

## Caracterização geoeétrica e sensoriamento remoto do mármore dolomítico, Caçapava do Sul, RS

Louise Amalfi Fiorite<sup>1</sup>; José Pedro Rebés Lima<sup>1</sup>; Marco Antonio Fontoura Hansen<sup>1</sup>; \*Juno Nogueira do Amaral<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GEOPAMPA - Campus Caçapava do Sul - Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Abstract

The purpose of this research is to characterize geoelectrically an occurrence of dolomitic marble at the SE border of the Granito Caçapava do Sul in detailed scale applying geophysical resistivity method and remote sensing. In order to do it two dimensional resistivity profiles were made using the values of apparent resistivity to make the inversion process. The use of remote sensing consisted in application of directional filters at satellite images LANDSAT 5, TM orbit, in order to recognize structural lineaments. The joint analysis of these data allowed to identifying structural features and to obtain geoelectrical and geological-geophysical models of the subsurface, delimiting lithologic contacts through the contrast of electrical resistivity and geological information.

### Introdução

O calcário é uma rocha sedimentar constituída por carbonato de cálcio, quando dolomítico, contém também magnésio e quando submetido a altas temperaturas e pressão, isto é, metamorizado, torna-se mármore (Sampaio & Almeida, 2008).

A área de estudo encontra-se em uma mina de mármore dolomítico no município de Caçapava do Sul. Esses mármores dolomíticos são constituintes da Sequência Metamórfica Vacacaí (SMV)  $753 \pm 3$  Ma, a qual bordeja de modo interpenetrante a Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS) (Figura 1) que é totalmente envolta pelas rochas xistosas, cálciossilicatadas, metapelitos, mármores dolomíticos e quartzitos atribuídos a essa sequência metamórfica. As rochas graníticas mostram, com estas rochas, contatos ora por falhas, ora concordantes, verificando-se, concordância entre a foliação dos metamorfitos e a foliação milonítica da rocha granítica (CPRM, 2000).

A técnica de Sensoriamento Remoto permite obter informações dos objetos, que compõem a superfície terrestre, sem a necessidade de contato direto com eles. As pesquisas envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registrados por sensores remotos (Andrades, 2009).

Os métodos elétricos são considerados dos mais versáteis dentro da geofísica aplicada, sendo extensamente aplicados em prospecção mineral, de

águas subterrâneas, estudos de geologia de engenharia e estudos ambientais. Utilizam parâmetros elétricos de solos e rochas, como condutividade, resistividade, potencial espontâneo, polarização, para investigar a geologia de subsuperfície. Compreendem o método da resistividade, o método da Polarização Induzida (IP), e o método do Potencial Espontâneo (SP). O método eletrorresistividade é o mais utilizado em geofísica aplicada, esse emprega uma corrente elétrica artificial que é introduzida no terreno através de dois eletrodos (denominados de A e B), com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (denominados de M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo assim calcular a resistividade aparente em subsuperfície (Telford et al., 1990).

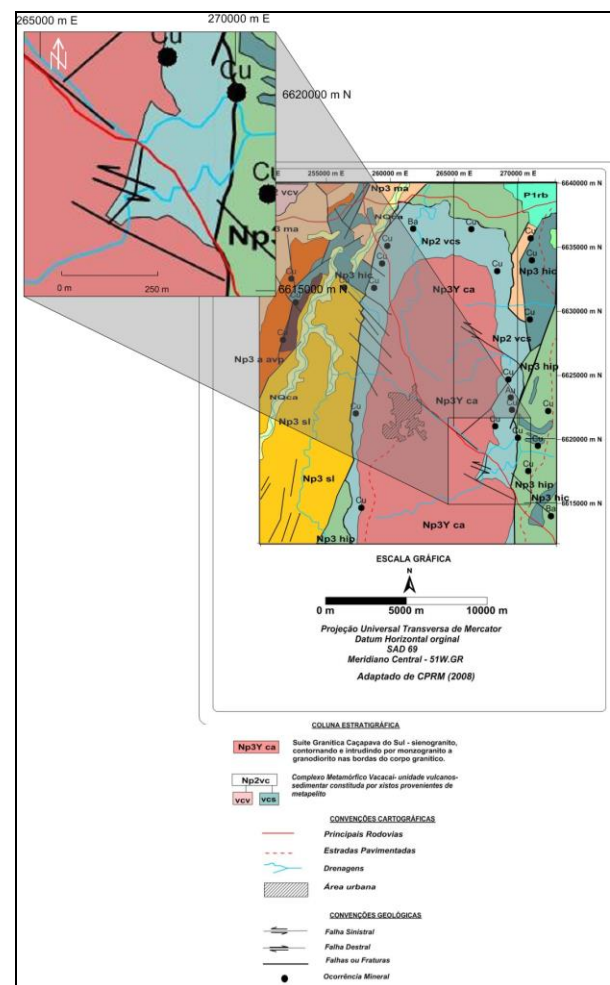


Figura 1 - Mapa geológico com a localização da área de estudo. (Modificado de CPRM, 2008)

Por meio do método geofísico eletrorresistividade é possível obter modelos de subsuperfície, através da

caracterização geométrica, devido ao contraste das propriedades físicas condutividade/resistividade relacionadas com a litoestratigrafia.

Os resultados obtidos utilizando estes métodos de forma integrada poderão ser usados para um melhor gerenciamento de lavra e no planejamento de novas atividades de exploração mineral.

### Metodologia

Para realização deste estudo foram abordadas as seguintes etapas: escolha da área de estudo, compilação de dados referente à área do alvo, atividades de campo para a aplicação dos métodos geofísicos e reconhecimento geológico. Com essas informações se efetuou a análise, processamento e interpretação dos dados coletados para obtenção dos resultados.

### Eletrorresistividade

A etapa em campo do método eletrorresistividade consistiu na realização de dois perfis de caminamento elétrico, A-B e C-D (figura 2), utilizando o arranjo dipolo-dipolo, com o espaçamento de 5 metros entre os eletrodos, totalizando 72 eletrodos ao longo de um perfil de 360 metros.

Foram utilizadas quatro bobinas de cabo multicanal com 90 metros cada, contendo em cada bobina, 18 *takeouts* (saídas para acoplagem dos eletrodos) a cada 5 metros, os quais continham “jacarés” conectando os *takeouts* aos eletrodos.

O equipamento SYSCAL contém uma bateria interna transmissora e receptora, mas para a transmissão, foi utilizada uma externa, de 12 Volts e 100 A-h.

A diferença de potencial utilizada nos eletrodos de corrente foi de 800 V.

Como a área de estudo possui uma variação de relevo bastante significativa, o que influencia diretamente na veracidade dos resultados, foi necessário um levantamento topográfico, onde foi utilizado o equipamento Estação Total para a medição das cotas e para o alinhamento dos perfis. As cotas foram coletadas a cada 10 metros em regiões de relevo mais acidentado, e em áreas com menor variação de cotas, foi coletada a cada 30 metros.

No total foram realizadas 2.875 medidas de resistividade aparente para cada perfil, atingindo uma profundidade de 67 metros.

Na figura 2, também estão os pontos de reconhecimento geológico.

Para fazer a inversão dos dados de resistividade aparente foi utilizado o *software* RES2DINV (GEOTOMO SOFTWARE, 2004), que faz a inversão dos dados utilizando a técnica de suavização (*smooth inversion*) e utiliza algoritmos baseados em um esquema de células. A inversão pode ser efetuada sem que se insira um modelo geológico inicial, como um processo automático de imageamento.

### Sensoriamento Remoto

Através do *site* do Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, foram adquiridas imagens do satélite LandSat 5, sensor TM, órbita 222-081L2 (data de passagem: 01 de

novembro de 2010) para o processamento digital. Após a aquisição das imagens referente à área estudo com suas bandas, criou-se um banco de dados para armazenar informações sobre o processamento digital. O *software* utilizado foi o SPRING versão 4.2 desenvolvido pelo INPE (Camara et al., 1996).

Esta etapa teve o objetivo de identificar os lineamentos estruturais existentes na região de estudo, que podem estar associados às falhas e fraturas que controlam a ocorrência de mármore. Foi feito recorte da área, onde a resolução espacial é de 30 m por 30 m para cada pixel. Os registros das imagens foram obtidos pelas calibrações efetuadas nas imagens de satélite, com coordenadas geograficamente obtidas com GPS Geodésico South S86. Após o georreferenciamento das imagens foi feito o processamento digital destas.

Para identificar os possíveis lineamentos estruturais na imagem TM, foram utilizadas técnicas de filtragem. Os filtros do tipo passa-alta direcionais têm como maior aplicação os estudos geológicos de identificação e análise de lineamentos (Mather, 1999). Para realçar as feições em direções pré-determinadas, foram utilizados filtros direcionais. Oito filtros em diferentes direções foram usados, gerando oito imagens filtradas. A banda 5 apresenta uma melhor definição das feições de interesse, então à partir disso, o processo de filtragem foi aplicado somente nesta banda.

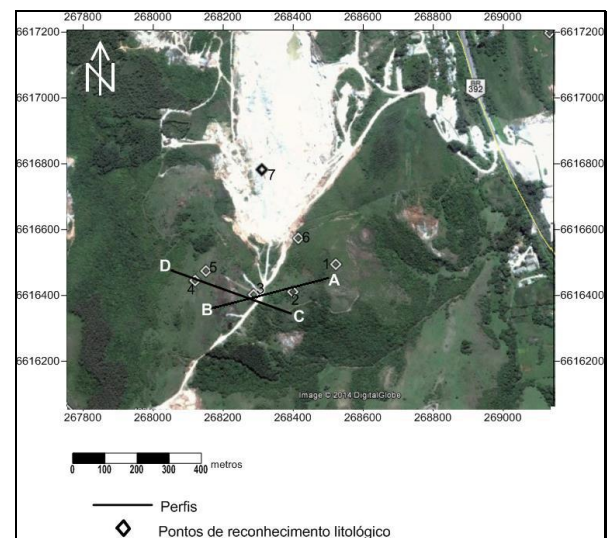


Figura 2 - Localização dos perfis geofísicos e dos pontos de reconhecimento litológico.

### Resultados

Após a sexta iteração dada pelo *software* RES2DINV, foi obtido o modelo inverso dos perfis A-B e C-D, com a topografia inserida (Figura 3)

O comportamento dos dados do perfil A-B mostra um aumento da resistividade com a profundidade, o que é de se esperar, pois a rocha está menos alterada a maiores profundidades.

Já o perfil C-D, apresenta baixos valores de resistividade sob locais onde exibem alta resistividade. Há alguns blocos com altos resistivos, os quais parecem ter sido deslocados, afastados uns dos outros, o que pode ser ocasionado por falhamento, que

explicaria também o fato de uma região menos resistiva abaixo de uma mais resistiva.

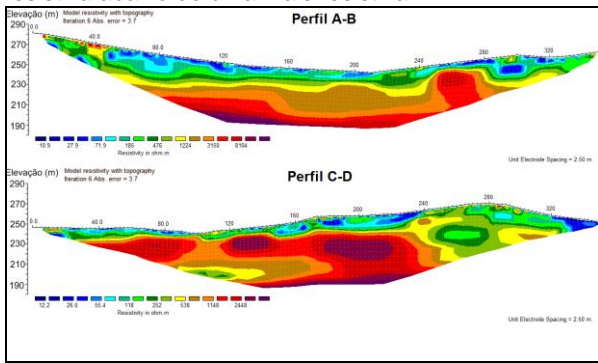


Figura 3 - Modelo inverso dos perfis A-B e C-D com topografia. Resistividade em ohm.m.

A Figura 4 mostra os resultados do processamento realizados com a imagem TM 5, derivada da modelagem numérica representativa da orientação de drenagens, que possibilitaram a identificação de lineamentos morfoestruturais, a partir da filtragem direcional.

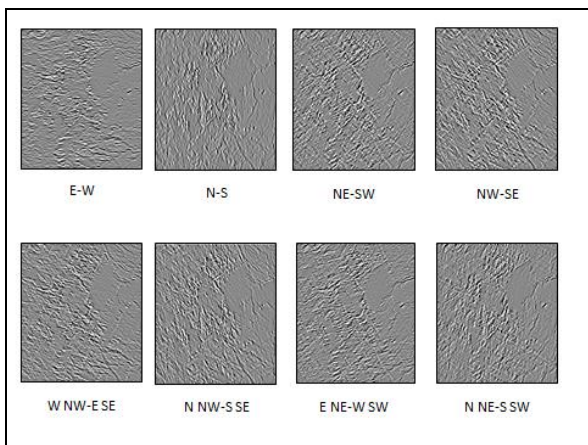


Figura 4 - Resultado do processamento da imagem TM5 e respectiva aplicação dos filtros direcionais passa-alta.

Os lineamentos extraídos das filtrações sobre a banda TM5 do satélite LandSat, estão demonstrados na figura 5.

A partir da Figura 5 é possível observar que as áreas de mineração de mármore ficaram bem delimitadas pelos lineamentos, principalmente na direção N-S, que é justamente a direção do eixo maior do CMV (CPRM, 2000). Observou-se também, que a direção preferencial dos lineamentos é NE-SW, que pode ser devido à deformação tangencial no Domínio Ocidental de mesma direção (CPRM, 2000).

Levando em conta essas informações, foram traçados os limites dos possíveis contatos litológicos e os locais de falhas e/ou fraturas, demonstrados na figura 6.

**Discussão**

A seção de resistividade do perfil A-B apresenta uma resposta clássica esperada porque os maiores valores resistivos são apresentados na parte inferior do perfil (rocha sã), seguido por valores intermediários

associados à rocha alterada, e os valores menores, à cobertura de solo.

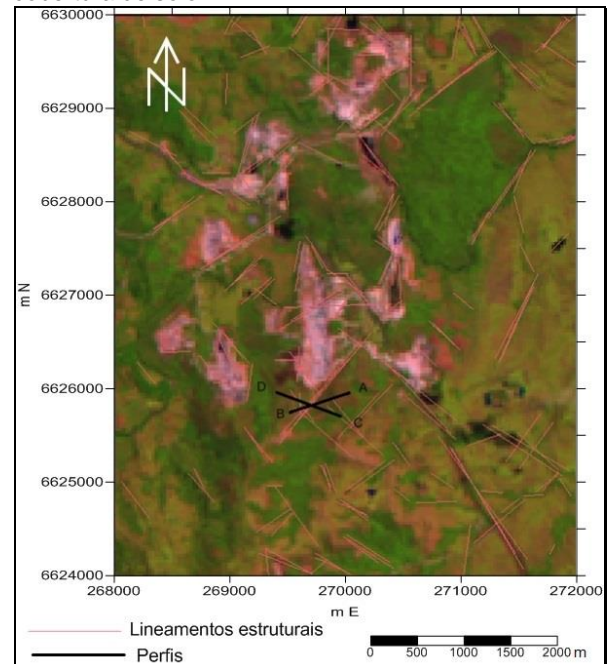


Figura 5 - Lineamento sobre a composição RGB das bandas (TM5, TM4 e TM3, respectivamente) com os perfis geofísicos.

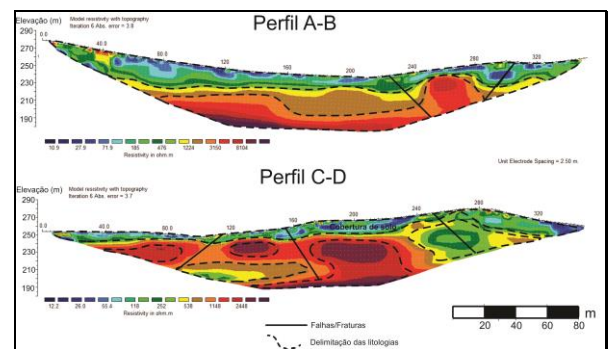


Figura 6 - Interpretação das interfaces resistivas através da integração de informações geológicas e estruturais para os perfis A-B e C-D.

Os limites inferidos pela linha pontilhada da figura 6 foram atribuídos, levando em conta a resposta qualitativa dos valores resistivos interpolados. Com isso o processo interpretativo mostra que o perfil A-B tem uma cobertura de solo em torno de 15 metros de profundidade, 20 metros de rocha alterada e, 30 metros de rocha sã. Esses são valores médios, pois o limite desses horizontes não são perfeitamente paralelos. A direção desse perfil é paralela ao domínio estrutural da região (NE-SW), com o auxílio da interpretação dos lineamentos estruturais, através do processamento de imagens, as fraturas apresentadas nesse perfil não são estruturas que contribuíram tanto para o comportamento quantitativo resistivo como o perfil C-D.

Já o perfil C-D apresenta um comportamento mais irregular em relação ao perfil A-B, onde o primeiro horizonte se mantém, porém em profundidade, existe uma distribuição interpretativa irregular da rocha

alterada, e um local de baixa resistividade, podendo ser interpretado como um granito milonitizado (por estar em uma zona de falha, apresentar características de intrusão, alto grau de faturamento e alteração, diminuindo assim a resistividade elétrica) ou então, como intrusões de anfíbolitos (que estariam provocando faturamento), e em ambos os casos, a percolação de líquidos nas fraturas, inseridos nas rochas pelas falhas (inferidas através do sensoriamento remoto), e conseqüente diminuição na resistividade. O domínio estrutural desse perfil apresenta maior incidência de estruturas relacionadas ao regime deformacional. A resposta resistiva, associada a estas formações mostra as correlações feitas com a geologia, porém associar a resposta de baixos valores resistivos aos granitos milonitizados ou as intrusões de anfíbolitos foi inferido levando em conta que estes valores estão inseridos em uma zona de fraturas. A profundidade dos mármores inferidos entre 50 m a 85 m estão condizentes com os estudos realizados pelas mineradoras da região, corroborando a consistência dos dados e dessa forma diminuindo a ambigüidade associada aos produtos gerados pelos processamentos geofísicos.

Com base nessas informações, foi confeccionado um modelo geológico-geofísico final da área, mostrado na figura 7.

### Conclusões

Com base nesses resultados, concluiu-se que:

- O método eletrorresistividade se mostrou bastante eficiente para observar o comportamento do mármore em subsuperfície para as características presentes na área de estudo.
- Os lineamentos estruturais obtidos através de filtros direcionais se mostraram úteis para a identificação de falhas em dados geofísicos.
- Diferentes tipos de rocha podem responder de maneira semelhante, devido às suas propriedades físicas. As informações geológicas observadas em campo e mostradas nas imagens serviram para diminuir a ambigüidade do método eletrorresistividade.
- A integração de informações dos lineamentos estruturais obtidos por filtros direcionais em sensoriamento remoto com os dados obtidos de resistividade foram importantes ferramentas para identificar os diferentes contatos litológicos encontrados na área de estudo e inferir os falhamentos oriundos das respostas do método eletrorresistividade.
- Como ainda restou dúvida sobre a litologia da área condutiva, sendo interpretados, ou como intrusões de anfíbolitos ou de granitos milonitizados, a recomendação para estudos posteriores é fazer furos de sondagem, onde há dúvidas sobre a resposta.

### Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal do Pampa por ter disponibilizado os equipamentos necessários para esta

pesquisa, a todos os colegas que permitiram que esta fosse executada, e ao meu orientador e co-orientador José Pedro Rebés Lima e Marco Antonio Fontoura Hansen.

### Referências

- ANDRADES, CO., FONSECA, LMG. 2009. Lineamentos estruturais a partir de imagem Landsat TM e dados SRTM. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal-RN.
- CAMARA, G., SOUZA, RCM., FREITAS, UM. & GARRIDO, J. 1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, p. 395-403.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2008. Mapa Geológico do Rio Grande do Sul 1:750.000. Programa de Geologia do Brasil. DVD.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Cachoeira do Sul, Folha SH.22-Y-A. Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:250.000. Organizado por Carlos Alfredo Porcher e Ricardo da Cunha Lopes. Brasília.
- GANDOLFO, OCB., GALLAS, JDF. 2007. Um Estudo do Imageamento Geoeletrico na Investigação Rasa. 212p. Tese de Doutorado, IAG-USP.
- GEOTOMO SOFTWARE. 2004. RES2DINV (v.3.54) and RES3DINV (v.2.14) for Windows 98/ME/2000/NT/XP. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. 130p.
- MATHER, PM. 1999. Computer processing of remotely-sensed images - an introduction. Midsomer Norton, Wiley, 292p.
- SAMPAIO, JA., ALMEIDA, SLM. de. 2008. Calcário e Dolomito In: Rochas e Minerais Industriais – CETEM, 2ª Edição, p 364-391.
- TELFORD, WM, GELDART, LP., SHERIFF, RE. 1990. Applied Geophysics. Second Edition. Cambridge University Press. 784p.

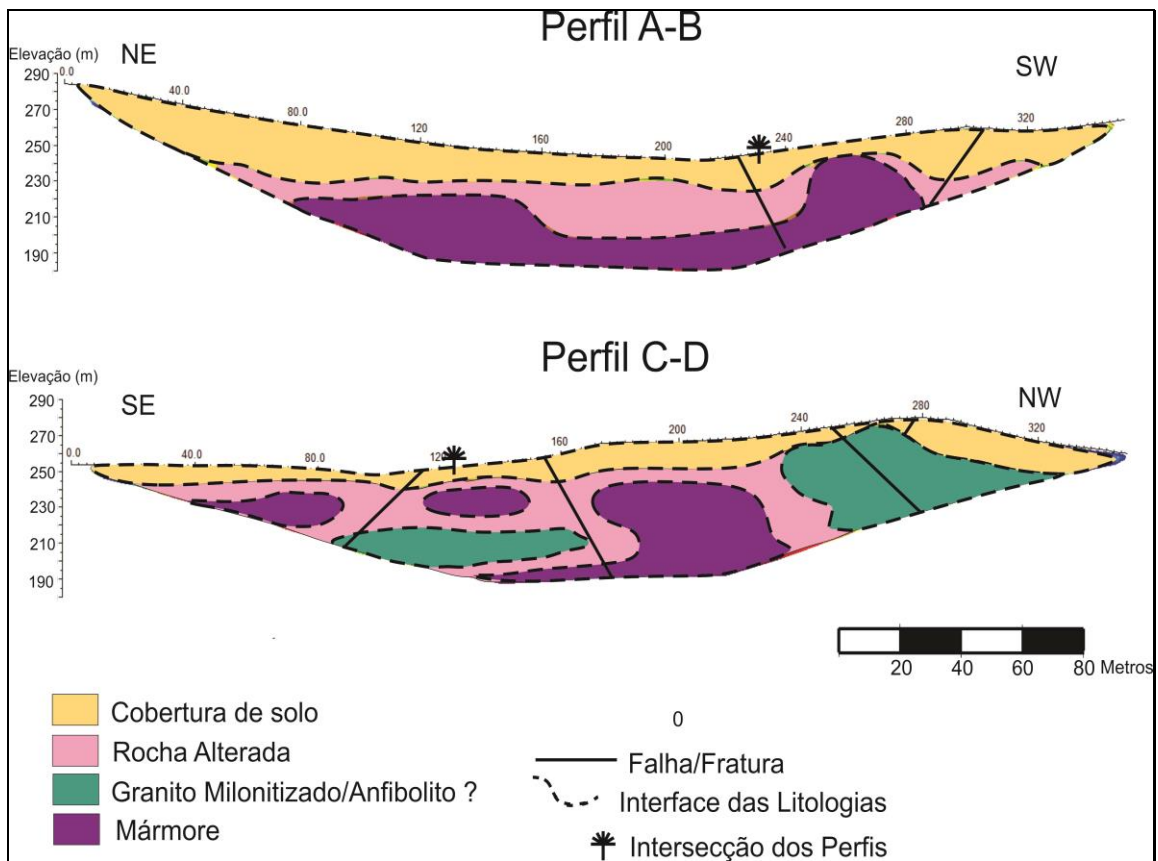


Figura 7 - Modelo geológico geofísico obtido através da interpretação dos dados