

Elaboração de cartas de viabilidade para fundações em estacas escavadas e hélice contínua utilizando sondagem SPT em Palmas - TO.

Guilherme Alves Morais 1

Mestrando, Universidade de Brasília, Brasília/DF, Brasil, guilherme.alves_97@hotmail.com

Newton Moreira de Souza 2

Professor Associado, Universidade de Brasília, Brasília/DF, Brasil, nmsouza@unb.br

RESUMO: Uma das etapas iniciais ao se planejar adequadamente uma obra civil, é obtenção de dados geotécnicos necessários para o dimensionamento de elementos estruturais de fundação. A partir da realização da sondagem à percussão (SPT), é possível obter dados geotécnicos pontuais que norteiam os projetos de fundações. Para uso dos dados obtidos em sondagens na cartografia geotécnica é necessário criar um banco de dados para gerenciar os dados geotécnicos, além de aplicar uma metodologia de interpolação para estimar valores aproximados dos pontos não estudados. Dentre os métodos de interpolação comumente usados em trabalhos de cartografia geotécnica para se obter valores aproximados podem ser citados o inverso ponderado da distância (IDW), lógica de fuzzy e a krigagem. O trabalho em questão trata-se de um estudo geotécnico realizado em Palmas, capital do estado do Tocantins, para obtenção de informações provenientes de sondagens SPT que auxiliem na criação de um banco de dados que permita a elaboração de cartas de viabilidade à execução de estacas escavadas e estacas hélice contínua monitorada. Os dados foram organizados de modo a permitir seu tratamento e espacialização em um sistema de informação geográfica (SIG) utilizando o método de interpolação IDW. Os resultados desse trabalho fornecem informações úteis na tomada de decisão de trabalhos de engenharia bem como para atualizações do plano diretor. Ressalta-se que os resultados expressos nesse trabalho não eximem a necessidade das investigações de campo exigidas pela NBR 8036 (1983).

PALAVRAS-CHAVE: Sondagem à percussão (SPT). Cartografia geotécnica. Inverso ponderado da distância (IDW). Estacas escavadas. Estacas Hélice Contínua

ABSTRACT: One of the initial steps when properly planning a civil construction project is obtaining geotechnical data necessary for the design of foundation structural elements. Through the Standard Penetration Test (SPT), it is possible to obtain specific geotechnical data that guide foundation projects. To utilize the data obtained from SPT tests in geotechnical mapping, it is necessary to create a database to manage the geotechnical data, as well as to apply an interpolation methodology to estimate approximate values for unstudied points. Among the interpolation methods commonly used in geotechnical mapping to obtain approximate values are the Inverse Distance Weighting (IDW), fuzzy logic, and kriging. The work in question is a geotechnical study conducted in Palmas, the capital of the state of Tocantins, to obtain information from SPT tests to assist in creating a database that allows the development of viability maps for the execution of drilled shafts and continuous flight auger piles. The data were organized to allow for processing and spatialization within a Geographic Information System (GIS) using the IDW interpolation method. The results of this work provide useful information for engineering decision-making as well as for updates to the master plan. It is emphasized that the results expressed in this work do not exempt the need for field investigations required by NBR 8036 (1983).

KEYWORDS: Standard Penetration Test (SPT). geotechnical mapping. Inverse Distance Weighting (IDW). Drilled shafts. Continuous Flight Auger piles.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Soares (2011), os municípios brasileiros não contam com muitas experiências com o uso específico de bancos de dados geotécnicos como instrumento de gestão urbana. Garcia (2017) corrobora a afirmação anterior quando afirma que há ainda poucas informações sobre o solo do estado do Tocantins

obtidas em trabalhos de cartografia geotécnica. Dito isso, é necessária a realização de mais estudos geotécnicos no Tocantins, bem como em sua capital, Palmas.

Mesmo havendo disponibilidade de dados geotécnicos, é comum que suas informações estejam desorganizadas, estando poucas vezes sistematizadas em banco de dados. Isso pode impossibilitar a elaboração de cartas geotécnicas, uma ferramenta que integra as características geotécnicas do terreno e suas possíveis interações com as ações humanas relacionadas ao uso e ocupação do solo.

A NBR 6122 (2019) evidencia o caráter indispensável que a investigação geotécnica tem para o reconhecimento do subsolo para fins de projeto e execução de fundações. Segundo Velloso e Lopes (2010), no desenvolvimento de um projeto de fundações é necessário realizar estudos sobre a topografia do local, dados geológico-geotécnicos, dados sobre construções vizinhas e dados da estrutura a construir. Os dados geotécnicos provenientes de sondagens SPT podem ser utilizados para realização de cartografia geotécnica em uma determinada região, desde que inicialmente seja feito um banco de dados para gerenciá-los, possibilitando também a realização de estimativas de suas características nos pontos não estudados com base no uso de metodologia de interpolação.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo a aplicação de ferramenta SIG para elaborar cartas de viabilidade para fundações em estacas escavadas e hélice contínua utilizando dados provenientes de laudos de sondagem SPT realizados em Palmas – TO.

1.2 Objetivos específicos

- a) Construção de um banco de dados a partir de dados provenientes de sondagens SPT do município de Palmas para utilização em ambiente SIG;
- b) Gerar cartas de viabilidade para fundações em estacas escavadas e hélice contínua utilizando dados provenientes de sondagem SPT:
 - Profundidade do nível d'água para os períodos seco e úmido;
 - Isovalores de NSPT para as camadas de 9 e 11 metros;
 - Orientação quanto à viabilidade executiva para estacas escavadas e estacas hélice contínua para as camadas de 9 e 11 metros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cartografia Geotécnica, banco de dados e SIG

Com o uso das técnicas da cartografia geotécnica é possível elaborar cartas que apresentem visualmente diferentes temas geotécnicos, permitido ao leitor uma rápida visualização da distribuição espacial desses diferentes aspectos da geotecnia apresentados.

Santos (2016) afirma que o sistema de informação geográfica (SIG) organiza e armazena os dados de diferentes formatos (tabelas, shapefiles, kml, kmz, entre outros) em um banco de dados geográficos, onde os atributos descritivos são associados às feições locais. Portanto, quando os sistemas de gerenciamento de bancos de dados estão acoplados em SIG, as informações armazenadas apresentam um atributo específico de coordenada geográfica (dados georreferenciados), tornando-se assim um perfil adequado para implementação de um banco de dados geotécnicos (Soares, 2011).

2.2 Fundações profundas e *Standard Penetration Test* (SPT)

Segundo Hachich et al. (1998), as fundações podem ser divididas entre fundações diretas (superficiais) e indiretas (profundas). Sendo que estão contidas no primeiro grupo de fundações mencionado: bloco, sapata, viga de fundação, grelha, sapata associada e radier. As fundações profundas são divididas em estaca, tubulão e caixão. Ainda há a fundação mista, que associa as fundações superficiais e profundas.

Naves (2018) indica que os dois métodos mais utilizados em fundações profundas, do tipo estaca, ofertados na cidade de Palmas – TO são: estacas escavadas sem revestimento e estacas hélice contínua monitorada (HCM). Sendo assim, o trabalho em questão focará especificamente nas fundações profundas de estacas escavadas mecanizadas com uso de perfuratriz sem a utilização de fluidos estabilizantes e estacas hélice contínua monitorada com equipamento de pequeno porte (limitação de diâmetro de 50cm e profundidade de 18 metros), conforme observância de oferta em Palmas – TO. Por conta de seu método executivo, as estacas escavadas não podem ser executadas abaixo do nível do lençol freático devido ao risco de estrangulamento do fuste. Já o método executivo da hélice contínua possibilita sua execução abaixo do nível do lençol freático. Apesar disso, assim como a estaca escavada, possui a limitação de não perfurar solos que possuam matacões ou rocha sã.

Devido à simplicidade do equipamento, baixo custo e possibilidade de correlação dos resultados obtidos no ensaio em projeto de fundações diretas e profundas, o SPT é sistematicamente realizado no Brasil, seguindo os procedimentos apresentados na NBR 6484 (2020), a qual especifica o método de execução de sondagens de simples reconhecimento de solos com uso de um sistema de sondagem manual e mecanizado. Durante toda a realização do ensaio deve ser observado o nível d'água. Caso ele seja atravessado, a perfuração é interrompida e é feita uma observação de sua elevação. O critério de paralisação deve ser definido pela contratante, de acordo com as necessidades específicas de projeto. Na ausência dessa definição por parte do contratante, as sondagens devem avançar até que seja atingido um dos critérios de paralisação da NBR 6484 (2020):

- Indicação de NSPT iguais ou superiores a 25 golpes em 10 metros consecutivos;
- Indicação de NSPT iguais ou superiores a 30 golpes em 8 metros consecutivos;
- Indicação de NSPT iguais ou superiores a 35 golpes em 6 metros consecutivos; ou
- Quando no ensaio de avanço da perfuração por circulação de água forem obtidos avanços inferiores a 50 mm em cada período de 10 min (o ensaio deve ter duração de 30 min).

2.3 Método Inverso Ponderado da distância (*IDW*)

É possível utilizar de técnicas de interpolação para gerar continuidade no espaço a partir do uso de pontos referenciados. No método inverso ponderado da distância (*IDW*), o peso atribuído às variáveis amostradas é geralmente calculado como o inverso da distância elevado a uma potência, onde essa potência é um parâmetro ajustável que determina a influência da distância no cálculo do peso, ou seja, quanto maior for o valor dessa potência maior será a influência do vizinho mais próximo na estimativa. Segundo Soares (2011), a influência de um ponto amostrado em relação a outro diminui conforme aumenta a distância ao nó do *grid* a ser estimado, de tal forma que quanto mais próximo um ponto está do outro mais seus valores se aproximam. Sendo assim, se atribuem pesos maiores para observações mais próximas do que para observações mais distantes.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Estruturação do banco de dados

A partir de dados provenientes de 1443 laudos de sondagem, realizados no plano diretor de Palmas – TO, foram catalogados com base nas coordenadas dos pontos de sondagem com sistema de coordenadas *UTM* (*Universal Transverse Mercator*) no *Datum* SIRGAS 2000, bem como foram extraídas e estruturadas no programa *EXCEL* as seguintes características geotécnicas: Profundidade do impenetrável (m) e profundidade do nível d'água (m), data da leitura do nível d'água e valores de NSPT. Para o trabalho em questão foram analisadas as camadas do solo até a profundidade do impenetrável de cada sondagem.

As informações dos laudos foram estruturadas em planilha *EXCEL* e os arquivos de banco de dados foram salvos em extensão aceita pelo software *ArcGis*, do tipo CSV (separado por vírgulas) (*.csv). Dito isso, foram utilizados critérios para obtenção dos valores de cada um dos atributos mencionados anteriormente.

Para obtenção dos valores da profundidade do impenetrável à percussão, em metros, foram considerados no estudo apenas os dados em que a paralisação da sondagem ocorreu com base nos critérios estabelecidos pela NBR 6484 (2020). Com isso, não foram considerados na análise da profundidade do impenetrável os dados provenientes de laudos que não o alcançaram por motivos técnicos de execução (fechamento do furo,

perda ou risco de perda do equipamento) ou por necessidades do cliente (paralisação na profundidade contratada, fins de projeto, entre outros).

Para obtenção dos valores da profundidade do nível d'água, não foram considerados os furos onde estavam indicados no laudo ausência de água. Além disso, os dados considerados foram divididos em dois grupos, de forma a realizar a análise nos períodos seco e úmido. Para a região de estudo, a sazonalidade do ano hidrológico em período úmido começa em outubro e termina em abril, sendo que o período seco começa em maio e termina em setembro (MARCUIZZO; GOULARTE, 2013).

Nos casos em que NSPT foi representado no laudo de sondagem SPT por meio de fração, foi necessário realizar uma projeção para obtenção de números inteiros que representassem o índice de resistência à penetração dos últimos 30 cm de cada metro na cravação do amostrador. Foi adotado como critério de análise um valor de NSPT máximo de 50 para as projeções. Optou-se por não considerar no estudo valores de NSPT das camadas abaixo da profundidade do impenetrável, uma vez que não havia evidências da descrição do tipo de solo para essas camadas.

A partir de uma análise dos dados provenientes das sondagens (profundidade do impenetrável e profundidade do nível d'água), tornou-se possível a criação de um atributo que auxilia na análise da viabilidade executiva de estacas escavadas e estacas hélice contínua monitorada. Para cada furo de sondagem foi aplicado o critério de viabilidade (0 ou 1) e esse valor foi especializado para elaboração das cartas de viabilidade.

Considerando a execução de estacas escavadas mecanizadas com uso de perfuratriz sem a utilização de fluidos estabilizantes, os critérios considerados para que tenham viabilidade executiva (atributo definido como 1) foram que a profundidade do impenetrável, bem como do nível d'água nos períodos seco e úmido fossem maiores do que a profundidade da estaca. Ou seja, se a profundidade do impenetrável ou do nível d'água no período seco ou no úmido for inferior a profundidade da estaca escavada, naquele ponto não há viabilidade executiva (atributo definido como 0). Para a execução de estacas hélice contínua monitorada com equipamento de pequeno porte, por conta do seu processo executivo, a água não interfere na viabilidade, portanto mesmo que haja presença de lençol freático em qualquer época do ano, se a profundidade do impenetrável for maior que a profundidade da estaca ela é considerada viável executivamente (atributo 1), mas se a profundidade do impenetrável for inferior a profundidade da estaca hélice, naquele ponto não há viabilidade executiva (atributo definido como 0), haja visto que estacas escavadas e equipamentos de hélice contínua monitorada de pequeno porte não perfuram solos que possuam matacões ou rocha sã.

3.2 Espacialização dos dados

Os bancos de dados geológico-geotécnicos tiveram como subsídio a planilha em *EXCEL* elaborada para digitalização das informações dos laudos de sondagem. Foram criados arquivos do tipo CSV que possibilitaram a incorporação dos atributos da planilha no *ArcGis* para criação de *shapefiles*.

A primeira etapa da sequência executiva para criação de cada *shapefile* consistiu em adicionar dados de cada local de sondagem: “x” (atributo longitude) e “y” (atributo latitude) ao mapa em ambiente SIG. Para a realização das análises referente à profundidade dos NAs nos períodos seco e úmido, valores de NSPT para as profundidades de 9 e 11 metros e orientação quanto a viabilidade executiva de estacas, o campo “z” foi adicionado com seus respectivos atributos. Dessa forma, os bancos de dados foram consolidados em ambiente SIG, possibilitando a gestão e análise dos atributos referentes a cada ponto de sondagem.

Com o banco de dados consolidado, a elaboração das cartas geológico-geotécnicas da área de estudo, foram realizadas por meio do inverso ponderado da distância (IDW), em ambiente SIG com uso da ferramenta “IDW” do programa *ArcGis*.

4 RESULTADOS

4.1 Cartas da profundidade do nível d'água nos períodos seco e úmido

Nas cartas da profundidade do N.A. (figura 1 a e b) é possível observar uma redução da profundidade do N.A. nas proximidades dos ribeirões e córregos que drenam a capital. No período seco observa-se mais áreas com presença de N.A. com profundidade superior à 9 metros em relação ao período úmido. Apesar disso, no período úmido algumas áreas apresentaram N.A. mais profundo do que no período seco, por conta da ausência de pontos de sondagem em algumas áreas do plano diretor durante um período e presença no outro.

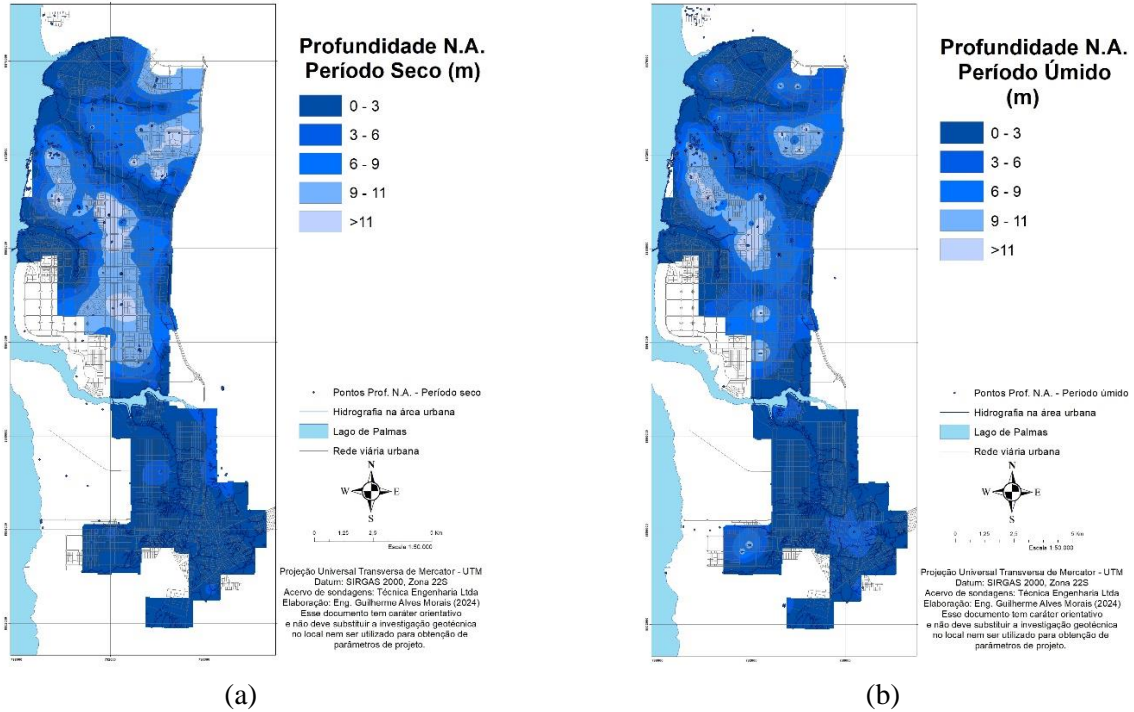


Figura 1. Cartas da profundidade do nível d'água nos períodos (a) seco e (b) úmido em Palmas – TO.

4.2 Cartas de valores de NSPT para as profundidades de 9 e 11 metros

As cartas de NSPT (figura 2 a e b) foram elaboradas para as profundidades de 9 e 11 metros visando apresentar dados que auxiliem na tomada de decisão para fundações profundas. Observa-se que de modo geral os solos de menores resistências (coloração esverdeada e azul) reduziram sua participação na camada de 11 metros quando comparado à camada de 9 metros, havendo crescimento do percentual de área que possui valores altos de NSPT (coloração amarelada e vermelha) na camada de 11 metros.

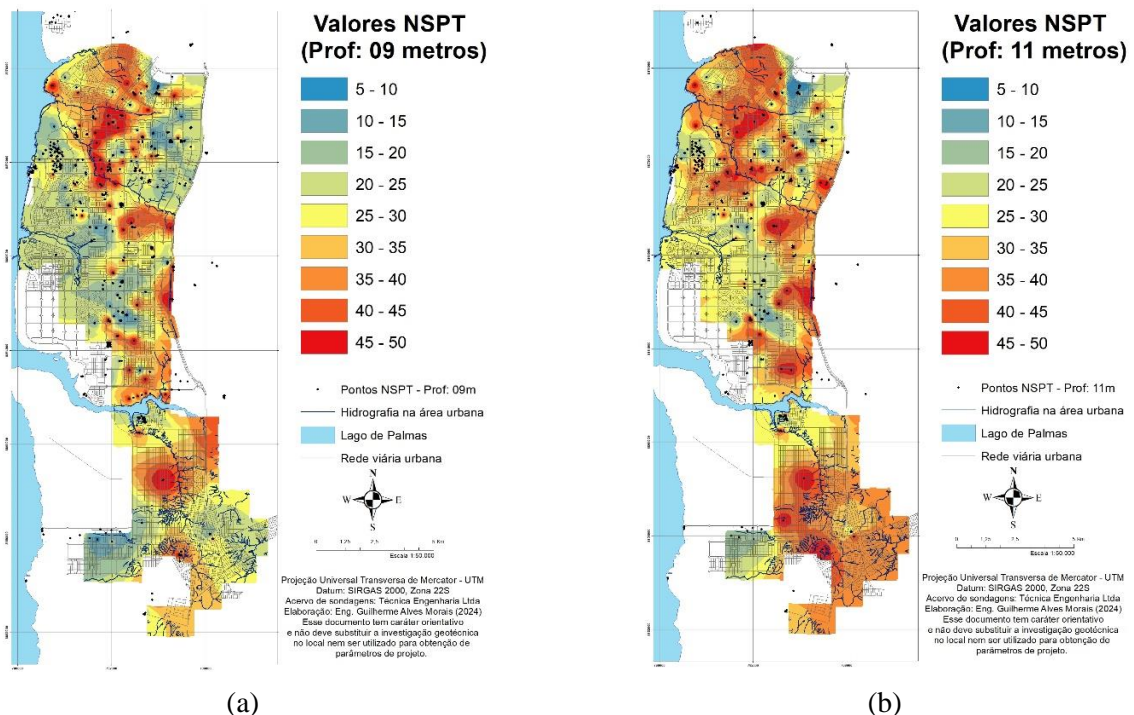


Figura 2. Cartas de NSPT para profundidades de (a) 9 metros e (b) 11 metros em Palmas – TO.

4.3 Cartas de orientação quanto à viabilidade executiva para estacas escavas e estacas hélice contínua

As cartas de orientação quanto à viabilidade executiva para estacas escavadas (figura 3 a e b) e hélice contínua (figura 4 a e b) foram elaboradas para as profundidades de 9 e 11 metros. Para geração das cartas foram inseridos pontos com atributo de valor “0” para pontos sem viabilidade executiva e valor “1” para pontos com viabilidade executiva, de tal forma que os dados foram especializados por meio do método inverso ponderado da distância (IDW), gerando assim uma superfície de valores que variavam entre 0 e 1.

Sendo assim, foram divididos os resultados em três classes com diferentes cores para orientar quanto à viabilidade executiva do tipo de estaca avaliado: a cor vermelha representou os resultados da interpolação entre 0 e 0,3 e indicou a classe “pouco viável”; a cor amarela representou os resultados da interpolação entre 0,3 e 0,7 e indicou a classe “mediamente viável”; e a cor verde representou os resultados da interpolação entre 0,7 e 1 e indicou a classe “muito viável”. A primeira classe indica locais onde deve ser evitado o tipo de fundação estudado, a segunda classe indica locais onde devem-se avaliar *in loco* a viabilidade executiva e a terceira classe indica locais onde o tipo de fundação estudado tende a ser uma boa opção executiva.

Observa-se que para as estacas escavadas e estacas hélice contínua, a participação da classe de pouca viabilidade (vermelho) aumenta sua participação na camada de 11 metros quando comparada a camada de 9 metros. Para as estacas escavadas, o acréscimo de áreas de pouca viabilidade está relacionado à presença de lençol freático, bem como acréscimo dos valores de NSPT a profundidades iguais ou inferiores a 11 metros. Para as estacas hélice contínua, o acréscimo de áreas de pouca viabilidade está relacionado diretamente ao aumento dos valores de NSPT. Quando comparadas as cartas de viabilidade executiva das estacas hélice contínua em relação as estacas escavadas, para uma mesma profundidade, observam-se que há uma quantidade maior de área com viabilidade executiva (verde) para estacas HCM. Isso ocorre porque as limitações das estacas hélice contínuas são menores, uma vez que seu processo executivo permite a execução das estacas mesmo com presença do lençol freático, aumentando sua área de viabilidade executiva quando comparada à estaca escavada.

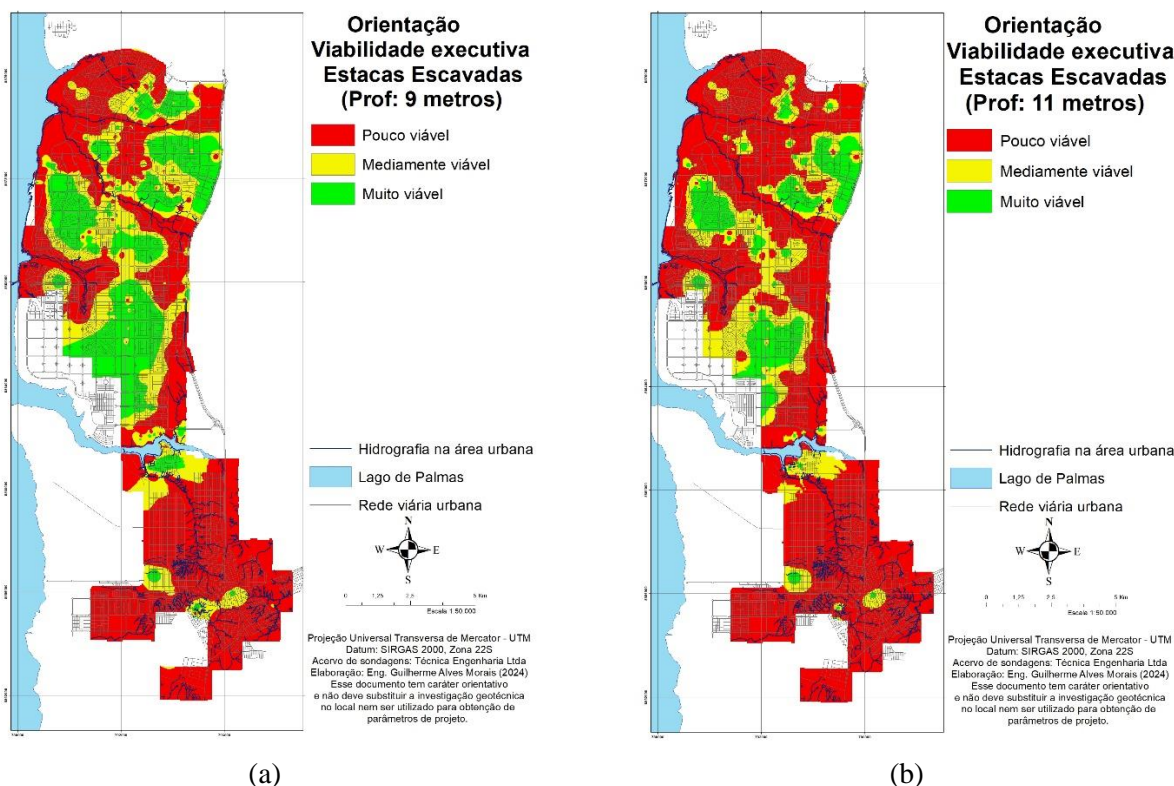


Figura 3. Cartas de orientação quanto à viabilidade executiva para estacas escavadas nas camadas de (a) 9 metros e (b) 11 metros.

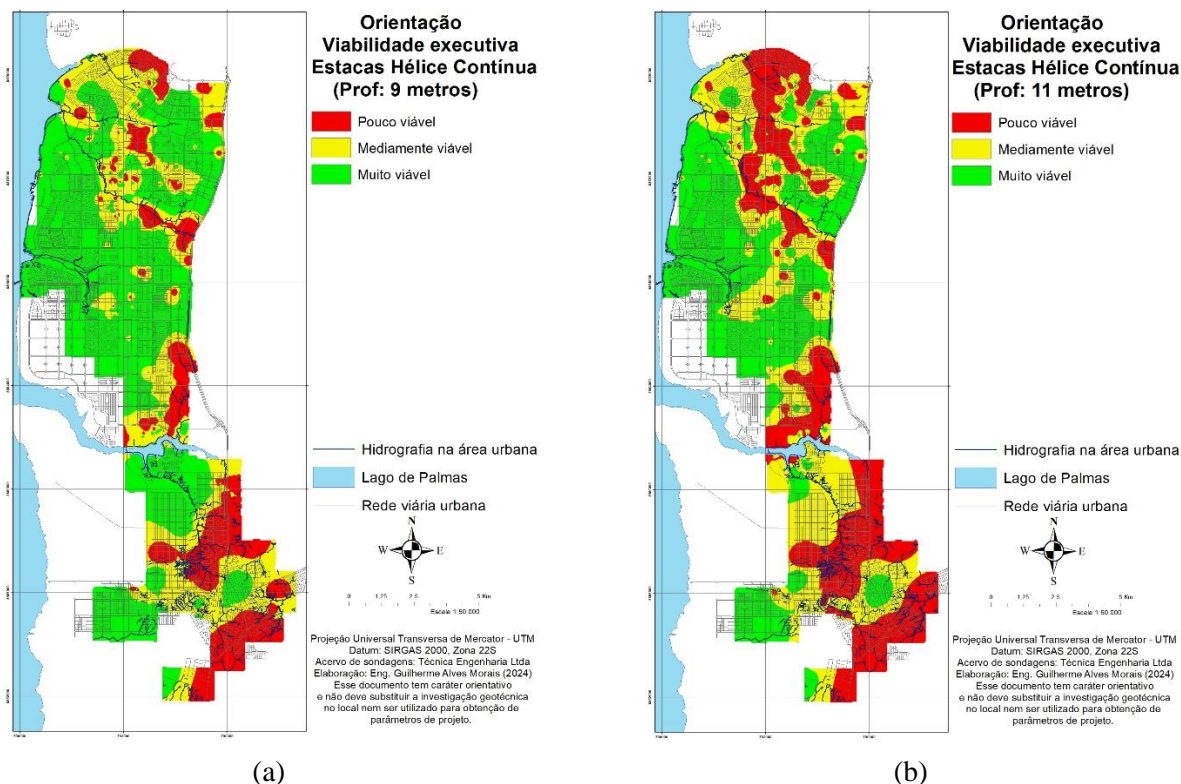


Figura 4. Cartas de orientação quanto à viabilidade executiva para estacas hélice contínua nas camadas de (a) 9 metros e (b) 11 metros.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou a criação de um banco de dados geológico-geotécnico por meio de informações provenientes de laudos de sondagem SPT no plano diretor de Palmas – TO. Esse banco de dados possibilitou a espacialização dos dados pontuais em ambiente SIG, possibilitando a elaboração de cartas de viabilidade para fundações em estacas escavadas e hélice contínua utilizando dados provenientes de laudos de sondagem SPT realizados em Palmas – TO. As cartas elaboradas foram: cartas de profundidade do nível d'água para os períodos seco e úmido, bem como cartas de NSPT por profundidades de 9 e 11 metros e com base nessas informações as cartas de orientação quanto à viabilidade executiva para estacas escavadas e estacas hélice contínua para as camadas de 9 e 11 metros.

Na prática, os resultados desse estudo podem auxiliar no planejamento de futuras construções quanto ao tipo de fundação profunda, assim como na análise preliminar de investimentos, haja vista a possibilidade de se prever, para uma determinada localidade, os valores de NSPT, profundidade do nível d'água, resistência do solo e viabilidade executiva dos dois principais métodos de execução de estacas disponíveis no mercado de Palmas para uma determinada localidade. Por conta das limitações do estudo em questão, sugere-se para estudos futuros a obtenção de mais dados geotécnicos ao longo de todo plano diretor do município de Palmas de modo a expandir a aplicação desse estudo.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, a Técnica Engenharia pelo fornecimento dos laudos utilizados no estudo e ao COBRAMSEG 2024, pela disponibilidade em fornecer esse espaço para apresentar nossos estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro, set. 2019.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6484, *Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, out. 2020.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8036, *Programação de sondagens de simples reconhecimento de solos para fundações de edifícios*. Rio de Janeiro, jun. 1983.
- Garcia, Andressa Faquinelí. *Cartografia Geotécnica para a cidade de Palmas/TO: determinação das cotas de impenetrável e nível freático por meio de sondagem spt*. 2017. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2017.
- Hachich, Waldemar; Falconi, F. F.; Saes, J. L.; Frota, R. G. Q.; Carvalho, C. S.; Niyama, S. *Fundações: Teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.
- Marcuzzo, Francisco Fernando Noronha; Goularte, Elvis Richard Pires. *Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins*. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 06, n. 01, p. 91-99, 15 maio 2013. Bimestral.
- Naves, L. A. V. *Análise comparativa técnico-econômica entre fundações tipo estaca escavada e hélice contínua monitorada para um projeto de edificação situado na Orla 14 em Palmas - TO*. 2018. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2018.
- Santos, Juliana Vieira dos. *Aplicação de SIG para análise do perfil geológico-geotécnico do Campus sede da UFSC e elaboração de cartas de aptidão para fundações utilizando sondagem SPT*. 2016. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2016.
- Soares, Wanessa Cartaxo. *Banco de dados geológico-geotécnicos com base em sondagens à percussão e uso de SIG: Análise espacial da profundidade do lençol freático e do Nspt para obras de fundação em João Pessoa*. 2011. 215 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- Velloso, Dirceu de Alencar; Lopes, Francisco de Rezende. *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.