

Colunas Encamisadas com Geotêxtil (GEC) sob aterro de aproximação de pontes e viadutos como sistema de alívio de tensões: conceito, experiência, monitoramento

Fernando Schnaid
UFRGS, Porto Alegre, Brasil, fschnaid@gmail.com

Daniel Winter
UFRGS, Porto Alegre, Brasil, danielwinterpoa@gmail.com

André Estêvão Silva
Huesker Ltda, São José dos Campos, Brasil, andre@huesker.com.br

Dimiter Alexiew
Huesker Synthetic, Gescher, Alemanha, dalexiew@huesker.de

Volker Küster
Consultor Independente, Hamburgo, Alemanha, volker.kuester@iag-kuester.de

André Hebmüller
Magna Consultoria, Porto Alegre, Brasil, andre.hebmuller@magnaeng.com.br

RESUMO: Colunas de areia encamisadas com geossintético (GEC) tem sido frequentemente adotadas na prática da geo-engenharia para melhorar a capacidade de carga, reduzir assentamentos e acelerar o adensamento em solos moles. O presente trabalho sobrepõe estes objetivos mais tradicionais, introduzindo o uso de colunas para reduzir a magnitude dos empuxos horizontais que atuam sobre estruturas adjacentes a aterros em execução. Um programa de monitoramento de um pilar de um viaduto de grande porte em solo mole protegido por um sistema composto por GECs e geogrelhas de reforço é descrito. O desempenho em campo foi monitorado com células de pressão, piezômetros elétricos, inclinômetros e placas de recalque. Os dados coletados foram interpretados a fim de estimar o empuxo horizontal sobre as estacas de fundação no limiar da estrutura construída previamente ao aterro de aproximação.

PALAVRAS-CHAVE: Colunas de Areia Encamisadas, Solos Moles, Empuxo Horizontal, Monitoramento.

1 INTRODUÇÃO

Colunas de areia têm sido usadas sistematicamente na prática da engenharia como uma técnica de melhoramento do terreno projetado para transferir as cargas aplicadas superficiais ao substrato com capacidade de carga mais elevada (Alexiew et al, 2005; Alexiew et al, 2012; Raithel et al, 2005). Em solos muito moles, o confinamento lateral oferecido pelo solo circundante às colunas pode não ser suficiente para garantir o apoio

necessário e, conseqüentemente, as colunas são revestidas por geossintéticos tubulares de reforço (neste caso, elas são referidos como Colunas Encamisadas com Geossintéticos, ou, em inglês, Geosynthetic Encased Columns, GEC). O invólucro aumenta a resistência e rigidez da coluna de areia, proporcionando maior capacidade de carga e recalques menores, como amplamente demonstrado por diversos estudos experimentais ou numéricos (RAITHEL e Henne, 2000; Madav et al, 1994; Malarvizhi e Ilamparuthi, 2004; Murugesan &

Rajagopal, 2006; Gniel & Bouazza, 2010; Najjar et al, 2010). Além de melhorar o comportamento da carga / recalque da fundação, GECs trabalham como drenos verticais, reduzindo assim o tempo de adensamento de depósitos de argila sob carga.

Embora a técnica já esteja bem estabelecida, não tem sido realizada investigação sobre a utilização de colunas de como alívio de empuxo horizontal induzido pela construção de aterros agindo sobre fundações de estruturas adjacentes. Esta é uma ocorrência comum durante o trabalho de elevação de aterros de aproximação de pontes ou viadutos, tanques de armazenamento, muros de contenção, entre outras possibilidades. Este trabalho tem como objetivo fornecer algumas referências sobre este tema, discutindo a interação de um pilar do viaduto e um aterro rodoviário com 8m de altura construído sobre solo mole, onde uma das preocupações foi o potencial aumento da pressão horizontal sobrecarregar as estacas da estrutura anteriormente construída.

2 ESTUDO DE CASO

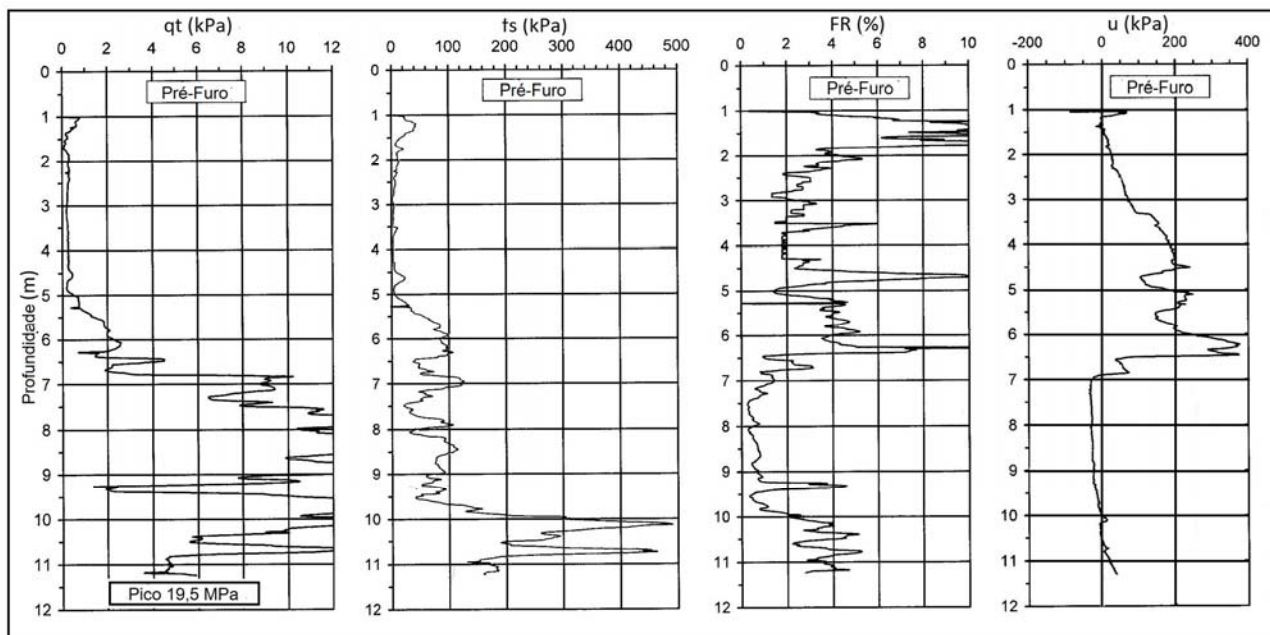


Figura 1. Perfil CPTU típico.

Dada a presença de um depósito de argila mole e a proximidade de um aterro de elevada espessura adjacente a um viaduto, uma solução de projeto foi concebida com base na instalação de um reforço da geogrelha combinado com 4 linhas de colunas GEC ao lado da estrutura, além de 2 linhas na borda lateral do viaduto.

Para um novo projeto de rodovia de alto tráfego no estado brasileiro do Rio Grande do Sul, a solução foi concebida para proteger as fundações de pontes e viadutos existentes construídas antes dos aterros de aproximação. O tratamento do terreno de implantação do aterro de um deles, com 8m de altura, foi monitorado.

Um programa abrangente de investigação no local foi realizado para avaliar as condições do local, compreendendo SPTs, CPTs, palhetas e Shelby de 4" para amostragem de solo para ensaios triaxiais e edométricos. Um perfil CPTU representativo das áreas é mostrado na Figura 1, revelando um depósito sedimentar com 6m a 8m de camada de argila mole recoberta de areia densa. Perto da superfície há uma crosta sobreadensada dentro da profundidade afetada por variações sazonais do lençol freático. A poro-pressão hidrostática está de acordo com o nível de água regionais (perto da superfície), sem indicação artesianismo.

Colunas de areia com 800mm de diâmetro e 2,4m de espaçamento num padrão triangular foram colocados na argila sob o aterro, o que corresponde a uma razão de substituição de área de 10%. As colunas foram instaladas até completar a profundidade de camada de argila mole com um tubo metálico de ponta fechada e

um diâmetro exterior igual ao diâmetro da coluna (0,80 m). O tubo cravado por um martelo vibratório impede a parede exterior do colapso durante a perfuração no solo mole e permite a instalação da geossintético, areia de enchimento e a remoção do tubo na etapa final de instalação. Areia do Rio Guaíba classificada como areia mal graduada de acordo com a Classificação de Solos pelo Sistema Unificado foi usada como material de preenchimento das colunas. O tecido geossintético fornecido garantia o apoio lateral para a coluna de areia e drenagem relativamente rápida do excesso de pro-pressão gerado pelo carregamento. As propriedades de resistência à tração do geossintético, cuja marca registrada é Ringtrac, produzido pela HUESKER Synthetic, determinadas a partir de procedimentos de ensaios normalizados estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do geotêxtil de encamisamento.

Parâmetro	Norma ISO	Valor
Resistência à tração na direção perimetral (kN/m)	10319	≥ 200
Deformação máxima na direção perimetral (%)	10319	$\leq 12\%$
Módulo de rigidez a 5% na direção perimetral (kN/m)	10319	≥ 1.900
Permeabilidade (m/s)	11058	$\geq 2 \times 10^{-3}$
Diâmetro nominal (m)		0,8

3 DADOS EXPERIMENTAIS

Um programa de monitoramento foi implementado para estudar o desempenho da solução adotada e para validar as previsões obtidas pelas análises previamente efetuadas para avaliação do empuxo horizontal e dimensionamento da solução. Um conjunto de instrumentos foi instalado, compreendendo células de pressão total, piezômetros elétricos, inclinômetros e placas de recalque. Células de pressão e piezômetros (capacidade 700kPa cada, fornecidos pela GEOKON) foram instalados entre a primeira linha de colunas e linha mais externa de estacas do viaduto, 50cm a partir desta, na vertical, em 6 posições diferentes (3 profundidades para as células de pressão e 6 para os piezômetros, ver Figura 2).

Dois inclinômetros foram instalados entre as colunas para monitorar os campos de deslocamento horizontal dentro da camada de solo mole, enquanto placas de recalque foram instaladas em locais diferentes em ambas as áreas tratadas e não tratadas para o acompanhamento da evolução dos recalques no período de construção e adensamento. Os piezômetros de corda vibrante foram instalados em poços perfurados. As células de pressão foram fixadas em um perfil de aço com seção H. A discussão a respeito da eficácia da solução é apresentada com base neste programa de monitoramento que contemplou medições mantidas durante um período de cerca de 154 dias (de 08/08/2013 a 01/09/2014) até as pressões de poros em excesso serem dissipadas.

Recalques totais foram registrados em vários locais durante o alteamento do aterro, sendo um na área de colunas encamisadas e os outros sobre o depósito não tratado de argila mole. Embora a placa de recalque colocada sobre colunas de areia tenha sido danificada em 6m de elevação do aterro, algumas conclusões podem ser tiradas. Os máximos recalques do solo mole medidos foram da ordem de 110mm e 340mm nas áreas com e sem tratamento, respectivamente. O fator de melhoria correspondente, definido como a relação entre a liquidação final, sem e com a melhoria, é de cerca de 3,1 que está dentro dos valores numéricos e analíticos previstos (Castro e Sagasetta, 2011). A relação é conhecida como sendo uma função da rigidez e resistência à tração da coluna, a rigidez do solo circundante, razão de substituição e da carga aplicada.

Os deslocamentos horizontais ao longo da profundidade medidos no eixo perpendicular ao aterro são mostrados na Figura 3 para uma série de incrementos de carga registrados durante elevação do aterro. Os inclinômetros mediram deslocamentos máximos horizontais de cerca de 65mm em uma profundidade em torno de 3,5m (aproximadamente a metade da profundidade da camada de argila). As taxas de deslocamento diminuíram substancialmente na fase final de construção e estavam perto de estabilização em leituras finais.

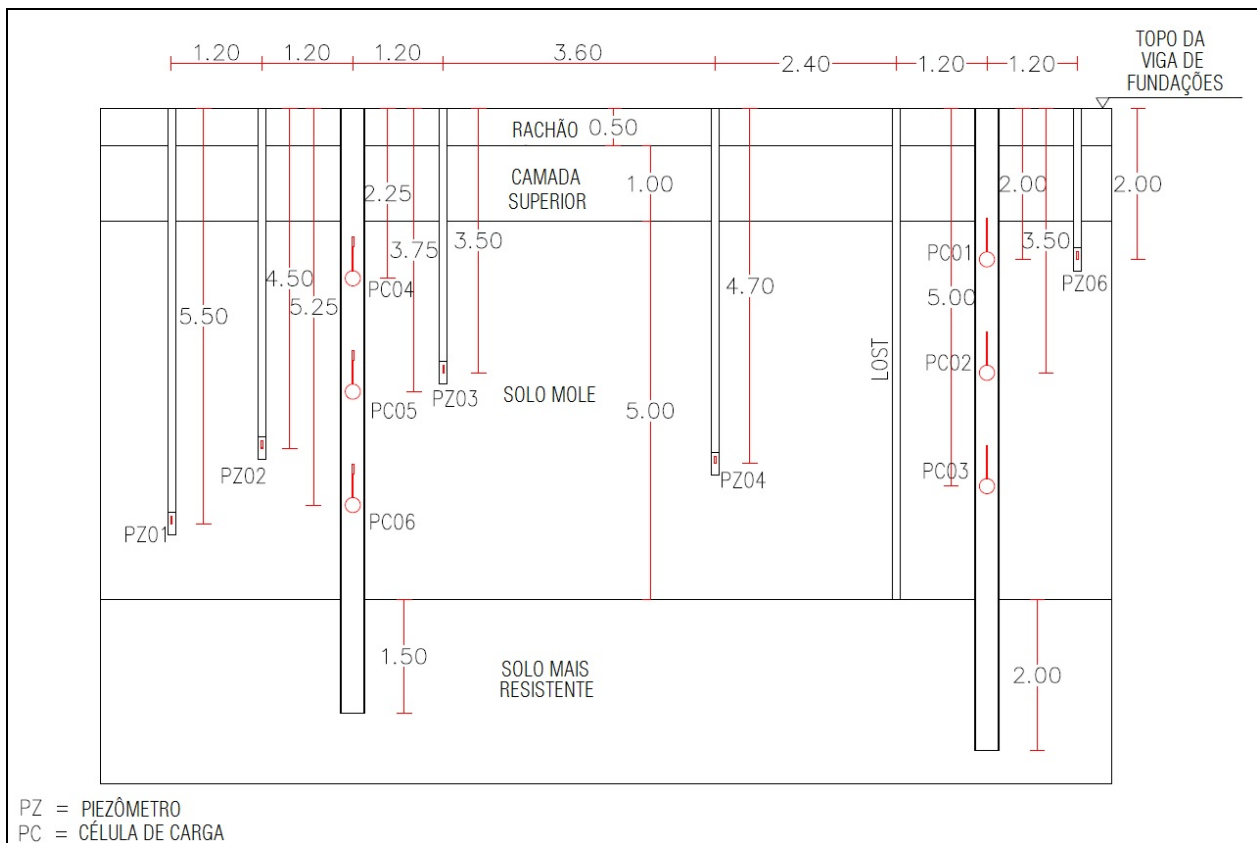


Figura 2. Seção da instrumentação.

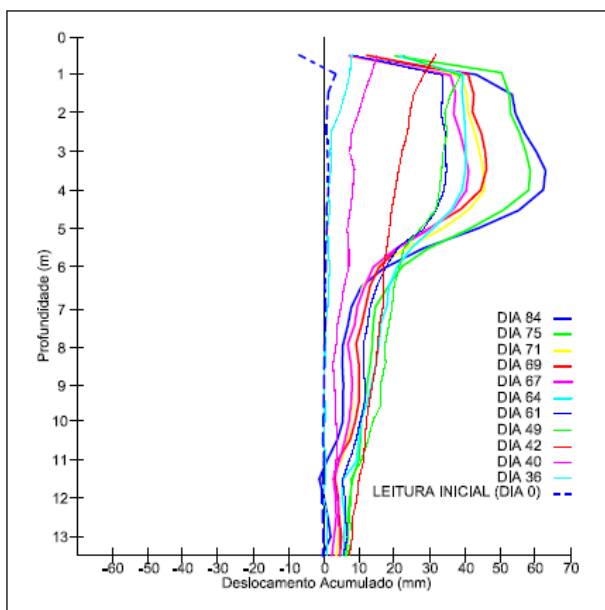


Figura 3. Deslocamentos horizontais acumulados ao longo do alteamento do aterro.

Os resultados das medições das variações de poro-pressão com o tempo são ilustrados nas Figuras 4 e 5 a partir de piezômetros colocados em diferentes profundidades abaixo do nível do terreno (dois piezômetros foram danificados durante a instalação). Os resultados mostram

um aumento constante da pressão com o tempo durante a construção, seguido por diminuição da pressão, devido ao adensamento. Observe que a área foi inundada por uma chuva de 200mm em 24h e este evento foi registrado nas medições de pressão de poros (dia 20). As variações de pressão neutra com profundidade são mostradas na Figura 4, indicando o aumento constante do valor da poro-pressão a partir da pressão hidrostática para valores maiores, em geral, aumentando linearmente com a profundidade. Devido à maior rigidez das colunas revestidas em relação ao solo circundante, as colunas tendem a concentrar as tensões verticais do aterro e apenas uma menor parte é transferida para a camada de argila, neste sistema composto. Neste estudo de caso, o excesso de pressão de poro Δu em relação ao aumento da sobrecarga $\Delta \sigma_v$ apresentou-se na proporção de 0,1 a 0,3, como indicado na Figura 5. Estes dados correlacionam bem com a análise FEM realizada na fase original de análises.

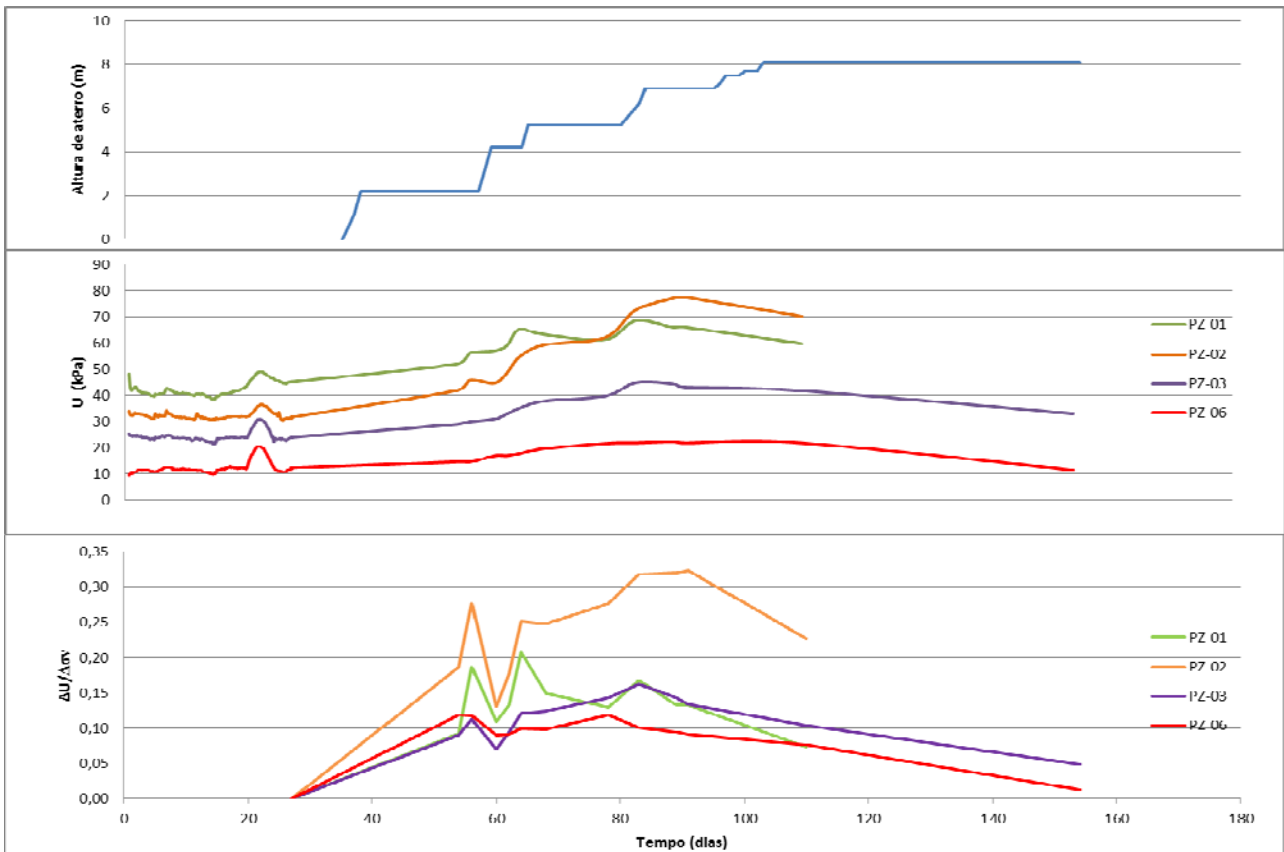
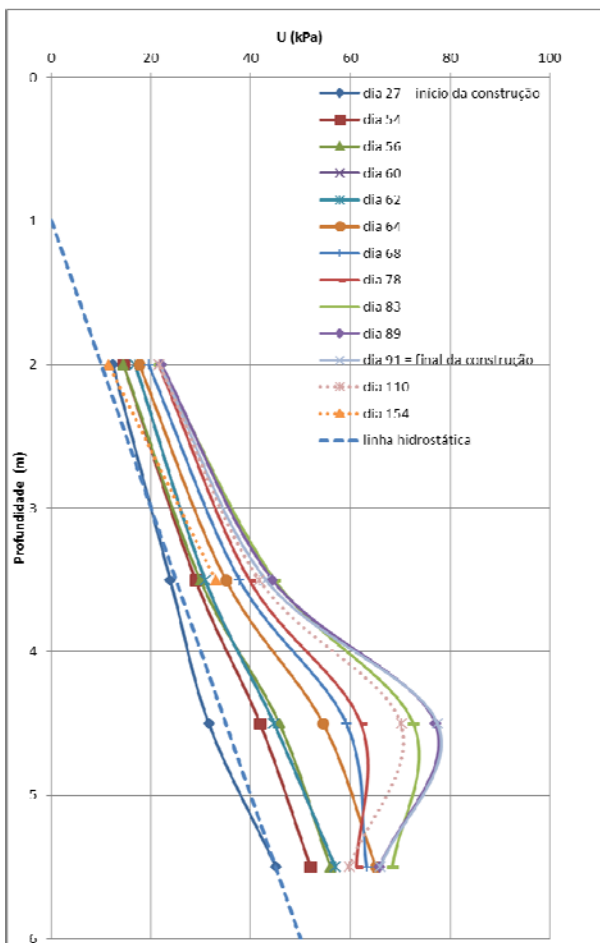


Figura 5. Variação da poro pressão com a profundidade.

Figura 4. Variação da poro pressão com o tempo.



A Figura 6 mostra as variações no empuxo horizontal medido com o aumento da carga de aterro. Durante a instalação das células de pressão, os perfis H não foram submetidos a qualquer movimento significativo e o empuxo horizontal permaneceu próximo ao valor da condição de repouso, o que para solos coesivos normalmente adensados é de aproximadamente $1 - \sin \phi'$. Como os perfis H eram impedidos de se transladar ou rotacionar, cada fase de construção produziu um aumento na pressão horizontal na camada de argila induzida pelos movimentos horizontais indicados pelos inclinômetros. Os diagramas de tensão horizontal medidos mostram duas características distintas: no carregamento inicial o empuxo horizontal gerado aumenta linearmente com a profundidade enquanto que em estágios de cargas maiores, aumenta linearmente até uma certa profundidade (aproximadamente metade da profundidade da camada de argila) e reduz a partir daí em diante.

4 CONCLUSÕES

O presente artigo discute o uso de Colunas de Areia Encamisadas instaladas em solos moles para reduzir a magnitude dos empuxos horizontais que atuam sobre uma estrutura de viaduto, adjacente a um aterro de 8m construído posteriormente ao viaduto. A solução adotada foi amplamente monitorada com células de pressão, piezômetros elétricos, inclinômetros e placas de recalque, a fim de avaliar o mecanismo de transferência de carga que ocorrem na camada de argila mole. Colunas de areia provaram ser úteis em fornecer drenagem para reduzir o potencial de aumento do excesso de pressões de poros na camada de argila, para reduzir a magnitude dos recalques e na redução da pressão da terra horizontal máxima agindo sobre as estruturas adjacentes aos aterros durante sua execução.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes pessoas e empresas que deram um grande apoio para o desenvolvimento do trabalho: André Bertoncini Zanette, Fábio José de Souza Hora e Joel Machado Moreira da Construcap, Fernando Spinelli de Drenamac, Samir Khatib da Desf Engenharia e Geraldo Moretti e Dênis Suzuki da Moretti Engenharia.

REFERÊNCIAS

- Alexiew, D., Brokemper, D., Lothspeich, S. (2005). Geotextile encased columns (GEC): load capacity, geotextile selection and pre-design graphs. *Proceedings of GeoFrontiers 2005*, Austin, Texas, United States, pp. 497–510.
- Alexiew, D., Raithel, M., Küster, V., Detert O. (2012). 15 years of experience with geotextile encased granular columns as foundation system. *International Symposium on Ground Improvement 2012* Brussels, Belgium.
- Castro, J., Sagasetta, C. (2011). Deformation and consolidation around encased stone columns. *Geotextiles and Geomembranes* 29, 268-276.
- Gniel, J., Bouazza, A. (2010). Construction of geogrid encased stone columns: A new proposal on laboratory testing. *Geotextiles and Geomembranes* 28, 108-118.
- Madhav, M.R., Alamgir, M., Miura, N. (1994).

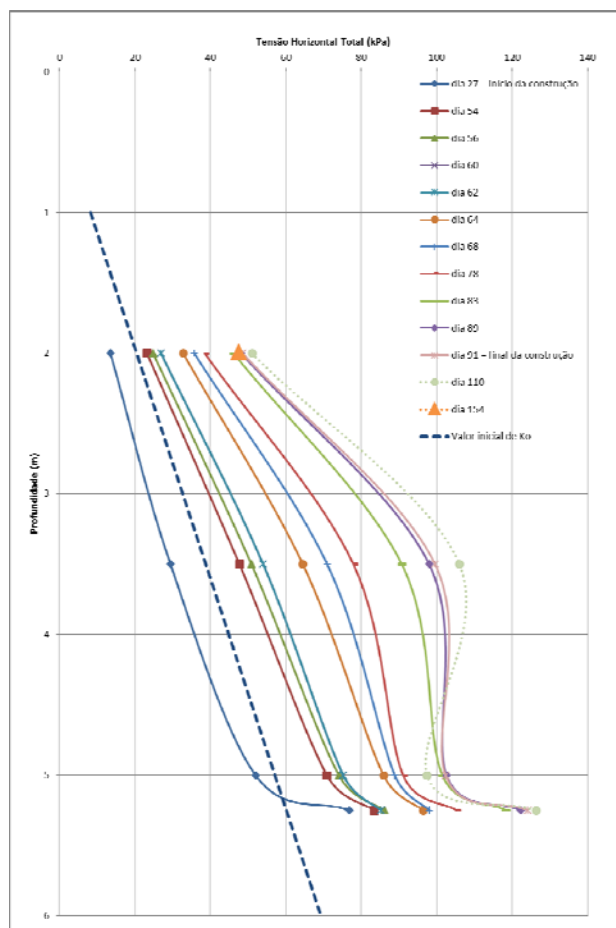


Figura 6. Variação do empuxo horizontal com a profundidade.

Pressões horizontais medidas aumentam progressivamente durante a elevação do aterro em condições predominantemente não drenadas, identificados a partir de leituras de piezômetros. Após a conclusão da construção do trabalho de terraplenagem, a drenagem toma lugar e é observado um maior e último aumento da pressão. Na metade da profundidade da camada de argila, a pressão máxima medida horizontal é de 110 kPa, um valor que representa quatro vezes a medição inicial a essa mesma profundidade. No entanto, esta pressão medida é de cerca de metade do que seria de se esperar para uma camada de argila não tratada, como calculado numericamente (não mostrado neste trabalho) ou calculado a partir da metodologia proposta pela teoria de Tschebotarioff (Tschebotarioff de 1973) para condições de carga assimétricas.

- Improving granular column capacity by geogrid reinforcement. *Proceedings of the Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Singapore, vol.1, pp. 351–356.
- Malarvizhi, S. N. and Ilamparuthi, K. (2004). Load versus Settlement of Clay bed stabilized with Stone and Reinforced Stone Columns. *3rd Asian Regional Conference on Geosynthetics*, Seoul, 322 – 329.
- Murugesan, S., Rajagopal, K. (2006). Geosynthetic-encased stone columns: numerical evaluation. *Geotextiles and Geomembranes* 24, 349–358.
- Najjar, S., Sadek, S., and Maakaroun, T. (2010). Effect of Sand Columns on the Undrained Load Response of Soft Clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 136(9), 1263–1277.
- Raithel, M., Henne, J. (2000). Design and numerical calculation of a dam foundation with geotextile coated sand columns. *Proceedings of the 4th International Conference on Ground Improvement Geosystems*, Helsinki, pp.1-8.
- Raithel, M., Kirchner, A., Schade, C., Leusink, E. (2005). Foundation of construction on very soft soils with geotextile encased columns – state of the art. *Innovations in Grouting and Soil Improvement*. pp. 1-11.
- Tschebotarioff, G.P. (1973). *Foundations, Retaining Walls and Earth Structures*, 2nd ed. McGraw-Hill, New York, 642 p.