DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/8

ELABORAÇÃO DE MAPA GEOLÓGICO DA CIDADE DE CASCAVEL/PR A PARTIR DE LAUDOS SPT COM USO DE FERRAMENTA SIG

Guilherme Irineu Venson
Professor/Pesquisador, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Cascavel, Paraná, Brasil, guilhermeivenson@hotmail.com

Maria Helena Rodrigues Batata
Engenheira Civil, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Cascavel, Paraná, Brasil, maria.batata@unioeste.br

Giordan Pedro Menegarde Correa
Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Cascavel, Paraná, Brasil, giordanpedro@gmail.com

João Augusto Brand Brandalize.
Engenheiro Civil, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Cascavel, Paraná, Brasil, j4brandalize@gmail.com

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo a elaboração de mapas geotécnicos preditivos para o perímetro urbano de Cascavel, Paraná, por meio da integração de dados de sondagem à percussão (SPT) em um Sistema de Informação Geográfica (SIG). A metodologia consistiu na estruturação de um banco de dados geoespaciais, tabulação e filtragem de 361 furos de sondagem, com a adoção do critério restrito de um furo por lote. As descrições litológicas foram quantificadas e os dados interpolados pelo método geoestatístico de krigagem. Os resultados geraram modelos contínuos para a profundidade do lençol freático, a topografia do material impenetrável e a estratigrafia horizontal até 15 metros de profundidade. Constatou-se a predominância de argilas residuais com homogeneização em profundidade e a forte influência da geomorfologia local na espessura do solo intemperizado e na superfície piezométrica. Concluiu-se que o mapeamento digital fornece uma representação consistente da variabilidade do subsolo, sendo uma ferramenta técnica aplicável para a otimização de análises preliminares e elaboração de projetos de fundações.

PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento Geotécnico, SIG, Krigagem, Sondagem SPT, Modelagem Espacial.

ABSTRACT: This study aimed to develop predictive geotechnical maps for the urban perimeter of Cascavel, Paraná, by integrating Standard Penetration Test (SPT) data into a Geographic Information System (GIS). The methodology consisted of structuring a geospatial database, tabulating, and filtering 361 boreholes, with the adoption of the strict criterion of one borehole per lot. The lithological descriptions were quantified, and the data were interpolated using the kriging geostatistical method. The results generated continuous models for the groundwater level depth, the topography of the impenetrable material, and horizontal stratigraphy up to 15 meters deep. The predominance of residual clays with homogenization at depth and the strong influence of local geomorphology on the thickness of the weathered soil and the piezometric surface were observed. It was concluded that digital mapping provides a consistent representation of subsoil variability, being an applicable technical tool for optimizing preliminary analyses and foundation designs.

KEYWORDS: Geotechnical Mapping, GIS, Kriging, SPT Boring, Spatial Modeling.

1 Introdução

A digitalização da informação geográfica tem sido cada vez mais aplicada na engenharia civil, pois a utilização de dados georreferenciados possibilita a correlação de variáveis distintas por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O uso dessa tecnologia permite abordagens inovadoras na geração de mapas geotécnicos, facilitando a manipulação e a atualização de informações cruciais para o conhecimento do solo. Diferentemente dos mapas impressos, o mapeamento digital baseia-se em modelos numéricos que inferem as variações espaciais do solo, minimizando as incertezas decorrentes de investigações pontuais, como a heterogeneidade geotécnica e a variação do lençol freático.

A caracterização do subsolo por meio de ensaios de sondagem à percussão constitui uma boa fonte de dados para a modelagem espacial, fornecendo parâmetros quantitativos e qualitativos da estratigrafia local. A extração de índices de resistência à penetração, associada à identificação tátil-visual das camadas e à determinação do nível d'água, permite mapear a variabilidade geotécnica da região. A sistematização dessas informações mitiga as incertezas inerentes aos projetos de fundações, reduzindo a probabilidade de recalques incompatíveis e otimizando o dimensionamento das estruturas.

Considerando a escassez de mapas digitais específicos da cidade de Cascavel e a relevância do levantamento de dados para a prevenção de problemas construtivos, este trabalho teve como objetivo a elaboração de mapas temáticos geológicos da região. A pesquisa buscou elaborar um banco de dados geotécnicos na plataforma SIG a partir da compatibilização de resultados de ensaios SPT preexistentes. Aplicando o processo de interpolação matemática por krigagem, o estudo desenvolveu modelos estratigráficos, litológicos e de níveis de lençol freático, viabilizando a consulta espacializada dessas informações para o perímetro urbano. Cabe ressaltar que a ferramenta desenvolvida atua como apoio para análises e pré-projetos, não eliminando a obrigatoriedade da execução de ensaios in loco para novas edificações.

2 Metodologia

A pesquisa baseou-se na estruturação de um banco de dados geoespaciais em SIG, a partir da tabulação de dados de ensaios SPT do município de Cascavel, Paraná. A área de análise restringiu-se ao perímetro urbano da cidade, abrangendo aproximadamente 171,66 km², delimitada por um polígono em formato shapefile no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), vinculado ao datum SIRGAS 2000.

2.1 Origem dos dados e estruturação do banco geoespacial

O banco de dados foi construído a partir de relatórios de sondagem disponibilizados por uma empresa parceira de geotecnia, contemplando investigações executadas entre 1989 e 2023. O levantamento inicial catalogou 369 laudos distintos, totalizando 1.460 perfis de sondagem.

Para a composição do modelo digital, as informações foram tabuladas em planilhas eletrônicas. Foram extraídas as seguintes variáveis: coordenadas de locação, profundidade final alcançada, cota do nível d'água (NA), profundidade do material impenetrável ao ensaio e a descrição contínua das camadas de solo, englobando textura, coloração pelo sistema Munsell e consistência.

2.2 Critérios de filtragem e seleção espacial

Para evitar a superposição de dados em pontos geograficamente próximos, o que poderia gerar distorções na interpolação matemática, adotou-se o critério de utilizar apenas um furo de sondagem por lote para compor o mapeamento final.

A escolha do furo representativo de cada localidade obedeceu a uma ordem de quatro critérios: (I) seleção do furo com a maior profundidade investigada; (II) em caso de empate, preferência pelo furo que registrou a cota de alcance do material impenetrável; (III) persistindo a semelhança, escolha do furo com a identificação do lençol freático mais raso; e (IV) seleção aleatória, caso todos os parâmetros anteriores fossem idênticos. Após a aplicação desses filtros, o banco de dados final resultou em 361 furos de sondagem, distribuídos ao longo dos bairros da cidade (Figura 1).

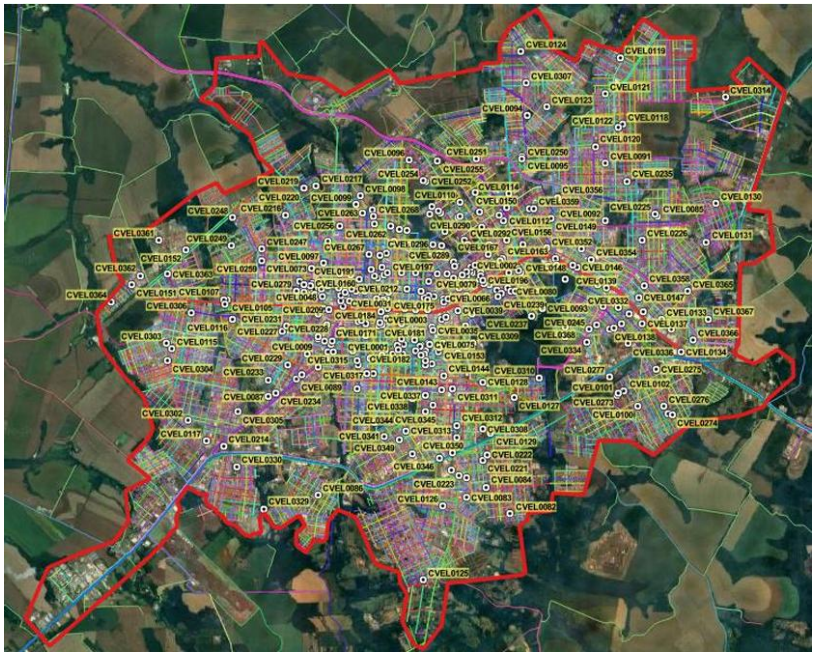


Figura 1. Distribuição espacial dos pontos de sondagem selecionados na área de estudo.

2.3 Parametrização quantitativa da estratigrafia

Os algoritmos de interpolação geoestatística operam com variáveis numéricas. Portanto, foi necessária a conversão das descrições tátil-visuais da estratigrafia em valores quantitativos, permitindo o processamento das variações litológicas a cada metro de profundidade.

Adotou-se a classificação proposta por Aoki e Velloso (1975). Foram atribuídos valores de 1 a 10 para as composições texturais e de coloração predominantes na região, e o valor 11 para a cota de impenetrável ao ensaio (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de identificação atribuídos aos tipos de solo para interpolação.

Nomenclatura	Valor atribuído
Argila Siltosa Marrom Avermelhada	1
Argila Marrom Avermelhada	2
Argila Roxa	3
Argila Amarelada	4
Argila Marrom	5
Argila Cinza	6
Argila Siltosa Roxa	7
Argila Siltosa Marrom	8
Argila Siltosa Amarelada	9
Silte Argiloso Roxo	10
Impenetrável	11

A profundidade limite para a geração dos mapas estratigráficos horizontais foi fixada em 15 metros. Essa delimitação baseou-se na constatação de que, a partir dessa cota, a disponibilidade de furos com informações contínuas caía para 57% da amostra original, o que comprometeria a densidade da malha de dados.

2.4 Processamento geoestatístico por krigagem

Com a base de dados parametrizada no software QGIS, os pontos exportados em formato CSV foram processados no *software* AgDataBox-Map para a execução da interpolação espacial. O programa realizou a filtragem automática de valores nulos, removendo pontos sem registro de nível d'água ou de impenetrável, de modo que apenas dados válidos fossem considerados na modelagem.

O método de inferência espacial utilizado foi a krigagem. O software determinou de forma automatizada os parâmetros de alcance, efeito pepita e patamar, gerando os semivariogramas teóricos para cada variável analisada (Figura 2).

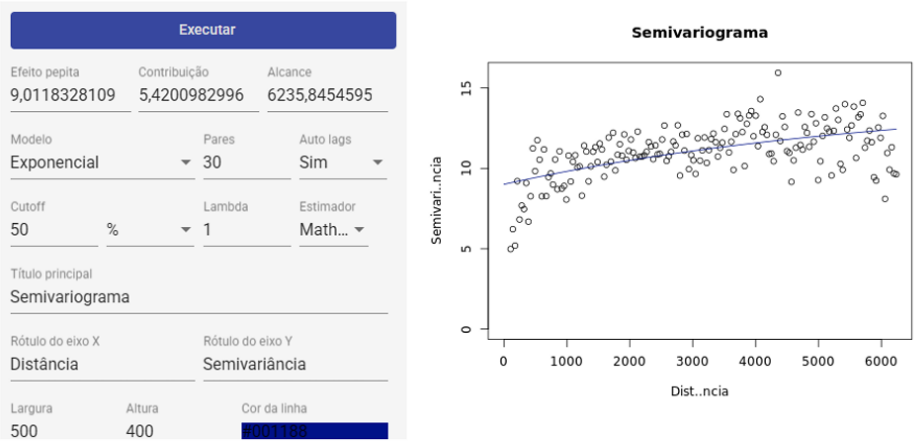


Figura 2. Exemplo de semivariograma gerado para a parametrização espacial dos dados.

A partir das funções do semivariograma, o algoritmo estimou os valores para os locais não amostrados dentro do perímetro urbano, gerando modelos de predição espacial contínuos em formato raster. Essas matrizes foram exportadas para o *software* QGIS, onde foram realizadas a edição cartográfica e a composição final dos mapas temáticos de nível d'água, topografia do impenetrável e estratigrafia horizontal.

3 Resultados e discussão

3.1 Profundidade do lençol freático e influência morfológica

O modelo preditivo do nível d'água subterrânea revelou variações significativas condicionadas à topografia e à hidrografia local. As regiões com lençol freático mais superficial (tons mais claros no modelo) concentram-se ao longo das calhas dos cursos d'água, refletindo a influência direta da drenagem e da recarga hídrica, especialmente nas sub-bacias dos rios Cascavel e Quati.

Em contrapartida, as áreas de maior profundidade do lençol (tons mais escuros) localizam-se nas regiões centrais e sudeste do município, que coincidem com os divisores topográficos das bacias hidrográficas. Nessas zonas de maior cota altimétrica, que atuam como áreas de recarga, a infiltração ocorre de forma gradual, rebaixando o nível de saturação do maciço (Figura 3).

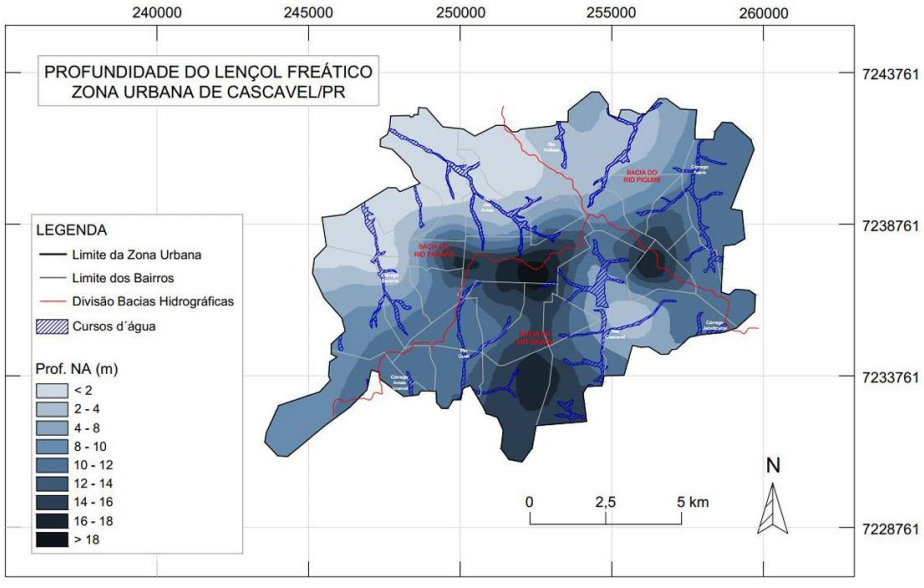


Figura 3. Mapa de profundidade do lençol freático sobreposto à divisão das bacias hidrográficas.

A análise conjunta da altimetria com o modelo interpolado sugere que, se referenciada a um sistema de cotas absolutas em vez de profundidades relativas à superfície do terreno, a superfície piezométrica apresentaria um gradiente muito mais suave, acompanhando o mergulho natural das bacias.

3.2 Topografia do horizonte impenetrável

A profundidade de ocorrência do material impenetrável ao SPT é um indicativo direto da espessura do manto de alteração do solo residual. O mapa gerado demonstrou que o impenetrável se encontra a profundidades menores (solo residual menos espesso) predominantemente nas zonas oeste e norte da cidade, abrangendo parte do Centro e bairros como Neva e Universitário (Figura 4).

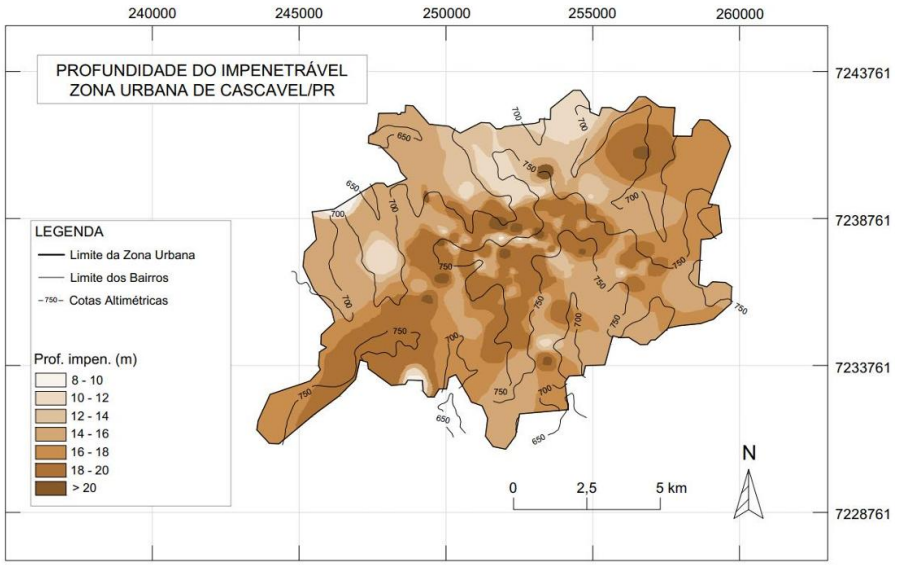


Figura 4. Mapa de profundidade do impenetrável sobreposto à topografia local.

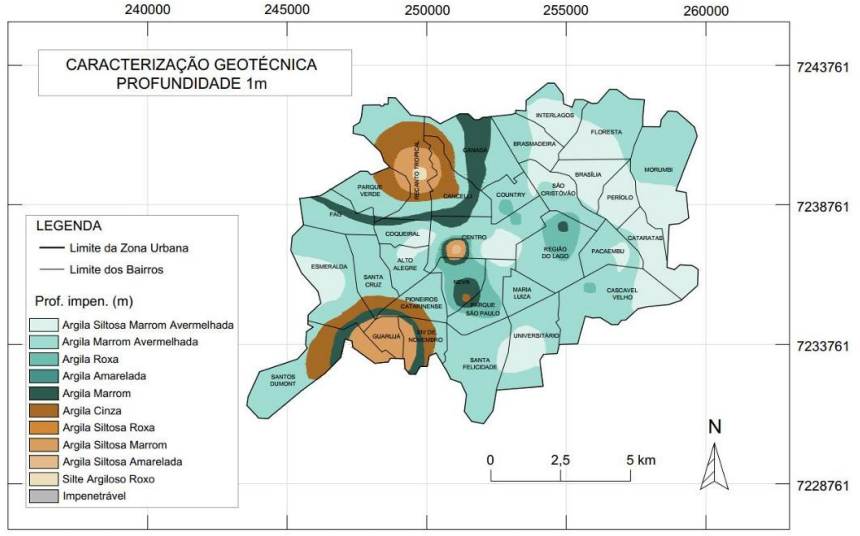
Ao cruzar o modelo preditivo com as curvas de nível, constatou-se uma correlação geomorfológica: as áreas onde o topo da rocha alterada ou sã se encontra a maiores profundidades (indicando espessos pacotes de solo intemperizado) coincidem fortemente com as regiões de maiores cotas altimétricas (divisores de água). Em contraponto, a dinâmica fluvial ao longo do tempo geológico removeu parte do pacote de solo nas regiões de vale, aproximando o impenetrável da superfície.

3.3 Modelagem estratigráfica 3D (Fatias horizontais)

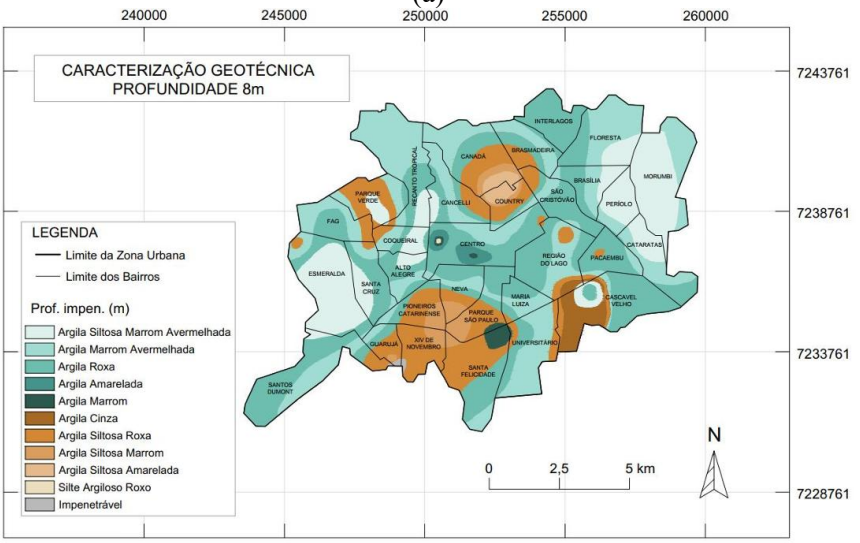
A interpolação metro a metro permitiu visualizar a evolução do intemperismo químico dos derrames basálticos do Grupo Serra Geral que originaram o solo de Cascavel. Observou-se um padrão de transição litológica e adensamento ao longo do perfil em profundidade.

Nos horizontes superficiais (1 a 4 metros), predominam solos argilosos e argilo-siltosos de coloração marrom-avermelhada. A heterogeneidade nessas cotas é maior devido à lixiviação ativa, atividade biológica e intemperismo recente (Figura 5a). À medida que a profundidade avança (5 a 10 metros), ocorre uma homogeneização espacial. A argila marrom-avermelhada perde espaço para a argila roxa e argila siltosa roxa, que se consolidam como a matriz predominante do perfil geotécnico intermediário, formando pacotes de solo mais coesos e menos suscetíveis a variações climáticas superficiais (Figura 5b).

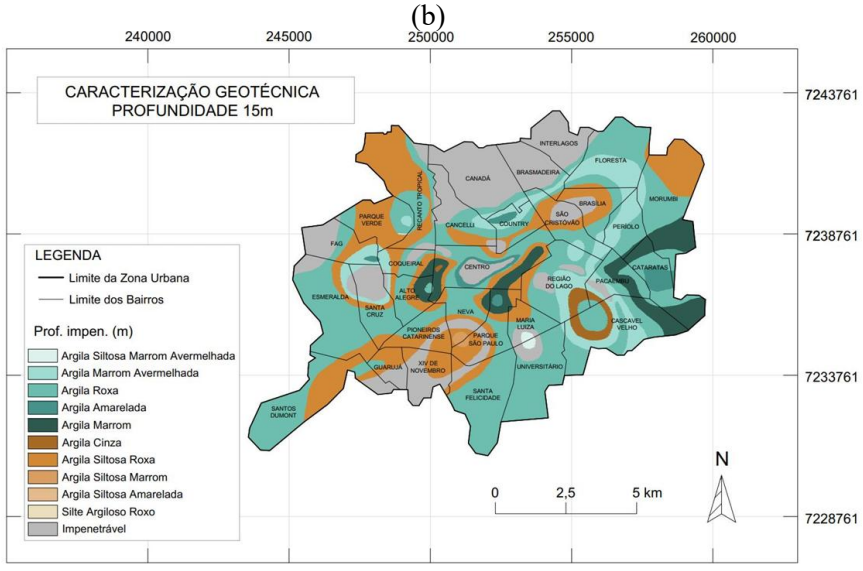
A partir do oitavo metro, iniciam-se os primeiros afloramentos do horizonte impenetrável no modelo (bairros Guarujá e XIV de Novembro). Aos 15 metros de profundidade, a matriz de argila roxa ainda é presente, mas o material impenetrável expande-se, dominando a região norte e central. Esse comportamento atesta a transição gradual do horizonte de solo residual maduro para o horizonte de rocha alterada (saprólito) e, posteriormente, para o maciço basáltico (Figura 5c).



(a)



(b)



(c)

Figura 5. Painel evolutivo da estratigrafia do subsolo urbano: (a) 1 metro de profundidade; (b) 8 metros de profundidade; e (c) 15 metros de profundidade.

4 Considerações finais

A estruturação do banco de dados geoespaciais e a aplicação de técnicas de interpolação por krigagem viabilizaram a elaboração de modelos preditivos consistentes para o subsolo da zona urbana de Cascavel, Paraná e elaboração de malhas de distribuição de materiais inconsolidados em subsuperfície. Da análise dos resultados e da correlação entre as variáveis geotécnicas, destacam-se as seguintes conclusões:

- O mapeamento estratigráfico confirmou a predominância de solos argilosos residuais originários do intenso intemperismo químico dos derrames basálticos do Grupo Serra Geral. Nos horizontes superficiais, predominam as argilas de coloração marrom-avermelhada e amarelada, enquanto em profundidade ocorre a consolidação de argilas roxas, evidenciando uma transição gradual e a homogeneização contínua das camadas. O topo do material impenetrável começou a ser detectado a partir dos 8 metros, expandindo-se significativamente nas cotas inferiores até os 15 metros analisados.
- A profundidade do lençol freático apresentou forte correlação espacial com a topografia e a malha hidrográfica do município. O nível d'água encontra-se a maiores profundidades nas regiões centrais e nos divisores de águas, onde as cotas altimétricas são mais elevadas, apresentando-se progressivamente mais raso nas áreas periféricas e fundos de vale. Esse comportamento indica que a superfície piezométrica absoluta da região tende a ser relativamente homogênea, acompanhando de forma suave o mergulho do relevo.
- A topografia do horizonte impenetrável acompanhou a morfologia do terreno de forma direta. Constatou-se que a espessura do pacote de solo intemperizado é expressivamente maior nas áreas de cotas elevadas. Em contrapartida, nas regiões onde a dinâmica fluvial atuou de forma mais intensa ao longo do tempo geológico, houve remoção de parte do manto de intemperismo, aproximando o material impenetrável da superfície.
- A consolidação espacial dos 361 furos de sondagem em um ambiente SIG unificado provou ser um método eficaz para a representação tridimensional da heterogeneidade do subsolo urbano. Mesmo considerando os desvios estatísticos inerentes ao processo de interpolação em zonas com menor densidade amostral de laudos, o cruzamento contínuo das variáveis espaciais fornece uma base cartográfica robusta, mitigando as incertezas preliminares de projeto e otimizando a tomada de decisão técnica para o dimensionamento de fundações e obras de contenção.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1982). NBR 7250: Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). NBR 6484: Solo: Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio. Rio de Janeiro.

Cavalcante, R. (2015). Apostila de Introdução ao SIG. Pró-Reitoria de Planejamento e Desenvolvimento - UFMG, Mato Grosso.

Fungeo (2020). Sondagem S.P.T. Disponível em: https://www.fungeo.com.br/. Acesso em: 18 março 2025.

Lagacherie, P., McBratney, A. (2006). Digital Soil Mapping: an introductory perspective. Developments In Soil Science Series: Elsevier Science.

Leão, M. F., Paiva, G. V. C. (2018). Mecânica dos Solos Avançada e Introdução a Obras de Terra. Distribuidora Educacional S.A., Londrina.

Lopes, L. L. (2020). Análise de solo por meio de sondagem SPT: estudo de caso de uma residência de dois pavimentos em ambiente urbano. UNIS.

Martinho, F. M. C. (2017). Dimensionamento De Fundações Superficiais E Profundas De Acordo Com Os Eurocódigos - Aplicação a um Estudo de Caso. Dissertação de Mestrado, Instituição Superior de Engenharia do Porto, Porto.

Oliveira, J. (2018). Construção de um banco de dados geotécnicos com base em sondagens SPT e uso de ferramenta SIG: estudo de caso solos do Tocantins, com ênfase na capital Palmas - TO. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas.

QGIS Documentation (2024). Uma breve introdução ao SIG. Disponível em: https://docs.qgis.org/3.34/pt_BR/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html. Acesso em: mai. 2024.

Soares, W. C. (2011). Banco de dados geológico-geotécnicos com base em sondagens à percurssão e uso de SIG: análise espacial da profundidade do lençol freático e do Nspt para obras de fundação em João Pessoa-PB. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo.

Souza, E. G., Bazzi, C. L., Sobjak, R., Hachisuca, A. M. M., Gavioli, A., Betzek, N. M., Schenatto, K., Moreira, W., Mercante, E., Rodrigues, M. (2022). AgDataBox: web platform of data integration, software, and methodologies for Digital Agriculture. In: 15º Internacional Conference on Precision Agriculture, Minneapolis.

Teodoro, L. J. S. (2023). Manifestações Patológicas em Fundações Rasas de Concreto Armado: Uma Revisão de Literatura. Trabalho de Conclusão de Curso, UFMT, Barra do Garças.

Thiesen, S. (2016). Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT: um estudo de caso em Blumenau/SC. Tese de Doutorado, UFSC, Blumenau.

Velloso, D. A. (2010). Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo e fundações. 2. ed. Oficina de Textos, 568 p. São Paulo.