

Utilização de Colunas de Brita Envelopadas Com Geotêxtil – Estudo de Caso

Ary Franck Baia Cordeiro

Dinamiza Consultoria e Engenharia Ltda, Brasília-DF, Brasil, ary@dinamiza.eng.br

Leonardo Campos Dias

Dinamiza Consultoria e Engenharia Ltda, Brasília-DF, Brasil, leocampos.enc@hotmail.com

Julián Buriticá García

Dinamiza Consultoria e Engenharia Ltda, Brasília-DF, Brasil, julian@dinamiza.com.br

Renato Pinto da Cunha

Universidade de Brasília-UnB, Brasília-DF, Brasil, rpcunha@unb.br

Ana Carolina Portela Costa

Dinamiza Consultoria e Engenharia Ltda, Brasília-DF, Brasil, ana.c@dinamiza.com.br

RESUMO: Na elaboração de um projeto de muro de contenção em solo reforçado com fitas metálicas desenvolvidas pelo sistema ‘Muro Armado’ em uma obra a ser realizada no norte do estado de Goiás, foi utilizado colunas de brita envelopadas com geotêxtil como solução para aumentar a capacidade de carga, diminuir e acelerar os recalques. A solução adotada utilizando colunas de brita foi motivada por ser uma das técnicas mais usadas quando se pretende aumentar a capacidade de carga, reduzir e acelerar os recalques. De acordo com sondagens à percussão feitas no local, o solo apresentou, para uma profundidade de 3,0 metros a partir do nível do terreno natural, uma capacidade de carga média de 280 kPa. Segundo o cálculo de tensão vertical aplicada pela estrutura do aterro sobre a fundação, a máxima solicitação para o muro de terra armada nessa profundidade é de 293 kPa. Com o intuito de aumentar a capacidade de carga e evitar deformações excessivas, foi projetada uma solução de melhoria do solo de fundação que consistiu na remoção de uma camada de solo de aproximadamente 2,5 metros de espessura a partir do terreno original, sendo substituída por material de melhor qualidade (Rachão). Além da substituição foi recomendada a construção de colunas de brita envelopadas com geotêxtil de 1,5 m de profundidade para atingir uma profundidade de 4,0 metros, onde o material apresentou uma capacidade de carga elevada de aproximadamente 429 kPa. Neste caso em particular as colunas de brita foram projetadas para contribuir à transferência de tensões verticais a estratos mais profundos de maior resistência e acelerar os recalques elásticos que vão ocorrer durante as etapas de compactação do maciço em terra armada. Em termos gerais pode-se concluir que a solução geotécnica utilizando colunas de britas envelopadas com geotêxtil encontra-se estável e satisfatória dentro de um critério de segurança alto.

PALAVRAS-CHAVE: Colunas de Brita, Geotêxtil, Recalques, Capacidade de Carga.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Características da Obra

Este artigo apresenta como solução para fundação de dois muros em terra armada em níveis de capacidade de carga, controle de recalque e estabilidade global, a utilização de colunas de brita envelopadas com geotêxtil.

A obra se trata de uma passagem ferroviária na região norte do estado de Goiás e consiste em dois muros frontais do tipo Greide e Portante com altura variável ao longo da extensão atingindo o máximo de 9.0 m.

De acordo com Palmeira (2005), estabilizar ou reforçar um solo é utilizar algum meio físico ou químico com a intenção de melhorar as condições do solo, aumentando a sua resistência mecânica e diminuindo a sua compressibilidade.

De acordo com esta definição, a utilização das colunas de brita envelopadas com geotêxtil na fundação do muro armado visa reforçar o solo aumentando a capacidade de carga e acelerando os recalques. A Figura 1 apresenta a seção transversal do projeto.

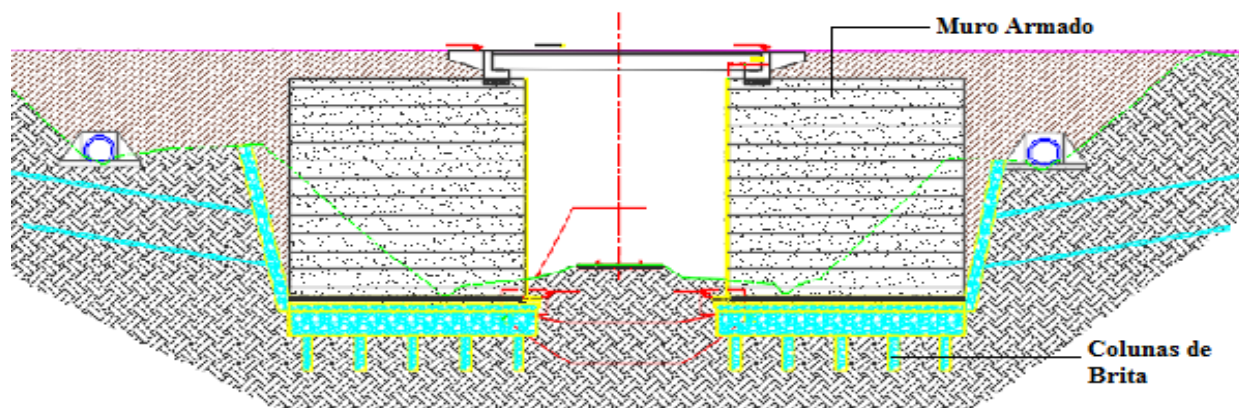


Figura 1. Seção Transversal da passagem inferior

Para a determinação dos parâmetros geotécnicos da implantação do local, foi realizada uma campanha de sondagem de acordo com a NBR 6484:2010, com seis (06) furos à percussão (SPT).

Para efeitos de análise de capacidade de carga, recalques e estabilidade global do muro de contenção foram analisadas as sondagens S01, S02, S03, S04 que foram realizadas no local exato da fundação do muro em terra

armada e que apresentam a condição mais crítica, trabalhando sempre a favor da segurança.

Os resultados dos quatro ensaios SPT estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado das Sondagens à Percussão (SPT).

Profundidade (m)	Nspt (S-01)	Nspt (S-02)	Nspt (S-03)	Nspt (S-04)
-1				
-2	15	11	6	12
-3	20	25	15	14
-4	26	26	26	20
-5	29	46	34	26
-6	46		45	34

A sondagem que apresentou a pior condição em termos de Nspt foi a sondagem S-04. Assim, com uma abordagem conservativa, foram adotados os parâmetros da sondagem S-04 de modo a representar a condição mais desfavorável do solo de fundação, realizando um projeto a favor da segurança.

Nesta sondagem é indicada uma camada de argila siltosa rija vermelha com Nspt de 12 e 14 até uma profundidade de 3.0 m, a partir do terreno natural. Seguida de uma camada de argila siltosa dura vermelha com Nspt de 20 até 4 m de profundidade, posteriormente uma camada com Nspt de 26 até 5 m de profundidade, e uma camada de argila muito dura com Nspt de 34 em 6 m de profundidade e um material extremamente duro com Nspt de

45 golpes em 6,45 m de profundidade. A Figura 2 mostra o perfil do solo respresentado pelos valores Nspt.

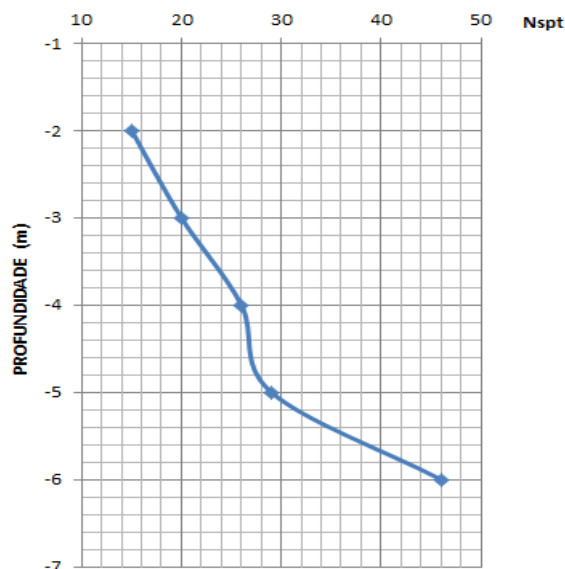


Figura 2. Perfil de Sondagem Utilizado Como Representativo (S-4).

A definição dos parâmetros de resistência foi realizada por meio de correlações internacionais e nacionais da literatura a partir do número Nspt do ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) corrigidos segundo Bowles (1988), como mostra DAS (2007), com base na tensão vertical e profundidade das hastes de perfuração.

Os resultados dos parâmetros obtidos mediante correlações com o número Nspt corrigido são apresentados na Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2. Ângulo de Atrito Obtido por meio de Correlações da literatura para S-04 (POULOS & DAVIS, 1980).

Correlações ϕ (°) e Nspt					
Nspt	Peck (1953)	Kishida (1069)	Godoy (1983)	Teixeira (1996)	Média
	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)
12,0	31,5	30,5	32,8	30,5	31,3
13,9	32,0	31,7	33,6	31,7	32,2
17,9	33,0	33,9	35,1	33,9	34,0
23,9	34,5	36,9	37,6	36,9	36,4
27,8	35,4	38,6	39,1	38,6	37,9
39,6	38,4	43,1	43,8	43,1	42,1

Tabela 3. Parâmetros de Resistencia para S-04 (POULOS & DAVIS, 1980).

Parâmetros de Resistência				Mohr - Coulomb		
Prof (m)	Nspt	Nspt (corrigido)	E Schmertmann 1970 (kPa)	γ (kN/m³)	φ (°)	c (kPa)
1,0						
2,0	12,0	12,0	9192,0	17,0	31,3	15,0
3,0	14,0	13,9	10724,0	17,0	32,2	15,0
4,0	20,0	17,9	15320,0	17,0	34,0	15,0
5,0	26,0	23,9	19916,0	18,0	36,4	15,0
6,0	34,0	27,8	26044,0	18,0	37,9	16,0
6,5	45,0	39,6	34470,0	18,0	42,1	15,0

Onde:

E – módulo de elasticidade do solo;

γ - peso específico natural do solo;

ϕ – ângulo de atrito do solo;

c – coesão do solo.

2 ANÁLISE DE CAPACIDADE DE CARGA

2.1 Cálculo da Tensão Vertical Aplicada Pelo Peso Próprio e Sobrecarga da Passagem Inferior

Quando existe uma sobrecarga na parte superior do muro em terra armada, à tensão vertical na profundidade z, pode-se calcular como se mostra na Figura 3.

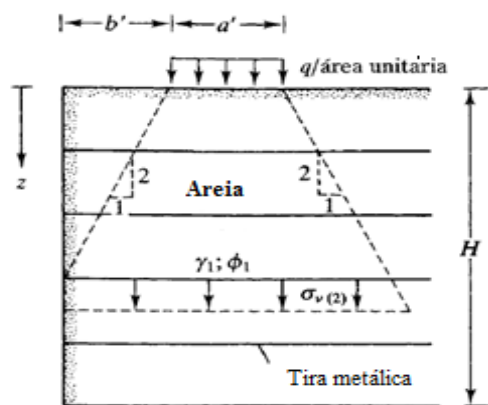


Figura 3. Notação das Tensões Verticais (DAS, 2007).

A carga total distribuída obtida através de cálculos estruturais foi de 410 kN/m³, o valor de a' foi 1,0m e o afastamento da carga com respeito ao parâmetro b' foi de 0,6m.

Os valores da tensão vertical total aplicada pela estrutura são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Tensão Vertical Atuando no Solo de Fundação.

Z (m)	γ (kN/m ³)	σ_{v1} (kPa)	σ_{v2} (kPa)	σ_v total (kPa)
1	20	20	205,0	225,0
2	20	40	157,7	197,7
3	20	60	132,3	192,3
4	20	80	113,9	193,9
5	20	100	100,0	200,0
6	20	120	89,1	209,1
7	20	140	80,4	220,4
8	20	160	73,2	233,2
9	20	180	67,2	247,2
10,23	20	204,6	61,1	265,7
12	20	240	53,9	293,9

Onde:

σ_{v1} – tensão vertical devido ao solo;

σ_{v2} – tensão vertical devido à sobrecarga;

σ_v total – tensão vertical total.

2.2 Capacidade de Carga do Solo de Fundação

A capacidade de carga se define como a carga que provoca ruptura do solo de fundação, ou seja, a carga que o terreno é capaz de suportar sem que haja ruptura ou deformação excessiva na cota de assentamento da fundação. Para este projeto a capacidade de carga foi estimada a partir de métodos empíricos e racionais encontradas na literatura técnica nacional e internacional.

O método racional utilizado foi o da teoria da capacidade de carga do Terzaghi (1943) com correção por presença de nível freático na fundação. O nível freático não foi identificado nas sondagens. Para trabalhar com uma abordagem conservativa foi considerado o nível freático a 3,5 m de profundidade devido a que as sondagens foram realizadas durante o período da seca da região.

Por métodos empíricos e semi-empíricos, foram calculados a capacidade de carga pelo método de Milton Vargas (1960), Meyerhof (1974) e Parry (1977), apresentado por POULOS & DAVIS (1980), e comparado com a recomendação da ISF 207 do DNIT onde são apresentados diferentes valores de capacidade de carga para difentes valores de N_{spt} .

A avaliação da capacidade de carga para o perfil de solo encontrado na sondagem S-04 é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Capacidade de carga admissível do solo de fundação Sondagem S-04 (POULOS & DAVIS, 1980).

Parâmetros de Resistência		Capacidade de Carga - Métodos Empíricos					Método Racional
Prof (m)	N_{spt}	Milton Vargas (1960) (kPa)	DNIT - ISF 207 (kPa)	Meyerhof 1956 e 1974 (kPa)	Parry 1977 (kPa)	Média (kPa)	Terzaghi considerando N.F (1943) (kPa)
1,0							
2,0	12,0	184,6	200,0	244,9	360,0	247,4	395,3
3,0	14,0	215,4	200,0	285,7	420,0	280,3	428,0
4,0	20,0	307,7	400,0	408,1	600,0	429,0	515,4
5,0	26,0	400,0	400,0	530,6	780,0	527,6	657,4
6,0	34,0	523,1	500,0	693,8	1020,0	684,2	732,1
6,5	45,0	692,3	400,0	918,3	1350,0	840,1	1131,3

3 SOLUÇÃO DE FUNDAÇÃO DO MURO ARMADO

Observando os valores de capacidade de carga da sondagem S-04 verificou-se que para uma profundidade de 3.0 m a partir do nível do terreno natural foi obtida uma capacidade média de carga de 280 kPa e segundo o cálculo de tensão vertical aplicada sobre a fundação, a máxima solicitação para o muro de terra armada nessa profundidade na seção de maior altura incluindo o carregamento rodoviário é de 293 kPa.

Com o intuito de aumentar a capacidade de carga e evitar deformações excessivas, foi projetada uma solução de melhoria do solo de fundação que consistiu na remoção de uma camada de solo de baixa resistência aproximadamente 2,5 m de espessura a partir do terreno original, sendo substituída por material de melhor qualidade (Rachão). Além da substituição foi recomendada a construção de colunas de brita envelopadas com geotêxtil de 1,5 m de profundidade e 0,4 m de diâmetro para atingir uma profundidade de 4,0 m onde o material apresenta uma capacidade de carga elevada de aproximadamente 429 kPa para a sondagem S-04.

A remoção e substituição do solo por material compactado de melhor qualidade visa atingir uma camada de maior resistência a 2,5 m de profundidade onde foi calculada uma capacidade de carga de aproximadamente 280 kPa, muito próxima da tensão aplicada máxima na seção de aterro de maior altura.

Neste caso em particular as colunas de brita foram projetadas para contribuir à transferência de tensões verticais a estratos mais profundos de maior resistência, aceleração de recalques elásticos que vão ocorrer durante as etapas de compactação do maciço em terra armada, evitando deformações durante o período de operação da rodovia, diminuição dos recalques totais e diferenciais e reforço da estabilidade global do muro de contenção em terra armada.

A técnica de reforço de solos com colunas de brita em solos é uma das mais usadas quando se pretende aumentar a capacidade de carga, reduzir e acelerar os recalques. É indicada para fundações de aterros ou em outras situações com cargas moderadas. A introdução de colunas de brita em solos moles ou em solos de baixa resistência é responsável por um aumento da estabilidade de aterros executados sobre os mesmos, uma vez que as superfícies de deslizamento passam a interceptar as referidas colunas que apresentam características mecânicas superiores às dos solos. Outra vantagem além do aumento da resistência é a aceleração dos recalques que ocorrerão quase na sua totalidade durante a fase de construção da obra.

Existem vários métodos para execução de colunas de brita. Neste projeto foi executado mediante um método simples não vibratório, que consiste na execução de um furo com um equipamento helicoidal de aproximadamente 40 cm de diâmetro, e preenchimento manual de brita encamisado com geotêxtil.

A coluna de brita atinge um comprimento de 1,50 m e o conjunto melhoria de solo + coluna de brita atingem uma profundidade de 4,0 m onde é encontrado um material extremamente duro.

A solução se mostra na Figura 4. As principais características da solução são:

- Distribuição em malha regular;
- Espaçamento de centro a centro nas duas direções ortogonais = 2,0 m;
- Comprimento das colunas de brita = 1,5 m;
- As colunas são encamisadas com geotêxtil;
- Há uma camada de geotêxtil no contato entre o rachão da substituição de solo e o solo fino da fundação para efeitos de separação e reforço.

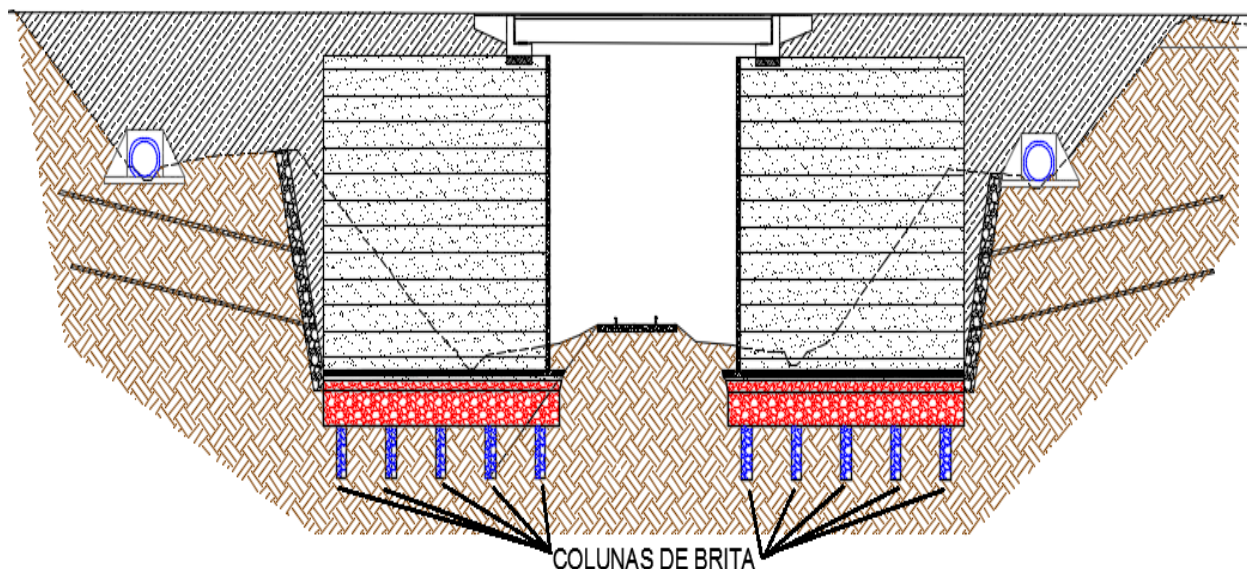


Figura 4. Seção Transversal das Colunas de Brita.

4 CÁLCULO DE RECALQUES

A previsão do recalque do muro de contenção em terra armada foi realizada considerando recalque de fundação superficial flexível pelo uso do rachão como material de substituição do estrato superficial menos resistente.

O cálculo é realizado pela solução da teoria apresentada por DAS, 2007.

A partir dos recalques obtidos nos dois muros de contenção, calculou-se a distorção angular, que não é significativa para a passagem inferior.

$$\text{Distorção} = (\Delta Se) / L = 5/9000 = 1/800 \quad (1)$$

5 ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL

A análise de estabilidade global teve como objetivo a obtenção do fator de segurança mínimo aceitável por norma.

Os parâmetros de resistência obtidos a partir de correlações foram ajustados com base em referências bibliográficas nacionais e internacionais para materiais semelhantes e com base no conhecimento do local de implantação da passagem inferior, para representar da melhor forma possível a realidade do trecho em estudo.

Quanto ao fator de segurança limite,

conforme preconizado na NBR 11.682/09 considerou-se para o caso em questão que o grau de segurança esperado para o local fosse alto, tanto no quesito vidas humanas, quanto em perdas materiais e ambientais.

A seguir, apresentam-se os trechos da NBR em questão na qual foi enquadrada a presente situação:

- Grau de segurança alto para vidas humanas: ferrovias de tráfego intenso;
- Grau de segurança alto para perdas materiais e ambientais: obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais.

Para essas situações, portanto, a norma determina o $FS_{\min}$ de 1,5.

Em todos os casos, foi empregado o método rigoroso de Morgenstern-Price, que estabelece o equilíbrio de forças e momentos das massas mobilizantes, considerando uma relação meso-senoidal (*half sine*) como função entre fatias. As análises foram executadas com auxílio do programa SLOPE/W, pacote do *software* Geostudio 2007. A superfície de ruptura crítica gerada automaticamente em todas as análises foi de forma qualquer (arbitrária).

Como mostra a Figura 5, o fator de segurança (FS) obtido foi igual a 1,8, mostrando que a estabilidade global é satisfatória.

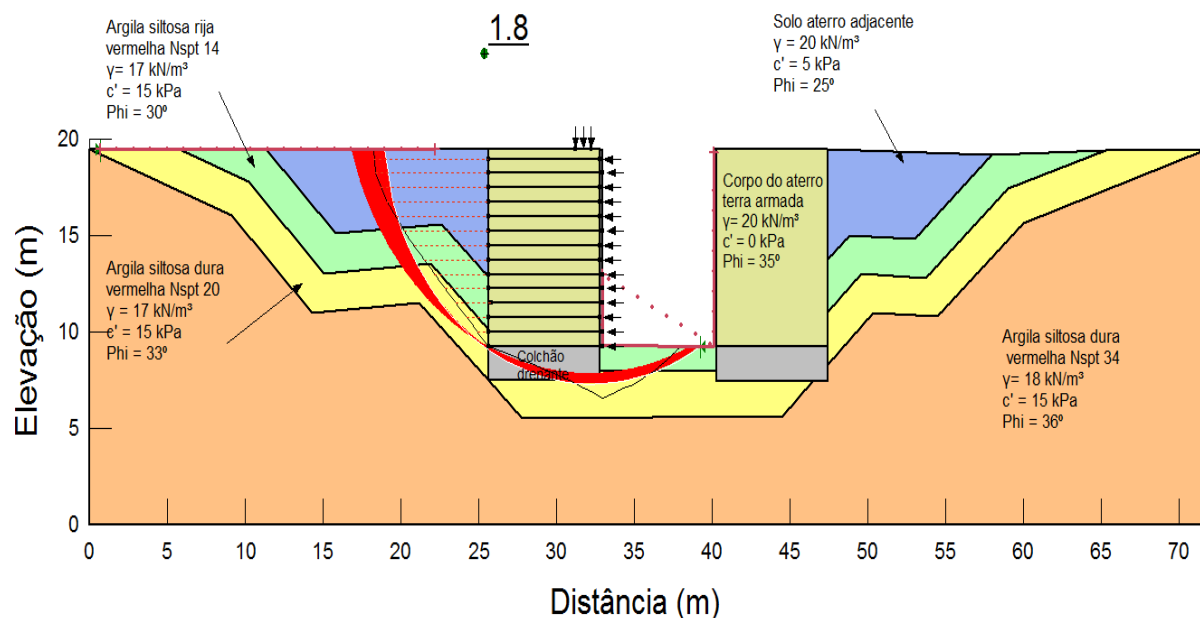


Figura 5. Estabilidade Global do muro de contenção.

6 DETALHES EXECUTIVOS DA OBRA

Durante a execução da obra foi observado que o tipo de solo do local estava de acordo com o indicado nos ensaios a percussão. As Figuras 6 e 7 mostram algumas fases construtivas.



Figura 6. Execução das Colunas de Brita Envelopadas com Geotêxtil.



Figura 7. Execução da obra.

Como pode ser observada na Figura 7, a água foi encontrada durante a construção das colunas de brita, mesmo não tendo sido identificado nas sondagens iniciais. Isso aconteceu pelo fato da execução da obra ter se dado no período de chuvas e as sondagens realizadas durante o período de seca da região.

Verificou-se em cada etapa da construção a colocação do geotêxtil entre o solo e o material granular com o objetivo de impedir a obstrução das colunas de brita pela argila do local e aumentar a vida útil da solução.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em termos gerais pode-se concluir que a solução geotécnica encontra-se estável e satisfatória dentro de um adequado critério de segurança, e a capacidade de carga dos solos de fundação é elevada, o que gera baixos valores de recalques. Pequenos desvios de valores e mudanças locais são esperados, face às normais heterogeneidades inerentes aos materiais geotécnicos.

Observou-se que a inclusão de colunas de britas fez com que a capacidade de carga do solo da fundação fosse aumentada em 153%, bem superior à carga solicitante de projeto.

O acompanhamento foi efetuado durante o processo de escavação, inclusão das colunas de brita e construção do muro em terra armada, comparando-se diretamente os perfis idealizados com os substratos geotécnicos efetivamente existentes em campo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de Taludes, Rio de Janeiro. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio, Rio de Janeiro. 2010.
- DAS, B. M. (2007). Fundamentos da Engenharia Geotécnica, Thomson, São Paulo, 562p.
- DNIT (2012), ISF-207: ESTUDOS GEOTÉCNICOS – Diretoria de Infraestrutura Ferroviária (DIF).
- GEO-SLOPE INTERNATIONAL: Slope/W 2007. Versão 7.10, Canadá, 2007.
- GEO-SLOPE INTERNATIONAL: Slope/W 2007. Versão 7.10, Canadá, 2007.
- PALMEIRA, E.M. (2005) *Apostila do curso de Melhoria de Solos*, Universidade de Brasília, UnB, Brasília, DF.
- POULOS, H. G. & DAVIS, E. H. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. 397 pp.- John Wiley & Sons. Inc, New York.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Ed. John Wiley and Sons, New York. 503 p.