

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS – SANTA LUZIA

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Lívia Estevam Tobias

**ESTUDO DE CASO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: comparação entre Provas de  
Carga Convencionais e Bidirecional**

Santa Luzia

2024

LÍVIA ESTEVAM TOBIAS

**ESTUDO DE CASO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: comparação entre Provas  
de Carga Convencionais e Bidirecional**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Minas Gerais - Campus Santa Luzia  
para obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M. Sc. Marcos Vinícius  
Vieira Pereira

Santa Luzia

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T629e Tobias, Livia Estevam.

Estudo de caso na construção civil: comparação entre provas de carga convencionais e bidirecional / Livia Estevam Tobias. - 2024.

37 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Santa Luzia, 2024.

Orientador: Prof. M. Sc. Marcos Vinícius Vieira Pereira.

1. Fundações (Engenharia). 2. Prova de carga estática. 3. Prova de carga bidirecional. 4. Estudos de viabilidade. I. Pereira, Marcos Vinícius Vieira Pereira, orient. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Santa Luzia, MG. III. Título.

CDU: 624.15

Elaborada pela Biblioteca do IFMG campus Santa Luzia



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**Campus Santa Luzia**  
**Diretoria de Ensino, Pesquisa e Extensão**  
**Docência Eixo Tecnologias- TEC 2 (Tecnologias, Estruturas)**  
Rua Érico Veríssimo, 317 - Bairro Londrina - CEP 33115-390 - Santa Luzia - MG  
3136343910 - www.ifmg.edu.br

## ATA DE DEFESA DO TCC

Aos sete dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e quatro, às dezesseis horas, se reuniu na sala virtual do Google Meet a banca composta pelo Prof. Marcos Vinicius Vieira Pereira (orientador), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Santa Luzia; Prof. Hudson Cleiton Reis Pereira (avaliador interno), Alysson Santos Resende (avaliador externo), para avaliar o Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil intitulado "ESTUDO DE VIABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: comparação entre Provas de Carga Convencionais e Bidirecional", apresentado pela discente **Lívia Estevam Tobias**. Após apresentação e arguição, considera-se a estudante **aprovada** com nota **89,7**. A estudante, terá o prazo de 20 dias para realizar as correções sugeridas pela banca e enviar a versão final ao orientador, para que possa ser anexada ao processo do SEI, sendo a verificação das modificações sugeridas de responsabilidade do orientador. O não envio da versão final corrigida implicará na impossibilidade de solicitação do diploma por parte da discente. Nada mais havendo a tratar a defesa foi encerrada às dezoito horas e eu, Marcos Vinicius Vieira Pereira lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os membros da banca e pela estudante.

Santa Luzia, 08 de fevereiro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Vinicius Vieira Pereira, Professor**, em 08/02/2024, às 16:32, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Hudson Cleiton Reis Pereira, Professor**, em 08/02/2024, às 17:24, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Alysson Santos Resende, Usuário Externo**, em 09/02/2024, às 13:58, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Lívia Estevam Tobias, Usuário Externo**, em 09/02/2024, às 19:47, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1827028** e o código CRC **35FB8C95**.

## RESUMO

Garantir a segurança e a eficiência das estruturas construídas, mantendo um equilíbrio entre qualidade e custo, é um desafio constante na indústria da construção civil. Nesse contexto, os estudos de viabilidade desempenham um papel crucial ao fornecer percepções fundamentais para a tomada de decisões. O presente trabalho se concentra em um aspecto vital desses estudos: a comparação entre provas de carga convencionais e provas de carga bidirecionais como métodos de avaliação da capacidade de carga de fundações e estruturas. A prova de carga é uma técnica utilizada para avaliar a capacidade de carga e a integridade de estruturas, visando garantir sua segurança e preservação, o que a torna de suma importância na execução dos projetos de fundações. Os ensaios usualmente utilizados são os estáticos e os dinâmicos e o principal objetivo deste estudo é analisar e avaliar as características das provas de carga bidirecionais, como uma metodologia alternativa. No contexto da constante busca pelo equilíbrio entre qualidade e custo na construção civil, este trabalho apresenta um estudo de caso comparando os valores para uma mesma obra localizada em Canaã dos Carajás, onde a equalização dos orçamentos recebidos e levantamento de custos revela uma redução de 10% ao se comparar a prova de carga convencional com a possibilidade da bidirecional. Uma compreensão aprofundada desse teste permitirá que os profissionais do setor escolham a abordagem mais adequada de acordo com as particularidades de cada projeto, otimizando assim os processos de construção e garantindo a integridade das estruturas.

**Palavras-chave:** Segurança. Custos. Viabilidade. Prova de Carga. Ensaio Bidirecional. Dinâmica. Estática.

## **ABSTRACT**

Ensuring the safety and efficiency of constructed structures while maintaining a balance between quality and cost remains a constant challenge in the construction industry. Feasibility studies play a crucial role in providing essential insights for decision-making in this context. This study focuses on a vital aspect of these studies: the comparison between conventional load tests and bidirectional load tests as methods for evaluating the load-bearing capacity of foundations and structures. Load testing is a technique used to assess the load capacity and integrity of structures, aiming to ensure their safety and preservation, making it of paramount importance in foundation project execution. Typically employing static and dynamic tests, the primary goal of this research is to analyze and evaluate the characteristics of bidirectional load tests as an alternative methodology. In the ongoing pursuit of a balance between quality and cost in the construction industry, this paper presents a case study comparing values for a project located in Canaã dos Carajás. The equalization of received budgets and cost analysis reveals a 10% cost reduction when comparing conventional load tests with the possibility of bidirectional tests. A profound understanding of this testing approach will enable industry professionals to choose the most suitable method based on the specifics of each project, thereby optimizing construction processes and ensuring structural integrity.

**Keywords: Safety. Costs. Feasibility. Load Test. Bidirectional Test. Dynamic. Static.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do ensaio de prova de carga estática .....	15
Figura 2 - Esquema do ensaio de prova de carga dinâmica .....	16
Figura 3 - Prova de carga estática convencional (aplicação das cargas) .....	18
Figura 4 - Prova de carga com célula expansiva (aplicação das cargas) .....	18
Figura 5- Vista frontal de um conjunto de quatro células.....	20
Figura 6 - Vista superior de um conjunto de quatro células .....	20
Figura 7- Esquema representativo do ensaio bidirecional e seus resultados diretos .....	21
Figura 8 - Distribuição de carga a) Ensaio convencional b) Teste bidirecional .....	22
Figura 9 - Ábaco a) Ensaio convencional b) Teste bidirecional .....	23
Figura 10 - Sequência executiva da Estaca Hélice Contínua .....	26
Figura 11 - Tabela 6 NBR 6122/2019 .....	27
Figura 12 - Locação das Estacas .....	28
Figura 13 - Colocação da armadura junto a célula expansiva em Estaca Hélice Contínua...	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico de testes de carregamento .....	13
Tabela 2 - Legenda das imagens 3 e 4 .....	17
Tabela 3 - Custo prova de carga convencional .....	29
Tabela 4 - Custo prova de carga bidirecional .....	32

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_l$ : Atrito lateral total

$A_l - \bar{A}_l$ : Atrito lateral médio transferido pela estaca ao solo

$c$ : Coeficiente de Leonards e Lovell

$c'$ : Correlato de  $c$  para ensaios bidirecionais

$E$ : Modulo de elasticidade da estaca

$K_r$ : Rigidez da estaca como peça estrutural

$L$ : Comprimento da estaca

$P_o$ : Carga axial atuante no topo da estaca

$Q_p$ : Carga de ponta total

$S$ : Área da seção transversal da estaca

$\Delta e_{bid}$ : Encurtamento elástico da estaca devido ao carregamento aplicado no topo

$\Delta e_{top}$ : Encurtamento elástico do fuste da estaca durante o ensaio bidirecional

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.1 Justificativa</b> .....	11
<b>1.2 Objetivos</b> .....	12
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	12
<b>1.2.2 Objetivo específico</b> .....	12
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	13
<b>2.1 Provas de Carga Convencionais: conceitos gerais</b> .....	13
<b>2.1.1 Tipos de prova de carga convencionais</b> .....	14
<b>2.2 Prova de Carga Bidirecional</b> .....	17
<b>2.2.1 Execução</b> .....	18
<b>2.2.2 Modelo de cálculo</b> .....	21
<b>2.2.3 Vantagens e Desvantagens</b> .....	23
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	25
<b>4. ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA</b> .....	25
<b>3.1 Prova de Carga Estática</b> .....	29
<b>3.2 Prova de Carga Bidirecional</b> .....	31
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a engenharia estrutural evoluiu desde os tempos antigos até os avanços modernos. Segundo OLIVEIRA (2006), embora os egípcios tenham construído monumentos há milhares de anos, não existem registros detalhados dos critérios de avaliação de materiais e estruturas que os utilizaram. No século XV, Leonardo da Vinci foi pioneiro em documentar testes de carregamento para compreender o comportamento estrutural de edificações (TIMOSHENKO 1953).

No Brasil, o método de investigação geotécnica mais utilizado é a sondagem SPT. De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020), essa sondagem oferece informações como o nível do lençol freático, o índice de resistência à penetração (NSPT) e a composição do solo em diferentes níveis. No entanto, o engenheiro geotécnico deve considerar diversos outros fatores cruciais, como os dados relacionados à estrutura profunda, informações sobre a vizinhança, detalhes sobre a execução do projeto e aspectos sanitários.

Com isso, a execução de provas de cargas em estacas é fundamental para garantir que os parâmetros calculados em projeto de fundação sejam atendidos, ou apoiar na escolha de solução alternativa a ser adotada. Assim, o projeto é baseado em dados reais obtidos por meio dos ensaios, sendo possível garantir maior confiabilidade e precisão, e não apenas em métodos e/ou correlações, por mais confiáveis que sejam.

Conforme cita Albuquerque (1996), esses ensaios desempenham um papel essencial no estudo da interação entre as estacas e o solo, verificando aspectos importantes como a capacidade de carga, os deslocamentos da fundação e a transmissão de carga em profundidade. Com base nesse cenário, surgiu-se métodos para avaliar a capacidade de carga, conhecidos como provas de carga estática e dinâmica. Além destes ensaios, conforme análises do mercado atual, uma modalidade que vem ganhando destaque é a prova de carga bidirecional, também conhecida como ensaio bidirecional.

Conforme estabelecido pela NBR 16903 (ABNT 2020), o conceito fundamental da prova de carga estática consiste em submeter à estaca a esforços estáticos, que podem ser de natureza axial ou transversal, enquanto se registram os deslocamentos correspondentes. Já o ensaio de carregamento dinâmico de acordo

com as diretrizes da NBR 13208 (ABNT 2007), tem como propósito a avaliação das cargas testadas na interação entre o solo e à estaca, além de buscar analisar a eficácia do sistema de impacto, a pressão de estresse e a tração ao longo da estaca, a integridade estrutural e os atributos dinâmicos da relação solo-estaca.

O método bidirecional teve início no Brasil e nos Estados Unidos na década de 1980 com publicações sobre sua montagem, procedimento executivo e interpretação de resultados nos trabalhos de Silva (1983, 1986) e de Osterberg (1989). Os autores buscaram desenvolver um equipamento capaz de solicitar de forma separada as parcelas do atrito lateral e da carga de ponta em uma estaca, sem a necessidade de instrumentá-la em toda a sua profundidade.

Para atingir o objetivo, foi criado o ensaio que consiste na instalação, através de um sistema hidráulico, de uma ou mais células expansivas, previamente aferidas, no fuste da estaca e engastadas na armação que, ao ser pressurizada e expandir-se hidráulicamente, carrega os dois segmentos de estrutura. A aplicação de carga em profundidade empurra para cima o trecho do fuste superior às células e para baixo o trecho inferior do fuste mais a ponta da estaca, conforme publicado em Silva (1983 e 1986).

Apesar de ser muito utilizado, a metodologia não possui normatização no Brasil, mesmo após quase 40 anos de sua existência. O critério por sua adoção deve ser determinado pelo projetista, levando em consideração as particularidades da interpretação dos resultados para avaliação de desempenho, conforme estabelecido pela NBR 6122 (ABNT, 2019). Para além do Brasil, o ensaio é expresso pela ASTM D8169/D8169M – 18. Contudo, a falta de normatização brasileira e estudos sobre este novo método dificultam a análise de sua viabilidade técnica e econômica, comparada aos demais ensaios.

### **1.1 Justificativa**

As provas de carga desempenham um papel crucial na avaliação, validação e garantia da segurança e desempenho de projetos apoiados na indústria da construção civil. A realização desses ensaios não aprimorou apenas a confiabilidade dos projetos, mas também atua como uma medida preventiva para mitigar falhas e, conseqüentemente, acidentes provenientes de projetos mal executados que podem ser irreparáveis.

Grandes empresas do ramo da Engenharia Civil contratam estes serviços em larga escala para diversas obras para garantir a integridade de suas estruturas. Atualmente os ensaios mais utilizados no Brasil são as provas de carga estáticas (PCE) e a prova de carga dinâmica (PDA). No entanto, um desafio persistente enfrentado por essas empresas é a falta de familiaridade com novos métodos que poderiam potencialmente oferecer maior eficiência e viabilidade econômica.

É neste contexto que o presente estudo de viabilidade na construção civil assume ascendência. Ao se concentrar na comparação entre provas de carga convencionais e a prova de carga bidirecional, este trabalho busca introduzir uma abordagem inovadora, fornecendo às empresas uma visão mais abrangente do ensaio.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Além de ampliar o conhecimento sobre o método alternativo, o presente estudo tem como objetivo oferecer uma análise crítica da viabilidade técnica e econômica da utilização das provas de carga bidirecional como alternativa às provas de carga convencionais.

### **1.2.2 Objetivo específico**

Além do objetivo geral, o trabalho tem como foco da pesquisa os seguintes objetivos:

- Abordar conceitos utilizados nas provas de cargas bidirecionais em fundações profundas;
- Apresentar vantagens e desvantagens do método bidirecional em relação aos métodos convencionais;
- Comparar orçamentos para um mesmo escopo com a utilização de provas de carga distintas;
- Comparar a metodologia executiva do método convencional com o bidirecional.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Provas de Carga Convencionais: conceitos gerais

As provas de carga desempenham um papel fundamental na Engenharia Civil há muitas décadas, fornecendo informações essenciais para o projeto e a avaliação de fundamentos e estruturas. Através da aplicação de cargas controladas em uma estrutura, esses ensaios permitem determinar a resistência, deformação e o comportamento geral da fundação, garantindo a segurança e eficiência das construções.

Segundo OLIVEIRA (2006), durante o século XIX, com a revolução industrial, a padronização de processos tornou-se essencial para garantir qualidade e eficiência. Isso levou ao estabelecimento de procedimentos-padrão para avaliar propriedades mecânicas de diversos materiais na sua aplicação. No século XX os procedimentos de dimensionamento passaram a ser padronizados e regulamentados, resultando nos códigos de normalização.

A Tabela 1, extraída de Hall e Tsai (1989), descreve um breve histórico dos testes de carregamento, apontando à prática de engenharia empregada e a correlação dos testes de carga com os resultados previstos de acordo com procedimentos analíticos de dimensionamento.

Tabela 1 - Histórico de testes de carregamento

Período	Prática de engenharia empregada	Teste de carregamento versus cálculos
Antiguidade	Uma arte passada através de experiência de construção para construção.	Intuição, erros e acertos. Testes de carregamento e procedimentos de dimensionamento quase inexistentes.
Renascimento	Primeiras tentativas de padronização de testes e procedimentos de dimensionamento (compressão, tração, flexão).	Testes de carregamento, utilizados para calibrar modelos teóricos de resistência.
Século XIX	Manuais que davam pequenas informações sobre a resistência dos materiais (elevados coeficientes de incerteza)	Torna-se usual o emprego de procedimentos-padrão para testes de carregamento, principalmente destinados à caracterização de materiais. Procedimentos de dimensionamento pouco desenvolvidos.

Início do Século XX	Primeiros equipamentos de ensaios para caracterização de materiais (Irmãos Wright e indústria automobilística)  Primeiros códigos de normalização (ASTM).	Grande incremento na utilização de testes de carregamento em elementos estruturais e estruturas.  Grande desenvolvimento de procedimentos analíticos de dimensionamento.
Tempos atuais	Uma ciência baseada em normalizações de comportamento resistente de materiais e procedimentos de dimensionamento.	Estruturas tipicamente projetadas mediante procedimentos analíticos padronizados.  Testes de carregamento especificados e padronizados.

Fonte: Hall e Tsai, 1989

Segundo Albuquerque (1996) existem diversas razões que justificam a realização de uma prova de carga, e essas podem ser resumidas da seguinte maneira: assegurar que não irá ocorrer ruptura para uma certa carga de trabalho; avaliar a integridade estrutural do elemento da fundação; determinar qual a carga de ruptura, realizando uma checagem das estimativas; determinar o comportamento carga x deslocamento de um elemento de fundação, especialmente na região da carga de trabalho. Dentre esses motivos mencionados, os dois primeiros podem ser classificados como ensaios relacionados ao "controle de qualidade", enquanto os demais são ensaios destinados à obtenção de dados utilizados na avaliação dos parâmetros adotados em projetos, visando a previsão de recalques ou em obras semelhantes.

### 2.1.1 Tipos de prova de carga convencionais

No contexto das provas de carga convencionais, diferentes abordagens foram desenvolvidas, cada uma com suas características e aplicações específicas. Dentre os principais testes de carga convencionais, destacam-se:

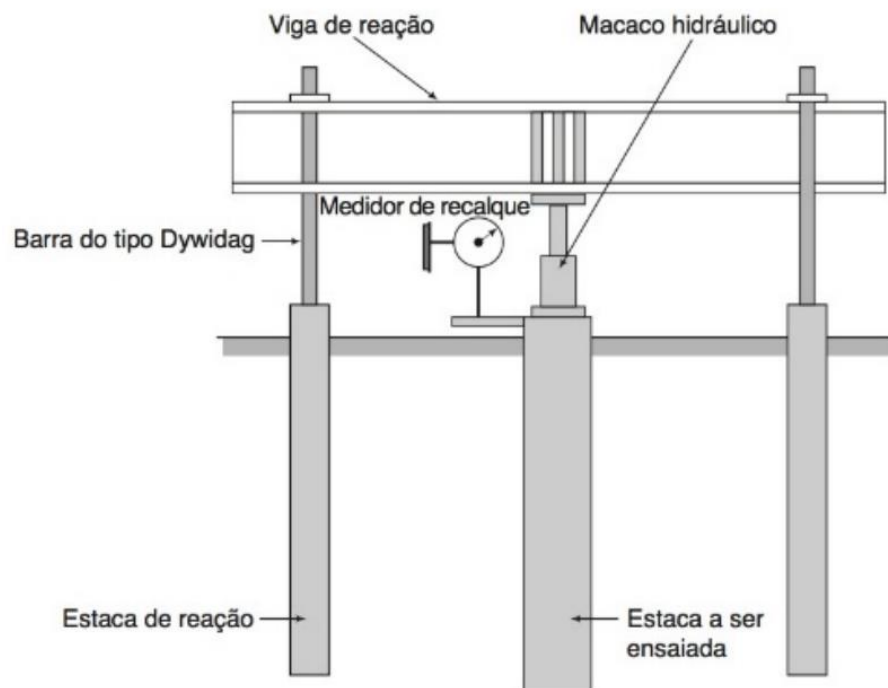
- Prova de Carga Estática

A NBR 16903 (ABNT 2020), estabelece que este ensaio envolve a aplicação de esforços estáticos, tanto axiais como transversais, e o registro dos deslocamentos correspondentes. Cintra et al. (2013) complementa essa definição,

indicando que a prova de carga estática implica a aplicação progressiva de uma carga conhecida no topo da estaca, monitorando os deslocamentos verticais da cabeça da estaca até atingir a ruptura ou a carga máxima desejada, conforme Figura 1 abaixo. Para aplicar a carga, é necessário utilizar um sistema de reação, a realização de uma prova de carga estática exige toda uma estrutura, o que inclui custo e tempo.

De acordo com Cintra (2013) a transferência de carga para a estaca deve ser realizada por meio de macaco hidráulico assistido em conjunto com um sistema de reação, o qual pode ser constituído por uma cargueira, estacas de reação ou tirantes. A NBR 12131 (ABNT, 2006) acrescenta ainda que a própria estrutura da construção pode servir como sistema de reação, desde que sua capacidade seja verificada para todas as condições do ensaio.

Figura 1 - Esquema do ensaio de prova de carga estática



Fonte: Budhu, 2013.

Para Dada (2019) acerca do carregamento, a prova de carga pode ser classificada como lenta, rápida, mista, cíclica lenta e cíclica rápida. Nos ensaios lentos, a carga em cada estágio é mantida até a estabilização dos deslocamentos; nos rápidos, cada estágio é mantido por 10 minutos; nos mistos, é realizado um carregamento lento até 1,2 vezes a carga de trabalho, seguido por carregamento rápido; nos ensaios cíclicos lentos, são aplicados ciclos de carga-descarga mantidos

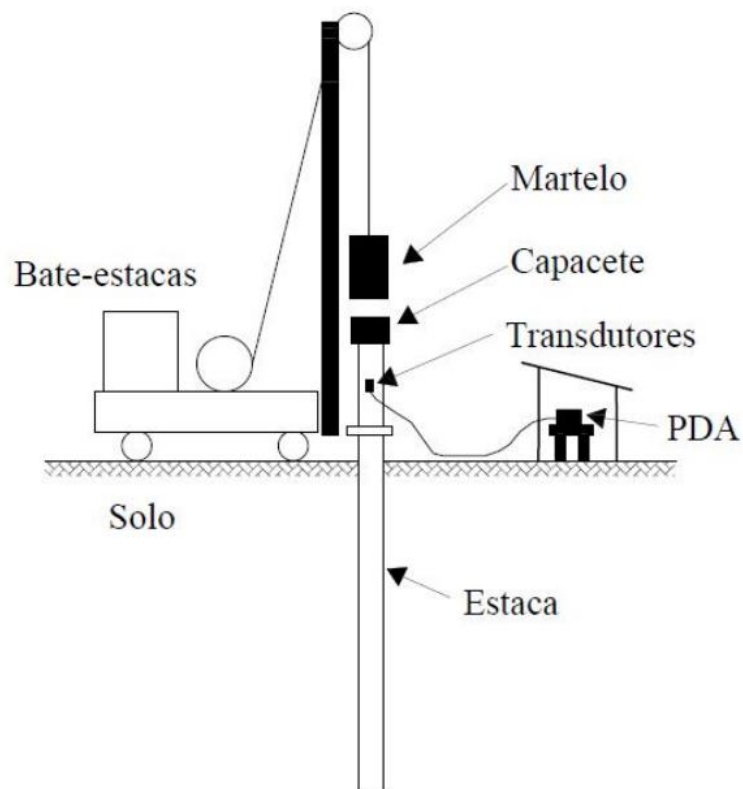
até a estabilização dos deslocamentos; e nos cíclicos rápidos, os ciclos de carga-descarga têm duração de 10 minutos.

- Prova de Carga Dinâmica

O ensaio dinâmico, de acordo com as diretrizes da NBR 13208 (ABNT 2007), tem como objetivo avaliar as cargas testadas na interação solo-estaca, eficiência do impacto, as tensões de compressão e de tração, vibração ao longo da estaca, integridade estrutural e características do sistema solo-estaca. Diferentemente da prova de carga estática, que aplica cargas de forma gradual e estável, Cintra et al. (2013) explica que esse ensaio consiste em aplicar repetidamente efeitos de um peso conhecido, em queda livre e altura determinada, no topo da estaca.

Conforme ilustrado na Figura 2, sensores de interferência e deformação são utilizados para capturar os valores de força e deslocamento resultantes em cada impacto. A garantia de integridade estrutural da estaca é enfatizada pela NBR 13208 (ABNT 2007), que sugere o uso de dispositivos de amortecimento no topo da estaca para atenuar os impactos de martelos automáticos ou de queda livre.

Figura 2 - Esquema do ensaio de prova de carga dinâmica



Os dados coletados durante o ensaio são interpretados por meio de dois métodos distintos: CASE (desenvolvido no *Case Institute of Technology*) e CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*). Segundo Cintra et al. (2013), o método CASE permite uma estimativa imediata da resistência estática da estaca após impacto dinâmico, utilizando medidas de força e velocidade no topo da estaca para essa interpretação. Por outro lado, o método CAPWAP modela o sistema estaca-solo como elementos massa-mola, considerando a resistência do solo como uma reação passiva relacionada ao movimento da estaca, conforme mencionado por Gonçalves et al. (2000). Após o ensaio, as medições de força e velocidade são detectadas com o modelo computacional ajustado iterativamente para coincidir com as respostas medidas.

## 2.2 Prova de Carga Bidirecional

Os avanços tecnológicos e a busca por métodos mais eficientes têm incentivado o desenvolvimento de novas abordagens, como as provas de carga bidirecionais. O ensaio é realizado no Brasil com sustentação na NBR 6122 (2022), item 9.2.2.4, por se enquadrar em casos particulares indicados na norma, além de seguir as diretrizes da NBR 16903 (2020).

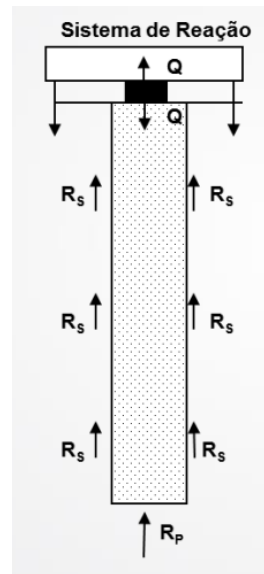
Silva (1983) explica que, ao contrário das provas de carga convencionais, que aplicam as cargas apenas em um sentido (Figura 3), a prova de carga bidirecional simula as condições de carga encontradas nas estruturas durante sua vida útil por meio de aplicações de esforços em dois sentidos, para cima e para baixo, no fuste da estaca (Figura 4). Com esta aplicação o ensaio permite uma avaliação simultânea dos parâmetros do solo, como a força lateral e a capacidade de carga, proporcionando uma visão mais completa do comportamento geotécnico do solo. A tabela 2 apresenta o descritivo das siglas citadas nas imagens 3 e 4.

*Tabela 2 - Legenda das imagens 3 e 4*

Q	Carga Aplicada
Rs	Resistência Atrito Lateral
Rp	Resistência da Ponta
Pf	Peso Próprio do Fuste
Pp	Peso Próprio da Ponta

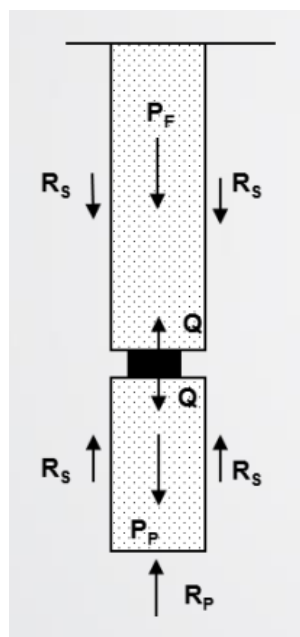
Fonte: O autor, 2023

Figura 3 - Prova de carga estática convencional (aplicação das cargas)



Fonte: Arcos, 2023

Figura 4 - Prova de carga com célula expansiva (aplicação das cargas)



Fonte: Arcos, 2023

### 2.2.1 Execução

A metodologia empregada na prova de carga estática com células expansivas hidrodinâmicas, que nada mais é que um macaco hidráulico de sacrifício, ou célula expansiva é fundamentada na instalação prévia das células, devidamente aferidas, no interior do fuste da estaca, de forma engastada na armação, conforme publicado em Silva (1983). As células expansivas, ou conjunto de células e o seu

suporte são fabricados especificamente para cada obra, de modo a atender as cargas e dimensões do projeto.

Segundo Resende (2018), a principal característica distintiva do método bidirecional reside na sua simplicidade de preparação. Nesse método, o equipamento é inserido diretamente na estaca a ser testada, eliminando a necessidade de estruturas de reação, blocos de ensaio e outros requisitos exigidos por outros tipos de testes. No método bidirecional, a própria estaca atua como o sistema de reação estável, seguindo o princípio da terceira lei de Newton: para cada ação, há uma reação correspondente de mesma intensidade e direção, mas com sentido oposto. Porém, em contraste com os ensaios convencionais, os macacos hidráulicos especiais, conhecidos como células expansivas, são utilizados como dispositivos de sacrifício pois são concretados na estaca durante a execução.

O esquema de montagem, indicado nas Figura 5 e Figura 6, visa alcançar o equilíbrio entre a resistência ao atrito lateral na porção acima da célula, combinado com o próprio peso, e o atrito lateral na porção abaixo da célula, juntamente com a resistência de ponta. A realização do ensaio aguarda o período de cura do concreto, onde mantém-se umidade e temperatura adequadas durante o endurecimento inicial, garantindo sua resistência e durabilidade até que seja atingida a resistência mínima necessária para realização do ensaio, o que geralmente ocorre entre 7 e 15 dias após a construção da estaca, permitindo a interação entre o solo e o elemento de fundação (Resende, 2018).

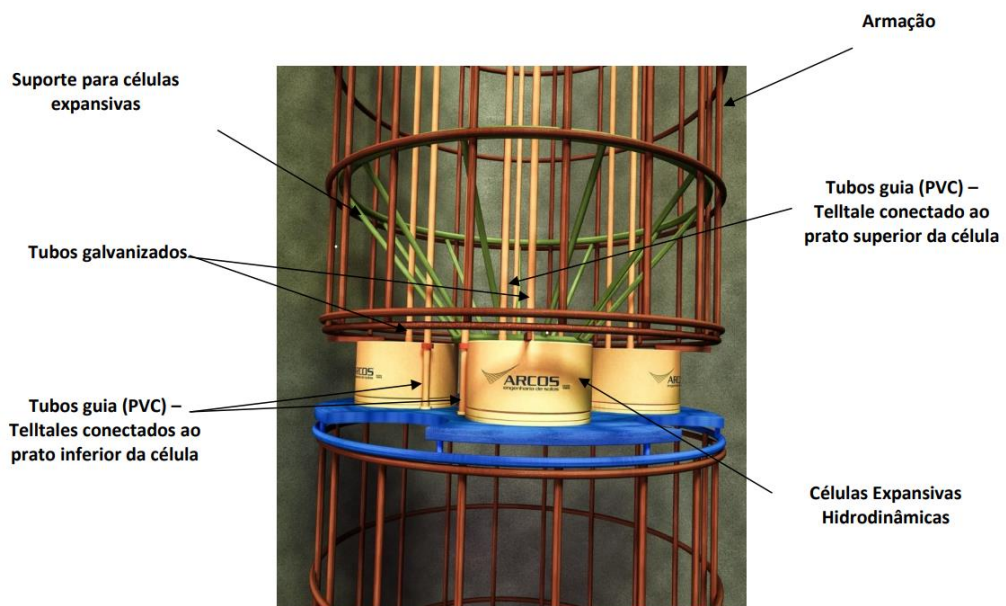
Para garantir o posicionamento correto da célula expansiva na extensão da estaca, busca-se o ponto de equilíbrio entre a resistência ao atrito lateral do fuste mais o peso próprio da estaca acima da célula e o atrito lateral do fuste abaixo da célula mais a resistência de ponta, conforme demonstra a equação abaixo. Isto irá garantir que a estaca atuará como o sistema de reação da prova de carga.

$$Al_{fuste} + PP_{fuste} = Al_{ponta} + Q_p$$

As leituras dos deslocamentos são feitas no topo da estaca, com deflectômetros, extensômetros elétricos e *telltalles* (barras de aço lisas e com rosca que são engastadas ao êmbolo inferior da célula e indicarão o seu deslocamento no momento do ensaio) posicionados no prato inferior da célula, obtendo-se assim curvas carga-deslocamento do fuste (curva 1 da Figura 7) e do trecho da estaca abaixo da célula (curva 2 da Figura 7), respectivamente.

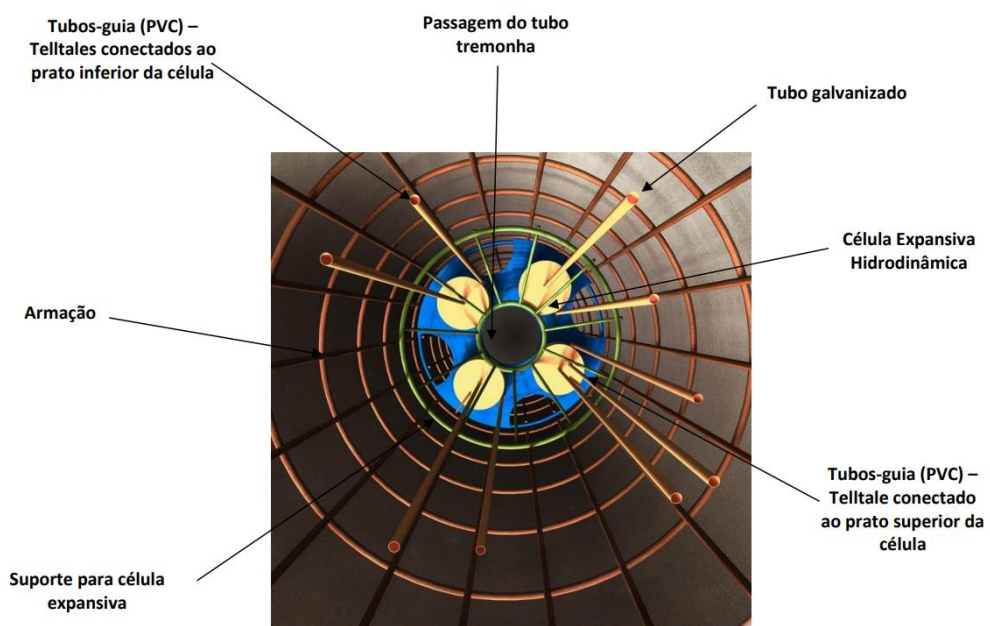
Dada (2019) explica os extensômetros que se tratam de resistências elétricas, posicionadas na armadura de uma estaca, protegidos contra a umidade e choques mecânicos por meio da aplicação de resina. Os extensômetros utilizados para medir os deslocamentos possuem leitura direta e apresentam precisão de 0,01mm (Resende, 2019).

Figura 5- Vista frontal de um conjunto de quatro células



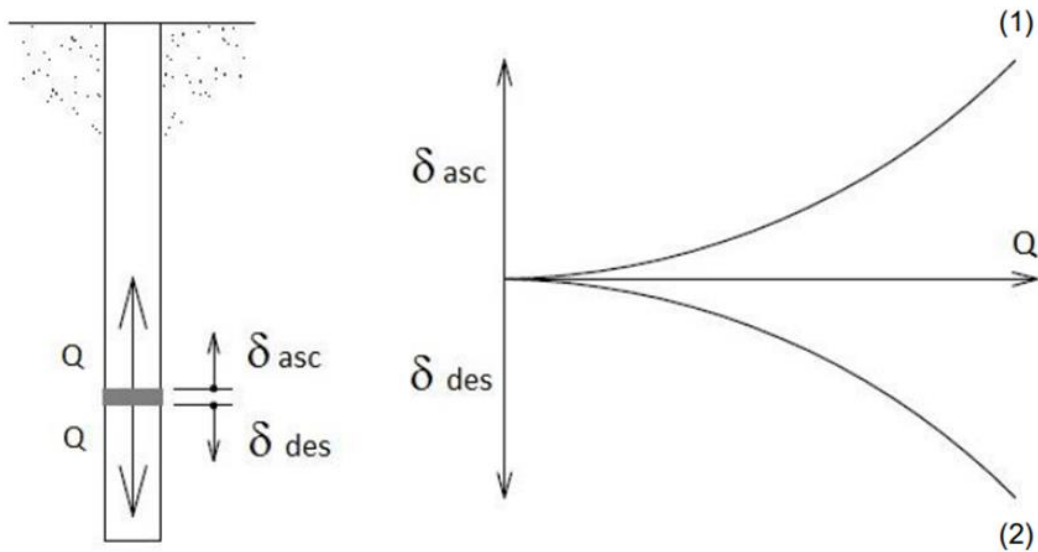
Fonte: Arcos, 2022.

Figura 6 - Vista superior de um conjunto de quatro células



Fonte: Arcos, 2022.

Figura 7- Esquema representativo do ensaio bidirecional e seus resultados diretos



Fonte: Cruz (2019)

Conforme visto, para execução do ensaio bidirecional a célula é concretada junto com a estaca e a montagem do sistema é simples, visto que elimina tirantes, estacas de reação, vigas e cargueiras, enquanto o sistema convencional utiliza de todos esses sistemas. Esses aspectos influenciam diretamente no tempo de preparação e de montagem do sistema, assim como na área de trabalho utilizada no canteiro de obra, tornando assim o ensaio bidirecional vantajoso em questão de tempo e espaço utilizado.

### 2.2.2 Modelo de cálculo

Massad (2015) propôs uma metodologia que introduz o encurtamento elástico do fuste da estaca por meio de ensaios bidirecionais. Nesse contexto, o valor do encurtamento elástico é ajustado pelos coeficientes  $c$  e  $c'$ , introduzidos por Leonards e Lovell em 1979. Esses coeficientes estabelecem a relação entre o encurtamento elástico da estaca no teste convencional (carga aplicada no topo) e no teste bidirecional (carga aplicada no fuste), sendo influenciados principalmente pela distribuição do atrito lateral ao longo do fuste da estaca.

Conforme Massad (2015), para estimar o encurtamento de estacas verticais durante o teste convencional, sujeitas à compressão axial de carga no topo da estaca ( $P_o$ ), sem necessariamente levando à estaca à ruptura, é possível utilizar a seguinte expressão (ver lista de símbolos):

$$\Delta e_{top} = c \cdot \frac{A_l}{K_r} + \frac{Q_p}{K_r} \quad (1)$$

Onde  $Q_p$  e  $A_l$  são respectivamente, as cargas de ponta e atrito lateral transferidas ao solo, de tal forma que:

$$P_o = Q_p + A_l \quad (2)$$

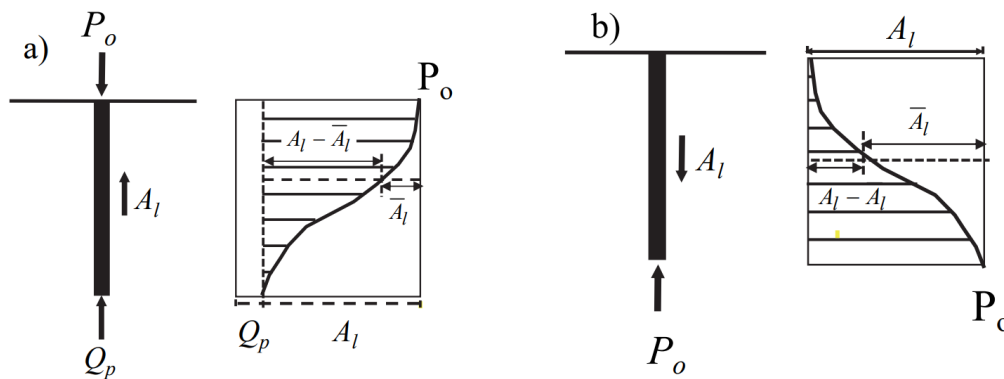
$K_r$  é a rigidez da estaca, com comprimento  $L$ , área da secção transversal  $S$  e módulo de elasticidade  $E$ , dada por:

$$K_r = \frac{E \cdot S}{L} \quad (3)$$

O coeficiente  $c$  depende da distribuição da unidade de atrito lateral do eixo ( $f$ ) e é definido pela relação entre o atrito lateral médio transferido pela estaca ao solo e o atrito lateral total (Figura 8 a) através da equação:

$$c = \frac{A_l - \bar{A}_l}{A_l} \quad (4)$$

Figura 8 - Distribuição de carga a) Ensaio convencional b) Teste bidirecional



Fonte: Massad (2015)

Valores de  $c$  para casos simples de distribuição do atrito lateral unitário ( $f$ ) pode ser obtida utilizando os abáculos preparados por Leonards e Lovell (1979), mostrado na Figura 9 a. Se a carga do eixo está totalmente mobilizada ( $A_l = A_{lr}$ ), então  $c = 0,5$  para distribuição uniforme e  $c = 2/3$  para distribuição linearmente crescente com a profundidade. Observa-se que  $h_1$  e  $h_2$  (Figura 9 a) são as espessuras das camadas menos resistentes e mais resistentes, respectivamente, e  $f_{u1}$  e  $f_{u2}$  (Figura 9 a) são os atritos dos eixos correspondentes.

Ainda segundo MASSAD (2015), para carregamentos realizados pelo método Bidirecional o carregamento do trecho I (fuste) é feito de baixo para cima, logo a equação 1 muda para:

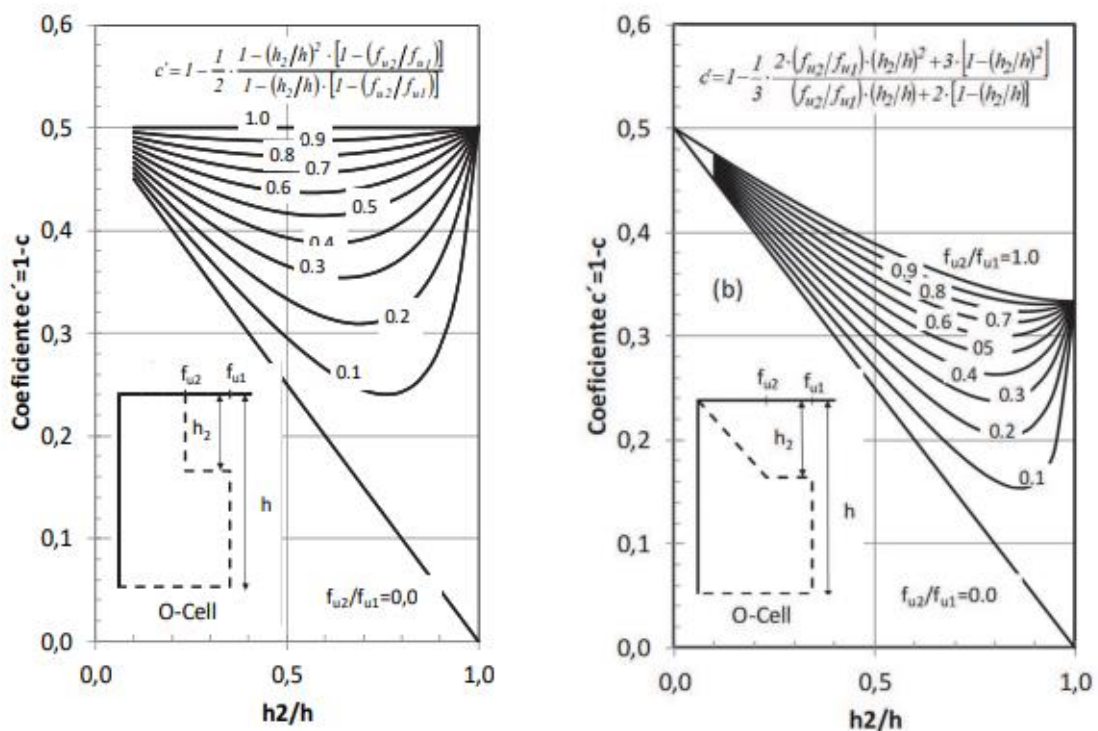
$$\Delta e_{bid} = c' \cdot \frac{A_l}{K_r} \quad (5)$$

Onde  $c'$  é definido pela equação 4, porém, relacionado com a Figura 8 b. Um ábaco, semelhante ao convencional (Figura 9 a), pode ser construído para o teste bidirecional, apresentado na Figura 9 b com as equações associadas.

Como o coeficiente  $c'$  é correlato ao Leonards e Lovell (1979) e, como se depreende das Figuras 11 e 12, vale a seguinte relação (Massad, 2015):

$$c + c' = 1 \quad (6)$$

Figura 9 - Ábaco a) Ensaio convencional b) Teste bidirecional



Fonte: Massad (2015)

Na Figura 9 b nota-se que  $h_1$  e  $h_2$  são as espessuras das camadas mais resistentes e menos resistentes, respectivamente, e  $f_{u1}$  e  $f_{u2}$  são os atritos correspondentes. Pode-se notar também que, normalmente,  $c' < c$ , isto é, a compressão elástica em estacas sob as cargas acima das CED é inferior que o valor correspondente para as cargas abaixo das células. Isto deve-se ao fato de que as CED mobilizam primeiro os solos mais resistentes para depois mobilizar os menos resistentes.

### 2.2.3 Vantagens e Desvantagens

No estudo de Dada (2019) se verificou as vantagens e desvantagens do ensaio bidirecional em relação à prova de carga estática convencional, conforme listadas a seguir:

**Vantagens:**

- Possivelmente econômica, principalmente quanto maior for a carga do ensaio;
- Viabilidade para cargas muito elevadas;
- Pode ser facilmente executada em estaca inclinada;
- Pode ser repetida na mesma estaca, possibilitando estudos em longo prazo, como *set up*;
- Não necessita montar sistema de reação, o que poupa tempo, recurso financeiro e reduz a complexidade da obra. Além disso, em provas de cargas convencionais, podem ocorrer falhas no sistema de reação, devido a equívocos em seu projeto ou construção, que podem restringir o ensaio ou levar a um risco de segurança;
- Pode-se obter o atrito lateral e a resistência de ponta separadamente, especialmente quando a célula expansiva for instalada próxima à ponta;
- Especialmente vantajoso para obras offshore, lugares cheios e inacessíveis;
- Fornece mais informações sobre o comportamento da ponta da estaca, podendo, por exemplo, detectar a presença de material amolgado na ponta;
- Obtêm-se os deslocamentos em pelo menos dois níveis na estaca.

**Desvantagens:**

- Há limitação para obter capacidade de carga última da estaca, devido à ocorrência muitas vezes da interrupção prematura do ensaio,
- A curva carga-recalque no topo da estaca não é obtida diretamente, devendo ser estimada. Atualmente, o método de estimativa usual (Silva, 1983) considera simplificações que resultam em deslocamentos menores que os reais;
- Possíveis problemas na instalação da célula expansiva durante a execução da estaca, que resultam em grandes deslocamentos a pequenas cargas, interrompendo o ensaio.
- Sua execução não é possível em estacas pré-moldadas, apenas moldadas “in loco”, esta limitação ocorre devido o sistema de reação estar ligado na armadura da estaca, sendo que sua colocação é feita junto com a execução da estaca mediante a supervisão da equipe responsável pela realização do ensaio.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi via pesquisa descritivas, bem como, análise de bibliografias, contendo a busca para coleta de informações e dados por editorações em artigos científicos, dissertações, teses, normas técnicas da ABNT websites, livros, dentre outros.

Além disso, foi estudado um caso prático de análise orçamentária comparativa entre a aplicação da prova de carga bidirecional e da prova de carga estática em estacas hélice contínuas para analisar a viabilidade do novo método. Para tal foi realizado um aprofundamento no processo executivo de cada ensaio, considerando os aspectos técnicos, custos envolvidos, bem como suas vantagens e limitações.

Foram considerados os gastos com materiais, equipamentos, mão de obra, tempo de execução e expectativas adicionais para cada método. A comparação dos custos permitiu identificar possíveis economias ou vantagens financeiras relacionadas à escolha entre os dois tipos de ensaios.

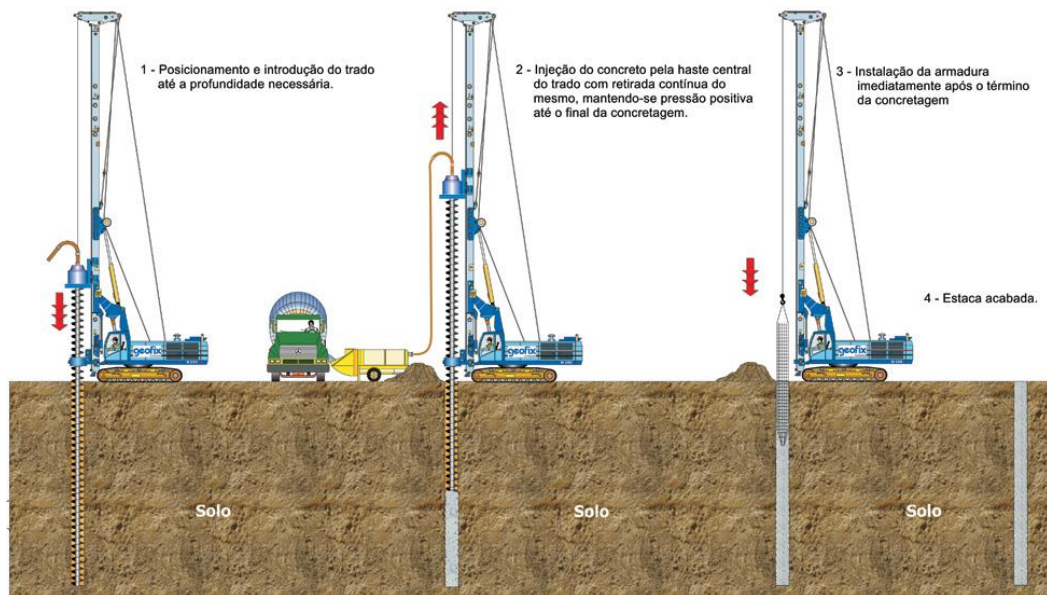
Espera-se que esta análise proporcione uma base sólida para a tomada de decisões em projetos de engenharia civil, considerando tanto os aspectos financeiros quanto os técnicos na escolha do método mais adequado para a avaliação de fundamentos.

### 4. ANÁLISE ORÇAMENTÁRIA

Este capítulo tem como objetivo realizar uma análise comparativa de aspectos orçamentários entre provas de carga convencionais e bidirecionais aplicadas a estacas hélice contínua. A escolha entre essas abordagens pode impactar significativamente o custo total do projeto, tornando essencial uma avaliação criteriosa para a tomada de decisões informadas no âmbito da engenharia geotécnica. Serão abordados os principais fatores que influenciam o orçamento de cada método, considerando não apenas os custos diretos associados à execução das provas de carga, mas também eventuais economias geradas pela escolha de uma abordagem sobre a outra.

A execução das estacas hélice contínuas, conforme detalhado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo, consiste na perfuração contínua do solo, seguida pela inserção simultânea de concreto e extração da hélice do terreno e posterior colocação da armadura, resultando em elementos.

Figura 10 - Sequência executiva da Estaca Hélice Contínua



Fonte: Geofix, 2024

Para tal considerou-se uma obra localizada em Canaã dos Carajás / PA, onde é necessária a integração de todo pessoal durante um período de 21 dias. Toda equipe deve estar à disposição para treinamentos e, em seguida, receberão os crachás e darão início ao escopo. Por questões de confidencialidade não será informado maiores informações do projeto, porém, com as informações acima e as destacadas a seguir é possível seguir com a análise.

O projeto consiste na execução de 324 (trezentas e vinte e quatro) estacas hélice contínuas de 13 metros de profundidade, sendo 230 (duzentas e trinta) estacas com diâmetro de 100,0cm e compressão máxima de 400 KN e 94 (noventa e quatro) estacas com diâmetro de 80,0cm e compressão máxima de 250 KN, em solo com SPT máximo igual a 40. Para determinar a quantidade de ensaios a ser realizada foi levantado conforme item 9.2 da norma brasileira NBR 6122/2019:

1. É recomendado a execução de provas de carga estática em obras que tiverem um número de estacas superiores ao valor 100, especificado na coluna B e tensões de trabalho maiores ou iguais à coluna A da Tabela 6 (Figura 11).
2. O número de provas de carga estática deve ser pelo menos 1% do número de estacas arredondando para cima;
3. Pode-se substituir ensaios de prova de carga estática por prova de carga dinâmica na proporção de 5:1;

4. Quando as condições da Tabela 6 (Figura 11) não ocorrerem, devem ser feitas provas de carga em no mínimo 1 % das estacas, observando-se um mínimo de uma prova de carga (conforme ABNT NBR 12131), qualquer que seja o número de estacas.

Figura 11 - Tabela 6 NBR 6122/2019

Tipo de estaca	A Tensão de trabalho abaixo da qual não serão obrigatórias provas de carga, desde que o número de estacas da obra seja inferior à coluna (B), em MPa <sup>b c d</sup>	B Número total de estacas da obra a partir do qual serão obrigatórias provas de carga <sup>b c d</sup>
Pré-moldada <sup>a</sup>	7,0	100
Madeira	–	100
Aço	0,5 $f_{yk}$	100
Hélice, hélice de deslocamento, hélice com trado segmentado (monitoradas)	5,0	100
Estacas escavadas com ou sem fluido $\phi \geq 70$ cm	5,0	75
Raiz <sup>e</sup>	$\leq \phi 310$ mm = 15,0	75
	$\geq \phi 400$ mm = 13,0	
Microestaca <sup>e</sup>	15,0	75
Trado vazado segmentado	5,0	50
Franki	7,0	100
Escavadas sem fluido $\phi < 70$ cm	4,0	100
Strauss	4,0	100

<sup>a</sup> Para o cálculo da tensão de trabalho consideram-se estacas vazadas como maciças, desde que a seção vazada não exceda 40 % da seção total.

<sup>b</sup> Os requisitos acima são válidos para as seguintes condições (não necessariamente simultâneas):

- áreas onde haja experiência prévia com o tipo de estaca empregado.
- onde não houver particularidades geológico-geotécnicas.
- quando não houver variação do processo executivo padrão.
- quando não houver dúvida quanto ao desempenho das estacas.

<sup>c</sup> Quando as condições desta Tabela não ocorrerem, devem ser feitas provas de carga em no mínimo 1 % das estacas, observando-se um mínimo de uma prova de carga (conforme ABNT NBR 12131), qualquer que seja o número de estacas.

<sup>d</sup> As provas de carga executadas exclusivamente para avaliação de desempenho devem ser levadas até que se atinja pelo menos duas vezes a carga admissível ou até que se observe um deslocamento que caracterize ruptura. Caso exista prova de carga prévia, as provas de carga de desempenho devem ser levadas até que se atinja pelo menos 1,6 vezes a carga admissível ou até que se observe um deslocamento que caracterize ruptura.

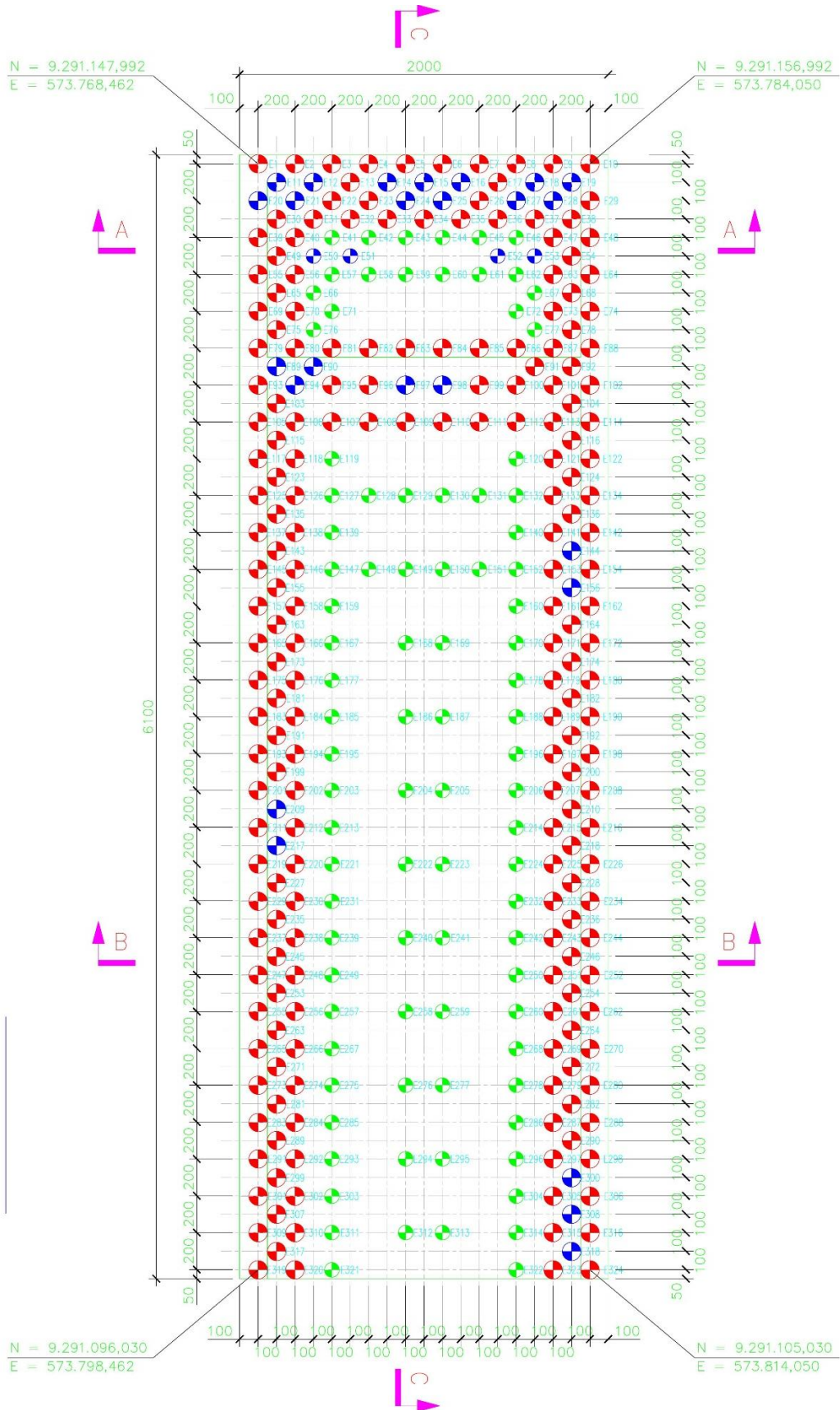
<sup>e</sup> Diâmetros de perfuração conforme Anexo K.

Fonte: NBR 6122 (2019)

Para a obra em questão, foram previstos a execução de 10 (dez) provas de carga nas estacas com diâmetro definidos abaixo e conforme Figura 12, a seguir:

- a)  $\phi 80$ cm (2 ensaios)
  - Uma na estaca E50 ou E51
  - Uma na estaca E52 ou E53
- b)  $\phi 100$ cm (8 ensaios)
  - Uma dentre as estacas E11, E12, E20 e E21
  - Uma dentre as estacas E14, E15, E16, E24 e E25
  - Uma dentre as estacas E18, E19, E27 e E28
  - Uma dentre as estacas E89, E90 e E94
  - Uma dentre as estacas E97 e E98
  - Uma dentre as estacas E144 e E156
  - Uma dentre as estacas E209 e E217
  - Uma dentre as estacas E300, E308 e E318

Figura 12 - Locação das Estacas



Os preços apresentados a seguir são baseados em orçamentos realizados para a obra acima mencionada, onde para a prova de carga convencional foram equalizadas três propostas e adotou-se a média de seus valores e para a prova de carga bidirecional adotou-se o preço ofertado pela empresa pioneira deste método no Brasil. Todas as proponentes contactadas para realização de orçamentos para levantamento de preços do presente trabalho se localizam em Belo Horizonte / MG. Demais valores ofertados foram retirados de orçamentos com valores validos para a região no presente momento.

### 3.1 Prova de Carga Estática

Para a composição dos preços da execução da prova de carga convencional considera-se como de responsabilidade da contratada as atividades preliminares de coleta e otimização de dados, mobilização e desmobilização do profissional e equipamentos (vigas, equipamentos hidráulicos e leitores), projeto das reações da Prova de Carga Estática, execução dos serviços de prova de carga estática (PCE) a compressão, fornecimento de macacos hidráulicos, bombas e manômetros aferidos e viga metálicas do sistema de reação e fornecimento de ART junto ao CREA MG dos projetos fornecidos.

E como encargo da contratante ficaram o fornecimento de sondagens de simples reconhecimento dos terrenos, preparo das estacas que serão executados os ensaios de PCE, execução do bloco de coroamento para as provas de carga estática, fornecimento de caminhão munck com operador durante todo o processo, execução do sistema de reações para realização da prova de carga estática, inclusive a realização de ensaios de arrancamento das reações previamente a realização da PCE, fornecimento de mão de obra de apoio.

Com os parâmetros acima determinados é possível realizar a equalização com a finalidade de encontrar o valor total para execução das dez provas de carga previstas no projeto. Tem-se o detalhamento exposto na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Custo prova de carga convencional

DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
<b>RESPONSABILIDADE DA CONTRATADA</b>				
Mobilização e desmobilização de pessoal e equipamentos	vb	1,00	55.434,00	55.434,00

Integração da equipe PCE	nº dias	21,00	733,00	15.393,00
Fornecimento de PCMSO, PPRA, PCMAT, ASO, DATA BOOK	vb	1,00	4.562,00	4.562,00
Execução de prova de carga estática convencional para cargas de 4.000 kN, inclusive o fornecimento de equipamentos - para estaca HC de 800 mm.	ud	2,00	7.280,00	14.560,00
Execução de prova de carga estática convencional para cargas de 7.800 kN, inclusive o fornecimento de equipamentos - para estaca HC de 1.000 mm.	ud	8,00	10.000,00	80.000,00
Emissão de relatório técnico por ensaio PCE	ud	10,00	765,00	7.650,00
<b>VALOR TOTAL CONTRATADA (1)</b>			<b>R\$ 177.599,00</b>	
<b>RESPONSABILIDADE DA CONTRATANTE</b>				
<u>Sistema de reação</u>				
Monobarra tipo Dywidag DW 36 mm (10 PCE x 4 estacas/PCE x 20 m por estaca)	m	10,00	350,40	280.320,00
Luva de emenda para tirante de 36 mm	pç	72,00	230,00	16.560,00
Placa de ancoragem (4 placas por PCE)	pç	24,00	360,00	8.640,00
Porca hexagonal para tirante de 36 mm (1 porca por placa de ancoragem)	pç	24,00	150,00	3.600,00
Contraporca para tirante de 36 mm (2 contraporcas por luva)	pç	144,00	80,00	11.520,00
Frete material DYWIDAG	viagens	1,00	23.000,00	23.000,00
<u>Equipamentos de apoio:</u>				

Plataforma elevatória para montagem do sistema de reação	mês	1,00	22.000,00	22.000,00
Frete da plataforma elevatória- 1 caminhão trucado	viagens	2,00	22.000,00	44.000,00
Caminhão munck com operador	horas	200,00	255,00	51.000,00
Bloco de concreto armado de coroamento da estaca de teste (PCE) - 60 x 60 x 60 cm	ud	10,00	1.296,00	12.960,00
Demolição do bloco de concreto armado de coroamento da estaca de teste	ud	10,00	157,00	1.570,00
Soldador - para soldagem das vigas metálicas da PCE (1 pessoa x 9 hs/dia x 30 dias úteis)	hora	450,00	53,84	24.228,00
Servente	hora	1.350,00	40,80	55.080,00
<b>VALOR TOTAL CONTRATANTE (2)</b>			<b>R\$ 554.478,00</b>	
<b>VALOR TOTAL (1) + (2)</b>			<b>R\$ 732.077,00</b>	

### 3.2 Prova de Carga Bidirecional

Realizando a mesma análise para a prova de carga bidirecional, tem-se como responsabilidade da contratada o fornecimento de todo o equipamento necessário para a realização dos trabalhos, fornecimento de mão de obra especializada, fornecimento de boletins e relatórios técnicos, montagem da instrumentação necessária para a execução dos ensaios, cobertura de lona (barraca) para proteção dos aparelhos, mobilização e desmobilização de pessoal e registro junto ao CREA dos serviços executados.

Já a contratante é responsável pelo material para confecção da estaca, bem como sua execução, sob orientação da contratada e preparação do entorno da estaca a ser ensaiada, a superfície deverá estar nivelada e seca. O ensaio bidirecional dispensa sistema de reação, sendo assim, não há gastos extras com estacas de reação, tirantes ou barras dywidag, projetos para blocos etc. Assim, ao equalizar, tem-se a Tabela 4 seguir:

Tabela 4 - Custo prova de carga bidirecional

DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
<b>RESPONSABILIDADE DA CONTRATADA</b>				
Mobilização e desmobilização de pessoal e equipamentos para execução de Prova de Carga Bidirecional	vb	1,00	31.600,00	31.600,00
Integração da equipe	nº dias	21,00	2.378,00	49.938,00
Fornecimento de PCMSO, PPRA, PCMAT, ASO, DATA BOOK	vb	1,00	10.000,00	10.000,00
Prova de carga estática bidirecional em estaca hélice contínua (Ø 800 mm), para cargas até 400 toneladas (200 tf contra 200 tf)	ud	2,00	51.339,00	102.678,00
Prova de carga estática bidirecional em estaca hélice contínua (Ø 1000 mm), para cargas até 780 toneladas (390 tf contra 390 tf)	ud	8,00	57.498,00	459.984,00
Emissão de relatório técnico por ensaio	ud	10,00	Incluído no valor da execução	
<b>VALOR TOTAL CONTRATADA (1)</b>			<b>R\$ 654.200,00</b>	
<b>RESPONSABILIDADE DA CONTRATANTE</b>				
Não existem valores adicionais à execução da estaca				
<b>VALOR TOTAL CONTRATANTE (2)</b>			<b>R\$ 00,00</b>	
<b>VALOR TOTAL (1) + (2)</b>			<b>R\$ 654.200,00</b>	

Os ensaios bidirecionais em estacas hélice-contínua apresentam algumas características distintas durante a instalação da célula expansiva hidrodinâmica. Devido à fixação da célula na extremidade da armadura, para garantir o posicionamento adequado, a armadura deve ter estribos preferencialmente soldados

ou reforçados, além de roletes ao longo dela. Além disso, para facilitar a descida da célula expansiva, é necessário que o concreto tenha um *slump* mínimo de 250 mm e um teor de argamassa superior a 55%. As atividades de içamento, concretagem e descida devem ser otimizados ao máximo. Em condições ideais de solo e tempo de instalação, a profundidade máxima atingida geralmente fica em torno de 15 metros.

A Figura 13 apresentada a seguir exemplifica a colocação da armadura, bem como da célula expansiva em sua extensão, em uma estaca do tipo hélice contínua onde, posteriormente, será realizado o ensaio bidirecional.

Figura 13 - Colocação da armadura junto a célula expansiva em Estaca Hélice Contínua



Fonte: Arcos, 2018.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme evidenciado nesta pesquisa, a prova de carga bidirecional apresenta diversas vantagens quando contrastada com o método convencional, entre elas, destacam-se a capacidade de separar as contribuições de atrito lateral e resistência de ponta da estaca, a condição de carga zero no topo do trecho superior permite a estimativa da transferência de carga ao longo do fuste, mesmo que este não esteja instrumentado, possibilita a identificação de eventuais cargas residuais na estaca e especialmente para estacas de grande diâmetro, destaca-se a economia de tempo e custos, pois não requer um sistema de reação para sua execução.

O último tópico apresentado no presente trabalho ao comparar-se a composição de preços em um mesmo projeto em Canaã dos Carajás onde seria necessário a execução de 10 (dez) provas de carga em Estacas Hélice Contínuas com diâmetros entre 800 (oitocentos) e 1000 (mil) mm, apesar do valor unitário do ensaio bidirecional ser aproximadamente 6 (seis) vezes maior que o ensaio convencional, a não necessidade do sistema de reação que representam um custo considerável em ensaios convencionais, ocasionou uma economia de aproximadamente 10% no projeto.

Essa abordagem surge no mercado como uma alternativa econômica, segura e eficiente para a determinação da capacidade de carga de estacas. Embora alguns estudos já tenham demonstrado a eficácia do ensaio com célula expansiva, o que ainda pode torná-lo impraticável em algumas situações é a falta de confiabilidade, devido à ausência de trabalhos acadêmicos que evoluam as pesquisas do banco de dados abrangente e específico para diferentes tipologias de perfis geológicos. Essa carência impede a padronização de alguns comportamentos mecânicos associados a esses perfis. Além da falta de normatização brasileira, que pode ser visto com um possível entrave para à maior utilização da metodologia.

## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, P. J. R. (1996) Análise do Comportamento de Estaca Pré-Moldada de Pequeno Diâmetro, Instrumentada, em Solo Residual de Diabásio da Região de Campinas. Dissertação de Mestrado. FEAGRI. Unicamp. 170 p
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2020) NBR 6484: Solo - Sondagem de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro: [s.n.].
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2006) NBR 12131: Estacas - Prova de carga estática - Método de ensaio. Rio de Janeiro: [s.n.].
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2007) NBR 13208: Estacas - Ensaio de carregamento dinâmico. Rio de Janeiro: [s.n.].
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro. 91 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16903. Solo - Prova de carga estática em fundação profunda. Rio de Janeiro: [s.n.].
- ARCOS. Prova de carga estática com célula expansiva. Ensaio Bidirecional. Disponível em: <https://arcos.eng.br/prova-de-cargaestatica-ensaio-bidirecional/>. Acesso em: 31 out. 2023.
- Cintra, J. C. A. et al (2013) Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de textos.
- Cintra, J. C.; Aoki, N (2010) Fundações por estacas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos.
- CRUZ, Felipe Vianna Amaral de Souza. Contribuição à interpretação de provas de carga em estacas, realizadas pelo método bidirecional. 2019. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.
- Cruz, F. V. A. S. (2020) Avaliação da carga de segurança por meio de interpretação da curva equivalente obtida do ensaio bidirecional. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, XX, 2020, Campinas, São Paulo.

DADA, Thais Lucovicz. Ensaio bidirecional em estacas moldadas in loco: técnicas de execução e métodos de interpretação, com aplicação a casos de obras. 2019. 296 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

D8169/D8169M – 18. Standard Test Methods for Deep Foundations Under Bi-Directional Static Axial Compressive Load. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/99367/f11776048a164c8faca7bb8ef90535fb/ASTM-D8169-D8169M-18.pdf>. Acesso em 10 de nov. 2023.

Geofix. Serviço de Ensaios de Hélice Contínua. Disponível em: <http://www.geofix.com.br/servico-ehc.php>. Acesso em: 14 de janeiro de 2024.

Gonçalves, C. et al. (2000) Controle de fundações profundas através de métodos dinâmicos. São Paulo: [s.n.].

HAL, W. B., TSAI, M. Load testing, structural reliability and test evaluation Structural Safety. Elsevier Science Publishers, v.6, p. 285-302, 1989.

Leonards, G. A. and Lovell, D. (1979). "Interpretation of Load Tests in High Capacity Driven Piles". Behavior of Deep Foundations, ASTM STP 670, Raymond Lundgren, Ed., ASTM, P. 388-415.

MASSAD, F., (2015), Bidirectional Test With Use Of Hydrodynamic Cell - Testing And Its Interpretation. 8º Seminário de Engenharia de Fundações e Geotecnia, SEFE, São Paulo, Brasil, v.II:1199-1210.

OLIVEIRA, C. R. Prova de carga em estruturas de concreto. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, (2006)

PROVA DE CARGA ESTÁTICA COM CÉLULA EXPANSIVA | ENSAIO BIDIRECIONAL. arcos.eng. Disponível em: <<https://arcos.eng.br/prova-de-carga-estatica-ensaio-bidirecional/>> Acessado em: 31/05/2023

Resende, A. S. (2018) APRESENTAÇÃO DE RESULTADO RECORDE EM ENSAIO BIDIRECIONAL, PROVA DE CARGA COM CÉLULAS EXPANSIVAS. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano, XIX, 2018, Salvador, Bahia.

Resende, A. S. (2019) Análise de Ensaios Bidirecionais com Medida de Encurtamento Elástico em Estacas Hélice Contínua. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA – SEFE, 9, 2019, São Paulo, São Paulo.

SILVA, P. E. C. A F., 1986, "Célula expansiva hidrodinâmica - uma nova maneira de executar provas de carga", in VIII COBRAMSEF, v., pp.223-241. Porto Alegre, RS.

SILVA, P. E. C. A. F. Célula Expansiva Hidrodinâmica: Uma nova maneira de executar provas de carga. Belo Horizonte: [ARCOS]. 105 p. Porto Alegre, 1983.

SILVA, P. E. C. A F. Célula expansiva hidrodinâmica - uma nova maneira de executar provas de carga. In: VIII COBRAMSEF, v., pp. 223-241. Porto Alegre, 1986.

TIMOSHENKO, S.P. *History of strength of materials*. NewYork, McGraw - Hill, (1953)

Torres Geotecnia. Relatórios de Sondagem. Disponível em: <http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/relatorios-de-sondagem-3/>. Acesso em: 14 de janeiro de 2024.