

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Graduação em Geologia

**MODELAMENTO GEOFÍSICO DE DIABÁSIO PARA PLANEJAMENTO DE
LAVRA POR MEIO DA TÉCNICA DE TOMOGRAFIA ELÉTRICA**

Davi Diorio Parrotti

Prof. Dr. César Augusto Moreira

Orientador

Rio Claro (SP)

2021

UNIVERSIDADE ESTADIAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus Rio Claro

DAVI DIORIO PARROTTI

MODELAMENTO GEOFÍSICO DE DIABÁSIO PARA PLANEJAMENTO DE
LAVRA POR MEIO DA TÉCNICA DE TOMOGRAFIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Geologia,
Junto ao conselho de Curso de Bacharelado
em Geologia, do Instituto de Geociências e
Ciências Exatas da Universidade Estadual
Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Câmpus de
Rio Claro

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro – SP

2021

DAVI DIORIO PARROTTI

MODELAMENTO GEOFÍSICO DE DIABÁSIO PARA PLANEJAMENTO DE
LAVRA POR MEIO DA TÉCNICA DE TOMOGRAFIA ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Geologia,
Junto ao conselho de Curso de Bacharelado
em Geologia, do Instituto de Geociências e
Ciências Exatas da Universidade Estadual
Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Câmpus de
Rio Claro

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira (Orientador)

Msc. Fernanda Teles Gomes Rosa

Msc. Lucas Moreira Furlan

Rio Claro, 16 de Fevereiro de 2021.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

P263m Parrotti, Davi Diorio
Modelamento Geofísico de Diabásio para Planejamento de
Lavra por Meio da Técnica de Tomografia Elétrica / Davi Diorio
Parrotti. -- Rio Claro, 2021
42 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de
Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: César Augusto Moreira

1. Eletorresistividade. 2. Diabásio. 3. Brita. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por ter me dado forças, coragem, determinação e ter me sustentado até aqui.

Em especial pela minha família, meus pais Junior e Daniela e o meu irmão Nathan, por todo o apoio e conselhos que me deram durante toda a minha vida, se não fosse por vocês eu não sei onde estaria hoje.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. César Augusto Moreira por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa e pela sua orientação, dedicação e paciência durante o projeto.

Aos meus amigos e colegas da Turma de Geologia 2016, que me acompanharam durante esta jornada, pela amizade e companhia. Principalmente para Cynthia, Isabella, Pietro, Helena, Jessica, João Cerqueira, Victor e Lucas Venciguerra, que foram os amigos mais especiais que eu tive a sorte de ter durante toda a graduação. Obrigado a todos!

Também quero agradecer a Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” e a todos os professores do meu curso, que foram os responsáveis pelo meu crescimento pessoal e profissional.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que acreditaram e confiaram e que me ajudaram de forma direta ou indiretamente.

Combati o bom combate, acabei a carreira, guardei a fé.

2 Timóteo 4:7

Resumo

A pesquisa mineral é um processo de pesquisa sistemática utilizada para o planejamento e execução de depósitos de minerais. Uma das ferramentas de investigação é a geofísica, que é um método indireto de pesquisa. Esses métodos são aplicados como uma ferramenta para a prospecção em minas em operação como forma de definir a direção e o planejamento da exploração mineral o que promoverá redução de custos. Com o crescimento da indústria da construção civil, a demanda de agregados aumenta em conjunto. Minérios não-metálicos como areia, argila, calcário e brita são alguns exemplos desses materiais. A produção de agregados abastece principalmente a região metropolitana de Campinas, que é a terceira maior cidade do Estado de São Paulo em população e que, nos últimos anos tem ocupado e consolidado uma importante posição econômica em níveis estaduais e nacionais, o que implica em uma grande demanda de minérios não-metálicos para a construção civil. A brita é um agregado utilizado na construção civil e que é aplicada na produção de concretos e argamassas durante a edificação de uma obra. Além disso, a mesma representa um dos insumos essenciais para esta área de trabalho. A Pedreira Santo Antônio em Mogi Mirim (SP) é uma mina especializada no beneficiamento de britas, nela foi aplicado o método geoelétrico da Eletorresistividade através da técnica da Tomografia Elétrica com o objetivo de avaliar a continuidade de uma soleira de diabásio da Formação Serra Geral intrudida em rochas areníticas do Grupo Itararé para o planejamento de lavra e uma possível expansão da mina. Para o trabalho foram realizadas 4 linhas de Tomografia Elétrica por meio de arranjo Schlumberger com separação de 50 m entre linhas e 10 m entre eletrodos. As linhas totalizaram 1980 metros de extensão, das quais três paralelas na direção NW – SE, e uma, perpendicular as outras linhas, na direção NE – SW. Os resultados obtidos foram processados no *software* Res2Dinv, o qual gerou perfis de resistividade em 2D (comprimento x profundidade). Os valores de resistividade alcançaram máximos de 5000 $\Omega.m$ e mínimos de 100 $\Omega.m$. Com a análise dos resultados adquiridos foi observado que o corpo de diabásio exibe uma continuidade no sentido nordeste em relação a cava e conforme se distancia da cava a intrusão apresenta um comportamento de afunilamento. O corpo de diabásio deverá apresentar um comprimento de no máximo 350 metros.

Palavras chave: Eletorresistividade, Diabásio, brita

ABSTRACT

Mineral research is a process of systematic research that is used for the planning and execution of mineral deposits. One of the tools of investigation is the geophysics that is an indirect method of research. These methods are applied as a prospecting tool for mining operation as a way to defining the direction and planning of mineral exploration, which will promote cost reduction. With the growth of the civil construction industry, the demand for construction aggregates has also increased. Non-metallic ore such as sand, clay, limestone and gravel are some examples of these materials. The aggregates production supplies mostly the Campinas metropolitan region, which is the third biggest city of São Paulo state in population and, in recent years, it has occupied and consolidated an important economic position at state and national levels, adding a great demand for non-metallic ores for the civil construction. The gravel is an aggregate used in civil construction and it is applied in the production of concrete and mortar during an edification of a construction. Besides that, gravel is one of the essential inputs for this industry. The Santo Antônio quarry in Mogi Mirim (SP) is a mine specialized in the processing of gravel, in this place was applied the geoelectric method of Electroresistivity through the Electrical Tomography technique in order to evaluate the continuity of a diabase sill of the Serra Geral Formation intruded in sandstone rocks of Itararé Group for the mining planning and a possible expansion of the mine. For this work was made 4 lines of electrical tomography through a Schlumberger array with 50-meter distance between the lines and 10-meter distance between electrodes. The lines have a total of 1980 meter of length, three of them are parallel in NW – SE direction and one perpendicular to the others lines, in NE – SW direction. The results obtained were processed in software Res2Dinv, which generated 2D resistivity profiles (length x depth). The resistivity values reached a maximum of 5000 $\Omega.m$ and minimum of 100 $\Omega.m$. With an analysis of the acquired results, it was observed that the diabase body has a continuity in northeast direction in relation to the mining and as it moves away from the mining the intrusion contains a behavior bottleneck. The diabase body must have a maximum length of 350 meters.

Keywords: Electroresistivity, diabase, gravel

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1: Localização da área de estudo.....	16
Figura 4.1: Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. Em destaque, as formações encontradas na área de estudo.	19
Figura 4.2: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, mostrando a extensa distribuição da Província Magmática do Paraná.	21
Figura 4.3: A – Imagem retratando o solo argiloso da área estudada. Em amarelo é destacado o contato dos solos de coloração amarelo-alaranjado (parte superior) e marrom-avermelhado (parte inferior). B – Imagem da Pedreira de Diabásio demonstrando as porções fraturadas do diabásio.....	22
Figura 5.1: Representação do princípio da Eletrorresistividade medida com uma matriz e quatro eletrodos.....	24
Figura 5.2: Parâmetro utilizado para definir a resistividade.....	25
Figura 5.3: Representação esquemática do arranjo de Schlumberger.	26
Figura 6.1: Equipamentos utilizados para a aquisição de dados. A – 1:Bateria; 2: Terrameter LS. B – 3: Cabo de engate; 4: Eletrodo; 5: Linha de aquisição de dados.	29
Figura 6.2: Posicionamento das linhas de resistividade. Linhas 1, 3 e 4 posicionadas no sentido NW – SE e a linha 2 posicionada no sentido NE - SW.	30
Figura 7.1: Modelo de inversão da linha 1 com destaque no intervalo de diabásio entre 370 – 450 metros na extensão da linha.	32
Figura 7.2: Modelo de inversão da linha 2 com destaque no intervalo de diabásio e arenito siltoso saturado entre 280 – 490 metros na extensão da linha.	33
Figura 7.3: Modelo de inversão da linha 3 com destaque no intervalo de diabásio parcialmente alterado entre 80 – 100 metros na extensão da linha e do arenito saturado na porção inferior.....	34
Figura 7.4: Modelo de inversão da linha 4 com destaque no intervalo de diabásio alterado entre 80 – 95 metros na extensão da linha e pelo arenito saturado na porção inferior.	34
Figura 7.5: Imagem demonstrando uma projeção com os limites máximos do diabásio calculados a partir dos dados geofísicos.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Valores de resistividade de algumas rochas e elementos químicos comuns. 27

Tabela 6.1: Dados de aquisição das linhas de tomografia elétrica realizadas. 30

Sumário:

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	15
3. ÁREA DE ESTUDO	16
3.1. Localização e vias de acesso	16
4. GEOLOGIA REGIONAL	18
4.1. Bacia do Paraná	18
4.1.1. Grupo Itararé	19
4.1.2. Formação Serra Geral e Intrusões Associadas	20
4.2. Geologia Local	21
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
5.1. Métodos elétricos	23
5.2. Arranjos de eletrodos	26
5.3. Resistividade nas rochas e minerais	27
5.4. Métodos elétricos no meio geológico	28
6. MATERIAIS	29
6.1. Aquisição de dados	29
6.2. Processamento dos Dados	31
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
8. CONCLUSÃO	37
9. REFERENCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

Um dos fatores que giram a economia brasileira é a mineração, sendo produzido mais de 70 substâncias que são aplicadas em vários setores (DNPM, 2012) e representa 4% do PIB brasileiro. A maior parte dos minérios do Brasil é exportado principalmente para China, Malásia, Países Baixos e Canadá sendo o Ferro (69,2%), Ouro (10,7%) e Cobre (6,4%) as principais substâncias minerais comercializadas (DNPM, 2019).

Segundo Moon et al. (2006) e Misra (2000), o minério é um mineral ou rocha que apresenta um valor econômico associado no ponto de vista comercial, e pode ser dividido em minérios metálicos, como ferro, ouro, prata e zinco, e não-metálicos, como areia, mica, fluorita, argila, brita e calcário.

O estado de São Paulo apresenta uma escassez de minérios metálicos, no entanto, o mesmo apresenta muitas reservas de minérios não-metálicos, sendo líder na produção de agregados para a construção civil, como areia, brita, argila e calcário (MENDES, 2002). Esta produção abastece principalmente a região metropolitana de Campinas, terceira maior do estado em população, que nos últimos anos vem ocupando e consolidando uma importante posição econômica em níveis estaduais e nacionais, o que implica em uma grande demanda de minérios não-metálicos para a construção civil (EMPLASA, 2019).

Brita é um termo empregado para definir pequenos grânulos de rocha dura, como diabásio, granito, gnaiss, calcário, entre outros. O material é obtido meio de por processos de tratamento nas usinas de britagem, onde são triturados de acordo com faixas de tamanho específicos (DNPM, 2018). Sendo assim, a brita é um agregado muito utilizado na construção civil, podendo ser aplicada na fabricação de concretos e argamassas na edificação de uma obra.

A rocha britada corresponde ao segundo item de produção mineral mais expressivo no Brasil (DNPM, 2018). Em 2015, a produção nacional de brita foi superior a 2,1 milhões de toneladas, sendo sua produção concentradas nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (DNPM, 2018).

O planejamento e execução dos trabalhos de descoberta de depósitos e jazidas é responsável pela área da pesquisa mineral, isto é, processos de

pesquisa sistemática de uma região com potencialidades minerais, determinado pelo Código da Mineração no capítulo II, Artigo 1 do decreto-lei nº227, de 28 de fevereiro de 1967. Segundo Moon et al. (2006) e Milson (2006), para estas investigações são utilizados um conjunto de métodos e técnicas de amostragem de solo, rocha e água para análises químicas, como também de ferramentas indiretas como os métodos geofísicos.

Técnicas de amostragem tradicionais que são aplicadas para a estimativa e quantificação de uma reserva são caracterizadas por investigações relativamente restritivas, e em muitos casos os resultados adquiridos apresentam conflitos quando são comparados com estimativas obtidas através do beneficiamento de minério (MOREIRA et al. 2020).

A geofísica é uma ferramenta alternativa utilizada tanto para a detecção de uma nova reserva como para a reavaliação de um depósito já conhecido. Os métodos mais usuais para se fazer este tipo de atividade são os métodos geoeletricos, tais como Eletroresistividade (ETR) e Polarização Induzida (PI).

Além do uso em prospecção mineral os métodos geoeletricos também podem ser aplicados para a investigação de estruturas litológicas em subsuperfície, estimar a profundidade, espessura e propriedades de aquíferos e aquíclides, determinar a espessura de uma zona intemperizada que recobre uma rocha inalterada, detectar fraturas e falhas em rochas cristalinas, mapear caminhos preferenciais do fluxo de água subterrânea, localizar e delinear a extensão horizontal de materiais despejados, estimar a profundidade e espessura de aterros, mapear plumas de contaminação, detectar cavidades no subsolo e classificar coesividade ou não-coesividade de materiais em diques e represas (KNODEL et al. 2007)

Esses métodos são aplicados como uma ferramenta indireta para a prospecção mineral em minas em operação, de forma a definir a direção e o planejamento da exploração mineral.

Como resultado de crises financeiras e a variações de preços das *commodities*, algumas mineradoras podem interromper suas atividades por um certo período de tempo até a recuperação da economia (MOREIRA et al., 2020). Assim, para a reavaliação das reservas minerais em minas desativadas e ocorrências minerais conhecidas, a geofísica e outros métodos diretos e

indiretos apresentam um papel crucial (HUDSON et al., 1999; IDZIAK & DUBIEL 2011).

A reavaliação de uma mina ou depósito mineral é importante pois a medida com que o minério é produzido surgem novas informações que podem aumentar ou diminuir o tamanho esperado da mina. As medidas de reavaliação das jazidas propõem uma visão realista da possibilidade de produção da mina, evitando investimentos desnecessários ou instalações super dimensionadas (De ALENCAR, 1999).

O detalhamento de alvos é um princípio que pode ser aplicado no planejamento a curto prazo de um complexo de uma operação mineira. Segundo Dentith & Mudge (2014) os resultados obtidos levam a uma redução de custo pois garantem a localização adequada para outros procedimentos, como por exemplo a sondagem, atividade que é fundamental para a modelagem de minérios.

Utilizando os princípios, técnicas e metodologias geofísicas descritas o presente estudo foi desenvolvido. A área escolhida para a realização dos ensaios geofísicos está localizada nas proximidades da Pedreira Santo Antônio em Mogi Mirim (SP). O terreno corresponde a uma área de plantio de soja e pertence ao Grupo Quaglio, empresa especializada no beneficiamento de britas para a indústria de construção civil que abastece toda a região metropolitana de Campinas e Sul do estado de Minas. Neste local são observados arenitos do Grupo Itararé intrudidos por diabásios da Formação Serra Geral.

O objetivo deste trabalho será avaliar a continuidade de uma soleira de diabásio, nesta área de plantio de soja que se localiza ao lado da pedreira Santo Antônio, para fins de avanço da lavra e expansão da mina de diabásio.

No local foi aplicado o método geoelétrico da Eletorresistividade, através da técnica da Tomografia Elétrica. Esse método é indicado devido a diferença das propriedades físicas entre o arenito do Grupo Itararé e a soleira de diabásio da Formação Serra Geral, isto é, em geral, essas rochas apresentam contraste de valores de resistividade baixos, para o arenito, e altos, para o diabásio (LOKE, 1999). O método permitiu determinar as dimensões da continuidade da soleira em subsuperfície para que posteriormente pudesse ser

efetuado o planejamento e direcionamento da lavra e uma possível expansão da mina.

O modelamento de geofísico é uma estratégia que vem sendo muito utilizada para avaliação e reavaliação de um depósito mineral ou mina como também no entendimento do comportamento de um complexo geológico, como exemplo podemos citar os trabalhos de Handayani et al. (2020) e Santos (2017). As aplicações destes trabalhos serão melhor descritas no tópico 5.4.

2. OBJETIVO

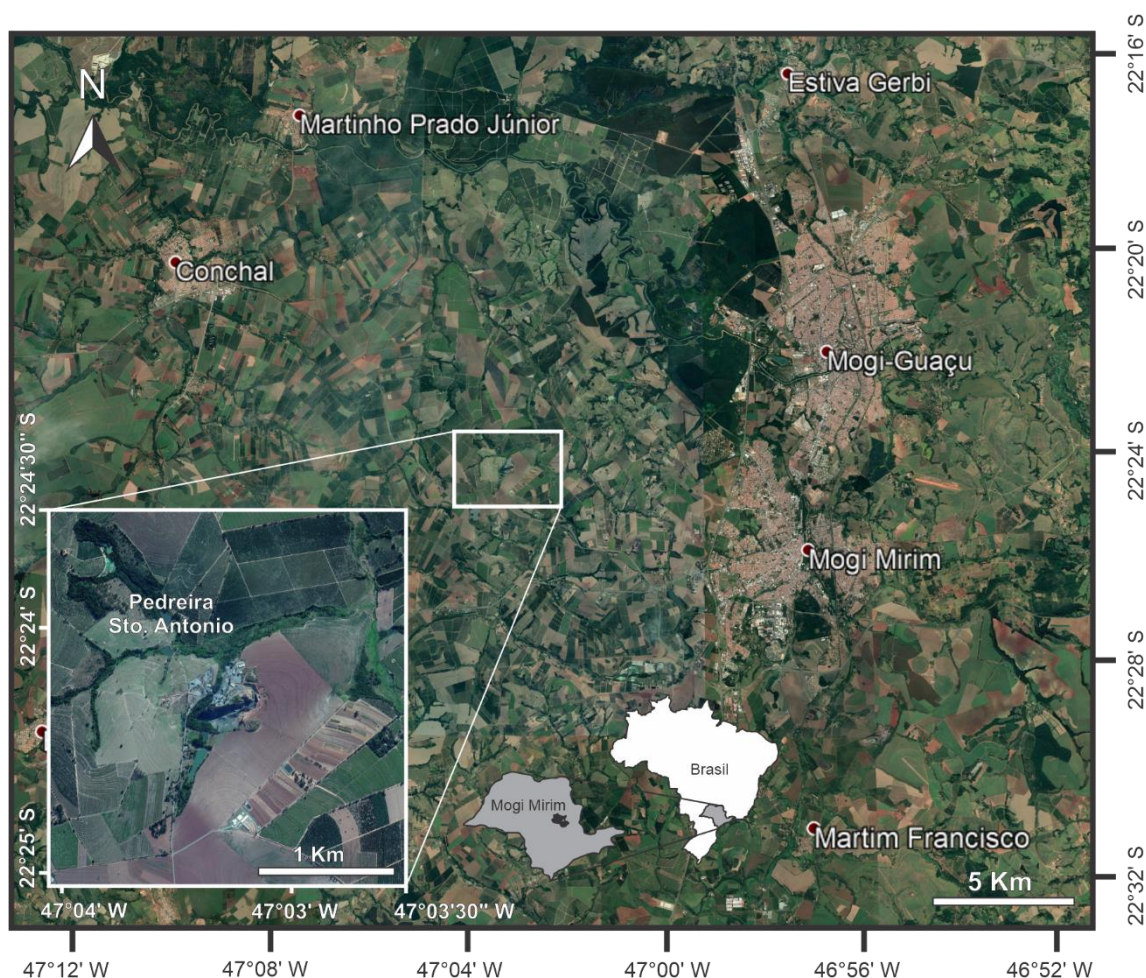
Este trabalho teve como objetivo avaliar a continuidade de uma soleira de diabásio a partir da técnica de Tomografia Elétrica, para fins de avanço da lavra e expansão da mina de diabásio.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização e vias de acesso

A área de estudo é situada cerca de 10 km de distância do município de Mogi Mirim – SP, na pedreira Santo Antônio pertencente ao Grupo Quaglio (<http://www.grupoquaglio.com.br>) (Figura 3.1). O município de Mogi Mirim é localizado na porção sudeste do Estado de São Paulo estando a 60 km da cidade de Campinas. O Grupo Quaglio é uma empresa fundada no ano de 1956 especializada na produção de concretos usinados, granitos ornamentais e agropecuária. A mesma atende toda região metropolitana de Campinas e o Sul do estado de Minas Gerais.

Figura 3.1: Localização da área de estudo.



Fonte: Modificado de Google Maxar Technologies, 2020.

Para chegar na área de estudo, a partir do município de Rio Claro – SP, iniciando pela BR – 364, siga até a Via Anhanguera/BR – 050 até o município de Araras e pegue a saída 165. Posteriormente, pegue a rodovia Wilson Finardi e siga no sentido do município de Mogi Mirim por aproximadamente 36 km. Durante este trajeto, encontre a entrada que vai para a pedreira Santo Antônio e dirija até a mesma (Figura 3.1). As outras vias de acesso possíveis de serem utilizadas são SP-340, SP-191 e SP-147.

4. GEOLOGIA REGIONAL

4.1. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná compreende uma área de 1.500.000 km² aproximadamente, abrangendo a porção centro-sudeste do Brasil, nordeste da Argentina, norte-nordeste do Uruguai e o Paraguai oriental, é uma bacia intracratônica do tipo sinéclise de forma elíptica e com eixo maior no sentido NE-SW (MILANI, 1997). No seu centro, região mais profunda, o registro sedimentar alcança profundidades próximas a 7000 metros.

A sucessão sedimentar-magmática da Bacia do Paraná abrange as idades que variam entre o Neo-Ordoviciano e o Neocretáceo, sendo o seu substrato caracterizado por uma complexa trama de elementos crustais consolidados pelos fenômenos tectonomagmáticos do ciclo Brasileiro (MILANI, 1997, ALMEIDA 1980, ZALÁN et al. 1990). Com relação aos ciclos sedimentares da mais alta escala da bacia, são reconhecidas grandes unidades cronoestratigráficas, como o Grupo Itararé e a Formação Serra Geral, que representam espessos pacotes de rochas limitados entre si por significativas discordâncias, que representam descontinuidades do registro sedimentar da mesma (PEREIRA et al. 2012).

Por ser uma bacia muito extensa, a nomenclatura atribuída às formações sedimentares difere entre as regiões onde afloram. Diversas litologias possuem mudanças laterais, ou interdigitações, consequentes de diferentes ambientes deposicionais vizinhos (Figura 4.1). Assim, a coluna litoestratigráfica da bacia se torna complexa, com nomes diferentes e variadas litologias interdigitadas.

Milani (1997) subdividiu a deposição sedimentar da bacia em 6 supersequências deposicionais, ligadas a diferentes momentos de subsidência, registros sedimentares e paleoclimas. Todas são separadas por discordâncias erosivas. Cada subsidência teria sua origem ligada a diferentes eventos tectônicos (MILANI et al, 1997). São elas: Supersequência Rio Avaí; Supersequência Paraná; Supersequência Gondwana 1; Supersequência Gondwana 2; Supersequência Gondwana 3 e a Supersequência Bauru.

Figura 4.1: Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo. Em destaque, as formações encontradas na área de estudo.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ EM SÃO PAULO								
ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	Espes. Média (Metros)	DESCRIÇÃO SUCINTA	AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO	
CENO-ZOICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE <i>(Arenitos = reservatório de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRES. COLUVIÕES	
	CRETÁCEO	BAURU	MARILIA ADAMANTINA		50	ARENITOS COM MATRIZ ARGILOSA OU CIMENTO CALCÍFERO, SILTITOS	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE	
		SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE. DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO <i>(Basalto e diabásio = matéria-prima para brita - pavimentação e construção civil - na região de Rio Claro)</i>	MAGMATISMO FISSURAL	
			JURÁSSICO	BOTUCATU		100	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS BEM ARREDONDADOS E BEM ESFÉRICOS, POUCA ARGILA	Aqüífero
		TRIÁSSICO	PIRAMBÓIA		150	ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESFÉRICOS. DIVERSOS NÍVEIS DE LAMITOS	Guarani	CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
PALEOZOICA	PERMIANO	PASSA DOIS	CORUMBATAÍ		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS E COQUINAS <i>(Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i>	CONTINENTAL: LACUSTRE MISTO:PLANÍCIE DE MARE	
			IRATI		40	SILTITOS, FOLHELHOS PROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMÍTICOS <i>(pedreiras de calcário na região de Assistência e Ipeúna)</i>	MISTO:LAGUNA/PLATAFORMA	
		TUBARÃO	PALERMO		50 (Tatuí)	SILTITOS E SILTITOS ARENOSOS		MISTO:PLANÍCIE COSTEIRA/PLATAFORMA
			RIO BONITO		20 (Pal+RB)	ARENITOS E SILTITOS COM INTERCALAÇÕES DE DELGADAS CAMADAS DE CARVÃO		CONTINENTAL: FLUVIAL / COSTEIRO MISTO:DELTAICO/MARINHO RASO
			ITARARÉ (no Estado de São Paulo esta unidade é considerada Grupo ou Subgrupo)		900	ARENITOS, SILTITOS, VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS TILITOS) <i>(Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços profundos da região)</i>		CONTINENTAL: GLACIAL FLUVIAL LACUSTRE MISTO MARINHO (GLÁCIO-MARINHO)
	CARBONIFERO		AQUIDAUANA					
Pré-Cambriano			EMBASAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS		

Perinotto (2008), com base em Soares & Landim (1975)

Fonte: Retirado de Perinotto e Zaine (2008), adaptado de Soares & Landim (1975).

4.1.1. Grupo Itararé

O Grupo Itararé, de idade Permo-Carbonífera, é a unidade litoestratigráfica da Bacia do Paraná com maior complexidade em relação a diversidade dos processos geradores e pela sua relação espacial caracterizada pela descontinuidade de suas litofácies constituintes (ARAB, 2009). Este grupo abrange uma área que vai desde o sudoeste de Minas Gerais até a porção leste de Santa Catarina, englobando também os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul.

Este grupo é composto predominantemente por arenitos maciços, arenitos com estratificação plano paralela, arenitos com estratificação cruzada, diamictitos maciços ou estratificados, folhelhos, siltitos, ritmitos, lamitos e conglomerados (SAAD, 1977; VESELY, 2006). Os sedimentos foram

depositados em um ambiente glacial, resultante do degelo da Glaciação Karoo sobre o supercontinente Gondwana (MILANI, 2007). Segundo Soares et al. (1977), o Grupo Itararé é formado pela associação de fácies de ambiente deposicionais que configuram uma sucessão de fácies de frente deltaica distal, pro delta e fluvial com contribuição glacial.

Segundo Soares (1972) Grupo Itararé apresenta em sua parte superior um contato erosivo com a Formação Tatuí.

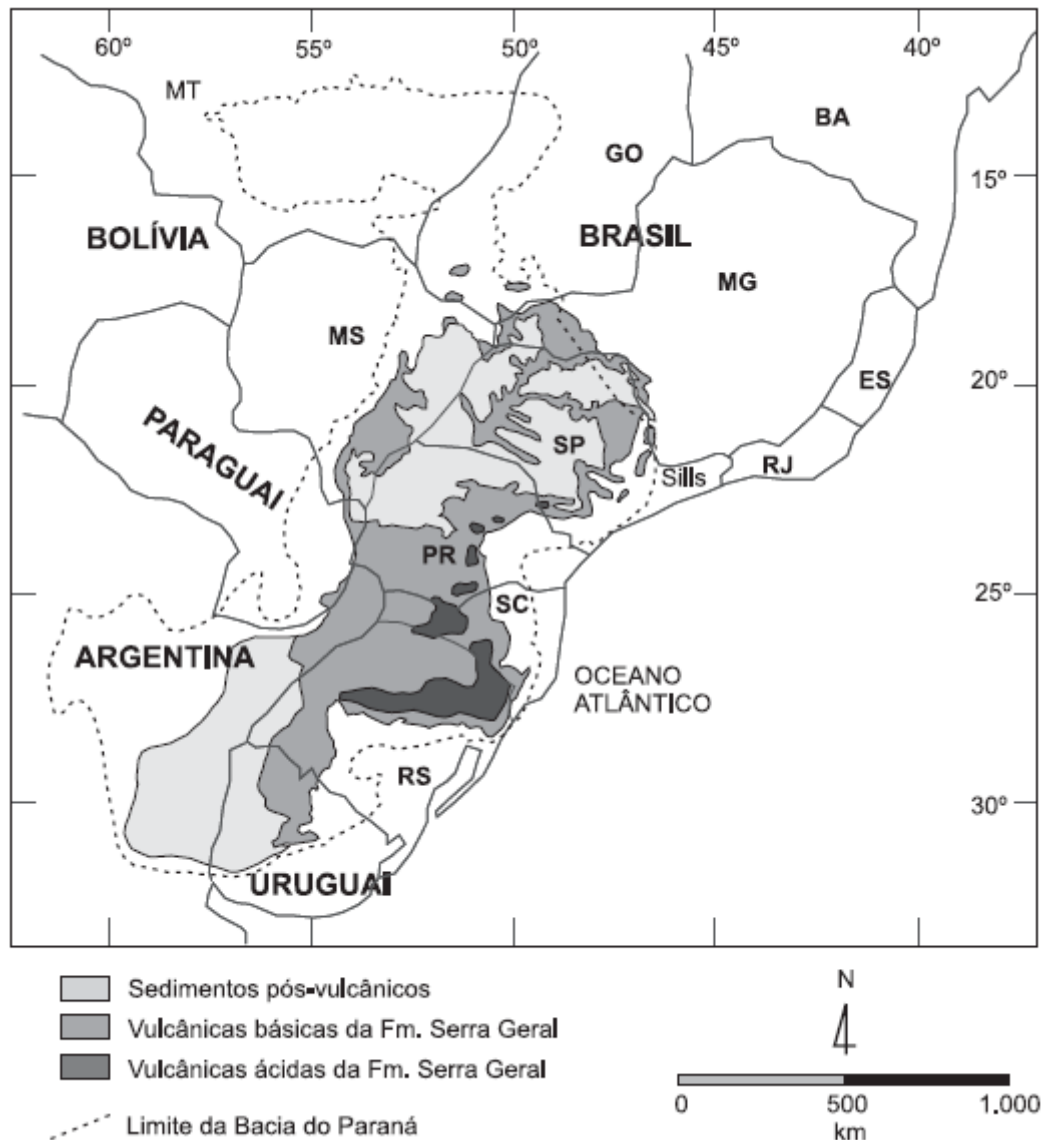
4.1.2. Formação Serra Geral e Intrusões Associadas

A Formação Serra Geral foi gerada pela Província Magmática do Paraná (Figura 4.2), que representa um dos episódios mais volumosos de derrames de lavas intracontinental do planeta com aproximadamente 800.000 Km³ de lava, recobrando cerca de 75 % da Bacia do Paraná. Este evento está associado com a abertura do oceano atlântico com a ruptura do Gondwana (MACHADO, 2005; PEREIRA et al. 2012). As lavas se depositaram sobre os arenitos da Formação Botucatu, obtendo um contato abrupto e discordante, e na forma de diques e soleiras nos sedimentos pré-vulcânicos (MACHADO, 2005).

As rochas da Formação Serra Geral são compostas por uma sequência de rochas básicas basálticas, de composição toleítica e granulometria fina que intrudiram sobre as rochas sedimentares da bacia. Possuem coloração em tons de cinza escuro, com características mesocráticas, podendo chegar a leucocráticas, e são constituídos principalmente por plagioclásios, piroxênios (augita), olivina e opacos (MACHADO et al., 2005). Tanto no limite superior, com a Formação Bauru, quanto na sua base, com a Formação Botucatu, o contato é erosivo abrupto (SCHNEIDER et al., 1974).

As rochas da Formação Serra Geral se manifestam através de afloramentos em forma de cuevas, devido ao fato das mesmas estarem sujeitas a processos erosivos (SILVA et al. 1990)

Figura 4.2: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, mostrando a extensa distribuição da Província Magmática do Paraná.



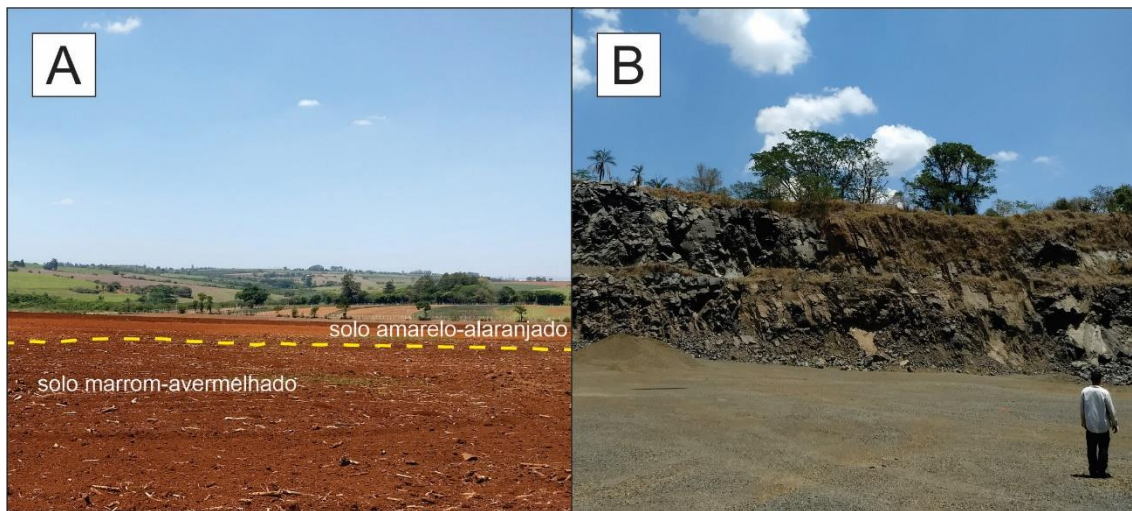
Fonte: Retirado de Machado (2005), modificado de Nardy et al. (2001).

4.2. Geologia Local

O contexto geológico local consiste de um corpo intrusivo básico de diabásio da formação Serra Geral que intrudiu em sedimentos do Grupo Itararé. O diabásio apresenta formato colunar e é maciço e fraturado, com porções totalmente secas e locais com clara infiltração de água por fraturas (Figura 4.3 B). A encaixante consiste de um arenito médio a fino pertencente ao Grupo Itararé.

A região onde foi realizado o estudo é recoberta com saprólito com fragmentos alterados de rocha e solo argiloso de coloração marrom-avermelhado nas cotas inferiores e amarelo-alaranjado nas cotas superiores (Figura 4.3 A).

Figura 4.3: A – Imagem retratando o solo argiloso da área estudada. Em amarelo é destacado o contato dos solos de coloração amarelo-alaranjado (parte superior) e marrom-avermelhado (parte inferior). B – Imagem da Pedreira de Diabásio demonstrando as porções fraturadas do diabásio.



5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A geofísica é uma área de conhecimento que através dos seus diferentes métodos permite a investigação indireta e não invasiva em solos, rochas e estruturas. Para que as investigações sejam eficientes, no local de estudo deve ocorrer contrastes das propriedades físicas da rocha e do solo (elétricas, magnéticas, mecânicas, radioativas, etc), as quais podem estar direta ou indiretamente ligadas à mineralização de interesse econômico (MILSON, 2006; MOON et al., 2006).

Os levantamentos geofísicos proporcionam um meio relativamente rápido e de baixo custo para se obter informações da subsuperfície de uma grande área, embora algumas vezes os mesmos são passíveis de grandes ambiguidades ou incertezas (KEAREY et al. 2002). Esses métodos são capazes de detectar e delinear características locais de interesse potencial que não poderiam ser descobertas por nenhum programa de perfuração realista.

Segundo Milson (2006) os métodos geofísicos podem ser classificados como passivos ou ativos. Os passivos são medidas que envolvem campos naturais existentes, como as medidas de campo magnético e gravimétrico, e radiação de alfa e gama e campos elétrico naturais, já os ativos, se refere a resposta do terreno para algum estímulo observado, como todas as outras técnicas eletromagnéticas, os métodos sísmicos e alguns métodos de fundo de poço que usa fontes radioativas artificiais.

5.1. Métodos elétricos

A Eletrorresistividade é um método geofísico que mede a resistividade elétrica de uma rocha ou solo, sendo a mesma definida pela densidade da corrente sobre o gradiente do potencial elétrico. A resistividade (ρ) altera um material terrestre produzindo mudanças nas relações entre a corrente aplicada e a distribuição potencial medida na superfície, e refletem mudanças na composição, extensão e propriedades físicas dos materiais de superfície. As propriedades que afetam a resistividade de um solo ou rocha incluem porosidade, teor de água, composição (mineral e argila), salinidade da água dos

poros e distribuição do tamanho dos grãos (MILSOM, 2006; MILSOM & ERIKSEN, 2011; ROBINSON, 1988).

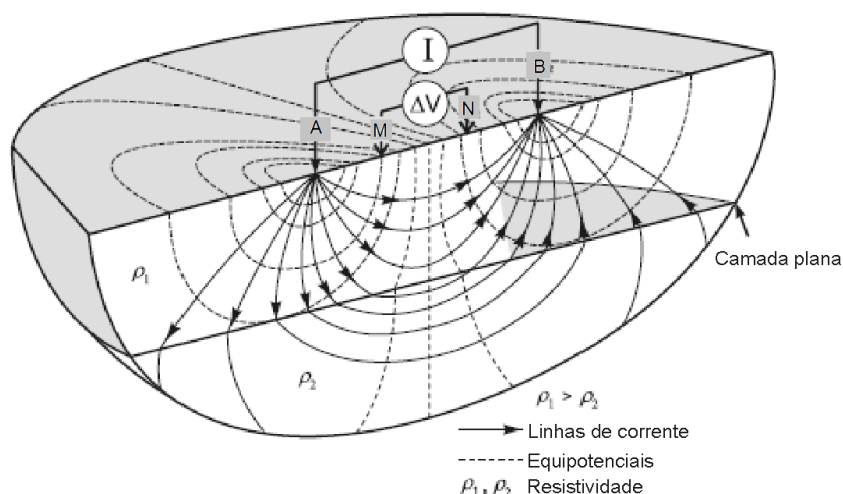
O levantamento de resistividade investiga a subsuperfície passando uma corrente elétrica pelos eletrodos fixados na superfície (MUSSET & KHAN, 2000), ou seja, é utilizado no estudo de discontinuidades horizontais e verticais e na detecção de corpos tridimensionais que apresentam algum tipo de anomalia elétrica (KEAREY et al., 2002).

O método da eletrorresistividade emprega uma fonte artificial de corrente, que é introduzida no solo por meio de eletrodos, denominados de A e B, e a diferença de potencial (ddp) gerada é medida por outro par de eletrodos denominados M e N. Como a corrente é medida também, é possível determinar uma resistividade efetiva ou aparente do subsolo (Figura 5.1).

A resistência (R) é medida em ohms quando a corrente (I) está em amperes e tensão (V) é em volts (MILSON, 2003). Além disso, a corrente que flui em um condutor é proporcional à tensão de trânsito, seguindo a Eq. 1.

$$V = IR \quad (\text{Eq.1})$$

Figura 5.1: Representação do princípio da Eletrorresistividade medida com uma matriz e quatro eletrodos.



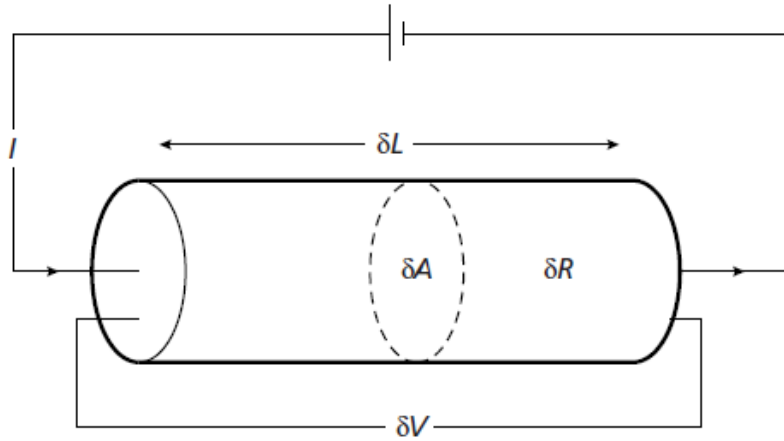
Fonte: Retirado de Knodel, et al. 2007.

A propriedade física que determina a facilidade com que as correntes elétricas passem através de um material é a resistividade (Eq. 2), sendo a

mesma proporcional com a área (A) e com a resistência (R) e inversamente proporcional ao comprimento (L). Em um sistema com resistência (R) constante, a resistividade irá variar de acordo com a área e o comprimento, isto é, a resistência será maior com um fio com uma área maior ou de comprimento curto, e será menor com uma área menor ou comprimento mais longo (Lowrie, 2007) (Figura 5.2).

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (\text{Eq. 2})$$

Figura 5.2: Parâmetro utilizado para definir a resistividade.



Fonte: Retirado de Kearey et al. 2002.

O meio geológico é muito heterogêneo, por isso os valores de resistividades, obtidos em um levantamento de resistividades, representam a média de todas as resistividades presentes no meio, calculada através da intensidade da corrente (I), que foi introduzida nos eletrodos A e B, com a diferença de potencial (ΔV) medida nos eletrodos receptores M e N, e o fator geométrico (K), tendo como resultado uma resistividade aparente (ρ_a), segundo a Eq. 3 (KEAREY, ET AL. 2002). O fator geométrico pode ser calculado seguindo a Eq. 4.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (\text{Eq. 3})$$

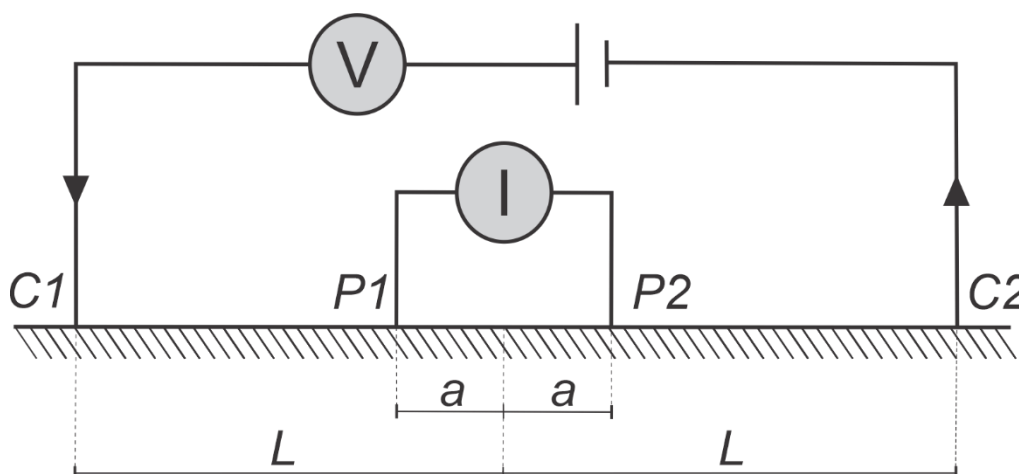
$$K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (\text{Eq. 4})$$

5.2. Arranjos de eletrodos

Para os métodos elétricos foram desenvolvidas muitas configurações de eletrodos, contudo, uma das mais comuns de serem utilizadas é a configuração de Schlumberger.

A configuração Schlumberger é um arranjo que posiciona os eletrodos com espaçamento constante a partir do centro do arranjo em uma linha. Os eletrodos de potencial ($P1$ e $P2$) e de corrente ($C1$ e $C2$) são dispostos de maneira linear na superfície do terreno. Os eletrodos $C1$ e $C2$ estão afastados do centro por uma distância L , e os eletrodos $P1$ e $P2$ estão espaçados por uma distância a , também simétrica (Figura 5.3).

Figura 5.3: Representação esquemática do arranjo de Schlumberger.



Fonte: Adaptado de Lowrie (2007).

O arranjo Schlumberger permite investigações mais profundas, como também proporciona uma menor interferência de ruídos indesejáveis devido a sua alta intensidade de sinal e são menos susceptíveis a erros interpretativos em terrenos homogêneos (LOKE, 1999). Com o aumento do espaçamento do entre os eletrodos a cobertura horizontal em subsuperfície diminui, contudo, este efeito não é considerado uma desvantagem para a configuração Schlumberger, pois o erro é considerado insignificante.

5.3. Resistividade nas rochas e minerais

A resistividade é uma das propriedades físicas mais variáveis (KEAREY, et al. 2002). No meio geológico a resistividade é determinada por quatro fatores, sendo composição mineralógica, porosidade, saturação e teor de sais dissolvidos no líquido intersticial (Tabela 5.1).

Muitos dos minerais formadores de rocha são bons isolantes de eletricidade, como quartzo, feldspato, mica e olivina (MUSSET e KHAN, 2000). Porém, se houver a presença de grafita ou minerais metálicos como sulfetos em sua matriz, a rocha irá conduzir eletricidade por meio da passagem de elétrons, sendo denominado de condutividade eletrônica.

Tabela 5.1: Valores de resistividade de algumas rochas e elementos químicos comuns.

Material	Resistividade ($\Omega.m$)	Condutividade (Siemen/m)
Rochas ígneas e metamórficas		
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalto	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Ardósia	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Mármore	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzito	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Rochas Sedimentares		
Arenito	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Folhelho	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
Calcário	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
Solos e Águas		
Argila	1 - 100	0.01 - 1
Aluvião	10 - 800	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
Água subterrânea (fresca)	10 - 100	0.01 - 0.1
Água do mar	0.2	5
Químicos		
Ferro	9.074×10^{-8}	1.102×10^7
0.01M Cloreto de potássio	0.708	1.413
0.01 M Cloreto de sódio	0.843	1.185
0.01M Ácido acético	6.13	0.163
Xileno	6.998×10^{16}	1.429×10^{-17}

Fonte: Traduzido de Loke (1999).

Nos minerais isolantes a corrente elétrica é conduzida pela condutividade eletrolítica, isto é, os íons dos sais dissolvidos na água presente nos poros e/ou fissuras das rochas, podem se movimentar pela água, em direções opostas,

formando uma corrente (MUSSET & KHAN, 2000). Neste caso, o valor da condutividade será definido pelo grau de saturação, salinidade e porosidade da rocha e pela interconectividade entre os poros (KEAREY, et al., 2002).

As rochas ígneas e metamórficas apresentam valores de resistividade elevados, sendo que a resistividade das mesmas são diretamente dependentes do grau de faturamento e da porcentagem de água infiltrado dentro das fraturas (LOKE, 1999). Essas fraturas são chamadas de juntas e podem ser grandes o suficiente e/ou numerosas para que sua presença modifique a condutividade elétrica da rocha.

Nas rochas sedimentares os valores de resistividade são, em sua maioria, baixos devido a sua porosidade, que geralmente é intergranular, consistindo de vazios ainda remanescentes do processo de compactação, e geralmente, esses poros são preenchidos por água (LOKE, 1999). As rochas sedimentares também podem apresentar juntas que desempenham um papel importante na condutividade das rochas sedimentares mais impermeáveis (McNeil, 1980).

5.4. Métodos elétricos no meio geológico

O modelamento de geofísico utilizando métodos geoeletricos é uma estratégia que vem sendo utilizada como forma de direcionamento para certas atividades. Pode ser utilizado para modelar plumas de contaminação, aquíferos, minérios e entre outros.

Handayani et al. (2020) utiliza a Eletroresistividade para determinar a continuidade e profundidade de um corpo de basalto-diabásio com o propósito de se obter evidências da origem das rochas vulcânicas do Complexo Luk Ulo Mélange e conclui que o modelamento foi eficiente para determinar a espacialidade do mesmo.

E Santos (2017) estuda uma área de ocorrência de cobre em Caçapava do Sul (RS) por meio do reconhecimento de indícios de mineralização em campo e utiliza métodos geoeletricos para criar um modelo da zona mineralizada. Com os resultados, a autora conclui que os métodos geoeletricos possibilitaram definir os possíveis alvos para uma futura sondagem mesmo em áreas com condicionantes geológicos de alta complexidade.

6. MATERIAIS

6.1. Aquisição de dados

A aquisição dos dados foi feita em duas campanhas de campo. A primeira etapa ocorreu no mês de outubro de 2019, onde foram realizados o levantamento das linhas 1 e 2. Na segunda etapa, que aconteceu no mês de janeiro de 2020, foram efetuadas mais duas linhas (3 e 4) com o propósito de modelar a continuidade do corpo de diabásio com maior detalhe. Todo material utilizado foi fornecido pelo Laboratório de Geofísica do Departamento de Geologia Aplicada da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” (UNESP).

O levantamento geofísico foi elaborado utilizando o resistor Terrameter LS fabricado pela ABEM *instrument* (Suécia). Este equipamento é acoplado em uma bateria e consiste em um único módulo de transmissão e recepção de sinais com 250 W, resolução de 1 μ V e corrente máxima de 2,5 A (Figura 6.1A).

Além disso, foram utilizados eletrodos de aço e os mesmos foram posicionados com uma separação de 10 metros entre si (Figura 6.1B). Em cada eletrodo foi conectado cabos para a transmissão da corrente elétrica enviado pelo aparelho Terrameter LS.

Figura 6.1: Equipamentos utilizados para a aquisição de dados. A – 1: Bateria; 2: Terrameter LS. B – 3: Cabo de engate; 4: Eletrodo; 5: Linha de aquisição de dados.

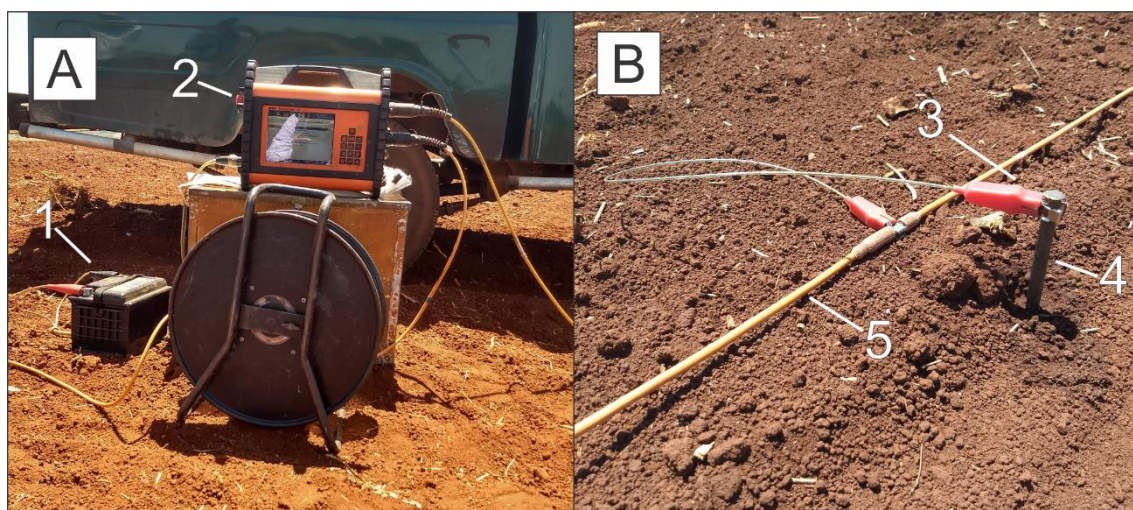
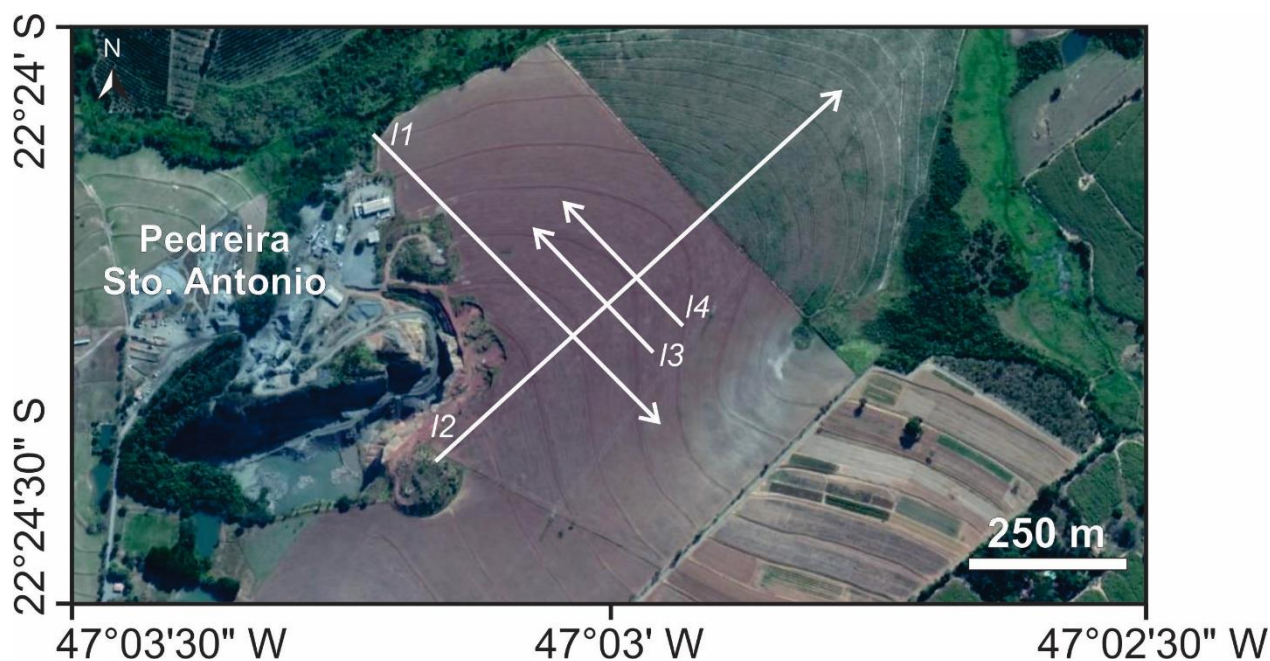


Tabela 6.1: Dados de aquisição das linhas de tomografia elétrica realizadas.

Referencia	Comprimento (m)	Profundidade Investigada (m)
Linha 1	660	130
Linha 2	880	170
Linha 3	220	45
Linha 4	220	45
Total	1980	-

As linhas foram planejadas de uma forma em que se fosse possível obter a melhor cobertura da área de estudo com o intuito de atingir um melhor entendimento da continuidade do corpo de diabásio (Tabela 6.1). As mesmas foram dispostas segundo o arranjo Schlumberger e foram posicionadas com um espaçamento de 50 metros. As linhas 1, 3 e 4 foram posicionadas com direção NW – SE com extensões de 660, 220 e 220 metros, respectivamente. A linha 2 foi alocada no sentido oposto perpendicularmente, NE – SW, com extensão de 880 metros (Figura 6.2).

Figura 6.2: Posicionamento das linhas de resistividade. Linhas 1, 3 e 4 posicionadas no sentido NW – SE e a linha 2 posicionada no sentido NE - SW.



Fonte: Modificado de Google Maxar Technologies 2020.

6.2. Processamento dos Dados

Após a coleta dos dados a partir da técnica de tomografia elétrica, os resultados obtidos foram tabelados em um editor de planilhas, em conjunto com a atitude e as coordenadas geográficas de cada ponto e posteriormente foram processadas no *software* Res2Dinv (GEOTOMO SOFTWARE, 2004). Este programa determina um modelo bidimensional da subsuperfície a partir de imageamento elétrico, desenvolvido para interpolar grandes conjuntos de dados. O resultado deste processamento é apresentado sob forma de seção com comprimento *versus* profundidade, denominada de modelo de inversão.

Segundo Gandolfo (2007), o processo de inversão consiste em seções modeladas e tem como objetivo a resolução nas porções rasa em maiores profundidades de investigação alcançadas. Além disso, o modelo 2D usado pelo programa de inversão consiste em uma série de blocos retangulares relacionados a distribuição de pontos dos dados da pseudosseção.

A profundidade equivalente de investigação dos pontos com maior espaçamento dos eletrodos é aproximadamente igual a profundidade da linha inferior dos blocos (EDWARDS, 1977). Além disso, a distribuição e tamanho dos blocos são gerados automaticamente pelo programa conforme a distribuição dos pontos de dados.

DeGroot-Hedlin & Constable (1990) e Loke & Baker (1996), afirmam que o método dos mínimos quadrados utilizando o método matemático de inversão por suavização utiliza a inversão baseada em células, isto significa que o *software* reconhece a subsuperfície terrestre como blocos retangulares possuindo valores constantes do parâmetro investigado, sendo calculado, desta forma, os valores de resistividade aparente (ρ_a).

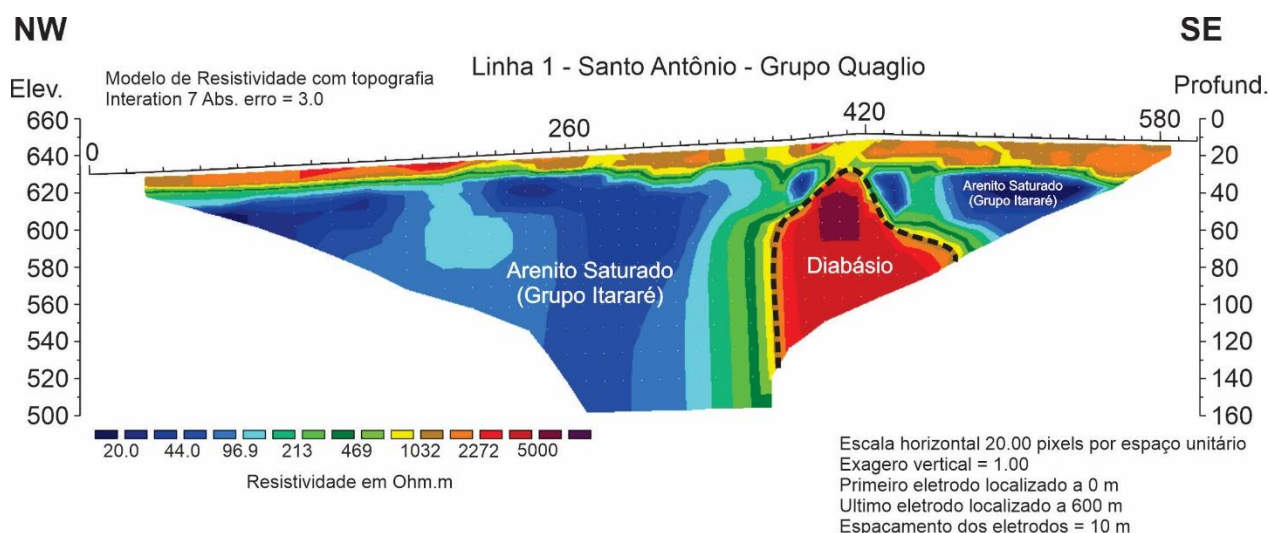
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os dados obtidos foram analisados e interpretados de acordo com a geologia local da área estudada, levando em consideração os tipos de rochas e as zonas de umidades. Os resultados foram classificados de acordo com o intervalo de resistividade sendo identificados e separados em grupos.

Foram interpretados 4 (quatro) grupos distintos, sendo diabásio fraturado seco, com valores acima de 5000 $\Omega.m$, diabásio parcialmente alterado a alterado, com resultados variando entre 2200 $\Omega.m$ e 2000 $\Omega.m$, siltito saturado, abrangendo resultados entre 300 $\Omega.m$ e 500 $\Omega.m$ e, por fim, arenito saturado em água do Grupo Itararé alcançando valores abaixo de 100 $\Omega.m$.

A linha 1 (figura 7.1), que teve um comprimento de 660 metros e localizada a 150 metros de distância da cava, apresenta nos primeiros 20 metros de profundidade um regolito com valores de resistividade que chegam a 1000 $\Omega.m$. Abaixo desta cota, foi observado a predominância de arenitos saturados do Grupo Itararé, contendo em média 40 $\Omega.m$. No entanto, entre a porção 370 – 450 metros da extensão da linha 1, é possível observar uma área com resistividade acima de 5000 $\Omega.m$, indicando a presença do corpo de diabásio.

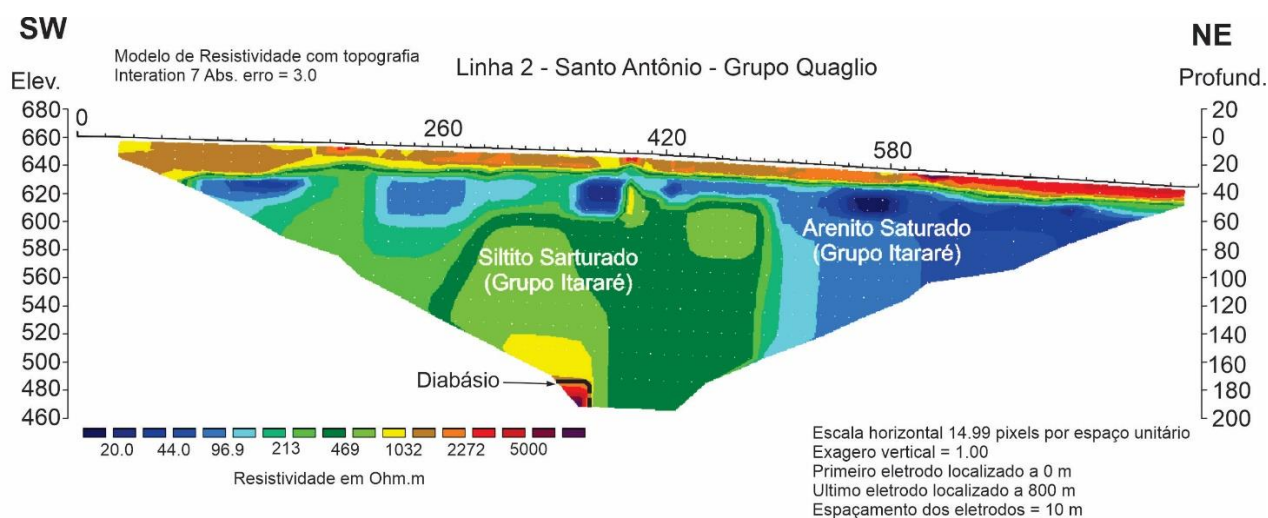
Figura 7.1: Modelo de inversão da linha 1 com destaque no intervalo de diabásio entre 370 – 450 metros na extensão da linha.



Os primeiros 20 metros de profundidade da linha 2 (figura 7.2), que apresenta 880 metros de comprimento, é representada por uma fina camada de regolito com 1030 $\Omega.m$ de resistividade. Inferior a esta fina camada de regolito

nota-se a predominância de duas litologias distintas do Grupo Itararé, isto é, a partir do intervalo de 280 metros até 490 metros na extensão da linha 2 é identificado um siltito com valores de 470 $\Omega.m$ de resistividade e entre o intervalo de 490 e 780 metros um arenito saturado com 40 $\Omega.m$. Além disso, na profundidade 180 metros observa-se um pequeno núcleo com altos valores de resistividade, abrangendo os valores acima de 2000 $\Omega.m$, representando um pequeno trecho de diabásio.

Figura 7.2: Modelo de inversão da linha 2 com destaque no intervalo de diabásio e arenito siltoso saturado entre 280 – 490 metros na extensão da linha.



Os resultados obtidos na linha 3 (figura 7.3), que apresenta um comprimento de 220 metros, nos primeiros 20 metros de profundidade é representado, predominantemente, por uma camada de solo com 1000 $\Omega.m$ de resistividade, contudo, a partir do intervalo de 80 a 100 metros da extensão da linha 3 observa-se um núcleo com altos valores de resistividade, atingindo resultados entre 2000 a 2200 $\Omega.m$ e representando uma rocha de diabásio parcialmente alterada. Abaixo desta camada de solo, é encontrado uma camada de arenito saturado do Grupo Itararé com 20 $\Omega.m$.

Por fim, a linha 4 (figura 7.4), com 220 metros de comprimento, contam nos seus primeiros 20 metros de profundidade uma camada de solo com resistividade abrangendo valores de 1000 $\Omega.m$. Neste horizonte de solo, entre os intervalos de 80 a 95 da extensão da linha 4, nota-se uma área mais resistiva com valores de 2000 $\Omega.m$, indicando a presença do diabásio alterado. Abaixo

dessas feições, ocorre arenitos saturados em água do Grupo Itararé, com valores de resistividade inferiores a 100 Ω .m.

Figura 7.3: Modelo de inversão da linha 3 com destaque no intervalo de diabásio parcialmente alterado entre 80 – 100 metros na extensão da linha e do arenito saturado na porção inferior.

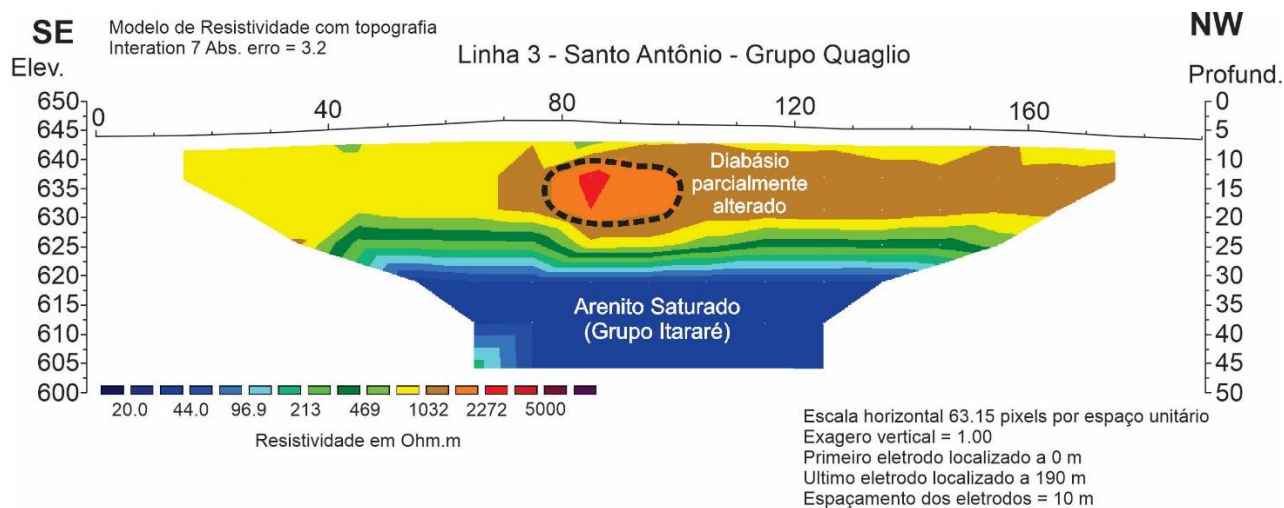
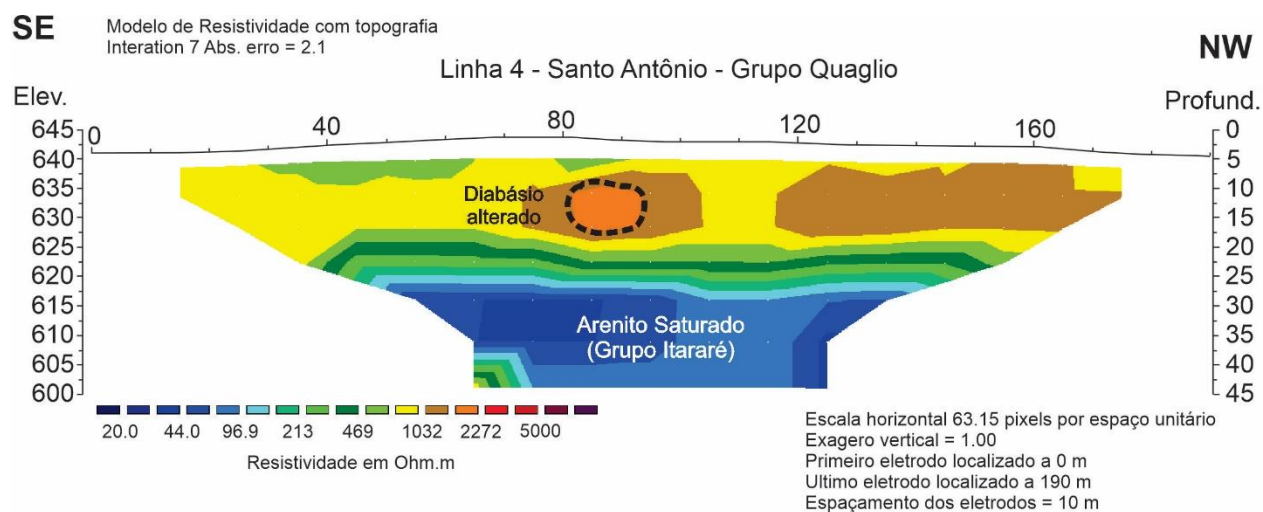


Figura 7.4: Modelo de inversão da linha 4 com destaque no intervalo de diabásio alterado entre 80 – 95 metros na extensão da linha e pelo arenito saturado na porção inferior.



Uma das propostas desse trabalho era criar um modelo em 3D do diabásio, no entanto, não foi possível fazer a mesma pois as imagens não apresentaram uma boa configuração, sendo impossível de serem feitas as devidas interpretações. Para um melhor resultado seria necessário fazer mais linhas para que a imagem fosse de maior qualidade.

Com a análise das imagens processadas é possível afirmar que toda área de estudo é recoberta por uma camada de solo e saprólito com aproximadamente 20 metros de espessura e contendo valores de resistividade moderado, variando entre 1000 e 1030 $\Omega.m$. Toda esta camada acima do minério de diabásio não apresenta nenhum valor econômico para a pedreira, sendo considerada como material de decapeamento, que deverá ser extraído e armazenado em um local adequado.

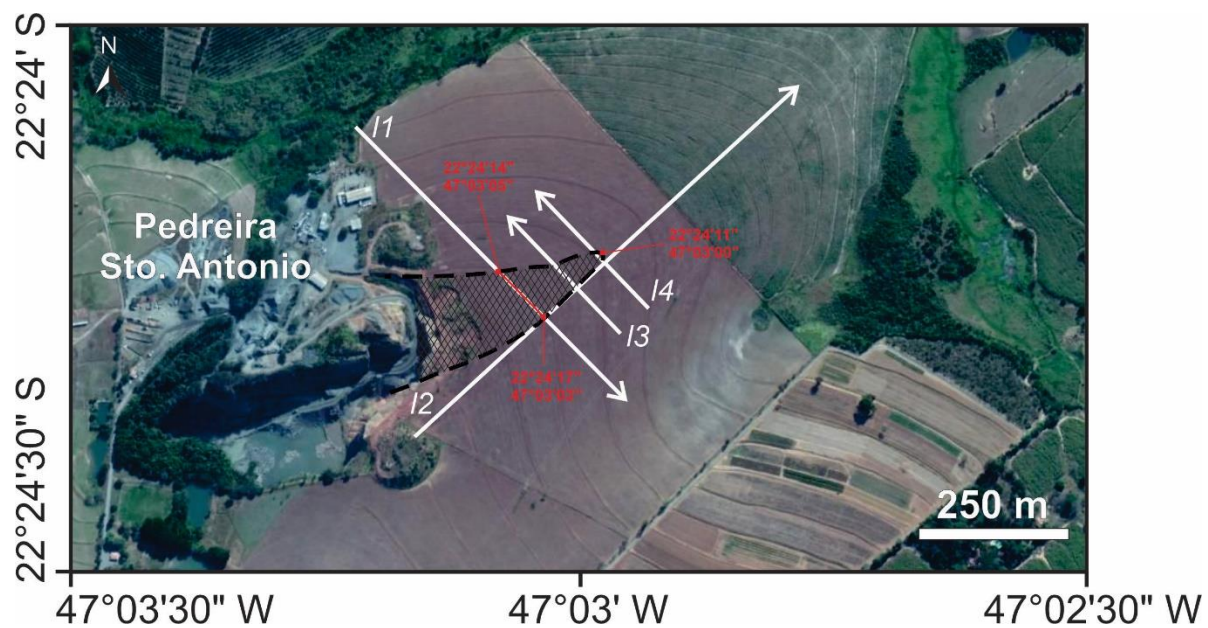
A linha 1 obteve como resultado uma faixa de alta resistividade com cerca de 90 metros de largura e 120 metros de profundidade, sendo relacionada com a existência do diabásio encaixado em arenitos saturados do Grupo Itararé.

Os resultados obtidos da linha 2 indicam, predominantemente, baixos valores de resistividade, sendo representado por arenitos siltsos, variação faciológica comum nos litotipos sedimentares de Grupo Itararé. Pelo fato dos valores de alta resistividade estarem localizados na parte inferior extrema da linha, foi considerado que na mesma não há ocorrência de diabásio.

Os resultados das linhas 3 e 4 apresentaram respostas semelhantes, apresentam um pequeno volume de diabásio com uma largura lateral entre 25 e 10 metros e espessura de 15 e 10 metros, respectivamente. Os resultados dessas linhas indicam que o corpo de diabásio se torna afunilado, ficando cada vez mais fina conforme se distancia dos limites da cava.

Com a análise dos modelos de inversão é possível afirmar que o diabásio apresenta uma continuidade do sentido nordeste em relação a cava e conforme se distancia da cava a intrusão apresenta um comportamento de afunilamento (Figura 7.5). A partir do limite atual da cava, o corpo de diabásio deverá apresentar um comprimento no máximo 350 metros.

Figura 7.5: Imagem demonstrando uma projeção com os limites máximos do diabásio calculados a partir dos dados geofísicos.



Fonte: Modificado de Google Maxar Technologies 2020

8. CONCLUSÃO:

O diabásio da Formação Serra Geral apresenta altos valores de resistividade (Tabela 5.1), contrastando expressivamente com os baixos valores da rocha encaixante, arenitos e siltitos da Formação Itararé. O método da Eletorresistividade foi bastante eficiente na caracterização das variações litológicas verticais, laterais e de suas feições, sendo possível determinar a continuidade do corpo de diabásio da pedreira Santo Antônio do Grupo Quaglio.

Os modelos de inversão em 2D determinaram a estratificação do terreno em profundidade, determinando a profundidade de solo, saprólito e rocha sã, como também os limites e comportamento da rocha intrudida. Devido a problemas com a qualidade de compreensão da imagem, a modelagem em 3D não foi possível de ser utilizada, sendo este trabalho descrito somente com as imagens do modelo de inversão em 2D.

Por fim, é possível concluir com a análise dos modelos de inversão que deverá ser feito um decapeamento de uma camada de regolito com 20 metros de espessura e que o corpo de diabásio apresenta uma continuidade do sentido nordeste em relação a cava e conforme se distancia da cava a intrusão apresenta um comportamento de afunilamento, como pode ser observado na figura 7.5. O comprimento do corpo de diabásio não deve ultrapassar os 350 metros a partir do limite atual da cava da mina.

9. REFERÊNCIAS:

- AIZEBEOKHAI, A. P.; OLAYINKA A.I.; SINGH V.S.; UHUEGBU C.C. 2011. Effectiveness of 3D geoelectrical resistivity imaging using parallel 2D profiles. *International Journal of the Physical Sciences*, v.6, p. 5623-5647.
- ALMEIDA F.F.M., 1980. Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. São Paulo. Inst. Pesq. Tecnol. Est. S. Paulo (IPT). 187 pp. (Rel. 14.091).
- ARAB, P. B., PERINOTTO, J. A. D. J., & ASSINE, M. L., 2009. Grupo Itararé (P-C da bacia do Paraná) nas regiões de Limeira e Piracicaba-SP: contribuição ao estudo das litofácies. *Geociências*, 501-521.
- DE ALENCAR, F. G., 1999. A descoberta de uma jazida mineral - uma abordagem de gestão econômica. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Custos IV – São Paulo*.
- CHAMBERS J. E.; KURAS O.; MELDRUM P. I.; OGILVY R. D.; HOLLANDS J., 2006. Electrical resistivity tomography applied to geologic, hydrogeologic, and engineering investigations at a former waste-disposal site. *Geophysics*, v.71, p. 231-239.
- DEGROOT-HEDLIN, C., & CONSTABLE, S., 1990. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55(12), 1613-1624.
- DENTITH, M.; MUDGE, S.T., 2014. *Geophysics for the mineral exploration geoscientist*. Cambridge University Press, New York
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral 2012. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://antigo.anm.gov.br/portal/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2012/view>. Acesso em: 27/02/2020
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Cadastro Nacional de Produtores de Brita – Ano Base 2015. Diretoria de Planejamento e Desenvolvimento da Mineração. Brasília (DF), 2018 em <http://www.dnpm.gov.br>
- DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Informe Mineral, 2º semestre 2019. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/informe-mineral/publicacoes-nacionais>.

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

EMPLASA, GIP/CDI. Região Metropolitana de Campinas, 2019. Retirado em: <https://emplasa.sp.gov.br/RMC>. Acesso em: 27/02/2020

GANDOLFO, O.C.B., 2007. Um estudo do imageamento geoeletrico na investigação rasa. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GEOMOTO SOFTWARE., 2003. RES2DINV, version 3.53, Rapid 2D resistivity & IP inversion using the least-square method - Geoelectrical Imaging 2-D & 3D, Geotomo Software, Penang, Malaysia, 129 f.

HANDAYANI, L., ARISBAYA, I., MUKTI, M. M., & SUDRAJAT, Y., 2021. Determining the origin of volcanic rocks in the mélange complex of Karangsambung based on the electrical resistivity imaging. *Island Arc*, 30(1), e12377.

HUDSON, T.L.; FOX, F.D.; PLUMLEE, G.S., 1999. Metal mining and the environment. American Geological Institute, Alexandria, pp. 65

IDZIAK, A.F.; DUBIEL, R., 2011. Geophysics in mining and environmental protection. Springer-Verlag, Berlin, p 136

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I., 2002. An introduction to Geophysical Exploration. 3. ed. London: Blackwell Science.

KNÖDEL, K.; LANGE, G.; VOIGT, H.J., 2007. Environmental Geology: Handbook of fields methods and case studies. Hannover Federal Institute for Geosciences and Natural Resources. Ed. Springer, 1357 p.

LOKE, M. H., 1999. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to, v. 2.

LOKE, M. H.; BAKER, R. D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, v. 44, p. 131-152.

LOWRIE, W., 2007. Fundamentals of Geophysics. 2. ed. New York: Cambridge University Press.

MACHADO, F. B., 2005. Geologia e Aspectos Petrológicos das Rochas intrusivas e efusivas mesozoicas de parte da borda leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo. 2005. 194p (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Geociências), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Rio Claro).

MACHADO, F. B.; NARDY A. J. R.; MELO, R. P.; OLIVEIRA, M. A. F.; SQUISATO, E., 2005. As Rochas Intrusivas da Formação Serra Geral na Porção Leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo: Aspectos Petrográficos e Geoquímicos – Resultados Preliminares. Geociências, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 5-17.

MCNEIL, J. D., 1980. Electrical conductivity of soils and rocks: Technical Note TN-5. GEONICS Limited, Ontario, Canada, 22p.

MENDES, T. J. 2002. A estrutura de produção de brita na região metropolitana de Campinas. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

MILANI, E. J., 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana sul-ocidental. 2 v. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 255 f.

MILANI, E. J. 2004. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, CDR, 265-291.

MILANI, E.J., MELO, J.H.G., SOUZA, P.A., FERNANDES, L.A., FRANÇA, A.B., 2007. Bacia do Paraná. Cartas Estratigráficas. Boletim de Geociências da Petrobrás. v.15. n. 2.

MILSON, J., 2003. Field Geophysics. Wiley, England, 232 p.

MILSOM, J. Introduction to mineral exploration. In: MOON, C.; WHATELEY, M.; EVANS, A. M., 2006. Malden, Ma, USA: Blackwell Publishing, 2006. cap. Geophysical Methods, 2ed, p. 127 – 153.

MILSOM JJ & ERIKSEN A., 2011. Resistivity Methods. Field Geophysics. JohnWiley & Sons, Chichester, 4ed, p. 109 – 136

MISRA, K. C., 2000. Understanding mineral deposits. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

MOON, C. J., WHATELEY, M. E. G., EVANS, A. M., 2006. Introduction to mineral exploration. [S.l.]: Blackwell publishing.

MOREIRA C.A., LOPES S.M., SCHWEIG C., SEIXAS A.R., 2012, Geoelectrical prospection of disseminated sulfide mineral occurrences in Camaquã sedimentary basin, Rio Grande do Sul state, Brazil. Brazilian Journal of Geophysics, 30, 169-179.

MOREIRA, C.A.; CASAGRANDE, M. F. S.; BORSSATO, K., 2020. Analysis of the potential application of geophysical survey (induced polarization and DC resistivity) to a long-term mine planning in a sulfide deposit. Arabian Journal of Geosciences, v. 13, n. 20, p. 1-12, 2020.

MUSSETT, A. E.; KHAN, M. A., 2000. Looking into the earth: an introduction to geological geophysics. [S.l.]: Cambridge University Press.

NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F. de; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H.; MACHADO, F.B., 2001. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. Geociências, v. 21, n. 2, p. 15-32.

PEREIRA, E., CARNEIRO, C. D. R., BERGAMASCHI, S., ALMEIDA, F. F. M., 2012. Evolução das sinéclise paleozoicas: Províncias Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná. Geologia do Brasil. Editora Beca, 1ed, p.374-394.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINE, M. F., 2008. Patrimônios Naturais e História Geológica da Região de Rio Claro-SP. Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, v. 1.

ROBINSON, E. S., 1988. Basic Exploration Geophysics. [S.l.]: John Wiley & Sons Inc., New York, Cap. Geoelectrical Surveying, p. 447 – 449.

SAAD, A. R., 1977. Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SANTOS, S. F. D., 2017. Caracterização de ocorrência de cobre por meio de levantamento estrutural e geofísico em faixa de dobramentos na região de Caçapava do Sul (RS). Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente. Universidade estadual Paulista, Rio Claro.

SCHNEIDER, R. L., MÜHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R. A., DAEMON, R. F., NOGUEIRA, A. A., 1974. Revisão estratigráfica da bacia do Paraná. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro De Geologia, Porto Alegre.

SILVA, R.B.; ETCHEBEHERE, M.L.D.C.; SAAD, A.R.; ZAINÉ, J.E.; RAMOS, R. G. N., 1990. O Alto Estrutural de Vera Cruz - Garça, Estado de São Paulo. Geociências, UNESP, São Paulo, 176 (nºesp.): 279-298.

SOARES, P.C., LANDIM, P.M., SINELLI, O., WERNICK, W., 1977. Associações litológicas do Subgrupo Itararé e sua interpretação ambiental. Brazilian Journal of Geology, 7(2), pp.131-149.

SOARES, P.C., 1972. O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. Anais Academia Brasileira Ciências, 44: 333-342 (suplemento).

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B., 1973. Aspectos regionais da estratigrafia da Bacia do Paraná no seu flanco nordeste. 27 Congresso Brasileiro de Geologia, v. 1, Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia.

SOUZA, P. A., 2006. Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil. Review of Palaeobotany and Palynology, Amsterdam, v. 138, p. 9-29.

VESLEY, F. F., 2006. Dinâmica sedimentar e arquitetura estratigráfica do Grupo Itararé (Carbonífero-Permiano) no centro-leste da Bacia do Paraná. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PA.

ZALÁN, P. V., WOLFF, S., ASTOLFI, M. A. M., VIEIRA, I. S., CONCELCAO, J. C. J., APPI, V. T., ... & MARQUES, A., 1990. The Parana Basin, Brazil: Chapter 33: Part II. Selected Analog Interior Cratonic Basins: Analog Basins.