

## USO DE GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A SELEÇÃO DE LOCAIS COM POSSÍVEIS OCORRÊNCIAS DE SOLOS MOLES

Bruno de Paiva Nascimento<sup>1</sup>; Alessandra C. Corsi<sup>2</sup>

**Resumo** – Nos dias atuais, a constante migração populacional e a expansão de grandes cidades, causou a necessidade de se construir em terrenos com características geológico-geotécnicas não adequadas, como por exemplo, próximo a zonas fluviais, sobre solos instáveis e compressíveis. Assim, a escolha da estratégia de intervenção para obras lineares mais adequadas depende de alguns fatores relacionados ao subsolo da região. Regiões com solo mole podem ser grandes desafios para a sociedade e requerem certos cuidados, desse modo é necessário utilizar uma vasta quantidade de mecanismos de investigação para escolher a melhor região para desenvolvimento dessas obras. O objetivo desse artigo é demonstrar como as geotecnologias (Sistema de Informações Geográficas - SIG) podem ser utilizadas para expandir as informações adquiridas em sondagens e estudos prévios. Com o apoio de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de uma base de dados sobre uma área piloto, foi possível validar o mapa síntese com sondagens realizadas na região e ter informação mais ampla sobre possíveis locais nas proximidades, com solos com o mesmo tipo de comportamento, o que possibilitaria melhores escolhas de traçado para obras lineares. A utilização de Sistema de Informações Geográficas permitiu gerar mapas de maneira rápida, contribuindo deste modo para a seleção de traçado de obras lineares, bem como para a locação das sondagens.

**Palavras-Chave:** Solos Moles, Geotecnologias, SIG, Obras lineares, Mapas, Sondagens.

**Abstract** – Nowadays, the constant population migration and the expansion of large cities have caused the need to build on land with inadequate geological-geotechnical characteristics, such as near river areas, on unstable and compressible soils. Thus, the choice of the most suitable intervention strategy for roads depends on some factors related to the subsoil of the region. Regions with soft soil can be great challenges for society and require certain care, so it is necessary to use a vast amount of investigation mechanisms to choose the best region for the development of these works. The objective of this article is to demonstrate how geotechnologies (Geographic Information System - GIS) can be used to expand the information acquired in previous surveys and studies. With the support of geoprocessing techniques for the elaboration of a database about a pilot area, it was possible to validate the synthesis map with soundings made in the region and to have wider information about possible locations in the vicinity, with soils with the same type of behavior, which would allow better choices of route for linear works. The use of a Geographic Information System allowed for the quick generation of maps, thus contributing to the selection of the route for the linear works, as well as for the location of the boreholes.

**Keyword:** Soft soil, Geotechnologies, GIS, Linear Work, Maps, Boreholes

---

<sup>1</sup> Eng., Bel., Universidade Mogi das Cruzes (SP), (11) 4798-7000, brunode.paiva@gmail.com

<sup>2</sup> Geola., PhD, –Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: São Paulo (SP), (11) 3767-4352, accorsi@ipt.br

## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao aumento populacional e, conseqüentemente, à expansão do território urbano, há cada vez mais a necessidade de se construir próximo a zonas fluviais, sobre solos instáveis e compressíveis, que são formados por sedimentos depositados nas planícies de inundação dos rios (Santos et al., 2018). Portanto, a escolha da estratégia de intervenção mais adequada depende da análise de alguns fatores, como o tipo e as condições do solo, o grau de melhoramento pretendido, o nível de tolerância dos recalques, o custo previsto e o prazo de execução, além de espaço e equipamentos disponíveis para a execução dos serviços de engenharia (Santos et al., 2018).

A construção sobre solos moles vem se tornando a opção mais viável para a engenharia geotécnica, pois a solução tradicionalmente utilizada - a remoção total do solo mole, além de encarecer o projeto, causa grande impacto ambiental, pois envolve a exploração de jazidas e depende de áreas para depósitos de bota-fora. Com o avanço das tecnologias pode-se aproveitar as regiões com a predominância de solos moles em suas camadas nas fundações, desde que sejam notadas e corrigidas algumas características desses solos, tais como a elevada deformabilidade e a baixa capacidade de suporte.

Define-se como solos moles os solos sedimentares com baixa capacidade de suporte, em que a fração argila imprime as características de solo coesivo e compressível. São, em geral, argilas moles ou areias argilosas fofas, de deposição recente, isto é, formadas durante o período quaternário. De acordo com a NBR 6484:2001, são considerados solos moles os materiais que apresentam índice de resistência à penetração SPT entre 3 e 5 golpes, e solos muito moles os que possuem valores inferiores à 2.

No Brasil esse tema é de grande interesse, pois ao longo de toda a costa do país e nas várzeas dos rios, existem abundantes depósitos de argila mole, que impõem severos desafios à engenharia, como a ruptura do aterro ou seu recalque excessivo (ALMEIDA; MARQUES, 2011).

Rodovias são obras lineares de grande extensão, atravessando frequentemente regiões diferentes, com características bem distintas em termos de relevo, vegetação, geologia, e condições geotécnicas (OLIVEIRA, 2018). Há no país 213.453 km de rodovias pavimentadas e 1.507.248 km de rodovias não pavimentadas, que correspondem, respectivamente, a 12,4% e 87,6% da extensão total, para proporcionar uma infraestrutura rodoviária de qualidade e que atenda às demandas atual e futura de transporte por esse modal, fazem-se necessários amplos e contínuos investimentos (CNT, 2018). O transporte rodoviário é o modal mais utilizado no país, seja para o transporte de pessoas, ou de produtos para comercialização. A malha rodoviária brasileira foi criada com o foco na interligação de grandes polos econômicos com os centros de produção e de carga e descarga, como portos, aeroportos e estações ferroviárias. Dessa maneira os projetos precisam de análises mais críticas e aprofundadas quanto a sua viabilidade, e necessitam de atenção especial com os estudos de investigação do solo, possibilitando assim projetos básicos mais elaborados e que comprovem o real custo-benefício da obra.

Com as limitações de espaço das cidades e as determinações de leis ambientais, fica cada vez mais difícil fugir de áreas com solo mole para a construção de grandes obras, havendo assim a necessidade de um estudo mais eficaz que facilite trabalhar nessas áreas. De acordo com Oliveira (2018), é na fase de projetos que os estudos ambientais começam a ser detalhados para a obtenção de licenças adequadas, permitindo o desenvolvimento de serviços de campo e investimentos maiores no projeto.

Os solos considerados moles, ou compressíveis, possuem a resistência ao cisalhamento extremamente baixa e alta compressibilidade; devido a essas características, a estabilidade é um ponto crucial para elaboração de projetos, principalmente no Brasil, onde a ocorrência desse tipo de solo é maior devido a extensa costa litorânea do país, pois em geral esses solos são de origem fluvial ou marinha (MASSAD, 2010).

Os recalques são usualmente divididos em recalques imediatos, recalques primários e recalques por compressão, formando assim o recalque total (Almeida e Marques, 2011). O recalque imediato, também conhecido como recalque não drenado, ocorre após o carregamento do aterro sob o solo mole, e está ligado às deformações elásticas cisalhantes a volume constante.

Já o recalque primário, ou recalque por adensamento, representa a maior parte do recalque total, que é totalizado com o recalque secundário, que decorre da compressão da parte sólida e não está associado à expulsão da água dos vazios do solo.

A magnitude dos recalques e sua evolução com o tempo, assim como os recalques remanescentes da obra, devem ser considerados na escolha de metodologia construtiva a ser adotada em função do uso da área (ALMEIDA; MARQUES, 2011).

Para a escolha mais econômica e prática, são feitas análises do comportamento do solo local, estudando o valor total de recalque e sua velocidade por meio de métodos tradicionais de cálculo. A maior parte dos problemas de caráter geológico-geotécnico nessas obras decorre da falta de conhecimento prévio das características da área escolhida, o que resulta em projetos inadequados e, por conseguinte, em construções deficientes. Neste contexto, surgem as ferramentas das geotecnologias para suporte na seleção dos traçados bem como na otimização das sondagens.

O Sensoriamento Remoto é o conjunto de ferramentas, tais como satélites e radares, que são utilizados na obtenção de informações e imagens acerca da superfície terrestre. Com o avanço das tecnologias, os satélites de sensoriamento remoto têm favorecido a realização de levantamentos à distância de variações físicas e químicas da superfície terrestre em áreas extensas e inóspitas, favorecendo, principalmente, os mapeamentos e monitoramentos sazonais da superfície da Terra.

A utilização do Geoprocessamento atrelado ao uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite avaliar adequadamente as transformações decorrentes no espaço geográfico, bem como, transformações do relevo, possíveis impactos associados em consequência do crescimento urbano, uso e ocupação do solo, dentre outros. Tudo isso em virtude deste conjunto de ferramentas que tem como função coletar, processar, analisar e proporcionar a manipulação das informações geográficas aos seus usuários. (PRESTES; LOPES; SACRAMENTO, 2015)

Câmara (1997) considera Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como sendo um conjunto de ferramentas e algoritmos para a manipulação de dados geográficos, tal como a produção de mapas. Dentro das geotecnologias, os SIG's são sistemas relativamente recentes, que se estabeleceram há mais de três décadas e se transformaram em importantes instrumentos para a produção de mapas, apoio de dados espaciais, armazenamento e demais análises de informação (SILVA, 2013).

O presente trabalho tem por objetivo estruturar a base de dados para otimizar a locação de sondagens como subsídio à seleção de locais com possíveis problemas de solos moles para subsidiar a seleção dos traçados de obras lineares.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste trabalho foi empregada técnicas de geoprocessamento para elaboração da base de dados com informações em diferentes escalas em uma área de estudo piloto como subsídio à seleção de locais de solos moles para otimização da seleção de traçado, bem como para o planejamento das sondagens.

O software utilizado para compor a base de dados SIG foi o ArcGis 10.6 ESRI. A pesquisa seguiu algumas etapas para o seu desenvolvimento (Figura 1). Inicialmente realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre o tema para definição dos contornos necessários para o desenvolvimento do tema. Em seguida, elaborou-se a base de dados espaciais necessários para o conhecimento da área piloto, deste modo, foram levantados dados do meio físico como: geologia, geomorfologia, pedologia, suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação, modelo digital de elevação, hidrografia, declividade, imagem de satélite entre outros.

A partir da estruturação da base de dados e do levantamento bibliográfico delimitou-se as informações necessárias para obter um mapa indicativo de áreas com possíveis ocorrências de solos moles. Posteriormente a esse produto foram sobrepostos 3 pontos de sondagem para verificar a consistência do mapa gerado.

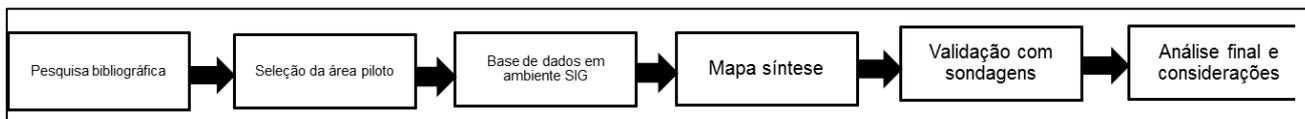


Figura 1 – Etapas de trabalho.

## 2.1. Pesquisa Bibliográfica

Levantamento das referências bibliográficas pertinentes ao tema abordado e dos diversos produtos disponíveis para a área piloto selecionada.

## 2.2. Seleção da área piloto

A área piloto foi selecionada em função das características do meio físico e pela disponibilidade dos dados espaciais e informações necessárias para o desenvolvimento do presente trabalho.

### 2.2.1 Caracterização da área piloto

O trecho estudado está entre as cidades Guarulhos, Arujá e Itaquaquecetuba pertencentes a região metropolitana do estado de São Paulo (Figura 2). Guarulhos é a segunda cidade mais populosa do estado com extensão de 318,675 km<sup>2</sup> e de acordo com dados divulgados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas) é a cidade com o 4<sup>o</sup> maior PIB do estado. Arujá tem extensão total de 96,167 km<sup>2</sup> e população estimada em 2020 de 90.328 habitantes, sendo a 90<sup>a</sup> cidade mais populosa do estado. Em relação a economia, Arujá aparece na 57<sup>a</sup> posição no ranking do IBGE de cidades por PIB em 2018. Itaquaquecetuba tem população estimada de 375.011 habitantes em 2020 e extensão territorial de 82,622 km<sup>2</sup>, e a cidade ocupa a 51<sup>a</sup> colocação do PIB a preços correntes no estado em 2018, presente no ranking divulgado pelo IBGE.

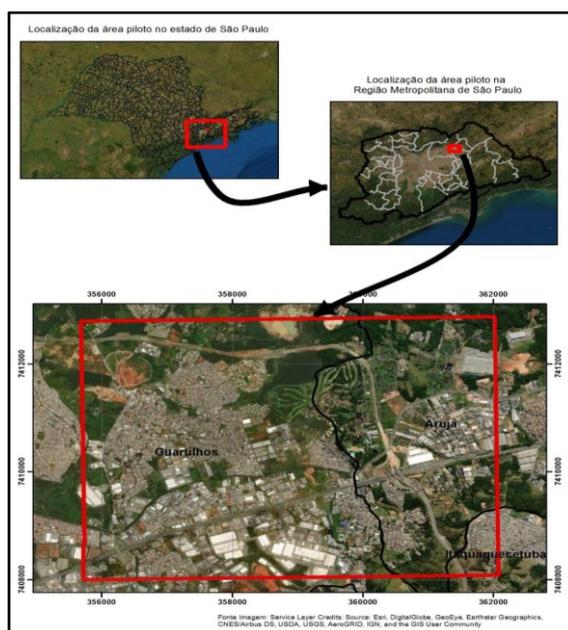


Figura 2 - Localização da área de estudo.

O local é caracterizado por uma área urbanizada, com residências, alguns galpões e indústrias. Ao Sul passa a Rodovia Presidente Dutra e mais ao Norte, no Jardim Álamo, se observam áreas agrícolas e de extenso gramado. A amplitude topográfica varia em torno de 140m

(Figura 3) e a declividade média em torno de 7° (Figura 4). da área. Cabe destacar que o modelo utilizado para gerar a declividade foi o modelo digital de superfície. As unidades de relevo presentes na área são: planícies e terraços aluviais, colinas, morrotes e morros baixos. Predominando as unidades de colinas e planícies e terraços aluviais (Figura 5).

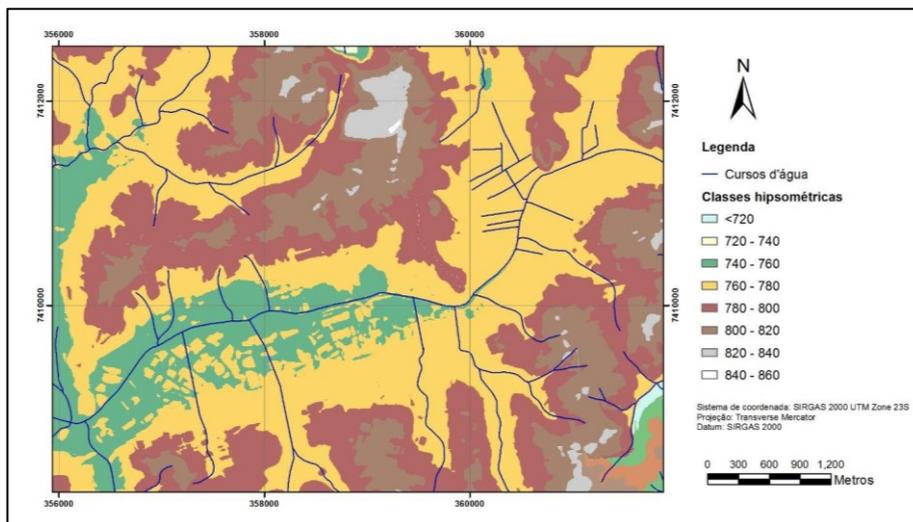


Figura 3 - Mapa hipsométrico da área piloto.

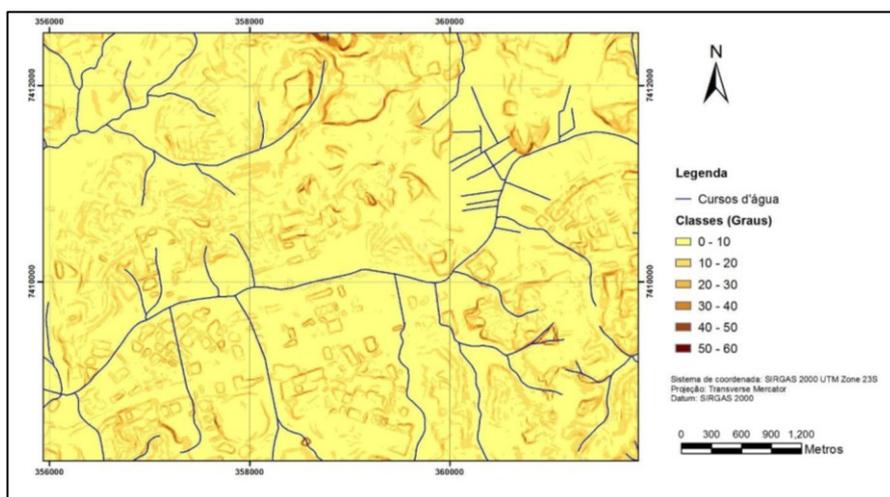


Figura 4 - Mapa de declividade da área de estudo.

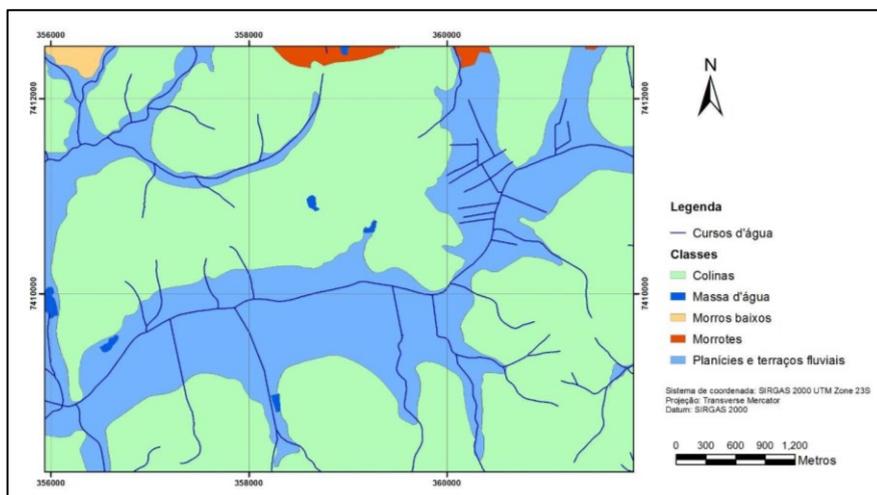


Figura 5 - Mapa das unidades de relevo. Fonte: IPT (2015a, 2015b, 2017)

Na área piloto, as unidades litológicas, de acordo com Coutinho (1980) são migmatitos e gnaisses graníticos, argilas, areias e cascalhos das Formações São Paulo e Taubaté e aluviões fluviais, sendo as duas últimas unidades as predominantes na área (Figura 6). Optou-se por utilizar o mapa de Coutinho (1980) pela escala do mesmo, 1: 100.000.

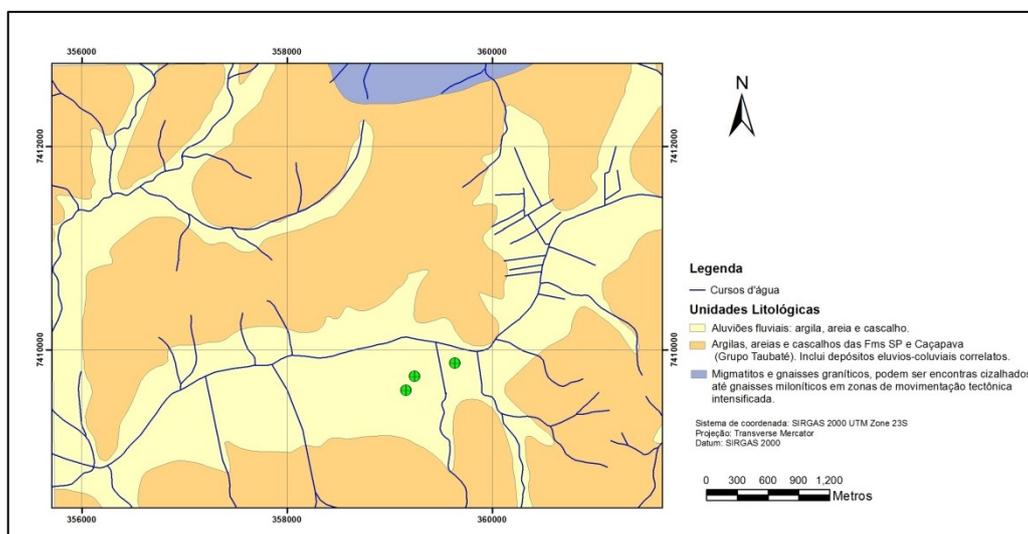


Figura 6 - Mapa das unidades litológicas da área de estudo. Fonte: Coutinho (1980)

### 2.3. Base de dados em SIG

A base de dados com os arquivos em formato raster e shapefile foram estruturadas no ArcGis 10.6 de modo a permitir a análise dos mesmos e a elaboração do mapa síntese.

### 2.4. Mapa de áreas possíveis de ocorrência de solos moles

Os solos moles são compostos por sedimentos argilosos com valores de SPT  $\leq 4$ , ou seja, argilas moles ou areias argilosas fofas de deposição recente. (ALMEIDA; MARQUES, 2011). De acordo com Massad 2010, são em geral, argilas moles ou areias argilosas fofas, de decomposição recente, isto é, formadas durante o quaternário. Os ambientes de deposição podem ser os mais variados possíveis, desde o fluvial até o costeiro.

Normalmente o solo é classificado de acordo com suas características, que compreendem desde suas particularidades mineralógicas até suas propriedades físicas e químicas. Adicionalmente a essas características, a região onde esse solo é encontrado contribui para a classificação dele. São considerados os fatores climáticos, origem do solo, vegetação, recursos hídricos e relevo do local. É muito comum um solo sedimentar estar impregnado de húmus, matéria orgânica absorvida pelas partículas de solo ou por suas agregações, imprimindo-lhe uma cor escura e um cheiro característico (Massad;2010).

Segundo Cola e Serrano (2018), o solo mole por ser característico pela alta umidade, conter matéria orgânica em decomposição se trata de uma formação geológica recente, desta forma sendo originário de lugares perto de nascentes e costeiros, locais que possam ter acumulado muita matéria orgânica, como florestas densas, mangues e baixadas que sem encontram abaixo ou muito próximo ao nível do lençol freático, sendo assim também conclui-se que a altitude e a idade do solo são fatores essenciais para a constatação de um solo mole, argiloso ou siltoso.

A partir da descrição acima foram selecionadas as variáveis para a elaboração do mapa síntese considerando: declividades inferiores a 10°, a unidade litológica aluviões fluviais e relevo de planícies e terraços aluviais.

## 2.5. Validação com as sondagens

Após a elaboração do mapa síntese foram superpostos 3 furos de sondagens que os autores tinham disponíveis para a área para validar o produto.

## 2.6. Análise e considerações

Foi realizada uma análise com base nos dados de sondagem e do mapa para verificar possíveis inconsistências no produto. Vale salientar que o produto foi gerado com informações em diferentes escalas, sendo a escala válida para análise a 1: 100.000.

## 3. RESULTADOS

O mapa síntese foi gerado por meio do comando intersect do ArcGis, utilizando as informações de geologia, relevo e declividade. A Figura 7 apresenta o mapa síntese para a área piloto. A área piloto tem uma área de 30,4 km<sup>2</sup>, sendo que desse total 8,27 km<sup>2</sup> são passíveis de ocorrência de solos moles. A Figura 8 apresenta a localização das sondagens que os autores tiveram acesso na área.

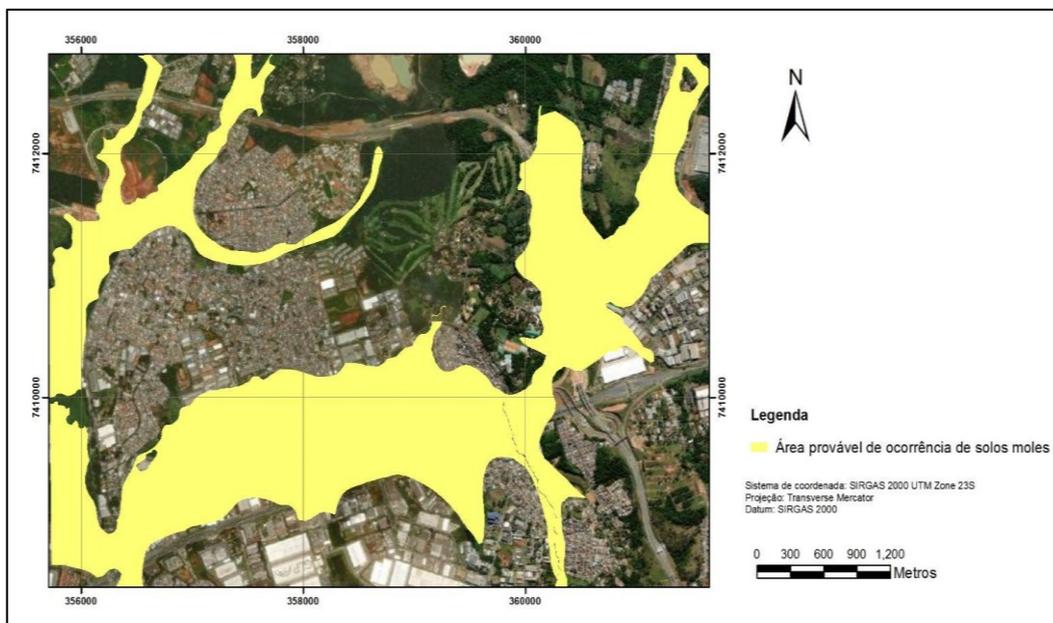


Figura 7 - Mapa síntese de locais com probabilidade de ocorrência de solos moles.

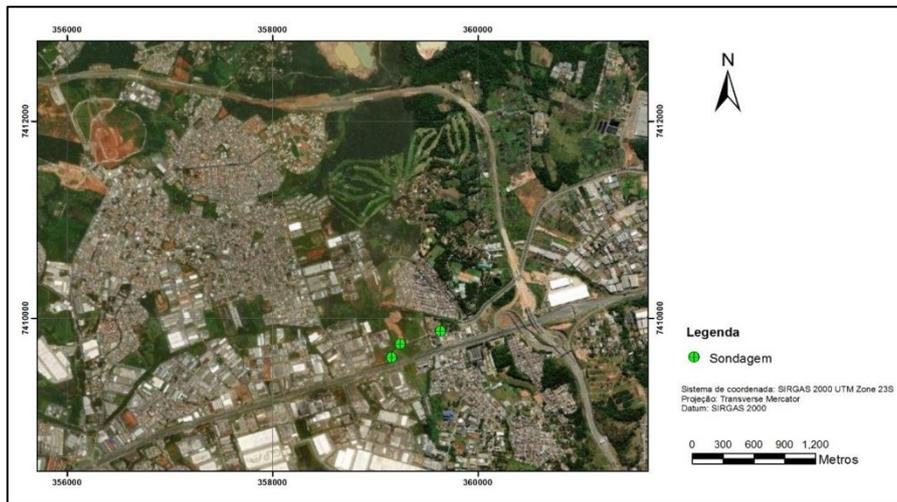


Figura 8 - Localização das sondagens.

As sondagens realizadas na região possuem uma camada com espessura média de 1 m de aterro de silte arenoso fino a grosso marrom escuro, com detritos vegetais. Após essa camada, existe um trecho de aproximadamente 5 m de argila pouco siltosa de granulometria entre fina e grossa, na cor cinza. A terceira camada é composta por areia fina a grossa siltosa cinza escura, com profundidade média de 3 metros de profundidade, ver o exemplo do boletim de uma das sondagens (FIGURA 9).

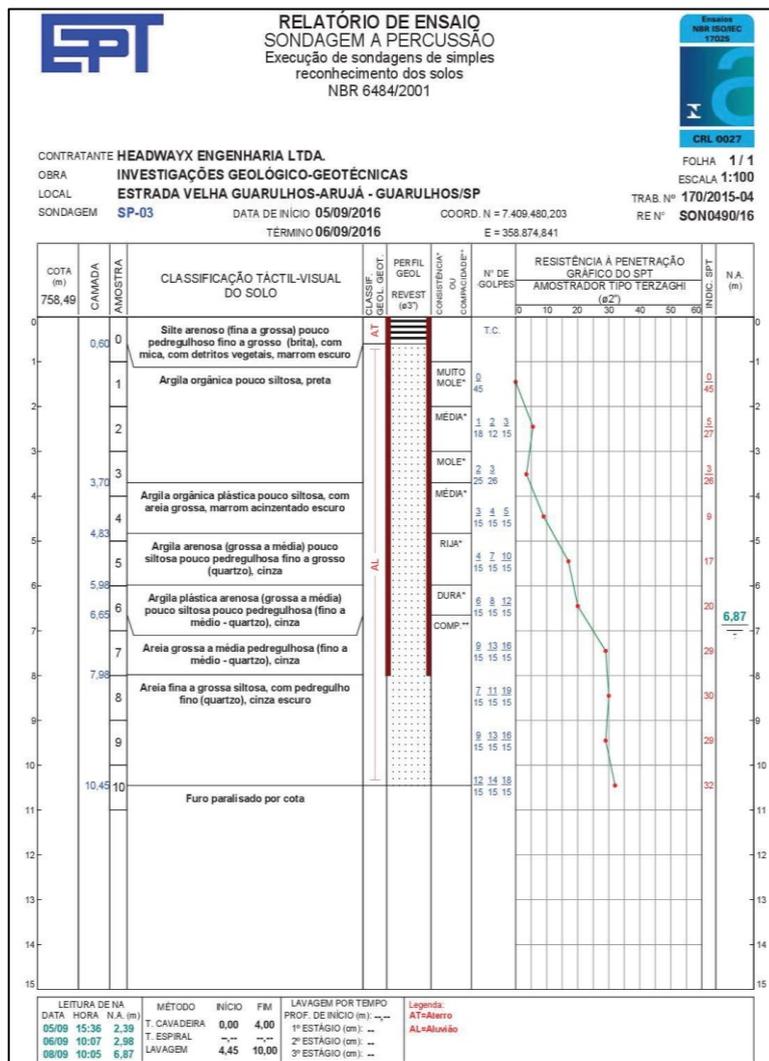


Figura 9 – Boletim de sondagem – SP-03.

Observa-se que no trecho compreendido nas sondagens realizadas na Estrada Velha a maior parte do subleito local é descrito como argila ou silte argiloso com presença de detritos e cor escura ou variegada (misturada). Além disso, o índice de penetração do solo (SPT) de todos os materiais descritos com consistência mole ou muito mole foram inferiores a 4 golpes. Também foi observado que o nível d'água em todas as sondagens é de até aproximadamente 1,5 m de profundidade, o que demonstra alta umidade no solo. Considerando todas essas informações descritas sobre os materiais das sondagens realizadas, podemos caracterizá-lo como solo mole.

As sondagens aqui apresentadas para validar o mapa foram realizadas na estrada velha Guarulhos-Arujá na cidade de Guarulhos. A Figura 10 apresenta a sobreposição das sondagens com o mapa de possíveis ocorrências de solo mole. Nesse trecho onde as sondagens estão inseridas pelo mapa seria de ocorrência de solos moles, sendo confirmado por elas.

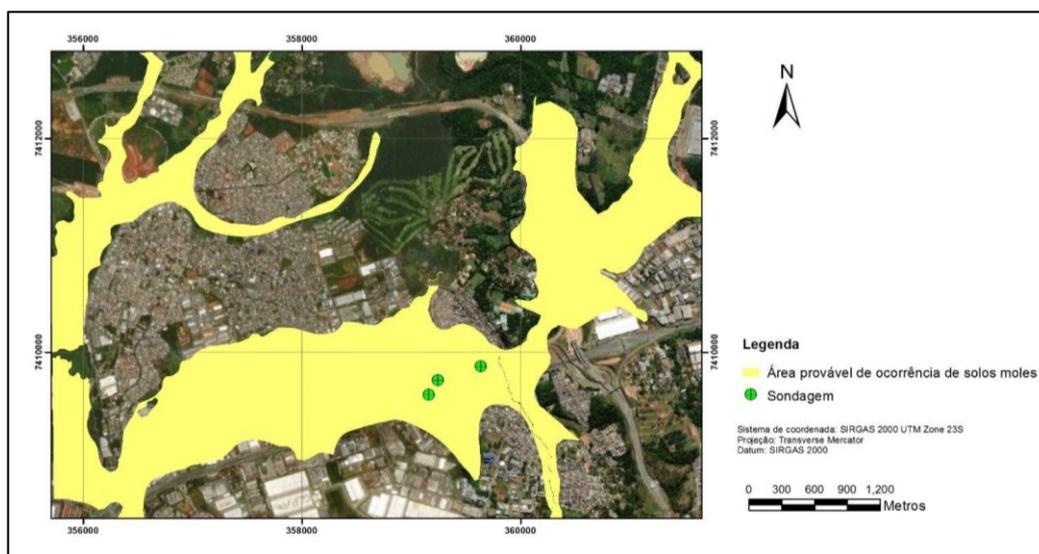


Figura 10 - Mapa das sondagens sobrepostas ao mapa síntese.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de Sistema de Informações Geográficas mostrou-se uma ferramenta útil para gerar mapas de forma rápida que permitem nortear a seleção de traçados, bem como otimizar os pontos de sondagens.

Na área de estudo 8,27 km<sup>2</sup> apresentam as condições necessárias do meio físico para ocorrência de solos moles. Essa delimitação foi validada pelas sondagens utilizadas no estudo onde foram descritas camada de solo mole.

Apesar das limitações das escalas dos dados considera que a utilização de geotecnologias apresenta relevância no auxílio da tomada de decisão da implantação de obras lineares, bem como na locação das sondagens.

#### REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Marcio de Souza S.; MARQUES, Maria Esther Soares. Aterros sobre solo mole: projeto e desempenho. São Paulo: Oficina de Texto, 2011. 254 p.
- ANTONIO MANOEL DOS SANTOS OLIVEIRA (São Paulo) (ed.). Geologia de engenharia e ambiental, volume 3: aplicações. São Paulo: ABGE, 2018. 356 p. 3 v.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.; MAGALHÃES, G. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Curitiba, SAGRES Editora, 1997.
- COLA, Caio di; SERRANO, Tarcísio José. Técnicas Construtivas para Aterro em Solo Mole. 2018.

- 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, São Paulo, 2018.
- COUTINHO, José Moacyr Vianna. Mapa geológico da Região Metropolitana de São Paulo. Emplasa, 1980. Escala 1:100.000.
- CNT (Brasília). Pesquisa CNT de rodovias 2018: relatório gerencial. Brasília: CNT, 2018. 405 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de Guarulhos - SP, 2015a.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de Itaquaquecetuba - SP, 2015b.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: município de Arujá, SP. 2017.
- MASSAD, Façal. Obras de terra: curso básico de geotecnia. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2010. 216 p.
- PRESTES, Filipe Siqueira Toscano; LOPES, Geraldino da Silva; SACRAMENTO, Iran Carlos Caria. ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO: uma caracterização histórica a partir das geotecnologias. Revista Engenharia e Construção Civil, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 45-51, jul. 2015.
- RICCOMÍNÍ, Claudio; COIMBRA, Armando Marcio. Geologia da Bacia Sedimentar: a bacia sedimentar de São Paulo. In: ALONSO, Urbano Rodriguez. Solos da Cidade São Paulo. São Paulo: ABMS, 1992. Cap. 2. p. 1-362.
- RICCOMÍNÍ, Claudio. O rift continental do sudeste do Brasil. 1989. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências, São Paulo, 1989.
- SANTOS, Thaís Oliveira et al. Descrição de Técnicas de Melhoramentos para construção de aterro sobre solos moles. In: Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica, 19., 2018, Salvador. Anais.... Salvador: Abms,2018. p.1 - 10.
- SILVA, A. B. Sistemas de informações georreferenciadas: conceitos e fundamentos. 1. ed. Campinas, SP: UNICAMP, 2013. 240 p.