

O Expander Body no Brasil - Casos de Obras

Carlos Medeiros Silva

Engenheiro, Diretor, EMBRE Engenharia, Brasília, Brasil, carlos@embre.com.br

Alexandre Duarte Gusmão

Professor, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil, alexandreduarteagusmao@gmail.com

Fernando Feitosa Monteiro

Professor, Universidade de Campinas, Campinas, Brasil, engffmonteiro@gmail.com

RESUMO: Apresentam-se neste artigo, casos da utilização da tecnologia Expander Body na ponta das estacas escavadas e injetadas no Brasil. Atualmente utilizada no Brasil, a tecnologia Expander Body consiste na instalação de um corpo expansivo na ponta das estacas e dos tirantes. O Expander Body é um cilindro de chapas de aço dobradas que é inflado, por meio da injeção de nata cimento. A tecnologia cria um bulbo de até 800mm na extremidade das estacas ou dos tirantes, fato que confere um aumento da capacidade de carga das estacas e dos tirantes. Como efeito positivo da expansão, o solo circunvizinho ao bulbo é adensado ou consolidado por meio de uma trajetória de tensão que pode atingir 10000 kPa, dependendo da resistência do solo ou da rocha. Todo o processo de injeção é rastreado, os volumes da nata de cimento e as pressões de injeções são registrados e geram uma curva semelhante a obtida no ensaio pressiométrico de Ménard. Fato que possibilita a rastreabilidade e a análise, em termos de desempenho e de capacidade de carga.

PALAVRAS-CHAVE: Expander Body, desempenho, estacas, Capacidade de Carga.

ABSTRACT: This article presents cases of the use of the Expander Body technology at the tip of excavated and injected piles in Brazil. Currently used in Brazil, the Expander Body technology consists of the installation of an expansive body at the tip of the piles and anchor. The Expander Body is a cylinder of bent steel plates that is inflated by injecting cream cement. The technology creates a bulb of up to 800mm at the end of the piles or anchor, which increases the load capacity of the piles and anchor. As a positive effect of the expansion, the soil surrounding the bulb is densified or consolidated through a stress path that can reach 10000 kPa, depending on the resistance of the soil or rock. The entire injection process is tracked, the volumes of the cement cream and the injection pressures are recorded and generate a curve similar to that obtained in the Ménard pressiometric test. This fact enables traceability and analysis, in terms of performance and load capacity.

KEYWORDS: Expander Body, performance, piles, Load Capacity.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação e consideração da resistência de ponta das estacas é complexo e de difícil contextualização. São muitos os mecanismos e teorias de ruptura da base de estacas, cujas diferenças estão ligadas aos parâmetros do solo considerados e ao tratamento e esmero dado a execução da ponta da estaca. Dificuldade que pode ser contornada com a adoção do Expander Body na ponta da estaca.

O Expander Body é um cilindro produzido a partir de chapas de aço sanfonadas que é instalado nas pontas das estacas e dos tirantes, Berggren et al. (1988) e Massarsch, (1994). A tecnologia desenvolvida na Suécia nos anos 80 possibilitou a sua instalação em dezenas de milhares de estacas na Europa, Ásia e nas Américas. No Brasil foram instalados aproximadamente 6000 Expanders Body, destacando-se os instalados em obras localizadas no Distrito Federal, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Pernambuco. O processo de expansão assemelha-se a de um ensaio pressiométrico, fornecendo informações sobre as características de tensão-deformação nas proximidades da ponta da estaca, Fellenius et al. (2018). Um aspecto importante do sistema é a expansão do Expander Body que consolida ou adensa o solo lateralmente, melhorando a resposta por ponta na base da estaca, Massarsch e Wetterling (1993). Em solos granulares, o processo de expansão compacta o solo e aumenta as tensões horizontais, em solos finos e sedimentares como argilas a expansão resulta em um aumento das tensões totais e de poro pressão quando saturados. Quando o excesso de poro pressão se dissipa, a reconsolidação eleva as tensões efetivas e, portanto, aumenta a resistência ao cisalhamento, conseqüentemente, a sua rigidez. Em rochas brandas e argilas muito rijas, a elevada pressão no contato do bulbo com o maciço produz incremento do atrito na interface entre o solo e o Expander Body, mesmo que as deformações sejam pequenas. Finalizada a expansão do bulbo, uma segunda injeção é realizada sob o Expander Body com o objetivo de tratar e melhorar o solo sob o Expander Body. O processo é validado verificando-se as pressões durante todo o processo de injeção onde as pressões devem se manter elevadas e sem quedas de bruscas. O Expander Body é apenas o dispositivo ou sistema que quando instalados na ponta das estacas escavadas, raízes e estacas tipo hélice contínua garantirá a capacidade de carga das estacas à luz do preconizado na NBR 6122. Segundo a NBR 6122 é obrigatório, nos casos de consideração de ponta em determinados tipos de estacas, que o projetista faça menção explícita ao critério de garantia de capacidade de carga na ponta da estaca e que o executor garanta o contato entre o solo ou rocha na ponta da estaca. Ou seja, o tipo de estaca, escavadas, raízes ou tipo hélice contínua, deverá ser projetada e dimensionada atendo os preceitos da NBR 6122 e a garantia de ponta, por exemplo, pode ser auferida pela adoção do Expander Body na ponta da estaca.

O Expander Body é instalado na base da estaca, simplesmente colocando-o no fundo da perfuração no caso de estacas escavadas. O Expander Body também pode ser instalado por cravação ou vibração. Subseqüentemente à instalação o EB é expandido por injeção de calda de cimento, criando um bulbo hermético de alta resistência. A Figura 1 mostra a expansão gradual do EB e o Expander Body exumado no Distrito Federal do Brasil.

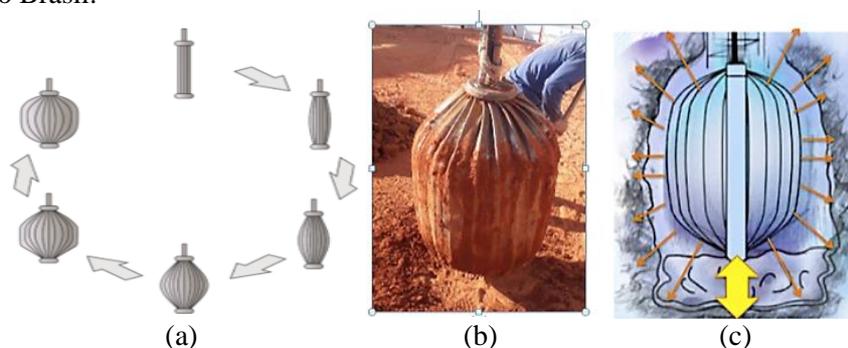


Figura 1: (a) processo de expansão do Expander Body, Monteiro(2023); (b) Expander Body exumado no Distrito Federal, Silva et al (2022); (c) ilustração das injeções e da trajetória de tensões

Segundo Terceros (2014), o Expander Body que foi inicialmente concebido para solos arenosos, mas atualmente é utilizado em diferentes tipos de solos com resultados satisfatórios. Ao longo dos últimos anos, o Expander Body recebeu inovações e novos recursos, entre eles, a industrialização do processo fabricação, a injeção através de mangueiras hidráulicas e um novo dispositivo de pós-injeção na extremidade inferior do

Expander Body, dispositivo que permite a injeção de fundo e o melhoramento do solo abaixo do Expander Body. O sistema aprimorado foi instalado no Brasil em diversos horizontes, argilas rijas, areias compactas e rochas brandas. A Tabela 1 apresenta as diferentes geometrias dos Expander Body aplicados no Brasil e a Figura 2a a curva de calibração dos Expander Body, volume injetado *versus* diâmetro do Expander Body. O processo de expansão pode ser dividido em três fases: fase inicial (recompressão do solo perturbado), fase elástica (compressão do solo) e fase estabilizadora (solo em estado plástico), semelhante a curva pressiométrica obtida no ensaio pressiométrico de Ménard.

O Expander Body (EB) que é semelhante ao bulbo de concreto das estacas tipo Franki confere a estaca benefícios em termos de capacidade de carga e deformabilidade, todo o processo de instalação foi descrito por Silva et al. (2022) e Monteiro (2023). Soma-se a estes ganhos a possibilidade do controle e monitoramento da injeção. Segundo Monteiro (2023), por meio da medida dos volumes de calda de cimento e da pressão aplicada em cada EB para a sua expansão é possível estimar as condições do solo e a capacidade de carga do EB.

Na década de 80, a utilização de metodologias teóricas de capacidade de carga para estacas foi frequentemente empregada em países europeus, assim, Broms e Nord (1985) propuseram uma metodologia preliminar para a estimativa da capacidade de carga de estacas equipadas com o sistema Expander Body. Segundo os autores, a capacidade de carga de estacas com bulbos em argila depende primariamente da coesão não drenada dos solos (S_u). A capacidade de carga do EB em solos granulares segundo Broms e Nord (1985) pode ser estimada a partir da máxima pressão de injeção no Expander Body, sendo esta a pressão requerida para a plena expansão do Expander Body. Diante de tal concepção, os autores descrevem que esta proposta de estimativa de capacidade de carga é fundamentada na teoria aplicada para pressiômetros. Monteiro (2023) avaliou diversas metodologias de estimativa de capacidade de carga com base em ensaios de campo e laboratório (métodos teóricos). Observando assim que dentre os métodos baseados no ensaio SPT, os métodos de Décourt e Quaresma (1996), Aoki e Velloso (1975) utilizando fatores de estacas escavadas e Meyerhof (1976) foram os mais acurados na determinação da capacidade de carga total das estacas escavadas equipadas com a tecnologia EB. Ao passo que para os métodos baseados no ensaio CPT, os métodos de Alsamman (1995), Price e Wardle (1982), Philipponnat (1978), juntamente com os métodos de Eslami e Fellenius (1997) e IS CODE (2010), apresentaram maior acurácia na determinação da capacidade de carga total das estacas escavadas equipadas com a tecnologia EB. Dentre os métodos baseados no ensaio PMT, os métodos de Baguelin et al. (1978), NFP 94-262 (2012) e Ménard (1963) foram os mais acurados na determinação da capacidade de carga total das estacas escavadas equipadas com a tecnologia EB. Por fim, dentre os métodos teóricos, os métodos propostos por Berezantzev et al. (1961), Burland (1973) e Vesic (1967) apresentaram maior acurácia na determinação da capacidade de carga total das estacas escavadas equipadas com a tecnologia EB. Além disso, o autor propôs coeficientes de capacidade de carga para as metodologias de capacidade de carga com maior acurácia e verificou que para métodos baseados em ensaios pressiométricos, o coeficiente de capacidade de carga (K_p) de estacas escavadas equipadas com a tecnologia Expander Body deve ser da ordem de 4.

Segundo Monteiro (2023), a capacidade de carga das estacas equipadas com a tecnologia Expander Body pode ser aumentada de forma significativa devido à expansão do EB, o que amplia a área de contato entre a estaca e o solo adjacente. Esse aumento da área de contato pode levar a um aumento absoluto do atrito lateral mobilizado (acréscimo do atrito lateral unitário devido a compactação lateral). Monteiro (2023) verificou que a capacidade de carga da estaca escavada com a tecnologia Expander Body, dependendo do nível de deformação, pode superar em até três vezes as capacidades de carga das estacas escavadas, hélices contínuas e raízes sem a tecnologia Expander Body.

Tabela 1. Dimensões dos Expander Body no Brasil

| Tipo | Altura | Altura | \varnothing (m) | Al | Al | Vol (m ³) |
|--------|--------------|-------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | antes (m) | após (m) | | antes (m ²) | após (m ²) | |
| EB 612 | 1.2 | 1,00 | 0,6 | 0,28 | 1,83 | 0,27 |
| EB 812 | 1.2 | 1,00 | 0,8 | 0,50 | 3,17 | 0,45 |

Onde, Altura – Altura do Expander Body, Al – Área Lateral do Expander Body e \varnothing – Diâmetro final do Expander Body, Vol – Volume máximo do Expander Body.

Como consequência da expansão, o diâmetro aumenta e o comprimento do Expander Body reduz, as dimensões são apresentadas na Tabela 1. Apesar da baixa probabilidade, o encurtamento pode gerar uma zona não comprimida abaixo do Expander Body, que considerando o encurtamento do Expander Body ter-se-ia um volume máximo de 7 litros a ser preenchido pela segunda injeção ou injeção de ponta. Caso essa região não seja preenchida e compactada, pelo solo circunvizinho em processo de densificação e deslocamento durante a primeira injeção do Expander Body, a segunda injeção de até 50 litros de nata de cimento sob o Expander Body, com pressões e volumes injetados de nata de cimento registrados, preencherá eventuais espaços vazios, caso existam, e fará um tratamento do solo abaixo do Expander Body. Soma-se a esses procedimentos o benefício da trajetória de tensão realizada pelo Expander Body no maciço, consequentemente aumentando a sua capacidade de carga e a rigidez do sistema.

Segundo Monteiro (2022), a alteração do comportamento mecânico do sistema estaca-solo, acréscimo da capacidade de carga e redução dos deslocamentos, devido a inserção do sistema Expander Body na ponta das estacas podem ser explicadas em função da expansão do EB durante a injeção da calda de cimento na primeira etapa de injeção do processo executivo, ocasionando assim, o acréscimo das tensões radiais e a densificação das partículas sólidas do solo adjacentes a base e ao fuste da estaca, Figura 3b. Estas alterações no estado de tensões do solo podem contribuir para a redução dos deslocamentos da fundação, proporcionando um aumento significativo da capacidade de carga em comparação com estacas que não utilizam a tecnologia Expander Body. Os resultados obtidos por Monteiro (2023), por meio de modelagem e análises numérica, Figura 3c, sugerem que a instalação do sistema Expander Body modifica o mecanismo de ruptura da estaca convencional submetida a esforços de compressão ou tração, pois os resultados mostraram uma zona melhorada com influência aproximada de 2,5 diâmetro acima e 2,0 diâmetro abaixo do Expander Body. Resultados que são aproximados, em termos de capacidade de carga, aos obtidos por meio da proposta de Philipponnat (1980), o qual indicou boas estimativas de capacidade de carga para estacas escavadas equipadas com a tecnologia EB. Monteiro (2023) também verificou os coeficientes de ajuste para diversas metodologias teóricas e semi empíricas baseadas em SPT, CPT, DMT e PMT. Por fim, Monteiro(2023) observou que a maior parcela de capacidade de carga do Expander Body é a de atrito lateral.

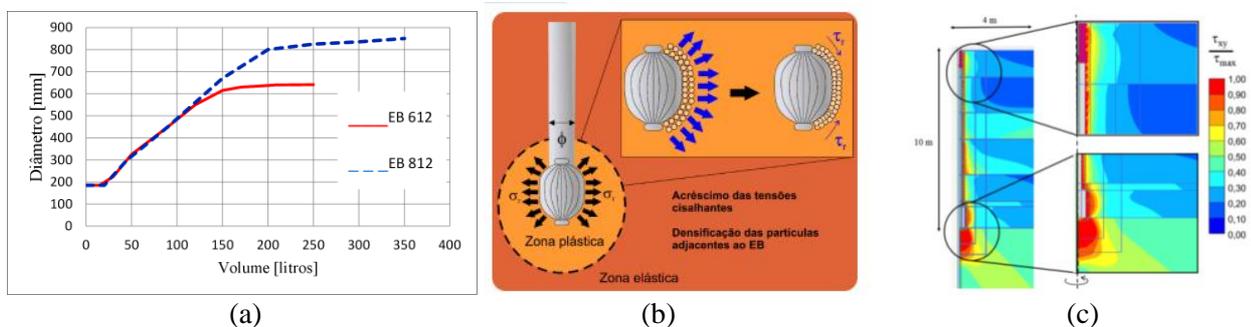


Figura 2. (a) Curva de calibração do Expander Body; (b) Acréscimo de tensões e densificação do solo, Monteiro (2023); (c) Tensão de cisalhamento ao redor da ponta da estaca EBC -10, Monteiro (2023).

Em poucos casos, durante a injeção, e a partir de volumes injetados que garantam a dimensão máxima dos Expander Body, Tabela 1 e Figura 2a, 150l e 200l, respectivamente para os EB612 e EB812, uma eventual ocorrência de fuga de pequeno volume de nata de cimento pode acontecer. Nas obras analisadas aconteceu em aproximadamente 1% das estacas. Fato provocado pelas forças, pressões e tensões internas no Expander Body, que são elevadas e podem provocar microfissuras nas ligações soldadas das franges com o bulbo metálico. Um Expander Body injetado com pressões de 8000kpa atingirá uma somatória de forças superior a 25000KN, se considerarmos sua expansão e volumes máximos apresentados na Tabela 1. As pequenas perdas não interferiram na capacidade de carga dos Expander Body instalados, pois aconteceram sem perdas de pressões no sistema de injeção de nata de cimento e quando os Expander Body estavam com seu diâmetro máximo, Tabela 1.

2 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

A descrição geotécnica e as sondagens próximas as provas de carga estáticos realizadas, uma em estacas escavada, duas em estacas raízes e uma em estaca hélice contínua, com Expander Body instalado em suas

pontas, são apresentados na Figura 3. Dois ensaios foram realizados no Distrito Federal, um em Pernambuco, um em Minas Gerais e um no Rio de Janeiro.

Em Samambaia-DF, o ensaio foi realizado em estaca tipo hélice contínua com Expandor Body instalado em sua ponta. O Expandor Body foi instalado sobre rochas e sedimentos do Grupo Paranoá. Nessa região, superficialmente encontra-se o latossolo altamente intemperizados e laterizado. Este tipo de solo pode apresentar espessuras centimétricas a decamétricas, sendo considerados como solos granulares, friáveis e permeáveis. Sob essa camada encontra-se um metarrimto que é caracterizado por conter alternâncias de camadas arenosas finas e siltosas. A interface solo-rocha é composta por material arenoso constituído predominantemente por areias e siltes. Na Asa Norte, Brasília-DF, o ensaio foi realizado em uma estaca tipo raiz com Expandor Body em sua extremidade. O perfil de solo da região mostra horizontes distintos, camada superficial de solo residual laterítico, argila arenosa porosa vermelha sobre um saprólítico de ardósia, constituído por intercalações de quartzo e um silte argiloso.

Na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro-RJ, o resultado apresentado é a extrapolação do ensaio da estaca raiz com Expandor Body em sua ponta, apresentado por Silva et al (2022), o ensaio foi paralizado devido o deslocamento excessivo de uma das estacas de reação. O horizonte onde o Expandor Body foi instalado é uma região de restinga localizada próxima a Lagoa de Marapendi, cujo solo é composto por sedimentos arenosos compactos, preponderantemente de grãos de quartzo.

Em Recife-PE, o ensaio foi realizado em uma estaca raiz com Expandor Body em sua ponta. O horizonte onde o Expandor Body foi instalado é o característico da região de sucessivas transgressões e regressões marinhas no quaternário que foram responsáveis pela formação de depósitos da planície com diferentes propriedades geotécnicas, entre eles, estão presentes camadas de argilas moles, arenitos, fragmentos de conchas e de corais, que apresentam características bastante variadas do ponto de vista geotécnico.

Em Montes Claros-MG, o ensaio foi realizado em uma estaca escavada com Expandor Body em sua ponta. A estaca foi instalada na formação da Serra de Santa Helena que é caracterizada por uma sequência monótona de metassiltos com ocasionais intercalações de rocha calcária ou folhelhos ardiosanos de dimensões submétricas. Em geral, os litotipos desta formação exibem intensa intemperização, resultando no desenvolvimento de um solo composto por fragmentos alterados de rocha calcária, juntamente com pedaços angulosos de quartzo veiado em centímetros.

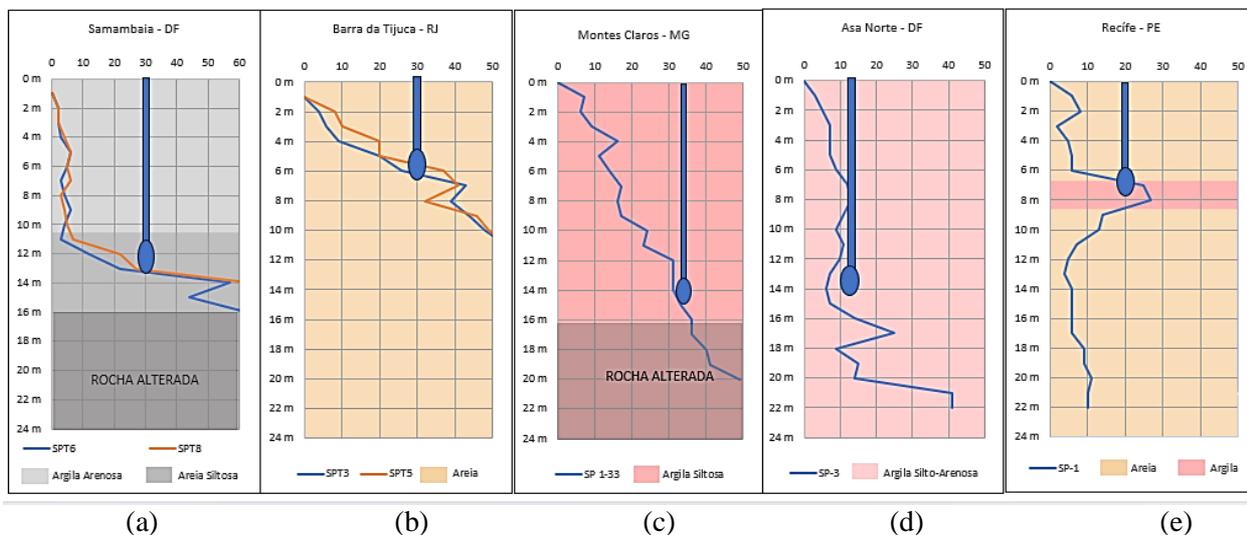


Figura 3: Caracterização Geotécnica (a) Samambaia-DF; (b) Barra da Tijuca-RJ; (c) Montes Claros-MG; (d) Asa Norte – DF; (e) Recife - PE

3 CARACTERÍSTICAS DAS ESTACAS E DOS EXPANDER BODY

Em Samambaia-DF foi utilizado o Expandor Body EB812, instalado em uma estaca hélice contínua com 0,6m de diâmetro e 12,0m de profundidade. O Expandor Body foi assente em saprólito sobre o metarrimto e a fundação, estaca hélice contínua, foi projetado para a carga admissível de 1750KN. A adoção da tecnologia viabilizou a obra técnica e economicamente. No caso, o Expandor Body foi instalado na

extremidade da armação da estaca e introduzido no concreto fresco logo após a execução e concretagem da estaca. Na Barra da Tijuca/RJ foi utilizado o Expander Body EB612 em estaca raiz de 0,31m de diâmetro e 6,0m de profundidade. O Expander Body foi assente em areia compacta e a fundação, estaca raiz com Expander Body, foi projetado para a carga admissível de 650KN. A tecnologia possibilitou a redução das profundidades e prazos, inicialmente projetados para um reforço de fundação espaços reduzidos para os maquinários. Em Montes Claros-MG foi utilizado Expander Body EB812, instalado em uma estaca escavada de 0,40m diâmetro e 14,0m de comprimento. O Expander Body foi assente em saprólito sobre rocha calcária e a fundação, estaca escavada com Expander Body, foi projetado para a carga admissível de 1200KN. A adoção da tecnologia viabilizou a obra técnica e economicamente. Na Asa Norte, Brasília-DF, foi utilizado o Expander Body EB612 em estaca raiz de 0,31m de diâmetro e 14,0m de profundidade. O Expander Body foi assente em silte argiloso de médio a rijo e a fundação, estaca raiz com expander Body, foi projetada para a carga admissível de 600KN. A tecnologia possibilitou a redução das profundidades e prazos, inicialmente projetados para um reforço de fundação espaços reduzidos para os maquinários. Em Recife-PE, foi utilizado o Expander Body EB612 em estaca raiz de 0,31m de diâmetro e 6,0m de profundidade, assente em argila arenosa de média a rija, com capacidade de carga admissível de 500KN. A tecnologia possibilitou a redução das profundidades e prazos, inicialmente projetados para um reforço de fundação espaços reduzidos para os maquinários. Na Tabela 2 são apresentadas as características geométricas das estacas e dos Expander Body ensaiados. Também é descrito o horizonte onde o Expander Body foi assente e expandido.

Tabela 2. Características Geométricas das estacas ensaiadas

| Sítio | Samambaia | Barra da Tijuca | Montes Claros | Asa Norte | Recife |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|
| Tipo de Estaca | Hélice Contínua | Raiz | Escavada | Raiz | Raiz |
| Diâmetro(m) | 60 | 31 | 40 | 31 | 31 |
| Comprimento(m) | 12 | 6 | 14 | 14 | 6 |
| Expander Body | EB812 | EB612 | EB812 | EB612 | EB612 |
| Horizonte de assentamento | Saprólito sobre Metarritimito | Areia compacta | Saprólito sobre Calcário | Silte Argiloso | Argila Arenosa |
| NSPT (golpes) | >30 | >30 | >30 | 10-20 | 15-25 |
| Carga de Trabalho (KN) | 1750 | 650 | 1200 | 600 | 450 |

4 PROVAS DE CARGAS E ANÁLISES

A capacidade de carga das estacas com Expander Body é aumentada de forma significativa em função da expansão do Expander body, pois aumenta o área de contato entre a estaca, Expander body, e o solo adjacente. A expansão do Expander Body densifica o solo e acresce as tensões horizontais efetivas alterando o estado de tensões. Em solos coesivos, a expansão resulta em um aumento das tensões totais e da poro pressões quando saturados, quando o excesso de poro pressão se dissipa, a reconsolidação eleva as tensões efetivas e aumenta a resistência ao cisalhamento e rigidez do solo. Fato observado por Monteiro (2023), ele verificou que a densificação do solo provocada pela expansão do Expander Body, pode influenciar, positivamente, em até duas vezes o seu diâmetro acima do Expander Body e, pelo menos, um diâmetro abaixo do Expander Body. Esse aumento de rigidez leva a um aumento absoluto do atrito lateral mobilizado no fuste da estaca acima do Expander Body e um acréscimo da capacidade de carga abaixo do Expander Body. Fatos que se somam a capacidade de carga do Expander Body e ao efeito benéfico da segunda injeção abaixo do Expander Body, que trata e enrijece o solo abaixo do Expander Body.

As estacas ensaiadas foram submetidas a provas de carga lenta, de acordo com a NBR 12131 (ABNT, 2006). Os carregamentos das estacas ensaiadas, na maioria dos casos, foram realizados em dez estágios de carga. Nas provas de carga empregou-se macacos hidráulicos com capacidade de até de 3000 kN com dados obtidos por meio de células de carga com precisão de 1KN. Os deslocamentos no topo das estacas foram medidos por quatro deflectômetros.

Os deslocamentos observados durante a realização das provas de carga realizados na Asa Norte e no Recife-PE os deslocamentos das estacas foram superiores a 10% do diâmetro do fuste das estacas. Esse nível de deslocamento possibilitou análises do comportamento do sistema, estaca e Expander Body, Figura 4b. Em Samambaia, em Montes Claros e na Barra da Tijuca os deslocamentos foram pequenos e não foram

suficientes para mobilizar em sua totalidade o atrito lateral e a ponta das estacas, no caso, do Expander Body, Figura 4a.

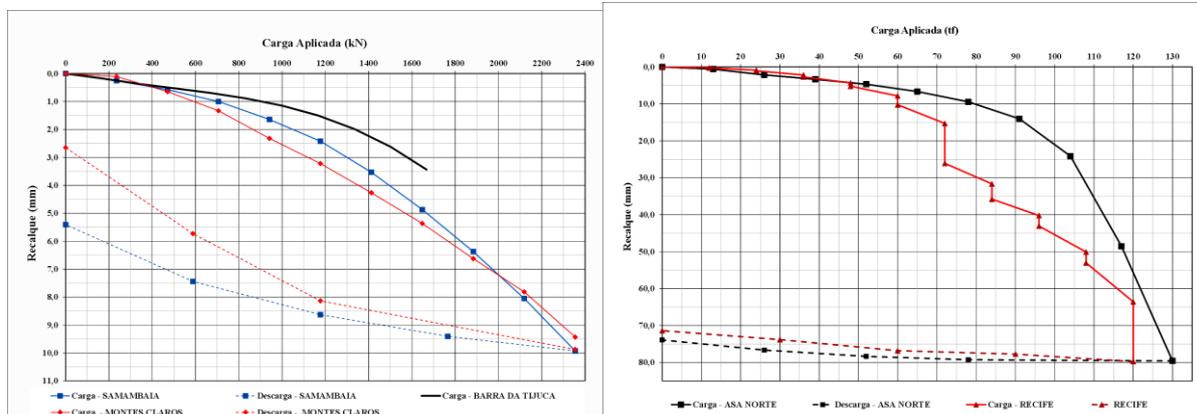


Figura 4a. (a) Provas de Carga Estáticas realizadas em Samambaia-DF, Montes Claros-MG e Barra da Tijuca-RJ; (b) Provas de Carga Estáticas realizadas em Recife-PE e na Asa Norte – DF.

Analisando as provas de carga realizadas na Samambaia, Montes Claros e Barra da Tijuca, respectivamente, estaca hélice contínua, escavada e raiz, todas com EB812 em sua ponta, instalados em solos de elevada rigidez com $SPT > 30$ golpes, Figura 4a. Pode-se observar o ganho de desempenho das estacas, em função da presença do Expander Body, quanto a capacidade de carga e rigidez. As pressões elevadas verificadas durante a injeção da pós-expansão do Expander Body, injeção de fundo, abaixo da ponta do Expander Body indica que o solo que envolve o Expander body está densificado. O Expander Body provocou o aumento na capacidade de carga das estacas ensaiadas, se as comparássemos com as capacidades de cargas obtidas em estacas executadas por métodos tradicionalmente sem a presença do Expander Body.

As provas de cargas realizadas sobre as estacas raízes executadas em Recife e na Asa Norte com Expander Body EB 612, menor dimensão quando comparado com os instalados nas demais estacas, foram instalados em horizontes de menor resistência SPT, $10 < SPT < 25$ golpes, conseqüentemente, apresentaram maior deformabilidade, Figura 4b. Analisando as curvas tensão *versus* deformação apresentadas na Figura 4, e se considerarmos que o domínio de atrito limita-se a deformações máximas de 10mm, trecho linear das curvas, entre 50% e 70% da capacidade de carga do sistema estaca/Expander Body é referente ao atrito lateral. Entretanto, pode-se observar a importância da resposta por ponta do Expander Body como indutor de capacidade de carga última, elevando a carga última da estaca, e redutor de recalque.

5 CONCLUSÕES

A instalação do Expander Body, na ponta das estacas, modifica o comportamento da solo e conferiu um aumento na capacidade de carga e a redução nos deslocamentos. O fenômeno é provocado pela Expander Body durante a injeção da calda de cimento, processo que resulta no acréscimo das tensões radiais e na densificação das partículas. A instalação do Expander Body nas estacas modificou o mecanismo de ruptura das estacas submetidas aos esforços de compressão. A tecnologia do Expander Body foi instalada com sucesso nas estacas tipo hélice e raízes com ganhos na capacidade de carga das estacas em diferentes tipos de solo, no caso, os solos tropicais do Brasil. O comportamento, em termos de ganho de capacidade de carga, coloca a tecnologia como uma opção segura e viável técnica e economicamente que pode ser utilizada em diferentes tipos solos e de estacas. O sistema também permite a rastreabilidade e a validação das estacas, pois todo o processo é monitorado. Fato que aumenta a confiabilidade do estaqueamento.

6 AGRADECIMENTO

Este trabalho é fruto de uma parceria entre várias entidades nacionais e internacionais, com papéis específicos do ponto de vista econômico ou científico. Agradecemos a Embre Engenharia, Gusmão Engenheiros Associados, Expander Body Brasil, SCCAP Engenharia, AP Engenharia, Soloteste Engenharia, Fundsolo Serviços Geotécnicos, Redav Serviços de Engenharia e SEFE Serviços Especializados de Fundações pelos dados aqui disponibilizados.

7 REFERÊNCIAS

- ABNT. (2022). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122: Projeto e Execução de Fundações. 120p.
- Alsamman, O.M. (1995). The use of CPT for calculating axial capacity of drilled shafts. PhD Thesis, UIUC, IL, 299 p.
- Aoki, N. & Velloso, D.A. (1975). An Approximate Method to Estimate Vertical Load Capacity of Piles. 5th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1: 367–376
- Baguelin, F., Jézéquel, J.F. & Shields, D.H. (1978). The pressuremeter and foundation engineering. Trans Tech Publications. Clausthal, Germany, 614p.
- Berggren, B., Sellgren, E. and Wetterling, S. (1988) *Expanderkroppar. Anvisningar för dimensionering, utförande och kontroll* (Expander Body. Instructions for design, installation and control). Swedish ommission on Pile Research, Report 79, 54 p.
- Broms, B.B. & Nord, B. (1985). Axial Bearing Capacity of the Expander Body Pile. Soils and Foundations, Vol.25(2): 31–44.
- Burland, J.B. (1973). Shaft friction of piles in clay – a simple fundamental approach. Ground Engineering, Vol.6: 30-42.
- Décourt, L. (1996). A ruptura de fundações avaliada com base no conceito de rigidez. SEFE III, Vol.1: 215-224.
- Eslami, A. & Fellenius, B.H. (1997). Pile capacity by direct CPT and CPTu methods applied to 102 case histories. Can Geotech, Vol.J34(6): 880–898.
- Fellenius, B.H., Massarsch, K.R., Terceros Herrera, M.A. and Terceros Arce, M. (2018). *A study of the augmenting effect of equipping piles with an Expander Body*. International Conference on Deep Foundations and Ground Improvement: Urbanization and Infrastructure Development Future Challenges, pp. 114–123.
- IS. CODE(2010). Design and Construction of Pile Foundations - Code of Practice. Soil and Foundation Engineering Sectional Committee, pp. 26.
- Massarsch, K.R. and Wetterling, S. (1993) *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. (1994). *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, Vol. 5, pp. 317 - 319.
- Menard, L. (1963). Calcul de la force portante des fondations sur la base des resultats des essais pressiometriques. Sols Soils n°5, pp. 9-32.
- Meyerhof, G.G. (1976). Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol.102(3): 197–228.
- Monteiro, F. F. (2023). *Comportamento de Estacas Escavadas Equipadas com o Sistema Expander Body em Solo Tropical*. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 438 p.
- NORME FRANÇAISE. (2012). NF P 94-262: Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations profondes. Paris. 206 p.
- Price, G. & Wardle, I.F. (1982). A comparison between cone penetration test results and the performance of small diameter instrumented piles in stiff clay. 2nd European symposium on penetration testing, Amsterdam, Vol.2: 775–780.
- Philipponnat, G. (1980). Methode pratique de calcul d'un pieuisolé a l'aide du penetrometre statique. Rev Fr Geotech, Vol.10: 55–64.
- Silva, C.M., Terceros H, M.A., Lentz, L. & Cunha, R.P.(2019). *A Tecnologia Expander Body em Tirantes e Estacas no Brasil*. 9º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, pp. 1–10.
- Silva, C. M. ; Aquino, F. R. ; Monteiro, F.F. ; Cunha, R. P. ; Terceros, M.A.H. (2022) *Expander body instalado em estacas tipo hélice contínua e tipo raiz*. In: Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. Geotécnica, COBRAMSEG 2022. Campinas. Cong. Bras. Mec. Solos e Eng. Geotécnica. CD Rom. p. 1-7.
- Terceros, M.A.T.(2014). *Piling practice in the sedimentary granular soils of Santa Cruz, Bolivia*. Proceedings of the DFI-EFFC International Conference on Piling and Deep Foundations, Stockholm, May 21-23, pp. 379 386.
- Vesic, A.S. (1963). Bearing capacity of deep foundations in sand. Highway Research Record (39), p 112.