

**REDE DE ENSINO DOCTUM  
UNIDADE JOÃO MONLEVADE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CAMILA ADRIANA OLIVEIRA ALVES  
THIAGO VAZ MATEUS**

**ESTABILIDADE DE TALUDES: Estudo das  
condições de estabilização em taludes naturais**

**JOÃO MONLEVADE**

**2018**

**CAMILA ADRIANA OLIVEIRA ALVES**

**THIAGO VAZ MATEUS**

**ESTABILIDADE DE TALUDES: Estudo das  
condições de estabilização em taludes naturais**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de bacharel em Engenheiro Civil no curso de Engenharia Civil, da Faculdade Doctum de João Monlevade.

Orientador(a): Prof. (a) Dr. Rafael Vital Januzzi

**JOÃO MONLEVADE**

**2018**

**CAMILA ADRIANA OLIVEIRA ALVES  
THIAGO VAZ MATEUS**

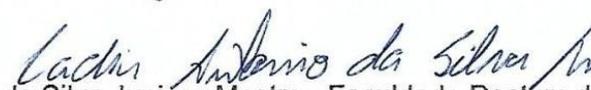
**ESTABILIDADE DE TALUDES: Estudo das condições de estabilização  
em taludes naturais**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado  
para obtenção do grau de bacharel em  
Engenheiro Civil no curso de Engenharia Civil,  
da Faculdade Doctum de João Monlevade.

João Monlevade, 05 de Dezembro de 2018.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Rafael Vital Januzzi - Mestre - Faculdade Doctum de João Monlevade -  
Orientador

  
Prof. Ladir Antônio da Silva Júnior - Mestre - Faculdade Doctum de João Monlevade

  
Prof. Wagner Cavalcante de Souza - Mestre - Faculdade Doctum de João Monlevade

**Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em nossas vidas, aos nossos pais, irmãos, cônjuges e a todos os alunos de Engenharia Civil da faculdade Doctum com quem convivemos ao longo desses anos.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, quem nos permitiu que tudo isso acontecesse, e não somente nestes anos como universitários, mas em todos os momentos de nossas vidas.

A Faculdade Doctum, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbramos um horizonte superior.

Ao professor Rafael Januzzi, pela orientação, apoio e confiança e ao Wagner Cavallare, pelo suporte, pelas suas correções e incentivos.

Aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Aos nossos irmãos e cônjuges, que nos momentos de ausência dedicados ao estudo, sempre nos fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente!

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

## RESUMO

Desastres relacionados a movimentos de terra em ênfase instabilidades de encostas e taludes em margens de rodovias têm causado significativas perdas humanas e materiais em várias partes do Brasil, desde a ameaça a vida de usuários a interrupção do fluxo de usuários, afetando de forma significativa a economia do país. Pelo exposto, este trabalho propôs estudar os processos de instabilização e alternativas de correção. Através de um estudo bibliográfico foi elaborada uma pesquisa explicativa em torno do assunto. Foi destacado que os agentes instabilizadores de taludes rodoviárias são envolvidos em conjunto, sendo que os casos mais comuns de instabilidade é o escorregamento, tombamentos, queda de árvores, erosões envolvendo situações extremas nas quais os solos e as rochas são solicitados além da sua resistência. Tais agentes podem se desenvolver devido a insuficiência de estudos geológicos-geotécnicos na fase de projeto, fatores construtivos ou à falta de manutenção. Atualmente, existem várias soluções para aplicação de estruturas de contenção em caso de instabilidade de taludes, como a aplicação de pedra seca, pedra argamassada, muros de arrimo, cortinas, telas metálicas e uso de geossintéticos. Com o trabalho é possível concluir que é necessário uma prévia e detalhada análise de fatores que influenciam na estabilidade de um talude, citando-se a análise geotécnica do solo, possíveis solicitações e o fluxo de usuários. Deve-se verificar periodicamente o aparecimento de alguma anomalia não esperada e se caso exista alguma instabilidade é ideal que a solução proposta tenha finalidade de proteger os usuários das rodovias assim como outras estruturas nos arredores. As possíveis soluções para um talude que se encontra em tal situação é remoção total ou parcial do maciço, aplicação de estrutura de contenção emergencial ou contenções definitivas que sejam viáveis tecnicamente e economicamente.

**Palavras-chave:** Instabilidade de talude; Estabilidade de taludes; Rodovias.

## ABSTRACT

Disasters related to land movements in emphasis Slopes instabilities along roadsides have caused significant human and material losses in many parts of Brazil, from the threat to the life of users to disruption of users flow, significantly affecting the country's economy. For the above, this work proposed to study the processes of instabilization and correction alternatives. Through a bibliographic study an explanatory research was elaborated around the subject. It was pointed out that road slope instability agents are involved together, and the most common instability cases are slipping, landslides, tree falls, erosions involving extreme situations in which soils and rocks are requested in addition to their strength. Such agents can develop due to insufficient geological-geotechnical studies in the design phase, constructive factors or lack of maintenance. Currently, there are several solutions for the application of containment structures in case of instability of slopes, such as the application of dry stone, mortar stone, retaining walls, curtains, wire mesh and use of geosynthetics. With this research it is possible to conclude that a previous and detailed analysis of factors that influence the stability of a slope is necessary, citing the geotechnical analysis of the soil, possible requests and the flow of users. It should be checked periodically for any unexpected anomaly and if there is any instability is ideal that the proposed solution is intended to protect users of highways as well as other structures in the vicinity. The possible solutions for a slope that is in such situation and total or partial removal of the mass, application of emergency containment structure or definitive containments that if technically and economically feasible.

**Keywords:** Slope instability; Stability of slopes; Highway

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Composição de um talude e superfície de ruptura.....	23
Figura 2-Tipos e formas geométricas de encostas.....	24
Figura 3- Rastejo e características predominantes para classificação deste tipo de movimento.....	29
Figura 4- Corridas .....	29
Figura 5-Ruptura por escorregamento .....	30
Figura 6- Ruptura ocasionado por queda .....	33
Figura 7- Representação de fatia de um talude .....	40
Figura 8- Parâmetros envolvidos na análise de estabilidade de taludes .....	41
Figura 9- Plantio de grama em talude .....	51
Figura 10- Drenagem superficial (a) e profunda (b) .....	52
Figura 11- Muro de pedra seca .....	54
Figura 12- Muro de pedra argamassada .....	55
Figura 13- Muro de concreto ciclótipo .....	55
Figura 14- Muro de arrimo celular de peças pré-moldadas de concreto .....	56
Figura 15- Muro de arrimo de gabiões .....	56
Figura 16- Muro de arrimo de solo-cimento ensacado.....	57
Figura 17- Muro de arrimo Bolsacreto.....	57
Figura 18- Muro de arrimo Rimobloco.....	58
Figura 19- Muro em L de concreto .....	58
Figura 20- Cortina cravada.....	59
Figura 21- Cortina de concreto atirantada.....	59
Figura 22- Tela Metálica fixada por chumbadores e recoberta por concreto projetado .....	60
Figura 23- Estruturas de contenção com solo reforçado com geossintéticos .....	60
Figura 24- Paredes- diafragma.....	61
Figura 25- Domínios Geológicos .....	63
Figura 26- Vista Geral do Segmento Instabilizado .....	64
Figura 27- Seção de corte do talude antes do escorregamento.....	64
Figura 28- Curvas de nível e seção crítica após a ruptura .....	65
Figura 29- Geometria do muro de gabiões.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Fatores condicionantes .....	26
Tabela 2– Descrição dos tipos de escoamentos segundo Guidicini (1983) .....	29
Tabela 3– Descrição dos tipos de escorregamentos.....	31
Tabela 4- Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas .....	36
Tabela 5– Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais.....	37
Tabela 6– Fatores de segurança mínimos para deslizamentos .....	37
Tabela 7- Principais instabilidades em taludes construídos em faixas de domínio de rodovias.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPT	<i>Cone Penetration Test</i>
CPT <sub>u</sub>	<i>Piezocone penetration test</i>
DMT	Ensaio dilatométrico
EPS	Poliestireno expandido
FS	Fator de Segurança
FS <sub>i</sub>	Fator de Segurança arbitrado
NBR	Norma Brasileira
PMT	Ensaio pressiométrico
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
2 OBJETIVOS .....	16
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
3.1 SOLOS.....	17
3.2 ESTUDOS GEOTÉCNICOS.....	18
3.2.1 Sondagem a percussão ( <i>Standard Penetration Test</i> ) -SPT .....	18
3.2.2 Ensaio de cone e piezocone .....	19
3.2.3 Ensaio de palheta – vane test .....	20
3.2.4 Ensaio dilatométrico – (DMT) .....	20
3.2.5 Ensaio pressiométrico – (PMT) .....	21
3.2.6 Ensaios laboratoriais .....	21
3.3 ESTABILIDADE DOS SOLOS.....	22
3.4 TALUDES.....	23
3.5 AGENTES INSTABILIZANTES E MOVIMENTO DE MASSA .....	25
3.5.1 Escoamentos.....	28
3.5.2 Escorregamentos .....	30
3.5.3 Subsidiências .....	32
3.5.4 Atuação da cobertura vegetal.....	33
3.6 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES .....	34
3.6.1 Fator de segurança (FS) .....	35
3.6.2 Métodos de análise .....	38
3.6.2.1 Método de equilíbrio limite (Método das fatias) .....	39
3.6.2.2 Método de Fellenius .....	40
3.6.2.3 Método Simplificado de Bishop .....	41
3.6.2.4 Método de Spencer .....	43
4 METODOLOGIA.....	45
5 APRESENTAÇÃO ANÁLISE DO ESTUDO.....	46
5.1 PROCESSOS DE INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES RODOVIÁRIOS.....	46
5.2 PRINCIPAIS SOLUÇÕES PARA SISTEMAS DE CONTENÇÕES .....	50

5.2.1 Mudanças na geometria do Talude .....	50
5.2.2 Revestimento do talude.....	51
5.2.3 Drenagem.....	51
5.2.4 Materiais alternativos.....	52
5.2.5 Reforço do solo .....	52
5.2.5.1 Muro de pedra seca.....	54
5.2.5.2 Muro de pedra argamassada .....	54
5.2.5.3 Muro de concreto ciclópico.....	55
5.2.5.4 Muro de arrimo celular de peças pré-moldadas de concreto.....	55
5.2.5.5 Muro de arrimo de gabiões.....	56
5.2.5.6 Muro de arrimo de solo-cimento ensacado .....	56
5.2.5.7 Muro de arrimo Bolsacreto .....	57
5.2.5.8 Muro de arrimo “Rimobloco” .....	57
5.2.5.9 Muro em “L” de concreto .....	58
5.2.5.10 Cortina cravada .....	58
5.2.5.11 Cortina de concreto atirantada .....	59
5.2.5.12 Tela Metálica fixada por chumbadores e recoberta por concreto projetado	60
5.2.5.13 Estruturas de contenção com solo reforçados com geossintéticos .....	60
5.2.4.14 Paredes-diafragma .....	61
5.3 ESTUDO DE CASO.....	62
5.3.1 Caracterização da Área.....	62
5.3.2 Solução para estabilidade do Talude .....	65
5.3.2.1 Proteção superficial com cobertura vegetal.....	65
5.3.2.2 Adoção do Muro de Gabião como estrutura de reforço.....	66
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS.....	70

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é o principal sistema logístico existente no Brasil, e sendo assim existe grande necessidade de um bom funcionamento e bom estado para garantir a segurança e conforto dos usuários (CICHINELLI,2005).

A principal finalidade das rodovias é de integrar regiões por meio das cadeias produtivas, das conexões comerciais e do transporte de passageiros, com um desenvolvimento socioeconômico nas regiões que ficam retidas, sendo que estas atividades causam grande impacto ambiental, pela paisagem modificada. Estes impactos ambientais ocasionados pelos projetos rodoviários se inserem no planejamento, implantação, construção e operação (BRASIL, 2002).

As rodovias brasileiras, apresentam condições geomorfológicas e climáticas propícias para a ocorrência de diferentes tipos de movimentos de massa, o que dificulta, onera e muitas vezes impossibilita, dentre outros, a implantação e a manutenção das mesmas em algumas regiões do país.

Taludes são estruturas compostas por superfícies inclinadas, a quais limitam um maciço de rocha, de terra ou ambos. Caputo (1989), classificam como naturais, por exemplo as encostas, ou artificiais como é o caso dos taludes de corte e aterro.

Segundo Bandeira; Floriano (2004) durante a construção de rodovias, os impactos positivos são socioeconômicos, e os impactos negativos, atuam diretamente no ambiente, nas bases de recursos naturais, caracterizando obras rodoviárias como modificadoras profundas do ambiente. Desta forma, por causa da concentração de estradas e o relevo acidentado, vários taludes são construídos com diferentes declividades e em diferentes tipos de solo e rocha. Sendo que, tudo isso pode gerar problemas de estabilidade prejudicando a população e o ambiente natural e por fim os desmoronamentos nas encostas das rodovias obstruindo trechos e deslizamentos de rocha e solo causando acidentes muitas vezes com vítimas fatais (MEGALE, 2011)

Os estudos referentes a escorregamentos não são atuais. E de acordo com Augusto Filho e Virgili (1998) a mais de dois mil anos são estudados em países como a China e o Japão. Autores ainda afirmam que tais estudos focam em compreender os mecanismos causadores de instabilidades que podem ocorrer em taludes, como evitar ou impedir o processo.

É de suma importância que seja feita uma ampla investigação de característica geotécnica na área que se propõe a se analisar possíveis ocorrências de instabilidade em taludes, podendo assim, determinar os possíveis mecanismos de ruptura propensos a ocorrer.

As rodovias exercem considerável influência no desenvolvimento de um país, e no Brasil não é diferente. No entanto, algumas vezes, a forma como foram implantadas e operadas acabou trazendo sérios impactos negativos ao meio ambiente. Os órgãos rodoviários têm convivido com um número muito grande de passivos ambientais relacionados, principalmente, aos processos de instabilização de taludes, abrangendo os movimentos gravitacionais de massa e erosões. Esses processos podem se desenvolver devido à insuficiência de estudos geológicos-geotécnicos na fase de projeto, fatores construtivos ou à falta de manutenção. Assim, importantes rodovias brasileiras apresentam muitos taludes afetados por escorregamentos e erosões de diferentes portes.

Para o procedimento de corte em taludes localizados em obras rodoviárias, Bianchini (2000) destaca que muitas vezes é proposto soluções empíricas, sendo que, a maioria dos casos adotasse o uso de inclinações típicas de 1:1,5 a 1:1. Tal medida, é aplicada devido a não viabilidade econômica para o incentivo a estudos mais aprofundados que poderão ser empregados a diferentes tipos de corte.

Em 2012, Moretto determinou que a ocorrência de instabilidade de taludes rodoviários é um problema que acontece com uma certa frequência, principalmente em localidades com presença de declividade e a infiltração de água, tais fatores proporcionam a um considerável aumento na resistência ao cisalhamento do solo. Em períodos de chuvas excessivas, é notoriamente verificado o aumento do número de escorregamento de encostas. Ocupações indevidas de taludes desmatamento e modificação da encosta e sua base, juntamente com precipitação intensa e inundações, estão entre os principais motivos causadores de instabilidade e deslizamentos de encostas (HIGHALAND,2008).

Sendo assim, conforme mencionado por Tonus (2009), em projetos de infraestrutura rodoviária é de suma importância considerar e analisar a hidrologia e as diferentes condições de relevo e tipos de solos (aspectos geológicos e geotécnicos) presentes na região do traçado geométrico projetado, com o intuito de minimizar a ocorrência de passivos ambientais relacionados a processos de instabilização de taludes. Além disso, em regiões onde há um histórico de ocorrência

de movimentos de massa, as caracterizações dos locais atingidos auxiliam na compreensão dos fatores condicionantes, relevantes na escolha e no dimensionamento da solução geotécnica de estabilização.

Neste contexto, o presente estudo pretendeu-se promover uma contextualização sobre o assunto, de forma a reunir informações técnicas, normativas e práticas que possam subsidiar os técnicos e acadêmicos da área de engenharia civil para a conscientização sobre a importância dos estudos e projetos adequados para a estabilização de taludes.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho são divididos nos tópicos 2.1 e 2.2 a seguir.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para o entendimento, a prevenção e a correção de processos de instabilização de taludes rodoviários através de pesquisa bibliográfica referente a mecanismos, técnicas e procedimentos já existentes.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Revisar os processos de formação do solo;
- b) Explicar os processos de construções de taludes com segurança;
- c) Analisar os métodos utilizados na análise de estabilidade de taludes rodoviários e as principais causas que levam a uma ruptura de um talude;
- d) Embasar, através de pesquisa técnicas, soluções atuais, utilizadas para retaludamento;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Foi realizado uma pesquisa bibliográfica abordando os principais temas do trabalho proposto.

#### 3.1 SOLOS

Os solos são formados por meio da decomposição e/ou da deterioração das rochas através do processo de intemperismo, que é o conjunto de processos físicos, químicos e biológicos, chamado de pedogênese, tratando-se de um processo lento que depende de fatores externos como o clima em que está inserido e a influência de águas e ventos, podendo demorar centenas ou até milhares de anos para sua finalização (CAPUTO,1989).

Ortigão (2007) cita que os fatores mais importantes na formação do solo são:

- a) ação de organismos vivos;
- b) rocha de origem;
- c) tempo (estágio de desintegração/decomposição);
- d) clima adequado;
- e) inclinação do terreno ou condições topográficas.

Os minerais que compõe as partículas do solo e a rocha que o deriva, determinam as propriedades físicas do mesmo. Originam-se assim, partículas com diâmetros que variam de pedregulhos até siltes e sobre o tipo, o solo pode apresentar uma estrutura laminar, onde o solo está arranjado em agregados de forma que suas dimensões horizontais apresentam tamanho maior que as verticais, dessa forma apresentando seu formato a aparência de uma lâmina, podendo ter espessuras diferentes, mas que não ultrapassem seu comprimento (ORTIGÃO, 2007).

Os solos são classificados em três grupos: residuais, sedimentares ou transportados (dependendo da presença ou não de um agente de transporte na sua formação) ou ainda orgânicos (GUIDICIN, 2016).

Os solos residuais são aqueles que permanecem no local da rocha de origem (rocha mãe), observando-se uma gradual transição da superfície até a rocha. Para que ocorram os solos residuais, é necessário que a velocidade de decomposição de rocha seja maior que a velocidade de remoção pelos agentes externos. A velocidade

de decomposição provém de inúmeros elementos, como: a temperatura, o regime de chuvas e a vegetação (GUIDICIN, 2016).

Os solos sedimentares ou transportados são depósitos de partículas que sofrem a ação de agentes transportadores. Caracterizam-se por geralmente se encontrarem em depressões e apresentam em profundidades maiores uma rocha que não é formada pelo mineral de constituição do solo.

De acordo com Pinto (2006), os solos orgânicos são aqueles que apresentam grande quantidade de matéria orgânica, proveniente da decomposição de animais e vegetais.

### 3.2 ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Para a definição das características físicas e mecânicas do subsolo, são necessárias investigações geotécnicas que forneçam dados a serem interpretados pela ótica da mecânica dos solos. Nos métodos indiretos, a medida das propriedades das camadas do subsolo é feita indiretamente pela sua resistividade elétrica ou pela velocidade de propagação de ondas elásticas. Os índices medidos correlacionam-se com a natureza geológica dos diversos horizontes, podendo-se conhecer suas profundidades e espessuras. Incluem-se nessa categoria os métodos geofísicos (GUIDICIN, 2016).

Os métodos diretos consistem em a observar diretamente o solo ou obter amostras ao longo de uma perfuração. Para isso, faz-se uso de ensaios de campo e laboratoriais, sendo ambos de grande importância em um projeto geotécnico (GUIDICIN, 2016).

#### 3.2.1 Sondagem a percussão (*Standard Penetration Test*) -SPT

É uma ferramenta de investigação geotécnica simples e bastante difundida. O ensaio *Standard Penetration Test* (SPT) de acordo com Caputo (1989), consiste em uma medida de resistência dinâmica associada ao ensaio de penetração dinâmica medindo a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada. O ensaio de SPT possui os seguintes objetivos:

- a) determinação dos tipos de solos e suas respectivas profundidades;
- b) posição do nível d'água;

c) índices de resistência a penetração a cada metro.

As amostras são coletadas a cada metro de profundidade da sondagem por meio de um amostrador padrão.

A execução do ensaio SPT é feita com a perfuração realizada por tradoagem e circulação de água utilizando-se um trépano de lavagem como ferramenta de cravação. Amostras representativas do solo são coletadas a cada metro de profundidade por meio de cravação é realizado deixando se cair um peso de 65 kg a uma altura de 75 cm sobre o amostrador (SCHNAID, 2000). No Brasil esse ensaio de campo está normatizado pela NBR 6484 (ABNT 2001).

### 3.2.2 Ensaio de cone e piezocone

Para Shinaid (2012), o ensaio consiste basicamente na cravação a velocidade lenta e constante de uma haste com ponta cônica, medindo-se a resistência encontrada na ponta de uma palheta e a resistência por atrito lateral. Os ensaios CPT (*Cone Penetration Test*) e CPTu (*Piezocone Penetration Test*), diferenciam-se pela presença de um elemento poroso, que permite a medição de poropressão ( $u$ ). Ambos são caracterizados como uma das melhores ferramentas de prospecção geotécnica.

O ensaio é realizado nas profundidades em que se deseja mensurar a resistência do solo. Os autores também reforçam que, para realização desse ensaio, as seguintes condições têm que ser respeitadas

- a) condição não drenada;
- b) solo isotrópico;
- c) resistência constante no entorno da palheta.

Gomes et al., (2002) explica que o equipamento utilizado no teste de piezocone e na medição da dissipação do excesso de poro pressão causado durante a cravação do cone, é composto basicamente pelos seguintes dispositivos:

- (i) sistema hidráulico-elétrico de cravação;
- (ii) estrutura de cravação incluindo o jogo de escoras e de placas de fixação;
- (iii) sistema digital de aquisição e transmissão de dados para a superfície;
- (iv) piezocone propriamente dito.

Os ensaios de piezocone propiciam uma determinação precisa da estratigrafia, permitindo definir a espessura de camadas e identificar a presença de

camadas finas de material drenante (areia), que reduzem o caminho da percolação vertical da água durante o processo de adensamento. Estas finas camadas geralmente não são percebidas em sondagens de simples reconhecimento (SPT) e sua identificação torna-se essencial para uma modelagem realista do perfil estratigráfico, resultando em previsões satisfatórias do tempo de adensamento. Os valores de resistência de ponta ( $q_c$ ), resistência lateral ( $f_s$ ) e excesso de poro pressão ( $u_2$ ) combinados, permitem a identificação de materiais prospectados. Além da estratigrafia, os parâmetros resistentes possibilitam a estimativa da resistência não drenada da argila ( $S_u$ ) (NACCI, 2000).

### **3.2.3 Ensaio de palheta – vane test**

O ensaio de palheta é tradicionalmente empregado na determinação da resistência ao cisalhamento não drenado, das argilas moles. Consiste na rotação a uma velocidade de rotação padrão de uma palheta cruciforme em profundidades pré-definidas. A medida do torque versus a rotação permite a determinação da resistência não drenada do solo (CAPUTO, 1987).

### **3.2.4 Ensaio dilatométrico – (DMT)**

O ensaio de dilatômetro foi desenvolvido na Universidade de L'Aquila na Itália por Marchetti, a partir de meados da década de 70 (Marchetti, 1975). A princípio, a determinação de deformações horizontais no solo assim como a obtenção de valores do módulo de elasticidade do solo  $E_s$  associado ao comportamento de estacas cravadas submetidas a esforços horizontais eram os principais objetivos idealizados por Marchetti. A idéia do ensaio, segundo Marchetti (1975), surgiu com base na cravação de estacas que, assim como o dilatômetro, geram movimentos horizontais antecidos pela penetração.

Caputo (1987) explica que o ensaio estimativa do módulo de elasticidade das camadas de solo prospectadas. O teste consiste na cravação de ponteira metálica, com interrupções desta cravação a cada 20 cm. Nestas interrupções, é introduzido gás nitrogênio que expande a membrana metálica da ponteira contra o terreno. Dessa expansão, registram-se em manômetro de precisão duas leituras: a primeira

quando a dilatação da membrana “vence” o esforço de compressão do terreno, e a segunda quando esta deforma o solo de 1,1m.

Segundo Marchetti (1975) a interpretação dos resultados obtidos no ensaio é feita utilizando a Teoria da Elasticidade. O plano vertical de simetria permite que se estude o problema como uma membrana atuando num semi-espaco infinito, sendo desprezada a rigidez da placa. É suposto deslocamento nulo na superfície do semiespaco e carregamento uniforme da membrana contra o terreno.

### **3.2.5 Ensaio pressiométrico – (PMT)**

O ensaio consiste na inserção de uma sonda em um furo de sondagem previamente escavado. A sonda é um elemento de forma cilíndrica projetado para aplicar uma pressão uniforme nas paredes do furo, através de uma membrana flexível, promovendo expansão na massa de solo (FONTAINE, 2004).

O ensaio estima o módulo de elasticidade das camadas de solo prospectadas. Consiste na inserção em um pré-furo de sonda pressiométrica e deformação radial de membrana por meio de inserção de gás nitrogênio. As medidas de deformação são através do painel de controle, que mede variações de pressões e volumes ocorridos com a deformação do solo (CAPUTO, 1987).

Os métodos de execução de furos dependem da natureza dos solos, de sua resistência e da ocorrência do lençol freático. Segundo Schnaid (2000), em solos residuais, a experiência brasileira tem demonstrado que o uso de trado manual para a execução da perfuração é satisfatória.

Os resultados de ensaios pressiométricos fornecem uma medida in situ do comportamento tensão-deformação do solo e, portanto a sua interpretação é baseada nos conceitos da expansão da cavidade cilíndrica (SCHNAID, 2000).

### **3.2.6 Ensaio laboratoriais**

Os ensaios laboratoriais apresentam uma contribuição muito grande na compreensão do comportamento e das características das camadas de solo. Em laboratório é possível determinar, como por exemplo, os parâmetros de compressibilidade e adensamento do solo através do ensaio de compressão

oedométrica, em que este ensaio consiste em comprimir uma amostra saturada com uma carga axial.

### 3.3 ESTABILIDADE DOS SOLOS

Para avaliação entre manejo e qualidade do solo, são utilizados parâmetros de avaliação entre suas propriedades, como por exemplo composição, resistência mecânica, grau de contração, umidade entre outras (LIMA et al., 2007).

A composição da solo influencia diretamente no processo de agregação, que por consequência tem influência na estabilidade do solo. Um solo formado por materiais tais como: argila, ferro, alumínio e matéria orgânica, agem como instrumentos cimentantes, de forma a unir as partículas do solo, aumentando assim a sua agregação e por fim, sua estabilidade, inclusive em situações de taludes (MEGALE, 2011).

A estabilidade destes agregados se resume então como uma força com capacidade de resistência a uma ação mecânica com capacidade de degradação da estrutura do solo em questão, assim como, também, a capacidade do solo de resistir às forças compactantes (SILVA et al., 2006).

A erosão, é o fenômeno que acontece devido à degradação por meio de transporte terrestre realizado pelo vento ou escoamento pluvial, fatores que influenciam a erosão do solo estão envolvidos na formação do solo, como, o desgaste, transporte e deposição na superfície que estimulados pela ação do homem resulta erosão acelerada (SIQUEIRA et al. 2007).

Desta forma, a construção de estradas, subestações, barragens de reservatórios, e também as obras modificadoras da paisagem, exige que a terra seja movimentada, formando assim os taludes de corte e aterro. Nestas obras estão incluídas a exposição dos horizontes do solo, remoção da cobertura vegetal nativa e modificação na forma e declividade da superfície, sendo que tudo isto faz os taludes ficarem expostos às oscilações de temperatura e umidade e pela formação de deslizamentos e erosão sendo um dos principais fatores de instabilidade em taludes (MEGALE, 2011).

De acordo com Megale (2011), os movimentos de terras consistem na colocação, retirada ou recolocação de solo em uma área específica a fim de nivelar ou elevar determinadas áreas baseando-se no projeto que será implantado no local.

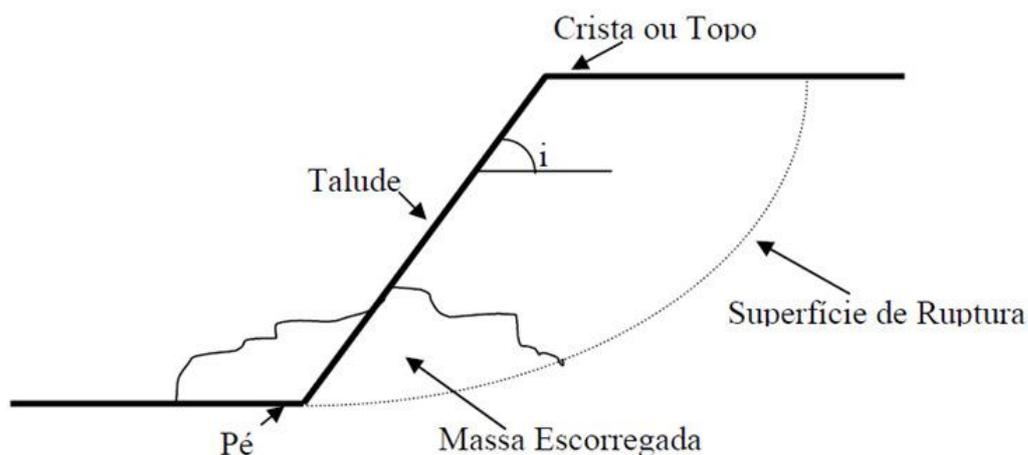
### 3.4 TALUDES

Segundo Stochalak (1974), as encostas podem ser definidas como “toda superfície natural inclinada unindo outras duas, caracterizadas por diferentes energias potenciais gravitacionais”.

O termo talude é usado para definição de encosta próxima a obras lineares, tendo um caráter geotécnico relacionando a áreas restritas, sendo que o mesmo utiliza também na terminologia específica para taludes: “talude de corte para taludes resultantes de algum processo de escavação realizado pelo homem, e taludes artificiais relacionados aos declives de aterros, construídos de materiais diversos” (WOLLE,1980).

Gerscovich (2012) define que talude é qualquer superfície inclinada de um maciço de solo ou rocha. Pode-se, ainda, diferenciar tal superfície segundo sua origem. Considera-se um talude aquela superfície que tem como origem a ação antrópica, mediante a execução de obras de terra como cortes e aterros, necessárias em grande parte das obras lineares, enquanto encostas são as superfícies de origem natural, caracterizadas por apresentar geometria oriunda de processos de formação do relevo ou movimentos gravitacionais de massa anteriores. Como é mostrado na Figura 1, um talude é composto pelas seguintes estruturas: talude, topo ou crista e superfície de ruptura.

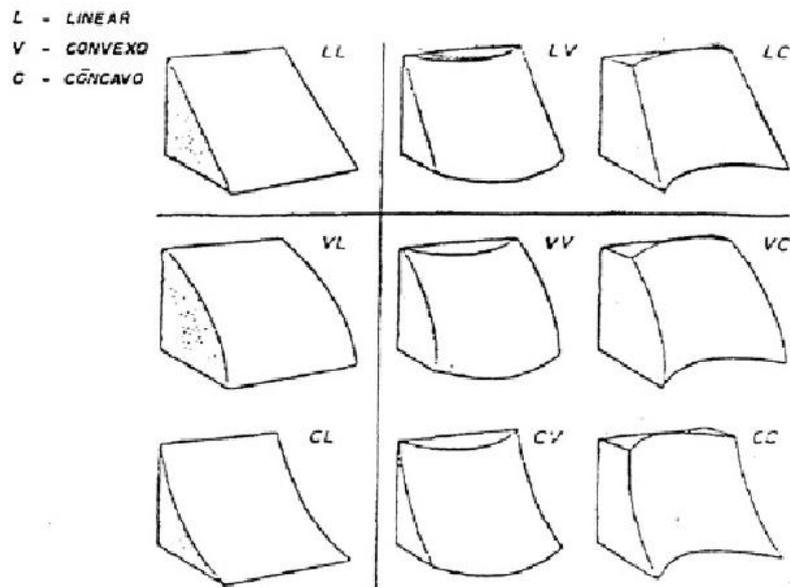
Figura 1- Composição de um talude e superfície de ruptura



Fonte: Londe e Bitar (2011)

De acordo com Chorley (1984), os taludes são de três tipos, sendo eles lineares, convexos e côncavo (Figura 2).

Figura 2-Tipos e formas geométricas de encostas



Fonte: Chorley (1984)

Os taludes podem ser do tipo natural, também denominado encosta, ou construído pelo homem, como cortes e aterros (GERSCOVICH, 2012).

Taludes naturais são mais suscetíveis a instabilidades por estarem sujeitos a ações da gravidade. Podem ser formados por dois tipos de solo: solo residual – originado por intemperismo e permanecendo no local onde foram gerados; ou solo coluvionar ou tálus – gerado a partir do transporte de solos que sofreram intemperismo e fragmentação, como os residuais (GERSCOVICH, 2012; MASSAD, 2010).

Para a construção de taludes em ferrovias e rodovias, é necessário contratar os serviços de terraplenagem. Sendo que, esses serviços compreendem atividades de corte e aterro com as conseguintes construções de taludes. Desta forma, os taludes podem ser formados por processos natural ou artificial. Os naturais acontecem através da ação da chuva, vento, sol; e os taludes ou artificiais, pela construção de plataformas ferroviárias, barragens (GERSCOVICH, 2012).

Os empreendimentos realizados nas rodovias estão apresentando quantitativos diferenciados problemas de terraplenagem, problemas semelhantes aos processos que levam à instabilidade de seus taludes (GERSCOVICH, 2012).

O que causa estes problemas de terraplanagem é a ação do homem, manifestada, na obra civil, compreendida como intervenção com potencial de condicionar o solo/rocha à instauração de problemas dessa natureza (GERSCOVICH, 2012).

Os taludes naturais possuem uma estrutura diferente dos taludes artificiais, porque permite um maior conhecimento do material. Sendo que os taludes artificiais mostram uma homogeneidade se tornando mais acentuados que os maciços naturais (MARANGON, 2008).

### 3.5 AGENTES INSTABILIZANTES E MOVIMENTO DE MASSA

Os movimentos de massas podem ocorrer por diferentes formas de movimentos de solos e rochas. Pode-se compreender, dessa forma, que o agente e a causa dos movimentos de massas acontecem por causa da estabilização de taludes (GUIDICINI; NIEBLE, 2016).

O movimento de massa pode ser considerado todo tipo de movimentação de volume de solo, sendo associado a instabilidade de uma encosta. Esse deslocamento raramente está relacionado a um único fator e pode ser resultado de ações externas ou internas (GUIDICINI; NIEBLE, 2016).

Nas ações externas, ocorre a diminuição da resistência ao corte, que pode ocorrer devido a erosão ou ruptura progressiva. Além disso, modificação da geometria do talude é considerada pelos autores como sendo umas das causas mais comuns para o desencadeamento de condições de instabilidade, seja pelo acréscimo de carga em sua parte superior ou pela retirada de massa na sua porção inferior (GUIDICINI; NIEBLE, 2016).

Já nas ações internas há um aumento da tensão de corte, e é comum em casos onde ocorrem alterações nos lençóis freáticos, mudança de carregamento na base ou na crista, modificação na geometria local ou vibrações (GUIDICINI; NIEBLE, 2016).

Outro exemplo, de causa interna, são as oscilações térmicas que provocam variações volumétricas em massas rochosas, podendo conduzir ao realce de blocos. O processo de alteração por intemperismo leva a um enfraquecimento do meio, que gera uma diminuição dos parâmetros de resistência, como a coesão e o ângulo de atrito interno (GUIDICINI; NIEBLE, 2016).

Resultam de efeitos causados por agentes externos no interior do talude, como ocorre nos casos de rebaixamento rápido do lençol freático, em que a descida da superfície piezométrica não acompanha a do nível de água livre e, ao fim do processo, esta superfície estará acima do pé do talude (GUIDICINI; NIEBLE, 2016).

Como a pressão total da água no caso de rebaixamento rápido é muito maior que no caso de rebaixamento lento, a pressão efetiva atuante será menor, diminuindo assim as forças resistentes ao escorregamento e, conseqüentemente, o fator de segurança do mesmo. Sendo assim, um talude pode ter se conservado estável com grande número de rebaixamento lentos, porém poderá sofrer colapso após um rápido rebaixamento de lençol freático (GUIDICINI; NIEBLE, 2016)..

Outro exemplo, citado por Terzaghi e Peck (1962), para causas intermediárias é a diminuição do efeito de coesão aparente (coesão existente por efeito de pressão capilar, ou seja, contato entre ar e partículas de água, em solos não coesivos como as areias finas) através da percolação de grande quantidade e sem interrupção de água na massa de solo, que faz com que o ar presente nos vazios seja expulso, e assim, elimina a coesão aparente e o talude entra em colapso.

Na Tabela 1 apresenta os principais fatores condicionantes de movimentação de terra.

Tabela 1- Fatores condicionantes

Fatores externos	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Potencial de erosividade da chuva;</li> <li>b) Condições de infiltração;</li> <li>c) Escoamento superficial;</li> <li>d) Topografia (declividade e comprimento da encosta)</li> </ul>
Fatores internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Fluxo interno</li> <li>b) Tipo de solo desagregabilidade e erodibilidade</li> <li>c) Características geológicas e geomorfológicas</li> <li>d) Presença de trincas de origem tectônica</li> <li>e) Evolução físico-química e mineralógica do solo</li> </ul>

Fonte: Autores

Existe diversas classificações na literatura para movimentos de massas, devido às ilimitadas possibilidades de análise dos fenômenos, como por exemplo, os

estudos de Varnes (1978), Guidicini e Nieble (2016), Turner e Schuster (1996) e Augusto Filho (1995).

Para Caputo (1987), devido às formas de instabilidade nem sempre se apresentarem bem caracterizadas e definidas, a classificação pode ser feita em três grandes grupos: desprendimento de terra ou rocha, escorregamentos e rastejo.

A proposta de Varnes (1978) é considerada a classificação oficial da Associação Internacional de Geologia de Engenharia – IAEG e de ser a classificação mais utilizada em âmbito internacional (AUGUSTO FILHO,1995). Sendo assim, a classificação para cada tipo de movimento, é de acordo com o tipo de material envolvido, e são considerados quedas (falls), tombamentos (topples), escorregamentos (slides), espalhamentos (lateral spreads), corridas (flows) e complexos (complex), e os materiais envolvidos são rocha ou solo, sendo esse último subdividido de acordo com a granulometria (AUGUSTO FILHO,1995).

De acordo com Augusto Filho (1998), são seguidos os seguintes critérios para a classificação:

- a) velocidade, direção e recorrência dos deslocamentos;
- b) natureza do material instabilizado (solo, rocha, detritos, depósitos, etc.) sua textura, estrutura e conteúdo d'água;
- c) geometria das massas movimentadas;
- d) modalidade de deformação do movimento.

Lacerda (1997) credita à perda de sucção, à flutuação do lençol freático e aquíferos artesianos, às quedas de blocos de rocha, às corridas de detritos e aos relâmpagos, a causa maior do desencadeamento dos processos de instabilização das encostas de solos tropicais, sendo que a perda de sucção é vista, como o principal mecanismo de instabilização, sendo desencadeada pela infiltração das águas de chuva, que podem levar o solo à um estado próximo da saturação total.

A camada de vegetação representa uma importância à estabilidade, pois aumenta a resistência ao cisalhamento na superfície do solo, a qual apresenta um apreciável intercepto de coesão devido ao enraizamento das plantas. Sendo que, onde o nível freático é baixo, os taludes são essencialmente estáveis. Se a saturação pelas chuvas alcançar a profundidade situada abaixo da base da zona enraizada, a perda da coesão aparente pode levar o talude a ruptura (RAIMUNDO,1998)

A elevação do lençol freático também se traduz num mecanismo vital à estabilidade de uma encosta. Aumento do peso da massa de solo e poro-pressões positivas representam uma resposta imediata a flutuação positiva (subida) do lençol d'água subterrâneo. Quedas de blocos rochosos e corridas de detritos, provocadas por erosão, percolação d'água pelas falhas da rocha, ação antrópica, dentre outros fatores, podem desencadear, pelo impacto e velocidade com que rolam, instabilizações irreversíveis (RAIMUNDO,1998)

A falta de cobertura vegetal assume um importante aspecto na instabilidade de uma encosta. Segundo Collison *et al.* (1995), a vegetação produz um modelo combinado de processos mecânicos e hidráulicos, que juntos podem deflagrar ou não, situações de instabilidade. Para os autores, como processos hidrológicos tem-se a interceptação e condução (runoff) da chuva, além da transpiração, que assumem um efeito benéfico à estabilidade, e mais infiltração e permeabilidade que são efeitos adversos. Os processos mecânicos benéficos a estabilidade são a amarração da superfície, o reforço da zona de enraizamento e o fortalecimento das raízes. Em contrapartida, processos como a transmissão de forças dinâmicas para o interior do solo causam um impacto adverso a estabilidade. Outro efeito mecânico diz respeito à sobrecarga gerada pela vegetação, que pode, conforme o caso, causar um impacto benéfico ou adverso.

De interesse para esse estudo, serão abordados, a fim de embasamento, os movimentos de massa classificados como: escoamentos, escorregamentos e subsidências.

### **3.5.1 Escoamentos**

O escoamento é um tipo de movimento de massa que é caracterizado por desencadear deformações ou movimentos contínuos, em que ao longo do processo, o movimento pode ser visível ou não na estrutura instável.

O conceito de escoamento engloba movimentos lentos (rastejos) conforme na Figura 3, e na Figura 4, os movimentos (corridas) descritos na Tabela 2 (GUIDICINI,1983).

Figura 3- Rastejo e características predominantes para classificação deste tipo de movimento



Fonte: UNESP/IGLA apud Lima (2002)

Figura 4- Corridas



Fonte: Oliveira e Brito (1998)

Tabela 2– Descrição dos tipos de escoamentos segundo Guidicini (1983)

Escoamento	Descrição
<b>Rastejos</b>	Rastejos são movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites, via de regra, indefinidos. Podem envolver grandes massas de solo, como por exemplo, os taludes de uma região inteira, sem que haja, na área interessada, diferenciação entre material em movimento e material estacionário. A movimentação é provocada pela ação da gravidade, intervindo, porém, os efeitos devidos às variações de temperatura e umidade. O fenômeno de expansão e de contração da massa de material, por variação térmica, se traduz em movimento encosta abaixo, numa espessura proporcional à atingida pela variação de temperatura. Abaixo

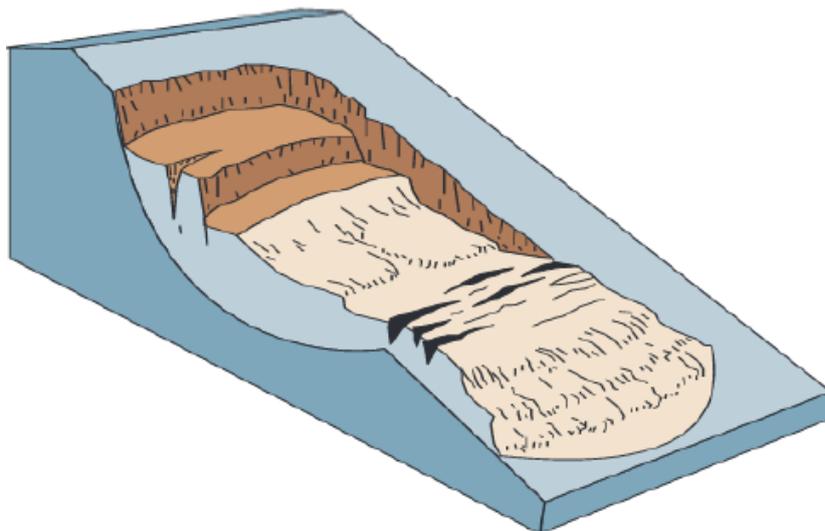
	dessa profundidade, somente haverá rastejo por ação da gravidade, sem participação de outros agentes, resultando numa razão de movimentação constante.
<b>Corridas</b>	Corridas são formas rápidas de escoamento, de caráter essencialmente hidrodinâmico, ocasionadas pela perda de atrito interno, em virtude da destruição da estrutura, em presença de excesso de água. Uma massa de solo, ou de solo e rocha, pode fluir como um líquido, se atingir um certo grau de fluidez. Uma massa de solo no estado sólido pode ser tornar um fluido pela simples adição da água, por efeito de vibrações e também por amolgamento.

Fonte: Guidicini (1983)

### 3.5.2 Escorregamentos

Caracteriza-se por escorregamentos a movimentação de massa, com volume bem definido, que acontece em movimentos rápidos em pequeno intervalo de tempo, no qual o centro de gravidade se desloca na direção inferior (para baixo) e para fora do talude (Guidicini, 1983), conforme pode ser visto na Figura 5.

Figura 5-Ruptura por escorregamento



Fonte: adaptado de Highland e Bobrowsky (2008)

Guidicini (1983, p. 85) ainda delinea as condições de ocorrência de escorregamento

Para que ocorra um escorregamento é necessário que a relação entre a resistência média ao cisalhamento do solo ou da rocha e as tensões médias de cisalhamento na superfície potencial de movimentação tenha decrescido, de um valor inicial maior que 1 até a unidade, no instante do escorregamento. O decréscimo nesta relação é, via de regra, gradual, envolvendo uma deformação progressiva do corpo do material situado acima da superfície potencial de escorregamento e um movimento em declive de todos os pontos situados na superfície daquele corpo.

Segundo Gerscovich (2012), os escorregamentos possuem um plano de ruptura bem definido e acontece devido as tensões cisalhantes mobilizadas na massa de solo atingem a resistência ao cisalhamento do material.

O processo de escorregamento por ruptura decorrente ao cisalhamento que pode ocorrer em uma superfície de um talude, está associado a uma diminuição da resistência ao cisalhamento. Desse modo, durante o primeiro instante do processo de escorregamento, o movimento de massa acontece com velocidade acelerada. Entretanto, à medida que o escorregamento se efetua, tendem a diminuir as forças que determinam o movimento e a massa vai atingindo posições cada vez mais estáveis. O movimento se torna assim lento e para, ou assumindo a definição de rastejo. (GERSCOVICH, 2012). Na Tabela 3, é classificado os escorregamentos de acordo as suas características.

Tabela 3– Descrição dos tipos de escorregamentos

Escorregamento	Descrição
<b>Rotacional</b>	Procede-se à separação de uma certa massa de material do terreno, delimitada de um lado do talude e de outro lado por uma superfície continua de ruptura, efetuando-se então a análise de estabilidade dessa cunha. A forma e a posição da superfície de ruptura são influenciadas pela distribuição de pressões neutras e pelas variações de resistência ao cisalhamento dentro da massa do terreno. Assume-se então uma forma simplificada de superfície, a que mais se aproxima da realidade, sendo, via de regra, em arco de circunferência (ou cilíndrica). Supõe-se que o talude seja continuo na seção. Supõe-se também que a tensão de cisalhamento e a resistência ao cisalhamento sejam uniformemente distribuídas ao longo de toda a superfície de ruptura. O colapso da massa ocorre por ruptura ao longo da superfície de escorregamento e rotação em torno do centro do arco. A força resistente é, em princípio, a

	resistência ao cisalhamento ao longo do círculo de ruptura. Efetua-se uma análise da relação entre outras forças resistentes e forças atuantes, para diferentes posições do círculo de escorregamento, chamando-se ao menor valor encontrado, fator de segurança contra a ruptura.
<b>Translacional</b>	Se massas de solo ou rocha possuírem anisotropias acentuadas em seu interior, eventuais escorregamentos que nelas ocorram irão provavelmente apresentar plano de movimentação condicionado a tais anisotropias. Em contraposição a movimentos de rotação, estes apresentam-se na presença de movimentos de translação. Enquanto escorregamentos rotacionais ocorrem em geral em taludes mais íngremes e possuem extensão relativamente limitada, escorregamentos translacionais podem ocorrer em taludes mais abatidos e são geralmente extensos, podendo atingir centenas ou milhares de metros.

Fonte: Guidicini (1983)

As superfícies de rupturas são classificadas conforme as condições geomorfológicas em planares ou translacionais, em circulares, ou em combinação de formas (circular e plana), denominadas superfícies mistas (GERSCOVICH, 2012).

Os escorregamentos planares ou translacionais são caracterizados pelas discontinuidades ou pela presença de planos de fraqueza. Quando a superfície de um talude apresenta a forma de cunha, é sinal que os planos de fraqueza se cruzaram ou que as camadas de menor resistência não são paralelas à superfície do talude. Ressalta-se que, em solos relativamente homogêneos a superfície tende a ser circular.

Os escorregamentos rotacionais são os menores deslizamentos que podem ocorrer ao longo de um talude que possui superfície circular com concavidade voltada para cima (VARNES, 1978).

Além disso, os escorregamentos rotacionais possuem superfícies de deslizamentos em forma de curvas, sendo muito comum o episódio de diversas rupturas sucessivas (AUGUSTO FILHO, 1983)

### 3.5.3 Subsidiências

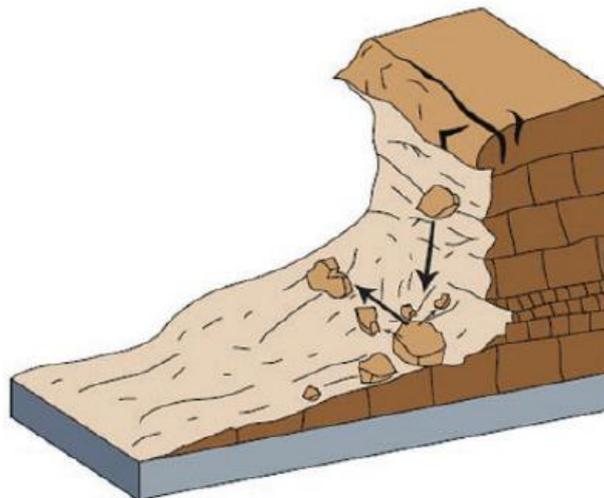
Segundo Gerscovich (2012), Guidicini e Nieble (2013), subsidiências correspondem a um deslocamento vertical, ocasionada pelo adensamento ou

afundamento de camadas do solo, ou pela consequência da remoção de alguma parte do maciço, podendo ser classificado como recalque, desabamento ou queda.

Os recalques, segundo os autores, são os movimentos verticais causados pela ação do peso próprio, ou pela deformação do subsolo ocasionado pela variação no estado de tensão efetiva, ou ainda pelo processo de compressão secundária, em razão da fluência

Já os desabamentos ou quedas são formas de subsidências bruscas, em alta velocidade, envolvendo colapso na superfície, provocadas pela ruptura ou remoção do substrato. As quedas envolvem blocos rochosos que se deslocam livremente em queda livre, ou ao longo de um plano inclinado, como pode ser mostrado na Figura 6 (GERSCOVICH, 2012; GUIDICINI E NIEBLE, 2013).

Figura 6- Ruptura ocasionado por queda



Fonte: adaptado de Highland e Bobrowsky (2008)

#### 3.5.4 Atuação da cobertura vegetal

Guidicini e Nieble (2013) descrevem a importante influência da vegetação na proteção de taludes, no sentido de reduzir a intensidade da ação dos agentes do clima no maciço natural, favorecendo assim a proteção dos mesmos, não somente em relação a grandes escorregamentos, mas também, em relação a movimentos lentos de rastejos.

Prandini et al. (1976) citam a ação específica dos diversos componentes da cobertura florestal como por exemplo, a ação benéfica das copas e demais partes aéreas das florestas que interceptam e defendem o maciço da ação dos raios

solares, dos ventos e das chuvas, retendo parte do volume de água da chuva. Os autores também comentam sobre o sistema radicular que promove a estabilização das encostas através da estruturação do solo, conferindo-lhe um acréscimo de resistência ao cisalhamento.

### 3.6 ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES

A análise de contenção de taludes engloba diversos fatores, sendo que, muitos destes influenciam inclusive a escolha do método mais adequado para cada situação.

De acordo com Hashizume (2006) para a escolha do tipo de contenção a ser empregada em uma determinada situação deve ser levado em consideração, tanto a sua viabilidade técnica quanto executiva, e principalmente o custo de implantação. Para se chegar a esta definição conclusiva, é necessário que seja realizada através de uma consulta a profissional da área de engenharia ou, preferencialmente da área geotécnica

Diminski (2010) explica que para garantir a estabilidade de um talude, o projeto deverá ser relacionado as condições das propriedades do solo e de fluxos locais, alinhado com a correta inclinação e altura, sendo que taludes naturais exigem maior monitoramento e cuidado, já que as movimentações de massa e a instabilidade são resultados naturais do processo evolutivo das encostas, acontecendo sem avisos.

Existem diversos fatores que podem causar instabilidade de um talude e dificilmente está relacionado a um fator individualmente. Segundo Varnes (1958) e Higasho (2014), citam que a elevação da pressão neutra por conta de fortes chuva aumenta a quantidade de água no solo, a redução da sucção matricial que ocorre em solos muito saturados, erosão intensificada por desmatamento, modificações geométrica do talude, desmonte hidráulico e abalos sísmicos como fatores imprevisíveis. E ressalta que em encostas que já apresentam instabilidades, os sinais podem ser identificados tanto no próprio talude, quanto em estruturas que estejam localizados no mesmo.

Em caso de instabilidade do maciço, é comum o aparecimento trincas no solo, degraus de abatimento, face da ruptura exposta e exsudação de água nas estruturas (HIGASHI,2014).

O estudo da estabilidade visa avaliar a possibilidade de ocorrência de escorregamento de massa. Geralmente, esses estudos são promovidos pela análise comparativa das forças atuantes, como por exemplo as tensões cisalhantes mobilizadas com a resistência ao cisalhamento (GERSCOVICH, 2012), Caputo (1987, p. 43), afirma com relação as forças atuantes no solo:

[...] que do ponto de vista teórico, um talude se apresenta como uma massa de solo submetida a três campos de forças: as devidas ao peso, ao escoamento da água e à resistência ao cisalhamento.

Segundo Maya *et al.* (2010), as técnicas de análise da estabilidade são divididas em dois grupos, sendo compostos pela análise probalística a qual requer conhecimento das distribuições de probabilidade ou das funções de densidade de probabilidade das variáveis aleatórias associados ao problema, e a análise determinística que é realizada em função de um coeficiente de segurança.

### 3.6.1 Fator de segurança (FS)

Segundo Ferreira (2012) os taludes naturais juntamente com as escavações possuem um grau de estabilidade que é superior a quanto ao fator de segurança, por esta razão, é necessário que se faça uma análise se há ou não necessidade de aplicar medidas de estabilização impedindo assim, que o grau baixe e aconteça o colapso.

Nesse sentido, é importante avaliar os fatores de segurança em cada situação que envolva a estabilidade de taludes, de forma a aplicar a melhor técnica e método para a sua estabilidade.

O FS é definido como o resultado da divisão entre a resistência e a tensão cisalhante, e é representado na Equação 1 (DAS, 2013; GERSCOVICH, 2012).

$$FS = \frac{\tau r}{\tau d} \quad \text{[Equação 1]}$$

onde, FS = fator de segurança

$\tau d$  = tensão de cisalhamento

$\tau r$  = resistência ao cisalhamento

A ocorrência ou não de instabilidade de um talude pode ser determinado a partir do resultado do FS. Por definição, valores de FS iguais a 1 correspondem à ocorrência de ruptura, valores maiores que 1 indicam talude estável e valores menor que 1 não possuem significado físico (GERSCOVICH, 2012).

Segundo Dell'Avanzi e Sayão (1998), o fator de segurança admissível (FS<sub>adm</sub>) de um projeto corresponde a um valor mínimo a ser atingido depende do julgamento do projetista e varia em função da obra, vida útil, das consequências de uma eventual ruptura em termos de perdas humanas e/ou econômicas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da publicação da NBR 11682 (ABNT 2009), especifica requisitos que devem ser executados para atender a estabilidade em uns taludes. A mesma, versa sobre as exigências para o estudo e controle da estabilidade de encostas e de taludes provenientes de processo de terraplenagem (cortes e aterros) realizados em encosta. Além disso, define a respeito das condições para estudos de um estrutura, projeto, execução, controle e análise de estabilização.

Segundo a ABNT NBR 11682 (ABNT 2009), os fatores de segurança objetiva suprir possíveis ocorrências naturais prejudiciais, que podem possibilitar prejuízo aos usuários, nas diversas etapas de um projeto e construção de um talude. Os valores de níveis de segurança de um projeto são calculados a partir da possibilidade de perigo aos usuários, conforme está na Tabela 4, e de danos materiais, conforme na Tabela 5, a qual, ambos estão relacionados com possíveis os riscos envolvidos da estrutura.

Tabela 4- Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas

<b>Nível de Segurança</b>	<b>Critérios</b>
<b>Alto</b>	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com a possibilidade de elevada concentração de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
<b>Médio</b>	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
<b>Baixo</b>	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: ABNT NBR 11682: 2009

Tabela 5– Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de Segurança	CrITÉrios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte que afetem serviços essenciais. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fabricas de produtos tóxicos.
MéDio	Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor moderado. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais moderado.
Baixo	Danos materiais: locais próximos a propriedades de valor reduzido. Danos ambientais: locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Fonte: ABNT NBR 11682:2009

A norma estabelece que o fator de segurança mínimo a ser adotado no projeto, de acordo com os níveis de segurança preconizados estão apresentados nas Tabelas 4 e 5, devendo ser determinados conforme a Tabela 6, a mesma apresenta as associações relevante as análises de estabilidade interna e externa do maciço.

Em contrapartida, ABNT NBR 11682 :2009, apresenta os níveis de segurança mínimos para determinação de um fator de segurança mínimo, e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6– Fatores de segurança mínimos para deslizamentos

Nível de segurança contra danos a vidas humanas Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Alto	MéDio	Baixo
	<b>Alto</b>	1,5	1,5
<b>MéDio</b>	1,5	1,4	1,3
<b>Baixo</b>	1,4	1,3	1,2

NOTA 1 No caso de grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança da tabela acima devem ser majorados em 10%. Alternativamente,

---

pode ser usado o enfoque semiprobabilístico constante no Anexo D da NBR11682:2009.

NOTA 2 No caso de instabilidade de lascas/blocos rochosos, podem ser utilizados fatores de segurança parciais, incluindo os parâmetros de peso específico, ângulo de atrito e coesão em função das incertezas sobre estes parâmetros. O método de cálculo deve ainda considerar um fator de segurança mínimo de 1,1. Este caso deve ser julgado pelo engenheiro civil geotécnico.

NOTA 3 Esta tabela não se aplica aos casos de rastejos, voçorocas, ravinas e queda ou rolamento de blocos.

---

Fonte: ABNT 2009

### **3.6.2 Métodos de análise**

As técnicas e métodos de estabilização de taludes são estruturas e procedimentos a serem empregadas para a estabilidade de taludes, impedindo assim o seu rompimento. Segundo Carvalho (1991), a técnica que será adotada no tratamento da instabilidade deve partir das soluções mais simples e de menor custo, só adotando outras mais complexas e caras quando as primeiras se mostrarem inviáveis ou inadequadas.

A análise determinística requer que se obtenham valores fixos dos parâmetros de resistência ao cisalhamento, pois, a partir deles, obtém-se o FS e, conseqüentemente, o estado de estabilidade do talude (SOUZA E VIEIRA, 2007).

Gerscovich (2012) cita que este tipo de análise vem sendo criticada por muitos projetistas, pois não considera as incertezas geradas nos valores de parâmetros do solo, que ocorrem devido a erros nos procedimentos de ensaios ou pela pequena quantidade de amostras. Outra crítica realizada em relação a este tipo de análise é o fato de apresentar apenas o valor de FS, que não indica, por exemplo, como o talude funciona e qual dos parâmetros influencia com maior intensidade a sua estabilidade.

Segundo Fabrício (2006) e Tonus (2009), o método encontra-se dividido em dois grupos: análise de tensões ou deslocamentos e a teoria do equilíbrio limite. No primeiro, destaca-se o uso do método dos elementos finitos, que não será abordado neste trabalho, enquanto que no segundo, são utilizados métodos mais tradicionais,

com maior facilidade de aplicação, sendo que entre eles, encontram-se métodos que consideram a massa rompida como um corpo único, em cunha ou em fatias.

Os métodos de análise de estabilidade conforme o CESEC/UFPR (2016) deve ser previsto uma análise dos taludes que se encontram a estáveis nos diversos tipos de obras geotécnicas, analisando as condições de solicitação, para permitir a execução de projetos mais viáveis economicamente e tecnicamente.

Além disso, deve-se examinar a possibilidade de que os de taludes naturais ou construídos pelo homem causam os escorregamentos, verificando parâmetros de resistência, condições de fluxo, escorregamentos que acontecem em razão dos mecanismos de ruptura ou naturais e da influência de fatores ambientais e investigar as alternativas de medidas preventivas e corretivas que possam ser necessárias (CESEC/UFPR, 2016, p. 29).

#### 3.6.2.1 Método de equilíbrio limite (Método das fatias)

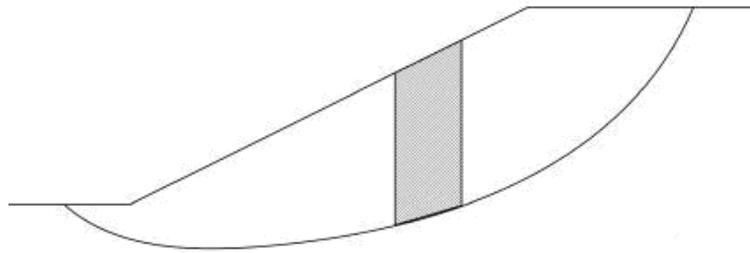
De acordo com Massad (2010), os métodos do equilíbrio limite partem dos seguintes pressupostos:

- a) o material rompe bruscamente, sem apresentar deformação, ou seja, possui comportamento rígido-plástico;
- b) as equações de equilíbrio estático são apenas válidas até a iminência da ruptura, passando então, a possuir um comportamento dinâmico e;
- c) o coeficiente de segurança (FS) é constante ao longo da superfície de ruptura, ignorando-se assim, fenômenos de ruptura progressiva.

Os problemas de estabilidade, utilizando este método, possuem mais incógnitas do que o número de equações limites disponíveis (MASSAD, 2010).

A aplicação do método de equilíbrio limite é realizada em uma superfície de deslizamento, que pode conter uma forma plana, circular, poligonal ou mista, e efetuar o cálculo do equilíbrio da massa de solo, apresentando o talude dividido em fatias (Figura 7). Neste método, deve-se tomar o cuidado para que a base da fatia seja composta de um mesmo material e o seu topo não deve possuir descontinuidades.

Figura 7- Representação de fatia de um talude



Fonte: adaptado de Usace (2003) apud Tonus (2009)

Para Gerscovich (2012), as tensões normais, e o equilíbrio de forças é dividido em cada fatia, sendo que, as tensões normais na base da fatia como sendo geradas pelo peso de solo contido na mesma. Calculando-se então, o equilíbrio do conjunto através da equação de equilíbrio de momentos em relação ao centro do círculo, considerando os pesos e as forças tangenciais na base das fatias.

A comparação dos métodos de equilíbrio limite resulta na verificação das diferenças entre métodos ligadas as equações da estática que são satisfeitas, nas forças entre fatias consideradas para o cálculo (normais e de corte), e na distribuição das forças de interação (KRAHN, 2003).

### 3.6.2.2 Método de Fellenius

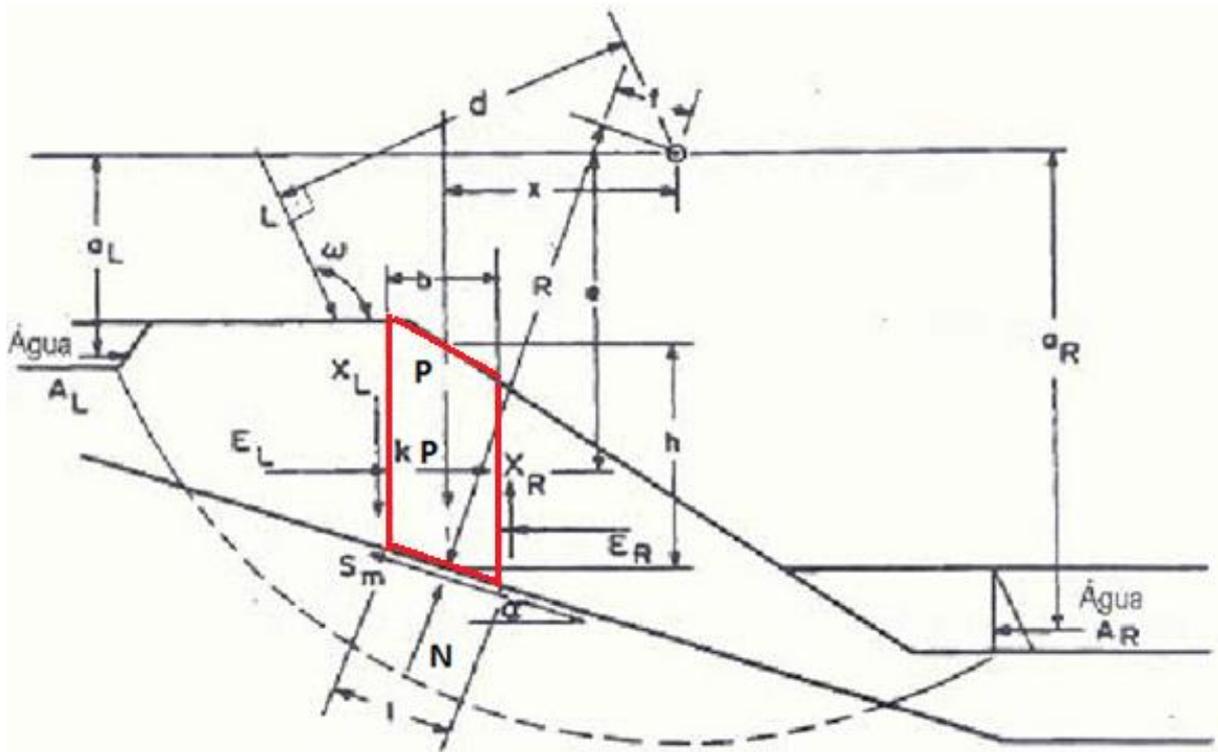
Também conhecido como método sueco, Fellenius (1936) desenvolveu o método baseado na análise estática do volume de material situado acima de uma superfície de possível escorregamento de seção circular, sendo o volume, dividido em fatias (GUIDICINI E NIEBLE, 2013; FIORI, 2015).

O método de Fellenius é realizado por meio de uma equação linear, as forças que interagem entre as fatias são paralelas à base da fatia, neste caso, o cálculo é dispensado. Portanto, esta afirmação não é válida, porque para as forças por serem paralelas à base da fatia, não podem ter a mesma inclinação em todas as fatias quando se muda para a fatia seguinte a inclinação muda (FREDLUND, 1977)

Para calcular o FS do talude, pode-se utilizar a Equação 2, baseada na Figura 8, que apresenta os parâmetros envolvidos na análise de estabilidade de taludes para uma determinada fatia de solo ( $c'$   $\phi'$ ), de peso  $P_t$ , largura  $b$ , altura  $h$ , comprimento do arco na base da fatia  $l$  e ângulo de inclinação da base da fatia com a horizontal  $\alpha$  (FIORI, 2015; GERSCOVICH, 2012; MASSAD, 2010).

$$FS = \frac{\sum [c'.l + tg\phi'.(P.\cos\alpha - u.l)]}{\sum P \sin\alpha} \quad [\text{Equação 2}]$$

Figura 8- Parâmetros envolvidos na análise de estabilidade de taludes



Fonte: adaptado de Horst (2007)

Gerscovich (2012) comenta que o método é bastante conservador. Segundo Fiori (2015), o método de Fellenius superestima o FS em torno de 15% em relação ao método Bishop, tendendo a valores baixos de FS. Contudo, em condições de elevadas poropressões e em círculos muito profundos, o método tende a resultar em valores pouco confiáveis. Em contrapartida, Massad (2010), cita, que o método de Fellenius continua sendo usado devido a sua simplicidade.

### 3.6.2.3 Método Simplificado de Bishop

O método representa uma modificação do método de Fellenius, ou seja, com superfície de ruptura circular, podendo ser adaptado para outras superfícies e utilizando o método de fatias (FIORI, 2015).

O método de Bishop tem como objetivo principal a análise de superfícies circulares, sendo que, pode ser aplicado a superfícies não circulares. Portanto, no método Bishop o cálculo do fator de segurança é realizado ignorando as forças de corte entre as fatias, satisfazendo apenas o equilíbrio de momentos (ZHU, 2008).

Esta hipótese despreza as componentes tangenciais dos esforços entre as fatias, sendo assim, o método não considera as componentes horizontais das forças interlamelares (GERSCOVICH, 2012). Conforme Strauss (1998), a força normal atua no centro da base da fatia e é derivada do equilíbrio das forças na direção vertical.

Neste método, o FS é determinado por equilíbrio de momentos e aparece nos dois lados da equação, assim, a solução resulta de um processo iterativo. Arbitra-se um valor de FS<sub>i</sub> para o cálculo de  $M\alpha$  (Equação 3), geralmente utilizando-se o valor de FS obtido pela equação do método de Fellenius (Equação 2). Com o valor de  $M\alpha$  obtêm-se o resultado para o valor de FS (Equação 4). Se o valor obtido para FS não for o mesmo arbitrado para FS<sub>i</sub>, o novo valor de FS<sub>i</sub> deve ser adotado para uma nova estimativa de  $M\alpha$ , até alcançar a convergência do processo, que é relativamente rápida (FIORI, 2015; GERSCOVICH, 2012).

$$M\alpha = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\text{tg}\varphi' \cdot \text{tg}\alpha}{FS_i} \right) \quad [\text{Equação 3}]$$

onde, FS<sub>i</sub> = fator de segurança arbitrado

$$FS = \frac{\sum [c' \cdot b + (P - u \cdot b) \text{tg}\varphi'] \frac{1}{M\alpha}}{\sum P \cdot \sin \alpha} \quad [\text{Equação 4}]$$

onde, b = base da fatia e  $b = l \cdot \cos \alpha$ .

Segundo Silva (2010), o método simplificado de Bishop, possui erro associado a métodos mais rigorosos e precisos, no valor máximo de 7%, sendo, na maioria dos casos inferior a 2%, sendo este, um dos motivos da sua grande aplicação.

### 3.6.2.4 Método de Spencer

O método de Spencer é um método rigoroso sendo que, este método satisfaz todas as equações de equilíbrio (forças e momentos). No método de Spencer as forças de interação entre fatias (X e E) são substituídas por uma resultante estaticamente equivalente, Q, que atua no ponto médio da base da respectiva fatia (FERREIRA, 2012).

Este método também foi desenvolvido para casos de rupturas circulares, e depois adaptado para outras superfícies de ruptura e utiliza o método das fatias. Ele é considerado um método rigoroso, pois atende a todas as equações de equilíbrio de forças e de momentos, sendo necessário para tal, o uso de programas computacionais de forma iterativa, como, por exemplo, o software matemático Matlab ou Fortran (CRUZ, 2009).

Das (2013) enfatiza que o método de Spencer leva em consideração, além do momento, as forças entre as fatias, possuindo assim, dois fatores de segurança, enquanto que o método de Bishop simplificado, leva em conta apenas as equações de equilíbrio em relação ao momento.

Segundo Strauss (1998), supõem-se que as forças entre as fatias sejam de inclinação constante em todo talude, fazendo com que a força normal à base do talude seja representada pela Equação 5.

$$N = \frac{[P - (E_R - E_L) \cdot \tan \phi' - \frac{1}{FS} (c' \cdot L \cdot \sin \alpha - u \cdot l \cdot \sin \alpha)]}{M \alpha} \quad \text{[Equação 5]}$$

onde:

N = força normal total na base da fatia de comprimento l

E<sub>R</sub> = força horizontal entre fatias lado direito

E<sub>L</sub> = força horizontal entre fatias lado esquerdo

Conforme Strauss (1998) , a equação do FS relacionado aos momentos é idêntica à do método de Bishop simplificado (Equação 4). Já a equação do FS relacionado às forças pode ser determinada através de um somatório de forças horizontais. Considerando que as forças entre as fatias se anulam, pode-se então, encontrar o Fator de Segurança pela Equação 6.

$$FS_f = \frac{\sum c'.l.\cos\alpha + (P-u.l).tg\phi'.\cos\alpha}{\sum P.\sin\alpha + \sum K.P \pm A - L \cos\omega}$$

[Equação 6]

onde:

$FS_f$  = fator de segurança relacionado às forças

$K$  = coeficiente sísmico para determinar a força dinâmica horizontal

$A$  = resultante da pressão de água nas fissuras

$L$  = linha de força (força por unidade de comprimento)

$\omega$  = ângulo da linha de carga com a horizontal

Para a obtenção do valor de FS final, deve-se repetir os cálculos até que o equilíbrio de forças e momentos (dois fatores de segurança) seja satisfeito para todas as fatias, tornando-se um valor único. Tal procedimento é possível com uso de programas computacionais, como os citados anteriormente. O método de Spencer por ser mais complexo, perde espaço na área de engenharia quando se trata de solos convencionais, principalmente para o método de Bishop simplificado que possui maior simplicidade de aplicação, e como afirma Silva (2010), possui resultados precisos comparados a outros métodos (HORST, 2007).

## 4 METODOLOGIA

Este estudo foi elaborado através do método de pesquisa qualitativa, sendo definida como estratégia de confecção e apresentação dos resultados a “Pesquisa explicativa”.

De acordo com o autor Gil (2008) a pesquisa explicativa é elaborada buscando a identificar os fatores determinantes ou que pelo menos possa de alguma forma contribuir para a ocorrência dos respectivos fenômenos.

A pesquisa explicativa tem o principal objetivo de aprofundar o conhecimento da realidade, trazendo a explicação para a razão e o porquê dos fenômenos. Ainda busca identificar os motivos determinantes para o acontecimento de um determinado fenômeno ou que contribuíram e de que forma o acontecimento deste fenômeno (GIL, 2008).

Esse método de pesquisa pode ser entendido ainda, como, uma extensão das pesquisas do tipo exploratória, assim como da pesquisa descritiva (GIL, 2008). A abordagem qualitativa trabalha os resultados buscando respostas dentro do contexto analisado, procurando explicar o seu acontecimento e consequências (ARBACHE, 2013).

Para Arbache (2013), pesquisas explicativas são pesquisas mais profundas que tem como objetivo estudar os motivos determinantes para a ocorrência dos fenômenos.

A pesquisa bibliográfica é executada através de estudo em fontes já existentes, como livros e artigos científicos (ARBACHE, 2013).

Dessa forma, o referencial teórico do presente estudo foi constituído a partir de consultas bibliográficas realizadas por meio de leituras em trabalhos acadêmicos disponíveis na internet, em sites confiáveis como Scielo, Portal da Capes, Google Acadêmico, dentre outros. A constituição do presente trabalho se deu no período de Setembro de 2018.

## 5 APRESENTAÇÃO ANÁLISE DO ESTUDO

Para a correta execução de projetos de taludes rodoviários de modo econômico e seguros, é necessário um prévio estudo e uma análise da estabilidade de taludes existentes no local.

Deve-se levar em conta alguns quesitos, como: a probabilidade de escorregamento; a ocorrência de deslizamentos anteriormente; executar obras de estabilização em taludes já rompidos entre outros, objetivando evitar problemas futuros, já que qualquer mudança que seja executada na geometria do terreno, poderá torná-lo estável ou instável, sendo necessária a execução de estruturas mais complexas para a estabilização.

É de suma importância a verificação de áreas de riscos de instabilidade, sendo que esta identificação pode ser realizada através de mapas geológicos; mapas topográficos; fotografias aéreas e de satélites e evidências no terreno. Vale destacar, que a partir de investigações de campo pode ser realizado o levantamento topográfico; estudo de estruturas geológicas; exploração do subsolo (sondagens e ensaios); fatores ambientais.

Pelo apresentado, foi realizada análise dos principais processos de instabilização de taludes rodoviários e soluções existente na literatura.

### 5.1 PROCESSOS DE INSTABILIZAÇÃO DE TALUDES RODOVIÁRIOS

No campo da Geotécnica, a estabilização de taludes pode ser considerada como um dos principais problemas a serem solucionados e controlados no Brasil. Os condicionantes naturais, tais como de ordem geológica, hidrológica ou geotécnica, tornam a estabilidade de um maciço de solo e rocha de grande complexidade.

A análise e o controle da estabilidade de encostas estão relacionados a processos de construção e a recuperação.

No Brasil, é vigente a NBR 11682 (ABNT 2009) - Estabilidade de encostas, que possui o objetivo de prescrever as condições exigíveis no estudo e controle da estabilidade de encostas naturais e de taludes resultantes de cortes e aterros instalados em encostas. Além disso, condições de projetos, execução, controle e observação de obras de estabilização. Por meio das análises de

estabilidade realizadas é possível dimensionar e verificar as soluções geotécnicas propostas para os dois pontos em estudo e garantir a estabilidade das seções, adotando o fator de segurança mínimo de 1,40.

Os taludes abertos para a construção de rodovia estão expostos à ação da chuva, tornando-se suscetíveis à ação da erosão. Essas podem interromper o fluxo de tráfego, causar acidentes e comprometer a estrutura física do sistema rodoviário de uma região, além de causar degradações ambientais, como o assoreamento de cursos d'água (MARTINS, 2015).

Os problemas mais comuns encontrados ao longo de rodovias são as erosões e os deslizamentos de taludes de corte e aterros, os quais, muitas vezes, são resultantes do deficiente acabamento da terraplanagem executada durante obras de construção das estradas e das próprias características dos solos (PARANÁ, 2000).

Menezes (2003) define erosão como o processo de destruição do solo e sua remoção partícula a partícula ou fragmento a fragmento, principalmente pela ação da água, porém, em certas circunstâncias, também através da ação dos ventos (erosão eólica). Quando a erosão é produzida essencialmente pela ação das águas do escoamento superficial, constata-se a ocorrência de erosão laminar ou erosão em sulcos. As erosões por sulcos ocorrem em solos menos homogêneos, e/ou em casos de descargas d'água concentradas, o carregamento do solo concentra-se em determinadas regiões. O processo evolui originando sulcos de superfície da encosta, geralmente aproximadamente paralelos entre si e direcionados segundo a direção do escoamento. (MENEZES, 2003) Destaca Menezes (2003) que, esse tipo de problema é comum nos cortes em solos saprolíticos, intensificando-se naqueles com predominância de material siltoso.

É importante o estudo de processos de instabilização de taludes deriva do crescente número de obras de rodovias realizadas e existentes dentre as quais a grande maioria necessita da regularização e contenção de terreno sobre o qual a obra será realizada, garantindo assim segurança de usuários.

Em relação às causas de um escorregamento, vários fatores podem contribuir, entre os externos como o aumento de peso de talude ou sobrecarga, diminuição da resistência ao cisalhamento do material e alterações geométricas.

Segundo Carvalho (1991) os principais problemas de estabilidade de taludes que impactam a malha rodoviária são: a erosão, a desagregação superficial,

o escorregamento em corte, o escorregamento em aterro, o recalque em aterro, a queda de blocos e o rolamento de blocos.

Para Massad (2003), explica a grande ocorrência dos escorregamentos nos períodos de alta precipitação pluviométrica, sendo que, a concomitância de fatores externos nas estações chuvosas ou pouco depois, quando a umidade aumenta o peso específico do material do talude, devido a presença de água, reduzindo assim, a resistência ao cisalhamento pelo aumento de pressão neutra.

Megale (2011), afirma que os principais problemas que pode ser encontrado nos taludes rodoviários podem ser:

- a) a erosão em sulcos e a erosão diferenciada;
- b) erosão em plataforma longitudinal;
- c) erosão ligada a obras de drenage;
- d) erosão desagregação superficial;
- e) escorregamentos devido a inclinação acentuada
- f) escorregamentos devido a descontinuidade;
- g) escorregamentos devido à saturação do maciço..

Segundo Megale (2011) a ocorrência de problemas na estabilidade em taludes acontece pela ausência de conhecimento das características físicas do ambiente e na relação existente entre tipo de solo, de rocha, drenagem, presença ou ausência de vegetação.

Problemas enfrentados nas rodovias é consequência de projetos que foram realizados de forma equivocada, com diagnósticos deficientes e erros em seu desenvolvimento, da execução inadequada do projeto, devido à falta de fiscalização in loco da obra, e por fim, pela adoção de rotinas insuficientes de manutenção/conservação das faces e drenagens dos taludes (NETO, 2016).

Através da revisão bibliográfica, na Tabela 7 é apresentada os principais problemas verificados em taludes localizados em faixas de domínio de rodovias no Brasil.

Tabela 7- Principais instabilidades em taludes construídos em faixas de domínio de rodovias

<b>TIPO DE PROBLEMA</b>	<b>FORMA DE OCORRÊNCIA</b>	<b>PRINCIPAIS CAUSAS</b>
<b>Desagregação superficial</b>	Empastilhamento superior em taludes de cortes	- Secagem e umedecimento do material; - Presença argilo-mineral expansivo ou

		desconfinamento do material.
<b>Erosão</b>	Em taludes de corte e aterro, podendo estar localizado longitudinalmente ao longo da plataforma ou associado a obras de drenagem.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deficiência de drenagem externa e interna;</li> <li>- Proteção superficial;</li> <li>- Concentração de água superficial.</li> </ul>
<b>Escorregamento em corte</b>	Pode ser superficial ou profundo de formas e dimensões variadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inclinação acentuada do talude;</li> <li>- Saturação do solo;</li> <li>- Evolução por erosão.</li> <li>- Alteração de drenagens</li> </ul>
<b>Escorregamento em aterro</b>	Pode atingir borda e corpo do aterro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deficiência na compactação;</li> <li>- Deficiência de fundação;</li> <li>- Deficiência de drenagem;</li> <li>- Deficiência de proteção superficial;</li> <li>- Inclinação inadequação da inclinação;</li> </ul>
<b>Escorregamento em corte</b>	Pode ser superficial ou profundo de formas e dimensões variadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Saturação do solo</li> <li>- Evolução por erosão</li> <li>- Alteração em drenagens</li> </ul>

Fonte: Autor (2018)

Para análises de estabilidade de um talude, métodos matemáticos e numéricos são utilizados. Do ponto de vista teórico, um talude se apresenta como um material submetido a três campos de força: peso próprio e sobrecargas, fluxo de água e resistência ao cisalhamento. Basicamente, os métodos usados para análises de estabilidade consistem em calcular as tensões em todos os pontos do meio e compará-las com as tensões resistentes (método de análise de tensões) e ou em isolar massas arbitrárias e estudar as condições de equilíbrio, pesquisando o equilíbrio mais desfavorável (método de equilíbrio limite). Das análises de estabilidade de taludes, destacam-se os métodos das cunhas, das lamelas e o do talude infinito.

O ser humano em sua maioria é fator determinante nas transformações sofridas pelas encostas. O uso e ocupação do solo nos determinados pontos onde foram realizados cortes no maciço rochoso para construção da rodovia é o ponto de partida para possibilitar e acelerar o surgimento dos processos de instabilização. Ações (ou falta de ações) que também podem contribuir para acelerar e ampliar os processos de instabilizações, são fatores como: a falta de conservação e preservação das encostas e suas matas ciliares e manutenção esporádicas nos

sistemas de drenagens dos taludes, dentre outros, esses fatores são fundamentais para maior tempo de conservação das encostas

## 5.2 PRINCIPAIS SOLUÇÕES PARA SISTEMAS DE CONTENÇÕES

O tratamento superficial é uma medida apenas preventiva com a finalidade de evitar a perda do material do talude por processos de erosões ou da devido a problemas de infiltração de água no solo. Tal tratamento pode ser realizado recobrando o talude com vegetação rasteira, com telas ou até mesmo com argamassa ou concreto jateado.

Quando a remoção total ou parcial do maciço não é viável, existem uma serie de métodos de contenção de taludes que podem ser empregadas em obras civis que se encaixam em situações de taludes em faixas de domínio de rodovias, objeto principal deste trabalho.

Almeida (2016) explica os principais métodos de contenção de taludes empregados como soluções em processos de instabilização.

### 5.2.1 Mudanças na geometria do Talude

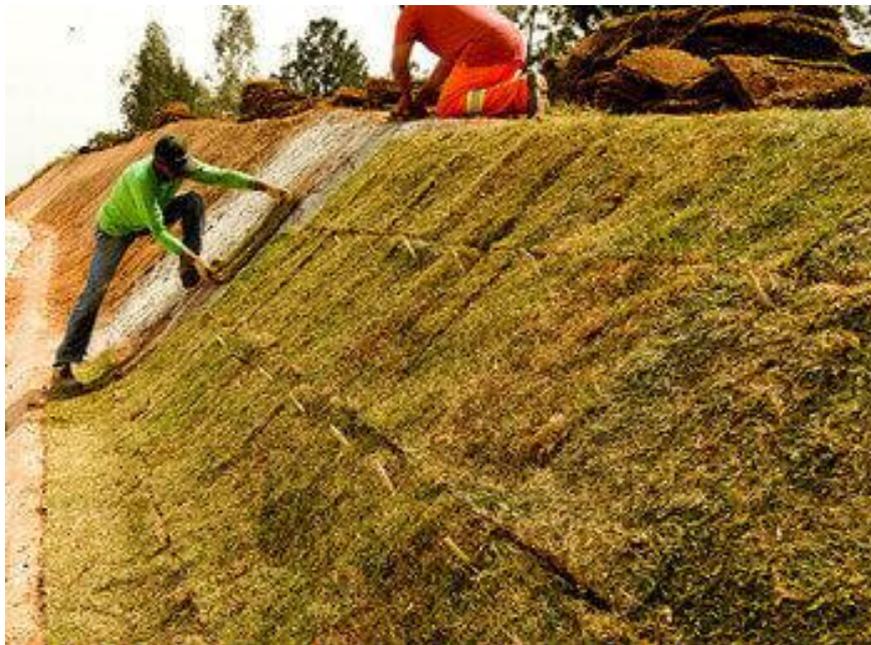
Chamado de retaludamento de um talude, o conjunto de mudanças na sua geometria, geralmente feito por meio de cortes nas partes mais elevadas com o intuito de regularizar a superfície e, sempre que possível, recompor artificialmente condições de topografia de maior estabilidade para o material que as constitui, sendo destinado a um talude específico ou à alteração de todo o perfil de uma encosta (GUIDICINI & NIEBLE, 2013).

A diminuição da inclinação do talude é um dos métodos mais simples e baratos de ser realizado. Trata-se de diminuir o ângulo do talude, como também, a sua altura. No entanto, a sua aplicação pode não ser suficiente para manter a estabilidade do talude, pois a redução da altura ou ângulo pode implicar na diminuição da tensão normal e, conseqüentemente, na força de atrito resistente, não tornando o talude estável apenas com a sua execução (GUIDICINI & NIEBLE, 2013).

### 5.2.2 Revestimento do talude

Revestir o talude com vegetação, telas, argamassa ou concreto jateado é uma importante utilização para evitar a erosão superficial, ou seja, a perda de material do maciço, sendo considerada uma técnica de prevenção. O plantio de grama é uma técnica de baixo custo e de fácil execução, como pode ser observado na Figura 9 (MASSAD, 2010).

Figura 9- Plantio de grama em talude



Fonte: Central da grama (2016)

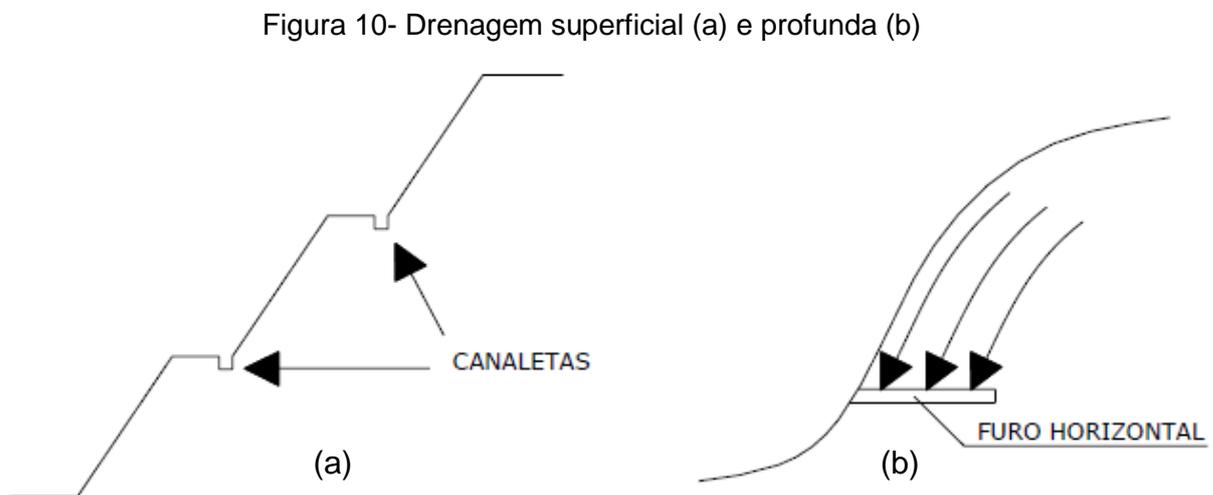
### 5.2.3 Drenagem

Considerando os inúmeros efeitos que a água pode causar no talude, um sistema de drenagem deve ser instalado antes da execução do fechamento da parede externa do talude para garantir que o fluxo de água ocorra de maneira adequada para fora do mesmo. Este procedimento evita que apareçam pressões de água sobre as paredes construídas, sejam elas de concreto ou de outro material, por pressões que possam desestabilizar o maciço de solo, aumentando o peso específico do material, entre outros efeitos (DYMINSKI, 2005).

Pode ocorrer de duas maneiras: drenagem superficial ou profunda (Figura 10 a,b). Na superficial, instala-se canaletas com o objetivo de capturar e escoar águas

pluviais a fim de diminuir a sua infiltração e a erosão do solo. Esta execução apresenta além de custo baixo, a não exigência de pessoal especializado (CAPUTO, 2003; GERSCOVICH, 2009; MASSAD, 2010).

Já a drenagem profunda, tem como objetivo abaixar o nível freático através de drenos profundos, reduzindo assim, as pressões neutras, e aumentando então, a estabilidade do talude. Esta solução requer a observação através de piezômetros e medidores de nível d'água, como também de maquinário para a execução dos furos horizontais para inserção dos drenos, e pessoal especializado. Os custos para a aplicação deste sistema são considerados baixos, o esquema é apresentado na Figura 10 (GERSCOVICH, 2009; MASSAD, 2010).



Fonte: adaptado Massad (2010)

#### 5.2.4 Materiais alternativos

De acordo com Mano (2000), outros materiais que apresentam resistência maior que os solos podem ser utilizados como elementos de reforço como, por exemplo, pneus, bambus e Poliestireno Expandido (EPS).

#### 5.2.5 Reforço do solo

Segundo Massad (2010), consiste na introdução de elementos que tornam o solo do aterro compactado mais resistente, é utilizado sobre o solo do talude

rompido, mais resistente à tração, a fim de aumentar a resistência do mesmo, sendo que para tal, existem no mercado diferentes técnicas e materiais.

Esses materiais podem ser extensíveis, como os produtos geossintéticos que são as mantas de geotêxtis e as telas (geogrelhas), ou rígidos, como as tiras metálicas utilizadas na terra armada e as telas utilizadas na Terramesh (MASSAD, 2010).

O método de execução utilizado é o *Down-Top*, ou seja, de baixo para cima, sendo que a cada camada de solo compactado, faz-se o intercalamento com uma camada de elemento resistente (MASSAD, 2010).

Os geossintéticos são formados por mantas geotêxtis que são produzidos a partir de polímeros sintéticos e podem exercer função de reforço, drenagem, filtração, separação proteção e controle de erosão, enquanto que as telas de geogrelha possuem apenas função de reforço, cuja forma (de grelha) permite interação com o meio em que está confinada, gerando no solo uma resistência à tração e baixa deformabilidade. Deste modo, o emprego destes reforços possibilita a construção de aterros sobre solos moles, como também, a de muros íngremes improváveis de serem viabilizados em solos não reforçados (EHRlich & BECKER, 2009).

Na terra armada são inseridos no solo fitas ou tiras metálicas, que possuem tratamento anticorrosão, e o paramento do talude é realizado com blocos de concreto, onde são fixadas as tiras, para evitar o seu deslocamento excessivo no solo (DYMINSKI, 2005).

No sistema de Terramesh, utilizam-se malhas metálicas hexagonais de dupla torção que possuem resistência ao movimento do solo devido ao atrito entre solo e arame, e, partículas de solos que travam as malhas. Ele é composto por duas partes, fabricados pelo mesmo material e possuindo a mesma resistência à tração, uma delas é o paramento externo e a outra parte é o painel de ancoragem (MACCAFERRI, 2016).

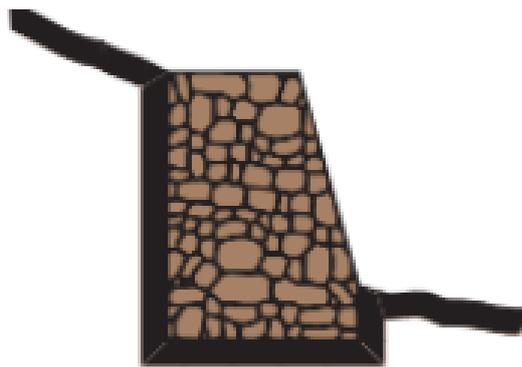
Muros de arrimo são estruturas corridas de contenção de parede vertical ou quase vertical, apoiadas em uma fundação rasa ou profunda. Podem ser construídos em alvenaria (tijolos ou pedras) ou em concreto (simples ou armado), ou ainda, de elementos especiais. Os muros de arrimo podem ser de vários tipos: gravidade (construídos de alvenaria, concreto, gabiões ou pneus), de flexão (com ou sem contraforte) e com ou sem tirantes (DYMINSKI, 2005).

Os Gabiões funcionam da mesma maneira que o muro de arrimo. As gaiolas são preenchidas com pedra britada. Isso garante que a estrutura seja drenada e deformável. Durante a execução é importante a disposição das pedras, de modo que o arranjo fique denso. A proteção da estrutura metálica pode ser feita com PVC ou pelo argamassamento da superfície externa (DYMINSKI, 2005).

#### 5.2.5.1 Muro de pedra seca

O Muro de pedra seca (Figura 11) é uma estrutura a qual é realizado o embricamento de pedras arrumadas manualmente, uma solução que possui grande facilidade de construção e baixo custo, sendo indicado para Taludes de até 1,5m de altura (ALMEIDA,2016).

Figura 11- Muro de pedra seca

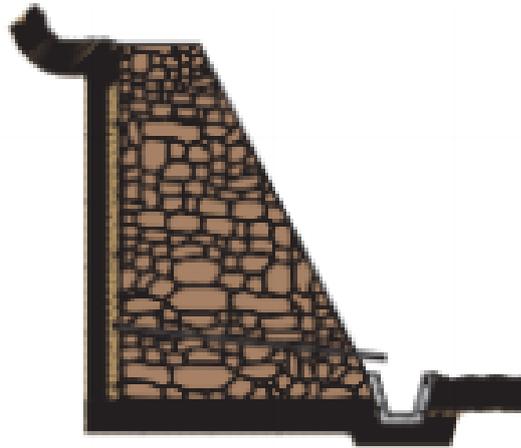


Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.2 Muro de pedra argamassada

O muro de pedra argamassada mostrado na Figura 12, difere do muro de pedra seca, devido relação aos vazios que são preenchidos com argamassa, é uma solução que pode ser aplicada a taludes de até 3,0m de altura, é de fácil execução e viável economicamente (ALMEIDA,2016).

Figura 12- Muro de pedra argamassada



Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.3 Muro de concreto ciclópico

Estrutura do Muro de concreto ciclópico apresentada na Figura 13 é executada de concreto e agregados de dimensões de dimensões variadas. É indicado para taludes com alturas superiores a 3,0m, sendo uma solução viavelmente econômica para alturas reduzidas (ALMEIDA,2016).

Figura 13- Muro de concreto ciclótipo

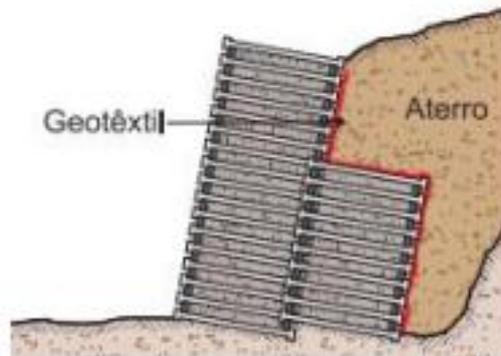


Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.4 Muro de arrimo celular de peças pré-moldadas de concreto

Sistema estrutural presente no Muro de arrimo celular de peças pré-moldadas de concreto é composto por peças de concreto que se encaixam entre si (ALMEIDA,2016). São soluções viáveis em obras rodoviárias em áreas íngremes e locais pouco estáveis, a estrutura é mostrada na Figura 14.

Figura 14- Muro de arrimo celular de peças pré-moldadas de concreto

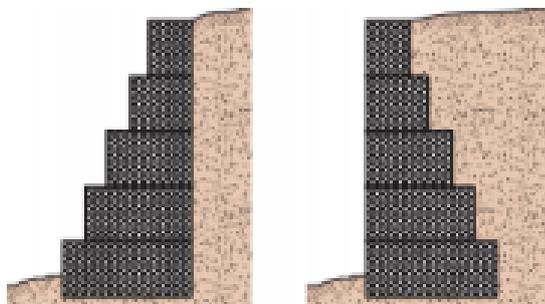


Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.5 Muro de arrimo de gabiões

Os Muros de arrimo de gabiões (Figura 15) são formados por redes de aço e preenchidas por pedras, sendo indicado para utilização como muros de contenção, protegendo as margens de cursos d'água, controlando a erosão, além disso é muito empregado em obras de emergências (ALMEIDA,2016).

Figura 15- Muro de arrimo de gabiões



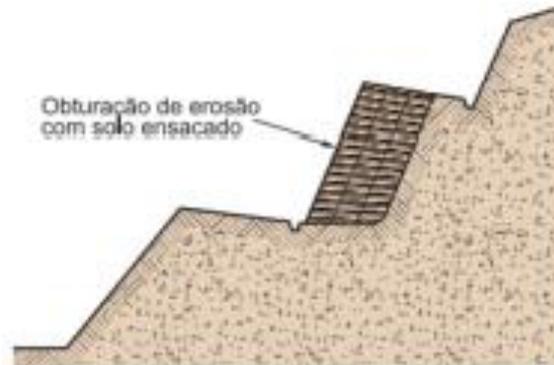
Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.6 Muro de arrimo de solo-cimento ensacado

É uma das soluções mais antigas. Sendo relativamente barata e não exigindo mão-de-obra especializada é a mais comum em caso de alturas até 5m. Pode ser aplicada em aterros, sendo construída previamente, ou em casos em que a encosta já existe. A proporção entre a altura e a base varia entre 0,4 e 0,7. É indispensável o uso de dreno e das barbacãs para recolhimento da água (ALMEIDA,2016). A estrutura do muro de arrimo de solo-cimento ensacado mostrado na Figura 16, é formado pela mistura de cimento e solo ensacados, geralmente aplicados como

solução para proteção superficial de taludes e muros de contenções a margens de cursos de água.

Figura 16- Muro de arrimo de solo-cimento ensacado

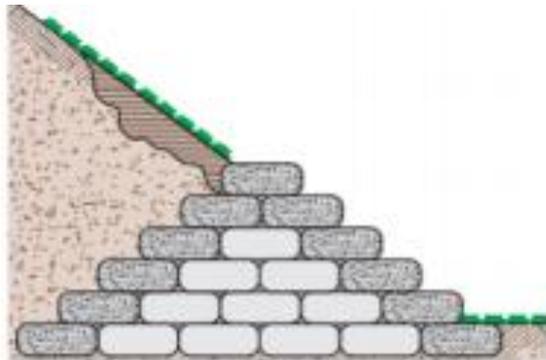


Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.7 Muro de arrimo Bolsacreto

Estrutura do muro de arrimo Bolsacreto (Figura 17), é produzida a partir de formas têxteis preenchidos com concreto fino, aplicado em contenção de taludes, proteção de margens e para controlar erosão.

Figura 17- Muro de arrimo Bolsacreto

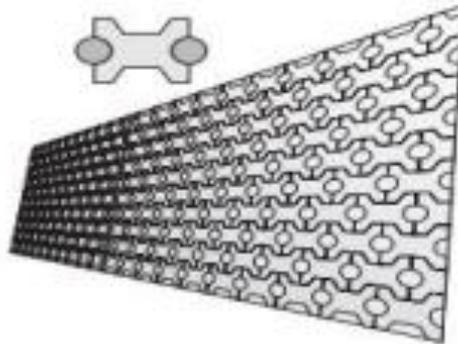


Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.8 Muro de arrimo "Rimobloco"

O Muro de arrimo Rimobloco é composto por estrutura que se utiliza peças pré-moldadas de concreto com chumbadores de 3m de comprimento, usado geralmente, em soluções aplicadas em contenções em corte e aterro (ALMEIDA,2016). O muro de arrimo Rimobloco é apresentado na Figura 18.

Figura 18- Muro de arrimo Rimobloco



Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.9 Muro em “L” de concreto

O Muro em L de concreto (Figura 19) é construído em concreto armado, e é uma estrutura que possibilita seções transversais esbeltas, seu uso é associado a execução de aterros ou reaterros.

Figura 19- Muro em L de concreto

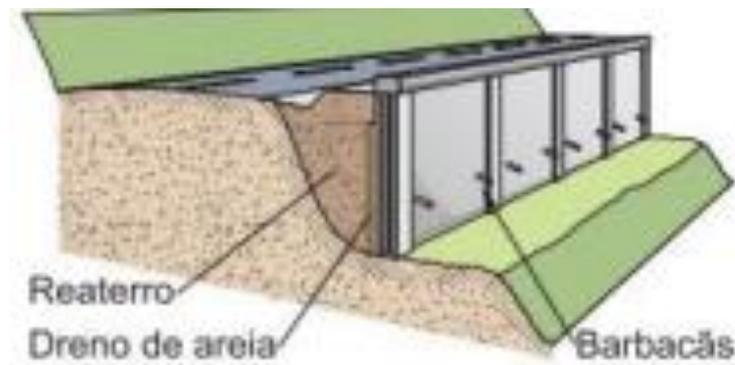


Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.10 Cortina cravada

A Cortina cravada é um tipo de estrutura comumente usada como contenção de obras provisórias que usa estacas ou perfis cravados no terreno, a cortina cravada é mostrada na Figura 20.

Figura 20- Cortina cravada



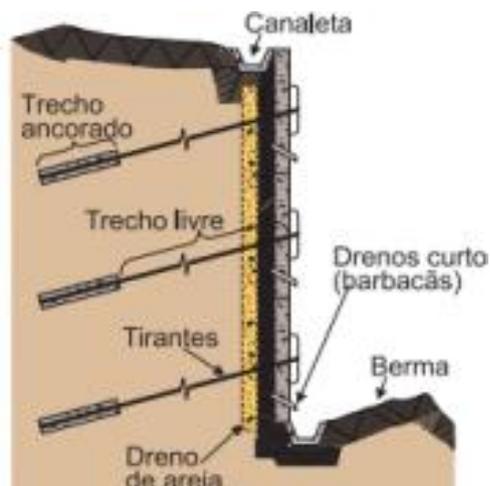
Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.11 Cortina de concreto atirantada

Segundo More (2003), a utilização de cortinas ancoradas se constitui na solução técnica mais adequada, quando se procura conter os elevados esforços horizontais advindos de escavações de grandes alturas, com um mínimo de deslocamentos do maciço de solo e das estruturas localizadas nas vizinhanças.

A Cortina de concreto atirantada é uma estrutura muito empregada em diferentes situações geométricas, em solos ou em condições hidrológicas, formadas por muros delgados contidos por tirantes protendidos e é ilustrada pela Figura 21.

Figura 21- Cortina de concreto atirantada

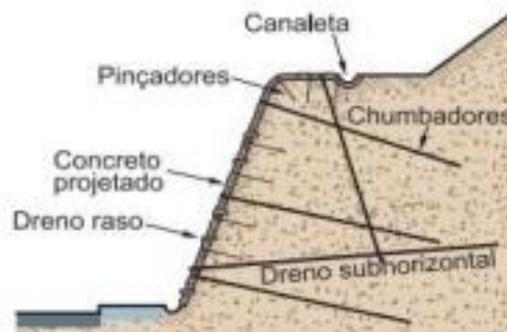


Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.12 Tela Metálica fixada por chumbadores e recoberta por concreto projetado

A Tela metálica fixada por chumbadores e recobertas por concreto projetado, apresentada na Figura 22 é uma estrutura empregada em taludes de corte em solo, onde há reforço do maciço pela introdução de chumbadores.

Figura 22- Tela Metálica fixada por chumbadores e recoberta por concreto projetado

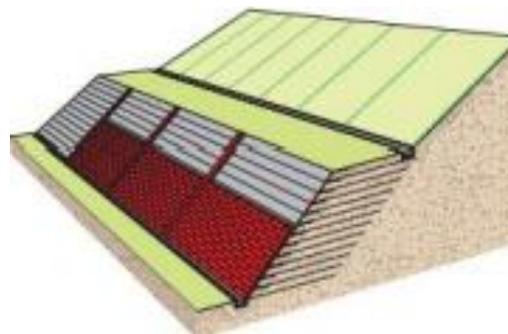


Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.5.13 Estruturas de contenção com solo reforçados com geossintéticos

Nos dias atuais, o emprego desses materiais está cada vez maior e novos tipos vêm sendo desenvolvidos. Eles podem ser utilizados para separação de materiais, para reforçar aterros, filtração, drenagem e para fazer barreiras impermeáveis (ALMEIDA, 2016). São consideradas, estruturas de contenção em solo reforçado com geossintéticos (Figura 23) são maciços intercalados com aterro e material de característica geossintética aplicadas na solução de contenção de taludes.

Figura 23- Estruturas de contenção com solo reforçado com geossintéticos

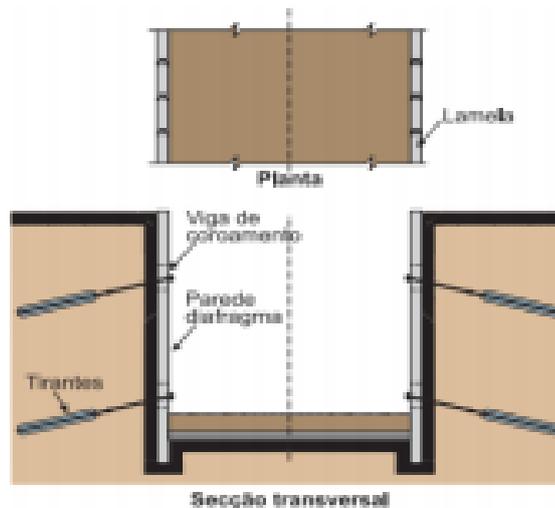


Fonte: Almeida (2016)

#### 5.2.4.14 Paredes-diafragma

Paredes diafragmas são definidas por cortinas de concreto armado moldadas no solo em painéis sucessivos, e é empregado na execução de escavações profundas junto a edificações preexistentes, a estrutura de Paredes-diafragma é apresentada na Figura 24.

Figura 24- Paredes- diafragma



Fonte: Almeida (2016)

É preciso salientar que para escolher a estrutura de contenção em cada situação específica, devido às suas particularidades, devem ser levadas em consideração algumas variáveis.

As variáveis que devem ser observadas antes da tomada de uma decisão são: a localidade da obra, o tipo de solo presente, estabilidade local e total do maciço, análise da viabilidade econômica, técnica e ambiental (ARAUJO, 2010).

Deve-se analisar cada caso e escolher a técnica e método mais adequado. Através da consulta a profissional da área geotécnica, em posse destas variáveis, o engenheiro civil, de acordo com seu conhecimento e buscando as informações necessárias, se for o caso, deve optar por aquela solução que resulte em viabilidade econômica, assegurando a total segurança e durabilidade da estrutura de contenção (HASHIZUME, 2006).

### 5.3 ESTUDO DE CASO

Será abordado a seguir, um estudo de caso apresentado por Roesner (2015), a qual o mesmo, analisou e propôs a estabilização de um talude na Rodovia SC-435.

O autor cita que em 2008, no Estado de Santa Catarina ocorreram chuvas de alta intensidade, ocasionando deslizamentos de terra e inundações, causando expressivos danos à malha rodoviária do estado, em que dentre as áreas atingidas, está o entorno da rodovia SC- 435 (ROESNER, 2015).

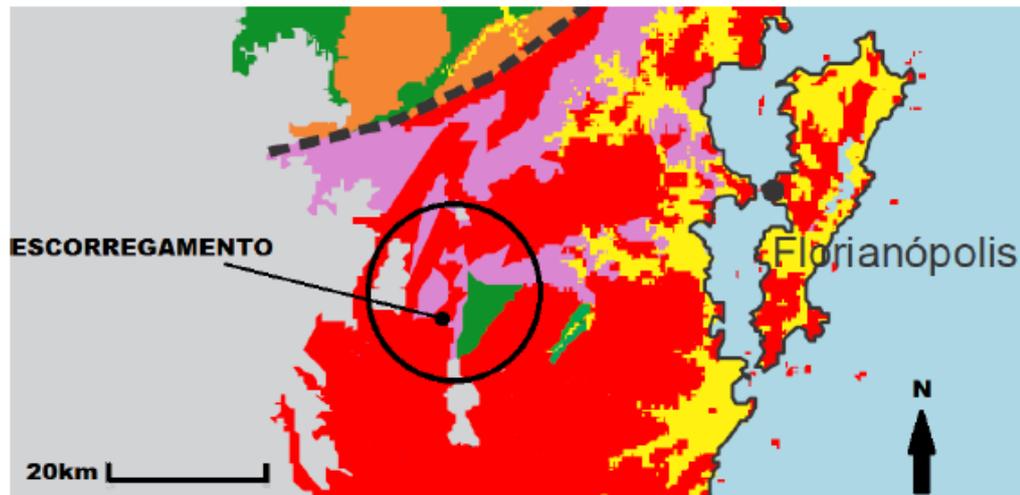
Tal rodovia é responsável pelo escoamento da produção industrial deste município, se destacando a agricultura, olericultura e a fabricação de laticínio (ROESNER, 2015).

#### **5.3.1 Caracterização da Área**

A área apresentada para o seguinte estudo, situa-se no km 13,8 da SC-435 no Município de Águas Mornas do Estado de Santa Catarina.

Roesner (2015) explica que o escorregamento está inserido na região Centro-Leste, (Figura 25) em uma área onde é possível identificar a presença de diversos Domínios Geológicos, como o Batólitos Florianópolis, Complexos Metavulcanos sedimentares, Complexos Granito Gnáissico-Migmáticos e Sedimentação Gonduânica.

Figura 25- Domínios Geológicos



Legenda:

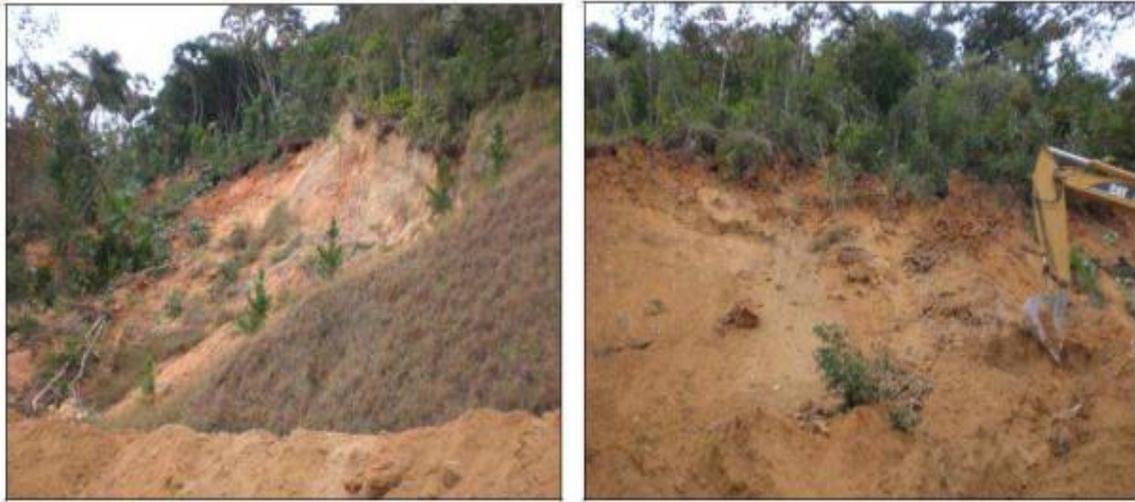
- Batólitos Florianópolis e Paranagua
- Complexos Granito-Gnaissico-Migmatíticos
- Complexos Metavulcanossedimentares
- Sedimentação Gonduânica

Fonte: Roesner (2015)

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais *apud* Roesner (2015) o segmento da rodovia SC-435 instabilizado está inserido no Complexo Granito-Gnáissico Migmatítico no Terreno Florianópolis, e corresponde ao Complexo Águas Mornas.

Roesner (2015) explica em seu trabalho que o segmento instabilizado da diretriz da SC-435 se acha ocupado por Litotipos da Faixa Granito-Gnáissica Santa Rosa de Lima-Tijucas, relativamente intemperizados-alterados. O granitoide do local se apresenta bastante intemperizado na forma de solo saprolítico. Além disso, o perfil vertical de intemperização do granitoide apresentava no seu metro inicial um Solo Maduro, pedologicamente evoluído, constituído de uma argila plástica, coesiva, coerente, seca, marrom, seguido de um solo saprolítico, residual, constituído de um silte argiloso, pouco arenoso, medianamente plástico, incoerente, seco, róseo amarelado, de acordo com o que é mostrado na Figura 26.

Figura 26- Vista Geral do Segmento Instabilizado

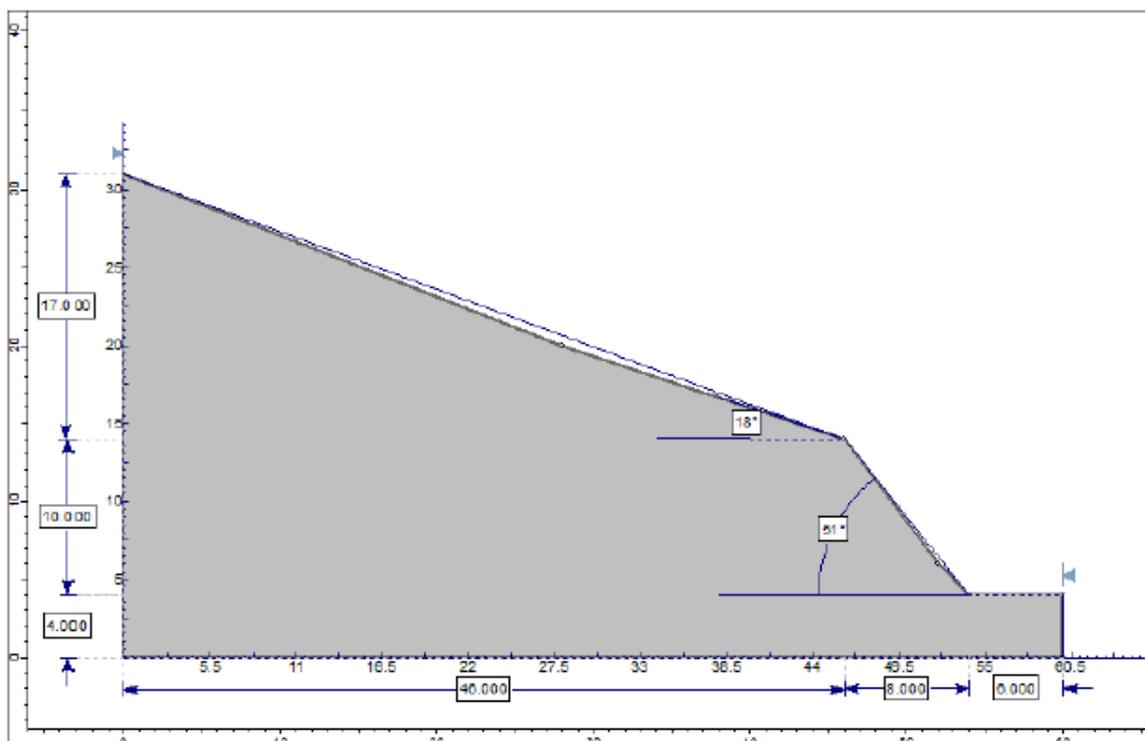


Fonte: Roesner (2015)

Roesner (2015) também estudou a topografia da encosta instabilizada, e deparou com uma encosta que se mostra ascendente e íngreme, especialmente na diretriz do eixo da ruptura. Lateralmente a região de instabilização se mostra menos enérgica, conforme mostra a Figura 27, a qual ilustra a topografia anterior a ruptura.

A altura determinada foi de 31 metros, sendo a cota do local em relação ao mar de 406 metros (ROESNER, 2015).

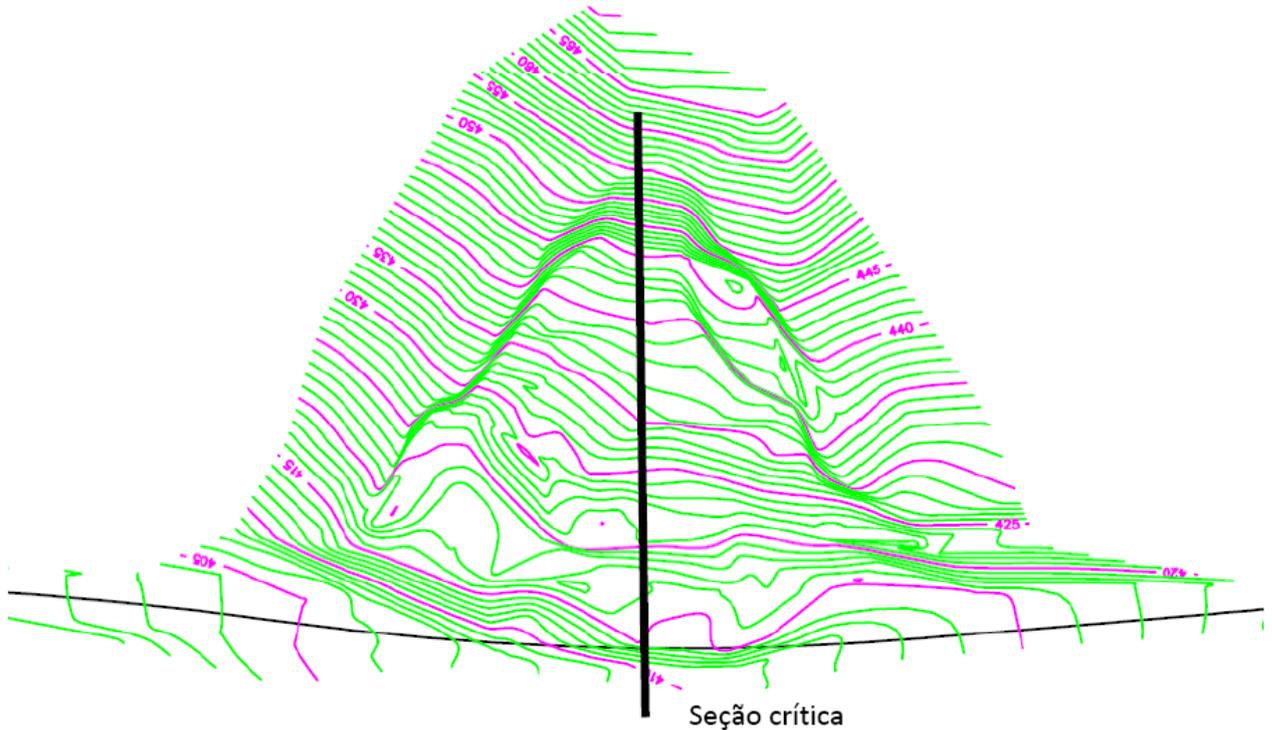
Figura 27- Seção de corte do talude antes do escorregamento



Fonte: Roesner (2015)

As curvas de nível do talude apresentadas por Roesner (2015) são apresentadas na Figura 28, bem como a superfície crítica posterior a ruptura, a qual foi definida como a mais íngreme, apresentando segundo o autor os maiores ângulos de inclinação.

Figura 28- Curvas de nível e seção crítica após a ruptura



Fonte: Roesner (2015)

### 5.3.2 Solução para estabilidade do Talude

Roesner (2015) apresentou o retaludamento como solução para que fosse estabelecido as condições de estabilidade do talude analisado, além disso a execução de um sistema de drenagem e proteção superficial (impermeabilização, vegetação) do talude, de modo a reduzir a infiltração d'água no terreno e conduzir o escoamento superficial, evitando e ou amenizando os processos erosivos.

#### 5.3.2.1 Proteção superficial com cobertura vegetal

Roesner (2015) explica que, a proteção superficial com cobertura vegetal, tem como função também aumentar a resistência das camadas superficiais de solo pela

presença das raízes. Além disso, o efeito da vegetação deve ser o de travar os solos a pequenas profundidades, entre 10 a 20 cm, oferecendo-lhes uma cobertura mais densa e homogênea, o que diminuirá o escoamento da água diretamente sobre o solo.

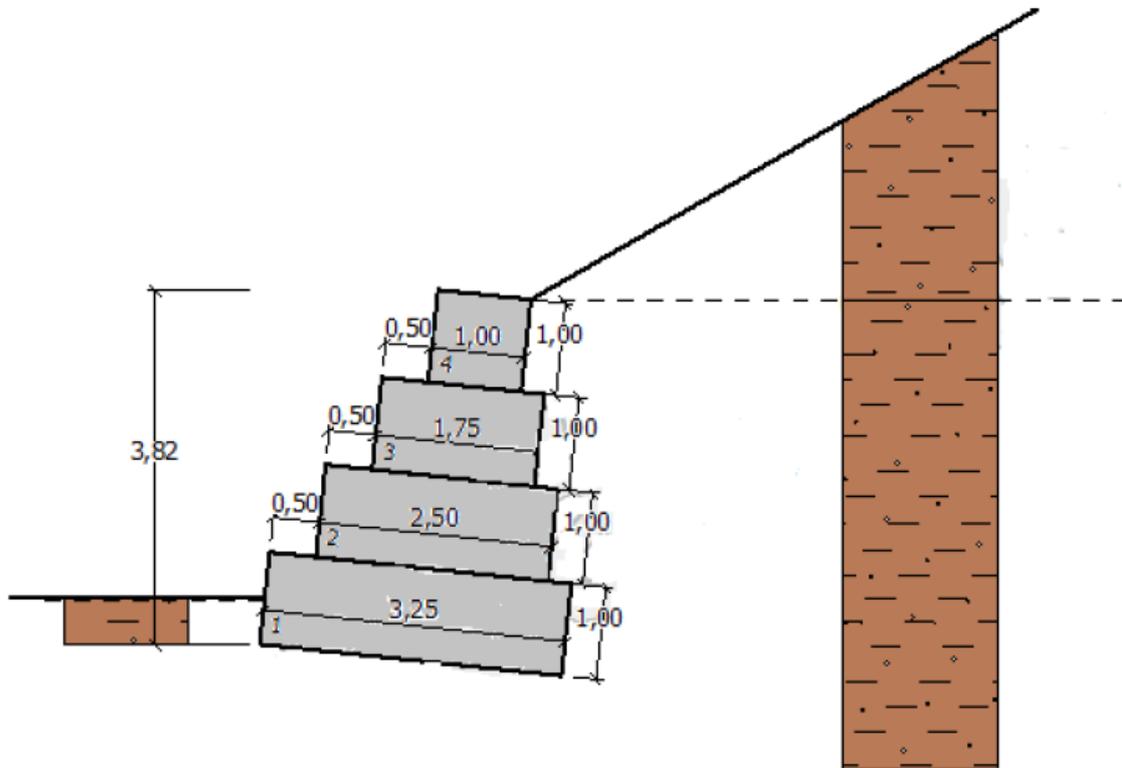
A técnica utilizada neste caso é o revestimento com grama em placas, em virtude de o processo ser mais rápido e com uma maior eficiência. Nesse caso, a grama é cortada em placas com cerca de 30 a 50 cm de largura cujo solo já está enraizado e disposta uniformemente sobre a superfície do talude (ROESNER, 2015).

#### 5.3.2.2 Adoção do Muro de Gabião como estrutura de reforço

A segunda solução de estabilização proposta apresentada no trabalho de Roesner (2015) consistiu na execução de muros gabiões no pé do talude. O muro proposto é composto por quatro camadas, com diferentes geometrias, conforme Figura 29.

A estrutura possui inclinação de  $6^\circ$  (no sentido horário em relação a vertical) possuía como objetivo de aumentar a segurança contra o tombamento, o seu desenho parte de uma largura e altura de 1m para a fiada superior de muro e aumenta-se 0,50m por cada metro de altura total do muro na face externa. Para facilitar a execução da obra foi proposto um degrau de 0,25m a cada metro na face interior, para permitir a utilização de cofragens na fase de montagem (ROESNER, 2015).

Figura 29- Geometria do muro de gabiões



Fonte: Roesner (2015)

Para a execução do muro de gabião devem-se levar em consideração aspectos importantes que garantam a função ao qual foi projetado. Contudo, é necessário se ater aos seguintes cuidados:

- Preparação da base, afim de garantir que o muro será assentado em terreno compatível com o admitido em projeto;
- Execução do sistema de drenagem, através de drenos junto à face do muro, drenos sub-horizontais, drenagem superficial etc.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos referentes à estabilização de taludes em rodovias juntamente com suas formas de contenção se tornam necessários graças aos grandes desastres provocados pelos deslizamentos de terras. Nesse sentido, devido ao processo de urbanização, desmatamentos e chuvas, provavelmente problemas como os escorregamentos, não param e tendem a aumentar. Portanto, o engenheiro civil deve estar preparado e o estudo relacionado a prevenção se torna cada vez mais necessário em âmbito do ensino superior.

Frente ao embasamento sobre as causas, prevenção e a correção de processos de instabilidade de taludes rodoviários, com o trabalho pode-se concluir que estudar o comportamento dos solos na forma em que se encontram nas encostas, tem sido alvo de inúmeras pesquisas e analisar as possíveis causas de instabilidade poder entender e explicar a fenomenologia que desencadeou o processo de ruptura, tem sido uma busca constante no meio técnico, a fim de poder propor soluções e aventar estratégias para evitar novos casos em regiões semelhantes ou com apreciável risco.

Casos mais comum de instabilidade é o escorregamento, tombamentos, queda de árvores, erosões em maciços de rodovias e ferrovias envolvem situações extremas nas quais os solos e as rochas são solicitados além da sua resistência, gerando um prejuízo de dimensões econômicas e sociais imensuráveis, podendo culminar na perda de vidas humanas, situação está que não possui reparo técnico nem monetário.

Quando existe a ruptura de um maciço, em especial nas obras urbanas ou de grande fluxo, como é o caso de rodovias, a recuperação dessa área exige custos elevados, que poderiam ser evitados ou minimizados, caso um estudo sobre a área tivesse sido realizado de maneira adequada, considerando todos os parâmetros referentes à sua estabilização.

Quando existe instabilidade em um talude, é ideal que a solução proposta tenha finalidade de proteger a estrada assim como outras estruturas nos arredores. As possíveis soluções para um talude que se encontra em tal situação é remoção total ou parcial do maciço, aplicação de estrutura de contenção emergencial ou contenções definitivas que se sejam viáveis tecnicamente e economicamente.

Deve-se preocupar com relação ao uso do solo, principalmente das áreas de morro, onde destaca-se a ocupação desenfreada e agressiva às encostas. Deve-se verificar constantemente anomalias como, por exemplo, trincas e obstruções e deve ser executado periodicamente a limpeza periódica do sistema de drenagem, evitando assim possíveis problemas futuros e garantindo a segurança dos moradores de áreas de risco e melhorar a qualidade de vida nas encostas.

As inúmeras soluções de engenharia geotécnica para estabilidade de taludes apresentadas neste trabalho indicam que os benefícios gerados em um projeto de retaludamento podem ser otimizados quando a aplicação de novas tecnologias é considerada. Cabe ao engenheiro compreender as ocasiões onde o custo da obra não será fator definidor, fazendo uma análise detalhada das opções que o mercado oferece e analisando os parâmetros que influenciam nas questões econômicas, construtivas, ambientais e sociais.

Por fim, é importante ressaltar que os sistemas associados sugeridos neste trabalho dependem, para sua efetiva instalação, de projetos, variáveis e cálculos. Os projetos e cálculos devem contemplar as características geotécnicas e topográficas, a inclinação do talude, o espaço livre disponível, os riscos existentes e as necessidades da comunidade, que deverão ser observadas e atendidas, ressaltando que estas variáveis são indispensáveis e devem sempre ser consideradas em conjunto.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. D. C. de. **Avaliações orçamentárias para estabilização de talude na rodovia BR-230**. Trabalho de conclusão de curso. 2016. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

ARBACHE, Ana Paula Ribeiro Bastos. **Metodologia científica: Apostila do Curso de MBA em Gerenciamento de Projetos** – FGV, BH, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6459**. Determinação do Limite de Liquidez: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ **NBR 6484**: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_ **NBR 7180**. Solo: Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ **NBR 9820**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_ **NBR11682**: Estabilidade de taludes e encostas. Rio de Janeiro, 2009.

AUGUSTO FILHO, O. “**Caracterização Geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica**”. 1ª Conferencia Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, 1992.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. **Estabilidade de taludes**. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998.

BANDEIRA, C e FLORIANO, E.P. Avaliação de impacto ambiental de rodovias. **Caderno didático** nº8, 1a ed. Santa Rosa, 2004. 16p. Disponível em: < <http://rodoviasverdes.ufsc.br>>. Acesso em: 07.set. 2018.

BIANCHINI, M. R. **Estudo da instabilidade de um talude rodoviário em São Jerônimo/RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

BRASIL. **Ministério dos Transportes**. Política ambiental do Ministério dos

Transportes. Brasília, 2002. 109 p.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 6ª edição, v. 1, 1989.

CARVALHO, P. A. S. **Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e solução de seus problemas**. São Paulo: IPT, 1991.

CICHINELLI, G. Debates Técnicos- Contenções. **Construção Mercado**, n.47,2005.

COLLISON, A. J. C.; ANDERSON, M. G.; LLOYD, D. M. Impact of Vegetation on Slope Stability in a Humid Tropical Environment: A Modelling Approach. Proc. **Instn. Civ. Engrs. Wat., Marit. & Energy**. Vol. 112, June, p. 168-175.

CRUZ, Paulo T. da. **100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção**, projeto. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

DAS, B. M. **Fundamento de Engenharia Geotécnica**. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 632 p.

DELL'AVANZI, Eduardo; SAYÃO, Alberto S. F. J. **Avaliação da probabilidade de ruptura de taludes**. In: **XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica** – COBRAMSEG, volume I, 1998.

DYMINSKI, A. S. **Noções de Estabilidade de Taludes e Contenções**. 2005. 28 f. Notas de Aulas –Departamento de Engenharia da Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

FABRÍCIO, João Vicente Falabella. **Análises probabilísticas da estabilidade de taludes e contenções**. Dissertação de Mestrado, (Pós-Graduação em Engenharia Civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, J. L. F. **Análise de estabilidade de taludes pelos métodos de Jambu e Spencer**. Mestrado Integrado em engenharia Civil-2011/2012, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal,2012.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro**. 13. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2012

FREDLUND, D.G., KRAHN, J. (1977). Comparison of slope stability methods of analysis. **Canadian Geotechnical Journal**, Vol. 14, pp.429-439.

FREDLUND, D.G. Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, Vol. 132, 286–321, 1997.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Normas de apresentação tabular**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv23907.pdf>>. Acesso em: 18 outubro 2018.

GERSCOVICH, D. M. S. **Apostila Estabilidade de Taludes**. Faculdade de Engenharia/UERJ. Departamento de Estruturas e Fundações. Rio de Janeiro, 2009.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, R. C.; ALBUQUERQUE FILHO, L. H ; SILVA, J. T. G. da. (2002). Geotechnical analysis of eroded sediments in a exhausted pit mine using CPTU tests. Anais do IV Environmental Geotechnics. Rio de Janeiro/RJ. Vol 1, 323-328.

GUIDICIN I, Guido, NIEBLE, Carlos Manuel. Estabilidade de taludes. São Paulo, 2ª edições: **Oficina de Textos**, 2016.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. The landslide handbook – A guide to understanding landslides. **United States Geological Survey Circular** 1325, 129p, Virginia. 2008.

HORST, Rafael. **Avaliação dos métodos para cálculo de estabilidade de taludes em maciço terroso**. 2007. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade regional do noroeste do estado do Rio Grande do Sul - Departamento de tecnologia, Ijuí, 2007.

KRAHN, J. (2003). The 2001 R.M. Hardy lecture: The limits of limit equilibrium analyses. **Canadian Geotechnical Journal**, Vol.40, pp. 643-660.

LACERDA, Willy A. (1997) – **Stability of Natural Slopes along the Tropical Coast of Brazil**. In: Proceedings of the International Symposium on Recent Developments in Soil and Paviment Mechanics (1.: Rio de Janeiro : 1997) Anais. A. A. Balkema

LIMA, A. P.; SAYÃO, A. S. F. J.; GERSCOVICH, D. M. S. **Deformabilidade e estabilidade de taludes em solo grampeado**. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) –

Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

LONDE, Patrícia R.; BITAR, Norma A. Importância do uso de vegetação para contenção e combate à erosão em taludes do lixão desativado no município de Patos de Minas (MG). Perquirere, Patos de Minas. UNIPAM, 8(2):224-249, dez. 2011.

MANO, E.B., 2000, *Polímeros como Materiais de Engenharia*, Edgard Blucher, São Paulo.

MARANGON, Márcio. Notas de aula: **Tópicos em Geotecnia e Obras de terra**. UFJF, 2008. Disponível em: [http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot\\_Unid03-GeoContencoes-Parte01-2006-2.pdf](http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid03-GeoContencoes-Parte01-2006-2.pdf). Acesso em: 08/09/2018.

MARCHETTI, S. 1975, "A New In Situ Test for the Measurement of Horizontal Soil Deformability", Proceedings. Conference, Raleigh, N.C., Vol. 2, pp. 255-259.

MARQUES, J. M.. **Estudo da Variabilidade dos Instrumentos Instalados em Blocos Chave da Barragem de Itaipu para Determinação de Modos de Falha**. Em: XXX SNGB – Seminário Nacional de Grandes Barragens, Maio, 10-12. Comitê Brasileiro de Grandes Barragens – CBDB, Foz do Iguaçu, 2015.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa. Editora UFV. 2015. 270p.

MASSAD, F. Obras de Terra – Curso Básico de Geotecnia. Editora Oficina de Textos, 2003.

MAYA, P. C. A., SAYAO, A. S. F. J., SALLES, R. O. (2010). Aplicação de retroanálise probabilística para avaliação da estabilidade de taludes. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 12, n. 1, p. 43-52, jan./abr.

MEGALE, S. M. C. **Avaliação do enraizamento e brotação na propagação de espécies potenciais para revegetação e estabilização de taludes**. Itajubá, 2011. Disponível em: < <https://saturno.unifei.edu.br/bim/0038929.pdf>> Acesso em: 28. Mai. 2018.

MENEZES, S. M. **Geotecnia Aplicada A Projetos: Obras Em Encostas De Solo**. (Curso de Pós-Graduação em Gestão E Inovações Tecnológicas Na Construção). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2003.

MORE, J. Z. P. **Análise numérica do comportamento de cortinas atirantadas em solos**. 2003.120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO, Rio de Janeiro.

MORETTO, R. L. **Análise dos efeito da vegetação na proteção de taludes rodoviários e proposição de alternativas de revegetação na BR-386**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

NACCI, D. C. **Obra geotécnica de ampliação do Aeroporto Internacional Salgado Filho, aterro sobre argilas moles**. Porto Alegre/RS, 2000. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Programa de PósGraduação em Engenharia Civil – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S.N.A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, 1998.

ORTIGÃO, J. R. A. **Introdução a Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**. São Paulo. 2007.

PARANÁ, **SECRETARIA DE ESTADO DOS TRANSPORTES, DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM**. Manual De Instruções Ambientais Para Obras Rodoviárias. Curitiba: SETR/DER e UFPR/FUPEF, 2000. 246p.

PINTO, C. S. **Curso básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

PRANDINI, L.F.; GUIDICINI, G.; BOTTURA, J.A.; PONÇANO, W.L.; SANTOS, A.R. **Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 38 p., 1976. (Relatório n. 1074).

RAIMUNDO, H.A.; **ASPECTOS GEOTÉCNICOS E PLUVIOMÉTRICOS ASSOCIADOS A INSTABILIDADE DE ENCOSTAS EM FLORIANÓPOLIS SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

ROESNER, F.J.; **RETROANÁLISE E PROPOSTA DE ESTABILIZAÇÃO DE UM TALUDE DA RODOVIA SC-435.** (Trabalho de Conclusão de Curso). Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2015.

SCHNAID, F. Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações. **Oficina de textos.** São Paulo. Pp 189. 2000.

SILVA, A. F. P. **Desenvolvimento de um programa de cálculo automático de estabilidade de taludes pelo Método de Correia.** Mestrado integrado em Engenharia Civil - 2009/2010, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2010.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.579- 585, 2006.

SIQUEIRA, et al. Micorrizas e degradação do solo: caracterização, efeitos e ação recuperadora. **Tópicos em ciência do solo.** Vol 1(2007)-Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007

SOUZA de, Vitor A. D.; VIEIRA, Vicente de P. P. B. **Análise probabilística da estabilidade do talude de jusante de uma barragem de terra em regime de operação.** Comitê brasileiro de barragens. Xxvii seminário nacional de grandes barragens. Belém – PA

STOCHALAK, J.. **“The classification of slope deposit from engineering geological point of view”.** En: Anais. International Congress of Engineering Geology, 2, v.2: V27.1- V27.12. IAEG. São Paulo, 1974

STRAUSS, Marcos. **Análise de estabilidade de talude do aterro sanitário da zona norte de Porto Alegre.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

TERZAGHI, K.V. Principles of soil mechanics: I – phenomena of cohesion of clay. **Engineering News Record**. Vol. 95 n.19, pp.742-746. 1962.

TONUS, B. P. A. **Estabilidade de taludes: Avaliação dos métodos de equilíbrio limite aplicados a uma encosta coluvionar e residual da serra do mar paranaense**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, UFPR, Curitiba, 2009.

TORRES FILHO, Rodrigo J. **Comparação entre análises determinísticas e probabilísticas de estabilidade de taludes em barragens: estudo de caso**. 2015. 83 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

VARNES, D. J. Landslide types and processes. In: ECKEL, E. B. (Ed.). “Special report 29: landslides and engineering practice”. Washington, DC: **National Research Council**, 1958. p 20-47.

VIEIRA, V. P. P. B. (2005) – “Análise de risco em recursos hídricos”, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre.

WOLLE, C. M. “**Taludes naturais - mecanismos de instabilização e critérios de segurança**”. 1980, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo.

ZHU, D,Y. (2008). Investigations on the accuracy of the simplified Bishop method. **Landslides and Engineered Slopes**, pp. 1055-1057, 3009.