

# Análise Comparativa de Fundações sob Influência de Diferentes Tipos de Solo e a Importância da Sondagem – Um estudo de Caso

Jhordan Henrique Carvalho Silva

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil, jhorhc@icloud.com

Dra. Marta Pereira da Luz

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil, marta.eng@pucgoias.edu.br

**RESUMO:** Este estudo objetivou apresentar a importância da sondagem SPT (*Standart Penetration Test*) na determinação das características do solo, para o dimensionamento adequado de fundações em projetos de construção civil. Fica claro que a execução inadequada da sondagem pode levar a problemas sérios nas fundações, causando patologias em obras civis. A classificação do solo influencia diretamente na fundação e é uma causa comum de patologias na estrutura. O emprego de perfis de sondagem de obras adjacentes, ou da mesma cidade, para obras diferentes é criticado, já que, apesar de solos aparentemente semelhantes, suas características podem variar significativamente, além de não atenderem a norma. Destarte, o presente estudo se concentra em três edifícios, de estrutura simular, analisando suas fundações em relação às características dos solos em que foram construídos. São apresentados os laudos de sondagem para cada empreendimento, revelando variações entre o que foi previsto nos laudos e o encontrado durante a execução. Essas discrepâncias resultaram em alterações nas fundações, causando impactos financeiros não previstos para a construtora. Isto posto foi possível destacar a influência significativa da sondagem SPT no dimensionamento das fundações e ressaltar a importância de contratar empresas confiáveis para realizar essa etapa crucial, além de que investir mais na sondagem pode evitar custos adicionais e atrasos na execução da obra, evidenciando a relação direta entre uma sondagem adequada e o sucesso do projeto de fundação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fundação; Sondagem; Solo; SPT; Perfil de sondagem.

**ABSTRACT:** This study aimed to present the importance of the survey SPT (*Standart Penetration Test*) in determining soil characteristics, for the adequate dimensioning of foundations in civil construction projects. It is clear that inadequate execution of the survey can lead to serious problems in the foundations, causing pathologies in civil constructions. Soil classification directly influences the foundation and is a common cause of pathologies in the structure. The use of survey profiles from adjacent constructions, or from the same city, for different buildings is criticized, since, despite apparently similar soils, their characteristics can vary significantly, in addition to not meeting the standard. Therefore, the present study focuses on three buildings, with a simulated structure, analyzing their foundations in relation to the characteristics of the soils on which they were built. Survey reports are presented for each project, revealing variations between what was predicted in the reports and what was found during execution. These discrepancies resulted in changes to the foundations, causing unforeseen financial impacts for the construction company. This made it possible to highlight the significant influence of the survey SPT on the sizing of the foundations and highlight the importance of hiring reliable companies to carry out this crucial stage, in addition to investing more in the survey can avoid additional costs and delays in carrying out the work, highlighting the direct relationship between an adequate survey and the success of the foundation project.

**KEY WORDS:** Foundation; Survey; Soil; SPT; Survey profile.

## 1 INTRODUÇÃO

As fundações são elementos responsáveis por transmitir as cargas de toda a estrutura para o solo. Existem fundações diretas, que transferem a carga por sua base e as fundações indiretas, que transferem as cargas pela lateral e sua base (AZEREDO, 1997).

O estudo de identificação do solo por meio de sondagem é imprescindível para se obter informações necessárias para o dimensionamento da fundação, como o tipo de solo, comportamento, profundidade, nível de lençol freático e determinação da resistência do solo às tensões (BELINCANTA, 1998).

Atualmente, o tipo de sondagem mais utilizado na

região centro-oeste, devido a seu baixo custo, a disponibilidade de equipamento, a adequação técnica de execução e a difusão nas empresas prestadores deste tipo de serviço, é a do tipo SPT (*Standart Penetration Test*). Segundo a NBR 6484 (ABNT, 2020), a sondagem SPT determina o índice de resistência à penetração do solo, por meio da quantidade de golpes necessários para a perfuração no solo com o auxílio de um tradoncha.

A classificação do solo influencia diretamente na fundação e é a causa mais frequente de patologias na estrutura. Existem algumas práticas inadequadas durante a execução da sondagem que comprometem o comportamento da fundação (CONSOLI et al., 2015).

De acordo com Consoli et al. (2015), quando se determina um número insuficiente de sondagens, não é possível cobrir diferentes unidades geotécnicas presentes no terreno, sendo essa a causa mais comum de problemas em obras pela falta de informações necessárias.

Outra prática que interfere na fundação é a interpretação inadequada dos resultados da sondagem, adotando valores não representativos ou a não utilização de parâmetros importantes que provocarão desempenho inadequado das fundações. (CONSOLI et al., 2015).

A execução errônea da sondagem gera patologias nas fundações, ocasionando anomalias em obras civis. Os efeitos das patologias podem ser classificados em 3 grupos, sendo danos estruturais àqueles que causam danos à estrutura propriamente dita, danos arquitetônicos àqueles que causam problemas à estética da construção (fissuras, trincas, rupturas etc.) e danos funcionais, que causam efeitos à utilização da estrutura como o refluxo ou a ruptura de esgotos, o emperramento das portas, o desgaste excessivo de elevadores etc. (RIBEIRO, 2021).

Infelizmente, não é incomum verificar aproveitamentos equivocados de perfis de sondagens para obras diferentes, simplesmente porque, aparentemente, trata-se de solo “parecido”. Este tipo de procedimento, além de não atender as normas mínimas de técnica e segurança, expõem a sociedade a riscos econômicos e à vida.

Em vista disto, o objetivo geral deste trabalho é analisar a fundação de três edifícios similares em relação à estrutura, mas com localizações distintas, para verificar como as fundações se relacionam com as características dos solos em

questão, avaliando assim a importância da boa execução de uma sondagem e seu emprego adequado na etapa de projeto, além da interferência dos resultados na execução da fundação.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo irá tratar de três empreendimentos, identificados como A, B e C, localizados no município de Goiânia-GO. Na Figura 1 são apresentadas as localizações dos terrenos e na Tabela 1 são apresentadas as coordenadas geográficas de cada um deles.

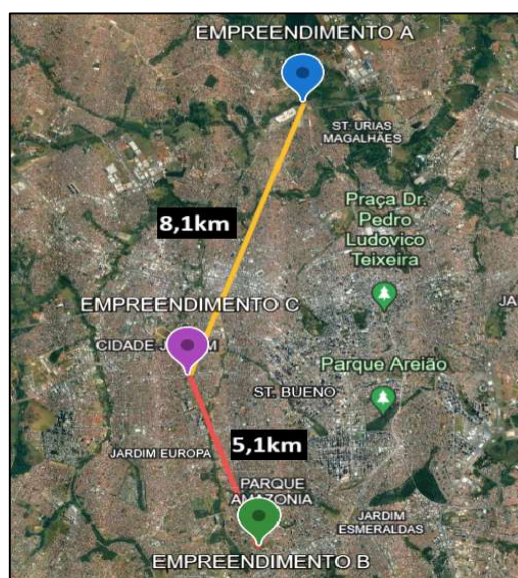


Figura 1. Localização dos Empreendimentos, Google, (2023).

Tabela 1. Coordenadas Geográficas dos empreendimentos.

Dados	Latitude	Longitude
A	16°37'39'' S	49°16'28'' W
B	16°44'24'' S	49°17'03'' W
C	16°41'48'' S	49°18'01'' W

Em relação às características dos edifícios, todos os três são em alvenaria estrutural com 20 pavimentos, uma área de projeção de 329,72m<sup>2</sup>, com 8 apartamentos em cada pavimento, exceto no térreo com 6, totalizando 158 unidades privativas por torre. As áreas construídas e de terreno estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Áreas dos empreendimentos

Dados	Área Construída*	Área Terreno
A	9.393,20 m <sup>2</sup>	10.872,42 m <sup>2</sup>
B	9.393,20 m <sup>2</sup>	9.249,50 m <sup>2</sup>
C	9.617,35 m <sup>2</sup>	4.601,14 m <sup>2</sup>

\* área construída: somatório das áreas construídas de cada pavimento da edificação.

A análise dos perfis de sondagem e de sua distribuição será determinada utilizando a NBR 8036 (ABNT, 1983) que define a quantidade dos furos de sondagem em função da projeção da edificação. Segundo a NBR 8036 (ABNT, 1983), a quantificação dos furos é relacionada com a área do terreno, mas em qualquer circunstância o número mínimo para áreas de projeção em planta até 200 m<sup>2</sup> é de dois furos e em áreas entre 200 m<sup>2</sup> e 400m<sup>2</sup> é de três furos. A NBR 8036 (ABNT, 1983) define ainda que a disposição das sondagens deve ser igualmente distribuída em toda a área.

Além da NBR 8036 (ABNT, 1983), serão utilizadas a NBR 6484 (ABNT, 2020) que descreve a execução de sondagens SPT por meio de dois métodos, manual e mecanizado, e a NBR 6122 (ABNT, 2022) que determina os requisitos para a execução e a elaboração de projetos de fundação, além de definir os tipos de fundações existentes no mercado.

Para chegar no objetivo desejado, serão executadas as seguintes etapas:

- Apresentação e análise dos laudos de sondagens;
- Apresentação e comparação das fundações, incluindo volume de concreto;
- Comparativo entre as fundações de projeto e *as built*, para verificar se houve alterações;
- Análise da sinergia entre o projeto de fundação, *as built* e os laudos com os resultados das sondagens.

### 3 RESULTADOS

A fim de caracterizar os solos, com o intuito de executar os projetos de fundação, foram conduzidos estudos de sondagem SPT nos terrenos dos três empreendimentos.

Para o empreendimento A, o ensaio de sondagem foi realizado em fevereiro de 2022, época chuvosa em Goiânia, e foram feitos 10 furos, sendo dois furos para a projeção da torre. Para efeito de análise, foi considerado o furo denominado “SP-01”, apresentado na Figura 2, que encontra-se

dentro da área de projeção da edificação..

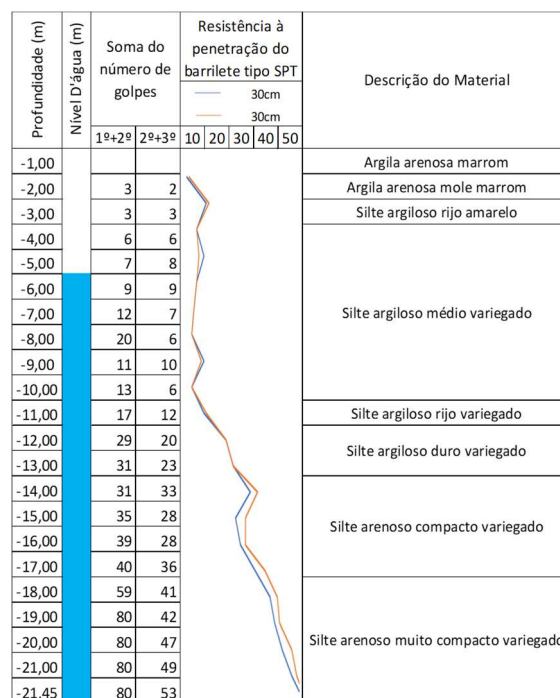


Figura 2. Laudo de Sondagem “SP-01”, empreendimento A.

Para a obra B, o ensaio de sondagem foi realizado em julho de 2020, no período de seca em Goiânia, e foram realizados cinco furos de sondagem, sendo apenas um furo (SP-04) sob a projeção da torre, e o resultado é exibido na Figura 3.

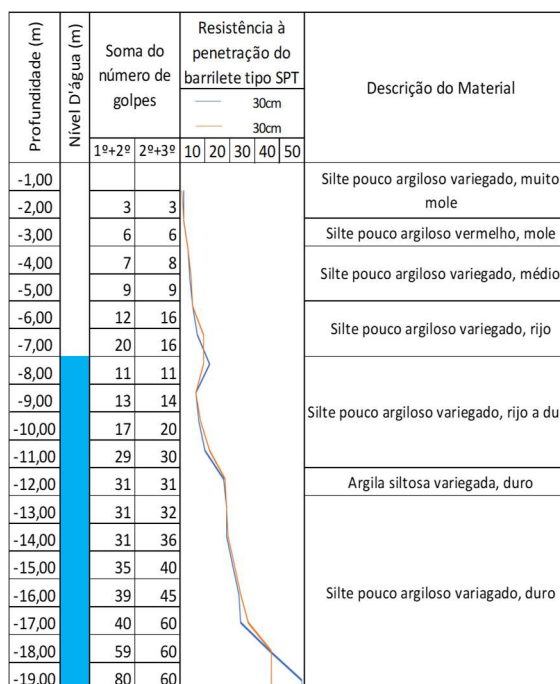


Figura 3. Laudo de Sondagem “SP-04”, empreendimento B.

Por fim, para a obra C o estudo foi efetuado em setembro de 2019, época de chuva, com quatro furos e apenas um furo na projeção da torre, este denominado como SP-02”, divulgado na Figura 4.

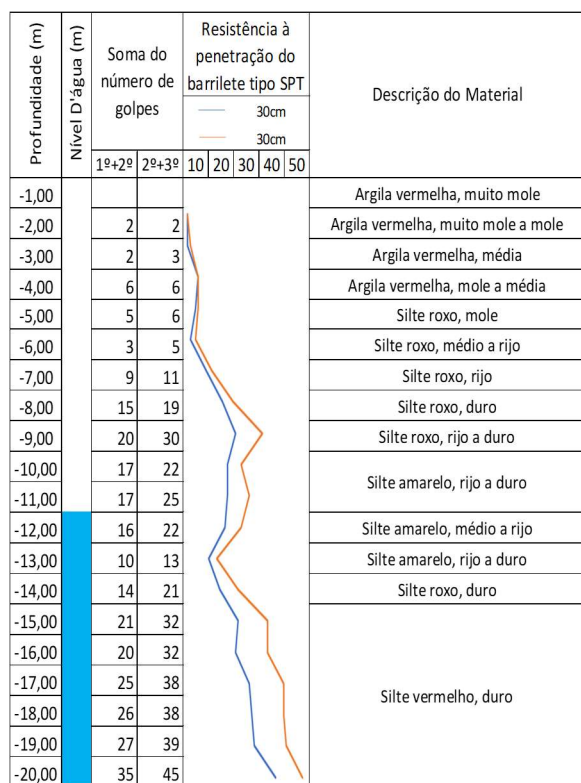


Figura 4. Laudo de Sondagem “SP-02”, empreendimento C.

O dimensionamento do projeto de fundação dos três empreendimentos foi feito utilizando o método de Decourt-Quaresma (1978), que determina a resistência da estaca pela soma da resistência da ponta com a resistência ao atrito lateral. Com isso, os  $N_{spt}$  ao longo da estaca são diretamente influenciáveis no resultado final.

As fundações dos três empreendimentos foram constituídas por estacas tipo hélice-contínua monitorada, dadas pelos níveis d’água dos três estarem muito superficiais. A NBR 6122 (2022) determina que esse tipo de fundação é realizada por meio de um trado helicoidal contínuo com a injeção de concreto pela própria haste central do trado, simultaneamente a sua retirada, com a armadura da estaca sendo introduzida após a concretagem.

O projeto de fundação, que é feito a partir dos resultados da sondagem e dos estudos da estrutura, pode sofrer sensíveis alterações a fim de se adequar às dificuldades de execução ou às necessidades da obra. Nas Tabelas 3, 4 e 5 são apresentadas, respectivamente, a quantidade,

diâmetro e altura das estacas, além do volume de concreto total das fundações. A disposição das fundações, para os três projetos, se manteve inalterada, mantendo o que foi previsto em projeto.

Tabela 3. Características Fundação “A”

Dados	Projeto Inicial	As Built
Nº Estacas	103	99
Diâmetros	14ø50; 60ø60; 29ø70	67ø60; 32ø70
Altura	16 m	11 a 16 m
Volume Concreto	401,62 m³	500,14 m³
Peso Aço	11.903 kg	11.887 kg

Tabela 4. Características Fundação “B”

Dados	Projeto Inicial	As Built
Nº Estacas	99	99
Diâmetros	24ø50; 43ø60; 32ø70	16ø50; 51ø60; 32ø70
Altura	16 m	18 m
Volume Concreto	466,97 m³	537,78 m³
Peso Aço	11.353 kg	11.556 kg

Tabela 5. Características Fundação “C”

Dados	Projeto Inicial	As Built
Nº Estacas	99	99
Diâmetros	16ø50; 50ø60; 33ø70	16ø50; 51ø60; 32ø70
Altura	18 m	18 m
Volume Concreto	539,62 m³	537,78 m³
Peso Aço	11.509 kg	11.483 kg

#### 4 DISCUSSÃO

É perceptível que os empreendimentos A e B tiveram razoáveis alterações em suas fundações durante suas execuções. Na obra A, a diferença foi de +98,52 m³, enquanto na obra B a diferença foi menor, de +70,81 m³. Para se ter uma noção, de acordo com o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, SINAPI, (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2023), o custo unitário por m³ do concreto é igual a R\$507,49, o que geraria um custo adicional por volta de 50 mil reais para o empreendimento A e aproximadamente 36 mil reais para o empreendimento B, desconsiderando mão de obra e aço.

A variação da dimensão das estacas pode ter duas justificativas. A primeira, é que a forma que a

sondagem é executada é diferente da hélice contínua. Enquanto o ensaio é realizado com golpes no solo para perfuração, a perfuratriz que é utilizada para a execução das estacas perfura o solo. Isso pode explicar a dificuldade na obra, mas analisando os resultados do empreendimento C, não é possível concluir que esse seja o único motivo, visto que não teve alteração substancial em sua fundação.

A segunda justificativa, e a mais provável, é que o resultado da sondagem de cada obra não foi conclusiva. Na obra A, o solo encontrado durante a execução foi muito mais rijo e resistente do que o projetado no laudo, o que dificultou a perfuratriz atingir a profundidade solicitada. Ao contrário da obra A, o solo da obra B se mostrou menos rijo e flexível do que o resultado do SPT demonstrou. Por isso, os projetistas decidiram, após fazer prova de carga em algumas estacas pré-determinadas, variar a altura das estacas, para o empreendimento A de 11 a 16m, abrindo uma margem de profundidade para a obra conseguir executar e para o empreendimento B aumentou para 18m, aumentando assim o fator de segurança.

Observando a quantidade de furos de sondagem de cada projeto, pode ser observado que nenhum laudo seguiu as diretrizes da NBR 8036 (ABNT, 1983). Para a área de projeção entre 200 m<sup>2</sup> e 400 m<sup>2</sup> a norma solicita, no mínimo, 3 furos na área da torre, sendo que no laudo do A foram feitos dois furos e no B e C apenas um furo, distoando do previsto na NBR 8036 (ABNT, 1983).

Para finalizar, é possível fazer a comparação da fundação entre os empreendimentos e sua variação. Conforme dito anteriormente, os prédios possuem características estruturais praticamente idênticas, o que se pressupunha que a fundação também seguiria esse perfil. Entretanto, entre os empreendimentos A e B houve uma diferença de 37,64 m<sup>3</sup> em volume de concreto, enquanto as obras B e C não houve diferença.

Isso se dá pela variação do tipo do solo presente em cada laudo. O solo do empreendimento A varia entre um silte argilo e arenoso, tendo o SPT igual a 20 na cota 12 m e apresentando um N<sub>spt</sub> médio 30 com desvio padrão de 5,83 até a cota de 18 m. O solo do empreendimento B é predominantemente silte argiloso, com o SPT alcançando 20 na cota 10 m com N<sub>spt</sub> médio igual a 31 e desvio padrão de 4,67 até a 15 m. Por fim, o solo do empreendimento C é variado entre argila e silte, tendo o SPT maior que 20 na cota 9 m, mas com N<sub>spt</sub> médio de 26,11 com um desvio padrão de 7,11 até a cota de 17 m.

A execução dos projetos de fundação dos empreendimentos ocorreu na seguinte ordem: A, B e C. Como o projetista é o mesmo para os três, ele preferiu padronizar a fundação do C com o B, pois os solos são parecidos então o resultado positivo do B seria útil para o C.

## 5 CONCLUSÃO

Foi possível observar, no trabalho, a influência que a sondagem SPT tem no dimensionamento das fundações dos empreendimentos analisados. Os números de N<sub>spt</sub> que não representaram corretamente o solo nos laudos geraram diferenças na fundação proposta pelo projetista, causando um custo adicional não previsto pela construtora, aumentando também o prazo de execução.

Além disso, deve-se destacar a importância de se realizar sondagem para fazer um projeto, mesmo que os empreendimentos possuam características estruturais idênticas, visto que cada área tem suas particularidades de perfil de sondagem que influenciam diretamente sobre o projeto de fundação. Não deve haver “aproveitamentos”, mesmo em áreas vizinhas. Embora não seja aconselhável, os projetos dos empreendimentos B e C foram padronizados e isso só foi possível tendo os laudos e a análise dos resultados permitindo a repetição. Sem a sondagem, essa padronização seria feita de forma irresponsável, pois não se teria conhecimento suficiente para tal. Ressalta-se que a padronização foi feita de modo a conduzir as obras para o maior fator de segurança, o que incorreu em um aumento de aproximadamente 2,2% no empreendimento A e 1,8% no empreendimento B.

É recomendável a solicitação de experiência técnica comprovada na contratação de empresas de sondagem, de modo a garantir maior e confiabilidade para a realização do serviço. Um maior investimento nesta etapa pode evitar conflitos no momento da execução da obra. Em termos de orçamento, enquanto a sondagem simboliza em torno de 0,13% do orçamento total da obra, a fundação é aproximadamente 3,8%, já a economia com um projeto aderente à realidade do campo pode variar substancialmente, caso a caso, como o exposto neste documento.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 6122: *Projeto e execução de fundações*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de

Janeiro, 2022. 108 p.

ABNT. NBR 6484: *Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Associação Brasileira De Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2020. 28 p.

ABNT. NBR 8036: *Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1983. 3 p.

AZEREDO, Hélio Alves de. *O Edifício até sua cobertura*. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1997. 187 p.

BELINCANTA, Antonio. *Avaliação de Fatores Intervenientes no Índice de Resistência à Penetração do SPT*. 1 v. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil: Relatório de Insumos e Composições*. Caixa Econômica Federal, Goiás, 2023.

CONSOLI, Nilo Cesar; MILITITSKY, Jarbas e SCHNAID, Fernando. *Patologia das Fundações*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 244 p.

DECOURT, Luciano; QUARESMA, Arthur Rodrigues. *Capacidade de Carga de Estacas a partir de Valores SPT*. In: *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, 6. ed. Rio de Janeiro, 1978.

GOOGLE. *Software Google Earth®*, 2023.

RIBEIRO, Natalia Maria Mendes. *Patologias Estruturais Decorrentes da Fundação*. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências Jurídicas e Sociais Aplicadas, Mato Grosso, 2021.