

# Estabilização de um Maciço de Formação Guabirota Localizado Próximo a Curitiba/PR

João Alexandre Paschoalin Filho

Universidade Nove de Julho, São Paulo, Brasil, paschoalinfilho@yahoo.com

Brenno Augusto Marcondes Versolato

Geoconceito Engenharia Consultiva, São Paulo, Brasil, brennoversolato@hotmail.com, geoconceitoengenharia@outlook.com.br

**RESUMO:** O presente trabalho traz a solução de estabilização de um talude de formação Guabirota, localizado em um município da Região Metropolitana de Curitiba/PR. A necessidade de estabilização ocorreu uma vez que, no mês de janeiro de 2015, ocorreu movimentação deste de forma localizada, sendo que durante os meses seguintes, este processo ocorreu de forma sucessiva até a ruptura global. Por meio de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*) conduzidas no local constatou-se que material deslocado é composto por camadas de silte-arenoso de coloração avermelhada e consistência variando entre pouco a medianamente compacta. Para estabilização foi elaborado projeto de uma contenção em cortina atirantada na base do maciço rompido. A cortina será composta por três linhas de tirantes com carga de trabalho de 230 kN, dispostas em malha retangular com espaçamento de 2,0m na vertical e 2,5m na horizontal. O paramento vertical foi apoiado em estacas raiz com  $\phi 310\text{mm}$  e 7m de comprimento, espaçadas a cada 2,5m entre eixos. Os tirantes foram posicionados a uma inclinação de  $15^\circ$  em relação a horizontal, com comprimento total de 25m, sendo 10m de bulbo (trecho ancorado) e 15m de trecho livre. Também foram previstos barbacãs com o objetivo de evitar acúmulo de subpressões de água na região do tardo do paramento, e DHPs (Drenos Horizontais Profundos) para drenagem da água do maciço, a fim de minimizar a carga hidráulica e controlar o nível do lençol freático. Dessa forma, a solução adotada foi eficiente em relação a garantia da estabilidade global do maciço, evitando a necessidade de supressão vegetal e reduzindo custos de movimentação de solo e transporte de material deslocado para bota-fora.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estabilidade de taludes, Formação Guabirota, Cortina Atirantada.

## 1 INTRODUÇÃO

Para a execução de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) foi necessário corte em terreno natural de 35m de altura com inclinação na região de maior desnível de 1,75(H):1,0(V), na região de menor desnível de 1,0(H):1,0(V) e berma de 1,0m de largura.

No entanto, poucos meses após o corte ocorreu um primeiro deslizamento do maciço, de forma localizada, sendo que durante os dois meses seguintes este processo começou a ocorrer de forma sucessiva até a ruptura global do mesmo, ocasionando a suspensão das atividades da ETE.

Segundo informações colhidas “in situ”, antes

da ruptura global do talude foram constatadas trincas no pavimento com soergimento deste, indicando a movimentação da cunha de deslizamento.

Após o sinistro, foi providenciada a remoção de parte do material deslocado e limpeza da área. Contudo, em visita realizada ao local, pôde-se notar que ainda existem processos de movimentação em determinadas regiões do maciço.

A região rompida situa-se próximo a divisa com uma área de preservação ambiental, sendo inviável implantação de soluções que demandassem cortes que avançassem na área de proteção. As figuras seguintes apresentam fotografias colhidas no local durante inspeção

realizada.



Figura 1. Vista lateral do talude rompido.



Figura 2. Talude rompido – Notar grande quantidade de material deslocado.



Figura 3. Detalhe da região superior do talude – árvores pertencentes à área de preservação ambiental (APA).

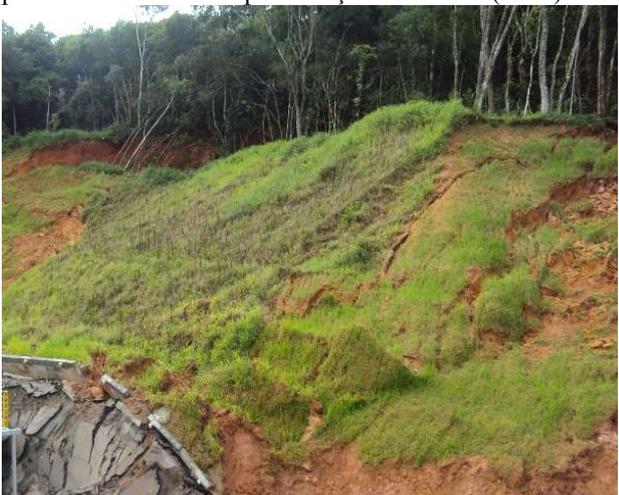


Figura 4. Talude logo após a ruptura antes da limpeza do local.



Figura 5. Trincas no pavimento da ETE ocorridas em função do deslocamento do maciço.



Figura 6. Trincas observadas no terreno indicando continuidade da movimentação.

## 2 DESCRITIVO GEOLÓGICO DO LOCAL EM ESTUDOS

De acordo com Kormann (2002), a Formação Guabirota está inserida na Bacia Sedimentar de Curitiba. A Bacia de Curitiba abrange a maior parte da capital paranaense e sua região metropolitana, possuindo uma área aproximada de 3000km<sup>2</sup>.

A Bacia de Curitiba pertence ao Rift Continental do Sudeste do Brasil – RCSB. A grosso modo, os sedimentos terciários das Bacias do RCSB caracterizam-se por intercalações de sedimentos argilosos e granulares, cuja fonte esteve associada a regolitos desenvolvidos nos afloramentos das rochas constituintes do Rift.

A calha da Bacia de Curitiba foi preenchida principalmente por sedimentos argilosos, argilo-siltosos ou silto-argilosos de idade terciária. Fazem-se presentes também pacotes arenosos arcósios (estratos com alto teor de feldspato), conglomerados e horizontes de caliches (depósitos carbonáticos) (KORMANN, 2002).

Solos da formação Guabirotuba possuem como característica uma consistência elevada. De uma forma geral, o número de golpes de SPT situam-se entre 15 e 30/30cm em pequenas profundidades (KORMANN, 2002).

A consistência elevada das argilas de Curitiba é compatível com o sobreadensamento exibido pelo material (KORMANN, 2002). Elevados valores de tensão de sobreadensamento destes solos foram obtidos por diversos autores. No entanto, apesar da baixa compressibilidade, as argilas rijas e duras de Curitiba possuem características que tornam frequentes a ocorrência de acidentes em obras.

Quando escavado, o solo em questão pode se tornar instável. Segundo Kormann (2002), mesmo taludes de corte abatidos podem apresentar problemas de equilíbrio.

Segundo o autor, a composição mineralógica das argilas da Formação Guabirotuba são caracterizadas pela ocorrência do argilo-mineral do grupo das esmectitas (provavelmente montmorilonita), o que confere a estes materiais comportamento expansivo. Na prática, tal fenômeno pode ser atribuído a diversos problemas ocorridos em obras geotécnicas, principalmente àqueles ligados a instabilidade de cortes de maciços naturais.

Pinto (1999) descreve que solos expansivos são aqueles que apresentam elevada variação volumétrica (expansão ou contração), quando submetidos a condições de alteração de umidade natural. De acordo com Presa (1984), *apud* Pereira (2004), o termo “material expansivo” é utilizado para referir-se àqueles materiais que possuem em sua constituição argilominerais com estrutura laminar potencialmente instáveis, tais como a montmorilonita, vermiculita, clorita e interstratificados. Consistem estes em materiais que possuem limites de liquidez elevados e alta plasticidade. Quando secos são duros, mas perdem facilmente sua resistência quando absorvem água.

No Brasil, as formações expansivas mais importantes e conhecidas são as integrantes das Bacias Sedimentares do Recôncavo Baiano, do Paraná e do Rio Grande do Sul. Na Bahia são representadas pelas Formações do Grupo da Ilha e Santo Amaro e pelo Membro médio da Formação São Sebastião. Em São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, pelas

Formações Taubaté, Guabirotuba, Morro Pelado e Rosário do Sul/Estrada Nova respectivamente (PEREIRA, 2004).

Segundo Felipe (1999), *apud* Pereira (2004), os materiais argilosos da Formação Guabirotuba nas condições em que se encontram na natureza, recobertos por solo residual ou transportados, mantêm-se em sua umidade natural e não apresentam qualquer instabilidade. No entanto, caso a camada superficial de solo seja removida, esta argila exposta perde água e se retrai, apresentando empastilhamento e trincas características. Com a água da chuva, a argila se re-hidrata, expande e desagrega, formando um leito centimétrico, por toda superfície exposta, de partículas finas (PEREIRA, 2004).

As argilas da formação Guabirotuba também são popularmente conhecidas como “sabão de caboclo”. Tal nomenclatura é devido a característica deste material, que ao ser umedecido apresenta-se liso e escorregadio.

Quando estes solos são escavados e expostos a condições atmosféricas, ocorre um processo de ressecamento destes, com conseqüente redução volumétrica, conferindo ao material um aspecto “empastilhado”.

No entanto, o umedecimento deste material provoca a desagregação, favorecendo ocorrência de fenômenos erosivos.

Em termos hidrogeológicos, a Formação Guabirotuba comporta-se como um aquífero e apenas localmente em lentes arenosas e/ou arcossianas há um comportamento aquífero. Em geral, poços tubulares nesta formação apresentam produtividade bastante baixa ou, no máximo, temporariamente medianas. O embasamento da referida formação, no entanto, apresenta médias a altas produtividades onde ocorrem descontinuidades estruturais, independentemente da profundidade, comportando-se, no seu todo, como um aquífero fraturado (SALAMUNI;STELLFELD, 2001).

### 3 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SUBSOLO LOCAL

No intuito de se identificar as camadas componentes do maciço em estudos foram conduzidas quatro sondagens a percussão de simples reconhecimento tipo SPT (*Standard Penetration Test*) de acordo com as

recomendações da ABNT NBR 6484/2001, totalizando 58 metros perfurados. A tabela 1 apresenta um resumo das sondagens conduzidas.

Tabela 1. Profundidade das sondagens executadas.

Sondagem	Prof. (m)	Prof. do N.A (m)	Cota de topo (m)
SP101	10,0	seco	866,696
SP102	10,0	-9,86	866,285
SP103	20,0	-17,25	876,689
SP104	18,0	seco	877,471

As sondagens SP101 e SP102 foram conduzidas na região rompida, sobrejacente ao material deslocado. As sondagens SP103 e SP104 foram executadas em terreno natural, a montante do maciço rompido, em área de preservação.

Por meio das sondagens a percussão SP101 e SP102 pode-se constatar, até o limite destas, que o material deslocado é composto por camadas de silte arenoso de coloração avermelhada de consistência variando entre pouco a medianamente compacta. Também se pode observar camadas intermediárias de argila arenosa com pedregulhos e consistência mole. De uma forma geral, os valores de  $N_{spt}$  variam entre 5 e 9 golpes/30cm considerando-se ambas as sondagens.

As sondagens SP103 e SP104 também apresentaram o maciço formado por camadas de silte arenoso. Ambos os furos apresentam basicamente mesma resistência que as sondagens SP101 e SP102, contudo, depois de profundidades de 10 e 7m respectivamente, os valores de  $N_{spt}$  tendem a apresentar incremento com a profundidade. Em relação ao nível do lençol freático, este somente foi constatado pelas sondagens SP102 e SP103, em profundidades de -9,86 e -17,25m a partir do topo da perfuração respectivamente.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Parâmetros geotécnicos utilizados

A adoção dos parâmetros geotécnicos de resistência ao cisalhamento do subsolo local foi fundamentada na análise dos resultados das sondagens a percussão realizadas, classificação tátil-visual dos materiais indicados nos boletins, e ensaios de compressão triaxial tipo adensado

rápido CU conduzidos em amostras indeformadas colhidas “in situ.

Os parâmetros de resistência e os pesos específicos são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros geotécnicos utilizados.

Cor	Material	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kPa)	$\phi$ (°)
	Material natural	19	18	12	22
	Material depositado	17	18	3	20

### 4.2 Dimensionamento dos bulbos de ancoragem dos tirantes

O cálculo efetuado para a determinação do comprimento do bulbo de ancoragem dos tirantes foi efetuado por meio da formulação semiempírica proposta por Costa Nunes (1987), a seguir apresentada:

$$L_s = \frac{TL}{\pi \cdot Dd \cdot (c + (\gamma \cdot h + \Delta p) \cdot tg \phi)} \quad (1)$$

Onde:

$L_s$  = comprimento do bulbo.

$TL$  = força de ensaio.

$Dd$  = diâmetro do furo.

$c$  = coesão do solo.

$\gamma$  = peso específico do solo.

$h$  = profundidade do centro do bulbo.

$\Delta p$  = parcela de aumento de pressão normal devido à pressão residual de injeção (aproximadamente  $5 \cdot \gamma \cdot h$ ).

### 4.3 Análises de estabilidade

O projeto foi orientado de acordo com as recomendações da ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”, a qual traz, além de procedimentos para elaboração de projeto, a indicação dos Fatores de Segurança mínimos que as soluções de estabilização deverão apresentar após sua implantação.

A tabela 3 apresenta os requisitos considerados pela norma na determinação do Fator de Segurança mínimo a ser alcançado pela solução. Estes são baseados em critérios de segurança contra a perda de vidas humanas e contra a ocorrência de danos ambientais e materiais.

Tabela 3. Fatores de segurança mínimos para deslizamentos.

Nível de segurança contra danos a vidas humanas \ Nível de segurança contra danos ambientais	Alto	Médio	Baixo
	Alto	1,5	1,5
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: ABNT NBR 11.682/2009 – “Estabilidade de Encostas”

Dessa forma, por se considerar o local em estudos como de médio risco de perdas de vidas humanas e de médio potencial de danos ambientais e materiais, o fator de segurança mínimo a ser obtido pela solução de estabilização deverá ser de **1,4**.

As análises de estabilidade foram conduzidas utilizando-se o Método de Bishop Simplificado, o qual assume durante a ruptura o deslocamento de uma massa de solo orientada por uma superfície circular.

As análises de estabilidade foram conduzidas utilizando-se o programa computacional Slide 5.0 da RocScience. A figura 7 apresenta análise de estabilidade da seção representativa de acordo com as condições atuais.

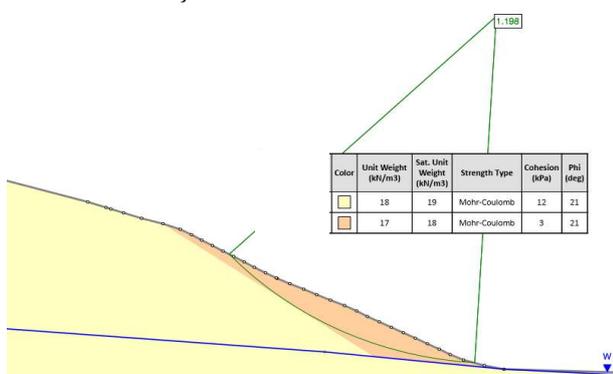


Figura 7. Análise de estabilidade seção inicial. FS=1,19.

Ao observar a figura 7 pode-se notar que a superfície de ruptura crítica situa-se na região de material depositado, ou seja, aquele resultante da movimentação do maciço durante a ruptura. Também se constata que o fator de segurança obtido por meio da análise de estabilidade foi igual a 1,19.

No entanto, deve-se salientar que este material encontra-se em deslocamento e a resistência apresentada pelo material pode ser considerada como residual.

Assim, justifica-se a estabilização global do maciço para interromper a movimentação do material mobilizado e garantir estabilidade ao local. A seguir são apresentadas análises de estabilidade global efetuadas para a seção típica 3+000 considerando-se a ausência e a ocorrência de sobrecarga ( $q=20\text{kPa}$ ).

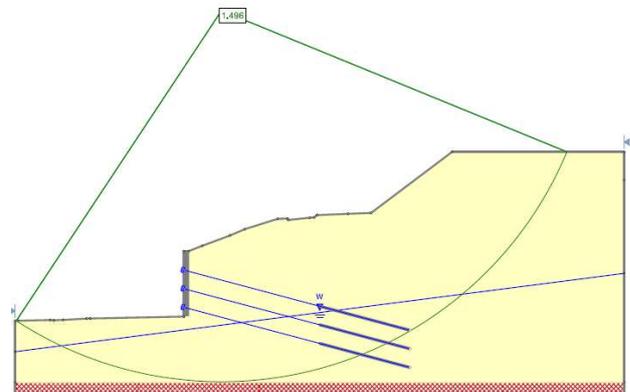


Figura 8. Análise de estabilidade seção típica. FS=1,496.

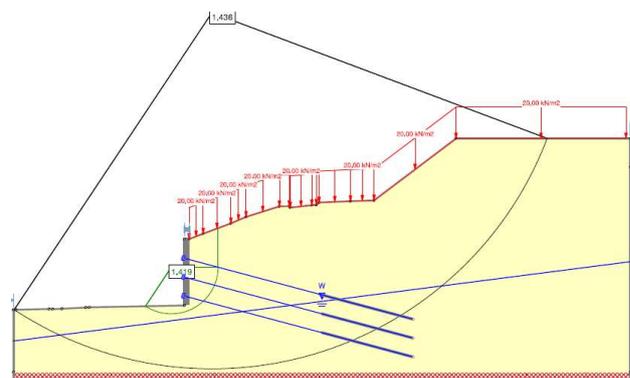


Figura 9. Análise de estabilidade seção típica com sobrecarga  $q=20\text{kPa}$ . FS=1,436.

Dessa forma, por meio das figuras 8 e 9 apresentadas, pode-se constatar que a solução projetada possibilitou a obtenção de fator de segurança satisfatório em relação ao sugerido pela ABNT NBR 11682/2009. Ademais, verifica-se também que o fator de segurança global determinado pouco se alterou com a simulação da sobrecarga.

#### 4.4 Dimensionamento do comprimento mínimo das estacas

A fundação da cortina atirantada em estudos será constituída por estacas tipo raiz com  $\phi 310\text{mm}$ . Para dimensionamento geotécnico destas foi utilizado o método de David-Cabral (1986), metodologia comumente utilizada para estacas deste tipo pelo meio técnico. A sondagem

utilizada como referência foi a SP102. A seguir são apresentadas as informações utilizadas no dimensionamento. A tabela 4 apresenta as características da estaca utilizada.

$$Ql = U \sum \beta \beta 1 N \Delta L \quad (2)$$

$$Qp = \beta \beta 2 N b A b \quad (3)$$

$$\beta = 1 + 0,11p - 0,01b \quad (4)$$

Onde:

$Ql$  = Resistência lateral;

$Qp$  = Resistência de ponta;

$U$  = Perímetro da estaca;

$Nb$  =  $N_{spt}$  na base da estaca;

$\Delta L$  = Espessura do solo;

$p$  = Pressão de injeção.

Tabela 4. Características das estacas utilizadas.

Características	Dimensões
Diâmetro	0,31m
Área da base	0,08m <sup>2</sup>
Perímetro do fuste	0,97m
Pressão de injeção	1,0kgf/cm <sup>2</sup>
Carga de trabalho	390kN
Comprimento	7m

## 4 RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1 Descrição da solução de estabilização projetada

Para a contenção do maciço em estudo foi projetada a execução de uma cortina atirantada de forma a conter o material mobilizado e garantir a estabilidade global sem a necessidade de execução de grandes volumes de corte.

A cortina projetada será composta por três linhas de tirantes (na região de maior altura) com carga de trabalho de 230kN. Os tirantes foram dispostos em malha retangular com espaçamento de 2,0m na vertical e 2,5m na horizontal.

Cada tirante será composto por uma monobarra que deverá suportar a carga projetada. O paramento deverá ser vertical, sendo apoiado em estacas tipo raiz com  $\phi 310$ mm e 7m de comprimento, espaçadas a cada 2,5m entre eixo.

Os tirantes serão posicionados a uma inclinação de 15° em relação a horizontal, com comprimento total de 25m, sendo 10m de bulbo e 15m de trecho livre.

O projeto prevê a instalação de barbacãs com o objetivo de evitar acúmulo de subpressões de água na região do paramento. O barbacã consiste em um tubo de PVC perfurado envolto por manta geotêxtil, sendo seu contato com o maciço composto por material granular. Será executada 1 linha de barbacãs, seguindo o mesmo espaçamento horizontal entre tirantes, ao todo serão instaladas 20 unidades.

Deverão ser implantados DHPs (Drenos Horizontais Profundos) com a finalidade de drenar a água do solo a fim de minimizar a carga hidráulica no maciço e controlar o nível do lençol freático. Os DHPs deverão ser espaçados e 5 metros entre si, fazendo um ângulo de 5° em relação à horizontal e com 20 metros de comprimento.

Neste projeto é prevista a execução de 2 linhas de canaletas, que por sua vez conduzirão o fluxo d'água provenientes dos barbacãs e superfície para o sistema de drenagem superficial existente no local.

Deverá ser feita a proteção superficial de toda a superfície terreno natural. Para tal sugere-se a aplicação de cobertura vegetal com hidrossemeadura com *mulch* de fibras de madeira, com o intuito de se evitar a ocorrência de processos erosivos.

A proteção vegetal também atuará na redução da velocidade do fluxo, reduzindo a energia do escoamento superficial. A seguir são apresentados detalhes típicos do projeto elaborado:

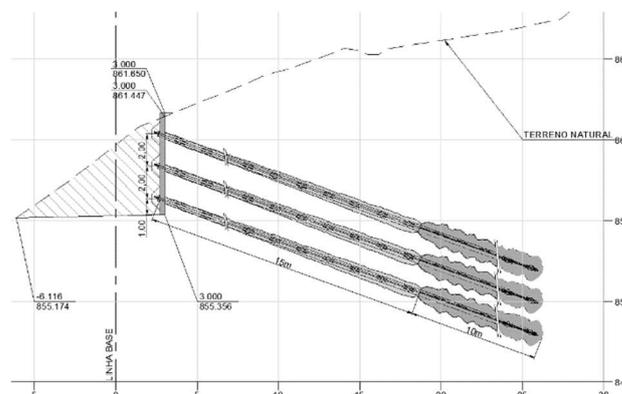


Figura 10. Seção típica da solução adotada.

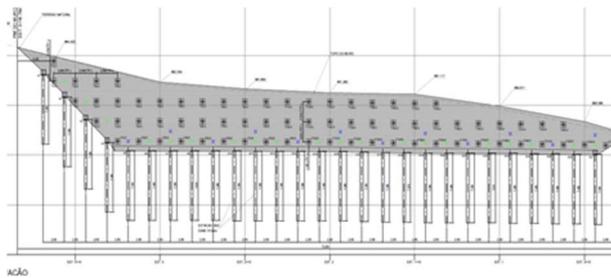


Figura 11. Vista frontal da cortina.

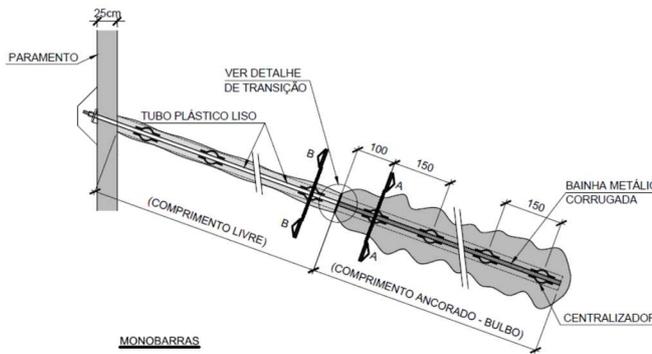


Figura 12. Detalhe executivo do tirante utilizado.

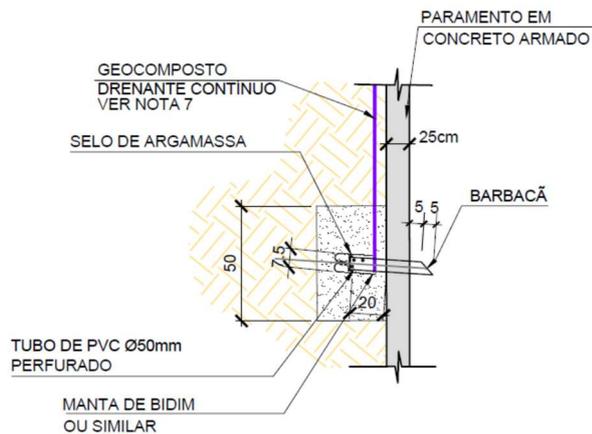


Figura 13. Detalhe executivo do barbacã.

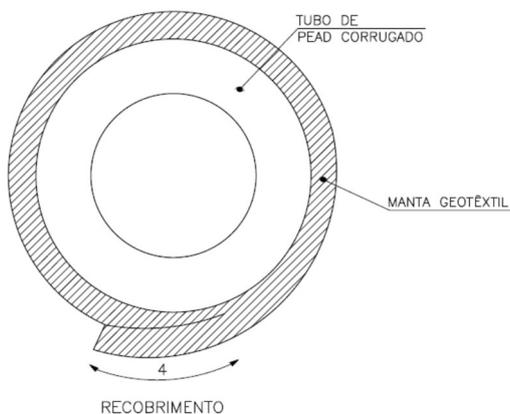


Figura 14. Seção do DHP utilizado.

## 5. CONCLUSÕES

Por meio das informações levantadas constatou-se que o material existente no local em estudos é decorrente da Formação Guabirota, típica da região de Curitiba.

Solos originados desta formação são caracterizados por apresentarem significativa expansividade, bem como alto potencial de sofrer processos erosivos quando umedecidos e elevada retração quando secos.

Dessa forma, é consenso no meio técnico que o material em estudos demanda rigor na adoção de qualquer tipo de solução de estabilização, uma vez que solos dessa formação comumente causam dificuldades executivas significativas, principalmente em obras de corte, em função de suas especificidades.

Assim, no intuito de se reduzir ao máximo a necessidade de supressão vegetal e sanar definitivamente problemas de estabilidade global, garantindo fatores de segurança adequados, foi projetada a contenção atirantada em estudos a ser executada na base do maciço rompido.

Além de menor supressão vegetal, esta solução também possibilitará redução dos volumes de solo a serem escavados, diminuindo assim custos de transporte e dificuldades com áreas de bota fora.

O maciço contido pela cortina deverá também ser regularizado de forma a se proporcionar estabilidade local satisfatória do mesmo, para, em seguida, ser revestido com gramíneas para proteção contra processos erosivos.

Por meio das análises de estabilidade efetuadas pode-se constatar que a solução adotada conduziu a fatores de segurança em concordância com as recomendações da ABNT NBR 11682/2009, considerando-se as especificidades e condicionantes locais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio dado pela Universidade Nove de Julho/SP e pela Geoconceito Engenharia Consultiva/SP.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT:NBR 11.682 – “Estabilidade de encostas”. Rio de Janeiro.

2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT:NBR 6484 – “Solo-sondagens de simples reconhecimento”. Rio de Janeiro. 2001.

Kormann, A.C.M. (2002) *Comportamento geomecânico da Formação Guabirota: Estudos de Campo e Laboratório*. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo, 429p.

Oliveira Junior, J.C.O; et al. (2011) *Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de solos da Formação Guabirota, Curitiba/Pr*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n.35, p1481-1490.

Pereira, E.M. (2004) *Estudo do comportamento a expansão de materiais sedimentares da Formação Guabirota em ensaios d sucção controlada*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 253p.

Pinto, C.S.Capítulo 2 – “Propriedade dos Solos” – In *Hachich et al. Fundações: Teoria e Prática*. São Paulo, Ed. Pini. 1999, p51-118.

Salamuni, E.; Stellfeld, M.C. (2001) *Banco de dados geológicosgeo-referenciados da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)como base de sistema de informação geográfica (SIG)*. Boletim. Paranaense Geociência., p 49:21-32.