

## 4. PROGRAMA DE MONITORAMENTO E CONTROLE DA ESTABILIDADE DOS TALUDES MARGINAIS

### 4.1. INTRODUÇÃO

O monitoramento dos taludes de uma dada região, no qual foi atingida por ação antrópica - modificando seu estado natural, é de fundamental importância. Toda a região que possui certa declividade é potencialmente ativa para deslocamento de massa, sendo que para tal, basta que a Força da Gravidade seja mais forte que a Força de Atrito e Coesão dos Materiais.

Os taludes ou as encostas naturais são definidos como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), originados de processos geológicos e geomorfológicos diversos. Podem apresentar modificações antrópicas, tais como cortes, desmatamentos, introdução de cargas, etc.

Segundo Caputo (1988), sob o nome genérico de taludes compreendem-se quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço de terra, de rocha, ou de ambos. A Figura 4.1 a seguir demonstra a estrutura de um talude.

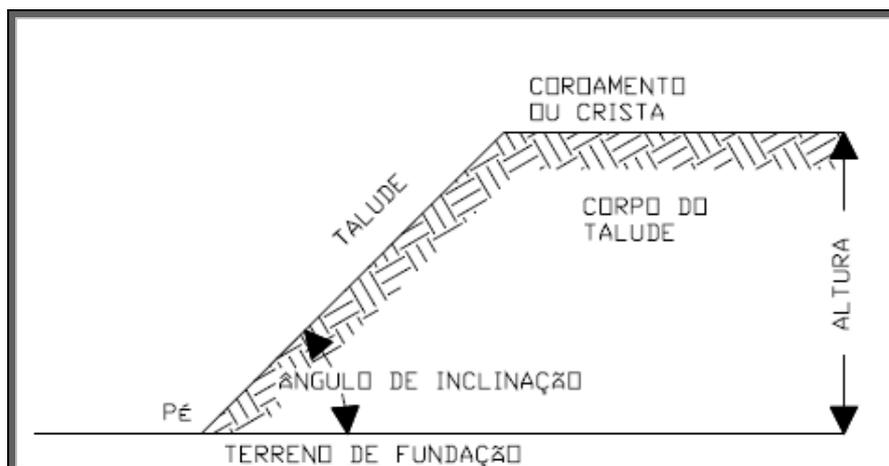


Figura 4.1 Esquema ilustrativo de um talude. Fonte: Caputo, 1988.

O ângulo de um talude natural é o maior ângulo de inclinação para um determinado tipo de solo exposto ao tempo, obtido sem ruptura do equilíbrio do maciço. Conforme Cardoso (2002), nos solos não coesivos (areias) esse ângulo praticamente coincide com o ângulo de atrito interno, e nos solos coesivos (argilas), que são bastante impermeáveis, teoricamente equivale a 90°. No entanto, a presença de fissuras devidas à retração por molhagem e secagem acaba permitindo a entrada de água no corpo do talude, que leva à sua instabilização. Como consequência, o ângulo de talude natural de solos coesivos situa-se em torno dos 40°.

Compreende-se da sua definição que na estabilidade dos taludes interferem condicionantes relativos à natureza dos materiais constituintes e dos agentes perturbadores, quer sejam de natureza geológica, antrópica ou geotécnica.

Fiori (2001) diz que estes condicionantes tornam seu estudo bastante complexo, abrindo horizontes aos especialistas em geologia aplicada, mecânica dos solos e mecânica das rochas. Salieta ainda sua importância, devido aos numerosos acidentes ocorridos e que ocorrem com frequência, em todas as épocas e em todas as partes do mundo, inclusive com perdas de vidas humanas e grandes prejuízos materiais.

Na mecânica dos solos a coesão pode ser definida de uma forma genérica como a resistência ao cisalhamento de um solo quando não há nenhuma pressão externa sobre ele. Esta resistência pode ter três origens:

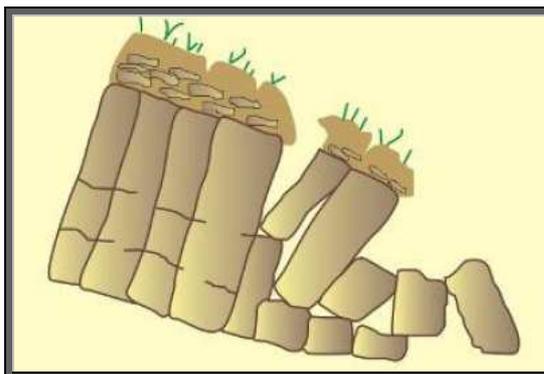
- Em função da presença de um cimento natural que promove um processo de aglutinação dos grãos;
- Devido a ligações exercidas pelo potencial atrativo de natureza molecular ou coloidal; e
- Pelo efeito da pressão capilar na água intersticial do solo.

A coesão é a principal parcela da resistência ao cisalhamento dos solos finos e coesivos, como por exemplo, as argilas, já para os solos granulares ou não coesivos, como as areias, a maior parcela é devida ao ângulo de atrito.

De forma geral os solos são compostos por vários tamanhos de grãos e, portanto vão apresentar tanto a coesão como o ângulo de atrito. No laboratório estes dois valores podem ser obtidos através dos ensaios de cisalhamento direto ou de compressão triaxial (compressão exercida em três dimensões).

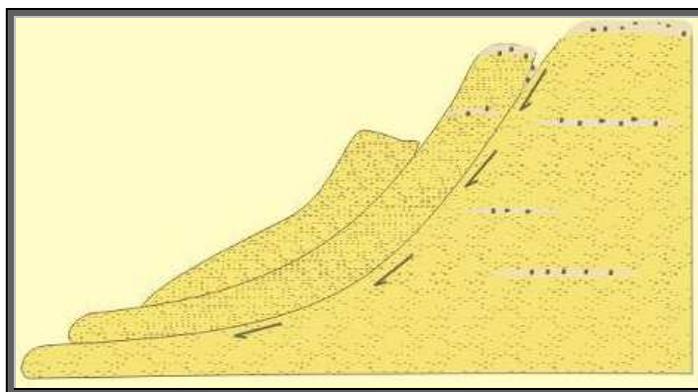
Quanto às formas de instabilidade de maciços terrosos, nem sempre se apresenta bem caracterizadas e definidas, podendo se classificar em três grandes grupos (CAPUTO, 1988b).

Desprendimento de terra ou rocha: é uma porção de solo ou fragmento de rocha que se destaca do resto do maciço, caindo livre e rapidamente (Figura 4.2).



**Figura 4.2 Esquema representativo de um movimento de terreno, o tombamento.**

Escorregamento: é o deslocamento rápido de uma massa de solo ou de rocha que, rompendo-se do maciço, desliza para baixo e para o lado, ao longo de uma superfície de deslizamento (Figura 4.3).



**Figura 4.3 Representação esquemática de um escorregamento múltiplo.**

Rastejo: é o deslocamento lento e contínuo de camadas superficiais sobre camadas mais profundas, com ou sem limite definido entre a massa de terreno que se desloca e a que permanece estacionária, conforme a figura a Figura 4.4.



**Figura 4.4 Exemplo de rastejo (Rio Missouri) – Período de nove meses.**

Assim, no processo de implantação da PCH Taguá, podem ocorrer instabilidades nas encostas, decorrentes do uso do solo, tais como abertura de acessos, jazidas de empréstimo, supressão de vegetação, terraplenagens, criação de bota-foras e as intempéries.

As áreas críticas serão identificadas e mapeadas, a fim de prevenir possíveis escorregamentos que possam ser desencadeados com a implantação do empreendimento garantindo assim, maior estabilidade das áreas marginais.

O monitoramento dos taludes deve ser detalhado e periódico, no qual deve ser analisado evidência de deslocamento de massa anteriormente a instalação do empreendimento, durante sua construção e após o seu término. Este monitoramento deve ser feito a cada 6 (seis) meses, em um período mínimo de 4 (quatro) anos. Para melhor caracterização destes movimentos, tal monitoramento deve ser feito nos períodos chuvosos e de estiagem (verão e inverno).

O procedimento tem natureza preventiva e corretiva e visa reduzir o assoreamento do reservatório da PCH, bem como prevenir acidentes com as estruturas do empreendimento ao todo.

## 4.2. OBJETIVOS

O projeto de monitoramento e controle da instabilidade dos taludes marginais tem como objetivos:

- Identificar os processos de instabilidade para a devida atuação preventiva;
- Garantir a segurança das obras da PCH Taguá;
- Minimizar os processos erosivos do solo;
- Evitar ou minimizar o assoreamento do futuro reservatório.

## 4.3. JUSTIFICATIVA

Para que uma região tenha potencialidade para geração de energia hidrelétrica, é necessário que a mesma, possua duas características físicas essenciais: demanda suficiente de água e desnível natural do terreno. Sendo assim, o local de instalação de um aproveitamento hidrelétrico (no caso uma PCH), no geral, dá-se em regiões com declividades preponderantes e com alto índice de água superficial (pluviométrico) ou subsuperficial.

Haja vista, as características essenciais do meio físico, para a instalação da devida PCH, ficam claro que o local é potencialmente ativo para erosões, no entanto, não considera-se um risco para o

empreendimento como um todo. Para tanto, os monitoramentos das encostas de alta declividade, são essenciais para garantir segurança às estruturas do empreendimento.

#### **4.4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

Os procedimentos necessários para monitorar e diagnosticar taludes instáveis seguem especificados nos itens seguintes.

##### **4.4.1. Levantamento de dados preexistentes**

São dados obtidos a partir de mapas geológicos, geomorfológicos, topográficos e outros relatórios disponíveis. As cartas ou mapas geotécnicos, se existentes, também podem ser bastante úteis, pois possibilitam a compartimentação do terreno referentes às características relacionadas à instabilização do terreno.

Os índices pluviométricos da região, também são muito importantes para este tipo de monitoramento.

##### **4.4.2. Investigações de superfície**

###### **4.4.2.1. Levantamento de Campo**

Objetiva o mapeamento geológico de superfície, a identificação de feições de instabilidade, além de outros aspectos de interesse (surgências de água, vegetação, interferências antrópicas, etc.). Especial atenção deve ser dada às áreas de topo e a base da região instabilizada ou potencialmente instabilizável.

Os principais aspectos que devem ser levantados nas vistorias de campo são:

- Formações Geológicas;
- Perfil de alteração;
- Estruturas geológicas (foliação, fraturas, etc.);
- Instabilizações existentes (tipo e características);
- Feições de movimentação (trincas, degraus, etc.);
- Surgências de água e zonas de saturação;

- Geometria do talude, encostas e processo de instabilização;
- Tipo de cobertura vegetal;
- Interferências antrópicas.

#### 4.4.2.2. Levantamentos Topográficos

As plantas topográficas disponíveis, em geral, de pequena escala, deverão ser utilizadas para a inserção do local estudado na dinâmica regional da área, destacando-se os seguintes aspectos: bacia de contribuição, continuidade da encosta, litologias principais, depósitos, etc.

#### 4.4.2.3. Levantamentos Fotogramétricos

Deverão ser documentadas todas as vistorias de campo com diversas fotografias.

#### 4.4.3. Investigações de Subsuperfície

As investigações de subsuperfície visam complementar ou esclarecer os mecanismos e modelos de instabilização do talude, formulados a partir dos trabalhos de caracterização de superfície. A Tabela 4.1 apresenta os principais métodos de investigação de subsuperfície utilizados na investigação de taludes e encostas.

**Tabela 4.1 Principais métodos de investigação de subsuperfície utilizados na caracterização geológico-geotécnica de taludes e encostas.**

Tipo	Aplicações/Parâmetro
Poços, Tricheiras e cachimbos	Acesso aos diferentes horizontes em maciços terrosos, amostras indeformadas (ensaios de cisalhamento, trincheiras, etc.), ensaios permeabilidade e pedra d'água
Sondagem a trado (manual e mecânica)	Nível d'água, horizontes em maciços terrosos, mostras deformadas (granulometria), ensaios de permeabilidade e pesquisa de jazidas para aterros.
Sondagem a percussão	Nível d'água, horizontes em maciços terrosos e transição solo/rocha, amostras pouco deformadas, ensaio SPT
Sondagem rotativa	Parâmetros anteriores em maciços terrosos e rochosos, amostras pouco deformadas para ensaios em laboratório, ensaios in situ (permeabilidade, pedra d'água, etc.), execução de injeções e tirantes, realização de furos inclinados.
Geofísicos	Levantamento extensivos, extrapolações a partir de algumas investigações de superfície. Métodos elétricos e sísmicos são os mais utilizados. Identificação do topo rochoso e posição do lençol freático.

#### 4.4.4. Instrumentação

A instrumentação no estudo de encostas e taludes pode ser utilizada na investigação, permitindo a obtenção de dados quantitativos sobre a geometria da superfície de ruptura, deslocamentos horizontais e recalques de áreas instáveis, comportamento hidrogeotécnico do maciço e avaliação da resistência, deformabilidade e estado de tensões do talude ou encosta. Sua instalação em obras de contenção possibilita a confirmação das hipóteses de projeto, controle de segurança durante a fase construtiva e subsidia a manutenção das mesmas.

A Tabela 4.2 apresenta os principais tipos de instrumentos utilizados nos estudos de taludes e os seus respectivos parâmetros de medição.

**Tabela 4.2 Principais tipos de instrumentos utilizados em taludes e encostas.**

Instrumentos	Parâmetros
Marcos superficiais Prismas óticos Extensômetros (haste e fio) Fissurômetros Medidores de recalque Indicadores de movimentações em profundidades Inclinômetros	Deslocamentos e Recalques
Células de carga em tirantes	Cargas
Células de pressão total	Pressões de Terra
Piezômetros (Tipo casagrande, de máxima, hidráulica e elétricos) Tensiômetros (Pressão negativa, de sucção)	Pressões d'água
Medidores de vazão (hidrômetros, vertedouros, recipientes)	Vazões d'água

#### 4.4.5. Ensaios de laboratório e in situ

Os ensaios mais comumente utilizados no estudo de estabilidade de taludes buscam a determinação das propriedades e dos parâmetros de interesse dos maciços terrosos e rochosos em relação aos processos de instabilização.

Além dos ensaios de laboratório de aplicação mais geral, como determinação dos índices físicos, análise granulométrica, índice de plasticidade, etc., os voltados à determinação dos parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito são os diretamente empregados na análise de estabilidade de taludes e encostas. Entre estes, dois tipos de ensaio são mais frequentemente utilizados, quais sejam, o ensaio de cisalhamento direto e o de compressão triaxial.

Os ensaios SPT, realizados em sondagens a percussão, e o CPT são os mais utilizados nos estudos de taludes e encostas relacionados a maciços terrosos. O ensaio de compressão puntiforme e de cisalhamento direto é utilizado na investigação de taludes rochosos.

#### 4.4.6.Cronograma

GERENCIAMENTO DA OBRA PCH TAGUÁ - RIO JORDÃO - PR - CRONOGRAMA																								
ATIVIDADES QUE PRECEDEM O INÍCIO DA OBRA	1º Ano												2º Ano											
	Mês																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Licença Ambiental Prévia - LAP																								
Programa de Monitoramento e Controle da Estabilidade dos Taludes Marginais																								
Levantamento de dados pré existentes																								
Monitoramento/Instabilidade das encostas e taludes marginais conforme descrito no EAS																								
Elaboração e entrega do relatório semestral ao IAP																								
Investigação de superfície - levantamento de campo																								
Levantamento fotogramétrico																								
Entrega do relatório final de conclusão da obra na fase de (LI)																								