

IMPACTO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS NO PROJETO ESTRUTURAL: ESTUDO DE CASO DE ENSAIOS SPT NA CIDADE DE BOA VISTA

Felipe Amarante Araújo
Engenheiro Civil, Boa Vista, Brasil, felipeaaraujo@outlook.com

Arine Santos Agrella
Engenheira Civil, Boa Vista, Brasil, arine1903@gmail.com

Mariana Ramos Chrusciak
Professora Adjunta, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, Brasil, mariana.chrusciak@ufrr.br

Ricardo de Melo Rocha
Engenheiro Civil, P3 Engenharia, Boa Vista, Brasil, rocharicardo00@gmail.com

RESUMO: Softwares de dimensionamento estrutural são fundamentais para projetistas, permitindo análises dos elementos estruturais, dentre eles, a fundação. Para validar este dimensionamento, são utilizados ensaios no solo, visando descobrir algumas de suas propriedades e garantir mais segurança no projeto. No entanto, o mercado de sondagens no estado de Roraima não é valorizado, sendo negligenciado pelo desconhecimento da importância e busca por economia. Nesse cenário, este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto dos ensaios de sondagem em um projeto de uma residência unifamiliar em Boa Vista, sendo analisado duas situações, a primeira, em que o projetista teve acesso ao ensaio do solo visando o dimensionamento da fundação e a segunda, que não teve acesso. Para isso, foram utilizados 10 ensaios tipo SPT abordando diferentes pontos da cidade, para o dimensionamento da fundação tipo rasa. Já para a segunda situação foi realizado um levantamento, para identificar os parâmetros do solo empregados diante da ausência de um laudo de sondagem. Com base nos resultados obtidos, dos 10 laudos disponíveis, apenas 3 atenderam a uma condição de segurança adequada utilizando os dados sem sondagem, mas, ainda assim estão superdimensionados. Para os demais laudos, os valores dos parâmetros utilizados, sem sondagem, refletiram uma visão otimista do solo, não condizente com a realidade, transformando a estrutura em um potencial cenário para patologias, colocando em risco a segurança da edificação.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio SPT, Fundação, Projeto Estrutural.

ABSTRACT: Structural sizing software is essential for designers, allowing analysis of structural elements, including the foundation. To validate this design, soil tests are used, aiming to discover some of its properties and ensure greater safety in the project. However, the survey market in the state of Roraima is not valued, being neglected due to lack of knowledge of its importance and the search for savings. In this scenario, this work aims to evaluate the impact of survey tests on a project for a single-family residence in Boa Vista, analyzing two situations, the first, in which the designer had access to the soil test aiming at sizing the foundation and the second, which did not have access. For this, 10 SPT tests were used covering different points of the city, to design the shallow foundation. For the second situation, a survey was carried out to identify the soil parameters used in the absence of a survey report. Based on the results obtained, of the 10 reports available, only 3 met an adequate safety condition using data without probing, but they are still oversized. For the other reports, the values of the parameters used, without surveying, reflected an optimistic view of the soil, not consistent with reality, transforming the structure into a potential scenario for pathologies, putting the safety of the building at risk.

KEYWORDS: SPT Test, Foundation, Structural Project.

1 INTRODUÇÃO

O projeto estrutural de uma edificação desempenha um papel crucial na garantia da segurança, durabilidade e funcionalidade da construção. É ele quem assegura a integridade da estrutura, sendo essencial para o bem-estar dos habitantes da residência. No entanto, é preocupante notar que em residências consideradas mais simples, a importância desse tipo de projeto ainda é subestimada. Segundo Moraes e Poletto (2018), é comum a execução do processo construtivo sem um projeto estrutural adequado, o que pode resultar em incertezas quanto ao seu dimensionamento.

Além da negligência em relação ao projeto estrutural, a realização de sondagens geotécnicas para determinar as características do solo muitas vezes encontra ainda mais resistência. Esta relutância, observada tanto entre profissionais de engenharia quanto entre clientes, é um equívoco grave, pois subestima a importância do conhecimento prévio do solo. Considerando que toda a estrutura se apoia no solo, é essencial compreendê-lo para garantir a estabilidade e segurança da construção.

Dentre os ensaios de campo empregados pelos engenheiros, destaca-se o ensaio de penetração padrão (SPT), atualmente o mais utilizado no mercado brasileiro e o foco da presente pesquisa. No entanto, apesar de sua importância incontestável e com a norma brasileira (NBR) 6122 (ABNT, 2019) que trata do projeto e execução de fundações em seu item 4.3, enfatize a necessidade imperativa de realizar uma investigação geotécnica preliminar para determinar os parâmetros essenciais para a elaboração de um projeto de fundação, na cidade de Boa Vista existe como prática comum estabelecida pelas empresas de engenharia e entre os clientes, de não realizar ensaios de solo, justificando-se pela suposta redução de custo na obra. No entanto, o que muitos não compreendem é que, devido à falta de conhecimento, os projetistas estruturais frequentemente adotam uma abordagem conservadora, presumindo uma condição de solo de baixa resistência para garantir a segurança do projeto. Isso, por sua vez, pode resultar em custos mais elevados durante a execução da obra.

Nesse contexto, propõe-se uma avaliação do uso de ensaios de sondagem SPT na cidade de Boa Vista, único ensaio que é realizado no estado, como parte do processo de dimensionamento estrutural de uma residência unifamiliar térrea. Analisando se o investimento adicional na realização desses ensaios compensaria de fato para o cliente. Dessa forma, esta pesquisa pretende destacar como o estudo prévio do solo pode impactar positivamente não apenas nos aspectos econômicos do projeto, mas também na confiança e na garantia do empreendimento como um todo.

Para alcançar esses objetivos, serão utilizados laudos de sondagem SPT específicos da cidade de Boa Vista, Roraima, para caracterização do solo e o software Eberick, mais utilizado em Boa Vista, para o dimensionamento da estrutura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Correlação entre N_{SPT} e os parâmetros de resistência do solo

Segundo Schnaid (2012), apesar de sua simplicidade e custo acessível, os resultados da resistência à penetração obtidos por meio do ensaio SPT podem ser empiricamente correlacionados com características geotécnicas do solo que são importantes para o projeto de fundação. Estas análises, utilizando o N_{SPT} considerando a eficiência de energia aplicada do SPT brasileiro, incluem a determinação de duas características fundamentais do solo: ângulo de atrito e coesão. Como referência, segundo Décourt (1989), o Brasil possui a média em torno de 72% de energia aplicada.

Para a estimativa do valor de ângulo de atrito, através de correlações com o N_{SPT} , pode-se utilizar das proposições abaixo:

a) Equação de Godoy (1983):

$$\phi = 28^\circ + 0,4 * N_{SPT, corrigido} \quad (1)$$

b) Equação de Teixeira (1996):

$$\phi = \sqrt{20 * N_{SPT, corrigido}} + 15 \quad (2)$$

Já para a estimativa do valor da coesão não drenada, foram utilizados os seguintes métodos:

a) Equação de Teixeira e Godoy (1996):

$$c = 10 * N_{SPT, corrigido} \quad (3)$$

b) Equação de Berberian (2015):

$$c = \frac{N_{SPT, corrigido}}{0,35} \quad (4)$$

Por fim, necessita-se encontrar o valor da tensão admissível do solo, que para este trabalho, utiliza-se os métodos semiempíricos, segundo item 7.3.3 da NBR 6122 (ABNT, 2019) “(...) relacionam resultados de ensaios (tais como o SPT, CPT etc.) com tensões admissíveis ou tensões resistentes de cálculo.”

TEIXEIRA (1996) apresentou as Equações 5 e 6, cada uma destinada a um tipo de solo específico. A Equação 5, conforme descrito por Alonso (s.d., p. 8) é aplicável “Para os solos argilosos pouco a mediamente plástico a tensão admissível, deduzida a partir da fórmula de Skempton, com coeficiente de segurança 3 (...)”. Essa formulação é aplicável quando o valor de N_{SPT} , para energia brasileira, está compreendido entre 5 e 25.

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{50} (MPa) \quad (5)$$

Já para a Equação 6, ALONSO (s.d) diz ser utilizável no caso de solos arenosos, com N_{SPT} entre 5 e 25, Teixeira utiliza a fórmula de Terzaghi com um coeficiente de segurança igual a 4, considerando fundações quadradas apoiadas em solo com peso específico igual a 1,8 tf/m³ (18 kN/m²) a uma profundidade de 1,5 m.

$$\sigma_{adm} = 0,05 + (1 + 0,4 * B) \frac{N_{SPT}}{50} (MPa) \quad (6)$$

A Equação 10, proposta por De Mello (1975) diferentemente das demais, não faz distinção entre o tipo de solo, tendo como única condição o valor do N_{SPT} , para energia brasileira, está entre 4 e 16.

$$\sigma_{adm} = 0,1 * (\sqrt{N_{SPT}} - 1) (MPa) \quad (7)$$

2.2 Software Eberick

Um projeto estrutural tem a função e responsabilidade de proporcionar segurança e conforto aos indivíduos que nela habitam, através de cálculos estabelecidos e softwares é garantido que a estrutura suporte, com segurança, todas as solicitações sem sofrer deformações excessivas.

O software Eberick foi desenvolvido em 1996, apenas 7 anos após a fundação da AltoQi, empresa responsável por sua concepção. O programa permite o lançamento dos elementos estruturais, através de uma prévia caracterização das propriedades dos materiais utilizados, "O Eberick utiliza o modelo de pórtico espacial e grelha 3D para análise dos esforços e deslocamentos utilizados no dimensionamento dos elementos estruturais" (ALTOQI, 2008).

Feito o lançamento correto destes elementos, inicia-se a análise da estrutura, “feita pelo método matricial da rigidez direta, cujo objetivo é determinar os efeitos das ações na estrutura para que possam ser feitas as verificações dos estados limites últimos e de utilização” (ALTOQI, 2008, p. 9). É através desta análise que ocorre de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) o dimensionamento da estrutura seguindo os cuidados exigidos. Como foco deste trabalho, para o dimensionamento da sapata no software, é necessário informar algumas características do solo de acordo com o seu tipo de solo, conforme Figura 1, sendo que para o tipo de solo argiloso, pode-se adicionar apenas o valor de coesão e para um solo arenoso, apenas um ângulo de atrito. Com estes valores, seu dimensionamento é feito a partir das verificações estruturais a serem atendidas, como pressão admissível, deslizamento e tombamento.

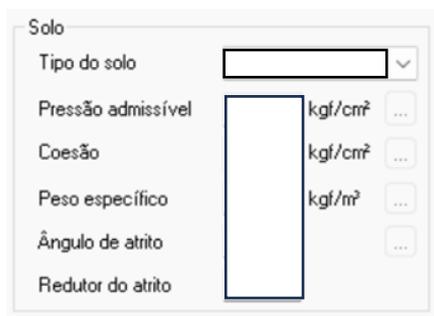


Figura 1. Parâmetros requeridos

3 METODOLOGIA

O primeiro passo constituiu-se no levantamento de laudos de sondagem SPT de diferentes localidades na cidade, conforme Figura 2, que foram disponibilizados por uma empresa na cidade de forma aleatória. Com os laudos, foi possível realizar sua análise, que foi crucial para coletar dados fundamentais requeridos pelo software para o prévio dimensionamento da fundação, considerando o N_{SPT} disposto nos laudos de sondagem que através de interpretações teóricas, empíricas e semiempíricas foi possível obter os parâmetros do solo.

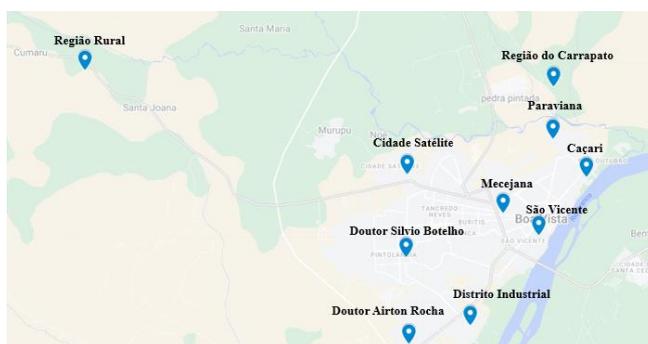


Figura 2. Locação dos furos SPT

Em seguida, foi realizado o posicionamento dos elementos estruturais dentro do software para então realizar o primeiro dimensionamento não considerando nenhum laudo de sondagem, ou seja, o projetista não realizou o ensaio SPT. Para isso, adotou-se valores comumente utilizados por engenheiros de Boa Vista para os parâmetros do solo, que conforme conversas informais obteve-se os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros utilizados pelos engenheiros entrevistados

	Tipo de solo mais adotado	σ_{adm} (kgf/cm ²)	ϕ	γ (kgf/m ³)	c (kgf/cm ²)
Engenheiro 1	Coesivo	1,25	30°	1600	0,5
Engenheiro 2	Coesivo	1,4	33,5°	1600	0,35
Engenheiro 3	Coesivo	1,5	30°	1600	0,5
Média	Coesivo	1,38	31,17°	1600	0,45

Após realizado todas as análises estruturais necessárias, obteve-se, conforme Figura 3, a seguinte locação dos pilares.

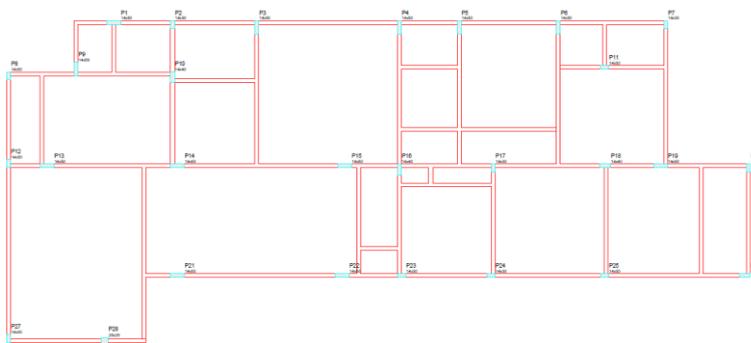


Figura 3. Planta de localização dos pilares

Ademais, conforme Tabela 2, foi possível extrair as cargas dos pilares que chegam até as fundações.

Tabela 2. Planta de carga nas fundações

PILAR	Fz (tf)	Mx (kNm)		My (kNm)	
		Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
P1	5,70	3	-4	10	-4
P2	6,50	11	-9	1	-2
P3	18,30	20	-34	0	-3
P4	16,60	41	-24	3	0
P5	13,20	26	-32	1	-1
P6	14,40	40	-27	1	-1
P7	8,20	14	-9	2	0
P8	3,00	9	-5	0	-1
P9	8,30	18	-23	2	-2
P10	12,90	22	-16	0	-2
P11	12,10	5	-1	3	-1
P12	4,80	11	-4	1	-2
P13	12,40	4	-1	1	-2
P14	24,40	5	-4	5	-7
P15	21,00	11	0	7	-10
P16	14,90	24	-13	0	-3
P17	18,90	9	-8	1	-2
P18	15,90	5	-5	7	-3
P19	13,60	9	-2	3	-12
P20	7,50	14	-9	2	0
P21	17,50	5	-3	7	-6
P22	13,00	7	0	4	-8
P23	7,40	5	0	2	-2
P24	11,80	4	-1	1	-2
P25	14,90	7	-2	0	-3
P26	11,50	7	-3	7	0
P27	6,70	6	-5	1	-2
P28	7,20	9	-4	1	-3

O próximo passo seguiu o mesmo sentido lógico do anterior, contudo, baseia-se na condição que o projetista realizou o ensaio e precisa utilizar a sapata como tipo de fundação. Para isso, será utilizado os dez laudos de sondagens com seus respectivos parâmetros para realizar o dimensionamento de dez diferentes projetos estruturais. Como última etapa, foi feito o orçamento dos onze projetos estruturais: dez com o ensaio SPT e um sem. Considerou-se o consumo de aço, volume de concreto e área de fôrma, a fim de se quantificar se haveria uma economia ou não caso o ensaio de sondagem SPT tivesse sido realizado, entre os projetos dimensionados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise dos laudos SPT

Utilizando as equações apresentadas para os laudos de sondagem SPT dos bairros, foi possível obter os resultados conforme Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros retirados dos laudos SPT

Região	Tipo de solo	N60	σ_{adm}	c	ϕ
Cidade Satélite	Argiloso	4	1	0,11	-
Região do Carrapato	Arenoso	12,4	2,52	-	30,75°
São Vicente	Argiloso	18	3,6	0,51	-
Paraviana	Argiloso	4,8	1,19	0,14	-
Caçari	Argiloso	5,2	1,28	0,15	-
Região Rural	Argiloso	14	2,75	0,4	-

Após realização do levantamento de dados, constatou-se que os laudos de sondagens obtidos nos bairros Doutor Airton Rocha e Doutor Silvio Botelho não possuem N_{SPT} mínimo nas camadas iniciais para que seja possível o uso de soluções em fundações rasas para edificação proposta. Além disso, também se verificou que os bairros Mecejana e Distrito Industrial, ao fazer o N_{SPT} para seus furos caem nas mesmas condições do bairro Cidade Satélite. Na falta dos valores mínimos nos outros furos, não se contabilizou estes bairros.

4.2 Análise do dimensionamento da fundação

Nas Figuras 4 a 6, são apresentados os resultados dos dimensionamentos comparados a metodologia sem realização de investigação geotécnica. Neles, são apresentados os resultados em termos de volume de concreto, kg de ferro e área de fôrma, que são os materiais que mais refletem no orçamento de projetos de fundação em sapata na construção civil.

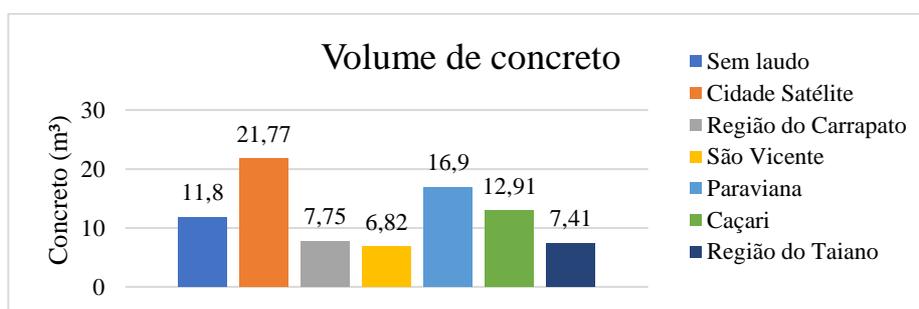


Figura 4. Comparativo de concreto

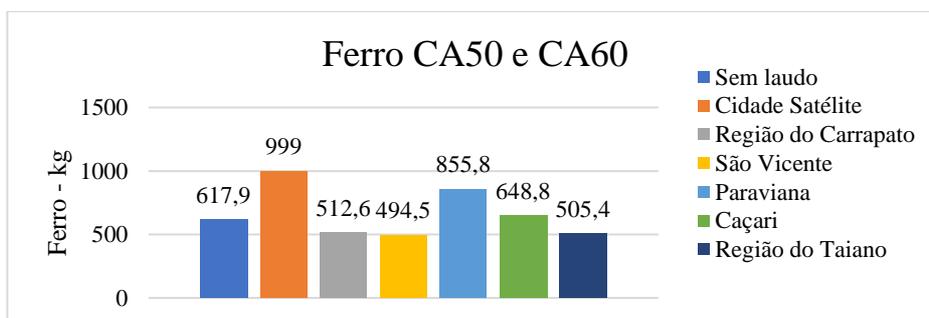


Figura 5. Comparativo de ferro

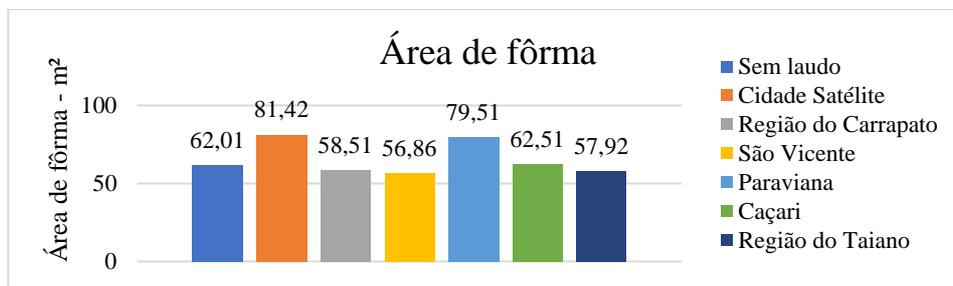


Figura 6. Comparativo área de fôrma

Como observado nas Figuras acima, há uma significativa disparidade dependendo dos valores empregados (que dependem do local e sondagem avaliada), apesar da adoção da opção de metodologia sem realização de investigação geotécnica estar na média entre os valores obtidos, constata-se que, dos seis bairros, três obtiveram resultados superiores, ou seja, se nessas regiões ensaios geotécnicos não fossem realizados, os projetos estariam contra a segurança técnica, já que pelas características do solo local, seria necessário sapatas maiores. Além disso, os três restantes obtiveram resultados inferiores, ou seja, o solo apresenta uma qualidade melhor do que a imaginada, elevando o custo da obra.

4.3 Orçamento

Após concluir o dimensionamento, cada projeto resultou em uma tabela detalhando os materiais a serem empregados na fundação. Ao considerar o peso do ferro, o volume de concreto e a área de fôrma, foi possível utilizar o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Este sistema dispõe de séries mensais que incluem salários medianos de mão de obra, além de preços medianos de materiais, equipamentos e serviços na construção civil. Por fim, conforme Figura 7, foi possível gerar um gráfico comparativo dos projetos.

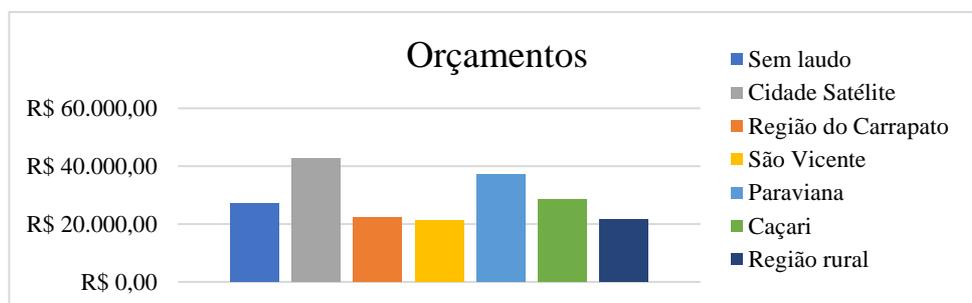


Figura 7. Comparativo dos orçamentos

Com isso, tornou-se possível criar uma tabela economia/excesso, que indica a porcentagem da quantia economizada ou gasta adicionalmente em comparação com o projeto sem laudo de sondagem. A Tabela 4 representa tais valores quando comparados com o projeto sem laudo e ao analisá-la, observa-se que 3 gastariam a mais para fazer um projeto de fundação com laudos. Contudo, o custo mais alto é associado a questão técnica, pois caso o projeto seja executado com a fundação mais barata, é provável que patologias ocorram, resultando em custos mais elevados a longo prazo devido à necessidade de intervenções.

Tabela 4. Porcentagem de economia e excesso

	Economia (%)	Excesso (%)
Cidade Satélite	-	56,55
Região do Carrapato	18,22	-
São Vicente	22,71	-
Paraviana	-	35,83
Caçari	-	4,76
Região rural	19,87	-

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesta pesquisa destacam a impossibilidade de generalizar dados do solo, especialmente durante a elaboração de projetos de fundações. Mesmo considerando que o software somente se utiliza dos valores do solo como forma de realizar as verificações estruturais, não se utilizando de uma correta análise geotécnica, como por exemplo para verificação do recalque, a análise preliminar revelou que, dos 10 laudos disponíveis, apenas 8 atendem as condições estabelecidas para uso de soluções em fundação rasa considerando as formulações semiempíricas. Em outras palavras, mesmo que os parâmetros obtidos sejam imprecisos, 2 laudos não alcançaram o mínimo de resistência à penetração para serem considerados utilizáveis em soluções do tipo sapata. Isso ressalta que um projeto de fundação elaborado nessa localidade, sem considerar dados de sondagem, estaria em completa discordância com as normas técnicas que visam o desempenho adequado e a segurança da edificação.

Dentre os 8 laudos aceitáveis, apenas 3 possibilitam a utilização dos dados obtidos sem sondagem, com uma pequena margem de segurança. Em outros termos, apresentaram uma estimativa de resistência superior àquela utilizada. Nestes casos, os valores dos orçamentos calculados para fundações aumentariam os custos da obra, resultando em despesas desnecessárias que poderiam ser evitadas por meio de ensaios de sondagem.

Contudo, ao comparar os 5 laudos restantes com os valores comumente utilizados, estes se mostraram ineficazes ao tentar se aproximar dos reais valores obtidos. Ao observar que uma condição otimista de solo foi adotada, quando, na realidade deveria ser considerado um solo com baixa resistência inicial, destaca-se que os valores de orçamento do projeto sem laudo são mais acessíveis. No entanto, essa economia inicial não reflete a realidade do local, que prejudica a eficiência técnica do projeto. Neste sentido, a pesquisa mostra que investir em um laudo de sondagem representa a diferença entre um projeto bem elaborado, que leva em consideração todos os critérios de segurança e desempenho, e um projeto que busca economia às custas do verdadeiro comportamento do solo, e da segurança da construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. A; Oliveira, R. M. M.. (2018.). *Estimativa do Ângulo de Atrito e Coesão Através de Índices de Resistência Obtidos pela Sondagem SPT em Solo Laterítico e Colapsível Característico da Cidade de Cascavel no Estado do Paraná*. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/download/13282/209209212556/20920921644>>. Salvador.
- Alonso, U. R. (2019). *Exercícios de fundações*. São Paulo.
- Alonso, U. R. (1990). *Previsão e controle das fundações: Uma introdução ao controle de qualidade em fundações*. São Paulo.
- Alonso, U. R. (s.d.). *Projeto e execução de fundações rasas: Notas de aula XVI SAENG*. Boa Vista.
- AltoQi (2008). *Eberick V6: Documentação Técnica – Módulo Master*. Florianópolis.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1996). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484. *Sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Marques, A. G; Marques, J. A; Marques, R. F. (2015). *Métodos de investigação do subsolo*. Maceió.
- Moraes, L. G; Poletto, S. F. S. (2018) *A importância de um planejamento estrutural para a construção de uma edificação*. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/importancia-de-um-planejamento-estrutural-para-construcao-de-uma-edificacao>>. Acesso em: 21 mai. 2023.
- Schnaid, F; Odebrecht, E. (2012). *Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações*. São Paulo.