

## Uso da Teoria de Expansão de Cavidade em Sistemas *Expander Body* para Obtenção de Parâmetros Geotécnicos *In Situ*

Fernando Feitosa Monteiro

Doutorando, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, engffmonteiro@gmail.com

Renato Pinto da Cunha

Professor Titular, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, rpcunha@unb.br

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Professor Associado, Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, marcosporto@ifce.edu.br

Carlos Medeiros Silva

Diretor Técnico, Embre Engenharia Ltda., Brasília, Brasil, carlos@embre.com.br

Yago Machado Pereira de Matos

Doutorando, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, yago\_mpm@hotmail.com

**RESUMO:** A Teoria de Expansão de Cavidade em uma massa de solo tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores na engenharia geotécnica, sendo a mesma aplicada na avaliação da capacidade de carga de fundações e na interpretação de ensaios pressiométricos. Sabendo que o princípio que rege o comportamento do processo de injeção do *Expander Body* no solo possui uma semelhança significativa com o ensaio pressiométrico realizado em um pré-furo, ambos podem ser modelados como a expansão de um cilindro, infinitamente, longo circundado por uma massa de solo homogênea e isotrópica. Diante disso, o presente trabalho tem como principal objetivo verificar a possibilidade de ajuste da metodologia para interpretação de ensaios pressiométricos consagrada nos meios técnico e científico para viabilizar a obtenção de parâmetros geotécnicos *in situ* por meio de curvas de injeção de sistemas *Expander Body*. Os dados adquiridos foram retirados de diversos estudos realizados no Campo Experimental da Universidade de Brasília no Distrito Federal. Observou-se que a interpretação das curvas pressão-volume de expansão dos sistemas *Expander Body* foram ajustadas de forma satisfatória a partir do método analítico utilizado, visto que os parâmetros ajustados apresentaram valores condizentes com o tipo de solo e a profundidade na qual foram instalados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pressiômetro de Ménard, Teoria de Expansão de Cavidade, *Expander Body*, Parâmetros Geotécnicos.

**ABSTRACT:** The cavity expansion theory in a soil mass has been study object of several researchers in geotechnical engineering, being the same applied in foundation bearing capacity assessment by interpretation of pressiometric tests. Knowing that the principle that governs the *Expander Body* injection process behavior presents a significant similarity to the pressuremeter test performed in a pre-hole, both can be modeled as the expansion of an infinitely long cylinder surrounded by homogeneous and isotropic soil mass. Thus, the present work has the aim to verify the possibility of adjusting the pressuremeter test interpretation methodology for *Expander Body* system injection curves. The acquired data were taken from several studies carried out at the Experimental Field of the University of Brasília in the Federal District. It was observed that the interpretation of the expansion pressure-volume curves of the *Expander Body* systems were adjusted satisfactorily from the analytical method used, since the adjusted parameters presented consistent values regarding the soil type and depth in which they were installed.

**KEYWORDS:** Ménard pressuremeter, Cavity expansion theory, *Expander Body*, Geotechnical parameters.

## 1 Introdução

Um importante desenvolvimento da tecnologia de fundações por estacas tem sido a possibilidade de monitorar e controlar o seu processo executivo. Essas informações podem ser usadas para determinar a profundidade necessária de instalação e estimar, com base em correlações empíricas (Monteiro et al., 2019) ou formulações analíticas (Silva et al., 2012), a capacidade de carga das estacas após sua instalação. Em meio a essas novas tecnologias, encontra-se o *Expander Body* (EB), que consiste em um corpo expansivo formado por chapas de aço dobráveis, sanfonadas, de formato cilíndrico, que pode ser instalado na ponta da estaca para melhorar o seu desempenho. Os sistemas EB podem permitir uma otimização de projetos geotécnicos além de um melhor controle de qualidade de obras de engenharia. Esse sistema que foi adaptado para uso em fundações começou a ser implementado de forma pioneira no Brasil a partir de 2018 no campo experimental da Universidade de Brasília (UnB). Um aspecto interessante relacionado com os sistemas EB são o seu processo de instalação (Figura 1).

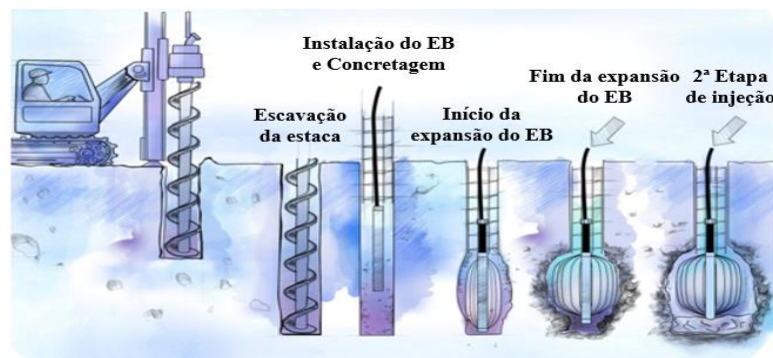


Figura 1. Processo executivo do EB em estacas escavadas (Terceros Herrera, 2016).

A sua primeira etapa de injeção é caracterizada por sucessivas medidas de pressão que o EB exerce nas paredes da escavação e volume injetado durante a expansão do balão metálico, viabilizando a análise do acréscimo de rigidez e de resistência do solo adjacente à ponta da estaca. O princípio que rege o comportamento do EB no solo possui uma semelhança significativa com o ensaio pressiométrico realizado em um pré-furo. Essa semelhança permite o uso de teorias relacionadas ao ensaio pressiométrico para projeto e controle de qualidade da tecnologia *Expander Body* (Terceros Arce e Terceros Herrera, 2015; Terceros Herrera, 2016; Terceros Herrera e Terceros Arce, 2016; Terceros Arce e Terceros Herrera, 2017). Diante disso, o presente trabalho tem como principal objetivo verificar a possibilidade de ajuste da metodologia para interpretação de ensaios pressiométricos consagrada nos meios técnico e científico para viabilizar a obtenção de parâmetros geotécnicos *in situ* por meio de curvas de injeção de sistemas *Expander Body*.

## 2 Teoria de Expansão de Cavidade

A Teoria de Expansão de Cavidade em uma massa de solo tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores na engenharia geotécnica (Hughes et al., 1977; Carter et al., 1986; Cunha, 1994; Cunha, 1996; Cunha e Campanella, 1998; Cunha et al., 2000; Cunha et al., 2001; Fontaine et al., 2005), sendo a mesma aplicada na avaliação da capacidade de carga de fundações e na interpretação de ensaios pressiométricos. Sabendo que o princípio que rege o comportamento do processo de injeção do EB no solo possui uma semelhança significativa com o ensaio pressiométrico realizado em um pré-furo, ambos podem ser modelados como a expansão de um cilindro, infinitamente, longo circundado por uma massa de solo homogênea e isotrópica. As direções radiais ( $r$ ) e circunferenciais ( $\theta$ ) são consideradas, respectivamente, as direções principais maiores e menores de tensão e deformação. Assume-se que condição de tensão inicial é isotrópica no plano horizontal, de forma que a tensão horizontal ( $\sigma_h$ ) é inicialmente igual as tensões radiais ( $\sigma_r$ ) e circunferenciais ( $\sigma_\theta$ ). Pode-se assumir que o sistema está na condição de repouso quando a pressão de cavidade interna é igual a tensão horizontal ( $\sigma_h$ ). O solo circundante estará sujeito a um estado plano de deformação se o comprimento do pressiômetro ou do EB for, significativamente, superior ao seu raio. Nesse caso, nenhuma

deformação ocorrerá na direção vertical. À medida que ocorre o acréscimo de pressão, o solo próximo à parede da cavidade inicia o processo de plastificação. Assim, um espaço anelar de ruptura no solo começa a se desenvolver e sua abrangência ocorre do raio da cavidade deformada até a interface elastoplástica. A Figura 2 mostra o estado de tensões na parede da cavidade durante o processo de expansão.

A interpretação dos dados de ensaios pressiométricos pode ser feita de forma tradicional, como descrito por Baguelin et al. (1978), ou racional, utilizando-se de soluções analíticas (Hughes et al., 1977; Carter et al., 1986; Cunha, 1994; Cunha, 1996; Fontaine et al., 2005). A maioria dos métodos de interpretação fundamentados em soluções analíticas emprega a técnica de ajuste de curva no qual a curva experimental fornecida pelo ensaio é comparada com o resultado de uma curva teórica gerada por um modelo analítico derivado da aplicação da teoria de expansão de cavidade cilíndrica. Os parâmetros que levam à geração desta curva são escolhidos pelo usuário, que julga a qualidade do ajuste. A interdependência dos parâmetros constitutivos envolvidos ( $c$ ,  $\varphi$ ,  $\sigma_{h0}$  e  $G$ ) elimina a ocorrência de erros grosseiros na interpretação dos ensaios pressiométricos, pois a escolha de um valor pouco realista para qualquer uma das variáveis reduz a possibilidade de ajuste (Cunha, 1996; Vecchi et al., 2000). Como limitação a esta abordagem, no entanto, deve-se destacar que não se trata de um método determinístico de obtenção de parâmetros constitutivos do solo. Ou seja, mais de um conjunto de valores pode fornecer um ajuste satisfatório, exigindo julgamento geotécnico e bom senso para a escolha do conjunto representativo (Mota, 2003).

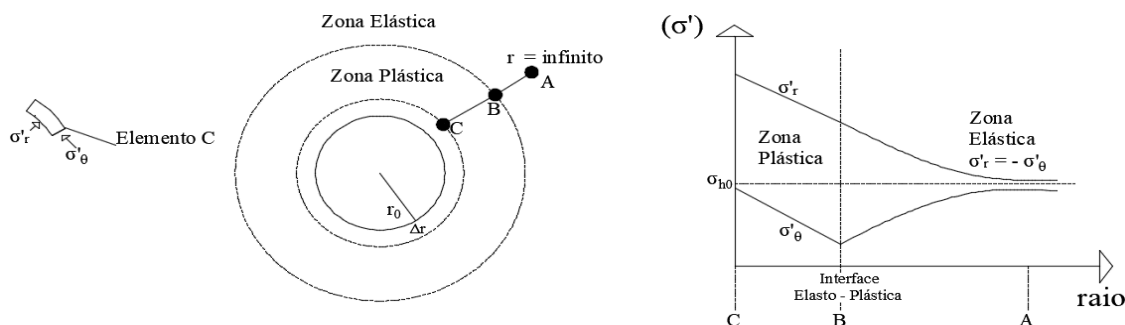


Figura 2. Expansão de cavidade (modificado de Cunha, 1994).

Neste trabalho, foi empregado um modelo elastoplástico de Cunha (1996) modificado por Fontaine et al. (2005) para a interpretação de ensaios pressiométricos e das curvas pressão-volume de expansão do EB. O modelo modificado incorpora mais duas variáveis que compreendem a sucção mátrica do solo ( $u_a - u_w$ ) e o ângulo de atrito dependente da sucção mátrica ( $\phi^b$ ). Desta forma, considera-se as duas parcelas de coesão ( $c$ ) para solos não saturados, a parcela relativa à coesão efetiva ( $c'$ ) dada pela cimentação do solo, e a parcela de coesão aparente,  $\text{tg}\phi^b (u_a - u_w)$ , fornecida pela sucção mátrica do solo que pode ser obtida a partir da curva característica.

### 3 Estudo de Caso

O presente trabalho buscou, inicialmente, selecionar locais que apresentavam, conjuntamente, resultados de ensaios pressiométricos e curvas de injeção obtidas a partir da implatação de sistemas EB. Em seguida, a metodologia de interpretação utilizada nos ensaios pressiométricos foram ajustadas para os sistemas EB a fim de permitir a obtenção dos parâmetros geotécnicos a partir de suas curvas de injeção (pressão x volume).

Os dados adquiridos foram retirados do Campo Experimental da UnB no Distrito Federal e são fruto de um projeto de pesquisa que objetiva a análise da prévia execução de sete ensaios de prova carga em estacas mecanicamente escavadas com e sem os sistemas *Expander Body* realizadas. Os ensaios foram feitos em um anexo do antigo Campo Experimental da UnB, localizado em uma área de, aproximadamente, 1000 m<sup>2</sup> dentro do *Campus* Universitário na Asa Norte. Sondagens do tipo SPT foram realizadas nesse anexo durante a estação

chuvosa. Além disso, foram utilizados os resultados do ensaio PMT executado por Mota (2003) no antigo campo experimental da UnB durante a mesma estação. É importante ressaltar que o furo para realização do ensaio PMT estava a uma distância média de 20 m das estacas analisadas nesta pesquisa. A Tabela 1 resume as atividades realizadas durante a pesquisa.

Tabela 1. Relação das atividades no Campo Experimental da UnB.

Atividade	Período
Estacas equipadas com EB	05/10/2017
SPT	08/03/2016
PMT	01/12/1999 - 01/03/2000 (Mota, 2003)
Compressão triaxial	01/09/2000 - Desconhecido (Guimarães et al., 2004)

### 3.1 SPT

Pelos resultados das sondagens SPT, o perfil geotécnico do anexo do Campo Experimental da UnB foi caracterizado por uma estratigrafia composta, basicamente, de quatro camadas. A primeira, de até 3 m de profundidade, constituída por uma argila arenosa muito mole, seguida de uma argila siltosa de consistência mole a média e uma zona de transição silto-argilosa com pedregulhos situada, aproximadamente, entre 6 e 8 m de profundidade. Por fim, uma camada de silte arenoso compacto a muito compacto. Convém salientar que o perfil de solo do anexo do campo experimental da UnB apresentou uma considerável semelhança com o perfil já caracterizado por Guimarães et al. (2004) e Mota (2003).

### 3.2 PMT

Mota (2003) realizou um ensaio pressiométrico na umidade natural durante a estação chuvosa, com o pressiómetro tipo Ménard (sonda NX de 74 mm). O ensaio foi executado seguindo os procedimentos recomendados pela norma D-4719 (ASTM, 1987). Foram medidas as pressões aplicadas e as variações volumétricas correspondentes à expansão da cavidade cilíndrica na massa de solo, permitindo a obtenção da curva pressiométrica necessária para a determinação dos parâmetros de resistência e deformabilidade do solo e para a previsão da tensão horizontal em campo. A Figura 3a exibe as curvas pressiométricas obtidas para o referido ensaio. Essas curvas foram corrigidas (correção de volume e pressão) e ajustadas de acordo com a metodologia proposta por Fontaine et al. (2005). Dessa forma, as curvas são apresentadas a partir da pressão inicial do tramo pseudoelástico ( $P_0$ ), removendo, assim, o trecho de recompressão. A partir das curvas pressiométricas, é possível determinar a pressão limite ( $P_L^*$ ) e o coeficiente de empuxo no repouso ( $K_0$ ), parâmetros necessários para se utilizar metodologias de estimativa de capacidade de carga a partir de ensaios pressiométricos. A Figura 3b apresenta os valores dos parâmetros supracitados. O valor obtido para a profundidade de 1 m foi descartado por apresentar problemas na medição do ensaio (Mota, 2003). Constatou-se um acréscimo da pressão limite com a profundidade e um desenvolvimento expressivo da pressão limite no horizonte saprolítico.

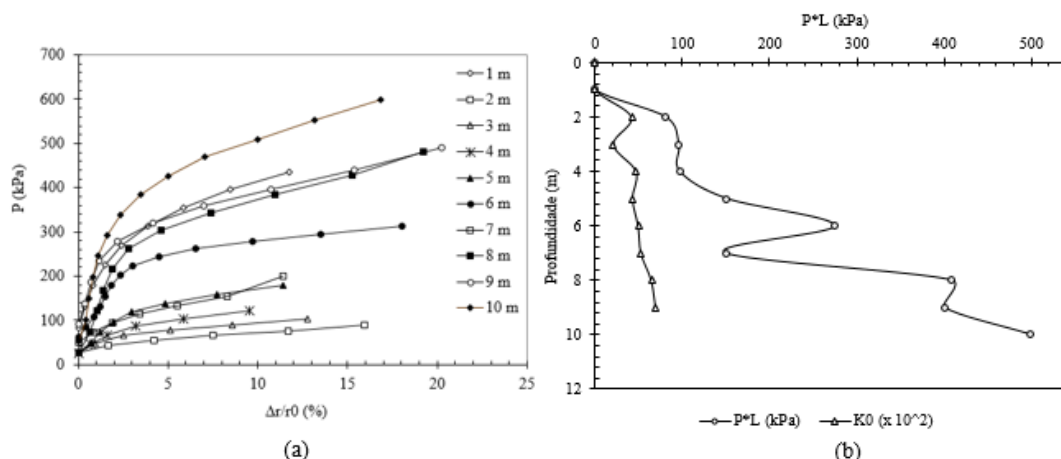


Figura 3. (a) Curvas pressiométricas (modificado de Mota, 2003) e (b) Valores de  $P_L^*$  e  $K_0$ .

### 3.3 Ensaios de Compressão Triaxial

Os resultados dos ensaios triaxiais do tipo adensado e drenado realizados por Guimarães et al., (2004) estão resumidos na Tabela 2. A escolha deste tipo de parâmetro se deu pelo fato de a camada de argila porosa apresentar uma alta permeabilidade ( $10^{-3}$  a  $10^{-4}$  cm/s) com maior predisposição para um comportamento similar aos de solos granulares finos.

Tabela 2. Valores de coesão e ângulo de atrito efetivo ao longo da profundidade.

Parâmetro	Profundidade (m)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$c'$ (kPa)	-	-	0	-	-	11	-	11	23	23
$\phi'$ (°)	-	-	26	-	-	33	-	33	29	29

### 3.4 Sistemas *Expander Body*

Foram executadas quatro estacas escavadas mecanicamente equipadas com tecnologia EB, diâmetros variando entre 0,25 e 0,30 m e comprimentos de 8 a 10 m. O modelo EB 612 (0,60 m de diâmetro final após a expansão e comprimento inicial de 1,20 m) foi o empregado nesta pesquisa. O processo de injeção foi realizado por meio de uma bomba de argamassa de cimento com capacidade de 8 MPa a qual recebia a argamassa de um misturador que também foi utilizado para medir a quantidade de volume injetado. A bomba de argamassa conduzia a mistura para um cavalete de pressão o qual permitia controlar a pressão por meio da utilização de um manômetro com capacidade máxima de 30 MPa. O volume de injeção foi controlado por um medidor de vazão instalado no misturador de alta turbulência. Quando necessária, a segunda etapa de injeção era realizada 48 h após a execução da primeira injeção. A Figura 4 apresenta as curvas pressão-volume obtidas a partir da expansão dos EBs nas profundidades entre 8 e 10 m. Os EB foram identificados como EBT e EBC (caracterizado pelo o tipo de solicitação que os mesmos seriam submetidos nas provas de carga) seguido pela profundidade de instalação do EB.

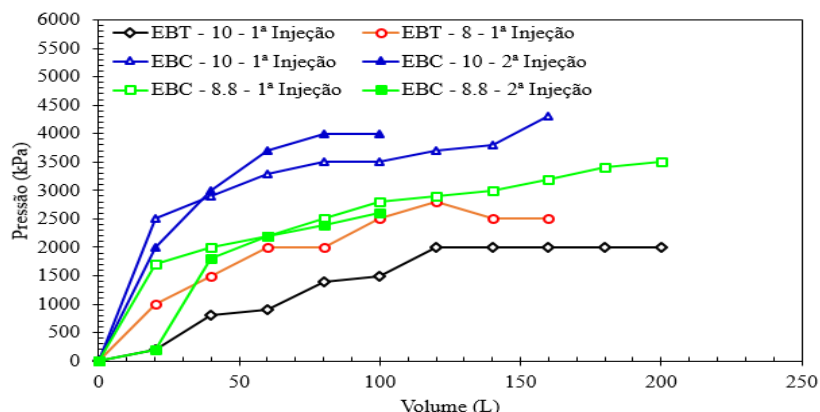


Figura 4. Curvas pressão-volume dos Ebs no Campo Experimental da UnB.

Apesar de não ser o principal foco do presente trabalho, a Figura 4 evidencia a importância do emprego desta tecnologia pioneira que possibilita o monitoramento e o controle do processo de execução de maneira mais efetiva, viabilizando, ainda, a análise de informações relativas ao solo adjacente à ponta da estaca, como rigidez e resistência. Partindo das curvas pressão-volume de expansão do EB, sua interpretação foram realizadas a partir de modelagem teórica empregando-se o modelo analítico elastoplástico de Cunha (1996) modificado por Fontaine et al. (2005). A este modelo incorpora-se a parcela coesiva do material em função da sucção do solo. A Tabela 3 apresenta os parâmetros de partida, obtidos a partir do ensaio PMT realizado por Mota (2003) e as curvas características determinadas por Guimarães et al. (2004). É válido ressaltar que o valor de umidade natural medido ao longo da profundidade durante a realização dos ensaios SPT é da ordem de 30%.

Tabela 3. Parâmetros iniciais para interpretação das curvas dos EBs.

Profundidade (m)	8	9	10
E (kPa)	12000	12000	18000
c' (kPa)	11	23	23
$\phi$ (°)	33	29	29
$G_e$ (kPa)	7800	7800	11700
$G_p$ (kPa)	15600	15600	15600
$u_a - u_w$ (kPa)	18	19	500
$\sigma_h$ (kPa)	72,5	90,6	100,1

Durante o processo de ajuste da curva experimental, todas as variáveis utilizadas foram alteradas buscando sempre utilizar um valor realista, dentro da ordem de grandeza do parâmetro para o solo analisado, visando obter um ajuste razoável entre a curva experimental e a curva teórica. Alguns destes parâmetros ( $\phi$ ,  $G_p$ ,  $G_e$ ,  $\sigma_h$ ) são, continuamente, alterados enquanto outros ( $\phi^b$ ,  $\nu$ ,  $c'$ ,  $E$ ,  $u_a - u_w$ ) modificados apenas uma vez, especialmente no processo inicial de ajuste. Um valor de 0,3 foi empregado para o coeficiente de Poisson. Devido à sua característica colapsível, foi adotada dilatação ( $\psi$ ) nula. A sucção matricial foi alterada de acordo com a faixa de resultados dos ensaios de papel de filtro e os valores de umidade obtidos durante o ensaio SPT. O valor de  $\phi^b$  utilizado foi metade do valor do ângulo de atrito interno, como proposto por Cordão Neto et al. (2001). Além disso, o módulo cisalhante na zona plástica ( $G_p$ ) para ensaios pressiométricos, apresenta, negativamente, uma ordem de grandeza duas vezes superior ao módulo cisalhante na zona elástica ( $G_e$ ) de acordo com Cunha (1994).

Inicialmente, é possível considerar que a mobilização do solo na expansão do EB será, expressivamente, maior do que em um ensaio pressiométrico convencional, assim, verificando uma alteração no estado de tensões, significativamente, superior. Partindo desta hipótese simplificadora, buscou-se manter o valor de  $G_e$

dentro da mesma ordem de grandeza dos parâmetros iniciais enquanto que, para  $G_p$ , foram empregados valores 10 vezes superior aos da ordem inicial de  $G_e$ . Essa hipótese pode ser justificada pelo fato de que, durante a expansão do EB, à medida que a pressão é acrescida, o solo na parede da cavidade inicia o processo de plastificação, experimentado, assim, elevadas deformações radiais e alterando os parâmetros dentro da zona plástica circundante ao EB. Vale comentar que, dentro das hipóteses simplificadoras consideradas, foi assumido o acréscimo do ângulo de atrito efetivo. Tal fato decorreria de uma possível reorganização mais compacta das partículas de solo ao redor do EB. Quanto as tensões horizontais efetivas, o valor de 140 e 170 kPa adotados para os ajustes podem ser justificados pelo fato dos EBs encontrarem-se assentes em horizontes com presença de concreções lateríticas e regiões caracterizadas, majoritariamente, por saprólitos.

#### 4 Resultados e Discussão

A Figura 5 apresenta um ajuste realizado para as curvas de pressão-volume dos EBC – 10, EBT – 10, EBC – 8.8 e EBT – 8 com os respectivos parâmetros de ajuste. A curva teórica para o EBC – 8.8 apresentou um bom ajuste quando comparada com a curva experimental corrigida. Nesse ajuste, o ângulo de atrito efetivo experimentou um acréscimo de 29° para 40° enquanto o  $G_e$  foi reduzido, porém mantido na mesma ordem de grandeza quando comparado com seu valor inicial. Já o  $G_p$  foi acrescido em uma ordem de grandeza de 10 vezes o  $G_e$  inicial como mencionando anteriormente. A coesão efetiva, a sucção e o coeficiente de Poisson permaneceram inalterados. Os valores de  $N_{SPT}$  nesta profundidade variaram entre 19 e 29 golpes. Pelo fato de o EBC – 8.8 estar assente em uma profundidade caracterizada por uma zona de transição entre o horizonte laterizado e o saprólito, seria possível admitir tensões horizontais efetivas da ordem de 170 kPa.

A curva teórica para o EBC – 10, também, exibiu um ajuste satisfatório quando comparada com a curva experimental corrigida. Nessa profundidade, o valor inicial de sucção é da ordem de 500 kPa para uma umidade natural da ordem de 30%. Devido à necessidade de ajuste da curva, seu valor foi reduzido para 300 kPa, variação esta que pode ser considerada de pequena significância, pois a escala da sucção é dada por um ajuste logarítmico, isto é, uma pequena variação na umidade, pode significar uma expressiva variação absoluta da sucção. Os valores de  $N_{SPT}$  nesta profundidade variaram entre 27 e 29 golpes. Pelo fato de o EBC – 10 estar assente em uma profundidade caracterizada por horizonte saprolítico, ou seja, um horizonte com um perfil similar ao de uma rocha, pode-se admitir tensões horizontais efetivas da ordem de 170 kPa, assim como ângulos de atrito da ordem de 40°.

Pode-se afirmar que, entre os ajustes realizados, a curva teórica para o EBT – 10 foi a menos satisfatória. Parâmetros como  $G_e$  e sucção exibiram valores ajustados, significativamente, inferiores aos esperados quando comparados com os parâmetros iniciais. Além disso, percebeu-se que a tensão induzida no maciço foi da ordem de 2000 kPa à medida que o EBC – 10 impôs tensões próximas de 4000 kPa.

Por fim, a curva teórica para o EBT – 8 exibiu um ajuste razoável e condizente com os parâmetros iniciais para a profundidade em que estava assente. Semelhante ao EBC – 8.8, o EBT – 8 estava localizado em uma zona de transição entre o horizonte laterizado e o saprólito, condição que pode explicar as tensões horizontais efetivas de 170 kPa e os ângulos de atrito de 40°.

Assim sendo, apesar da limitação dos dados e de todas as hipóteses simplificadoras assumidas, foi possível inferir que o aprimoramento do comportamento com a instalação da tecnologia EB se deu pela alteração do estado de tensões no solo e da mudança de seus parâmetros de resistência iniciais anteriores ao processo de expansão do sistema. Adicionalmente, constatou-se que a interpretação das curvas pressão-volume dos EBs foram ajustadas de forma satisfatória a partir do método analítico de expansão de cavidade proposto por Cunha (1996) e modificado por Fontaine et al. (2005), visto que os parâmetros ajustados exibiram valores condizentes com o tipo de solo e a profundidade na qual foram instalados. Contudo, somente com a calibração do modelo EB 612, poder-se-á determinar o valor real de pressão necessária para vencer a inércia do sistema EB e, posteriormente, aplicar a metodologia analítica de expansão de cavidade cilíndrica para interpretar as curvas pressão-deformação ( $\Delta r/r_0$ ) de modo mais preciso, tornando as análises mais consistentes.

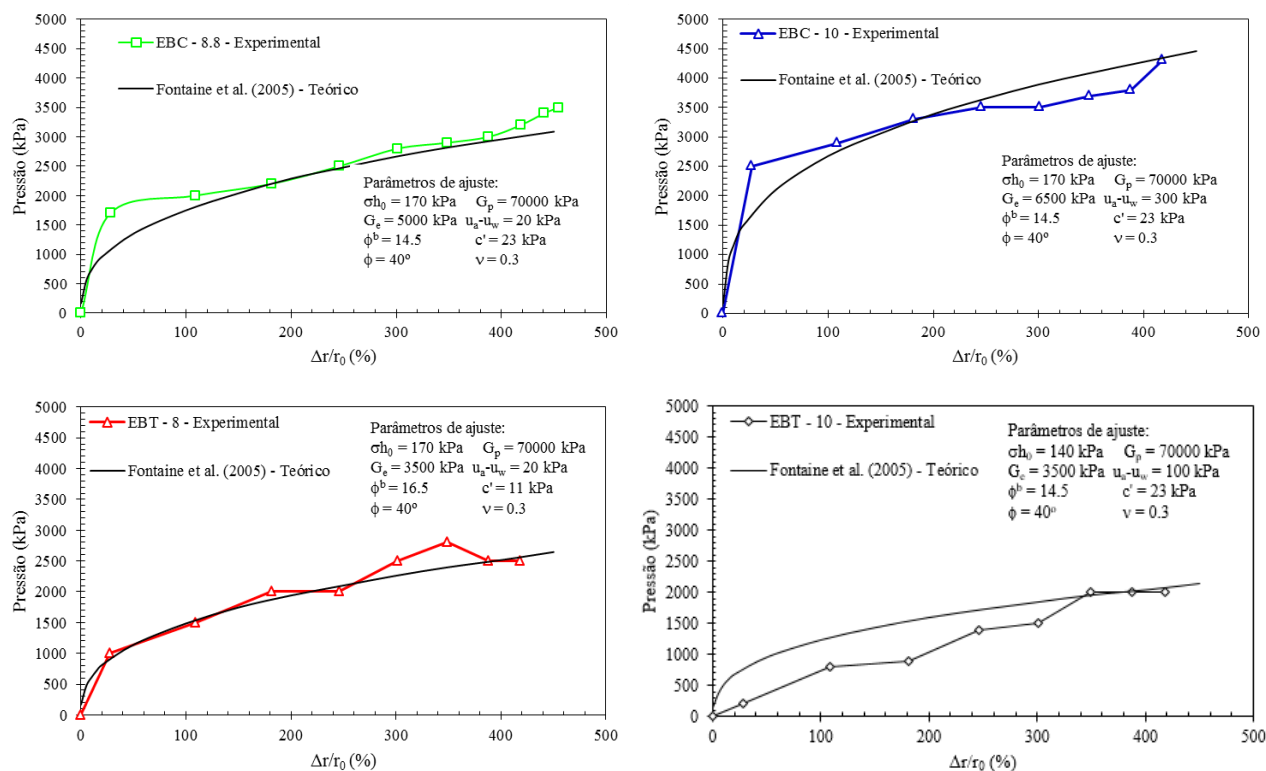


Figura 5. Ajustes das curvas pressão-volume de expansão dos EBs.

## 5 Conclusões

O presente trabalho buscou verificar a adequabilidade de ajuste da metodologia para interpretação de ensaios pressiométricos consagrada nos meios técnico e científico para viabilizar a obtenção de parâmetros geotécnicos *in situ* por meio de curvas de injeção de sistemas *Expander Body*. Para isso, foi empregado um modelo elastoplástico proposto por Cunha (1996) e modificado por Fontaine et al. (2005) para a interpretação das curvas pressão-volume de expansão dos EBs.

Observou-se que a interpretação das curvas pressão-volume de expansão dos EBs foram ajustadas de forma satisfatória a partir do método analítico utilizado, visto que os parâmetros ajustados apresentaram valores condizentes com o tipo de solo e a profundidade na qual foram instalados. Desse modo, apesar da limitação dos dados e de todas as hipóteses simplificadoras assumidas, foi possível inferir que o aprimoramento do comportamento com a instalação da tecnologia EB se deu pela alteração do estado de tensões no solo e da mudança de seus parâmetros de resistência iniciais anteriores ao processo de expansão do sistema.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à Embr Engenharia Ltda pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials (1987). ASTM D-4719. *Standard test method for pressuremeter testing in soils*. Pensilvânia.
- Baguelin, F.; Jézéquel, J.F.; Shields, D.H. (1978) *The pressuremeter and foundation engineering*. Trans Tech Publications, 617p.



- Carter, J.P.; Booker, J.R.; Yeung, S.K. (1986) Cavity expansion in cohesive frictional soils. *Géotechnique*, 36 (3): p.349-358.
- Cordão Neto, M.P.; Pereira, J.H.F.; Cunha, R.P.; Camapum de Carvalho, J.; Silva, C.M. (2001) Retaining excavation structure considering the unsaturated condition of the porous and collapsible soil of Brasília/DF. 4º Simpósio Brasileiro de Solos Não-Saturados, Porto Alegre. *Anais... ABMS*. v. 1, p.417-433.
- Cunha, R.P. (1994) *Interpretation of selfboring pressuremeter tests in sand*. PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, 291p.
- Cunha, R.P. (1996) A new cavity expansion model to simulate selfboring pressuremeter tests in sand. *Soils & Rocks*, 19 (1), p.15-27.
- Cunha, R.P.; Campanella, R.G. (1998) Interpretation of selfboring pressuremeter tests using a curve fitting approach. 1st International Conference on Site Characterization, Atlanta. *Anais... v. 2*, p.759-764.
- Cunha, R.P., Costa, A.F., Pastore, E.L. (2000). Ensaio pressiométrico em ardósia alterada para o estudo do prolongamento do metrô em Brasília-DF. *Soils & Rocks*, 23 (1), p.57-67.
- Cunha, R.P.; Pereira, J.H.F.; Soares, J.M.; Mota, N.M.B.; Poulos, H.G. (2001) Backanalyses of field loading tests on deep foundations in a tropical clay. 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul. *Anais... ISSMGE*. v. 2, p.869-872.
- Fontaine, E.; Cunha, R.P.; David, C. (2005) A simplified analytical manner to obtain soil parameters from Ménard pressuremeter tests on unsaturated soils. 50 Years of Pressuremeters International Symposium – ISP5, Paris. *Anais... v. 1*, p.289-295.
- Guimarães, R.C.; Camapum de Carvalho, J.; Mota, N.M.B.; Cunha, R.P. (2004) Influência da sucção no comportamento de estacas escavadas assentes em solos não-saturados do Distrito Federal. 5º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, São Carlos. *Anais... ABMS*. v. 1, p. 351-356.
- Hughes, J.M.O.; Wroth, C.P.; Windle, D. (1977) Pressuremeter in sands. *Géotechnique*, 27 (4), p.455-477.
- Monteiro, F.F.; Moura, A.S.; Aguiar, M.F.P. (2019) An alternative approach to the executive control of root piles. *Soils & Rocks*, 42 (3), p.289-299.
- Mota, N.M.B. (2003) *Ensaaios avançados de campo na argila porosa não saturada de Brasília: Interpretação e aplicação em projetos de fundação*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 336p.
- Silva, C.M.; Brasil A.L.; Camapum de Carvalho, J. (2012) On modelling continuous flight auger pilings by means of energy. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 1, p.11-16.
- Terceros Arce, M.; Terceros Herrera, M.A. (2015) The use of the Expander Body with Full Displacement Piles in Medium Dense to Dense Sandy Soils. 15th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Buenos Aires. *Anais... v. 2*, p.1702-1712.
- Terceros Arce, M.; Terceros Herrera, M.A. (2017) Expander Body and toe-box: expansion devices for deep foundations enhancement. 3rd Bolivian International Conference on Deep Foundations, Santa Cruz de la Sierra. *Anais... v. 1*, p.209-227.
- Terceros Herrera, M.A. (2016) *Research on the adaptation, improvement and application of Expander Body technology to soft rocks and soils (In Spanish)*, 52p.
- Terceros Herrera, M.A.; Terceros Arce, M. (2016) Recent advances in the Expander Body technology. 18th Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Belo Horizonte. *Anais... ABMS*. v. 3, p.16-23.
- Vecchi, P.P.L.; Cunha R.P.; Pereira, J.H.F.; Schnaid, F.; Kratz de Oliveira, L.A. (2000) Aplicação do ensaio pressiométrico tipo Ménard na previsão de parâmetros geotécnicos da argila porosa de Brasília. 1º Seminário Brasileiro de Investigação de Campo, São Paulo. *Anais... ABMS*. v. 3, p.312-325.