

## EXECUÇÃO DE ESTACAS COM BASE ALARGADA ACIMA DO NÍVEL FREÁTICO

Anderson Antônio Gervásio da Silva

Sergio Velloso Engenheiros Consultores, Belo Horizonte, MG, Brasil

João Paulo de Oliveira Marques

Sergio Velloso Engenheiros Consultores, Belo Horizonte, MG, Brasil

Victor de Aguiar Ávila

Sergio Velloso Engenheiros Consultores, Belo Horizonte, MG, Brasil

Luana Azevedo Teixeira

Persolo Fundações, São José dos Campos, SP, Brasil

João Pedro Azevedo Teixeira

Persolo Fundações, São José dos Campos, SP, Brasil

**RESUMO:** Proposta de execução de elementos de fundação por estaca com base alargada, tendo como dimensionamento as formulações semi-empíricas associadas ao dimensionamento de tubulões escavados à céu aberto. Para a execução deste elemento é dispensado a entrada humana na escavação, visando reduzir os riscos envolvidos no processo executivo, pois a execução e verificação da base é totalmente mecanizada, eliminando também custos com encamisamento e possibilitando muitas vezes a redução do diâmetro do fuste, além de propiciar a absorção do carregamento de maior monta pela ponta da estaca. A filosofia de fundação aqui apresentada será tratada inicialmente como estaca de base alargada. Esta pesquisa já se encontra em estágio de testes avançados, adotando escavação do fuste com trado mecanizado, semelhante às estacas tipo trado, retirada de amostra de solo de apoio para avaliação tátil visual, abertura, limpeza e medição das dimensões da base da estaca de forma totalmente automatizada. Esta pesquisa será de grande valia para a engenharia de fundações, de forma a propiciar uma nova filosofia, que possa ser viável do ponto de vista técnico e econômico em perfis que, a priori, teriam a limitação de avanços em função de afloramentos de solos de alta resistência ou da posição do nível freático, contrapondo a outras opções de maior investimento financeiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** ESTACA, BASE, ALARGADA, TUBULÃO, TRADO

**ABSTRACT:** Proposal for the execution of foundation elements using enlarged base piles, designed based on semi-empirical formulations associated with the design of drilled shaft. This type of element does not require human entry into the excavation, aiming to reduce the risks involved in the execution process, as both the construction and verification of the base are fully mechanized. This also eliminates the need for casing and often allows for a reduction in the shaft diameter, in addition to enabling greater load transfer through the pile tip. The foundation approach presented here will initially be treated as an enlarged base pile. This research is already in an advanced testing phase, employing mechanized auger drilling for shaft excavation, similar to continuous flight auger piles, sampling of the bearing soil for tactile-visual evaluation, and fully automated base opening, cleaning, and measurement. This research will be of great value to foundation engineering, introducing a new design philosophy that may prove technically and economically viable in soil profiles that would otherwise limit progress due to outcroppings of high-strength soils or elevated groundwater levels, thus presenting an alternative to other more costly solutions.

**KEYWORDS:** DRILLED SHAFT, BASE, ENLARGED, PILE, AUGER



## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia de fundações como em qualquer outro ramo da engenharia sempre evolui, buscando aperfeiçoamentos através das novas tecnologias e novas experiências vividas com o passar dos anos. Arelado a isso, temos técnicas antigas e consagradas que fazem parte da engenharia de fundações, que com o passar do tempo não acompanharam o rápido avanço tecnológico, como por exemplo os tubulões escavados a céu aberto.

Essa tipologia de fundação ainda muito utilizada nas últimas décadas e que é consagrada na construção civil, teve sua utilização extremamente reduzida em função da complexidade executiva e do grande envolvimento humano para execução dos elementos de fundação. A tipologia de fundação em questão, tem em um dos seus maiores benefícios a verificação do solo de apoio dos elementos de fundação ponto a ponto confrontando com os resultados de investigações geotécnicas prévias, que garante maior confiabilidade à dissipação do carregamento através da ponta do elemento.

Com base nestas informações, este trabalho busca apresentar uma nova proposta de filosofia de fundação que são estacas escavadas com base alargada, em que o dimensionamento está também associado a tipologia de tubulões escavados a céu aberto, porém, retirando a necessidade de escavação por meio humano e passando a execução para a forma mecanizada através de equipamentos dimensionados e criados para este fim, mantendo a verificação do material de apoio ponto a ponto e a conferência das dimensões executadas.

## 2 Referência Bibliográfica

A execução de estacas escavadas com base alargada, analogamente às definições estipuladas para os tubulões escavados a céu aberto e estacas escavadas sem uso de fluido estabilizante, a norma de fundação (NBR 6122/2022) classifica os tubulões escavados a céu aberto como uma tipologia de fundação profunda, em que a transferência de carregamentos para o solo se dá, a priori, pelo contato da área da base do elemento com o solo subjacente. Já as estacas escavadas sem uso de fluido estabilizante, a transferência do carregamento se dá prioritariamente pelo contato da área lateral do elemento estrutural com o solo circundante, podendo ou não ser considerado alguma parcela de carga a ser transferida pelo contato de ponta ao solo subjacente.

Segundo Brito, 1987, o tubulão consiste em um poço aberto manualmente ou mecanicamente em solos coesivos, de modo que não haja desmoronamento durante a escavação, e acima do nível d'água. Quando há tendência de desmoronamento, há a necessidade de revestir-se o fuste. O fuste é escavado até a cota desejada, a base é alargada e posteriormente a escavação é preenchida com concreto.

Ressalta-se que desde 2022 a NR 18, introduziu a obrigatoriedade de uso de revestimentos em tubulões escavados à céu aberto, além da limitação de profundidade de execução a 15,0m.

Para o tubulão escavado à céu aberto, o fuste e a base podem ser escavados manualmente ou mecanicamente, com obrigatoriedade de entrada de pessoa, para realização da limpeza e/ou alargamento da base e/ou conferência do solo de apoio e embutimento assim como da geometria da base. As estacas com base alargada seguem as mesmas premissas em relação aos itens verificados, porém a proposta retira a necessidade de entrada de pessoas no interior da escavação. A escavação do fuste através de trado mecanizado convencional, o alargamento da base e a retirada de amostras são totalmente mecanizados, já a leitura e verificação das dimensões e limpeza da base são realizadas por equipamentos eletrônicos.

## 3 Contextualização

Com o passar dos anos e o desenvolvimento da engenharia em geral, foram realizadas novas cobranças relacionadas a segurança para se mitigar os riscos da execução da tipologia de fundação em tubulões escavados a céu aberto, essas medidas acabaram ocasionando um aumento da dificuldade executiva bem como tornando o processo oneroso. Desta forma, o mercado buscou equipamento e ferramentas para se evitar a entrada de pessoas no interior destas escavações, buscando racionalização e preservação da segurança dos trabalhadores envolvidos. Do exposto anteriormente, este trabalho visa apresentar uma metodologia totalmente mecanizada



quanto a escavação, abertura de base, confirmação do solo de fundação e conferência da geometria de bases e qualidade na limpeza totalmente mecanizada e automatizada. A metodologia proposta aqui, tem como ponto de partida os equipamentos e ferramentas desenvolvidas pelo PERSOLO FUNDAÇÕES E SONDAGENS, o BMT (base mecanizada para tubulões), ferramenta já disponível no mercado há algum tempo, a qual faz-se a abertura de bases para tubulões bem como a realização de limpeza da escavação.

Buscando auxiliar no aperfeiçoamento das etapas, visando em primeiro momento, a execução de tubulões escavados à céu aberto, a SERGIO VELLOSO ENGENHEIROS CONSULTORES E PROJETOS, veio a somar esforços em busca de refinamento e atendimento quanto às premissas básicas para execução e verificação do solo de fundação e limpeza da base. Adicionalmente, a verificação da geometria e conferência quanto a qualidade de limpeza da base veio a ser um desafio, o qual pôde ser sanado através de leituras e filmagens por meio de scanner de alta precisão.

## 4 Processo executivo

### 4.1 Dimensionamento

O dimensionamento da peça de concreto se dá de forma bastante similar ao dimensionamento proposto para tubulões escavados a céu aberto. A parcela do atrito lateral, a priori, é desprezada, considerando que será utilizada para absorção do peso próprio do elemento de fundação acrescido do bloco de coroamento, caso haja, e utilizada apenas as dimensões da base para transferência dos carregamentos advindos da superestrutura.

Nesse ponto é válido ressaltar que a avaliação dos resultados de provas de cargas, que já foram executadas e as que ainda serão, apresentarão informações que poderão balizar melhor os critérios para absorção e transferências das cargas ao maciço circundante e, a depender, até se utilizar a parcela do atrito lateral para tal.

### 4.2 Metodologia executiva proposta

#### 4.2.1 Escavação e definição de solo de apoio

A metodologia proposta se constitui na escavação do fuste através da utilização de trado helicoidal mecanizado, comumente utilizado para escavação de estacas tipo trado mecanizado, até a cota definida em projeto através de investigações geotécnicas.

Uma vez atingida a cota estipulada como ideal para a paralisação da estaca é feita a troca do trado para o equipamento de abertura de base (BMT), que além de realizar a abertura faz a limpeza da ponta do elemento de fundação. Anteriormente à abertura de base o equipamento faz apenas a limpeza para que seja inserido o amostrador que irá coletar a amostra de solo a partir do amostrador bipartido, que é bastante similar ao amostrador utilizado em sondagens SPT, mas com maiores dimensões (foto 1). O amostrador é acoplado a haste do equipamento e sua inserção é feita pelo avanço estático a partir da força hidráulica do equipamento de perfuração.

A amostra é trazida então para superfície onde é possível realizar análise tátil visual para avaliação e confirmação do solo de apoio (foto 2).





Foto 1: Amostrador após retirada de solo



Foto 2: Análise da amostra retirada

#### 4.2.2 Abertura e limpeza de base

Posteriormente à liberação do solo de fundação, a ferramenta responsável pela abertura da base (BMT) é acoplada às hastes do equipamento. A ferramenta possui pás que se abrem, ao comando do operador, na cota de fundo do tubulão e, ao giro, vai esculpindo-se as dimensões da base (figura 1). Nesse ponto é válido ressaltar que a ferramenta não é capaz de escavar a base mantendo rodapé conforme padronizado na literatura.

Após execução da base, a parte inferior dessa mesma ferramenta equipada de pás auxiliares, que executa a limpeza da base e trecho inferior de 30cm relativo ao comprimento da caçamba. A caçamba dotada com ranhuras em posições diametralmente opostas na parte inferior, é capaz de coletar o solo solto e trazê-lo à superfície (foto 3).

As bases possuem dimensões pré-definidas e podem variar com múltiplos de 10cm. Para que a ferramenta seja capaz de desempenhar um bom papel, foi verificado ao longo da utilização que as dimensões da base são limitadas a duas vezes a dimensão do fuste. Todas estas diretrizes já estão contempladas pela PERSOLO FUNDAÇÕES E SONDAGENS em tabelas, para que o projetista geotécnico das fundações possa seguir para balizar o dimensionamento, em relação aos tamanhos de fustes necessários para aberturas das bases.

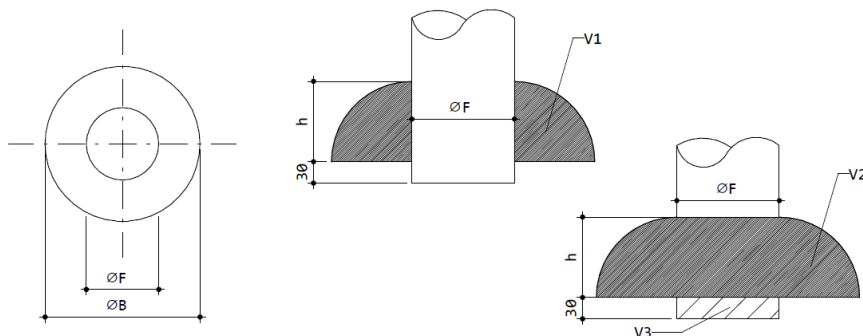


Figura 1: Detalhe típico das bases mecanizadas





Foto 3: Pás responsáveis pela abertura da base com dimensões pré-definidas

#### 4.2.3 Coleta e visualização das dimensões

Por fim, são colhidas todas as dimensões do tubulão, desde a profundidade, diâmetro do fuste até as medidas da base, com auxílio de um scanner. Esse scanner consiste em uma câmera e 3 sensores. Os sensores são instalados na parte superior, em local fixo, para realização de toda a leitura. Em seguida é feita a descida de outro conjunto de sensores e da camera que fará a filmagem da base da estaca, além de criar uma nuvem de pontos. A filmagem auxilia na verificação de possíveis desmoronamentos e na qualidade da limpeza da base. Este processo dura aproximadamente 7 minutos (foto 4).

A câmera é posicionada na parte superior do tubulão, de cabeça para baixo, e novamente efetua a filmagem e emissão de pontos para “triangular” as dimensões. O controle de todo o processo pode ser feito de forma segura a partir da superfície com auxílio de um celular. O responsável pelo serviço faz o download dos dados e, com auxílio de software, pode fazer a verificação da filmagem e medida das dimensões, bem como a verticalidade da escavação (figura 2).

A partir desse ponto, o processo de inserção da armação e concretagem pode seguir o mesmo padrão dos tubulões escavados a céu aberto. Nesse ponto é válido ressaltar que os testes se encontram em estágio avançado e os resultados tem sido um tanto quanto positivos.

Em estudos iniciais, para conjuntos habitacionais de até 5 pavimentos, em perfil geotécnico coesivo e competente para adoção desta filosofia, o levantamento de custos sugere que as estacas escavadas com abertura de base mecanizada tem se mostrado economicamente viável quando comparadas a estacas tipo hélice contínua monitorada mais profundas.





Foto 4: Sensores equipados realizando leitura



Figura 2: Leitura computadorizada das dimensões e verticalidade da escavação



## 5 Ensaios executados

Para análise e verificação de desempenho, foi realizada prova de carga estática em elemento de fundação executado pela metodologia executiva proposta neste estudo. A estaca foi apoiada em solo areno-argiloso, com  $N_{SPT}$  superior a 40 golpes, conforme perfil geotécnico apresentado no boletim de sondagem à percussão representativo (figura 3).

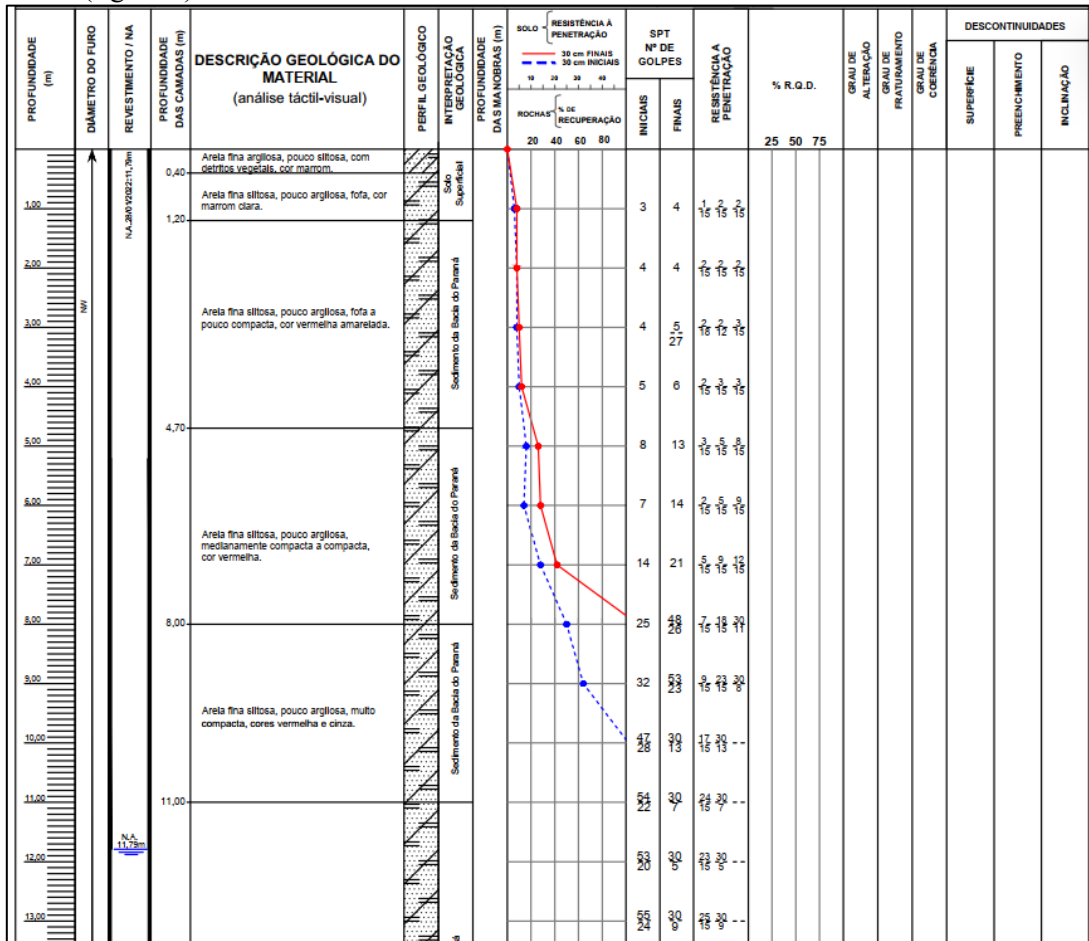


Figura 3: Boletim de sondagem à percussão representativo ao ponto ensaiado.

A prova de carga foi realizada com sistema de reação convencional, composto por 4 estacas trado mecanizado de Ø800mm com 9,0m de profundidade. Em cada estaca de reação foi instalada uma barra de ancoragem tipo DYWIDAG Ø36mm. O elemento ensaiado tinha fuste de diâmetro de 50cm e diâmetro de base de 100cm. Também foi instalado na estaca teste uma barra instrumentada com Strain Gauges para medições na região de topo da base, verificando as cargas absorvidas por atrito, e no fundo da base para verificação de carga da carga remanescente e transferida pela área de base da estaca. O sistema de reação foi dimensionado para um carregamento até 200 toneladas (figura 4).

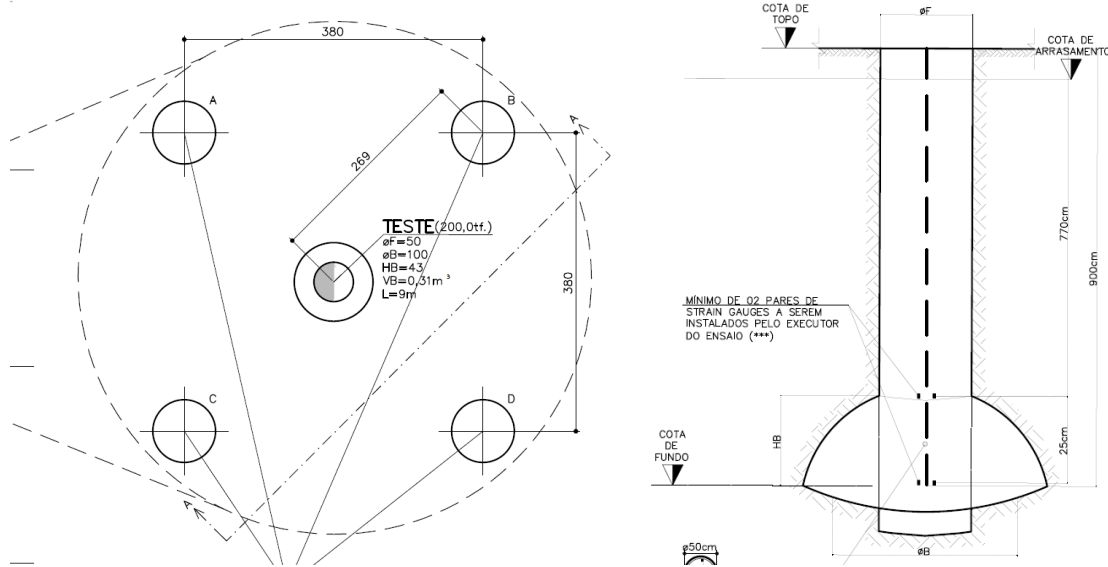


Figura 4: Detalhe esquemático do sistema de prova de carga estática e barra instrumentada

## 5.1 Resultados obtidos

O ensaio foi executado contemplando a metodologia em carregamento lento (NBR 16903/2020), com total de 15 estágios. Sendo 10 de carregamento e 5 de descarregamento (figura 5).

ESTÁGIO:	CARGA:	ETAPA:	ESTÁGIO:	CARGA:	ETAPA:
1º ESTÁGIO:	20,0tf.	CARREGAMENTO	9º ESTÁGIO:	180,0tf.	CARREGAMENTO
2º ESTÁGIO:	40,0tf.	CARREGAMENTO	10º ESTÁGIO:	200,0tf.	CARREGAMENTO
3º ESTÁGIO:	60,0tf.	CARREGAMENTO	11º ESTÁGIO:	160,0tf.	DESCARREGAMENTO
4º ESTÁGIO:	80,0tf.	CARREGAMENTO	12º ESTÁGIO:	120,0tf.	DESCARREGAMENTO
5º ESTÁGIO:	100,0tf.	CARREGAMENTO	13º ESTÁGIO:	80,0tf.	DESCARREGAMENTO
6º ESTÁGIO:	120,0tf.	CARREGAMENTO	14º ESTÁGIO:	20,0tf.	DESCARREGAMENTO
7º ESTÁGIO:	140,0tf.	CARREGAMENTO	15º ESTÁGIO:	0,0tf.	DESCARREGAMENTO
8º ESTÁGIO:	160,0tf.	CARREGAMENTO			

Figura 5: Estágio de carregamento PCE

Durante o carregamento a deformação máxima para 200 toneladas foi da ordem de 6,44mm. Os Strain Gauges apresentaram leituras que, em média, resultaram em uma absorção de 160tf ao longo do fuste, com carga remanescente de 40 toneladas na base do elemento de fundação.



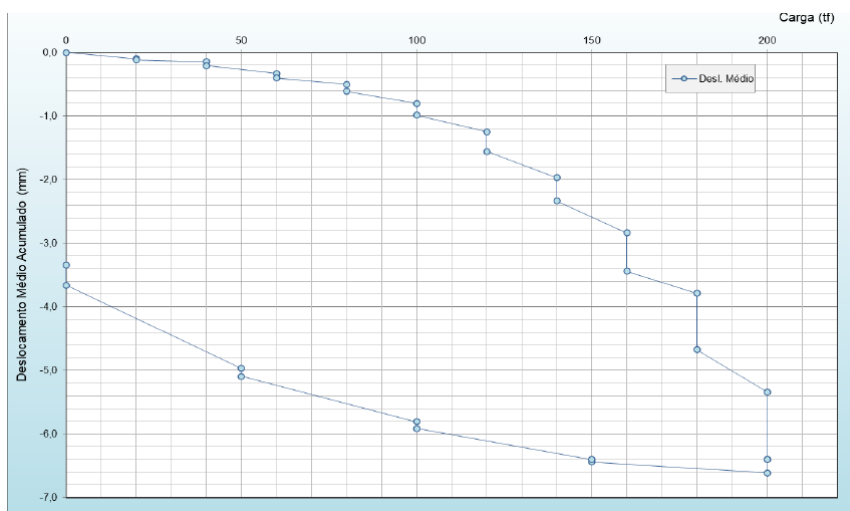


Figura 9: Curva carga recalque PCE

## 6 Conclusão

Com base no ensaio realizado, pôde ser verificado que a filosofia de fundação proposta apresentou bom resultado quanto a dissipação de cargas e recalque, tanto por atrito, quanto pela base. Sendo bastante importante mencionar que as estacas seguiram a proposta de execução de estacas tipo trado mecanizado, com abertura de fuste e base seguido de concretagem dentro de um mesmo dia.

Foi lido pelos Strain Gauge carga média remanescente de 40tf. a ser dissipada pela base da estaca, resultando em tensão aproximada de 5,0kgf/cm<sup>2</sup> e recalque máximo medido de 6,44mm, sendo o recalque residual metade desse valor.

Para os principais autores de formulações semiempíricas utilizados para estimativa quanto à capacidade de cargas estudadas para a obra, como Urbano Rodriguez Alonso, Alberto Henriques Teixeira, Pedro Paulo Costa Velloso e Décourt-Quaresma, o que mais se aproximou da capacidade de carga para atrito lateral das estacas foi Pedro Paulo Costa Velloso, que resultou em aproximadamente 120tf aos 8,0m de comprimento de fuste (já desconsiderando 1Øbase acima da mesma conforme item 8.2.1.2 da NBR6122/2022) e de aproximadamente 150tf tão logo ao final do comprimento do fuste, ou seja, sobre o topo do tronco de cone da base, local onde foram instalados Strain Gauges, sem introdução de fator de segurança. Esse valor ainda se encontra 10tf abaixo do que foi lido na média dos Strain Gauges.

Dito isso, é válido mencionar que a inclusão da base nas estacas possibilita a otimização das peças de fundação, uma vez que, caso fossem executadas sem a base, trabalhando apenas como estacas tipo trado mecanizado, as estacas necessitariam avançar outros 3,0m aproximadamente para trabalhar com as mesmas cargas para as quais o projeto foi dimensionado.

Essa maior profundidade, para o perfil geotécnico local, possivelmente não seria possível. O que pode se repetir para outros locais em função de presença de nível d'água, de horizonte de solo impenetrável, ou outras intercorrências. O que faz com que a abertura da base resulte no ganho de capacidade de carga necessário para evitar custos de fundações maiores ou fundações mais complexas.

Portanto, a fundação proposta cumpriu aos critérios necessários de capacidade de carga e recalque. Portanto, é possível concluir que a filosofia de fundação aqui proposta possui grande potencial para ser mais estudada e, por se tratar de algo novo, possui grande potencial para evoluir tanto em produtividade quanto na metodologia executiva em si. Também se mostrou bastante útil para já ser incluída na gama de fundações passíveis de utilização.



## 7 Agradecimentos

Os autores deste artigo agradecem à Persolo Fundações, fornecedora dos equipamentos e que sempre se mostrou disposta a trabalhar em melhorias dos equipamentos. À MRV Engenharia, que abraçou a ideia, apoiou os estudos para a filosofia de fundação e realizou diversos testes para viabilizar as estacas escavadas com base alargada. À equipe da Sergio M. P. Velloso Engenheiros Consultores e Projetos, a qual somando esforços, conhecimentos teóricos e experiências aplicadas, subsidiaram o desenvolvimento ao apoio desta pesquisa.

## 8 Referencias bibliográficas

- Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego (2022). NR 18. *Condições de segurança e saúde no trabalho na indústria da construção*. Brasília.
- Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego (2020). NR 33. *Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados*. Brasília.
- Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego (2020). NR 35. *Trabalho em altura*. Brasília.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16903. *Solo - Prova de carga estática em fundação profunda*. Rio de Janeiro.

