

**CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AMOMBYUILQUE EYDI BARBOSA SANTOS
GUTENBERG MARTONI DA SILVA
LEVI BERNARDO DA SILVA JÚNIOR**

TECNOLOGIA EM REFORÇO ESTRUTURAL: EXPANDER BODY

**RECIFE
2024**

**AMOMBYUILQUE EYDI BARBOSA SANTOS
GUTEMBERG MARTONI DA SILVA
LEVI BERNARDO DA SILVA JÚNIOR**

TECNOLOGIA EM REFORÇO ESTRUTURAL: EXPANDER BODY

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Disciplina TCC do Curso de engenharia civil do Centro
Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte dos
requisitos para conclusão do curso.

Orientador(a): Prof. Dr^a. Carolina de Lima França

RECIFE
2024

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Laís Cardoso, CRB-4/PE-1753/P.

S237t Santos, Amombyuilque Eydi Barbosa.
Tecnologia em reforço estrutural: expander body / Amombyuilque
Eydi Barbosa Santos, Reforço Estrutural. Silva, Levi Bernardo da
Silva Júnior. - Recife: Edição do Autor, 2024.
31 p.

Orientador(a): Dra. Carolina de Lima França.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Brasileiro – Unibra. Bacharelado em Engenharia Civil,
2024.

Inclui Bibliografia.

1. Expander Body. 2. Fundação. 3. Reforço estrutural. I. Silva,
Reforço Estrutural. II. Silva Júnior, Levi Bernardo da. III Centro
Universitário Brasileiro - Unibra. IV. Título.

CDU: 624

IMPORTANTE: A FICHA CATALOGRÁFICA DEVE VIR NO VERSO DA FOLHA DE ROSTO E SERÁ ELABORADA POR PROFISSIONAL BIBLIOTECÁRIO, DEPOIS DO ENVIO DA VERSÃO DEFINITIVA (AQUELA CONTENDO AS CORREÇÕES SOLICITADAS PELA BANCA E SOLUÇÃO DE EVENTUAIS PROBLEMAS INDICADOS PELA BIBLIOTECA) DO TCC À BIBLIOTECA.

PRAZO DE ENTREGA DA FICHA: ATÉ 7 DIAS ÚTEIS

ELEMENTO OBRIGATÓRIO

**AMOMBYUILQUE EYDI BARBOSA SANTOS
GUTENBERG MARTONI DA SILVA
LEVI BERNARDO DA SILVA JÚNIOR**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos dado força e discernimento para chegarmos até aqui.

E a nossa família aqueles que estão conosco e os que já se foram acreditando que este dia chegaria. Esperamos que tenhamos conseguido lhes deixar orgulhosos.

Por último e não menos importante aos amigos que nos apoiaram nesta caminhada, pois esses são família que escolhemos durante a vida.

RESUMO

A pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias no campo das fundações são essenciais para enfrentar os desafios crescentes da engenharia civil contemporânea. As fundações desempenham um papel fundamental na segurança e estabilidade estrutural de edifícios, transmitindo as cargas da estrutura para o solo de maneira eficiente. No entanto, problemas como assentamentos diferenciais e capacidade de carga insuficiente podem surgir, especialmente em terrenos geotécnicos desafiadores. Uma inovação recente que se destaca nesse contexto é o Expander Body (EB), um dispositivo composto por chapas de aço dobradas e sanfonadas para formar um corpo cilíndrico. Implementado na ponta das estacas, o EB não apenas reforça significativamente a capacidade de carga das fundações, mas também altera o comportamento do solo ao seu redor, induzindo tensões benéficas que melhoram o estado de tensões e reduzem os deslocamentos das estacas. Estudos recentes têm demonstrado que o EB pode aumentar a capacidade de carga das estacas em até 80% sob cargas de compressão e proporcionar um incremento de até 40% na carga de ruptura sob esforços de tração, comparado às estacas convencionais. Esses resultados não apenas sublinham a eficácia do EB na otimização das fundações, mas também evidenciam seu papel na promoção de construções mais seguras e eficientes. Portanto, frente ao cenário atual de avanços tecnológicos na engenharia civil, o Expander Body emerge como uma solução inovadora e eficaz para maximizar a capacidade de carga das estacas, oferecendo não apenas segurança estrutural aprimorada, mas também eficiência econômica na construção de edifícios. Esta pesquisa não apenas enfatiza a importância crítica das fundações na engenharia civil, mas também posiciona o Expander Body como uma tecnologia promissora que está moldando o futuro das construções ao redor do mundo.

Palavras-chave: Expander Body; Fundação; Reforço Estrutural.

ABSTRACT

Research and development of new technologies in the field of foundations are essential to tackle the growing challenges of contemporary civil engineering. Foundations play a fundamental role in the safety and structural stability of buildings, efficiently transferring structural loads to the ground. However, issues such as differential settlements and insufficient load-bearing capacity can arise, especially in challenging geotechnical terrains. A recent innovation that stands out in this context is the Expander Body (EB), a device composed of folded and accordion-shaped steel plates to form a cylindrical body. Implemented at the tip of piles, the EB not only significantly reinforces the load-bearing capacity of foundations but also alters the soil behavior around it, inducing beneficial stresses that improve stress conditions and reduce pile displacements. Recent studies have shown that the EB can increase the load-bearing capacity of piles by up to 80% under compression loads and provide up to 40% more load-bearing capacity under tension loads compared to conventional piles. These results not only underscore the effectiveness of the EB in optimizing foundations but also highlight its role in promoting safer and more efficient construction. Therefore, in the current landscape of technological advancements in civil engineering, the Expander Body emerges as an innovative and effective solution to maximize pile load-bearing capacity, offering enhanced structural safety and economic efficiency in building construction. This research not only emphasizes the critical importance of foundations in civil engineering but also positions the Expander Body as a promising technology shaping the future of construction worldwide.

Keywords: Expander Body; Foundation; Estructural Reinforcement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Expander Body. Página 21.

Figura 2 – Processo de execução do Expander Body. Página 23.

Figura 3 – Processo controlado de expansão do Expander Body. Página 24.

Figura 4 – Detalhamento da injeção. Página 25.

Figura 5 – Detalhe esquemático das provas de carga. Página 26.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de deslocamento por carga e pressão por volume. Página 27.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
2.JUSTIFICATIVA	12
3.OBJETIVO GERAL E ESPECIFICO.....	13
3.1 Objetivo geral	13
3.2 Objetivo específico.....	13
4.REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
4.1 Expander Body(EB).....	14
4.2 Estacas.....	15
4.2.1 Estacas Pré-moldadas.....	16
4.2.2 Estacas tipo hélice contínua monitorada.....	16
4.3 Melhoramento de solo.....	17
4.4 Carga admissível.....	17
4.5 Prova de carga	28
5.METODOLOGIA.....	29
6.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
6.1 Tipo de reforço.....	21
6.2 Expander Body no cenário Brasileiro.....	21
6.3 Instalação.....	22
6.4 Testes de carga.....	26
7.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

O bom andamento de uma obra começa a ser pensado bem antes da sua concepção, pois a investigação do solo é um dos passos preliminares para iniciar um projeto, onde serão analisadas e classificadas as diversas camadas do solo e suas propriedades geotécnicas. Busca-se constantemente a redução de custos nos projetos de engenharia em geral, em especial nos projetos de fundações, onde muitos estudos são realizados, buscando obter redução de custos sempre aliada a segurança das edificações. (GONÇALVES, 2008).

As fundações constituem elementos estruturais de concreto armado, concebidos e edificados para suportar as cargas aplicadas na superestrutura, e para transferir os esforços às camadas mais resistentes do solo, reduzindo assim as forças exercidas sobre lajes, vigas e pilares. Esses elementos de apoio são previamente planejados antes da construção e devem levar em conta as especificidades da edificação no local, a fim de determinar suas características de desempenho, resistência e segurança. (AZEREDO, 1997).

Uma fundação de qualidade deve ser capaz de suportar e transferir cargas sem causar danos à sua estrutura, portanto, elementos estruturais robustos como as fundações não deveriam sofrer danos que afetem seu funcionamento adequado, entretanto existem margens de erros e possíveis imprevistos durante o projeto, construção e fase pós-construção (Rosário e Araújo, 2019).

O reforço estrutural em fundações ocorre quando há a necessidade de restaurar a estrutura existente, o que pode ser requisitado por diversos motivos, como por exemplo: patologias na estrutura, ruptura da estacada após atingir a carga de ruptura, ultrapassar o valor da carga admissível da estacada ou recalque da fundação. O objetivo do *expander body* é reforçar as fundações de um edifício para garantir a segurança, estabilidade da estrutura e prevenir possíveis colapsos. Ademais, o reforço pode ser realizado em fundações que não apresentem danos para aumentar a carga que elas podem suportar, não para evitar o colapso da estrutura, mas para acomodar o aumento dos esforços na edificação (Danziger, 2019).

2 JUSTIFICATIVA

A investigação sobre o Expander Body (EB) como um corpo expensor utilizado em pontas de estacas na fundação demonstra ser essencial diante da necessidade de aprimoramento das técnicas e tecnologias empregadas na construção civil. O "expander body" desempenha um papel crucial na estabilização e na capacidade de carga das estacas, influenciando diretamente na segurança, eficiência e durabilidade das estruturas.

A relevância deste estudo reside na importância estratégica das fundações para a integridade estrutural de edificações. Compreender os mecanismos de ação e os efeitos do "expander body" nas estacas é fundamental para garantir a estabilidade das fundações em diferentes condições geotécnicas e ambientais, ao mesmo tempo em que investigar o seu uso na construção civil abre espaço para o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis. A otimização do processo construtivo juntamente com a redução de custos e ao aumento da eficiência energética contribui na promoção de práticas construtivas mais responsáveis, sendo assim, alinhadas com os princípios da sustentabilidade.

Tendo em vista todos os benefícios advindos do uso do expander body, este estudo propõe-se a preencher uma lacuna no conhecimento técnico-científico ao explorar os aspectos relacionados ao EB, como um componente fundamental das fundações em estacas. Por meio de uma abordagem multidisciplinar, busca-se fornecer subsídios para aprimorar as técnicas de projeto, execução e monitoramento de obras civis, visando à construção de estruturas mais seguras, duráveis e sustentáveis.

3 OBJETIVOS: GERAL E ESPECÍFICOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Descrever sobre a tecnologia em reforço de fundação Expander Body e as vantagens no ganho de carga axial.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Discorrer sobre o tipo de reforço estrutural de fundação utilizado como solução.
- Levantar a perspectiva do cenário brasileiro em relação ao Expander Body.
- Verificar os solos que apresentam melhor compatibilidade com o Expander Body.
- Apresentar resultados de melhorias de carga devido ao reforço de fundação em comparação com outras tecnologias mais usuais.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Expander Body (EB)

O Expander Body (EB) consiste em chapas de aço dobradas e sanfonadas, formando um corpo cilíndrico, que são implantadas na ponta da estaca. O conceito do (EB) foi concebido pelo engenheiro sueco Bo Skogberg na década de 80, na Suécia, e refinado na Bolívia ao longo da última década. Estima-se que aproximadamente 20.000 EBs tenham sido instalados nas Américas em países, como, Brasil, Bolívia, Argentina, Paraguai, Peru, México, EUA e Canadá). (Terceros Herrera e Terceros Arce, 2016).

O EB se assemelha ao bulbo de concreto que se formam nas estacas tipo Franki ou outros tipos de estacas que criam um bulbo pela compactação de concreto na ponta da estaca. No entanto, uma vantagem importante do sistema EB é que a injeção é um processo controlado e totalmente monitorado. Consequentemente, por meio da medida dos volumes de argamassa e da pressão aplicada em cada EB para a sua expansão é possível estimar as condições do solo ao redor da ponta da estaca de uma maneira semelhante ao ensaio pressiométrico de Menard (PMT). O sistema DywExpander que é composto por barra vazada onde é realizada as fases injeção do ExpanderBody e da consolidação da ponta do DywExpander quando necessário. (Monteiro et al 2022)

Por meio da injeção de calda de cimento, o EB pode ser inflado, resultando em um balão de aço de resistência à umidade. A etapa de expansão do Expander Body segue a norma da ABNT NBR 6122:2010. Conforme mencionado por Silva et al. 2018. o EB inicialmente encontrou aplicação prioritária em solos arenosos, dada a sua propensão à densificação. Contudo, ao longo das últimas duas décadas, o sistema passou por aprimoramentos, incluindo melhorias no processo de dobra e sanfonamento do aço, bem como a introdução de um novo dispositivo para injeção na ponta. Essa injeção na ponta possibilita a melhoria do solo abaixo do EB. Além disso, conforme observado, o sistema tem sido implantado em uma variedade extensa de diferentes tipos de solo, desde argilas moles até rochas muito resistentes, incluindo solos sedimentares e arenosos. Ademais o EB pode variar de acordo com as condições do solo, o espaço disponível para a execução da estaca e a capacidade de carga requerida. (Silva et al. 2018).

4.2 Estacas

As estacas são predominantemente empregadas em fundações profundas, caracterizadas principalmente por possuírem seções transversais reduzidas e comprimentos longos. As estacas presentes nas fundações da obra analisada, assim como aquelas construídas para testes de carga, são do tipo estaca raiz (Mello, Bremer, e Soares Júnior, 2020).

A estaca raiz pode ser empregada em situações onde outros tipos de estacas não seriam adequadas, pois sua instalação não gera choques ou vibrações. Ela é capaz de atravessar blocos de rochas, como, matacões ou peças de concreto. Os equipamentos utilizados são de pequeno porte, permitindo a aplicação dessa técnica em espaços de trabalho restritos. Esse tipo de estaca envolve basicamente quatro etapas de execução: perfuração assistida por circulação de água, instalação da armadura, preenchimento com concreto e remoção do revestimento com golpes de ar comprimido (Mello, Bremer, e Soares Júnior, 2020).

A estaca raiz é um tipo de estaca escavada que possui diâmetro reduzido, moldada no próprio local da obra. A perfuração é revestida no solo por meio de segmentos tubulares metálicos, que são rosqueados conforme a perfuração avança. Esses segmentos metálicos, chamados de revestimentos, podem ser reutilizados em outras perfurações. (ABNT NBR 6122:2022).

Os ensaios de provas de carga são regulamentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A normativa brasileira para esses testes era anteriormente a ABNT NBR 12131: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, substituída em setembro de 2020 pela ABNT NBR 16903: Estruturas de concreto — Procedimento para projeto, execução e controle de estruturas pré-moldadas, que especifica os procedimentos e parâmetros recomendados para a realização de provas de carga estática em todos os tipos de fundações profundas, aplicáveis a testes de cargas controladas. As provas de carga têm como objetivo expressar, em dados estatísticos, a capacidade de carga das fundações, medindo deslocamentos e aplicando esforços pré-determinados, que podem ser de tração, compressão e flexo-compressão. (Albuquerque, P.J.R. 2020).

Segundo (Broms e Nord 1985), as pressões limite e de injeção necessárias para a expansão do Expander são influenciadas pelo tipo de estaca e pelo tipo de solo onde o Expander está inserido. De acordo com (Silva e Monteiro 2022), devido à expansão, o

diâmetro aumenta e o comprimento do corpo expandido diminui, surgindo uma área não comprimida abaixo do EB, que deve ser concretada com uma segunda mangueira auxiliar que atravessa o próprio EB. Para assegurar a eficiência do sistema, uma segunda injeção na ponta da estaca é realizada, aumentando a capacidade de carga e a rigidez das estacas, reduzindo assim os recalques nas fundações (p.17).

4.2.1 Estacas Pré-moldadas

Segundo Joppert (2007), as estacas pré-moldadas de concreto podem ser fabricadas em concreto protendido ou concreto armado, podendo apresentar seções cheias ou vazadas, onde a seção pode ser quadrada ou circular, dependendo do fabricante, sendo uma boa opção de escolha para o tipo de estaca a ser utilizada na fundação, pois apresenta rigoroso controle de qualidade em sua fabricação (p.22).

Velloso et al. (2010) cita que existem vantagens das estacas pré-moldadas sobre as moldadas no terreno, pois as pré-moldadas não estarão em contato com agentes agressivos que porventura existam no solo durante os processos de pega e cura, tampouco solos muito moles poderão interferir no processo de concretagem, trazendo assim uma maior segurança na execução da fundação. De acordo com Gonçalves (2008), estas estacas são consideradas estacas de deslocamento, pois para sua execução não há retirada de solo, sendo este deslocado para as laterais, aumentando a compactação ao redor da estaca, aumentando as tensões laterais e favorecendo as condições de atrito (p.25).

4.2.2 Estacas tipo hélice contínua monitorada

De acordo com a NBR 6122 (ABNT, 2010), a estaca tipo hélice contínua é considerada como estaca de concreto moldada in loco, executada através da introdução no terreno de um trado helicoidal até o comprimento de projeto, onde a injeção de concreto é executada através da própria haste central do trado utilizado e posteriormente é inserida a armadura de aço (p.15). Segundo Anjos (2006), as estacas tipo hélice contínua começaram a ser executadas no Brasil no final da década de 80, alcançando uma expansão a partir da década de 90, vêm sendo muito empregadas em fundações, principalmente por apresentarem características de controle de execução pelo monitoramento e por poderem ser executadas em diversos tipos de solo (p.18). Velloso

et al. (2010) classifica as estacas tipo hélice continua como estacas sem deslocamento, pois parte do solo escavado é removida na extração do trado. Os equipamentos utilizados possibilitam a execução de estacas com até 30m e com diâmetros entre 30cm a 100cm (p.19).

4.3 Melhoria de solo

Investigações geotécnicas permitem identificar e analisar regiões, camadas, ou depósitos de solo em condições desfavoráveis, possibilitando que medidas de engenharia possam ser tomadas para seu melhoramento e, dessa forma, permitir a execução de projetos de construção nestes locais. Existem várias tecnologias aplicáveis ao melhoramento de solos fofos, variando desde uma simples compactação mecânica até um sofisticado tratamento de congelamento do terreno. No entanto, a opção por determinado tratamento poucas vezes satisfaz todos os requerimentos de custo, qualidade e eficiência. (Maxsuell, 2018)

Toda a obra de engenharia, sejam as fundações de uma estrutura, um túnel ou uma barragem, produz uma alteração no estado de tensão do terreno, sendo necessário que este responda adequadamente. Isto implica que não se produza uma rotura no terreno e que as deformações originadas no mesmo sejam reduzidas ou toleráveis. Durante a concepção de uma determinada obra, podem-se adoptar distintas soluções as quais provocam diferentes estados de tensão no terreno. (Brito, 2002)

4.4 Carga admissível.

Conforme Mascarenha (2003), carga admissível de uma estaca é a carga aplicada sobre esta, provocando somente recalques que a construção pode tolerar sem inconvenientes e oferecendo, ao mesmo tempo, segurança suficiente contra a ruína ou o escoamento do solo ou do elemento estrutural de fundação. É obtida dividindo-se a capacidade de carga encontrada por um fator de segurança (p. 07). Aoki et al. (2010) descreve que Aoki et al. (1975) adota um fator de segurança global igual a 2, enquanto Decort et al. (1978) adota fatores de segurança distinguidos para parcela de resistência de ponta e para parcela de resistência de atrito lateral, sendo eles respectivamente 4 e

1,3, sendo feita uma verificação final e caso o FS total seja inferior a 2 usa-se 2 que é o permitido pela NBR 6122 (ABNT, 2010). (p.54)

4.5 Prova de carga

Segundo Gonçalves (2008), o ensaio de prova de carga mostra-se bem eficiente para análise do comportamento das fundações indiretas em relação à capacidade de carga e recalque (p.12). Souza (2001) relata que as dificuldades de se conhecer o solo onde será instalada uma fundação e as alterações que esta irá trazer ao terreno, por ser de difícil modelagem numérica ou analítica, se faz necessário a realização de prova de carga, pois trata-se de um ensaio no local onde será executada a fundação, retratando a interação solo estrutura (p.17). Anjos (2006) diz que os principais objetivos da realização de provas de carga estática são: averiguar o comportamento previsto em projeto através da interação solo estrutura (capacidade de carga e recalque), determinar a carga de serviço em casos onde não seja possível prever o comportamento, bem como constatar a repartição das parcelas de carga lateral e de ponta (p.23). A prova de carga estática, de acordo com Marchezine (2013), é um relevante ensaio de campo, devido à eficiência na averiguação do desempenho da estrutura (p.15).

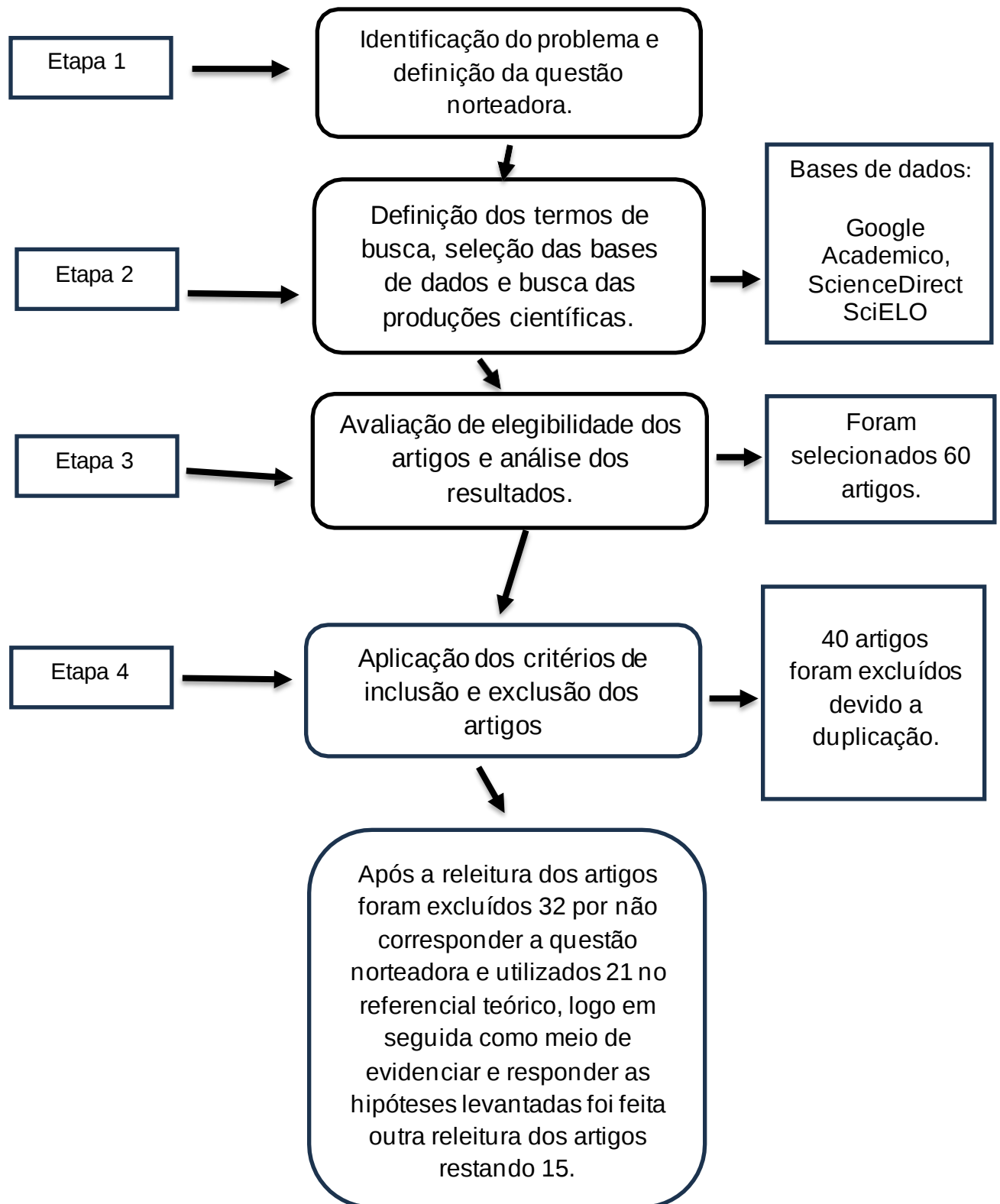
As cargas são aplicadas em níveis crescentes, visando atingir a carga limite ou a completa ruptura do conjunto solo-estaca, permitindo, assim, conhecer o comportamento da fundação com a aplicação das cargas. No Brasil, o ensaio de prova de carga estática está normatizado pela NBR 12131 (ABNT, 2006). De acordo com Avelino (2006), a prova de carga lenta pode ser considerada como a que mais chega próximo da carga que a maiorias das fundações estarão submetidas. Método de Van Der Veen. Para os resultados das provas de carga que não chegaram à ruptura, deve-se utilizar o método de extrapolação da curva carga-recalque. Este procedimento é legitimado pela NBR 6122 (ABNT, 2010), onde faz referência que os resultados da prova de carga podem conduzir a uma curva de carga por deslocamento, onde não é possível verificar visivelmente a carga de ruptura do elemento de ensaiado. Devendo então fazer uma extrapolação da curva, com o objetivo de se estimar este valor (p.37).

5. METODOLOGIA

Este estudo trata-se de uma revisão de literatura. A busca foi realizada através das bases de dados, Google Acadêmico, ScienceDirect e Scientific Electronic Library Online (SciELO) de 1985 a 2021. Foram estabelecidas as seguintes etapas para a execução deste estudo: identificação do problema e definição da questão norteadora; definição dos termos de busca, critérios de inclusão e exclusão dos artigos; seleção das bases de dados; busca das produções científicas; avaliação de elegibilidade dos artigos e análise dos resultados. Foi elaborada a seguinte questão norteadora: O "expander body" desempenha um papel crucial na estabilização e na capacidade de carga das estacas, influenciando diretamente a segurança, eficiência e durabilidade das estruturas. Além disso, investigar o seu uso na construção civil tendo em vista a possibilidade no desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis nos processos construtivos.

Foram utilizados os seguintes descritores em inglês e português: Expander Body(Corpo Expansivo), Fundação(foundation) e Reforço Estrutural(Estructural Reinforcement). Foi empregada como estratégia de busca a leitura do título e resumo de cada estudo. Após a seleção dos mesmos, foi feita a leitura na íntegra de cada artigo de modo a confirmar se o mesmo contemplava a questão norteadora da pesquisa e os critérios de inclusão e exclusão pré-estabelecidos. Os critérios utilizados para a inclusão dos artigos foram: apenas os artigos originais, materiais bibliográficos constituídos por revistas, artigos científicos publicados em jornais, livros, assim como os resultados de pesquisas disponíveis gratuitamente que descreveram os problemas encontrados durante o processo de estudo da fundação, a necessidade de reforço estrutural e aplicação da tecnologia expander body testando a eficácia da tecnologia aplicada. Sendo assim, 60 artigos foram selecionados para leitura e análise, após a leitura 40 artigos foram excluídos devido a duplicação e excluídos 32 por não corresponder a questão norteadora, sendo assim apenas 21 artigos correspondem aos critérios de inclusão e exclusão para o referencial teórico, logo em seguida outra releitura foi feita restando 15 artigos que visam responder as hipóteses levantadas, como demonstrando na figura 1. Os artigos foram sumarizados em quadros segundo número, título, autor, ano e conclusão.

Figura 1 - Fluxograma de identificação e seleção dos artigos selecionados nas bases de dados Google Acadêmico, ScienceDirect e SciELO.



6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Tipo de reforço.

O método de reforço estrutural escolhido para intervir na fundação existente da obra foi a tecnologia Expander Body (EB), que envolve corpos de aço inflados com calda de cimento injetadas sob pressão, acoplados a barras Dywidag. Esses elementos garantirão uma resistência maior, com a formação de bulbos de pressão na ponta das estacas, os quais promovem o adensamento e compactação lateral do solo. Neste método, é benéfico monitorar os dados obtidos durante a inflagem do EB, pois fornecem um acompanhamento mais preciso da estrutura e do reforço aplicado. O EB tem sido amplamente utilizado como componente estrutural. Sua aplicação pode ocorrer tanto na extremidade da base de estacas quanto como elemento de ancoragem no solo, conforme observado por Berggren et al. (1988) e Massarsch (1994). (Figura 1).

Figura 1 – Expander Body.



Fonte: INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING. (2020, p.4).

6.2 Expander Body no cenário Brasileiro.

Apesar do método ser pouco comum no mercado brasileiro, ele oferece um menor risco à estrutura reforçada em comparação com metodologias convencionais de reforço em fundações. Além disso, estudos demonstram a eficácia do sistema, que proporciona uma estabilização superior das fundações com uma redução dos recalques em

comparação com estacas convencionais, sem a utilização da tecnologia apresentada. (Silva C.M., 2019).

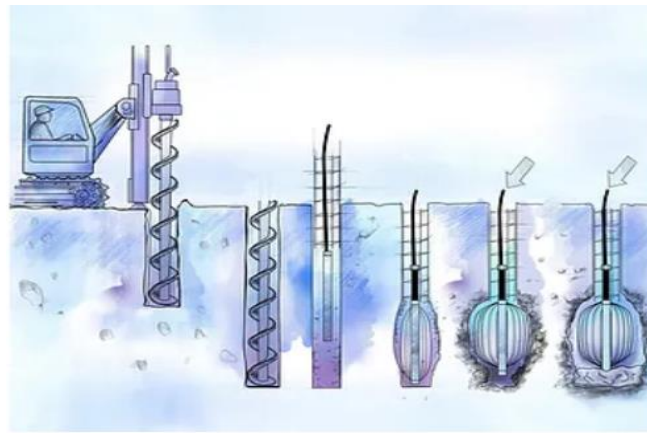
Inicialmente projetado com foco principalmente em solos arenosos devido à sua capacidade de densificação, o EB passou por aprimoramentos ao longo dos últimos anos, conforme observado. Estes aprimoramentos incluíram a adição de novos recursos, como um processo de dobramento de aço aprimorado e um novo dispositivo de pós-injeção da ponta, que possibilitou a injeção no fundo e o melhoramento do solo abaixo do EB. Estima-se que aproximadamente 22.000 EBs já tenham sido instalados nas Américas, abrangendo países como Bolívia, Argentina, Paraguai, Peru, México, Estados Unidos e Canadá. O sistema aprimorado também foi implementado no Brasil, abrangendo diversos tipos de solo, incluindo argilas rígidas, areias compactas e rochas brandas. (Tercero 2014).

Recife, comumente caracterizada por solos arenosos e argilosos depositados recentemente. O perfil de solo no Recife consiste em camadas de areia fina a média, com algumas camadas intercaladas de argila e areia argilosa. A profundidade do lençol freático pode variar, mas geralmente está próxima da superfície. Os resultados dos ensaios de prova de carga estática indicam que o EB demonstrou um desempenho satisfatório em ambos os locais, onde o horizonte de instalação estava situado sob rochas e sedimentos o EB foi capaz de consolidar efetivamente o solo granular e permeável encontrado abaixo da camada superficial de latossolo altamente intemperizado. A presença de camadas alternadas de arenito e siltito proporcionou uma interface solo-rocha desafiadora, mas o EB conseguiu garantir uma conexão estável entre a estaca e o solo circundante. (Silva C.M., 2019).

6.3 Instalação.

O processo de instalação do EB no reforço de fundações é uma técnica altamente especializada e meticulosa, essencial para fortalecer e estabilizar fundações já existentes. Tudo começa com uma análise minuciosa do estado atual da fundação, que envolve inspeções visuais detalhadas, análises estruturais e, em certos casos, até testes de solo para compreender completamente as condições e as necessidades específicas da fundação. (Mello, Bremer, e Soares Júnior, 2020). (Figura 2).

Figura 2 - Processo de execução do Expander Body.



Fonte: EXPANDER BODY FOR PILING AND DEEP FOUNDATIONS. (2019, p.1).

Com base na avaliação da obra, é desenvolvido um plano de reforço em colaboração com engenheiros estruturais e consultores especializados. Este plano determina onde e em que extensão o EB precisa ser instalado para garantir a estabilidade e resistência adequadas. Antes da instalação, o local da fundação é cuidadosamente preparado, incluindo limpeza da área, remoção de obstruções e, se necessário, escavação para garantir acesso adequado. O EB é então instalado conforme o plano de reforço elaborado anteriormente. Isso é feito com precisão e cuidado, podendo envolver fixação à fundação existente ou ao solo adjacente, dependendo das necessidades específicas. (Terceros Herrera e Terceros Arce, 2016).

Após a instalação inicial, ajustes são feitos para garantir o nivelamento e alinhamento corretos com a fundação existente. Em alguns casos, fixações adicionais, como parafusos de ancoragem ou cimento, podem ser necessárias para garantir a estabilidade do EB. Ademais, testes de carga e inspeções são realizados para garantir que o reforço atenda aos padrões necessários de resistência e estabilidade, o que pode envolver testes estáticos e dinâmicos, além de inspeções visuais para identificar qualquer defeito. (Terceros Herrera e Terceros Arce, 2016).

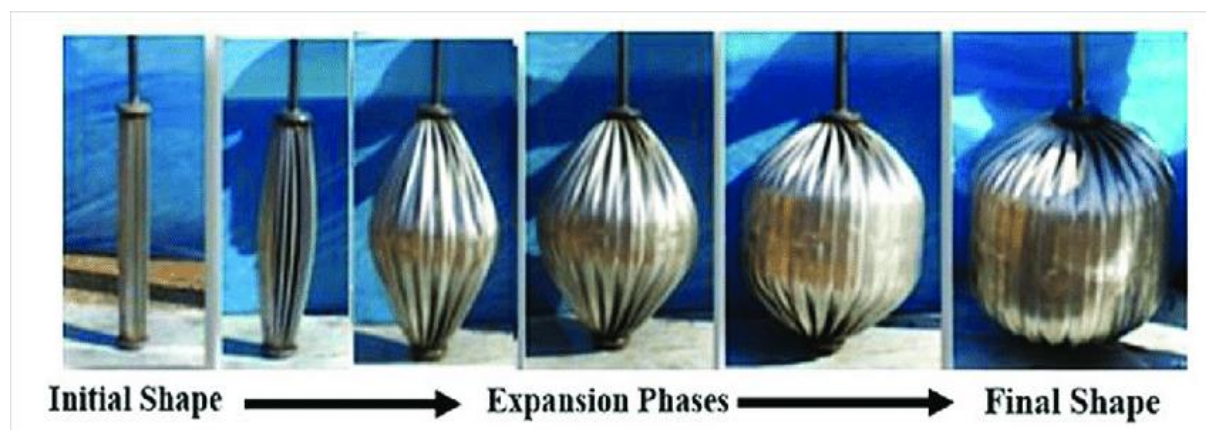
Após a abertura de furos de 310mm com broca rotativa de mesmo diâmetro e encamisamento das paredes dos furos, a aplicação pode ocorrer tanto na extremidade da base de estacas quanto como o colocadas as estruturas de chapas metálicas dobradas do EB, logo após uma primeira injeção de calda de argamassa de cimento Portland, faz-se necessário o uso dessa misturadora de calda de argamassa de cimento devido à sua praticidade e forma rápida e segura de acoplamento na bomba injetora de

calda de cimento, pois tem pressão suficiente para vencer o percurso e a mangueira conectada aos bicos. (Silva C.M., 2019).

O EB é instalado na base da estaca, sendo colocado no fundo da perfuração no caso de estacas escavadas, podendo ser instalado por cravação ou vibração. Após a instalação, o EB é expandido por meio da injeção de calda de cimento, criando um bulbo hermético de alta resistência. O processo de injeção do EB foi conduzido por meio de uma bomba de argamassa com capacidade para alcançar até 100 bar de pressão. Essa bomba recebeu a argamassa de um misturador, onde o volume injetado foi controlado com precisão. (ABNT NBR 6122:2019).

O processo de expansão pode ser dividido em três fases distintas: fase inicial (recompressão do solo perturbado), fase elástica (compressão do solo) e fase estabilizadora. A análise da curva pressão-volume fornece insights valiosos sobre as propriedades de resistência e deformação do solo na ponta da estaca. Uma vantagem significativa é que essas propriedades do solo são obtidas na própria ponta da estaca após sua instalação, levando em conta os efeitos do processo de instalação ou perfuração. (Terceros Herrera e Terceros Arce, 2016). (Figura 3).

Figura 3 – Processo controlado de expansão do Expander Body.



Fonte: Expander Body instalado em Estacas Tipo Hélice Contínua e Tipo Raiz. (2021, p.4).

Após a primeira injeção do EB, é realizada uma segunda injeção na ponta da estaca, entre o EB e o maciço de solo, com pressões e volumes de nata de cimento controlados, a fim de garantir a total eficiência do sistema. Essa segunda injeção tem como objetivo preencher eventuais espaços vazios, melhorar, compactar ou adensar o solo abaixo do EB. Esse procedimento proporciona o benefício adicional da otimização da trajetória de tensão na base da estaca, resultando no aumento da capacidade de

carga e rigidez da estaca, e consequentemente, na redução de recalques. (Silva C.M., 2019). (Figura 4).

Figura 4 – Detalhamento da injeção.



Fonte: Fonte: Expander Body instalado em Estacas Tipo Hélice Contínua e Tipo Raiz. (2022, p.5).

O sistema de monitoramento emprega um manômetro para medir a pressão em relação ao volume de calda de cimento injetado. Esses dados podem ser registrados em três formas básicas: volume versus tempo; pressão versus tempo; e pressão versus volume. A curva de pressão versus volume é particularmente crucial para a interpretação do comportamento do EB. A calda de cimento permanece contida pelo corpo de aço estanque, não penetrando no solo nem causando fraturas. A área da ponta do corpo, parcial ou totalmente expandido, pode ser estimada com base no volume de argamassa medido. (Mello, G.N.A. Bremer, C.F. Hebert, G.J. 2020).

Por seguinte, a conclusão de todos os cortes necessários, deu-se início à escavação dos blocos de coroamento existentes e à perfuração das novas estacas de fundação, que também serviu para a injeção do EB na estrutura. Devido ao baixo pé direito no estacionamento da edificação, enfrentaram-se dificuldades na etapa de perfuração das estacas. Essa situação resultou em atrasos nessa fase, pois foi necessário mobilizar e desmobilizar a perfuratriz várias vezes para contornar a questão do espaço restrito. Após as etapas de furos e do posicionamento da ferragem para a confecção das estacas, deu-se início a fase final da confecção das estacas, a concretagem. (Silva C.M., 2019).

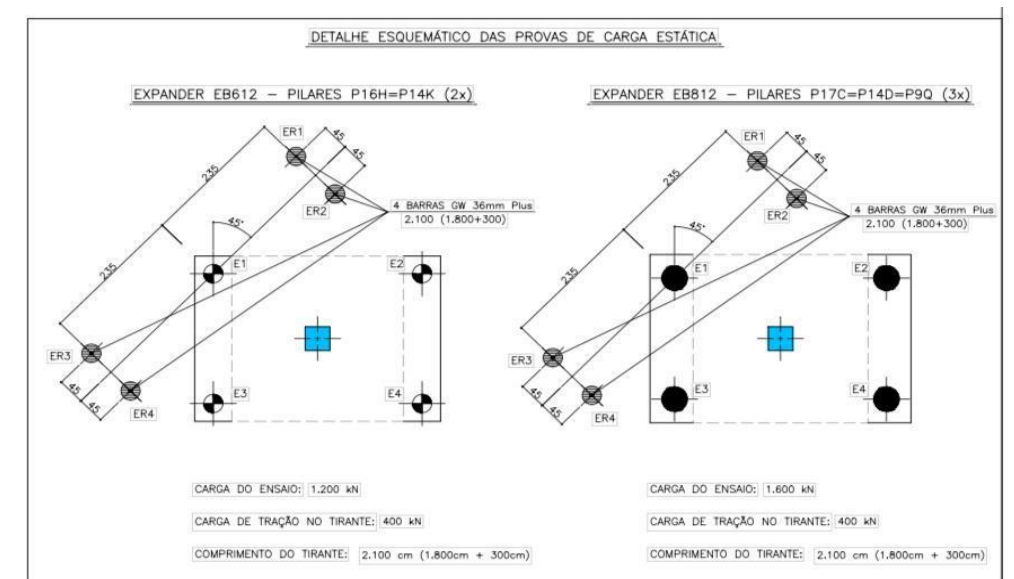
Uma vez que o reforço tenha sido instalado e testado, são feitos ajustes finais, como o preenchimento de áreas escavadas e a limpeza do local. Além disso, é

preparada toda a documentação adequada, incluindo relatórios de inspeção e certificados de conformidade, conforme o solicitado. Vale ressaltar que é fundamental que todo o processo seja supervisionado por profissionais qualificados em engenharia civil e estrutural para garantir a segurança e eficácia do reforço da fundação. Essas etapas garantem que o processo de instalação do EB no reforço de fundações seja realizado de maneira completa e segura, proporcionando assim uma base sólida e estável para a estrutura existente. (Silva C.M., 2019).

6.4 Testes de carga.

As estacas equipadas com o EB submetidas à compressão, apresentaram um ganho de capacidade de carga da ordem de 70 a 80%, enquanto que as estacas acopladas com o EB sujeitas a esforço de tração apresentam um acréscimo da ordem de 40% em termos de carga de ruptura quando comparadas com as estacas escavadas mecanicamente sem a utilização do EB. Verifica-se ainda que a inclusão do sistema EB na ponta das estacas, bem como a sua expansão induz tensões ao maciço terroso, alterando o estado de tensões do solo, acarretando em uma redução significativa de deslocamentos da estaca, ou seja, aferindo um ganho significativo de capacidade de carga quando comparado com a estaca sem a tecnologia EB. (Silva C.M., 2019). (Figura 5).

Figura 5 – Detalhe esquemático das provas de carga.



Fonte: Assentamento de estacas escavadas com sistema de corpo expensor em solos lateríticos. (2021, p.01).

Os resultados dos ensaios de prova de carga estática confirmaram os benefícios do uso do EB, fornecendo uma solução confiável e eficaz para melhorar as características geotécnicas das estacas em diferentes tipos de solo. (Terceros Herrera e Terceros Arce, 2016). (Tabela 1).

Tabela 1 – Relação de deslocamento por carga e pressão por volume.

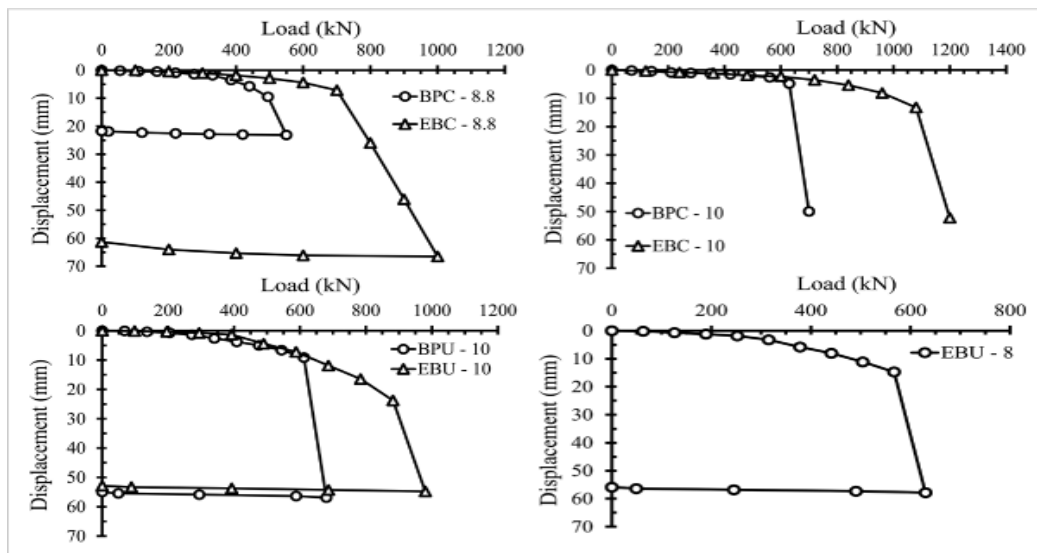
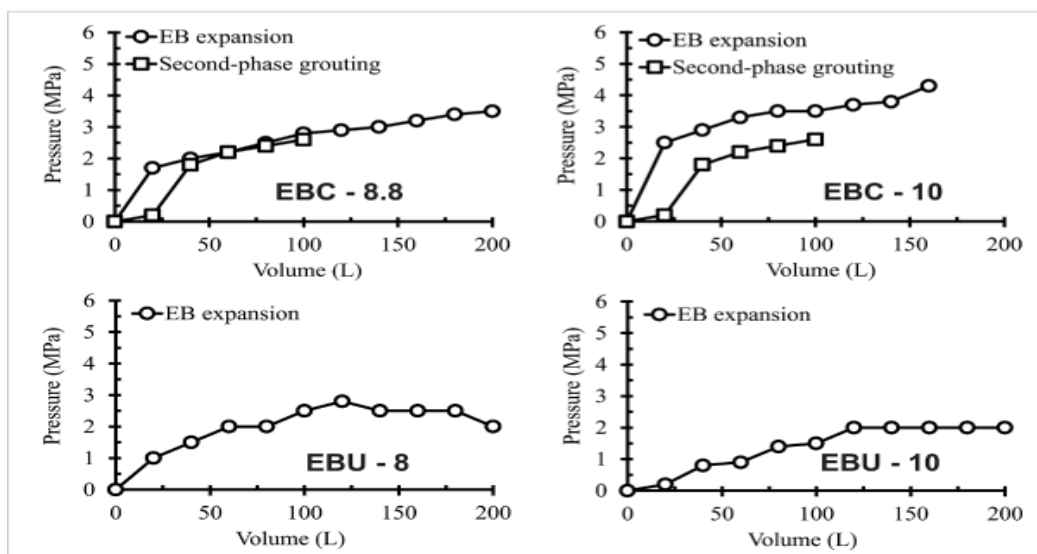


Figure 8 - Load-displacements curves.



Fonte: Assentamento de estacas escavadas com sistema de corpo expensor em solos lateríticos. (2021).

Decorrente da conclusão de todas as etapas para a inserção do sistema com o EB na estrutura, deu-se início à fase final do processo de reforço estrutural nos elementos de fundação, que consistiu na ancoragem da nova estaca ao sistema de fundação existente. Para realizar essa etapa, foi necessário ampliar a área do bloco de coroamento existente na edificação. Isso implicou em realizar uma nova escavação com

o objetivo de aumentar a seção do bloco de coroamento, de modo que as novas estacas pudessem ser adicionadas ao sistema estrutural como um todo. Por fim, iniciou-se o processo de concretagem e acabamento do piso. (Mello, G.N.A. Bremer, C.F. Hebert, G.J. 2020).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo procurou investigar a realidade específica do reforço estrutural em fundações, com foco na necessidade de intervenção devido à mudança na utilização da estrutura. Ao longo da pesquisa, foram analisados os desafios enfrentados, bem como as soluções adotadas, com ênfase no método de reforço utilizando a tecnologia EB.

Os resultados obtidos revelaram que a aplicação do EB se mostrou uma alternativa viável e eficaz para reforçar as fundações, especialmente diante das novas cargas atuantes decorrentes das alterações na estrutura. A técnica demonstrou proporcionar uma maior resistência, juntamente a formação de bulbos de pressão que promovem o adensamento e compactação lateral do solo, contribuindo para a estabilização das fundações e a redução dos recalques.

Além disso, foi observado que, apesar de ser menos comum no mercado brasileiro, o método do EB oferece uma menor probabilidade de danos à estrutura reforçada em comparação com as metodologias convencionais de reforço em fundações. Essa constatação ressalta a importância de considerar abordagens inovadoras e tecnologias avançadas no desenvolvimento de soluções para problemas estruturais complexos.

Em suma, os resultados deste estudo sugerem que o reforço estrutural utilizando a tecnologia EB pode ser uma opção vantajosa e segura para obras de supermercados que necessitam de intervenção em suas fundações. Espera-se que as conclusões aqui apresentadas possam contribuir para o avanço do conhecimento e para a prática profissional no campo da engenharia civil, incentivando a adoção de métodos de reforço mais eficientes e sustentáveis em futuros projetos.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 12131: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT. NBR 16903: Estruturas de concreto — Procedimento para projeto, execução e controle de estruturas pré-moldadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AZEREDO, Hélio Alves de. O edifício até a sua cobertura. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1997. 188p.

Berggren, B., Sellgren, E. and Wetterling, S. Expanderkroppar. Anvisningar för dimensionering, utförande och kontroll (Expander Body. Instructions for design, installation and control). Swedish ommission on Pile Research, Report 1988. 79, 54 p.

Broms, B.B.; Nord, B. Axial Bearing capacity of the expander body pile. Soils and Foundations. 1985. P.35-44.

CARVALHO, C. A.; SANTOS, D. A. F. Engineering Sciences v.7 - n.1 Dez 2018 a 2019. 62, 63 p.

Danziger, Fernando Artur Brasil. Estudo de caso de uma obra de reforço de fundações. São Paulo, 2019. 11 f.

Massarsch, K.R. and Wetterling, S. Improvement of augercast pile performance by Expander Body system. 2nd International Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles, Ghent, June 1 - 4, 1993, pp. 417-428.

Massarsch, K. R. Execution, supervision and quality control of anchors. Panel Discussion, Section 3.3, Construction, Instrumentation and Real Time Management, XIII. Proceedings, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi, India. 1994. Vol. 5, pp. 317 - 319.

Mello, Gláucia Nolasco de Almeida; Bremer, Cynara Fiedler; Soares, Hebert Gerson Júnior. Utilização de estaca raiz para reforço de fundação de edificação histórica: Estudo de caso. Revista principia-divulgação científica e tecnológica

do IFPB 1. 2020. P.135.

ROSÁRIO, Rômulo da Conceição do; ARAÚJO e Rodrigo da Cruz de. Análise da evolução das fundações da construção civil na cidade de São Luís/MA no período de 1987-2011. Revista de engenharia e tecnologia, 2019.p. 156-168.

Silva, E. M.; Terceros, H.M.A.; Terceros M.; Esposito, C.; Fernández, D.H.; Cunha, R.P. Uso da tecnologia Expander Body em estacas solicitadas a tração e a compressão assentes em solo tropical do Brasil. XIX congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica, geotecnia e desenvolvimento urbano. 2018. p. 16-28.

Silva, C.M.; Terceros, H.M.A.; Lentz, L.; Cunha, R.P. A tecnologia expander body em tirantes e estacas no Brasil. IX Seminário de engenharia de fundações especiais e geotecnia. 2019. p. 46-56.

Terceros, M.A.T. Piling practice in the sedimentary granular soils of Santa Cruz, Bolivia. Proceedings of the DFI-EFFC International Conference on Piling and Deep Foundations, Stockholm, (2014). May 21-23, pp. 379 386.

Terceros, Herrera M. A.; Terceros, Arce M.; Recent advances in the expander body technology. XVIII Brazilian conference on soil mechanics and geotechnical engineering. 2016.p.31-38.

Terceros, Arce M.; Terceros, Herrera M.A.; Expander body and toe-box: Expansion devices for deep foundations enhancement. 3rd Bolivian conference on deep foundations. Santa cruz de la sierra, Bolivia. 2017.p. 209-227.

Zilli, Carlos Augusto. Coleção desafios das engenharias: engenharia civil 2. Atena Editora 2021.p. 228-237.