



# Ensaio de Eletrorresistividade, IP e SP em Área de Risco Associado a Colapso de Terreno

José Domingos Faraco Gallas\*

Oswaldo Augusto Filho\*

\*Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

## ABSTRACT

The aim of this paper is to present some results of Induced Polarization (IP), Eletrorresistivity and Self Potential (SP) geophysical surveys in a local soil sinking occurrence. This survey and the anomalies detected allowed to map areas with land collapses problems and areas of limestones occurrences. The regional and local geology data were analysed and then the geophysical anomalies could be correlated to a carst zone. Locally, we could also correlate the geophysical anomalies to soil movements and to filled caves originated from the ancient limestone mines.

## INTRODUÇÃO

A área onde foram realizados os ensaios geofísicos é um loteamento situado em município no interior do estado de São Paulo. Os trabalhos foram realizados pelo Laboratório de Geofísica Aplicada do IPT, por solicitação da Prefeitura Municipal, através do Programa de Assistência Técnica aos Municípios – PATEM. O padrão esperado das anomalias IP ou de resistividade não é definido, uma vez que eventuais cavernas decorrentes de processos de carstificação podem estar vazias ou preenchidas por águas com indeterminados graus de salinização ou mesmo material de alteração e/ou argiloso. Anomalias relacionadas a espessamentos de cobertura também podem refletir solos colúvio-aluvionares ou relacionar-se a antigos aterramentos de cavas de mineração de calcário.

## GEOLOGIA

Os terrenos onde se desenvolveram os trabalhos são de ocorrência de rochas cristalinas do embasamento pertencentes ao Grupo São Roque de idade pré-cambriana. Os dois grandes grupos litológicos que ocorrem no local são metabasitos e metacalcários. A maior parte do loteamento está localizado nos terrenos de ocorrência dos metabasitos, sendo que no setor oeste ocorrem metacalcários.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

O método da eletrorresistividade tem como princípio a passagem pelo solo de uma corrente de intensidade  $I$ , transmitida por um par de eletrodos denominados  $A$  e  $B$ , conectados a um emissor  $E$ , tanto no domínio do tempo como no da frequência, cuja fonte pode ser baterias ou grupo-gerador. Mede-se a diferença de potencial  $\Delta V$  entre dois eletrodos de recepção denominados  $M$  e  $N$ . A partir daí, pode ser calculada a resistividade aparente  $\rho_a$ , dada pela relação

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Onde  $K$  é um coeficiente que depende das dimensões e arranjo do quadripolo  $AMNB$ .

O método do potencial espontâneo (SP) é baseado na possibilidade de medir-se a diferença de potencial entre dois eletrodos introduzidos no terreno, mesmo na ausência total de qualquer campo elétrico criado artificialmente. As anomalias SP são geradas pelo fluxo de fluidos, de calor ou de íons no subsolo, principalmente. Os mecanismos mais comuns que originam SP são: potencial gerado pelo fluxo de fluidos ("streaming potential"), potencial de difusão, potencial devido ao efeito de membrana das argilas ("shale potential") e potencial devido à presença de condutores.

Quanto ao método da polarização induzida (IP), o fenômeno pode ser estudado tanto no domínio do tempo como no da

freqüência. No domínio da freqüência mede-se a variação percentual (PFE) da resistividade em função da freqüência. No domínio do tempo, que foi o empregado neste trabalho, as medidas do transiente (ou da cargabilidade), são tomadas após o corte do pulso de corrente. A técnica temporal pode ser descrita sucintamente como a seguir.

Quando, através de eletrodos de corrente, é aplicada uma diferença de potencial primária ao solo, ocorre uma polarização do mesmo. Esta d.d.p. não se estabelece e nem se extingue instantaneamente quando a corrente é emitida e interrompida em pulsos sucessivos. Esta d.d.p. varia com o tempo e descreve uma curva  $V_{IP}(t) = f(t)$ . Esta curva seria então chamada de curva de descarga IP. O parâmetro medido no domínio do tempo é a cargabilidade aparente  $M$ , obtida pela integração ao longo de um intervalo de tempo determinado, da área sob a curva de descarga IP, após o corte de um pulso de corrente. A cargabilidade medida entre os tempos  $t_1$  e  $t_2$ , normalizada pela voltagem primária  $V_p$  é dada por:

$$M = \frac{1}{V_p} \int_{t_1}^{t_2} V_{IP}(t) dt \quad (2)$$

## METODOLOGIA

A metodologia empregada foi a do caminhamento IP-resistividade com a técnica de pseudo-seções e arranjo elétrico dipolo-dipolo, abertura  $AB=MN=20m$  e cinco níveis teóricos de investigação ( $n_1=20m$ ;  $n_2=30m$ ;  $n_3=40m$ ;  $n_4=50m$  e  $n_5=60m$ ). A aquisição dos dados de SP foi efetuada nas mesmas linhas, com medidas a cada 10m. Os perfis dos levantamentos foram posicionados ao longo das ruas não-pavimentadas do loteamento, em um total de quatro. O perfil 2 é o que se situa na rua onde ocorreu o colapso e os perfis 1 e 3 posicionam-se nas duas ruas imediatamente adjacentes. O perfil 4 foi realizado ao longo da rua 3, aproximadamente perpendicular aos perfis 1, 2 e 3 e intercepta os mesmos. A Figura 1, Croqui de localização dos levantamentos geofísicos, ilustra de forma esquemática o posicionamento das linhas de execução dos ensaios.

## APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os levantamentos geológicos existentes e a inspeção atual indicam que o local de ocorrência do afundamento/colapso do terreno situa-se em um talvegue natural, próximo ao contato com as rochas calcárias, à jusante da declividade mais acentuada do terreno. Nestas condições, podem ocorrer espessuras de solo maiores, contendo solos transportados coluvionares e aluvionares.

A análise do perfil de SP exibido na Figura 2 indica a presença de uma anomalia, situada nas imediações do local onde verificou-se o colapso. Também foi detectada anomalia semelhante na linha 4, rua 3, igualmente localizada nas proximidades do local do incidente. É possível que estas anomalias sejam ocasionadas pela presença de um local de escoamento preferencial das águas no subsolo, tais como fraturamentos ou presença de cavernas em subsuperfície, maior espessura de solo ou até mesmo estar sendo causadas por bueiros de escoamento de águas servidas e/ou pluviais.

As pseudo-seções de resistividade aparente das linhas das ruas 13 e 3 mostram anomalias de baixa resistividade posicionadas nas proximidades do local do incidente, entre os pontos 140m e 160m da linha da rua 3 e nos pontos 160m e 200m da linha da rua 13. Estas anomalias correlacionam-se com as de SP mencionadas acima (exceto a do ponto 160m da rua 13). As causas ou origens destas anomalias podem ser atribuídas aos mesmos fatores das de SP. A linha 1 da rua 14 também mostra uma anomalia de baixa resistividade entre pontos 220 e 240m, na posição vista na Figura 1. As posições das anomalias coincidem com as indicações de sondagem vistas na Figura 1.

A Figura 2 contém o perfil de SP e as pseudo-seções de resistividade e cargabilidade aparentes da linha da rua 13, linha 2. Neste levantamento em particular, a pseudo-seção de cargabilidade aparente (linha 2) detectou uma anomalia que guarda correlação com o colapso. Não exhibe, porém, a mesma correlação mostrada pela resistividade com relação às metabásicas e aos calcários.

A Figura 3 mostra o mapa e o bloco diagrama elaborado a partir dos dados medidos do segundo nível de investigação das pseudo-seções dipolo-dipolo das linhas das ruas 11, 13 e 14 (perfis 1, 2 e 3, respectivamente) e proporcionam uma visualização em planta e 3D das variações laterais de resistividade. Normalmente rochas calcárias apresentam valores de resistividade aparente maiores que a maioria das rochas. Desse modo, a análise das pseudo-seções, do mapa e bloco diagrama contidos Figura 3, indicam que a transição da rocha metabásica para o calcário acontece na porção aproximadamente ao norte da área, onde as curvas de isovalores assumem valores acima de  $150\Omega.m$  e o bloco-diagrama mostra o relevo mais elevado.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da análise dos dados geofísicos e de geologia discutidos acima, são possíveis as seguintes interpretações: as pseudo-seções de resistividade permitem inferir que as resistividades mais altas correspondem às ocorrências de calcários, enquanto que os padrões mais baixos devem corresponder às metabásicas. As anomalias SP e de resistividade podem refletir locais de maior percolação de águas, podendo indicar a presença de fraturamentos e/ou cavernas. Por outro lado, as anomalias também podem indicar uma maior espessura de solos, inclusive solos transportados coluvionares e aluvionares.

A geofísica é um método indireto de prospecção, e que teve por finalidade maior neste trabalho detectar anomalias no sentido de otimizar e direcionar as futuras investigações diretas (sondagens). Estas são recomendadas nos pontos 160m e 200m da linha da rua 13 e entre os pontos 220 e 240m da linha da rua 14, conforme indicado nas pseudo-seções. A Figura 1 também traz as posições assinaladas.

## Bibliografia

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 1999. Avaliação emergencial da situação de risco associada ao afundamento de terreno ocorrido no Loteamento Jardim Bom Jesus. São Paulo, 24p. (IPT. Parecer Técnico 7362).

Keller, G. V. & Frischknecht, F. C. 1977. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press, 517p.

Orellana, E. 1972. *Prospeccion geoeletrica en corriente continua*. Madrid, Paraninfo, 533p.

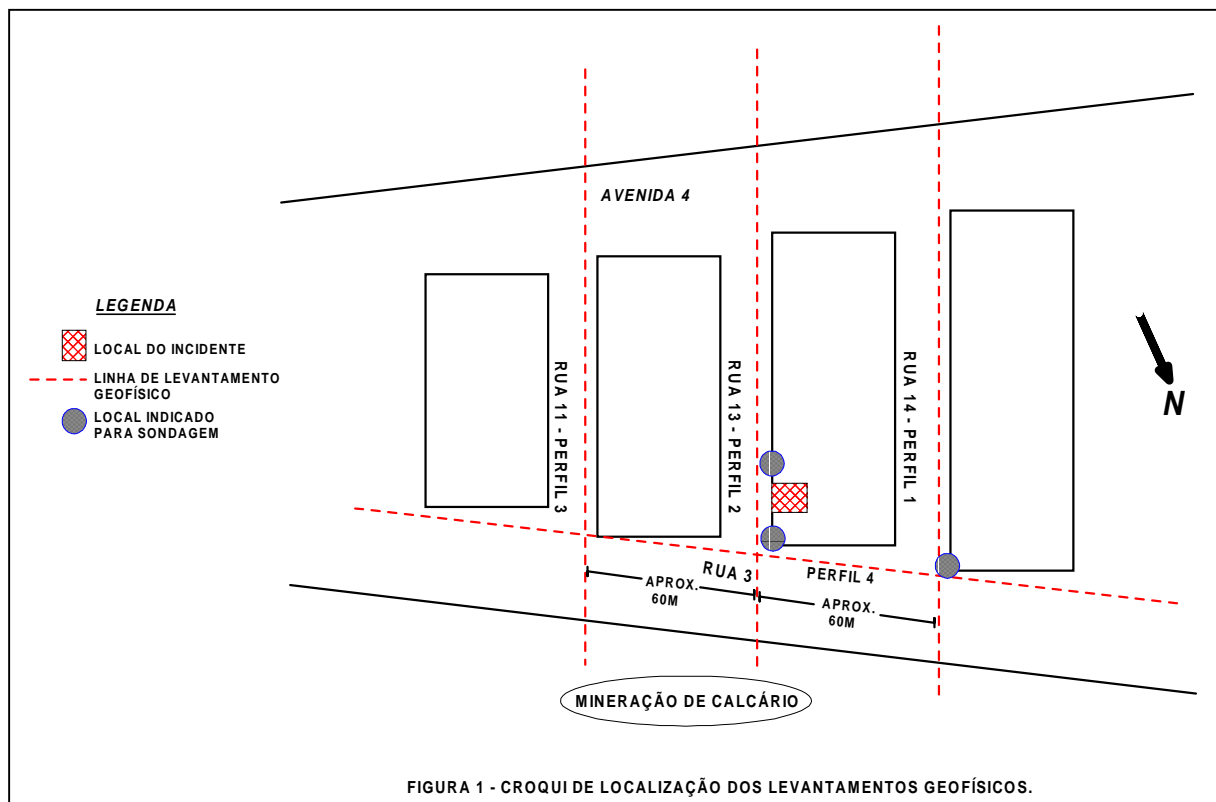


FIGURA 1 - CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS.

