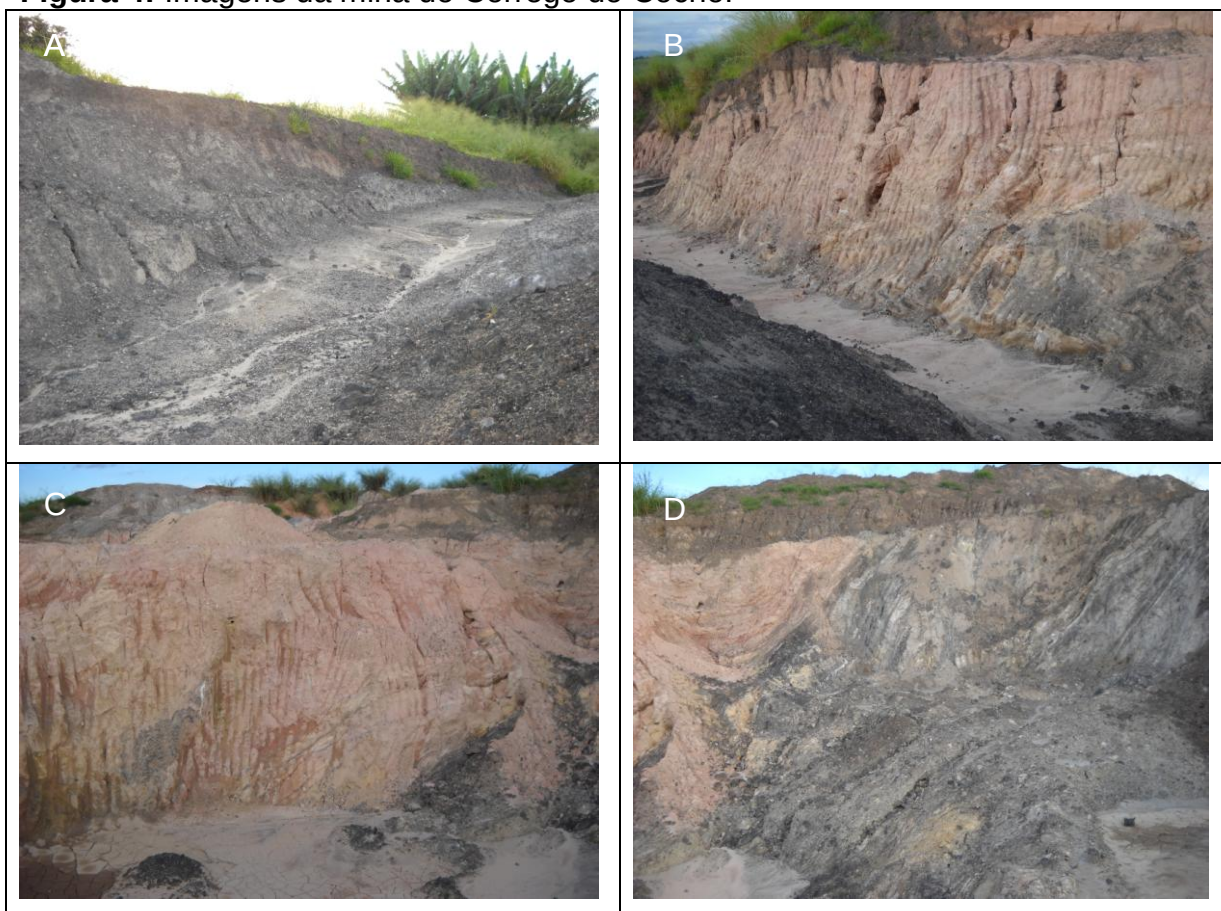


(A) Detalhe de estrutura em rocha alterada; (B) Detalhe do minério maciço. Fonte: Arquivo pessoal.

Os principais minerais de minério são dominados por óxidos e hidróxidos de manganês, espessartita e quartzo, há ainda traços de silicatos, sulfetos, fosfatos de manganês. A espessartita é o mineral mais abundante, com até 20%. Os cristais são deformados, alterados nas bordas, suportados por uma matriz rica em criptomelana, que ainda conserva a foliação do protominério. Criptomelana ocorre como cristais

amorfos, mas com algumas porções de origem claramente relacionada à alteração supergênica da espessartita. Em escala macroscópica, o minério apresenta estruturas botroidais, bandadas e intergrãos junto à espessartita e quartzo. Em geral, apresenta certo bandamento composicional com leitos milimétricos a centimétricos de quartzo e criptomelana (30% a 50%) com vários tons de cinza, com cristais de granulação grossa.

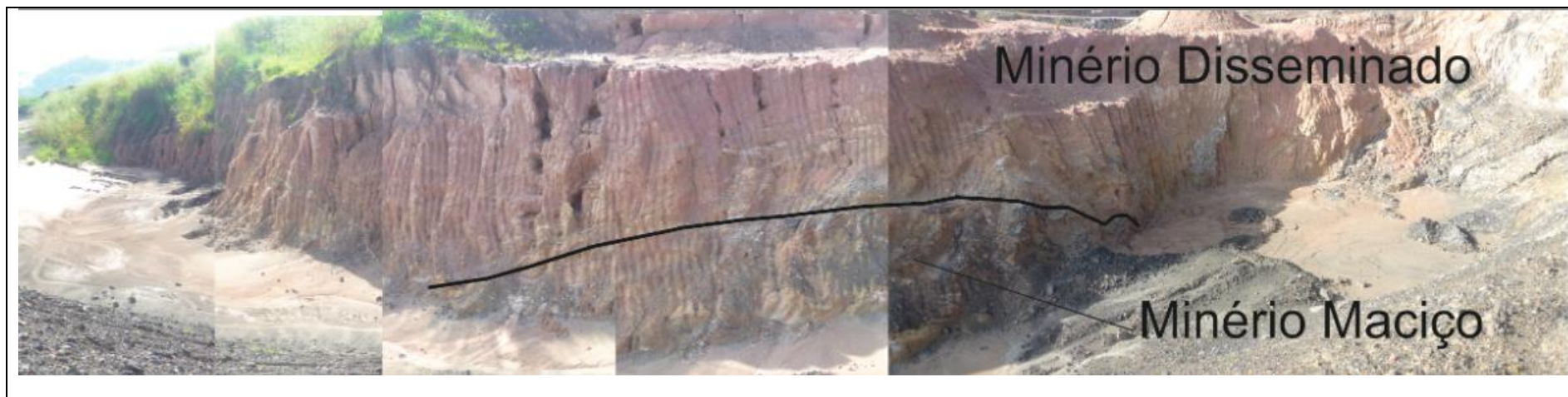
Figura 4: Imagens da mina do Córrego do Cocho.



(A) Detalhe de solo enriquecido; (B) Minério supergênico na porção superior; (C) Minério maciço na porção inferior e marcas de escarificação; (D) Frente de lavra rica em minério primário. Fonte: Arquivo pessoal.

O manto de alteração apresenta espessura variável na mina do Córrego do Cocho, com média de 1,5m e zona mineralizada com até 8,5m (Figura 5). Além disso, nas vertentes dos corpos de minério existem níveis concrecionários (oólitos e pisólitos de manganês), em grande parte corresponde ao minério rolado. As reservas medidas atingem 1,2Mt, somadas as reservas indicadas e inferidas, totalizam 2,0Mt, com 344.664t metal contido em teor médio de 28% de MnO_2 (ANGELI *et al.* 2011).

Figura 5: Frente de Lavra.



Frente de lavra onde é possível ver o contato da zona com predomínio de minério maciço com a zona de predomínio de minério disseminado. Fonte: Arquivo pessoal.

O trabalho de Angeli *et al.* (2011) apresenta uma tabela de composição mineralógica estimada e porcentagem do manganês em amostras da mina Córrego do Cocho (Tabela 1). As informações de composição mineralógica e natureza geoquímica são importantes para a interpretação dos dados geofísicos e podem influenciar diretamente os resultados dos métodos geofísicos.

Tabela 1: Composição mineralógica estimada – Córrego do Cocho.

Mineral	Fórmula química	% Massa estimada	Partição do Mn (%)
Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	< 5	-
Criptomelana	$\text{Kmn}_8\text{O}_{16}$	20	50
Espessartita	$\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	20	15
Gahnita	$(\text{Zn},\text{Mn},\text{Fe})\text{Al}_2\text{O}_4$	tr	-
Gibbsita	$\text{Al}(\text{OH})_3$	< 5	-
Goethita	$\text{FeO}(\text{OH})$	< 5	-
Grafita	C	<10	-
Groutita	$\text{Mn}^{3+}\text{O}(\text{OH})$	tr	-
Hausmannita	$\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_2^{3+}\text{O}_4$	tr	-
Hematita	Fe_2O_3	< 5	-
Hidrogoethita	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$	< 10	-
Hollandita	$\text{Ba}_2\text{Mn}_8\text{O}_{16}$	tr	-
Jacobsita	MnFe_2O_4	tr	-
Litioforita	$(\text{Al},\text{Li})\text{MnO}_2(\text{OH})_2$	20	15
Manganita	MnOOH	tr	-
Nsutita	$\text{Mn}^{4+}_{0.85}\text{O}_{1.7}\text{Mn}^{2+}_{0.15}(\text{OH})_{0.3}$	tr	-
Pirolusita	MnO_2	10	10
Psilomelana	$\text{Ba}(\text{Mn}^{2+})(\text{Mn}^{4+})_8\text{O}_{16}(\text{OH})_4$	tr	-
Quartzo	SiO_2	15	-
Tefroita	$\text{Mn}_2(\text{SiO}_4)$	tr	-
Todorokita	$(\text{Na},\text{Ca},\text{K})_2(\text{Mn},\text{Mn})_6\text{O}_{12}3\text{-}4.5(\text{H}_2\text{O})$	tr	-
Woodruffita	$(\text{Zn},\text{Mn})_2\text{Mn}_5\text{O}_{12} \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	tr	-
Yofortierita	$(\text{Mn}^{4+}\text{Mn}^{2+})(\text{OOH})_2$	tr	-

Composição mineralógica estimada e porcentagem de manganês – Córrego do Cocho. Fonte: Angeli *et al.*, 2011.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Métodos Geofísicos

6.1.1 Eletorresistividade

No método da Eletorresistividade, correntes elétricas artificialmente geradas são introduzidas no solo, por intermédio de um par de eletrodos denominados de A e B, e as diferenças de potencial resultante são medidas na superfície por meio de outro par de eletrodos, denominados C e D na área de influência do campo elétrico (Figura 6).

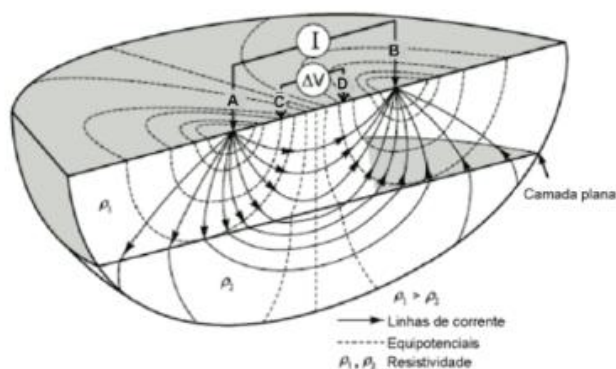
Os desvios do padrão de diferenças de potencial esperado do solo homogêneo fornecem informações sobre a forma e as propriedades elétricas das heterogeneidades de superfície (KEAREY *et al.*, 2002).

A partir da intensidade de corrente que percorre o subsolo (I), a geometria da disposição dos eletrodos (K) e a diferença de potencial (ΔV) medido pelos eletrodos receptores, é possível calcular o valor da resistividade aparente (ρ_a), aparente devido a heterogeneidade do meio (Equação 1).

$$\rho_a = K \Delta V / I \quad \Omega.m \quad (1)$$

A unidade da resistividade aparente é o ohm.m, a diferença de potencial é medida em milivolt (mV), a intensidade de corrente é medida em miliampère (mA) e o coeficiente geométrico K em metros. A profundidade de investigação é diretamente proporcional ao espaçamento entre os eletrodos (KEAREY *et al.* 2002).

Figura 6: Campo elétrico.



Propagação de campo elétrico em meio tridimensional, por meio de um dispositivo de quatro eletrodos. Fonte: Knödel *et al.*, 2007.

Existem fatores geológicos e não geológicos que influenciam diretamente a condutividade elétrica e o método de eletrorresistividade. A condutividade elétrica em solos e rochas, em geral, é influenciada por poros e/ou interstícios da matriz rochosa. Os principais fatores geológicos são a mineralogia, própria natureza do material e a porosidade da rocha/solo. E o principal fator não geológico é o grau de saturação da rocha/solo, uma vez que a água contribui na condutividade da corrente elétrica (McNEILL, 1980).

A topografia também pode influenciar os levantamentos elétricos, uma vez que as linhas de fluxo de corrente tendem a acompanhar a superfície do terreno. As superfícies equipotenciais são, assim, distorcidas, e podem resultar em leituras anômalas (KEAREY *et al.*, 2009). Segundo o mesmo autor, as interpretações de eletrorresistividade ainda apresentam limitações tais como: interpretações ambíguas (é necessário fazer interpretações geofísicas e geológicas), restrição quanto a padrões estruturais mais simples apresentando resultados não confiáveis quando para estruturas complexas, e a profundidade de penetração do método é limitada pela energia elétrica máxima que pode ser introduzida no solo. O limite prático de profundidade para a maior parte dos levantamentos é de cerca de 1km.

6.1.2 Polarização Induzida (IP)

A Polarização Induzida é um fenômeno elétrico provocado pela transmissão de corrente no solo, observado como uma resposta defasada de voltagem nos materiais terrestres (SUMNER, 1976).

Este método geofísico possui grande aplicação na prospecção mineral devido à capacidade de detectar disseminações de sulfetos metálicos da ordem de 0,5% em volume. Além da prospecção mineral, o método é aplicado em prospecção de águas subterrâneas e em estudos ambientais (TELFORD *et al.*, 1990).

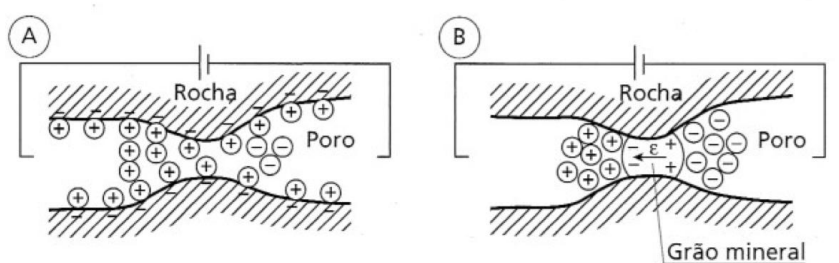
A curva de decaimento da polarização induzida é resultado do retorno ao estado original de campo elétrico e a descarga de energia armazenada de diversas formas: mecânica, elétrica ou química. O armazenamento desta energia resulta de:

- Variações entre condutividades iônica e eletrônica, quando estão presentes minerais metálicos, denominada polarização de eletrodo;
- Variação da mobilidade de íons em fluídos presentes na rocha, que ocorre mesmo na ausência de minerais metálicos, denominada polarização de membrana.

Os fenômenos físico-químicos que explicam a polarização induzida são considerados principalmente polarização da membrana e polarização metálica ou eletrônica (Figura 7).

A polarização de membrana é um fenômeno associado a rochas carentes em minerais metálicos, e com certa quantidade de argila presente, uma vez que a cargabilidade ocorre devido a uma diferença de mobilidade entre ânions e cátions. Os minerais argilosos são polarizados negativamente, em cujo redor ocorre uma “nuvem catiônica” que permita a passagem dos íons positivos, mas não dos negativos, em semelhança a uma membrana.

Figura 7: Fenômenos de polarização.



Demonstração da distribuição dos íons no fenômeno polarização de membrana (A) e polarização metálica ou eletrônica (B). Fonte: Kearey *et al.*, 2009.

Polarização metálica ou eletrônica ocorre na interface de um corpo ou partícula metálica quando submetido a uma corrente elétrica, que provoca o fluxo de elétrons por condução eletrônica, em detrimento ao fluxo iônico natural. A extinção do campo elétrico resulta no retorno dos íons ao estado inicial, que ocorre em um pequeno intervalo de tempo. Este é o principal fenômeno atribuído às minerações. A morfologia do corpo também influencia a resposta geofísica do mesmo, uma vez que minerais disseminados (grãos) possuem maior superfície de contato do que corpos minerais maciços (tabulares), e essa é uma das maiores vantagens do método IP em relação a outros métodos geofísicos.

Uma das formas de medida da polarização induzida no domínio do tempo é comparar a tensão residual $V(t)$, existente em um tempo t após o corte de corrente, com a tensão constante V_c , durante o intervalo de fluxo de corrente. Contudo, $V(t)$ deve ser medido antes da corrente residual decair acentuadamente. (Equação 2).

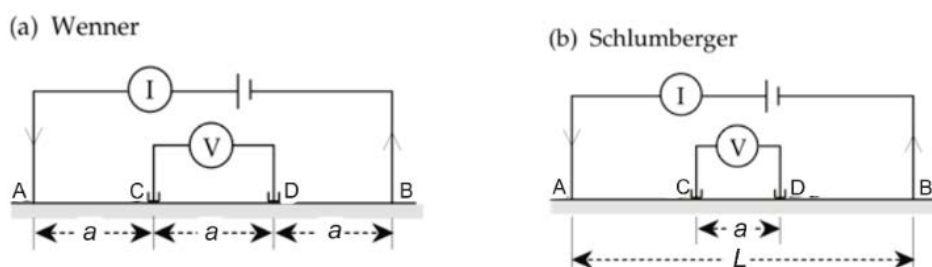
$$M = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad \text{ms} \quad (2)$$

6.2 Técnicas e Arranjos

Para a aquisição dos dados de campo existem diversas técnicas. Entre as técnicas, as mais empregadas são Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Caminhamento Elétrico. Há também diversas configurações de arranjos como Wenner, Schlumberger, dipolo-dipolo, polo-polo, Wenner-Schlumberger e gradiente.

No presente trabalho foi utilizado a técnica do caminhamento elétrico e a combinação dos arranjos Wenner e Schlumberger (Figura 8).

Figura 8: Esquema dos arranjos Wenner e Schlumberger.



Arranjo Wenner (a) e Schlumberger (b). Fonte: Lowrie, 2007.

A técnica do caminhamento elétrico consiste na combinação de investigações laterais e verticais realizadas num mesmo ensaio, e a escolha do arranjo depende da sensibilidade do equipamento, do nível de ruído da área e principalmente, pela estrutura sob investigação.

No arranjo Wenner, os eletrodos de corrente e de potencial são mantidos a um mesmo espaçamento “ a ” constante. A profundidade de investigação é aumentada com a abertura dos eletrodos em superfície. (LAGO, 2009).

No arranjo Schlumberger os eletrodos de potencial permanecem fixos e os eletrodos de corrente são expandidos simetricamente a partir do centro do arranjo (KEAREY, 2007). A distância “ L ” entre os eletrodos de corrente, é limitada por 5 vezes o tamanho da distância “ a ” entre os eletrodos de corrente.

O arranjo Wenner-Schlumberger apresenta o par de eletrodos de potencial no centro e os eletrodos de corrente nas extremidades. Depois de realizada as leituras no primeiro nível de investigação, por meio do arranjo Wenner, as medidas em níveis mais profundos é preciso aumentar a distância entre os eletrodos de corrente e de potencial, ou seja, é adotado o arranjo Schlumberger.

6.3 Aquisição e Processamento dos Dados

Até a realização do presente estudo, a mina do Córrego do Cocho possuía uma lavra de céu aberto e apenas um patamar de atuação. Como o minério extraído é supergênico, na interface solo/saprolito, ou minério maciço primário, encaixado na foliação, o desmonte mecânico da frente de lavra é feito por escavação simples e escarificação por uma retroescavadeira, constituindo assim uma exploração de lavra relativamente simples e barata. O avanço da frente de lavra é condicionado pela geologia estrutural local e é feito aproveitando a foliação local, plano de fraqueza. O tratamento simples do minério é realizado no local da mina, onde ocorre os processos de homogeneização, lavagem, britagem, moagem e concentração do minério.

Na primeira campanha do trabalho de campo do estudo, foi realizado um reconhecimento inicial da área com a geologia básica local, através do reconhecimento dos litotipos, configuração do método de extração de lavra, reconhecimento dos níveis de zona mineralizada (minério maciço e minério supergênico) e medidas de estruturas locais (Figura 9).

Figura 9: Aquisição de dados sobre a geologia local e estrutural.



Fonte: Arquivo pessoal.

Foram realizadas 4 linhas de caminhamento elétrico com 75m de comprimento com 8 níveis de profundidade e um cabo com espaçamento fixo de 5 metros entre cada eletrodo (Figura 10). As 4 linhas de caminhamento são paralelas e foram separadas por uma distância de 10 metros entre cada. Possuem uma direção N17E e os caminhamentos foram realizados de norte para sul. A escolha do arranjo e a disposição e direção das linhas do caminhamento foi diretamente relacionada a frente de lavra em atividade.

Figura 10: Localização das linhas de geofísica na mina do Córrego do Cocho.

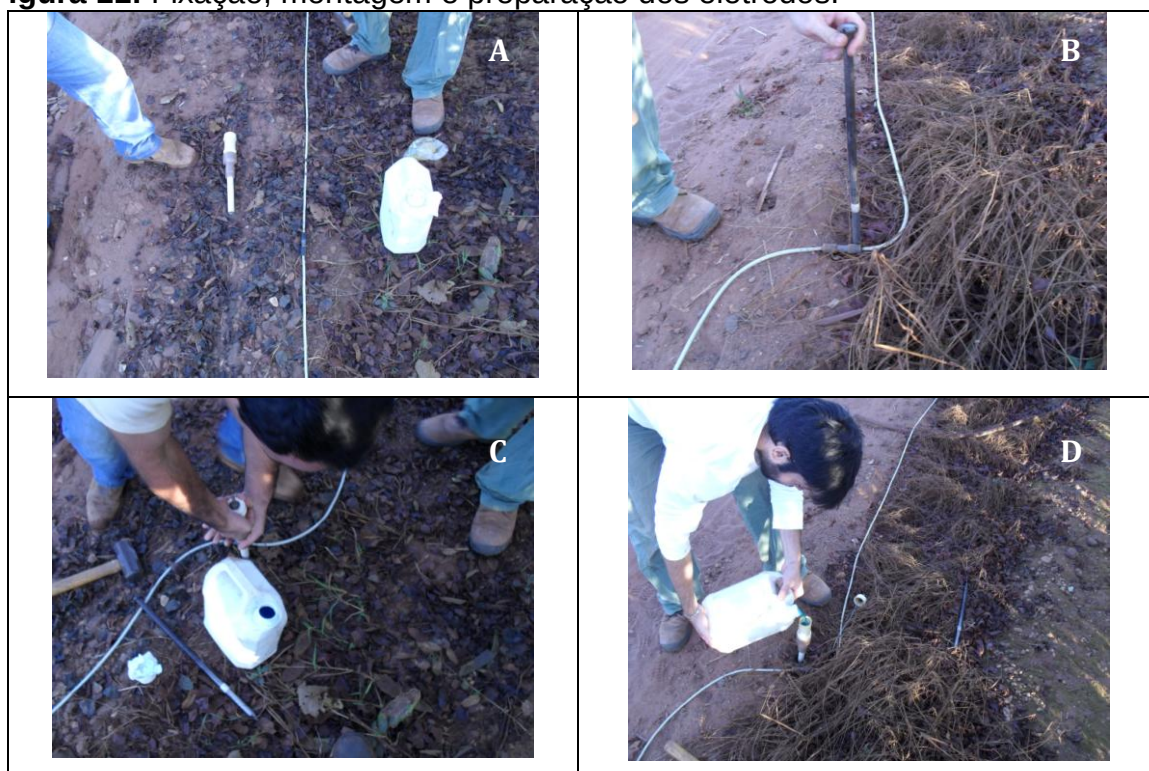


Fonte: Google Earth, 2012.

Os parâmetros de aquisição foram: 100mA de corrente, tempo de decaimento de 10ms, janela única de leitura com 100ms, tempo de aquisição de 2s, quatro ciclos de aquisição e leituras concomitantes de resistência e cargabilidade.

Os dados referentes a geologia estrutural local foram adquiridos por uma bússola Clar, e processados e apresentados sob a forma de estereogramas a partir do software OPENSTEREO.

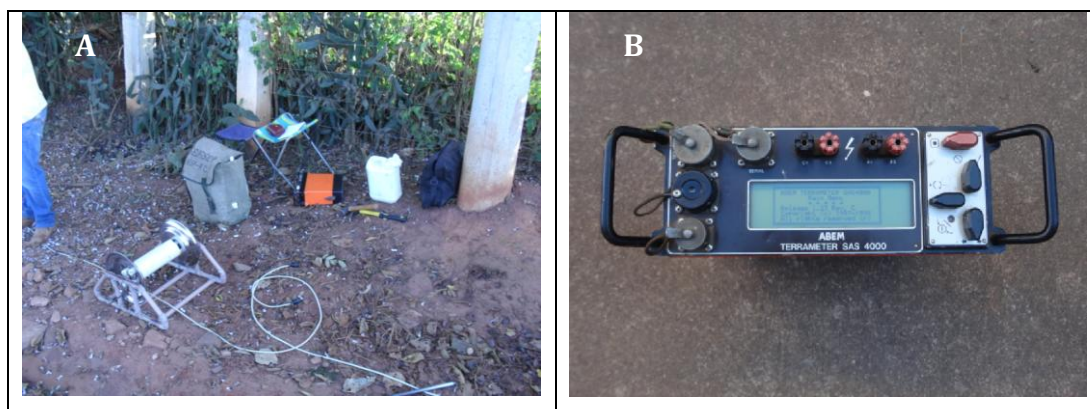
Figura 11: Fixação, montagem e preparação dos eletrodos.



A) Cabo utilizado com dipolo de 5m. B) Perfuração do solo com estaca para fixação do eletrodo. C) Fixação do eletrodo. D) Detalhe para a preparação do eletro com a solução CuSO_4 . Fonte: Arquivo pessoal.

O equipamento utilizado foi o resistímetro Terrameter SAS 4000, fabricado pela Abem (Suécia), com resolução de 1 mV, potência de 100W e quatro canais de leitura (Figura 12). Esse equipamento é calibrado para medidas de resistividade por meio de ciclos periódicos de corrente elétrica alternada e de baixa frequência, procedimento que permite a filtragem de ruídos do sinal adquirido (ABEM, 2006).

Figura 12: Equipamentos utilizados no trabalho.



A) Base de leituras; B) Detalhe do equipamento. Fonte: Arquivo pessoal.

Os dados interpretados foram processados no software RES2DINV, apresentados sob a forma de seções distância x profundidade (LOKE; BAKER, 1996), sob a forma de modelo de inversão em termos de resistividade elétrica e cargabilidade.

Esse programa é projetado para processamento de grandes conjuntos de dados em duas dimensões, adquiridos por meio da técnica de caminhamento elétrico. O processo de inversão consiste em uma série de blocos retangulares, a disposição dos blocos é ligada à distribuição dos pontos dos dados na pseudo-seção, ou seja, seção gerada pelos dados de campo em profundidade teórica. A distribuição e tamanho dos blocos são gerados automaticamente pelo programa conforme a distribuição dos pontos de dados. A profundidade da linha inferior dos blocos é definida para ser, aproximadamente, igual à profundidade equivalente de investigação de pontos com o maior espaço entre eletrodos (EDWARDS, 1977).

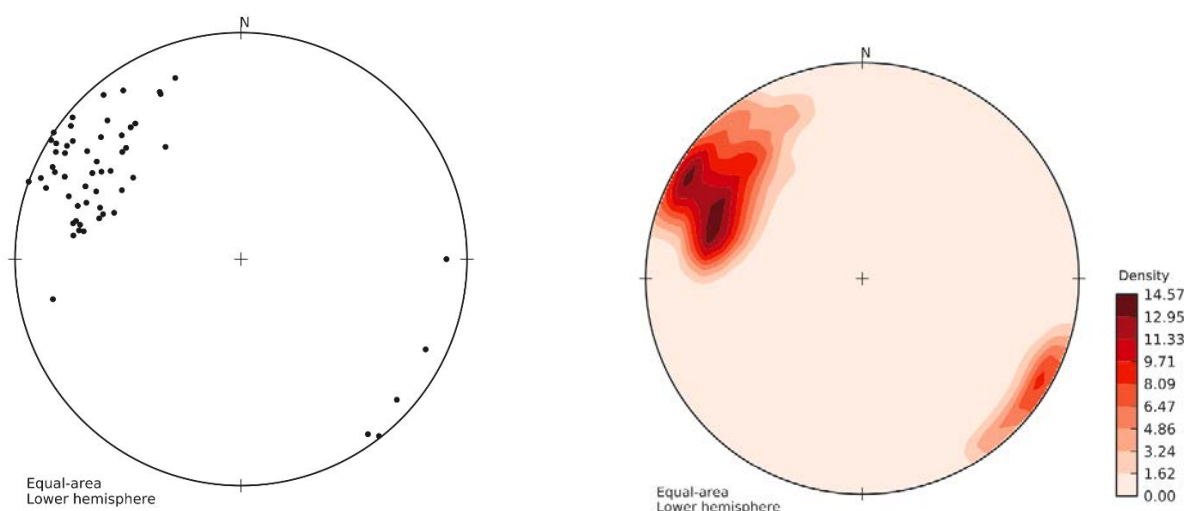
A sub-rotina de modelagem direta é usada para calcular os valores de resistividade aparente e uma técnica de otimização não-linear por mínimos quadrados é usada para a rotina de inversão (DEGROOT-HEDLIN; CONSTABLE 1990, LOKE; BARKER, 1996). O resultado é apresentado sob a forma de seção com distância versus profundidade em termos de pseudo-seção, seção calculada e modelo de inversão.

7. RESULTADOS

Na primeira etapa de campo foram coletadas medidas estruturais que são apresentadas sob a forma de estereogramas, com medidas de foliação coletadas ao longo de exposições na cava da mina. Em campo foram realizadas 61 medidas de foliação Sn (Foliação regional principal), com direção preferencial de Sn como aproximadamente N115/70.

Apenas um conjunto restrito de medidas foge ao padrão principal da área. Em campo foi possível verificar que este conjunto de medidas está relacionado a deformações provocadas nas adjacências dos corpos de minério maciço (Figura 13).

Figura 13: Estereogramas da Foliação – Córrego do Cocho.



Estereograma realizado à partir de 61 medidas. Fonte: Pessoal – gerado em OPENSTEREO.

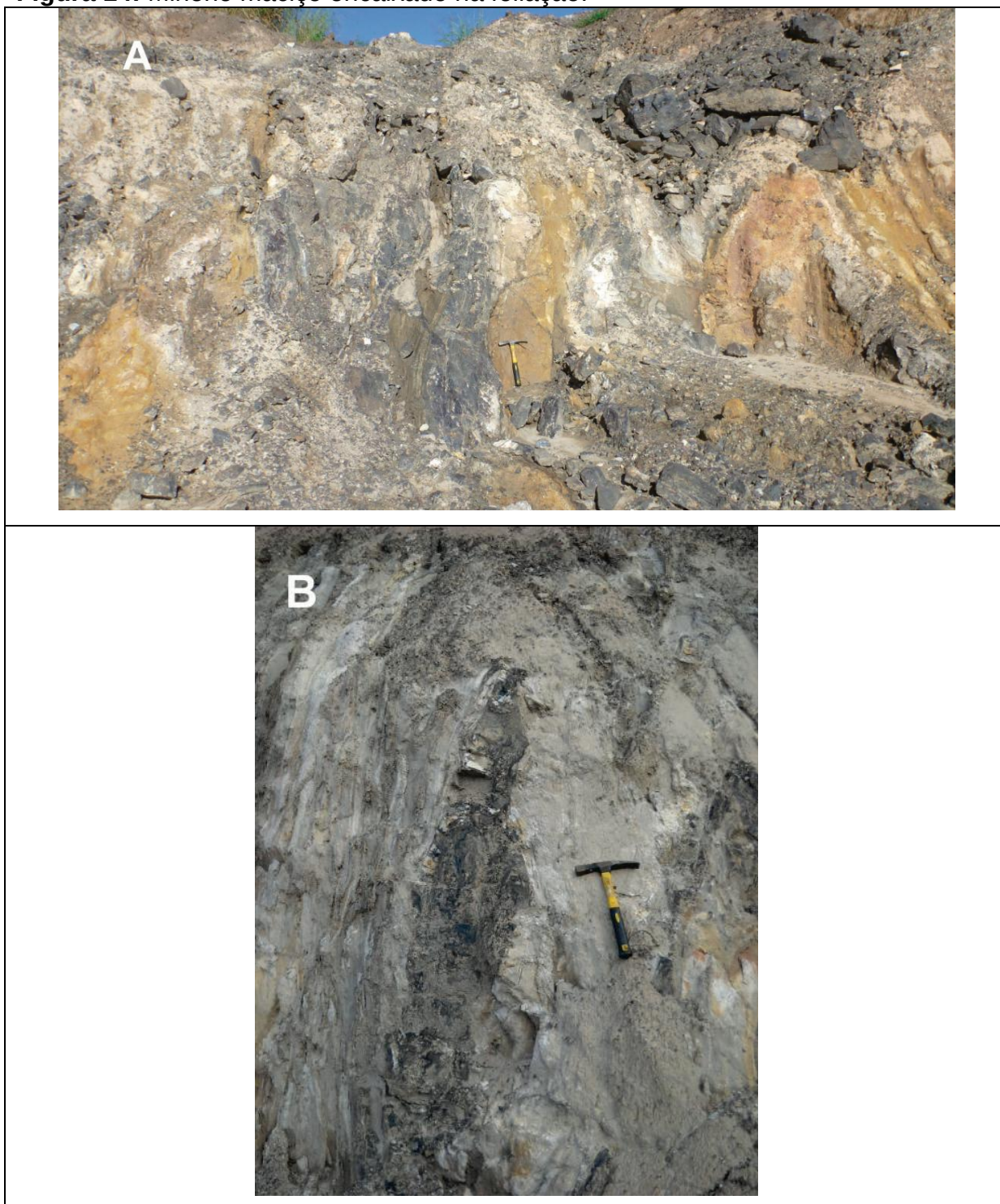
A partir da direção preferencial de Sn, foi decidido que as linhas de caminhamento elétrico deveriam ser dispostas paralelamente a Sn, obtendo assim uma seção longitudinal do corpo manganífero (Figura 14).

Os resultados do trabalho são discutidos a seguir, com ênfase na interpretação dos dados geofísicos. Cada figura apresenta na porção superior uma seção referente aos dados de resistividade e, na porção inferior uma seção referente aos dados de cargabilidade. Os tons de cores de vermelho e de azul representam zonas com maiores e menores valores, respectivamente.

No trabalho foram levantados trezentos metros de linhas de caminhamento, setenta e 5 metros cada. A escolha do arranjo híbrido Werner-Schlumberger permitiu uma resolução de aproximadamente 20m de profundidade por linha. Na segunda

etapa de trabalho de campo, foram realizados os caminhamentos elétricos com os métodos de eletrorresistividade e polarização induzida. Os dados obtidos nessa etapa foram processados e os resultados são apresentados discutidos à partir de imagens.

Figura 14: Minério maciço encaixado na foliação.

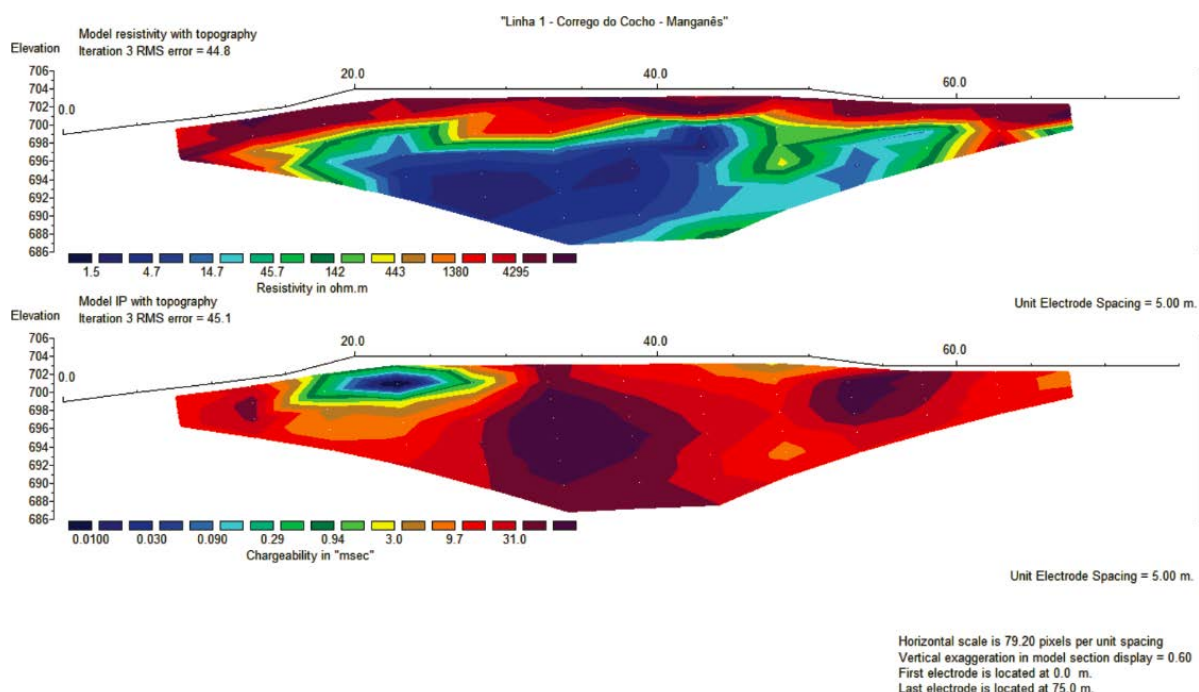


A) Minério maciço alojado na foliação; B) Detalhe do minério gondítico (porção escura no centro da imagem). Fonte: Arquivo pessoal.

A Linha 1 (Figura 15) foi disposta próxima a próximo da frente atual de lavra, onde é possível correlacionar afloramentos do minério com as linhas geofísicas. A partir do georreferenciamento das linhas é possível verificar na imagem de resistividade, uma zona com baixos valores (menores que $15\Omega.m$) que inicia aos 20m de linha e termina em 55m. Entre 45m e 50m há uma pequena interrupção dos baixos valores de resistividade. Essa zona está compreendida entre as cotas 698m e 686m, onde a linha apresenta o máximo de profundidade.

Os dados de cargabilidade apresentaram semelhanças em termos de perfil topográfico, mas com algumas diferenças perante a extensão lateral da zona anômala. Essa zona apresenta valores de alta cargabilidade (acima de 31ms) entre os intervalos de 28m e 43m e 50m e 55m. Esses intervalos são condizentes com as zonas que apresentam minérios maciços e não permite o reconhecimento de zonas de minério disseminado, em contraste com a seção de resistividade, onde não é possível uma caracterização de forma distinta entre zonas de minério disseminado e maciço.

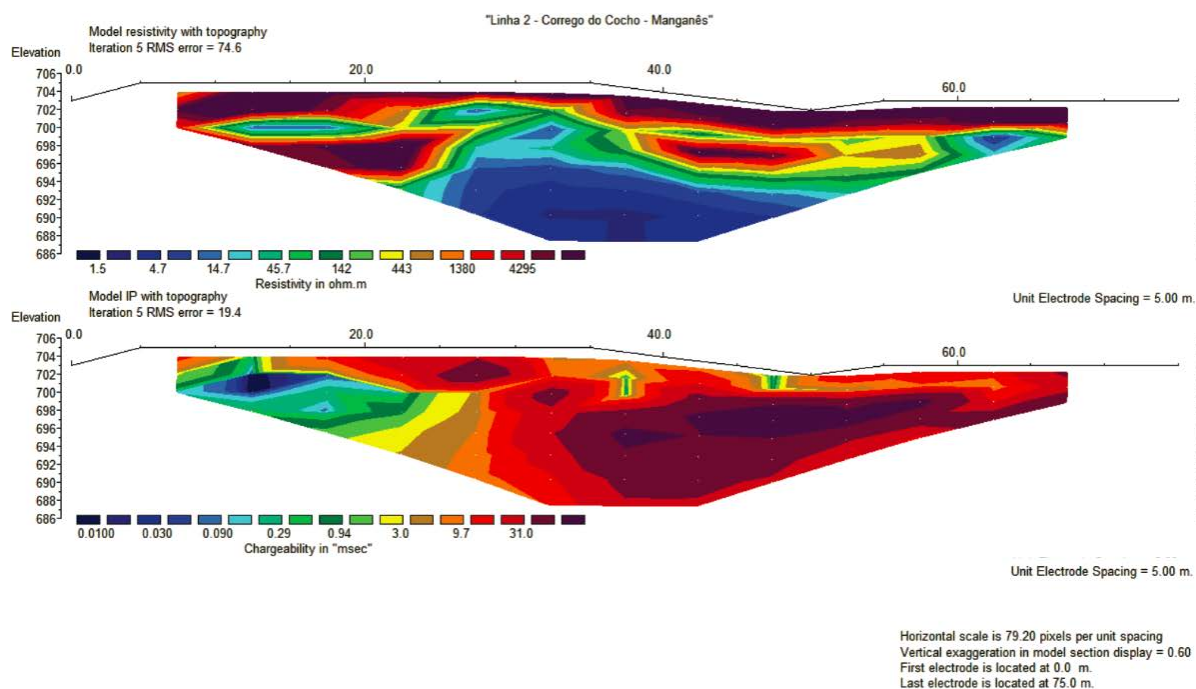
Figura 15: Linha 1 – Córrego do Cocho – Manganês.



Fonte: Pessoal, gerada em RES2DINV.

A linha 2 (Figura 16) apresentou uma zona de baixa resistividade, com valores abaixo de $15\Omega.m$, entre os intervalos 24-52m, 60-65m e uma variação das cotas entre 700m e 686m. Pequenas zonas pontuais são identificadas como possíveis concentrações supergênicas de minério ou artefatos produzidos durante a inversão dos dados.

Figura 16: Linha 2 – Córrego do Cocho – Manganês

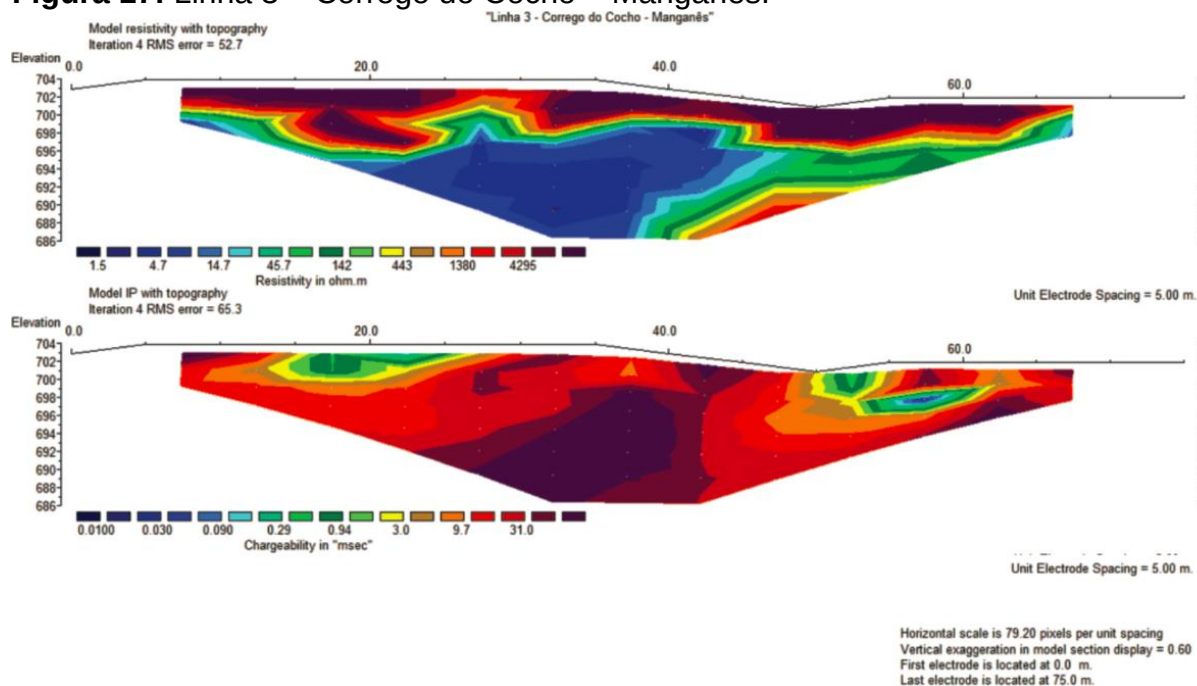


Fonte: Pessoal, gerada em RES2DINV.

A seção de cargabilidade apresentou uma zona com altos valores, posicionada entre 33m e 65m, entre as cotas 700m e 686m. Os valores dessa zona de cargabilidade são da ordem de 30ms e apresentam certa coincidência com a zona de baixa resistividade.

A linha 3 (Figura 17) apresentou uma zona de baixa resistividade com valores abaixo de $15\Omega.m$, está situada no intervalo entre 20m e 47m lateralmente e entre as cotas de 699m e 686m. A seção de cargabilidade apresentou uma zona de altos valores entre 20m e 43m, coincidente com o intervalo destacado para a seção de resistividade.

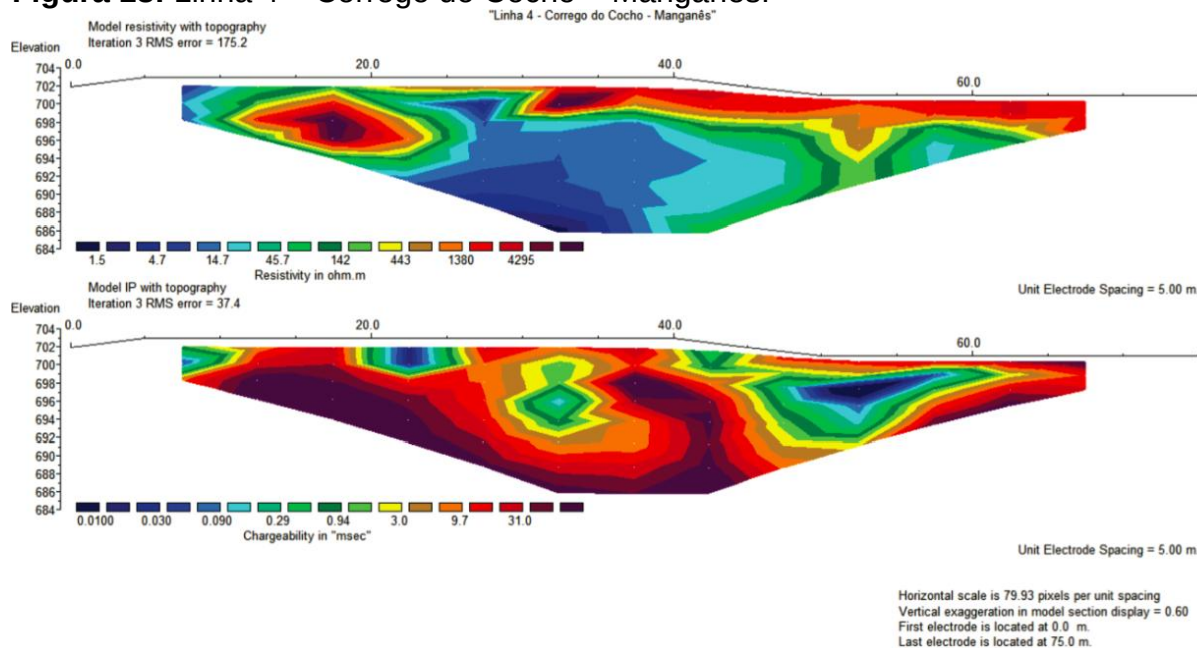
Figura 17: Linha 3 – Córrego do Cocho – Manganês.



Fonte: Pessoal, gerada em RES2DINV.

A linha 4 (Figura 18) apresentou uma zona com baixa resistividade no intervalo entre 22m e 45m. Na seção de cargabilidade são descritos valores elevados para o intervalo entre 7m e 48m. A zona de alta resistividade entre 10m e 23m é interpretada como uma provável banda leucocrática do gnaiss, descrito por Angeli *et al.* (2011) acompanhada de um veio de quartzo com sulfetos disseminados.

Figura 18: Linha 4 – Córrego do Cocho – Manganês.



Fonte: Pessoal, gerada em RES2DINV.

Uma vez que a seção de polarização induzida apresenta uma zona com alta cargabilidade entre os intervalos de 10m e 45m e as cotas de 686m e 702m, é possível associar o sulfeto disseminado com a zona de alta cargabilidade e o veio de quartzo com a zona de alta resistividade. A seção de cargabilidade apresenta também uma zona de baixa cargabilidade entre 25m e 37m. Essa zona em comparação com a seção de resistividade é interpretada como um provável problema de processamento de dados.

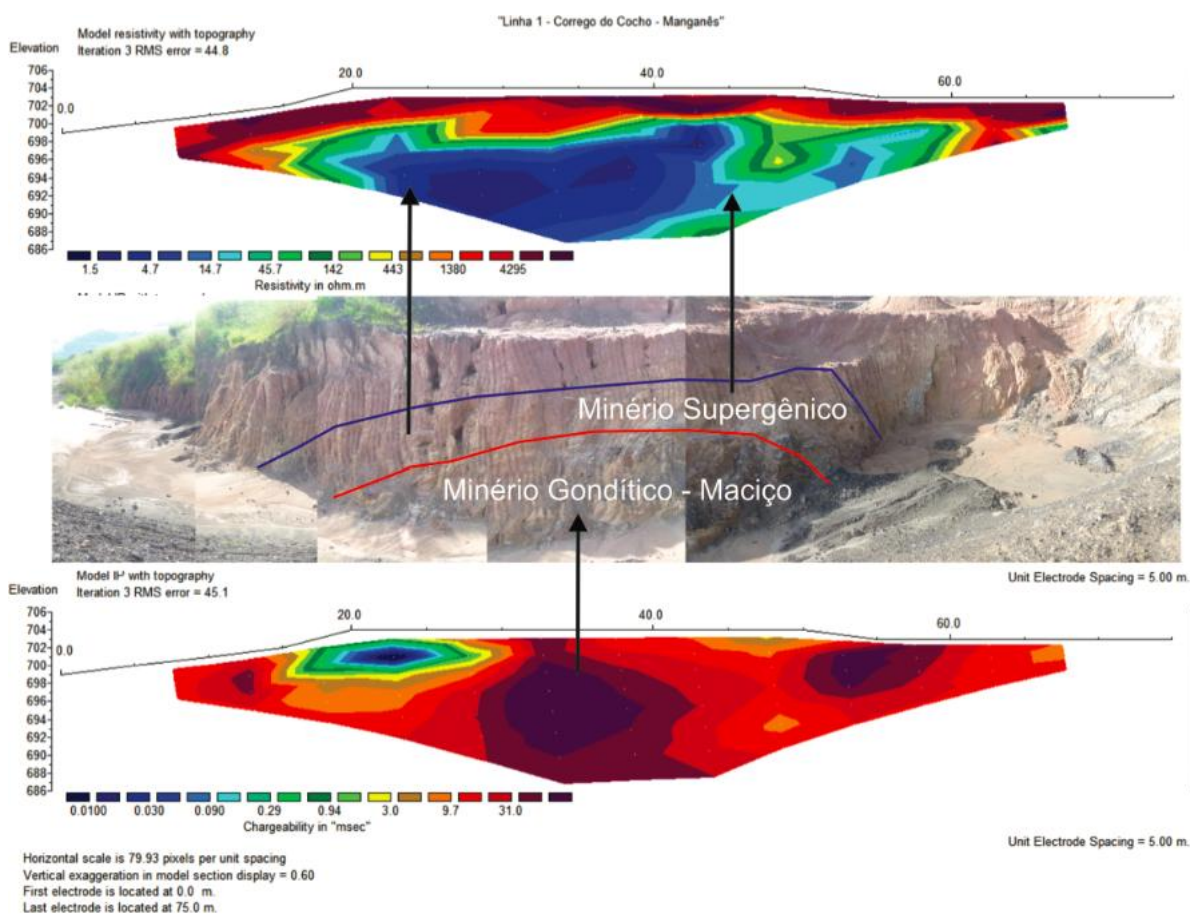
Essa divergência de resultados entre os dois métodos provavelmente ocorre porque a resistividade elétrica é um parâmetro físico sensível a fatores como conteúdo mineral, porosidade, granulometria, presença de argilominerais, dentre outros, como já foi abordado no capítulo de Métodos Geofísicos. Os materiais que constituem o perfil de alteração são basicamente representados por quartzo e argilominerais, originados do intemperismo de quartzitos, xistos e gnaisses.

As porções de solo próximas da superfície são caracterizadas por altos valores de resistividade pela ausência de umidade e predomínio de quartzo. Em contraste, ocorre o aumento da umidade concomitante a profundidade, acompanhado pelo aumento na quantidade de argilominerais lixiviados de posições superficiais pela infiltração de água da chuva. Neste caso, a resistividade elétrica deve ser atribuída essencialmente a processos de condução eletrolítica, em detrimento aos processos de condução eletrônica.

As medidas de cargabilidade também são em parte influenciadas por condicionantes geológicos semelhantes à resistividade elétrica, principalmente o conteúdo mineral. Este aspecto é determinante a polarizabilidade dos materiais geológicos, bastante intensos em sulfetos disseminados, medianamente intensos para óxidos e hidróxidos e pouco intensos em minerais silicáticos. Embora haja processos de polarização eletrolítica em presença de umidade ou de argilominerais, a polarizabilidade é pouco relevante em presença de sulfetos e óxidos minerais, responsáveis pelo fenômeno de polarização eletrônica.

A princípio é possível verificar que o método da eletrorresistividade apresenta uma resolução do minério tanto disseminado (minério supergênico), quanto o minério maciço (minério gondítico) em contraste com as rochas encaixantes, que apresentam alta resistividade; e o método da polarização induzida apresenta um grande contraste apenas para o minério maciço em contraste com as rochas encaixantes, que apresentam baixa cargabilidade (Figura 19).

Figura 19: Frente de lava x Linha 1.



Comparação da frente de lava com as zonas mineralizadas com as seções de resistividade e cargabilidade. Fonte: Arquivo pessoal.

As seções da linha 3 apresentaram ótima resolução tanto de resistividade quanto de cargabilidade, pois o contraste com as zonas polarizáveis é muito nítido e as zonas com baixa resistividade e alta cargabilidade coincidem. Isso possivelmente ocorre por causa da ausência de minério disseminado no local da linha 3, onde provavelmente há uma zona de minério maciça pouco alterada. A forte influência do grau de umidade dos materiais geológicos é determinante no padrão de resistividade para as porções interiores do terreno estudado, o que reflete e diretamente nos resultados da linha 4.

8. CONCLUSÕES

Este trabalho revela que o uso combinado de métodos geofísicos correlacionados a descrições geológicas de zonas mineralizadas consiste num procedimento tecnicamente viável no planejamento de lavra de curto prazo. A calibração de dados geofísicos com áreas comprovadamente mineralizadas, pode resultar num detalhamento bastante superior ao adquirido somente a partir de sondagens para amostragem e análises químicas, e assim, num controle relativamente preciso de lavra.

A compreensão da existência e continuidade de corpos de minério para controle de teores em procedimentos de lavra é bastante dificultoso somente por meio das técnicas convencionais de perfuração e amostragem, principalmente em jazidas complexas, com distribuição de minério desvinculado de controles estruturais ou estratigráficos. O cruzamento dos dados obtidos a partir dos métodos geofísicos associado aos dados de geologia estrutural e local fornece base para um detalhamento de alvo prospectivo. A geofísica terrestre provou ser um importante método prospectivo, mas o estudo demonstrou também a necessidade de utilização de mais de um método geofísico dependendo do objetivo do trabalho.

A resposta do método de eletrorresistividade para a zona mineralizada em contraste com as rochas encaixantes permitiu a identificação de diversas zonas de baixa resistividade indicativas de mineralização. Entretanto, seus resultados impossibilitam individualizações entre minério maciço e disseminado.

O método de polarização induzida é amplamente empregado em pesquisas de sulfetos disseminados, caracterizados pelo conjunto elevada cargabilidade e baixa resistividade. Contudo, para o caso de óxidos de manganês, os resultados apontam um padrão semelhante para zonas gondíticas, ou seja, onde predominam zonas de minério maciço. Para o caso de áreas com minério disseminado comprovadamente descritos em campo, apenas os resultados de resistividade elétrica foram satisfatórios, em detrimento aos dados de cargabilidade.

A análise estrutural realizada em campo permitiu concluir que o corpo do minério está encaixado na foliação regional da área de alinhamento geral NNE-SSW. A presença dos corpos, por vezes, alteram discretamente a foliação local, permitindo uma variação na direção da mesma, e principalmente, no mergulho. Isso

ocorre provavelmente devido à diferença de competência do material, no caso entre o corpo de minério e as rochas encaixantes.

Desta forma, os resultados deste trabalho indicam que a assinatura clássica de depósitos de óxidos em sulfetos por meio dos métodos geofísicos supracitados, pode ser esperada para depósitos manganíferos primários ou não intemperizados.

Para o caso de depósitos minerais de origem secundária, cujos condicionantes genéticos são controlados por processos de intemperismo, fatores como umidade, porosidade e teor de argilominerais, exercem grande influência na análise de medidas de cargabilidade, devido à semelhança entre valores para zona mineralizada e zona estéril.

REFERÊNCIAS

ABEM. Terrameter SAS4000 / SAS1000. Instruction Manual. 2006. 136 p.

ALLIS, R. Geophysical anomalies over epithermal systems. Journal of Geochemical Exploration, v. 36, p. 339 – 374, 1990.

ANGELI, N.; CARVALHO, S. G.; OLIVEIRA, M. A. F.; CHOUDHURI, A.; SARAGIOTO, J. A. R. Caracterização das ocorrências de minério de manganês em parte da porção nordeste do Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33^o, Rio de Janeiro - RJ. Anais..., Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 8, p. 3710-3723, 1984.

ANGELI, N.; KHAN, H.; ITO, G. M.; CARVALHO, S. G.; JIMENEZ-RUEDA, J.; PENHA, U. C. Geologia e Caracterização Tecnológica do Minério de Manganês da Mina Córrego do Cocho, Itapira (SP). Revista do Instituto de Geociências - USP Geol. USP, 2011, Sér. cient., São Paulo, v. 11, n. 3, p. 107-130, 2011.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2011. Sumário Mineral, 2011, Volume 31. Disponível:<https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=638>. Acesso em 23 Jun. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA – Biomass do Cerrado: Fauna e Flora, [200-]. Disponível: <<http://www.mma.gov.br/biomass/cerrado/fauna-e-flora>> . Acesso em 02 Abr. 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME – Plano Nacional de Mineração 2030 (PMN – 2030). 2010. 178 p.

CAVALCANTE, J. C.; CUNHA, H. C. S.; CHIEREGATI, L. A.; KAEFER, L. Q.; ROCHA, J. M.; DAITX, E. C.; COUTINHO, M. G. N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND J. B. V.; ROSA, D. B.; RAMALHO, R. Projeto Sapucaí: Relatório Final de Geologia. DNPM/CPRM, Brasil, (Série Geológica N^o 5, Seção Geológica N^o 2). 1979. 299 p.

CAMPOS NETO, M. C.; FIGUEIREDO, M. C. H. Evolução geológica dos terrenos costeiros, Paraíba do Sul e Juiz de Fora (RJ-MG-ES). In. Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Anais..., Natal – RN, SBG, v. 6, pp. 2631-2648, 1990.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_261.html . Acesso em 02 Abr. 2013.

CHOUDHURI, A.; ANGELI, N.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Caracterização e gênese dos depósitos de manganês associados a gonditos na porção centro-leste do estado de São Paulo. Rio Claro: UNESP, (Relatório FAPESP, No 83/0393-5). 1984. 32p.

DEGROOT-HEDLIN, C.; CONSTABLE, S. Occam's Inversion to Generate Smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. Geophysics. v. 55, p 1613-1624, 1990.

DEL LAMA, E. A. Terrenos granulíticos de Guaxupé: evolução petrológica de um segmento da Crosta Inferior. (Tese de Doutorado em Geologia Regional). IGCE/UNESP. 1998. 188p.

DONATTI FILHO, J.P. A relação genética do minério de manganês do sudeste de Itapira (SP) com a tectônica do Cenozóico, e caracterização tecnológica do minério da Mina Córrego do Cocho. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Rio Claro. 2005.

EDWARDS, L. S. A modified pseudosection for resistivity and induced polarization. Geophysics, v. 42, p. 1020-1036, 1977.

FERMOR, L. L. The manganese ore deposits of India. Memoir Geology Survey of India, v. 37, p. 93-101. 1909.

GOOGLE EARTH. Versão 4.3 (beta). Europa Technologies – US Dept. of state Geographer, 2012.

GRIEVE, P. L.; CORBETT, G. J.; LEACH, T. M. Geology and exploration at Puhipuhi, Northland, New Zealand. New Zealand Minerals and Mining Conference Proceedings, Publicity Unit, Crown Minerals, Ministry of Commerce, Wellington, p. 133-139, 1997.

HASUI, Y. Neotectônica e Aspectos Fundamentais da Tectônica Ressurgente no Brasil. Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro. Belo Horizonte – MG, v.1, p 1-31, 1990.

HASUI, Y.; RODRIGUES, E. de P.; OLIVEIRA, M. C. B. D.; ENS, H. H.; MORALES, N.; ZANARDO, A.; QUADE, H.; NYK, R.; KÜLLER, M. L.; FRASCÁ, M. H. B. de O. Deformação por cisalhamento dúctil: modelo de transformações de rochas pré-cambrianas antigas do leste do Estado de São Paulo. São Paulo: Pró-Minério, (Relatório IPT No 25.908). 1988.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R.; JANASI, V. A. Província Mantiqueira. In: Mantesso Neto, V.; Bartorelli, A.; Dal Ré Carneiro, C.; Brito Neves, B. B. de (Ed.). Geologia do Continente Sul-Americano, Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Editora Beca, 2004. Cap. 13, p. 203-235.

HENCKLE, W. R.; JOHN, T. W.; HYDE, C. C. Geochemical and geophysical signatures at three precious metals exploration target in Nevada. Journal of Geochemical Exploration, v. 47, p. 29-43, 1992.

IRVINE, R. J.; SMITH, M. J. Geophysical exploration for Epithermal deposits. Journal of Geochemical Exploration, v.36. p.375 - 412, 1990.

KAZMIERCZAK, T.S. Mapeamento da Bacia do Camaquã com a utilização de dados geofísicos, geologia e sensoriamento remoto. Porto Alegre, dissertação de mestrado em geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006. 110p.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. 2002. An Introduction to Geophysical Exploration, Third Edition, Wiley-Blackwall Science Ltd. 2002. 272 p.

KEAREY, P; BROOKS, M; HILL, I. Geofísica de Exploração, 1^oed., Oficina de Textos. 2009. 429 p.

KING, L.C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia. v.18, n.2, p.147-265, 1956.

KNÖDEL, K.; LANGE, G.; VOIGT, H.J. Enviromental Geology – Handbook of fields methods and case studies. Springer, 2007, p. 1357.

LAGO, A. L. Investigação geofísica 2D e 3D com aplicação em meio ambiente: estudo sobre uma área de disposição de resíduos de óleo lubrificante no município de Ribeirão Preto-SP. 2009. Tese (Doutorado) – Instituto de astronomia, geofísica e ciências atmosféricas – Universidade de São Paulo (USP). São Paulo. p. 207.

LAZARINI, A. P. Petrologia de metabasitos e ultrabasitos da região de Águas de Lindóia. 2000. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas- Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, São Paulo.

LOCKE, C.A.; JOHNSON, S.A.; CASSIDY, J.; MAUK, J.L. Geophysical exploration of the Puhupuhi epithermal área, Northland, New Zealand. Journal of Geochemical Exploration, v. 65, p. 91-109. 1999.

LOKE, M. H.; BAKER, R. D. Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosections by Qausi-Newton Method. Geophysical Prospecting, v. 44, p. 131-152, 1996.

LOWRIE, W. Fundamentals of Geophysics, 2^o ed., Cambridge University Press. 2007. 381 p.

MARANHÃO, R. J. L. Introdução a Pesquisa Mineral. Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, 2^oEd. 1985. 796 p.

MCNEILL, J. D. Eletrical Conductivity of Soils and Rocks. Geonics Limited, Technical Note TN-5. 1980. 22 p.

MILSOM, J. Field Geophysics – The Geological Field Guide Series, 3^o Ed.,Wiley. 2003. 232 p.

MOON, C. J.; WHATELEY, M. E. G.; EVANS, A. M. Introduction to Mineral Exploration. 2^o ed., Backwell Publishing, Oxford, 2006. 499 p.

MOREIRA, C. A.; ILHA, L. M. Prospecção geofísica em ocorrência de cobre localizada na bacia sedimentar do Camaquã (RS). Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v.64, n.3, p. 309-315, 2011.

MOREIRA, C. A.; LOPES, S. M.; SCHWEIG, C.; SEIXAS, A. R.; Geoelectrical prospection of disseminated sulfide mineral occurrences in Camaquã sedimentary basin, Rio Grande Sul State, Brazil. Revista Brasileira de Geofísica, v.30, n.2, p. 169-179 , 2012.

MURTHY, B.V.S; MADHUNSUDAN RAO, B; DUBEY AND SRINIVASLU, A.K. Geophysical exploration for manganese-some examples from Keonjhar district, Orissa. J. Ind. Geophys. Union, v.13, n.3, p.149-161, 2009.

OLIVEIRA, M. A. F. DE; ZANARDO, A.; SILVA, A. H. M.; LAZARINI, A. P. Anfibolitos associados à Faixa Metamórfica Amparo – Itapira na região de Socorro – Amparo – Águas de Lindóia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40^o, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte – MG. 1998. 456 p.

ORELLANA, E. Prospeccion Geoelectrica em Corriente Continua, Biblioteca Técnica Philips, Madrid: Paraninfo, 1972. 523 p.

ROY, S.; MITRA, F. N. Mineralogy and genesis of the gondites associated with metamorphic manganese orebodies of Madhya Pradesh, India. Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 20, p. 86-114, 1964.

ROY, S. Mineralogy of the different genetic types of manganese deposits. Economic Geology, v. 63, p. 76-786, 1968.

SADEK, H. S.; IBRAHIM, A. E.; AL SHANTI, H. M. Geophysical prospection for base metal sulphides in Gehab Prospect, Wadi Bidah, Kingdom of Arábia Saudita. Earth Sciences Journal. v. 3. p. 357-365, 1989.

SÃO PAULO – Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT. 1981. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo em escala 1:500.000.

SARTORI, P.L.; KAWASHITA, K. Petrologia e geocronologia do Batólito Granítico da Caçapava do Sul, RS. In: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 2^o. Florianópolis - SC, Anais..., SBG, p. 102-115, 1985.

SCHWEIG, C. Caracterização geolétrica da ocorrência de Cobre olônia de Santa Bárbara, Município de Caçapava do Sul, Monografia (Graduação em Geofísica), Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul – RS. 2010. 77 p.

SETZER, J. Atlas climático do Estado de São Paulo. Secreatria da Agricultura. 1976.

SOLIANI JÚNIOR, E. Os dados geocronológicos do Estado Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotctônica. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 1986, 425p.

SUMNER, J. Principles of induced polarization for geophysical exploration. 1 ed. Elsevier Scientific, Amsterdam, 1976, 277 p.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. Applied Geophysics. Second Edition. Cambridge University Press, 1990, p. 611-644.

VERÍSSIMO, C. U. Evolução geológica dos corpos de protominério e mineralizações de manganês associadas, porção leste de São Paulo e Sul de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista UNESP, Rio Claro (SP), 1991.

WERNICK, E. A geologia da região de Amparo, leste do Estado de São Paulo. Tese (Doutorado), Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Rio Claro (SP), 1967.

WERNICK, E. Contribuição a estratigrafia do Pré- Cambriano do leste do estado de São Paulo e áreas vizinhas. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 206-216, 1978.

WHITE, R.; COLLINS, S.; DENNE, R.; HEE, R.; BROWN, P. A new survey design for 3D IP inversion modelling at Copper Hill. Exploration Geophysics. v. 32. p. 152 – 155, 2001.

ZANARDO, A. Análise petrográfica e microestrutural das rochas da Folha de Águas de Lindóia. Tese Doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho UNESP, Rio Claro – SP, 1987. 270 p.

ZANARDO, A. ; OLIVEIRA, M. A. F. ; MORALES, N. Contribuição ao conhecimento da Formação Eleutério. Congresso Brasileiro de Geologia, Anais..., 35^o, Belém - PA. v. 5. p.2308-2317, 1988.

ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M. A. F.; MORALES, N. Evolução geológica das rochas pré-cambrianas da região de Águas de Lindóia. In. Congresso Brasileiro de Geologia. Anais..., Natal - RN, v. 4, p.1956-1967, 1990.

ZANARDO, A.; DEL LAMA, E.A.; MORALES, N.; OLIVEIRA, M. A. F. Aspectos litoestratigráficos da porção limítrofe entre os blocos São Paulo e Brasília. Anais 38^o Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador - BA. v. 6. p3-5, 1996.

ZANARDO, A.; VERÍSSIMO, C.V.; LAZARINI, A. P.; ROLDAN, A. A. Protominério de Manganês das ocorrências do Grupo Itapira. Anais 40^o Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte - MG. 1998. 159 p.

ZANARDO, A. Pesquisa geológica e de matérias primas cerâmicas do centro nordeste do estado de São Paulo. Tese (Livre Docência) - Instituto De Geociências e Ciências Exatas, Universidade Júlio de Mesquita Filho UNESP, Rio Claro (SP), 2003.