

APLICAÇÃO DO MÉTODO GEOFÍSICO DE ELETRORRESISTIVIDADE PARA O MAPEAMENTO DE OCORRÊNCIA DE CAULIM NO SERIDÓ PARAIBANO.

Lucas Emanuel Batista Oliveira¹, Rayza Livia Ribeiro Andrade² José Agnelo Soares³

(Universidade Federal de Campina Grande, lucas.engdeminas@gmail.com)

Resumo:

O estado da Paraíba apresenta grande vocação para mineração de pequeno porte. Distribuem-se ao longo de todo território estadual pequenas lavras de agregados para construção civil, principalmente areia, granito para brita, e alguns tipos de argilas. Devido ao baixo valor agregado destes materiais, a maioria dos empreendimentos que executam a lavra são ilegais. No contexto da ilegalidade mineral destaca-se negativamente as lavras da Argila Caulim na microrregião Seridó, sobretudo por relatos de soterramento, desmoronamento, acidentes com garimpeiros e inúmeros óbitos decorrentes da exploração ilegal deste bem mineral. No que tange a diversidade e pujância do setor mineral a microrregião Seridó ganha destaque positivo, visto as várias ocorrências de Turmalina-Paraíba, Columbita-Tantalita e Caulim principalmente nos municípios de Salgadinho (distrito de São José da Batalha) e Junco do Seridó, constituindo assim umas das principais fontes de renda da população local. A ocorrência de Turmalina-Paraíba, Columbita-Tantalita está muitas vezes associada a veios de Caulim. Desta forma, a prospecção de Caulim torna-se uma fonte estratégica para descoberta de gemas e minerais metálicos de alto valor. A pesquisa mineral do Caulim no Seridó Paraibano é feita por garimpeiros mediante o uso de *expertise* popular, e a confirmação da presença do veio é realizada através da abertura de *shafts*, verifica-se desta forma a inexistências de tecnologias que facilitem e diminuam os custos de exploração. Sendo assim, neste trabalho o método geofísico de eletroresistividade é aplicado em um levantamento de campo utilizando a técnica sondagem elétrica vertical (SEV), mediante a realização de múltiplas SEVs ao longo de uma linha. A presente pesquisa tem como objetivo atestar a viabilidade do uso da eletroresistividade no imageamento e, conseqüentemente, mapeamento de veios de caulim na região do Seridó paraibano. O levantamento foi realizado próximo à SERRA DA CARNEIRA, localizado no lado direito da BR-230 sentido Campina Grande-Patos, com isso obteve-se a seção geoeletrica nº 1. A seção nº 1, obtida no levantamento, indicou com precisão a presença do veio de caulim, além disso, indicou a sua profundidade, espessura e largura na seção transversal.

Palavras-chave: seção geoeletrica, veios de caulim, anomalias condutivas, argilas, eletroresistividade.

Introdução

O estado da Paraíba apresenta grande potencial para mineração de pequeno porte. Em todo o estado são documentadas ocorrências de diversos tipos de minérios e gemas. As minerações de maior porte do estado estão localizadas na porção sul da faixa litorânea, com destaque para as grandes ocorrências da rocha calcária aplicadas nas indústrias cimenteira e de cerâmica, e no litoral norte com depósitos de titânio, do qual se extraem os minerais-minérios ilmenita e rutilo. No interior do estado as minerações são majoritariamente de pequeno porte, com distinção para as reservas de bentonita em Boa Vista, rochas ornamentais em Várzea e Casserengue, caulim, feldspato e quartzito e alguns tipos de gemas nos municípios de Junco do Seridó, Várzea e Pedra Lavrada.

(83) 3322.3222

contato@conidis.com.br

www.conidis.com.br

Um das regiões de maior destaque no setor mineral do estado é a microrregião do Seridó ocidental (Figura 1). Esta região ganhou tal notoriedade por estar situada sobre a Província Pegmatítica da Borborema-Seridó que apresenta sequências de corpos heterogêneos, simples e complexos, mineralizados em tantalatos-niobatos (columbita, tantalita), estanho (cassiterita), berílio (berilo), lítio (espodumênio, lepidolita e ambligonita), e variedades de gemas (água marinha e turmalinas) (FERREIRA, 2003). Porém em muitos casos estes minerais ocorrem finamente disseminadas nos pegmatitos da região, principalmente nos cristais gigantes de feldspato, e seu produto de alteração (caulim), conferindo-lhe assim baixo teor e criando dificuldades para o seu específico aproveitamento econômico.

Para que um mineral venha a se tornar minério, necessita que este seja dotado de valor econômico que justifique sua extração e possa gerar lucro. Para isto duas variáveis são de extrema importância: teor e volume. O teor diz respeito a percentagem de material de interesse com relação a uma massa. Por exemplo: tem-se 5 quilogramas de SnO₂ (cassiterita) em 1 tonelada de rocha, portanto o teor de cassiterita neste caso será de 0,5%. O volume refere-se à quantidade de material disponível para extração, portanto, não basta somente apresentar teor satisfatório sem que haja um volume mínimo de material que justifique comercialmente a sua extração.



Figura 1 - Microrregião Seridó Ocidental.

Alguns minerais presentes nos pegmatitos da microrregião Seridó se apresentam majoritariamente em uma única massa e em grandes volumes, é o caso do feldspato e da caulinita. O feldspato está abundantemente presente nos pegmatitos como um mineral formador de rocha podendo apresentar cristais da ordem de metros. Tal fato justifica seu específico aproveitamento econômico. Já a caulinita é um argilomineral (silicato de alumínio hidratado) de fórmula química ideal $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, que é encontrado na rocha caulim. A exploração da rocha caulim é uma das principais fontes de sustento da população da microrregião Seridó ocidental, principalmente no município de Junco do Seridó. Tal fato se deve a inúmeras ocorrências deste tipo de material em forma de veios, que podem apresentar mais de 20 metros de espessura e 300 m de comprimento, volume este que justifica seu específico aproveitamento econômico.

O termo “*kaolin*” que deu origem à rocha caulim, é derivado da palavra chinesa Kao-Ling, que significa colina alta, ou seja, o nome de uma colina próxima de Jau Chu Fa na província de Jiangxi no norte da China, de onde se extraía uma argila branca utilizada na produção de porcelana (DANA *et al.*, 1983). O termo caulim é utilizado tanto para denominar a rocha que contém a caulinita como seu principal constituinte, como também para o produto resultante do seu beneficiamento (LUZ *et al.*, 2008).

No Seridó Paraibano as ocorrências de caulim são do tipo primário. Os caulins primários são resultantes da alteração de rochas *in situ*, devido principalmente, à circulação de fluidos quentes advindos do interior da crosta, da ação de emanções vulcânicas ácidas ou da hidratação de um silicato anidro de alumínio. Segundo sua origem este caulim é do tipo intemperizado, pois ocorrem em região de clima tropical (quente e úmido), favorecendo desta forma a alteração dos feldspatos gigantes presentes nos pegmatitos (LUZ *et al.*, 2008). Segundo (GOPINATH *et al.*, 1990) os caulins que ocorrem em Junco do Seridó são formados por processos de intemperismo, ocasionados por águas meteóricas descendentes. Este caulim está encaixado nos muscovita-quartzitos da Formação Equador e em micaxistos da Formação Seridó (SANTOS & FERREIRA, *et al.*, 2002).

As condições de infiltração da água das chuvas irão determinar o desenvolvimento do processo de alteração do feldspato. Portanto, rochas como muscovita-quartzitos e micaxistos, que apresentam planos de foliação evidentes, podem facilitar a percolação de águas meteóricas. Além disso, o caótico sistema de fraturamentos e falhas influenciado pela zona de cisalhamento Patos com *trend* E-W e NE-SW também facilita a circulação de fluidos. Outro fato que reforça a ideia de um ambiente que favorece a percolação da água das chuvas é a existência de vários poços

espalhados pelo município de Junco do Seridó com alta produtividade, chegando até 10.000 l/h (CPRM, 2017).

Como já mencionado anteriormente, a extração de caulim no Seridó Paraibano constitui uma das principais fontes de renda da população. Além disso, a lavra do caulim pode ser acompanhada da extração de turmalina-Paraíba muitas vezes encontrada em bolsões associada à mica muscovita nas bordas de alguns veios estreitos (Figura 2A), columbita-tantalita e quartzo presentes de forma disseminada no caulim. Assim sendo, o caulim pode tornar-se subproduto diante da presença de outros minerais de interesse, ou vice-versa.

A pesquisa mineral do caulim secundário baseia-se principalmente em campanhas de sondagem convencional, das quais pode-se retirar informações referentes as camadas estratificadas no subsolo, bem como suas composições químicas e mineralógicas. A realização de dois ou mais furos de sondagem torna possível uma extrapolação, possibilitando desta forma modelamento das camadas atravessadas ao menos em duas dimensões. Nos casos onde tem-se furos de sondagem dispostos em uma malha, a modelagem pode ser realizada em três dimensões.

A sondagem com testemunhagem é uma técnica de exploração bastante onerosa, porém apresenta investigações diretas dos materiais presentes em subsolo. A justificativa para uso de sondagem para a pesquisa mineral do caulim secundário se dá pelos grandes volumes de minério e sua forma de ocorrência tabular; todavia, não é descartada a possibilidade do uso de métodos geofísicos como principal ferramenta de exploração indireta ou mesmo como instrumento para planejamento das sondagens.

A pesquisa mineral do caulim no Seridó Paraibano baseia-se em princípios de geoquímica e *expertise* popular. Os garimpeiros costumam indicar a presença de um veio de caulim a partir da ocorrência de uma árvore denominada “Jicuri”. Outro meio de indicar a presença do caulim é a análise da vegetação em tempos de seca, na qual as árvores sobre o caulim apresentam copas mais verdes do que as árvores ao seu redor, e a confirmação real é feita mediante escavação. Porém, veios que ocorrem embaixo de formações consolidadas, como é o caso dos quartzitos, passam despercebidos aos olhos dos garimpeiros, acumulações de água pelas chuvas ou até mesmo água proveniente do lençol freático pode mascarar o método de identificação utilizado pelos garimpeiros, além do que, a influência da umidade do caulim sobre as plantas somente ocorre se este estiver presente a apenas poucos metros de profundidade, região alcançada pelas raízes.

O caulim desta região ocorre em forma de veios encaixados em quartzitos (Figura 2B). O quartzito por sua vez é uma rocha resultante da metamorfização do arenito. Esta rocha é formada por cerca de 75% de quartzo, apresenta baixa porosidade, o que lhe confere um baixo teor de umidade, e alto valor de resistividade. Por outro lado, o caulim apresenta elevada porosidade, o que lhe confere capacidade de retenção de água, e conseqüentemente baixa resistividade. Por existir um alto contraste resistivo entre estas duas rochas, existe a possibilidade de obter imagens geoeletricas em duas dimensões, sendo possível fazer a diferenciação entre ambas as rochas, forma do veio na seção mapeada, bem como a profundidade na qual ocorrem. Portanto, teoricamente existe a possibilidade de mapear veios de caulim utilizando o método geofísico de eletrorresistividade, justificando desta forma a viabilidade técnica da pesquisa.

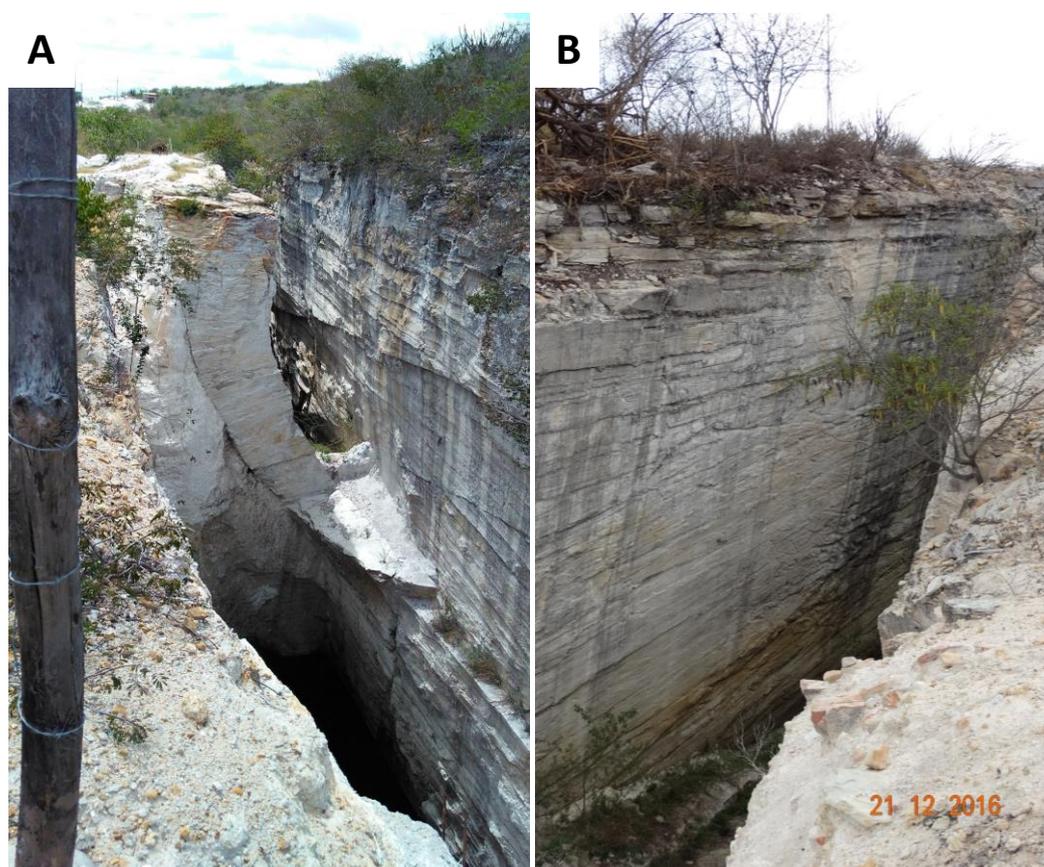


Figura 2 - A) Veios estreitos de caulim. B) Veios de caulim exauridos encaixados em quartzitos.

As ocorrências de caulim do Seridó paraibano quando comparadas com as formações secundárias apresentam pequenos volumes, desta forma, a utilização de sondagem para exploração deste material torna-se inviável. Uma alternativa neste caso, seria o emprego da geofísica como técnica de investigação. Outro fato relevante é que na maioria das vezes a identificação da presença de um veio de caulim é feita mediante a abertura de pequenos *shafts* abertos através de trabalho

manual (Figura 3A) ou com uso de explosivo (Figura 3B). Desta forma, existem custos agregados a este tipo de investigação, que por vezes é mais oneroso do que uma investigação geofísica. A presente pesquisa tem como objetivo comprovar a viabilidade do método geofísico da eletrorresistividade, mediante a realização de múltiplas SEVs utilizando arranjo Schlumberger, para mapear uma ocorrência de caulim na região do Seridó Paraibano.

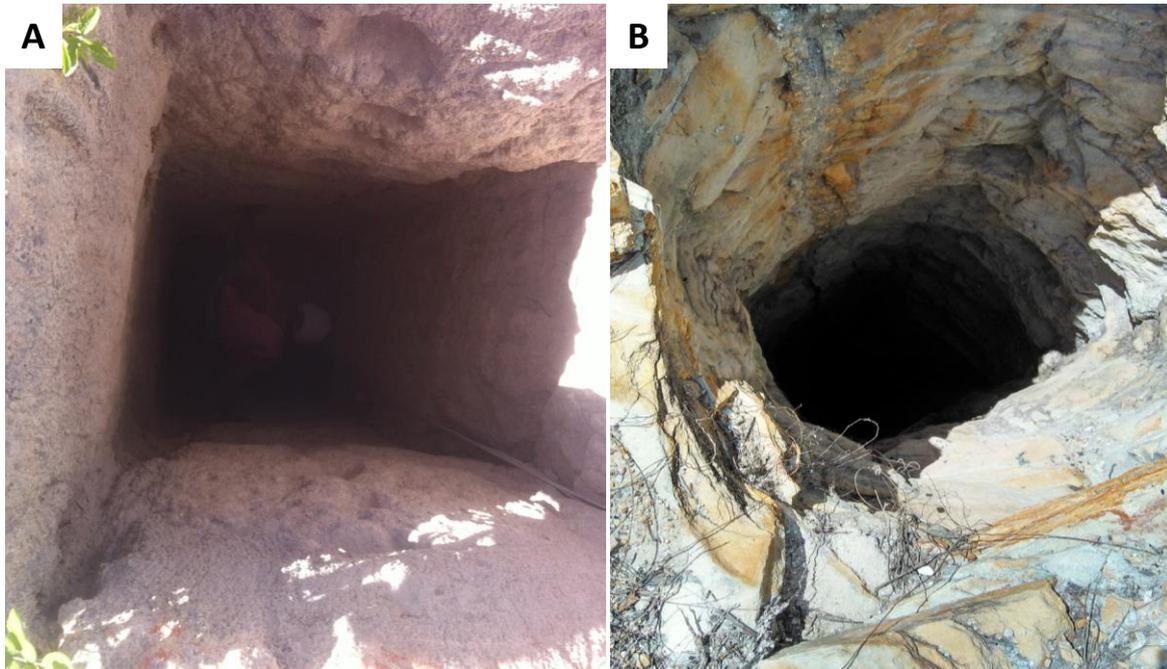


Figura 3 - A) *Shafts* abertos manualmente. B) *Shafts* abertos com uso de explosivos.

Metodologia

Aplicou-se o método geofísico da eletrorresistividade com o intuito de realizar o mapeamento 2D de veios de caulim no município de Junco do Seridó-PB. Esta técnica se baseia na medição da resistividade elétrica dos materiais (TELFORD *et al.*, 1990). Consiste na injeção de corrente elétrica contínua ou alternada de baixa frequência por contato direto entre os eletrodos de corrente A e B com o solo, e a medição da diferença de potencial através de outros dois eletrodos fixados ao solo, denominados M e N (OLIVEIRA *et al.*, 2016) (Figura 4). A partir do conhecimento da diferença de potencial e da corrente elétrica aplica-se a lei de Ohm e a resistividade aparente do subsolo é calculada.

Cada configuração de eletrodo utilizada resulta numa medição a uma respectiva profundidade, considerada teoricamente como $AB/4$, porém na prática camadas de alta e baixa resistividade podem mudar tal profundidade (BRAGA, 2016). O procedimento utilizado em campo

foi o de sondagem elétrica vertical (SEV). Tal metodologia consiste em escolher um ponto fixo em superfície de tal forma que, aumentando a separação entre os eletrodos de corrente A e B, aumente também a profundidade de investigação (KEAREY *et al.*, 2009). Empregou-se o arranjo Schlumberger no qual os eletrodos de potencial (M e N) ficam entre os de corrente (A e B) e onde o espaçamento entre os eletrodos de corrente é maior ou igual a 5 vezes o espaçamento entre os eletrodos de potencial, ou seja, se utilizarmos um espaçamento entre M e N de 2 metros, o espaçamento mínimo entre A e B será de 10 metros.

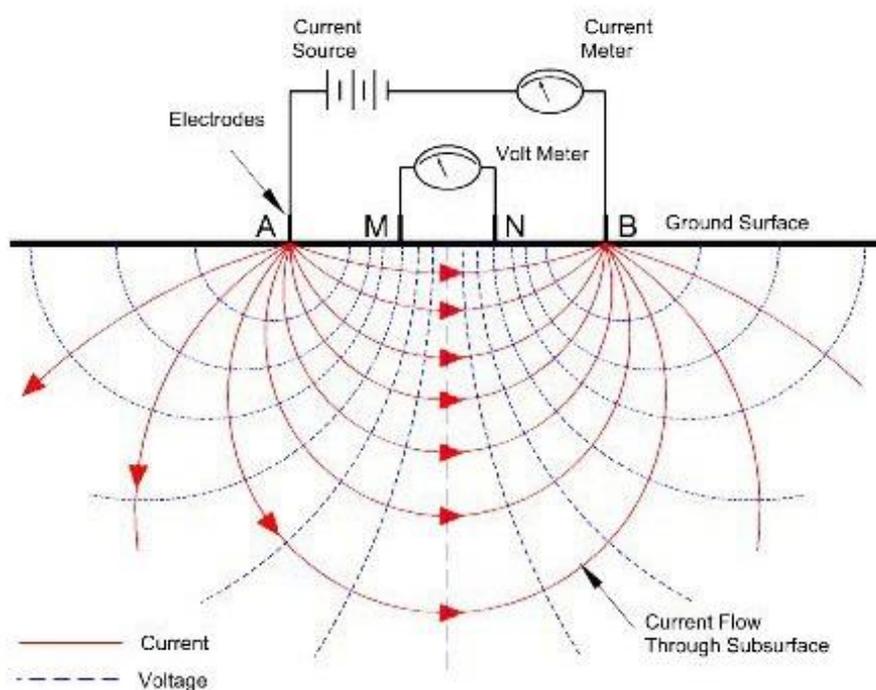


Figura 4 - Esquema de medição da resistividade elétrica do subsolo. Fonte: <http://geosiamservices.com>

Para isto utilizou-se um resistivímetro da marca BODENSEEWERK, com um módulo injetor de corrente elétrica e outro módulo receptor da diferença de potencial, quatro rolos de fio, sendo dois para os eletrodos de corrente A e B e dois para os eletrodos de potencial M e N, duas baterias externas de doze volts, 21 eletrodos, dois martelos para fixação dos eletrodos no solo, trena métrica, garrafão de água para molhar os eletrodos e um GPS Trimble modelo GeoXM para georreferenciamento da linha de investigação (Figura 5).



Figura 5 - Materiais e equipamentos utilizados.

Resultados e discussão

Foi selecionada uma área para realização do levantamento de campo (Figura 6). Nesta área foi feita uma linha de investigação com seis SEVs. Espaçamento entre a SEV1 e SEV2 igual à separação entre as SEVs 5 e 6, de 20 metros, e entre a SEV3 e SEV4 de 10 metros. Espaçamento entre M e N de 4 metros e AB variando entre 100 e 20 metros com diminuições sucessivas de 20 metros.

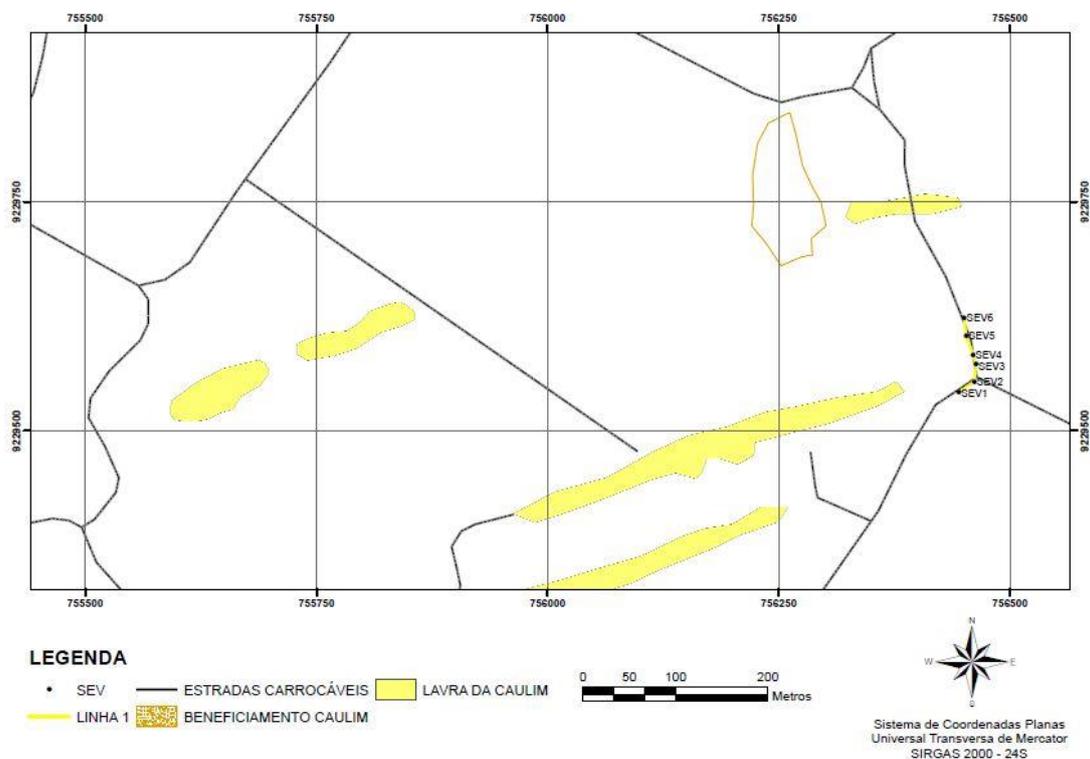


Figura 6 – Área selecionada para realização do levantamento de campo.

Os veios de caulim neste setor ocorrem segundo *trend* SW-NE. A Figura 7 apresenta a seção geolétrica referente à linha 1, indicada pela linha amarela no mapa da Figura 6. Esta linha de investigação foi planejada para que os fatores dificultadores do processo de aquisição de dados fossem consideravelmente diminuídos, de modo a facilitar a aquisição dos dados e não provocar margens para interpretações e hipóteses. A escolha do local para mapeamento levou em conta a presença de dois veios que haviam sido parcialmente explorados no passado, e em razão de alguns desmoronamentos (Figura 8A) foram desativados e abandonados (Figura 8B). Para tanto, as SEVs 3 e 4 foram alinhadas precisamente com um dos veios de caulim desativado (Figura 6). Segundo relatos de garimpeiros este veio ainda contém bastante caulim, porém, a lavra foi proibida pelo dono da propriedade. A seção geolétrica gerada demonstrou uma zona de resistividade menor que 400 ohm.m em formato ligeiramente arredondado. Esta anomalia condutiva foi detectada na seção entre as posições 95 metros e 115 metros, tendo desta forma 20 metros de espessura. A anomalia se inicia em cerca de 2,5 metros de profundidade, com pequena espessura, com a largura aumentando com o aumento da profundidade até os 15 metros. A partir daí percebe-se uma ligeira diminuição de espessura e aprofundamento da anomalia para mais de 20 metros. Esta anomalia está limitada na lateral esquerda por camada de resistividade maior que 1.000 ohm.m. A lateral direita exhibe contato com uma camada de resistividade menor que 726 ohm.m que estende-se da posição 118m até 138m onde novamente a resistividade volta a diminuir. Este resultado indica o mapeamento do veio de caulim de forma clara e precisa.

Conclusões

Os resultados da presente pesquisa mostraram que o método geofísico da eletrorresistividade pode ser empregado com sucesso para o mapeamento de veios de caulim, conforme indicado pelo resultado da linha de investigação 3 (Figura 7). Para trabalhos futuros, recomenda-se o uso de caminhamento elétrico ou mesmo mediante a técnica de múltiplas SEVs, porém com menores espaçamentos entre SEVs, a fim de promover um maior detalhamento do alvo investigado. Além da demonstração de viabilidade técnica do uso de eletrorresistividade para mapeamento de veios de Caulim no Seridó paraibano destaca-se também a viabilidade econômica, visto que o uso de geofísica em substituição de demontes de rocha e uso de máquinas escavadoras torna-se mais rentável.

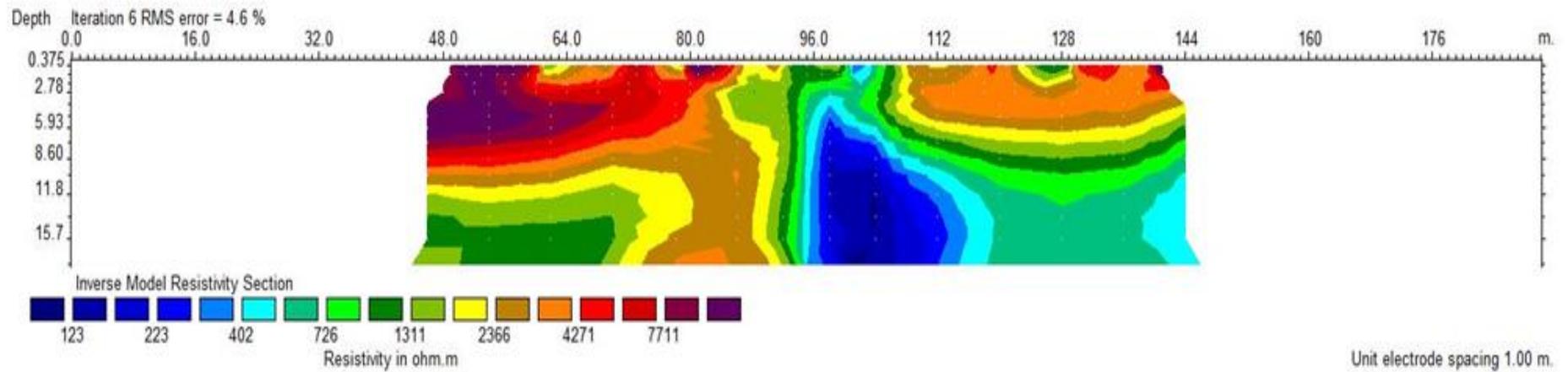


Figura 7 – Seção Geométrica nº 1.



Figura 8 - A) Desmoronamento em veio de caulim. B) Veio abandonado.

Referências

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **SIAGAS – Sistema de informação de águas subterrâneas.** Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php> Acesso em: 10 de agosto de 2017.

DANA, J.D.; HURLBURT JR., C.S. **Manual de Mineralogia.** 2. Edição, Ed. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 1983. 668p.

BRAGA, A.C.O. **Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia.** Editora Oficina de Textos, 2016, 160p.

Disponível em: <<http://geosiamservices.com>> Acesso em: 20/09/2017.

FERREIRA, V.M. **Caulinita e Caulins de pegmatitos da Borborema-Seridó nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte – Composições e Origens.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas), Departamento de Mineração e Geologia, Universidade Federal Campina Grande, Campina Grande-PB, 2003, p 15-37.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de Exploração.** Editora Oficina de Textos, 2009, 438 pp.

LUZ, A.B.; LINS, F.A.F. **Rochas & Minerais Industriais.** 2. Edição. In: LUZ, A.B.; CAMPOS, A.R.; CARVALHO, E.A.; BERTOLINOM, L.C.; SCORZELLI, R.B. Argila – Caulim, cap.12. Rio de Janeiro, 2008. p 255-294.

OLIVEIRA, L.E.B.; DE MEDEIROS, L.A.; SOARES, J.A. **Aplicação de sondagem elétrica vertical 2D na locação de poços de água na região do agreste paraibano.** I Congresso internacional da diversidade do semiárido. Campina Grande, 2016.

SANTOS, E. J.; FERREIRA, C.A.; SILVA, J.M.F.Jr.; **Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba,** CPRM, Recife, 2002.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. **Applied Geophysics,** 2nd Edition. Cambridge University Press, 1990.