



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ARTHUR COUTINHO DE ARAÚJO PEREIRA

SISTEMAS DE DRENAGENS EM OBRAS DE CONTENÇÕES DE TALUDES

JOÃO PESSOA

2017

ARTHUR COUTINHO DE ARAÚJO PEREIRA

SISTEMAS DE DRENAGENS EM OBRAS DE CONTENÇÕES DE TALUDES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal da
Paraíba como pré-requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: DSc. Fábio Lopes Soares

JOÃO PESSOA

2017

P436s Pereira, Arthur Coutinho de Araújo

Sistemas de drenagens em obras de contenções de taludes./ Arthur Coutinho de Araújo Pereira. – João Pessoa, 2017.

56f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Drenagem 2. Taludes 3. Contenções 4. Eficiência 5. Solo grampeado
I. Título.

BS/CT/UFPB

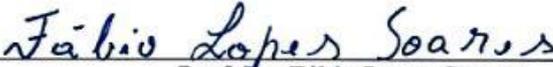
CDU: 2.ed. 626.81/.84043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ARTHUR COUTINHO DE ARAÚJO PEREIRA

SISTEMAS DE DRENAGENS EM OBRAS DE CONTENÇÕES DE TALUDES

Trabalho de Conclusão de Curso em 24/11/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:



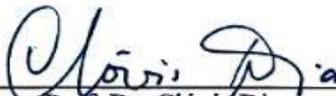
Prof. Dr. Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprova do



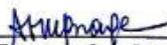
Prof. Dr. Aline Flavia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Prof. Dr. Clóvis Dias
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Profª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Matrícula Siape: 1668619
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, autor da minha fé, pela graça imerecida e por todos os seus feitos.

Agradeço aos meus amados pais e meus heróis, Francisco e Marília, fundamentais nessa conquista.

Sou extremamente grato aos meus irmãos, Allan e Alex, pelos conselhos valiosos.

A minha família pelo marcante suporte.

Aos meus amigos, capazes de converter uma árdua jornada numa caminhada mais leve, minha gratidão.

Ao Prof. Fábio Lopes Soares, pelos conhecimentos fornecidos, suporte, compreensão e pela orientação deste trabalho.

Aos professores da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), pelos ensinamentos que serão úteis não só para a vida profissional, mas, sem dúvida, para a pessoal.

A Pedro, Anderson, Sr. João e Sr. Joaquim pela atenção e suporte, necessários para o cumprimento dos experimentos feitos neste trabalho.

RESUMO

Em obras de contenção de taludes, sejam rodoviários ou não, a presença de água no maciço deve ser levada em consideração, tal que seus efeitos sejam minimizados e eliminados, pois seu acúmulo é um dos principais fatores condicionantes das instabilidades de taludes, podendo ocasionar algumas manifestações patológicas, tanto no aço quanto no concreto, aumentando os custos de manutenção, diminuindo a segurança do maciço, e até comprometendo a estabilidade do talude. Para isso, além das considerações hidrogeológicas, definidas em termos de posição do lençol freático e as direções preferenciais de fluxo, as contenções de taludes devem ser dimensionadas levando em conta a força hidrostática das águas ou desviando seu fluxo. Com isso, se faz necessário uma implementação de um sistema de drenagem bem dimensionado e executado de forma apropriada, quando necessário, tomando medidas convenientes para a dissipação de energia, capaz de atender com eficiência e de forma econômica, do mesmo modo que é extremamente importante a previsão de um acompanhamento periódico para esse sistema. Essas soluções para o manejo adequado dos fluxos das águas presentes nos maciços de solo podem ser possíveis com a utilização de dispositivos de drenagens superficiais, tendo como exemplo, a execução de escadas hidráulicas, barbacãs, drenos sub-horizontais, e drenagens profundas. Este trabalho tem como objetivo apresentar e discutir as drenagens mais eficientes para determinadas obras de contenção de maciços de solo com a visão da metodologia executiva de cada um dos métodos, levantando alguns casos de obras cuja a solução se deu por meio de sistema de drenagem. Também são desenvolvidos experimentos visando comparar a eficiência entre diferentes dispositivos drenantes.

Palavras-Chave: Drenagem, Taludes, Contenções.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	Objetivo	11
1.1.1	Objetivo geral	11
1.1.2	Objetivos específicos	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Importância dos sistemas de drenagem	12
2.2	Influência da chuva.....	13
2.3	Tipos de drenagens	15
2.3.1	Escadarias hidráulicas	15
2.3.2	Drenagem por eletro-osmose	16
2.3.3	Drenagem superficial com manta de concreto flexível.....	18
2.3.4	Drenos profundos.....	19
2.3.5	Drenos de paramento	22
2.4	Execução de solo grampeado	23
3	CASOS DE OBRAS.....	26
3.1	Estabilização de deslizamento na Itália Central	26
3.2	Utilização de túneis e galerias de drenagem para estabilização do escorregamento de massa de taludes junto à usina Henry Borden	27
3.3	Estabilização de encostas através de drenagem profunda: caso de estabilização com túnel de drenagem na rodovia dos imigrantes	30
3.4	Caso de ruptura de talude associada a problemas de drenagem superficial	36
4	EXPERIMENTOS DESENVOLVIDOS	39
4.1	Caracterização	39
4.2	Instalação e execução	43
5	RESULTADOS	46
6	CONCLUSÃO.....	48
	REFERÊNCIAS	50

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1- Curvas de correlação para acumuladas de 6 a 8 dias</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2- Representação de diversos dispositivos de drenagem superficial</i>	<i>15</i>
<i>Figura 3- Exemplo de projeto de descida d'água</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4- Esquema de funcionamento de drenagem por eletro-osmose.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5- Rolo portátil de manta flexível.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6- Drenagem superficial utilizando manta flexível.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 7- Dreno Sub-horizontal, DHP.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8- Tubos de PVC usados como drenos.</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9- Detalhe de barbacã.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 10- Representação de execução de concreto projetado.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11- Detalhe de execução de concreto projetado.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 12- Volumetria de trecho de túnel.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13- Corte longitudinal.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 14- Planta da região.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 15- Posições dos túneis</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16- Diagrama mostrando a relação entre a posição do nível d'água e os deslocamentos horizontais.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 17- Planta da região.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 18- Leitura do tassômetro.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 19- Leitura dos piezômetros.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 20- Planta do túnel de drenagem.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 21- Corte da seção transversal da galeria.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 22 - Seção transversal do talude</i>	<i>37</i>
<i>Figura 23- Vista do fundo da canaleta de drenagem, onde houve a infiltração da água que deu origem a ruptura.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 24- Canaleta sem manutenção, coberta pela vegetação</i>	<i>38</i>
<i>Figura 25- Tubos de PVC utilizado como drenos, confeccionados: perfurado à esquerda e ranhurado à direita.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 26- Recobrimento dos drenos com tela.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 27- Esquema de escoamento de geotêxtil.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 28 - Geocomposto drenante utilizado</i>	<i>41</i>

<i>Figura 29- Geocomposto drenante com uma face obstruída por argamassa.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 30- Geocomposto drenante com duas faces obstruída por argamassa.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 31- Amostra de material utilizado em experimento</i>	<i>43</i>
<i>Figura 32- Vista superior da configuração de espaçamento dos drenos.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 33- (a) Preenchimento parcial do tonel. (b) Cobrimento total dos drenos com solo. ...</i>	<i>44</i>
<i>Figura 34- Representação de corte lateral no tonel, mostrando configuração vertical dos drenos.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 35- Recipientes dispostos na saída de cada dispositivo.</i>	<i>45</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1- Volume drenado em cada dispositivo.</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 2- Volume drenado em cada dispositivo, com geocomposto drenante obstruído numa das faces.</i>	<i>46</i>
<i>Tabela 3- Volume drenado em cada dispositivo, com geocomposto drenante obstruído nas duas faces.</i>	<i>47</i>

1. INTRODUÇÃO

Em períodos de chuva intensa, no Brasil, ocorre a maioria dos acidentes relacionados aos maciços de solo, como escorregamentos e erosões, por exemplo. Isso se deve ao fato de que a chuva atua como principal agente não-antrópico na deflagração de escorregamentos no país. Esses eventos possuem inúmeras consequências, as quais, geralmente, trazem grandes prejuízos ambientais, sociais e econômicos, chegando até a inviabilizar a continuidade de determinados empreendimentos nessas áreas ou em proximidades. A influência da água é vista de várias maneiras, como na diminuição da coesão aparente do solo, na redução das tensões resistentes do maciço e na origem de pressões neutras que, se não observadas, podem causar rupturas. A presença de águas de infiltração e percolação nos solos causa inconvenientes e problemas para os mais variados tipos de obras de engenharia civil.

O orçamento de uma obra de drenagem é, na maior parte, muito pequeno comparado ao montante total do orçamento da obra. Executar um projeto de qualidade e investir numa drenagem que possibilite o escoamento adequado das águas pluviais para o sistema de drenagem permite o funcionamento dos empreendimentos mesmo na ocorrência das chuvas. Para evitar que aconteçam problemas maiores, que dependendo do deterioramento pode-se culminar a um grande sulco ou ravina, e até acidentes, que podem acarretar em prejuízos incalculáveis e até vidas humanas, é necessário ter um olhar diferenciado para a drenagem, sem menosprezar sua relevância, o mesmo servindo para a impermeabilização dos taludes, sejam artificiais ou naturais.

É de extrema importância ter alternativas de dispositivos para se executar um sistema de drenagem, o que, por consequência, acaba tendo maior diversidade nos métodos de execução, cada um podendo ter vantagens e desvantagens. Quando são consideradas as particularidades de cada tipo de drenagem e presumidas dificuldades de acesso e execução de determinada drenagem, a eficiência da obra pode ser elevada e os custos reduzidos.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar uma revisão bibliográfica e analisar os sistemas de drenagens mais utilizados nas obras de contenção de taludes, observando aspectos executivos, aplicações, também atentando para suas particularidades, vantagens e desvantagens.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar capacidade de drenagem entre diferentes dispositivos;
- Analisar eficiência dos dispositivos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, ressalta-se a importância dos sistemas de drenagens, tal como a influência das chuvas na estabilidade dos taludes. Também serão abordados conceitos e classificações necessários a um melhor entendimento por parte do leitor no que se refere aos tipos de sistemas de drenagem, suas aplicações e particularidades.

2.1 Importância dos sistemas de drenagem

Nos últimos anos, observa-se um ritmo acelerado de urbanização de áreas anteriormente consideradas rurais, criando consideráveis alterações no ciclo hidrológico natural desencadeando situações alarmantes e que, muitas vezes, trazem ameaças ao desenvolvimento do habitat humano. Todos esses acontecimentos podem ganhar, ainda mais, proporções se não tomadas as devidas ações. Tal omissão pode ser refletida através de: subdimensionamento dos dispositivos interceptores de águas pluviais, as sarjetas de passeio e sumidouros de grades, sujeitando inundações; comportamento hidráulico deficiente das redes de drenagem pluvial, devido a entupimentos e obstruções das seções de escoamento ou ao subdimensionamento, com decorrente entrada em carga de coletores e inundações dos pontos baixos das bacias drenadas, e; não aproveitamento integral da capacidade de transporte dos sistemas de drenagem enterrados, de acordo com Marques, A. S et al.

Os estudos da estabilização de taludes estão interligados com seus tipos de contenção se tornam necessários, cada vez mais, devido aos grandes desastres ocasionados pelos deslizamentos de terras. Infelizmente, a projeção que se tem é da continuação desses escorregamentos, devido ao processo contínuo de desmatamento, urbanização e chuvas. Portanto a prevenção se torna cada vez mais necessária, principalmente em áreas de maior risco.

Nos projetos de estabilização é de extrema importância atuar sobre os mecanismos instabilizadores, contendo a causa com obras ou soluções de alto efeito, o que, além de economizar em tempo, diminui efetivamente em custo e aumenta segurança.

Como exemplo, a corrida de massa se caracteriza pela afluência de grande quantidade de material para a drenagem. A parte argilosa deste material se mistura com a água formando um líquido viscoso (lama), com alta plasticidade que flui para as partes baixas. Pela sua velocidade e densidade elevadas possui alto poder destrutivo e extenso raio de ação. Desta

forma a fonte do material que aflui para a drenagem são escorregamentos que ocorrem a montante. Estão associados a índices pluviométricos elevados. São movimentos que se assemelham a avalanches, com grande volume de materiais.

Segundo FERRAZ *et al.* (2017), a drenagem é, na maior parte, a intervenção mais importante para a estabilização de um talude, sendo intrínseca às obras de contenções e de proteção superficial, pois asseguram a redução dos esforços que a obra resistirá, devido à ação da água. Com isso, um comportamento satisfatório de uma estrutura de contenção não pode ser obtido sem a utilização de sistemas eficientes de drenagem, que podem ser superficiais ou internos.

A drenagem, seja ela superficial ou profunda, também é considerada uma alternativa dentre muitos métodos utilizados para a estabilização de taludes, paralelo a, por exemplo, uma possível diminuição da inclinação do talude. De acordo com Carvalho *et al.* (1991), os problemas associados a deficiências do sistema de drenagem superficial provocam infiltrações nos taludes, motivando saturação e, conseqüentemente, erosão que podem promover escorregamentos.

Em vista disso, a falta ou a não devida atenção para com essas obras em taludes, denominadas de “complementares”, como sistemas de drenagem, revestimento vegetal e proteção superficial, pode vir a prejudicar, ou até mesmo provocar a ruína total de todo o conjunto de obras. Sendo assim, é despertada a importância que deve ser dada às obras “complementares” de taludes, em especial no que diz respeito aos sistemas de drenagem.

2.2 Influência da chuva

Épocas chuvosas com elevado índice pluviométrico têm se tornado verdadeiros tormentos para a população. Nesses períodos são quando as encostas ficam mais suscetíveis a escorregamentos, devido ao aumento do excesso de poro-pressão que reduz a resistência do solo ao cisalhamento, de acordo com DUTRA (2013).

Segundo BASTOS (2014), a percolação de água em encostas pode reduzir a resistência do maciço, dado: pelo desenvolvimento de poro-pressões ao longo de superfícies potenciais de ruptura; pela redução da coesão aparente, através da saturação dos solos não-saturados; pelo aumento do peso do material, e; pela ação erosiva interna (piping) e externa.

Deve-se levar em conta, também, as chuvas precedentes, pois essas se mostram muito importantes na deflagração dos movimentos de massa, segundo VICTORINO (2015), pois

sabe-se que grandes volumes de chuva tendem a motivar escoamentos superficiais, enquanto que chuvas de menor intensidade e duração, sendo mais prolongadas, em sua maior parte tendem a favorecer a infiltração, reduzindo o nível de sucção natural e elevando a umidade do solo atingindo justamente a estabilidade dos taludes. É possível a visualização, na Figura 1, da correlação entre as chuvas diárias com a chuva acumulada de João Pessoa, desenvolvida por SOARES e RAMOS FILHO (2014), que podem ser utilizadas no monitoramento das chuvas acumuladas para a prevenção aos escorregamentos na cidade de João Pessoa.

A influência da água pode ser direta, com o acúmulo de água junto à face interna da contenção, ou indireta, causando a diminuição da resistência ao cisalhamento do maciço devido ao acréscimo das pressões intersticiais. Sabe-se que grande parte dos acidentes em obras de contenção está relacionada ao acúmulo de água no maciço, ainda mais quando há existência de uma linha freática no maciço, aumentando consideravelmente o empuxo total. O acúmulo de água, por deficiência de drenagem, tem condições de chegar a dobrar o empuxo atuante.

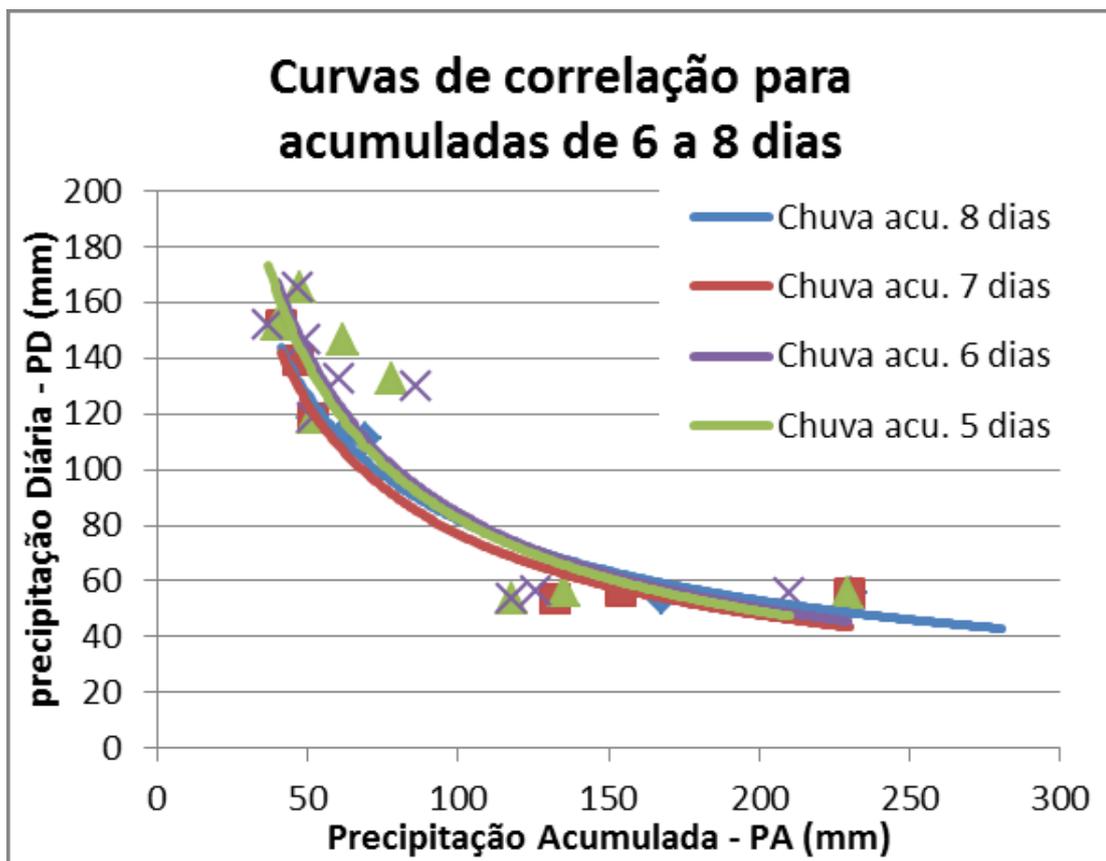


Figura 1- Curvas de correlação para acumuladas de 6 a 8 dias

Fonte: SOARES e RAMOS FILHO (2014).

2.3 Tipos de drenagens

2.3.1 Escadarias Hidráulicas

A necessidade de retirada da água da valeta de proteção de corte caixa coletora de um bueiro de greide ou para a sarjeta pode acontecer, na prática, devido às seguintes particularidades: quando o aumento da capacidade de vazão obriga a construção de seção com grandes dimensões; quando o terreno a montante da valeta apresentar um talvegue secundário bem definido ocasionando a concentração de água num único local; quando o perfil longitudinal da valeta apresentar-se sinuoso com vários pontos baixos, obrigando, para que haja em escoamento contínuo, grandes profundidades da valeta. Nesses casos, o dispositivo de saída d'água da valeta de proteção de corte para a plataforma é comumente denominado descida d'água ou escada hidráulica. Essas descidas d'água em geral são construídas em degraus, como mostra a Figura 2.

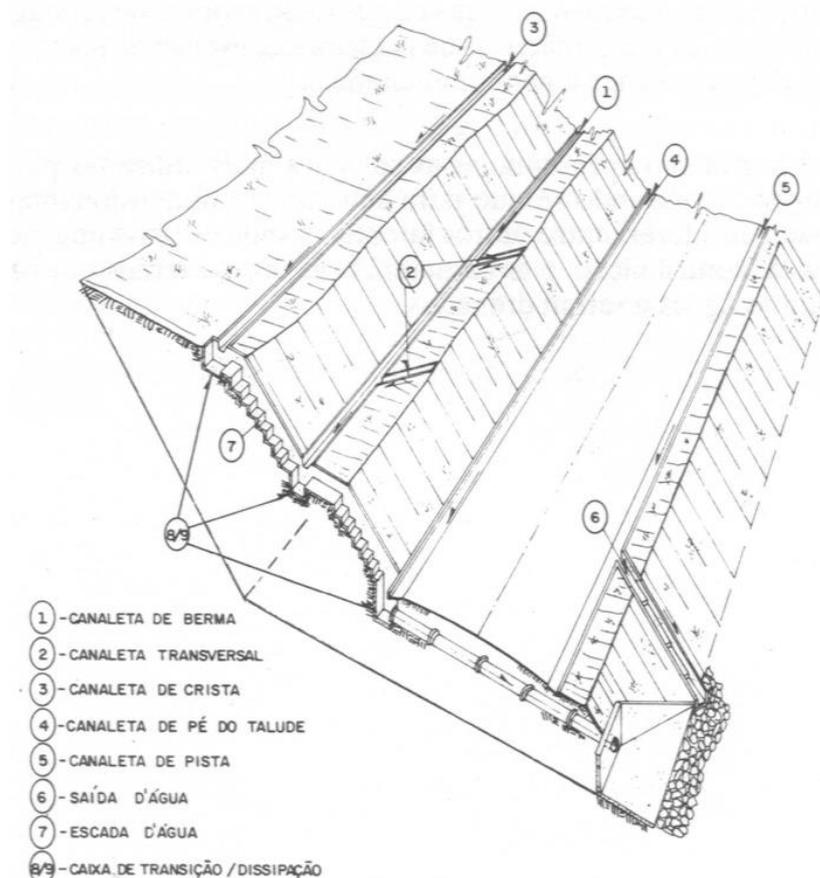


Figura 2- Representação de diversos dispositivos de drenagem superficial

Fonte: CARVALHO (1991).

A ausência desse sistema faz com que haja infiltração de água por sua base, resultando numa condição crítica de teor de umidade do solo em toda a extensão. Observa-se que nos casos de rupturas e de processos erosivos em taludes de solo, apesar da consciência da importância dos sistemas de drenagem para este tipo de obra, nem sempre tem sido tomados os devidos cuidados nos processos de projeto, de execução e de manutenção de sua funcionalidade ao longo do tempo.

Não levando para o âmbito do dimensionamento, mas na finalidade de representar os tipos de escadarias hidráulicas, pode ser visto um exemplo de projeto de descidas d'água na Figura 3.

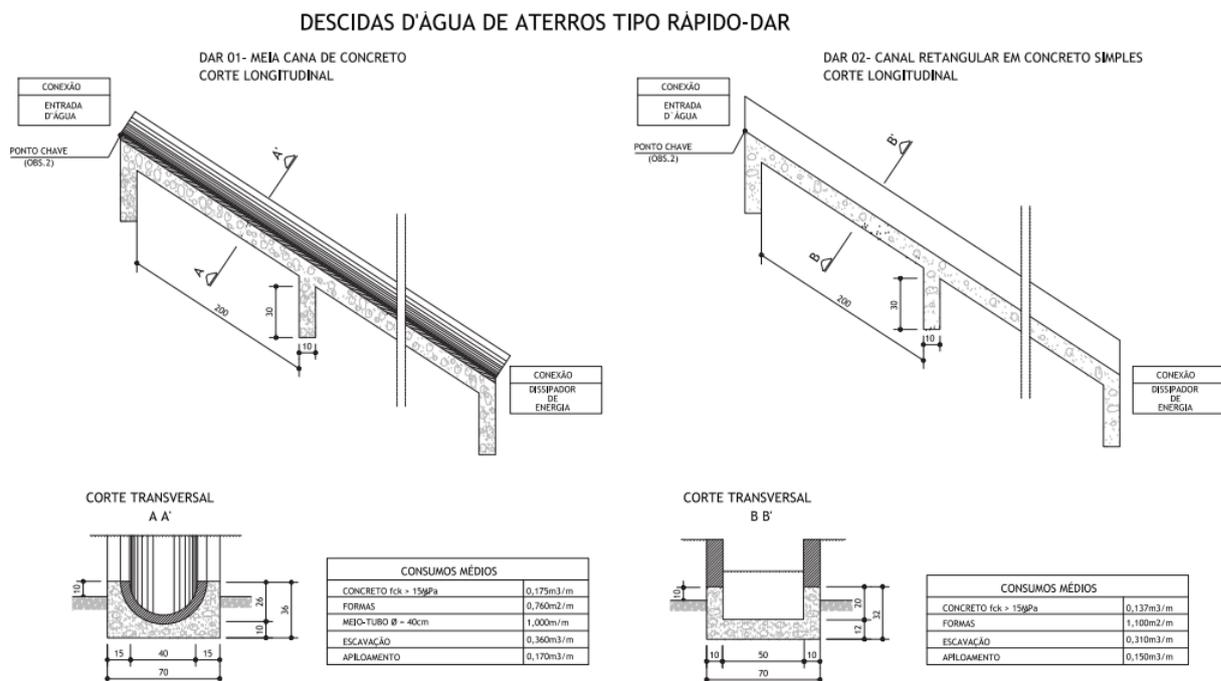


Figura 3- Exemplo de projeto de descida d'água

Fonte: DNIT (2006).

2.3.2 Drenagem por eletro-osmose

Os métodos de drenagem comuns são inoperantes em solos com coeficientes de permeabilidade compreendidos entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s. Quando isso ocorre, utiliza-se o método por eletro-osmose, no qual dois eléctrodos são instalados num solo saturado e, após a passagem de corrente eléctrica entre ambos, a água contida nos vazios percola no sentido do ânodo para o cátodo, podendo ser drenada e esgotada através de uma bomba, como pode ser visto na Figura 4.

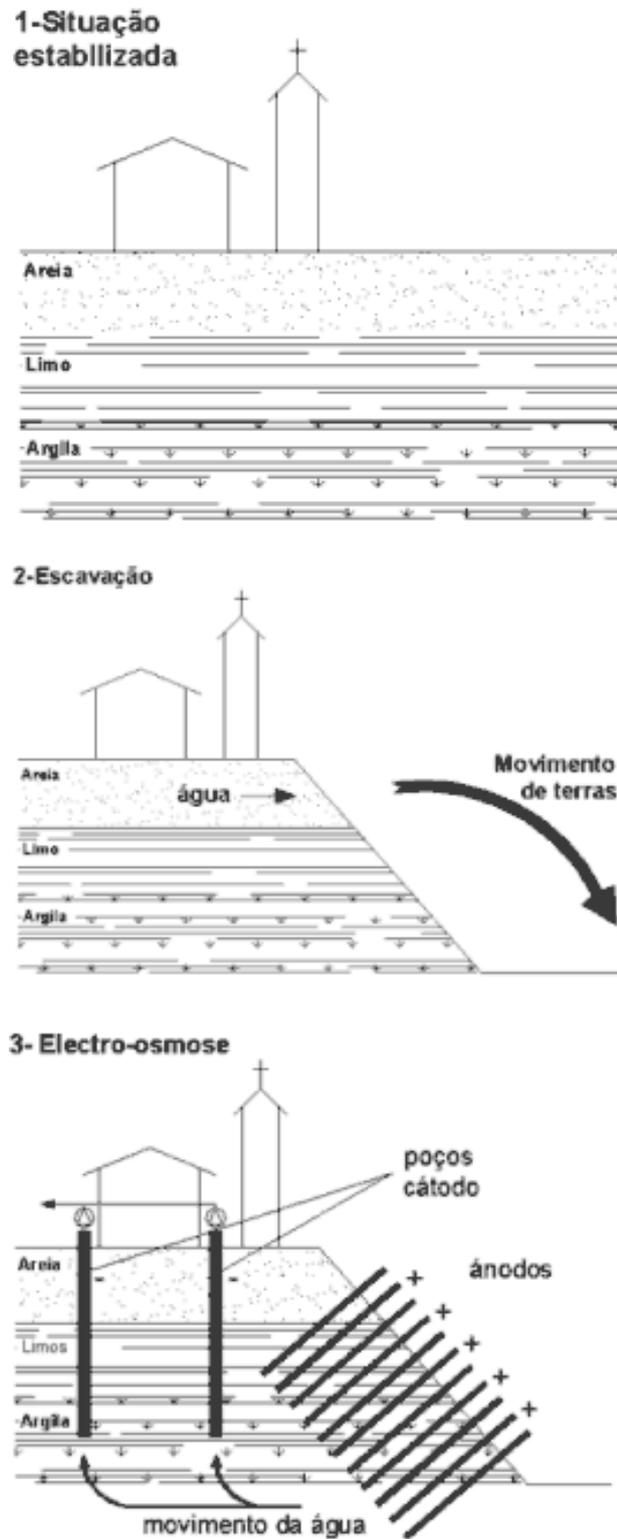


Figura 4- Esquema de funcionamento de drenagem por eletro-osmose.

Fonte: BOLÇA E RIBEIRO (2017).

Normalmente, este sistema é muito utilizado quando se necessita fazer um rebaixamento no nível do lençol freático, mas também pode ser muito útil em situações que

necessite da drenagem de um talude, embora que neste último caso seja pouco utilizado no Brasil. Entretanto, sabe-se que uma de suas limitações é o débito bastante baixo.

2.3.3 Drenagem superficial com manta de concreto flexível

Trata-se de uma manta envolta em uma argamassa especial, que através de componentes aceleradores, que ao entrando em contato com a água, transforma-se em uma fina camada de concreto, disponível em rolos portáteis, vide Figura 5. Esse material tem sido utilizado em um diversificado número de obras em 45 países, e mais recentemente no Brasil.



Figura 5- Rolo portátil de manta flexível.

Fonte: CONCRETE CANVAS BRASIL (2012)

Este material, que é uma manta de cimento flexível, quando hidratado endurece, formando uma camada de concreto impermeável e à prova de fogo, leva cerca de 24 horas para endurecer e 48 horas - o que demonstra a rapidez na aplicação - para ficar totalmente pronta, vem ganhando espaço e sendo adotado como a escolha mais eficiente quando comparada às soluções clássicas utilizadas para revestimentos nas áreas de infraestrutura. É imprescindível destacar que a manta não pode ser empregada com função estrutural, mas pode ser utilizada para revestimento. A manta possui diversas aplicações, como exemplo: proteção contra erosão em encostas em ferrovias e rodovias; revestimento de encostas, dutos e valas de drenagem; revestimento de diques e cobertura de superfícies que demandem impermeabilização como bacias de contenção e vinhaça, bem como terminais e refinarias do

setor de óleo e gás. Na Figura 6, pode-se ver a aplicação da manta flexível numa vala de drenagem.



Figura 6- Drenagem superficial utilizando manta flexível.

Fonte: CONCRETE CANVAS BRASIL (2012).

Outro diferencial, claramente observado, é a facilidade no transporte para locais que possuem difícil acesso, executado em áreas que não permitem uma concretagem tradicional, cujo acesso de betoneira e equipamento pesado seja inviável, já que a manta de concreto é vendida em rolos portáteis de 1,10 m de largura, até 10 m², ou a granel, com 1,10 m de largura até 200 m, e vem em três espessuras : CC5 – 5 mm de espessura; CC8 – 8 mm de espessura, e CC13 – 13 mm de espessura. Há outras vantagens, como: durabilidade, economia de custos.

2.3.4 Drenos Profundos

Drenos profundos são dispositivos utilizados para rebaixar o lençol freático, em cortes em solo ou rocha, evitando que a ação das águas subterrâneas possa afetar a resistência do material do subleito e/ou pavimento, prejudicando o desempenho deste. Quanto à forma construtiva, pode-se utilizar tubos ou não, de acordo com DNER/ PR (2005).

Uma alternativa conveniente para a preservação de taludes e encostas seria a utilização de uma biomanta visando a ação instantânea contra o efeito de processos de deslocamento de partículas finas do solo e agentes erosivos, que reduzem e danificam a capacidade do sistema de drenagem superficial de proteção ou ainda proporcionam a instabilidade geomecânica destes locais, segundo LINHARES (2011).

São determinados a drenar maciços (taludes de corte/aterro) ou encostas naturais, tendo em vista reduzir a pressão neutra, evitando assim que as condições de saturação presentes no solo comprometam a estabilidade dos maciços; são empregados tubos de PVC perfurados ou ranhurados, com diâmetro – comumente executado - de 50mm, mas que depende de um adequado dimensionamento, cravados nos taludes após perfuração com equipamento apropriado. São dispositivos complementares a outros dispositivos; o objetivo é conceder estabilidade ao maciço. Pela inconveniência de operação dos equipamentos de perfuração, a primeira linha de drenos é implantada 1,0 m acima da plataforma de terraplenagem. Não só o diâmetro, mas também o número de drenos e comprimentos dependem de estudos hidrológicos e geotécnicos.

Segundo BASTOS (2006), os “drenos sub-horizontais profundos”, conhecidos por DHP, resultam da perfuração sub-horizontal de tubos plásticos drenantes, geralmente com diâmetro de 50 a 100 mm executada com uma inclinação de 5° a 10° para cima, visto na Figura 7. Na perfuração é introduzida uma tubulação de PVC rígido, geralmente com diâmetro de 38 a 50 mm, constituída por trecho filtrante, envolvido por geotêxtil ou tela de nylon.

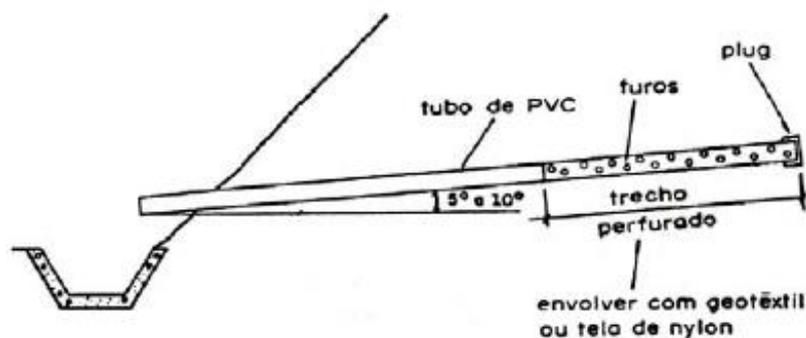


Figura 7- Dreno Sub-horizantal, DHP.

Fonte: CUNHA *et al.* (1991).

Vale ressaltar que, com o aumento da extensão do trecho perfurado na direção da face do talude, causa um aumento na eficiência da drenagem, já observada em casos práticos.

Estes tubos podem ter somente microrranhuradas em torno de 0,4 mm, sem recobrimento por manta ou tela, ou perfurações recobertas por manta geotêxtil ou por tela de nylon. De acordo com SOLOTRAT(2015), visando comparar o tipo de tubo drenante que pode ser usado no DHP, foi realizado um estudo comparativo entre o “dreno Geotécnica” e o “dreno

ranhurado”, sendo o primeiro, o dreno executado pela empresa Geotécnica S.A, precursora na execução de serviços geotécnicos no Brasil. O “dreno Geotécnica” resulta de se executar perfurações de 12,5 mm diametralmente opostas a cada 60 milímetros, duas a duas ortogonais, em tubo PVC de 50 mm. São cobertas por duas camadas de tela de nylon, malha 30. Para um comprimento de 50 cm resulta numa área perfurada de 20,44 cm². O “dreno ranhurado” resulta da execução de rasgos de 0,4 mm com 35 mm de extensão a cada 19 mm, sem envolvimento por qualquer tipo de tela. Resulta em 50 cm numa área perfurada de 3,36 cm². Observa-se que no “dreno ranhurado” as ranhuras são somente executadas na parte superior do tubo, vide Figura 8.



Figura 8- Tubos de PVC usados como drenos.

Fonte: SOLOTRAT (2015).

Em caso de depósitos de solos oriundos de antigos deslizamentos das partes mais altas das encostas, também conhecidos como colúvios, tem-se como consequência a instabilidade sob chuvas intensas, principalmente as persistentes, quando o lençol d'água no interior dos mesmos se eleva, segundo LACERDA e SANDRONI (1985). O corte desses materiais agrava sua condição de estabilidade, e só deve ser feito, independente da solução de projeto, ligado a implantação de um sistema de drenagem que conserve nível do lençol d'água baixo, e de preferência distante da região do corte. Comumente, faz-se necessário o corte de colúvios em obras rodoviárias e mesmo urbanas. Como uma medida de estabilização da parte restante do colúvio um eficiente sistema de drenagem profunda, composto por drenos sub-horizontais perfurados, atende de forma eficiente, porém, quando são massas de colúvio extensas

permanecem vulneráveis a movimentos lentos sob chuvas intensas ou persistentes, ainda com drenagem próxima da cortina. Com isso, o empuxo, com o tempo, pode crescer consideravelmente e chegar a, pelo menos, valores que correspondem ao repouso.

2.3.5 Drenos de Paramento

Drenos de paramento são peças que promovem o efetivo fluxo às águas que infiltram no talude e que chegam ao paramento. Para sua instalação, feita na parte posterior e convizinha, faz-se o uso do barbacã ou dreno linear contínuo, este último sendo um geocomposto.

O barbacã é produto da escavação de uma cavidade, geralmente com as dimensões de 20 x 20 x 20 cm, que é complementada com material arenoso, tendo um tubo de PVC drenante como saída, iniciando no interior do talude com inclinação descendente próxima de 5° partindo para fora do revestimento da contenção, como pode ser visualizado no detalhe da Figura 9.

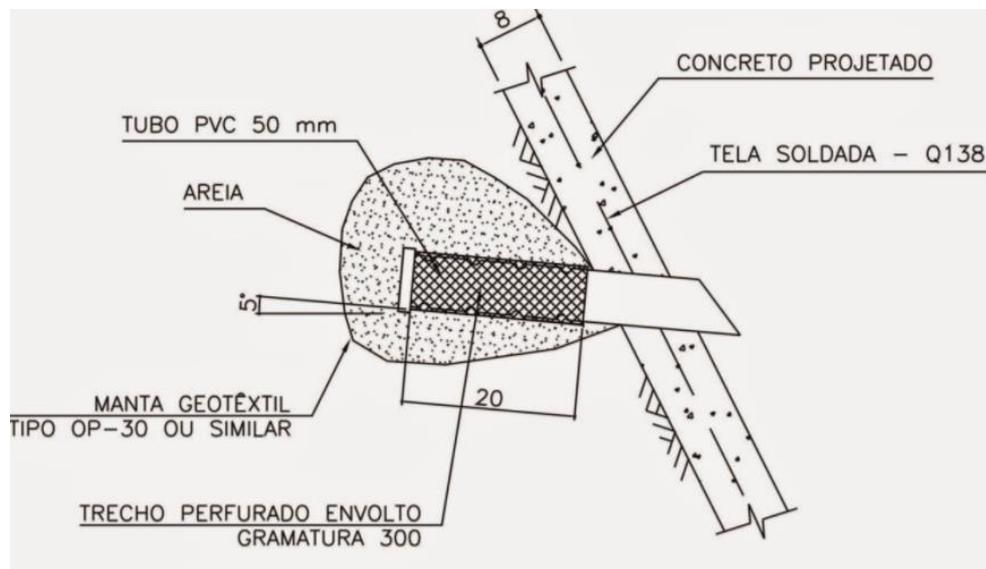


Figura 9- Detalhe de barbacã.

Fonte: FARIA (2014).

O dreno linear contínuo é resultado da instalação, numa escavação, de calha plástica drenante coberta por uma manta geotêxtil comercialmente chamada “PVD” ou “dreno fibroquímico”, instalado continuamente ao longo da direção vertical, da crista até o pé do talude, surgindo na canaleta de pé. É muito comum encontrar drenos compostos pela

associação de dois filtros geotêxteis a um núcleo rígido em georrede, ou não menos utilizada entre um geotêxtil e uma geomembrana, para evitar que seus canais sejam obstruídos pelo solo ou por alguns resíduos. A georrede por sua vez possui uma estrutura tridimensional com grande volume de vazios, propiciando grandes vazões apesar da pequena seção transversal.

Segundo PALMEIRA *et al.*(2005), para um desempenho satisfatório em um sistema filtro-drenante de um talude ou obra de contenção, um geotêxtil deve atender aos seguintes critérios:

- Critério de retenção;
- Critério de permeabilidade;
- Critério anti-colmatção;
- Critério de sobrevivência;
- Critério de durabilidade.

O critério de retenção visa a garantir que o geotêxtil irá reter as partículas de solo, evitando mecanismos de erosão interna (piping) no maciço. O critério de permeabilidade visa a garantir que o geotêxtil possua elevada permeabilidade, de modo que a água flua livremente através, ou ao longo, do seu plano, não gerando poropressões no sistema ou nas suas vizinhanças. O critério anti-colmatção visa a garantir condições para que o geotêxtil não seja colmatado. Os critérios de sobrevivência e durabilidade visam atender a condições que garantam que o geotêxtil não seja danificado durante a sua instalação e que o mesmo dure por um período não inferior à vida útil da obra.

No entanto, na literatura, muitos trabalhos relatam que reforços de geotêxteis não tecidos podem cumprir duas funções simultâneas: reforço e drenagem interna, de acordo com Fourie *et al.* Com isso, o resultado da infiltração de água da chuva em solos finos, o desenvolvimento de pressões neutras internas, pode ser eliminado ou atenuado. Assim, solos finos reforçados com geotêxteis não tecidos possuem um grande potencial de compor estruturas permanentes, resultando, inclusive em períodos chuvosos, em estruturas estáveis.

2.4 Execução de solo grampeado

Este item tem o objetivo de explicitar a forma de aplicação do concreto componente nas obras de solo grampeado, a obra mais reportada nos congressos de estabilidade de taludes e obras de contenções e por ser – também - a opção mais utilizada em João Pessoa, onde é

comum encontrar uma grande quantidade de escavações na formação barreiras, na parte mais elevada, sem presença de lençol freático. Também será fundamental para associação e entendimento da situação comumente encontrada num processo da execução da contenção, que posteriormente será abordada.

O sistema de drenagem numa contenção do tipo solo grampeado objetiva oferecer um fluxo organizado para as águas internas ou externas que a ele converge, mais comumente, nos dias atuais, fazendo o uso do já consolidado dreno linear.

Durante a execução, devem ser conferidas e ajustadas as posições dos drenos previstos na fase do projeto para assim, extrair o melhor desempenho do sistema de drenagem projetado.

O concreto projetado, aplicado no painel de solo grampeado, é o resultado da mistura de cimento, pedrisco, areia, água e aditivos, podendo ainda ser adicionados microssílica, fibras ou outros componentes ao traço, conduzidos por ar comprimido desde o equipamento de projeção até o local será aplicado, através de um mangote, há um bico de projeção, que também tem a função de acrescentar água. Esta mistura é lançada pelo ar comprimido, em grande velocidade, na superfície que se deseja moldar, vide Figura 10.

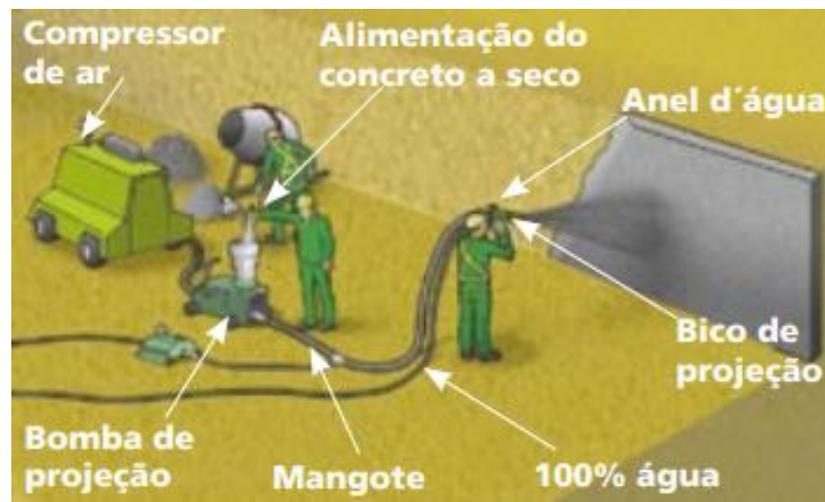


Figura 10- Representação de execução de concreto projetado.

Fonte: SOLOTRAT (2015).

As peças podem receber ferragens convencionais, telas eletrossoldadas ou fibras, conforme a necessidade do projeto, podendo ser vista na Figura 11. Existem duas maneiras de se obter o concreto projetado, que segundo a ABNT 14026/1997 são: processo por via seca, no qual somente os agregados podem se apresentar úmidos e a maior parte da água é adicionada no mangote ou no bico de projeção e processo por via úmida, no qual todos os

ingredientes, incluindo a água, são misturados antes de serem introduzidos no equipamento de projeção.

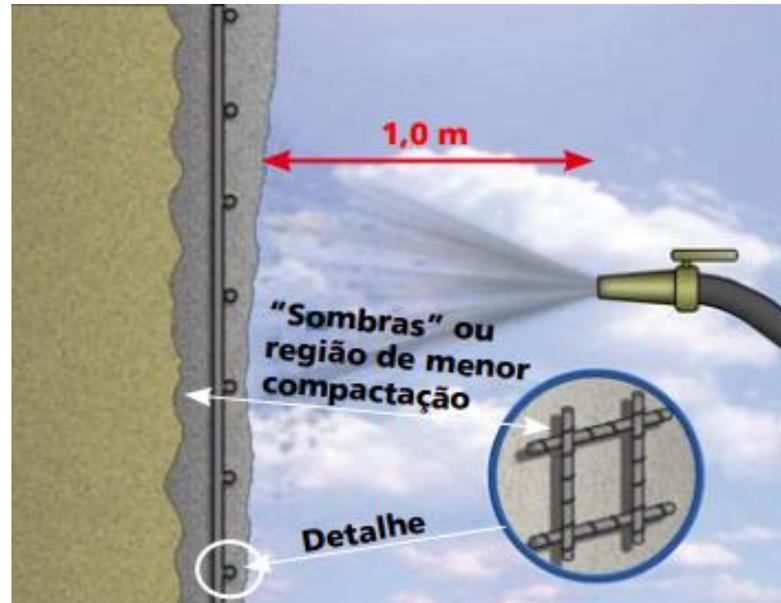


Figura 11- Detalhe de execução de concreto projetado.

Fonte: SOLOTRAT (2015).

A maneira com que se aplica o concreto é extremamente importante na qualidade do serviço. Neste trabalho, é usual ter dois especialistas: o bombeiro e o mangoteiro. O bombeiro está sempre junto à bomba de projeção, ajustando-a conforme os desgastes ocorrem e verificando a correta alimentação do volume de ar do compressor. O mangoteiro é responsável por aplicar o concreto, em movimentos contínuos, usualmente circulares, dirigidos ortogonalmente à superfície a uma distância de 1 metro e, também, por regular a água, tendo a sensibilidade para perceber oscilações características de vazão e pressão do ar.

3 CASOS DE OBRAS

Nesta secção, apresenta-se alguns casos de obras em que as causas e/ ou soluções foram dadas, respectivamente, por uma deficiência / ausência do sistema de drenagem e por uma análise e dimensionamento de um sistema de drenagem.

3.1 Estabilização de deslizamento na Itália central

Os taludes das regiões adriáticas da Itália central não são muito estáveis, devido aos solos que, em sua maioria, são argilosos e muito suscetíveis a variações de umidade. O fenômeno coloca em risco muitas cidades e aldeias, das quais possuem um valor histórico e artístico, tendo sido construídas na Idade Média em torno de fortificações ou castelos situados nos altos das serras, conforme BIANCO (1988).

Por conta das alterações antrópicas, associadas às condições hidrogeológicas, os escorregamentos aumentaram. Mas um fato interessante foi a estabilização do deslizamento de Montelupone, próximo à Ancona, onde arquivos históricos registraram este deslizamento a partir do final do século XVII, tendo como solução a implantação de túneis de drenagem para estabilização do movimento. Antecipadamente à definição da obra de estabilização, foram feitas investigações geológico-geotécnicas e implantado um sistema de monitoramento composto por inclinômetros e piezômetros, sendo possível identificar a estratigrafia e natureza do subsolo local, composto por: maciço rochoso calcário argiloso do plioceno embutido entre camadas arenosas finas, sendo mais frequente na parte superior; e do talude, que inclui um estrato silto-argiloso moderadamente grosso, onde a circulação de água subterrânea é grande; e outro estrato muito heterogêneo onde argilas moles e siltes prevalecem. O deslizamento chegou a uma profundidade de aproximadamente 30 metros prejudicando metade da cidade.

BIANCO (1988) desenvolveu que a característica geológica típica de regiões do meio-adriático são depósitos de taludes em cima de um maciço rochoso do plioceno. O regime hidrológico é alimentado por uma precipitação pluviométrica de próximo a 1000 mm/ano, e depende da baixa permeabilidade do talude argiloso e do maciço rochoso do plioceno. Estas características hidrogeológicas dão início à instabilidade geral da região.

Com o conhecimento das condições geológicas e da variação do nível do lençol - freático indicado pelos piezômetros instalados, no ano de 1980, deu-se início os trabalhos

corretivos necessários, e foi solução escolhida para estabilizar a grande massa escorregada através de um rebaixamento do lençol freático foi dada por um sistema de túnel de drenagem.

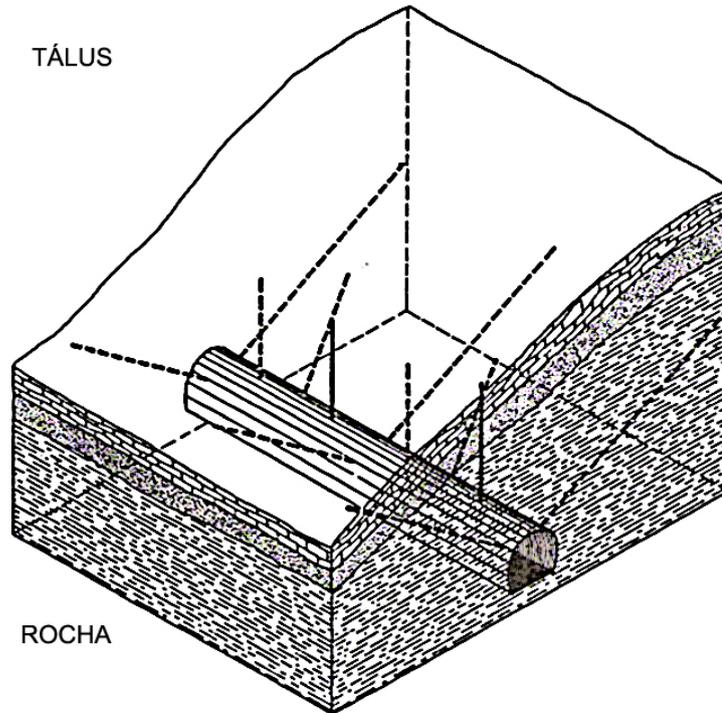


Figura 12- Volumetria de trecho de túnel

Fonte: BIANCO (1988)

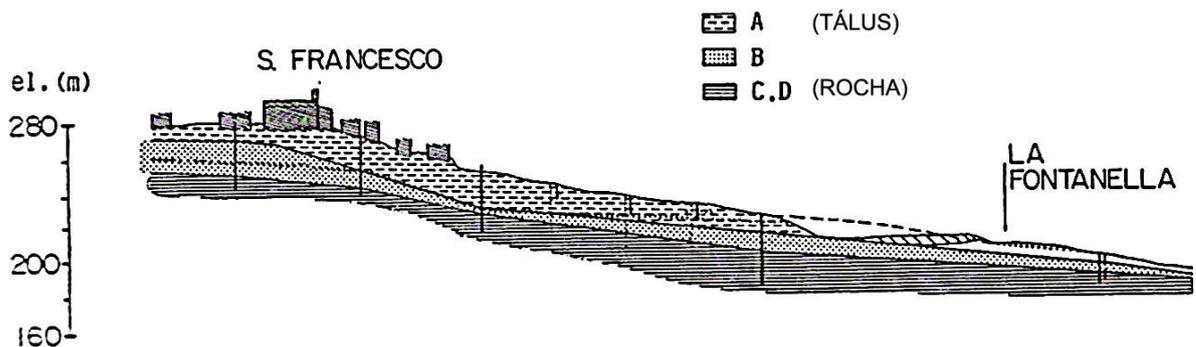


Figura 13- Corte longitudinal

Fonte: BIANCO (1988).

3.2 Utilização de túneis e galerias de drenagem para estabilização do escorregamento de massa de taludes junto à usina Henry Borden

De acordo com Yassuda (1988), as obras emergenciais de estabilização de uma significativa massa de solo e rocha que se movimentava em direção à barragem de

Tablachaca, região andina do Peru, numa encosta que tinha de 37° e 45° com a horizontal, com uma largura entre 200 e 300 m, ao longo de um desnível superior a 300 m, apresentou movimentações. Essa massa considerável era uma ameaça ao funcionamento da barragem, a qual era encarregada por aproximadamente metade da energia do Peru. Notou-se que túneis e galerias de drenagem possuem alta eficiência na estabilização de encostas, principalmente em quando as encostas são muito extensas, porém ainda são pouco utilizados. Assim, incentiva-se que a técnica seja mais empregada. Foram executadas cortinas atirantadas, berma junto ao pé do talude, drenagem superficial e dois túneis principais com galerias transversais. No arqueamento dos túneis, foram instalados drenos radiais, com comprimentos de 20 metros. Visando a complementação da drenagem dos túneis, foram executados drenos horizontais profundos a partir da superfície do talude, com comprimentos não superiores a 90 metros, sendo possível a visualização planta da região em questão na Figura 14.

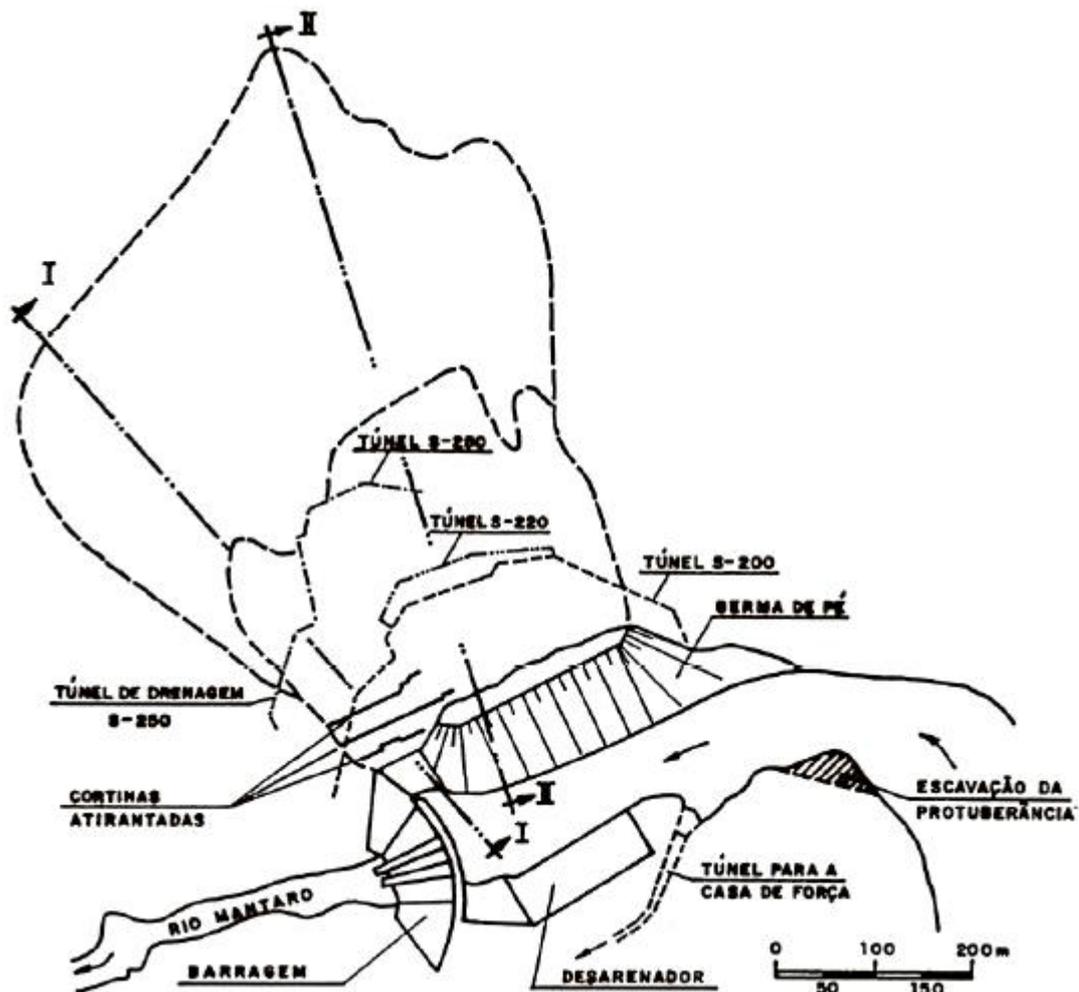


Figura 14- Planta da região

Fonte: YASSUDA (1988).

Foi executado um corte no pé da encosta, de um talude de 60% de inclinação e 40 metros de altura, durante as obras da usina, que trouxe à tona uma antiga região de escorregamento, pois a escavação sucedeu num período de alta precipitação, desencadeando assim um movimento composto-se de, aproximadamente, 500.000 m³ de material.

Através de túneis abertos em meio ao material em processo de escorregamento e furos executados com sonda rotativa, a partir do fundo das galerias, esse movimento foi integralmente controlado através de drenagem. É visto, na Figura 15, a disposição dos túneis e perfurações, e um corte geológico transversal do corpo do talude.

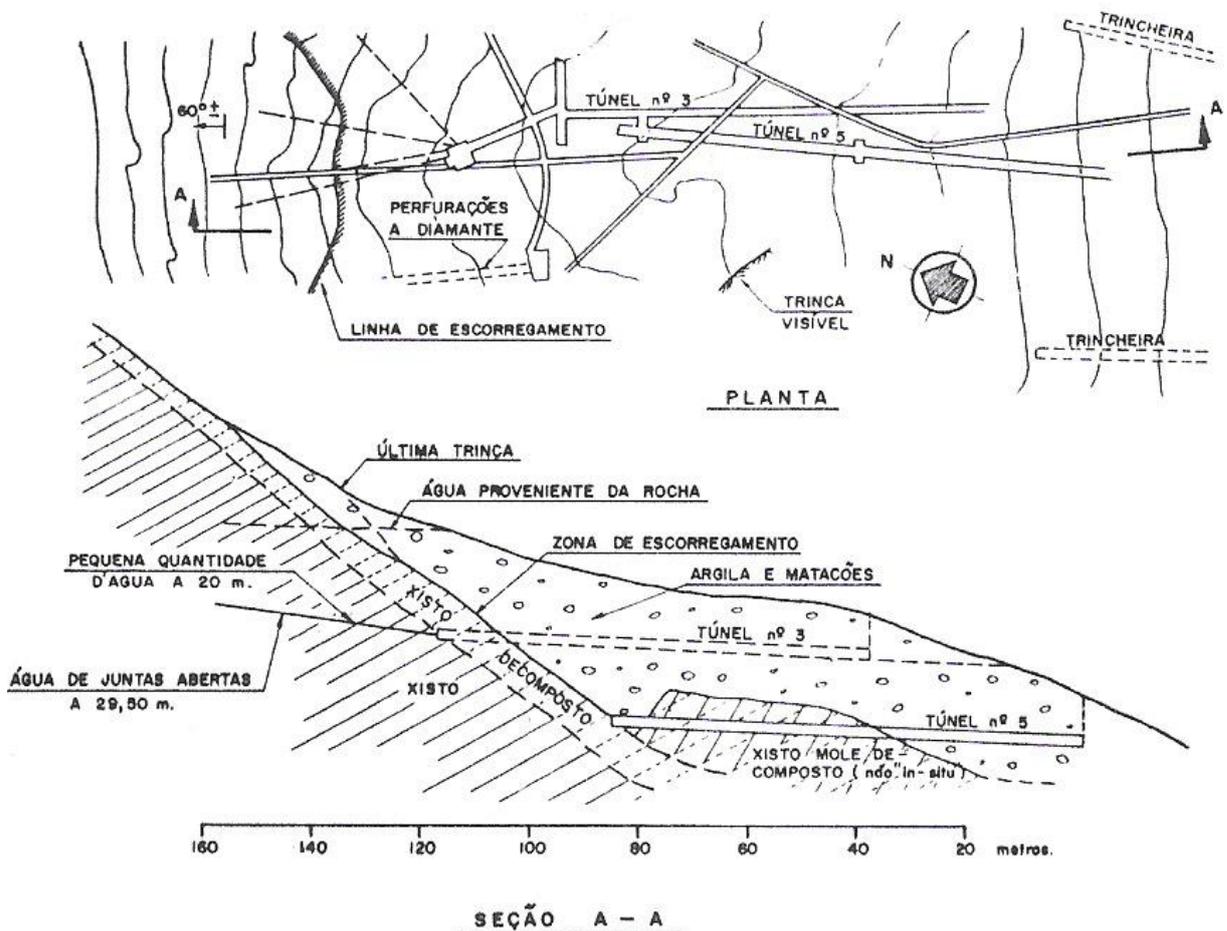


Figura 15- Posições dos túneis

Fonte: VARGAS (1996).

Alguns pontos de referência foram instalados em várias linhas horizontais e executadas sondagens para monitoramento do nível da água junto a cada um desses pontos para extrair informação quantitativa referente ao movimento de terra e os fatores que são

determinantes para sua velocidade, segundo TERZAGHI (1960). Para o mesmo, a drenagem possui uma eficiência tão grande na paralisação de movimentos deste tipo que seria necessário apenas um rebaixamento de 3 metros do lençol freático para que o movimento que anteriormente avançada na razão máxima, por dia, de 30 cm fosse praticamente eliminado, como pode-se ver na Figura 18.

Para neutralizar a infiltração de água pela superfície do talude, pois a maioria da quantidade de água que abastecia o lençol freático do talude emanava da própria rocha fissurada, foi executada uma rede de valas superficiais de drenagem e ainda uma cobertura por uma pintura asfáltica.

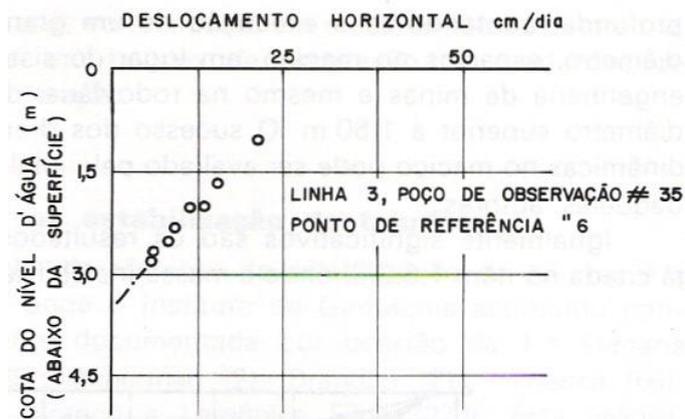


Figura 16- Diagrama mostrando a relação entre a posição do nível d'água e os deslocamentos horizontais.

Fonte: GUIDICINI e NIEBLE (1976).

3.3 Estabilização de encostas através de drenagem profunda: caso de estabilização com túnel de drenagem na Rodovia dos Imigrantes

A Rodovia dos Imigrantes, construída na década de 70, faz a ligação da cidade São Paulo com o litoral paulista, atravessando o planalto através dos municípios de São Bernardo e Diadema, cruzando a represa Billings, numa extensão de 30,5 quilômetros, até a altura da interligação com a Via Anchieta, trecho caracterizado por ter um relevo abrupto e acidentado, separando duas importantíssimas províncias geomorfológicas: Planalto Paulista e a Baixada Litorânea, de acordo com Hessing (1976). Podendo ser vista, na Figura 17, a planta da região.

No período que se estende de outubro a março, considerada como a época das chuvas, há deslizamentos naturais dos solos saturados pelas águas de infiltração, deixando cicatrizes visíveis à longa distância e arrastando a vegetação superficial. Há relatos que durante as

estações chuvosas de 1974 e 1975, ocorreram inúmeros deslizamentos nas encostas adjacentes à rodovia, causando muitos acidentes nas obras, sendo necessário: recuperação de obras danificadas, implantação de grande número de obras de proteção e estabilização de taludes e adequações nos projetos.

Segundo a Vecttor Projetos (1998 e 1999), a área do VA-19 é caracterizada por um terreno com vegetação de médio porte e presença de blocos rochosos, de morfologia suavizada, com alguns indícios de uma significativa contribuição humana para tal conformação. Esta ação pode ter sido oriunda de pequenas terraplenagens durante a construção da rodovia, em seus acessos temporários.

O nível d'água obtido pelas sondagens é bastante instável, mas mostrou-se mais elevado nos trechos com maior espessura de solo residual.

Com apoios das torres em concreto armado, o viaduto VA-19 é formado por quatro pilares, que ligados à superestrutura, formam um pórtico, apresentando uma plataforma final de aproximadamente 45 metros de extensão.

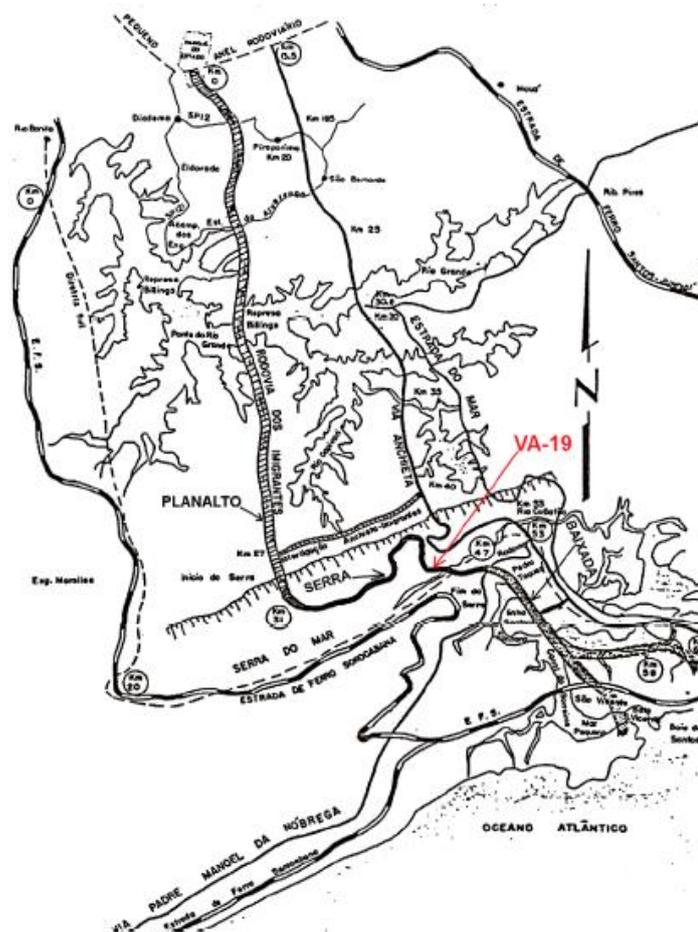


Figura 17- Planta da região

Fonte: BASTOS (2006).

Em cada torre há uma fundação que é formada por um conjunto de quatro tubulões (um para cada pilar). Foi constatada uma abertura de juntas dos tabuleiros adjacentes aos apoios, por volta da década de 80 e foram instalados inclinômetros, com até 40 metros de profundidade, piezômetros e pinos de convergência em anéis de tubulões. A escolha por instalar tais instrumentos em grandes profundidades aponta que já se sabia que os movimentos observados na encosta não estavam apenas associadas ao talude, que possui espessuras de 4 metros a 8 metros neste local, mas alcançavam maiores profundidades. Com dois tassômetros, instalados juntos aos tubulões, foi possível se ter algumas leituras, a partir de novembro de 1991. Uma possível execução de tratamento de reforço do maciço de fundação com colunas de solo-cimento, considerando as leituras destes dois tassômetros, foi proposta para a rodovia. No segundo semestre de 1993 foi instalado mais um tassômetro, tendo outras instalações seguintes. A Figura 18 mostra a leitura obtida num dos tassômetros:

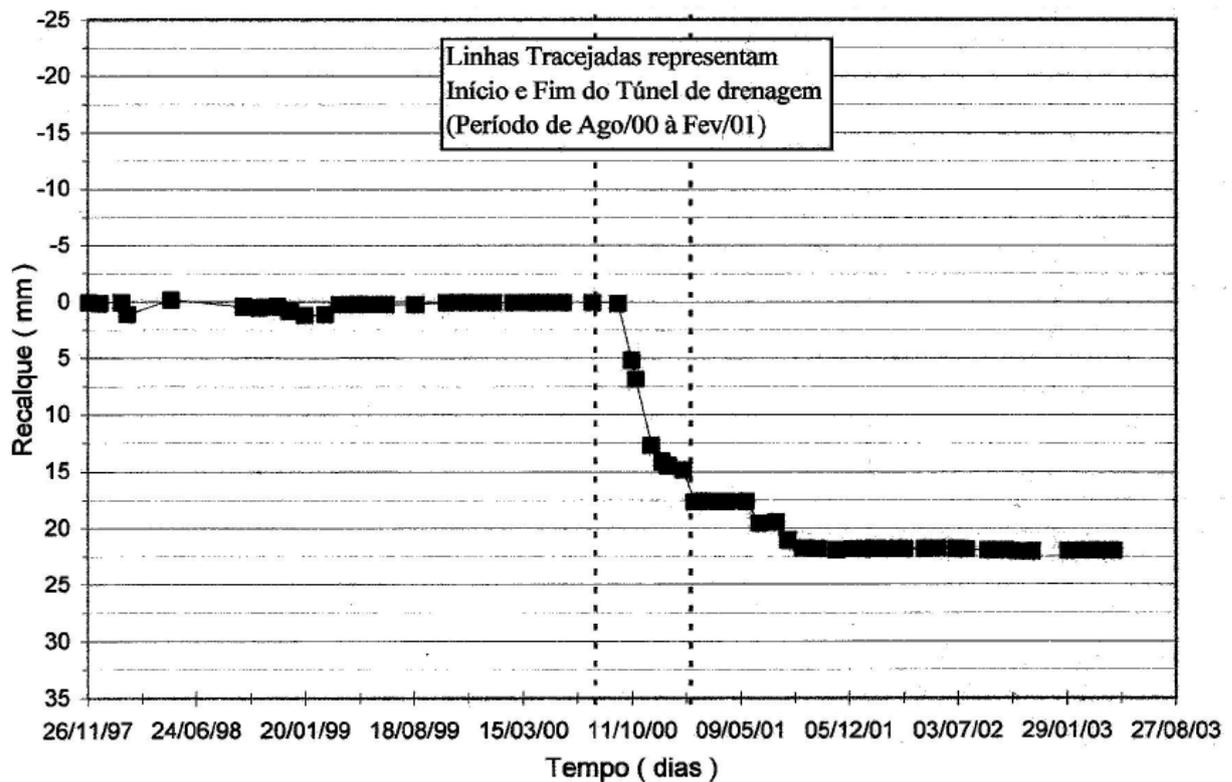


Figura 18- Leitura do tassômetro.

Fonte: BUREAU (2003).

Segundo a projetista, 55 colunas de CCP teriam sido executadas em torno de cada um dos quatro tubulões, porém estas intervenções não estabilizaram a encosta, como também não reduziram a velocidade de sua movimentação. Foram levantadas outras duas proposições de obras de estabilização, apresentadas pela projetista, mas que não chegaram a serem

executadas. Uma proposta seria a execução de duas extensas faixas de tratamento do maciço com colunas de CCP, e a outra seria prevê um sistema de galerias subterrâneas de drenagem constituídas por cerca de 280 m com dimensões da ordem de 3,50 x 3,50 m, com drenos perfurados a partir do seu interior. Com a concessionária ECOVIAS a frente da concessão da rodovia, em 1999, foram realizados estudos intensos e novos inclinômetros, medidores de nível d'água, clinômetros e pinos de recalque foram instalados. Interpretando os dados da instrumentação foi possível observar uma movimentação lenta e profunda do maciço, muito abaixo da camada superficial do talude, vide Figura 19.

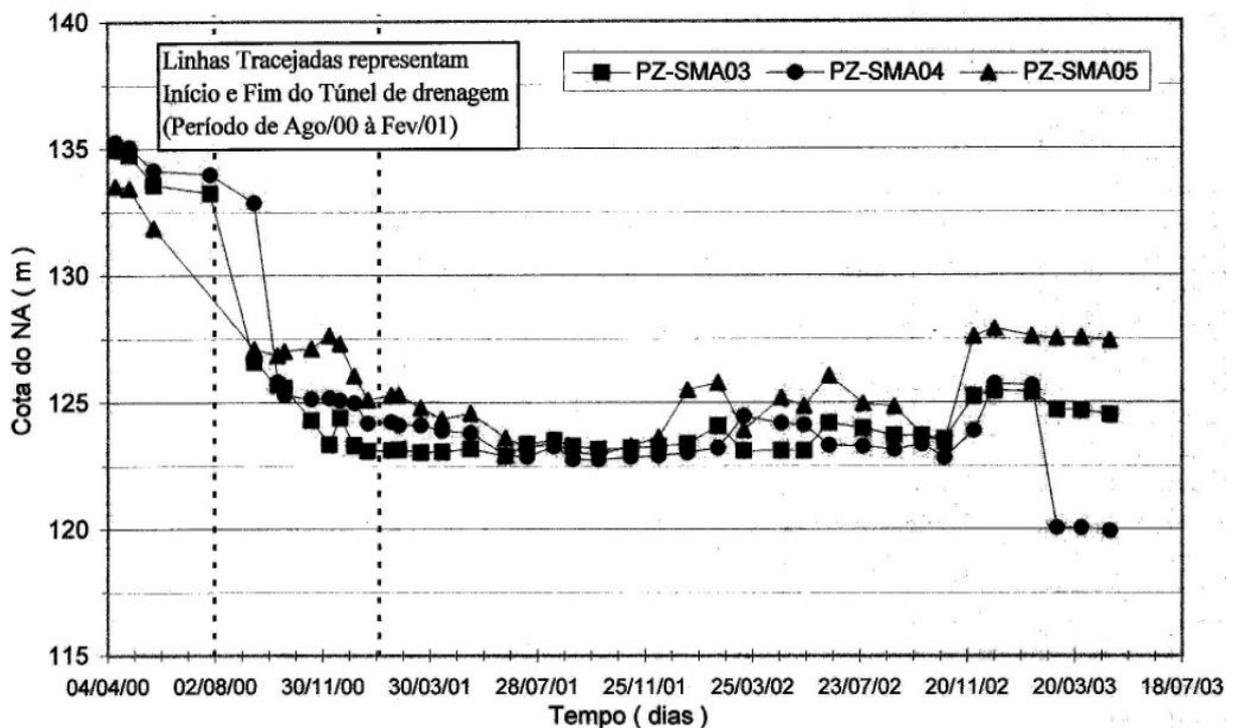


Figura 19– Leitura dos piezômetros.

Fonte: BUREAU (2003).

Soluções estruturais como reforços, CCP, estacas, entre outras, ou até atirantamento foram desconsideradas para promover a estabilização definitiva do maciço, com base nos estudos feitos e na caracterização da movimentação da encosta, já que, por conta dos enormes esforços e a da considerável profundidade da massa a ser estabilizada, soluções como essas seriam impraticáveis.

As grandes massas de solo e rocha em condições semelhantes às encontradas nesta rodovia, só poderiam ser estabilizadas, de forma segura, por meio de dois tipos de soluções: executando grandes obras de retaludamento ou instalando um sistema de drenagem profunda.

Levando em consideração as características topográficas, geológicas e de cobertura vegetal existente, a primeira solução seria totalmente inviável, podendo ocasionar danos ambientais de grande repercussão e permanentes. Com isso, a única intervenção viável e eficiente para estabilizar a encosta foi implantar um robusto sistema de drenagem profunda, capaz de rebaixar o N.A em vários metros, em toda a área próxima aos apoios.

Duas alternativas de projeto foram levantadas: uma por poços de grande diâmetro interligados, e outra por túnel de drenagem. Uma grande quantidade de drenos perfurados a partir do túnel ou dos poços, sendo a água recolhida escoada por gravidade ate cotas inferiores da encosta, faria a drenagem propriamente dita do maciço, nas duas alternativas.

Com fundamento nos custos, análise dos aspectos técnicos e de impacto ambiental entre as duas opções, a alternativa em túnel de drenagem foi escolhida. Desenvolvido pelo Escritório Técnico Figueiredo Ferraz, o projeto original do túnel de drenagem, que pode ser visto na Figura 20, era baseado na execução de um túnel ramificado com 3,8 m de diâmetro e 280 m de extensão. O túnel consiste num trecho principal de 130 metros, referente aos túneis 1 e 2, e duas ramificações: a primeira à direita, leste, com cerca de 100 metros, identificado como túnel 3, e a segunda à esquerda, oeste, com cerca de 50 metros, sendo o túnel 4. Tendo em vista a necessidade da movimentação de equipamentos de escavação, em cada ramificação foi escavada uma câmara de maior diâmetro, com cerca de 4,20 metros, sendo o suficiente para operação e manobra das máquinas.

Com a permissão da ECOVIAS, a empresa responsável pela execução da obra, resolveu fazer uma redução do diâmetro do túnel para 3,40 metros, em função da utilização de equipamentos de perfuração capazes de operar em túnel desse diâmetro. O túnel é composto por cinco drenos dispostos radialmente no teto, vide Figura 21, com comprimento de 15 metros cada, a cada 10 metros (longitudinalmente).

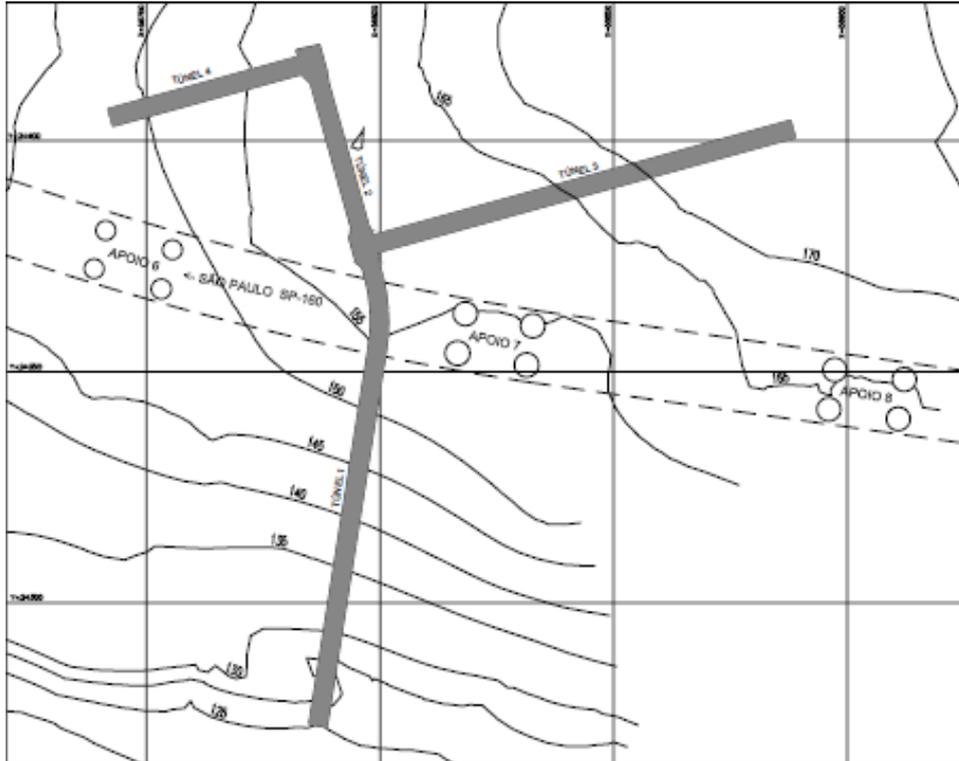


Figura 20- Planta do túnel de drenagem.

Fonte: VECTTOR PROJETOS (2000).

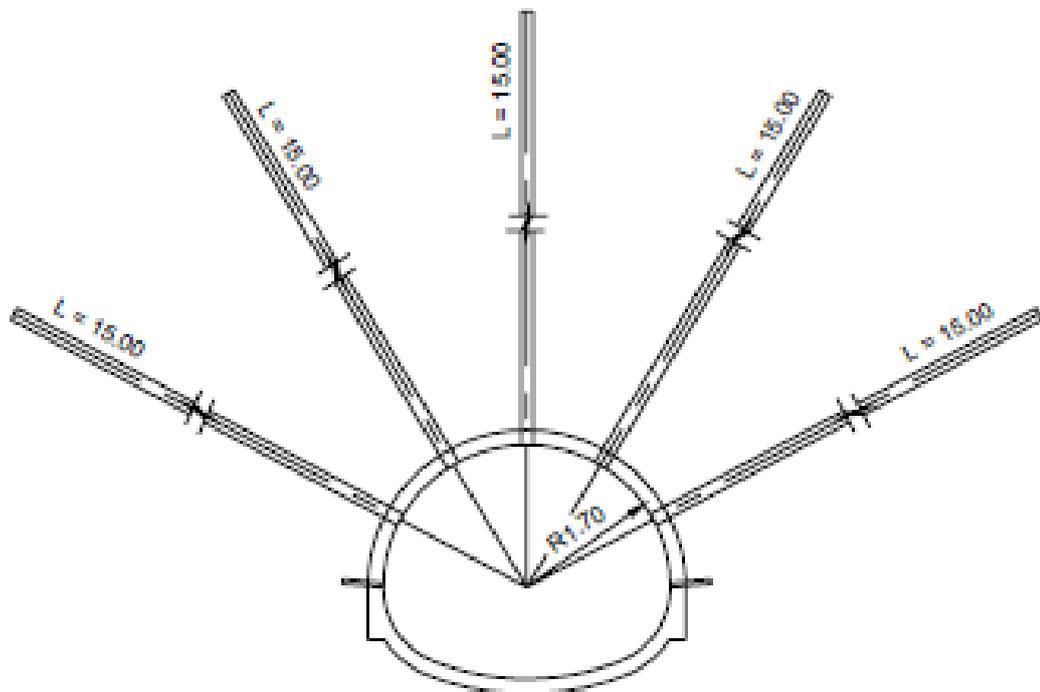


Figura 21- Corte da seção transversal da galeria

Fonte: A. H. TEXEIRA CONSULTORIA E PROJETOS (2000)

3.4 Caso de ruptura de talude associada a problemas de drenagem superficial

Observam-se ocorrências de rupturas de taludes, geralmente deflagradas por conta do aumento do teor de umidade dos solos, nos períodos do ano de maior pluviosidade, fato que se aplica em diversos locais do Brasil, cuja consequência predominante em muitos tipos de solos é o decréscimo da parcela de resistência ao cisalhamento proporcionada pela sucção.

Independentemente de muitas das ocorrências estarem associadas, também, a locais cujas execuções dos taludes foram feitas com inclinações incorretas ou até mesmo que as medidas para evitar a ação da água não tenham sido tomadas, cada vez mais, tem-se casos registrados indicando que as rupturas em locais onde, ao que tudo indica, foram consideradas e tomadas as precauções em referência à proteção dos taludes e à inclinação. havendo a suspeita de que a origem de muitos deles possam estar vinculados a deficiências no sistema de drenagem do talude.

Foi desenvolvida uma pesquisa que compreendeu a coleta de informações no local do evento, um talude localizado na rodovia MG-353, no bairro Quintas das Avenidas em Juiz de Fora - MG, que apresentou ruptura após um período chuvoso, e feita a realização de ensaios de laboratório com os solos provenientes desses locais e a execução de análises de estabilidade de taludes. Na seção transversal do talude, do ponto médio da cunha de ruptura, é possível notar que a parte superior do mesmo é constituída por uma camada de latossolo vermelho amarelo (Solo A) de espessura aproximada de 1,20 metros localizada acima de uma camada de solo saprolítico de coloração rósea claro (Solo B), vide Na Figura 22.

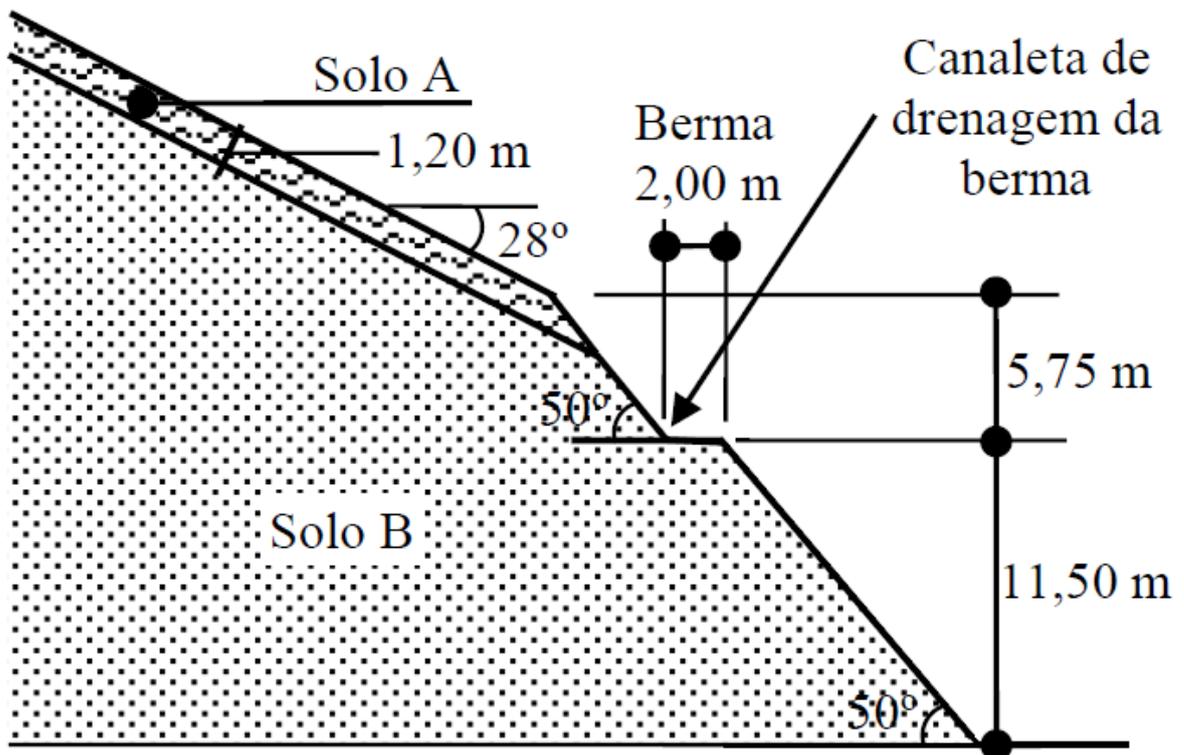


Figura 22 - Seção transversal do talude

Fonte: FERRAZ et al. (2017).

O rompimento do talude se deu na parcela inferior do talude, abaixo da berma, e teve como agentes preponderantes alguns problemas na canaleta de drenagem. Um fato alarmante foi percebido, que as obras referentes aos sistemas de revegetação vegetal e drenagem não haviam sido executadas em suas totalidades, dando força para que a principal suspeita do motivo da ruptura tenha sido a infiltração de água pela base da canaleta de drenagem da berma, tendenciada pela síntese de alguns fatores, como: desenvolvimento de um “reservatório de água” dentro da canaleta e, também, a ausência de revestimento no fundo da mesma, no trecho onde aconteceu a ruptura, como é possível a visualização na Figura 23.

Com isso, a formação da cunha de ruptura observada no talude através da infiltração de água proporcionou uma elevação acentuada do teor de umidade do solo, principalmente no volume de solo adjacente à canaleta inacabada.

Apesar da principal causa desta ocorrência ter sido o não acabamento da execução do sistema de drenagem superficial do talude, são observados outros problemas localizados em pontos onde aparentemente esta foi corretamente implantado.



Figura 23- Vista do fundo da canaleta de drenagem, onde houve a infiltração da água que deu origem a ruptura.

Fonte: FERRAZ et al. (2017).

Com relação a esses casos, os levantamentos de campo tem mostrado que, em muitas das ocorrências, a fundamental causa do desencadeamento destes problemas está ligada com a não execução dos serviços de manutenção dos sistemas de drenagem, para que, com isso, possam mantê-los intactos, desobstruídos e operantes. Na Figura 24 é possível a visualização de um dos locais que tem apresentado problemas, onde o local a vegetação havia invadido e tomado toda a canaleta.



Figura 24- Canaleta sem manutenção, coberta pela vegetação

Fonte: FERRAZ et al. (2017).

4 EXPERIMENTOS DESENVOLVIDOS

4.1 Caracterização

Analogamente ao estudo comparativo descrito anteriormente, realizado pela SOLOTRAT, foi comparado a capacidade de drenagem entre um tubo PVC perfurado, um tubo PVC ranhurado e um geocomposto drenante (também chamado de dreno linear), esse último já consolidado e amplamente utilizado em drenagens nas estruturas de contenção do tipo solo grampeado, totalizando três opções para composição de um sistema de drenagem.

Diferentemente à observação feita em estudos prévios, esses dispositivos de drenagem foram dispostos na vertical, simulando uma aplicação num painel de solo grampeado, por exemplo. Os drenos, perfurado e ranhurado, vide Figura 25, resultam da instalação de tubos plásticos de PVC rígido com diâmetro de 50 mm.



Figura 25- Tubos de PVC utilizado como drenos, confeccionados: perfurado à esquerda e ranhurado à direita.

Fonte: Produção do autor

Estes tubos, além de tampados no topo para evitar a contribuição direta, também receberam um recobrimento por manta / tela geotêxtil. O dreno perfurado resulta de se executar perfurações de 6,0 mm diametralmente opostas a cada 60 milímetros, duas a duas ortogonais. Também são cobertos por duas camadas de tela de nylon, malha 30, visto na Figura 26.



Figura 26- Recobrimento dos drenos com tela.

Fonte: Produção do autor

Para um comprimento de 45 cm tem-se uma área perfurada de 4,24 cm². O dreno ranhurado resulta da execução de rasgos de 0,4 mm com 35 mm de extensão a cada 17,5 mm, envolvido da mesma forma que o dreno perfurado, com duas camadas de tela de nylon, em 45 cm de extensão, tendo uma área perfurada de 3,53 cm².

O geocomposto drenante é um sistema de drenagem planar. É feito por adesão termal um núcleo de drenagem tri-dimensional de mono-filamentos extrudidos entre dois geotêxteis não tecidos que também podem trabalhar nas funções de separação ou proteção camadas. O núcleo de drenagem de tridimensional do tapete tem uma configuração de “W” de canais paralelos longitudinais. Como no experimento, se tratando de uma simulação e tendo o espaço de trabalho reduzido, não foi instalado o coletor, já que na saída dos dispositivos estavam os recipientes para leitura do volume drenado.

Esse geossintético é considerado a evolução tecnológica dos drenos tradicionais, onde combina-se um núcleo altamente drenante (que substitui a brita), para permitir o rápido escoamento da água com um filtro (que substitui o geotêxtil) para inibir a passagem do solo permitindo a passagem da água, conforme pode ser visto na Figura 27, sendo ambos fabricados com material sintético.

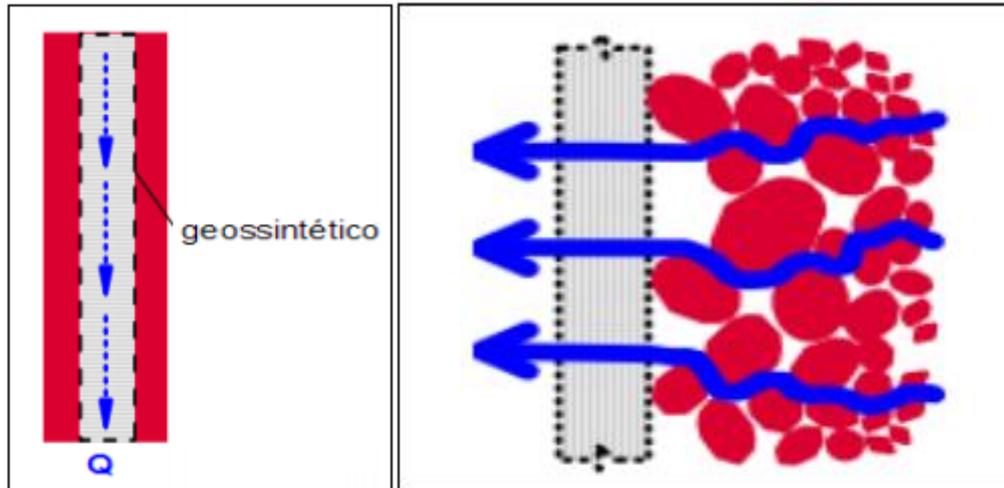


Figura 27- Esquema de escoamento de geotêxtil

Fonte: COSTA *et al.* (2015)

A grande vantagem é ter um só produto com os benefícios dos dois sistemas. Além disso, são usados para aplicações não só de drenagem, mas filtração, separação, proteção, reforço, controle de erosão, entre outras.

Mas apesar do geotêxtil funcionar como um filtro que impede que as partículas de solo adentrem ao núcleo, e, conseqüentemente, impedindo perda da eficácia do dreno pelo entupimento do sistema, o mesmo não é válido ou garantido para camadas de concreto que possam se aglomerar na superfície do geotêxtil, ocasionando uma redução significativa na eficácia do dreno.



Figura 28 - Geocomposto drenante utilizado

Fonte : Elaborada pelo autor.

O geocomposto é leve e flexível para drenagem, cujo núcleo drenante é constituído por uma geomanta tridimensional com espessuras de 10 ou 18 mm. Esta geomanta é fabricada a partir de filamentos de polipropileno ou poliamida (nylon), tendo índice de vazios em torno de 95%.

Como visto, anteriormente, na revisão bibliográfica, na execução de certas contenções de taludes, como exemplo o solo grampeado, se faz uso de concreto projetado, com a aplicação *in loco*, fazendo muitas vezes com que os dispositivos de drenagem fiquem obstruídos e percam sua capacidade de captação, tornando-o um dreno “cego”, como assim é chamado. Visando uma simulação do que é comum ocorrer em campo, foi projetada uma camada de argamassa, no traço 1:1 em volume, numa das faces do dreno linear, assim comprometendo uma parcela de sua captação, conforme Figura 29 e Figura 30. Em sua instalação no tonel, o dreno foi disposto com a face projetada em comum à parede do tonel, análogo à situação encontrada em obra.



Figura 29- Geocomposto drenante com uma face obstruída por argamassa

Fonte: Produção do autor



Figura 30- Gecomposto drenante com duas faces obstruída por argamassa

Fonte: Produção do autor

4.2 Instalação e Execução

O tonel foi preenchido com material natural extraído de terreno, vide Figura 31, no qual estava se executando uma obra de contenção do tipo solo grampeado.



Figura 31- Amostra de material utilizado em experimento

Fonte: Produção do autor

Observa-se que, para não favorecer a captação de algum dos drenos, o tonel foi dividido de forma igual para todos, resultando em aberturas feitas espaçadas em 120° , de eixo a eixo, podendo ser visto na Figura 32.

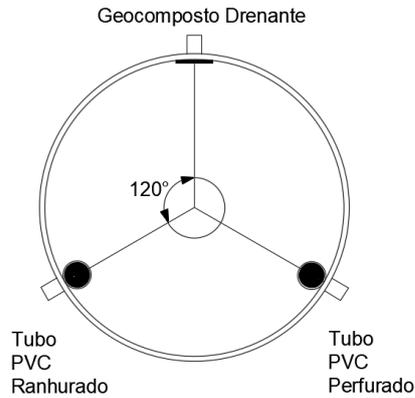


Figura 32- Vista superior da configuração de espaçamento dos drenos.

Fonte: Produção do autor

O preenchimento com solo foi feito em camadas, compactando a cada 10 cm, procurando-se aproximar ao estado do solo quando coletado e assentando o mesmo, Figura 33(a), atingindo uma altura de 56 cm com relação ao fundo do tonel, possível para encobrir os drenos, como é possível visualizar na Figura 33(b).



Figura 33- (a) Preenchimento parcial do tonel. (b) Cobrimento total dos drenos com solo.

Fonte: Produção do autor

Passada esta etapa, foi adicionada a água, chegando a uma altura entre solo e lâmina d'água de 20 cm, vide Figura 34, resultando num volume de, aproximadamente, 50 litros. É importante ressaltar que tal volume foi acrescentado no centro do tonel, evitando, assim também, que a captação fosse tendenciada para algum dreno. Outro cuidado, devidamente considerado, foi com relação à forma e vazão que a água foi inserida, tal que não houvesse remoção de parte do solo devido à intensidade, no local de despejo.

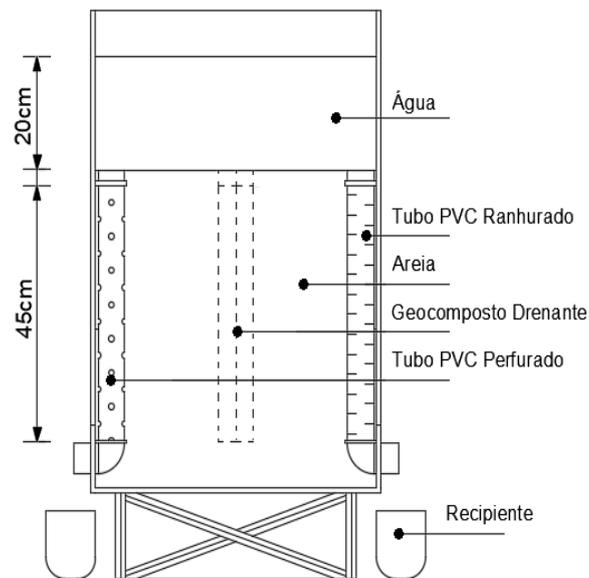


Figura 34- Representação de corte lateral no tonel, mostrando configuração vertical dos drenos.

Fonte: Produção do autor

Na Figura 35, pode-se ver que para recolhimento e aferição dos volumes drenados em cada dispositivos, foram colocados recipientes graduados, nos quais eram feitas as leituras de até 500 ml.



Figura 35- Recipientes dispostos na saída de cada dispositivo.

Fonte: Produção do autor

5 RESULTADOS

Após a realização de todos os procedimentos descritos nos itens anteriores, foi quantificado o volume captado em cada dreno, vide Tabela 1. Nota-se que do volume inicialmente inserido no tonel, aproximadamente, 29,8 litros foram absorvidos pelo solo, anteriormente seco.

Tabela 1- Volume drenado em cada dispositivo.

Fonte: Produção do autor

Dreno	Volume Drenado (1)
Tubo PVC Ranhurado	4,125
Tubo PVC Perfurado	6,850
Geocomposto Drenante	9,200

Em outro momento, desta vez simulando a camada de concreto projetado numa das faces, foi quantificado o volume captado em cada dreno. Do volume inicialmente inserido no tonel, aproximadamente, 30,6 litros foram absorvidos pelo solo, como pode-se observar na Tabela 2.

Tabela 2- Volume drenado em cada dispositivo, com geocomposto drenante obstruído numa das faces.

Fonte: Produção do autor

Dreno	Volume Drenado (1)
Tubo PVC Ranhurado	3,900
Tubo PVC Perfurado	7,300
Geocomposto Drenante	8,400

Aplicando-se argamassa nas duas faces, buscando a simulação da pior situação provável, o volume inicialmente inserido no tonel, aproximadamente, 34,3 litros foram absorvidos pelo solo. Percebe-se, através da Tabela 3, uma queda de desempenho do dreno ranhurado, quando comparado com comportamentos anteriores.

Tabela 3- Volume drenado em cada dispositivo, com geocomposto drenante obstruído nas duas faces.

Fonte: Produção do autor

Dreno	Volume Drenado (1)
Tubo PVC Ranhurado	0,430
Tubo PVC Perfurado	7,500
Geocomposto Drenante	8,100

Observando os dados e o fluxo drenado no terceiro experimento, o dreno linear, novamente, teve o melhor desempenho, porém menor com relação as outras situações, perdendo cerca de 12% de sua capacidade total.

6 CONCLUSÃO

De acordo com a proposta inicial do trabalho, o levantamento dos sistemas de drenagem foi fundamental para diferenciar as aplicações dos diferentes métodos atentando para as peculiaridades de cada sistema.

Com isso, é possível concluir que em vários casos, nos quais foram adotados as soluções de estabilização através de sistemas de drenagem, foram extraídas boas respostas e obtidos excelentes desempenhos, mesmo nas situações em que estavam em questão diferentes países, com diferentes configurações de solo, entre outras distinções.

Portanto, é imprescindível dar a merecida atenção para os sistemas de drenagem, pois, dependendo da situação abordada, dimensões das massas de solo a serem estabilizadas, e do nível de instabilidade já alcançado, esses sistemas não mais serão considerados “complementares” numa obra de contenção de talude, mas passarão a ocupar a posição de principais responsáveis pela estabilização da massa de solo.

Com relação aos experimentos, o primeiro mostrou que o geocomposto drenante levou vantagem quando comparado entre os três drenos, com diferença bastante expressiva de volume captado comparado com os outros dispositivos, tubos PVC (ranhurado e perfurado), chegando a sozinho captar 45,6 % do volume total despejado, tendo uma eficiência maior que o dobro do PVC ranhurado e 34% a mais que o PVC perfurado.

Feita a simulação, obstruindo uma face do geocomposto drenante com uma camada de argamassa, o geocomposto drenante ainda permaneceu em vantagem quando comparado com os outros dois drenos, com diferença, desta vez, não tanto expressiva de volume captado comparado com os outros dispositivos, tubos PVC (ranhurado e perfurado). A contribuição do PVC perfurado ainda permaneceu superior ao dreno ranhurado, esse apresentando uma queda no desempenho.

No terceiro experimento, observou-se um desempenho anormal do tubo PVC ranhurado, no qual teve, num dado momento, parte de suas aberturas obstruídas, provavelmente devido a espessura e granulometria do material próximo ao dreno, apresentando um baixo volume drenado. Isto alerta a necessidade de outros experimentos, visando a otimização da espessura dos rasgos, como a alteração do espaçamento, procurando um melhor desempenho.

O geocomposto drenante teve excelente desempenho sob todas as condições impostas nos experimentos, porém vale ressaltar que seu material tem elevado coeficiente de permeabilidade.

O desenvolvimento do experimento forneceu dados que permitiram quantificar e comparar a eficiência dos drenos. As análises ficaram restritas aos três drenos, deixando como sugestão para um trabalho futuro o desenvolvimento de experimentos comparando a eficiência de outros tipos de dispositivos, variando os espaçamentos dos rasgos.

Com relação à espessura da camada aplicada na simulação de concreto projetado, em muitos casos, em obras de solo grampeado, é comum observar o dreno linear totalmente envolvido, chegando a uma situação de não drenar. Com isso, fica a sugestão de uma verificação quanto ao comportamento da água infiltrada com a camada, conferindo se há o aparecimento de fissuras na camada, possivelmente desenvolvidas no manuseio e instalação da configuração do tonel.

REFERÊNCIAS

A. H. TEIXEIRA CONSULTORIA E PROJETOS – Projeto executivo de drenagem profunda, pista ascendente, seções típicas dos túneis T-1, T-2, T-3 E T-4, definições geométricas e detalhes. Rev. 1, São Paulo. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 11682 (2009):
“Estabilidade de taludes”, Rio de Janeiro, Brasil. 2009.

AU, S. W. C. Rain- induced slope instability in Hong Kong. Engineering Geology, Hong Kong . 1998. v. 51, pp. 1-36.

BASTOS, I.G., WOLLE, C.M. e FUTAI, M.M. Estabilização de Encostas Através de Drenagem Profunda. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Goiânia, GO, Brasil. 2014.

BIANCO, B. Landslide stabilization by means of drainage tunnels in central Italy. ISL, 5°, Balkema, Rotterdam, 1988. v. 2, p. 857-862.

BOUÇA, J. M. O. N.; RIBEIRO, J. T. A. P. Drenagem e Impermeabilização. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto - Porto, Portugal. Disponível em: <
http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano5/seminario/trabalhos/RRF___DESACTIVADO_POR_ALVARO_AZEVEDO/Trabalho/Solucoes/Terreno/Dren%20e%20Imper/electro_anim/ex_electr oosmose.htm >. Acesso em: 19 out. 2017.

BUREAU DE PROJETOS E CONSULTORIA (2003) – Relatório técnico de instrumentação das rodovias e pistas do sistema Anchieta / Imigrantes – São Paulo.

CARVALHO, P. A. S. de Manual de geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo: Departamento de Estradas e Rodagens do Estado de São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológicas, 1991. 388 p. (Publicação IPT; n.1843).

CONCRETE CANVAS BRASIL (2012). Manta de concreto flexível. Disponível em: <<http://concretecanvas.com.br/>> . Acesso em: 08 out. 2017.

COSTA, A. H.; LOPES, G. A.; SOUSA, L. B.; PIMENTEL, L. A. S.; ARÊDES, P. H. A. Versatilidade dos geossintéticos aplicada à engenharia. XII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 2015. Resende, Rio de Janeiro, Brasil.

COUTINHO, R. Q.; EHRLICH, M.; SEVERO, R. N . F.; SOUZA NETO, D. P. Estabilização de um Talude de Aterro com Tirantes e Drenagem Sub-Horizontal Profunda. VII COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – Florinaópolis, SC. 2017.

CUNHA, M.A.; FARAH, F.; CERRI, L. E. S; GOMES, L. A.; GALVÊS, M.L.; BITAR, O. Y.; AUGUSTO FILHO, O.; SILVA, W.S. Ocupação de encostas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo. 1991.

DER / PR (DG/AP) 06/05. Drenagem: Drenos Longitudinais Profundos. Curitiba, Paraná. 2005.

DNIT. Manual de Drenagem de Rodovias. – 2. Ed. – Rio de Janeiro. 2006.

DNIT. Álbum de projetos – Tipo de dispositivos de drenagem. – 2. Ed. – Rio de Janeiro. 2006.

DUTRA, V. A. S.. Projeto de Estabilização de Taludes e Estruturas de Contenção Englobando Dimensionamento Geotécnico e Estrutural. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013.

FARIA, J. H. S. Projetos e Execuções do arquiteto e urbanista e professor da Escola Técnica Estadual Henrique Lage – Niterói, RJ, 2014. Disponível em: <<http://2classicarquitetura.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 17 nov.2017.

FERNANDES, L.R.P.T. A influência da infiltração das chuvas na estabilidade de um talude natural. Recife, 2014. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UFPE, Recife-PE.

FERRAZ, R. L.; SANTOS, I. G.; PAIM, M. A. M. Caso de Ruptura de Um Talude Associada a Problemas no Sistema de Drenagem Superficial. VII COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – Florinaópolis, SC. 2017.

GERSCOVICH, D. M. S. Estruturas de Contenção – Muros de Arrimo. Desenvolvimento de material didático ou instrucional. Recife –Faculdade de Engenharia – Departamento de Estruturas e Fundações - UERJ, 2010. Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/muros.pdf>>. Acesso em: 01 nov.2017.

GOURC, J. P; PALMEIRA, E. M. Geossintéticos em drenagem e filtragem. IGS Portugal. Disponível em: <<http://www.spgeotecnia.pt/upload/docs/Documentos%20IGS/FOLHETOS/Geossinteticos%20em%20Drenagem%20e%20Filtragem.pdf>>. Acesso em: 10 nov.2017.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. – Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo, 1976. Edgard Blucher, p.36,37,168,169-170.

LACERDA, W.A., SANDRONI, S.S. Movimento de Massas Coluviais, Simpósio de Encostas do Clube de Engenharia - ABMS, Rio de Janeiro. 1985.

LINHARES, R. M.. Análise de estabilidade de taludes em solo residual. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

MARANGON, M. Apostila de Estabilidade de Taludes. Desenvolvimento de material didático ou instrucional. Juiz de Fora. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra - UFJF, 2009. Disponível em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid04EstabilidadeTaludes01.pdf>. Acesso em: 01 nov.2017.

MARQUES, A. S; LIMA, J. P.; SOUSA, J.; SIMÕES, N. E.; PINA; R. (2013). Hidrologia urbana – Sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas. Lisboa.

MC ENGENHARIA – MacDrain drenagem. Disponível em: <<http://mcengenhariabrasil.com.br/servicos-macdrain.php>>. Acesso em: 25 out. 2017.

NARESI JUNIOR L. A. Material de fundações pesadas e geotecnia. Juiz de Fora. 2010. Disponível em:

<<https://sites.google.com/site/naresi1968/naresi/37-drenos-verticais-de-areia-e-fibroquimicos>>. Acesso em: 10 nov.2017.

PALMEIRA, E.M.; GARDONI, M.G.; LUIZ, D.W.B.. Alguns aspectos ligados ao comportamento de sistemas filtro-drenantes sintéticos em obras de estabilização de encostas. IV COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – Salvador, BA. 2005.

SANTOS JUNIOR, P.; OLIVEIRA, E. V.; FERRETTI, P. C. B. (2014). Obras de Drenagem Subsuperficial da Rodovia PA – 287. IGS Brasil – Associação Brasileira de Geossintéticos.

RAMALHO, M.; POLISZUK, G.; GARCIA, F. (2012). Concurso IGS BR de Casos de Obras.

ROCHA, E. G. A.; JABÔR, M. A.; MATTOS, N. J. R. Drenagem Superficial: Aspectos Hidráulicos versus aspectos de segurança. 44ª Reunião Anual de Pavimentação. 18º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Foz do Iguaçu, Paraná. 2015.

SANTOS, I. G.; LACERDA, W. A.; LOPES, F. R.; EHRLICH, M. Contribuição ao Estudo de Contenções por Cortinas Ancoradas Envolvendo Colúvios. XVII COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – Goiânia, GO. 2014.

SOARES, F. L.; RAMOS FILHO, G. M. Correlações entre movimentos de massa e pluviosidade nas encostas de João Pessoa – PB. IV COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – Salvador, BA. 2005.

SOLOTROT ENGENHARIA GEOTÉCNICA LTDA. (2015). Manual de Serviços Geotécnicos – 5ª Edição. Disponível em : <www.solotrat.com.br> . Acesso em 01/07/2017.

SOUZA, G. J. T.; PITTATA, C. A.; ZIRLIS, A. C. Solo grampeado – aspectos executivos do chumbador. IV COBRAE – Conferência Brasileira sobre estabilidade de encostas. Salvador-BA, 2005. p.835-844.

TERZAGHI, K. (1960) – From theory to practice in soil mechanics. John Wiley & Sons, p. 241-243.

VARGAS, M. Estabilização de taludes em encostas de gnaisses decompostos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, 3º, Belo Horizonte. 1966. Anais, ABMS, v. 1, tema 6, p. 34-37.

VICTORINO, M. M. Influência da chuva nas poropressões e estabilidade dos taludes rodoviários de um trecho da BR 376 na Serra do Mar paranaense/ Mariana Meza Victorino. – Curitiba, 2015.

WOLLE, C. M.; MELLO, L. G. S.; RIBEIRO, A. V.; MORI, M.; YASSUDA, A. Stabilization of deep seated movement in a Sprolitic Massif supporting a highway viaduct. ISL, 9º, Rio de Janeiro. 2004. v. 2, p. 1305-1312.

YASSUDA, C. T. Aspectos gerais de estabilização de encosta Andina em Tablachaca – Encontro Técnico: Estabilidade de encostas, ABMS, São Paulo. 1988. p. 3-15.

Anexo 1 – Tabela com os tipos de problemas encontrados em taludes relacionados as formas de suas ocorrências e principais causas responsáveis pelo ocorrido. Fonte: MARANGON (2009).

<i>TIPO DE PROBLEMA</i>	<i>FORMA DE OCORRÊNCIA</i>	<i>PRINCIPAIS CAUSAS</i>
Erosão	<ul style="list-style-type: none"> . Em talude de corte e aterro (em sulcos e diferenciada) . Longitudinal ao longo da plataforma . Localizada e associada a obras de drenagem (ravinas e boçorocas) . Interna em aterros (piping) 	<ul style="list-style-type: none"> . Deficiência de drenagem . Deficiência de proteção superficial . Concentração de água superficial e/ou interceptão do lençol freático . Deficiência ou inexistência de drenagem interna
Desagregação superficial	<ul style="list-style-type: none"> . Empastilhamento superficial em taludes de corte . Superficial . Profundo . Formas e dimensões variadas 	<ul style="list-style-type: none"> . Secagem ou umedecimento do material . Presença de argilo-mineral expansivo ou desconfinamento do material . Inclinação acentuada do talude . Relevo energético . Descontinuidades do solo e rocha
Escorregament o em corte	<ul style="list-style-type: none"> . Superficial em corte ou encostas naturais . Profundo em cortes . Formas de dimensões variadas . Movimentação de grandes dimensões e generalizada em corpo de tálus . Atingindo a borda do aterro . Atingindo o corpo do aterro 	<ul style="list-style-type: none"> . Saturação do solo . Evolução por erosão . Corte de corpo de tálus . Alteração por drenagem . Compactação inadequada da borda
Escorregament o em aterro	<ul style="list-style-type: none"> . Atingindo o corpo do aterro 	<ul style="list-style-type: none"> . Deficiência de fundação . Deficiência de drenagem . Deficiência de proteção superficial . Má qualidade do material . Compactação inadequada . Inclinação inadequada do talude
Recalque em aterro	<ul style="list-style-type: none"> . Deformação vertical da plataforma 	<ul style="list-style-type: none"> . Deficiência de fundação . Deficiência de drenagem . Rompimento do bueiro . Compactação inadequada
Queda de blocos	<ul style="list-style-type: none"> . Geralmente em queda livre 	<ul style="list-style-type: none"> . Ação da água e de raízes na descontinuidade do maciço rochoso
Rolamento de blocos	<ul style="list-style-type: none"> . Movimento de bloco por rolamento em cortes ou encostas naturais 	<ul style="list-style-type: none"> . Descalçamento da base por erosão