

## **4.33 - PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE PONTOS PROPENSOS A INSTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS E TALUDES MARGINAIS**

### **4.33.1 - Introdução**

A instabilização de encostas marginais é, em grande parte, intimamente ligada a fenômenos erosivos e de ação geotécnica.

A formação do reservatório e as variações do nível d'água durante a operação do Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) Jirau poderão reativar e/ou induzir processos erosivos nas encostas, além de levar à instabilização de maciços terrosos ou rochosos. Estes fenômenos poderão ser intensificados pela regra operacional do AHE Jirau (variação do nível d'água de 82,5m a 90,0m) e, também, em função da elevação do nível do lençol freático, o qual pode provocar o aparecimento de surgências d'água que, por sua vez, contribuem para a aceleração dos processos erosivos e instabilizatórios do talude e margens.

Com o aumento do processo erosivo, a erosão se propaga para montante, a partir das bordas do futuro reservatório, podendo originar ravinamentos e voçorocamentos. O embate de ondas provocadas pelos ventos é, também, responsável pela ação erosiva, sobretudo, no domínio dos terraços aluvionares e das coberturas coluviais arenosas inconsolidadas. Além disto, mudanças do fluxo freático subterrâneo local poderão, igualmente, contribuir para processos de erodibilidade localizada, gerada pela concentração de gradientes de fluxo em regiões terrosas das encostas marginais.

A submersão parcial das encostas com sua conseqüente perda de sucção matricial, a elevação do nível do lençol freático, as oscilações do nível d'água, a mudança da vegetação das margens, e até o embate de ondas são fatores que favorecem o desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e/ou a reativação de outros já existentes, com possibilidade de ocorrência de deslizamentos devido à redução da resistência dos componentes das unidades geológico-geotécnicas mais susceptíveis a escorregamentos ou ao aumento das cargas solicitantes cisalhantes ou normais a possíveis planos de deslizamento das encostas marginais.

As ações de desuso e realocação de estradas e acessos, em função da formação do futuro reservatório, podem, também, contribuir para geração de processos erosivos e de instabilização, devido ao abandono de acessos sem a devida tomada de ações para conter o fluxo de água pluvial nesses acessos, ou pela retirada de vegetação superficial. A elevação do nível d'água pode provocar colapso em barrancos sustentados por aluviões da planície de

inundação e terraços, por meio do descalçamento de níveis limonitizados, cimentados por óxido de ferro, estes que anteriormente tinham como função de arranjo estrutural do barranco.

A subida do lençol freático e sua variação durante a operação do empreendimento podem, também, provocar fenômenos de expansão, os quais podem ocorrer, preferencialmente, nos solos originados da alteração de basaltos, folhelhos, siltitos e margas calcárias, devido à possibilidade da presença de argilo-minerais expansíveis nos mesmos,

### **4.33.2 - Caracterização**

Os principais problemas que podem ocorrer relacionados à instabilização das encostas são o surgimento de erosões, a instabilização de taludes e o colapso geotécnico de solos e platôs e/ou expansibilidade dos materiais terrosos. A seguir, são descritos esses fenômenos.

#### **4.33.2.1 - Principais Problemas**

O termo *erosão* pode ser definido como um conjunto de processos pelos quais os materiais terrosos e rochosos da crosta terrestre são desagregados, desgastados ou dissolvidos e transportados, pela ação de agentes erosivos como água, vento e gelo.

A erosão dos solos é influenciada, dentre outros, por fatores climáticos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, tipos de solos, proteção superficial e pela própria ação humana. Para o estudo dos processos erosivos, a definição de técnicas de controle e/ou a análise de um processo erosivo em curso não são suficientes, sendo de fundamental importância a análise de risco de surgimento e o entendimento da evolução dos processos erosivos. Por isso, a necessidade de se estudar como as propriedades geotécnicas, químicas e mineralógicas dos solos influenciam no processo erosivo.

A erodibilidade do solo e a erosividade da chuva são dois importantes fatores físicos que afetam a magnitude da erosão do solo. Mesmo que a chuva, a declividade do terreno e a cobertura vegetal sejam as mesmas, alguns solos são mais susceptíveis ao destacamento e ao transporte pelos agentes de erosão que outros. Essa diferença, devido às propriedades do solo, interfere diretamente no potencial de erodibilidade do mesmo.

A erodibilidade de um solo é definida como sua capacidade de resistir aos processos erosivos e depende, não só das características intrínsecas do solo, mas também de fatores subsidiários, como ciclos de umedecimento e secagem, além da composição química da água nele presente (Vilar & Prandi, 1993). Desta maneira, a forma mais comum de se analisar e

estimar a erodibilidade dos solos tem sido por meio de características físicas e químicas e de alguns condicionantes externos.

Várias são as tentativas existentes na literatura nacional de se correlacionar as propriedades físico-químicas, a mineralogia, o comportamento hidráulico-mecânico e as condições físicas locais com o fenômeno da erosão e a erodibilidade dos solos (Rego, 1978; DNER-IPR, 1979; Fácio, 1991; Mortari, 1994; Araújo, 1994; Santos, 1997; Alcântara, 1997; Lima, 1999; Bastos, 1999; Motta, 2001, *in* Oliveira & Brito 2007). Apesar do caráter regional dos estudos desenvolvidos, observa-se geralmente, para os solos argilosos, que:

- Os fatores físicos condicionam os processos e os modelos evolutivos das ravinas e voçorocas, assim, por exemplo, quanto mais torrenciais e concentradas são as chuvas ao longo do ano maior será a capacidade erosiva;
- A forma do relevo interfere no processo erosivo segundo sua morfologia e os gradientes de declividade, assim quanto mais acidentado o relevo e/ou maior a declividade maior será o potencial e a capacidade erosiva
- Quanto maior a proteção superficial, menor a perda de solo;
- Quanto maior a velocidade de escoamento da água, maior a perda de solo;
- Quanto maior a porcentagem de argila agregada, menor a erodibilidade do solo;
- Quanto maior o Índice de Plasticidade (IP)<sup>1</sup>, menor a erodibilidade do solo;
- Quanto maiores os limites de plasticidade ( $w_p$ )<sup>2</sup> e de contração ( $w_s$ )<sup>3</sup>, maior a erodibilidade do solo;
- Quanto maior a expansibilidade do solo, maior a erodibilidade;

---

<sup>1</sup> Índice de Plasticidade (IP) é capacidade do solo de ser moldado sem que haja aumento do volume ou ruptura, em função da umidade e do teor de argila, a unidade é expressa em porcentagem.

<sup>2</sup> Limites de Plasticidade ( $w_p$ ) é o cálculo do teor de umidade na qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldá-lo, unidade expressa em porcentagem.

<sup>3</sup> Limite de Contração ( $w_s$ ) determina o teor de umidade do solo em que deixa de se contrair quando é colocado para secar numa estufa, unidade expressa em porcentagem.

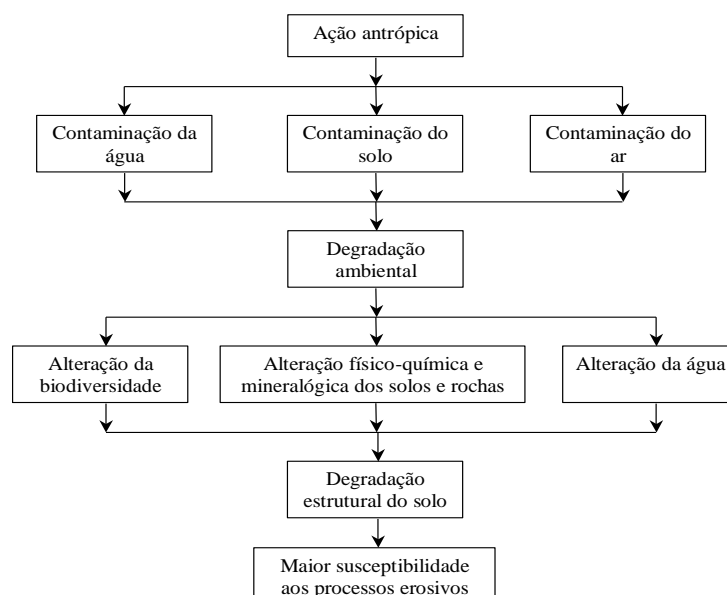
- Quanto maior o teor de matéria orgânica, menor a erodibilidade do solo.

É evidente que estas são observações gerais e que a validade de uma delas é quase sempre função das demais e de outras. Por exemplo, não é correto afirmar que, para os solos tropicais, quanto maior a porcentagem de argila, maior a erodibilidade, visto que, em muitos casos esta argila encontra-se agregada, assumindo a textura de silte a areia fina. Este é o caso, por exemplo, dos solos profundamente intemperizados do Distrito Federal, que apesar de possuírem 40%, 60% e 80% de argila são muito susceptíveis à erosão.

Na avaliação direta da erodibilidade, os seguintes ensaios têm sido utilizados: desagregação, Inderbitzen (Inderbitzen, 1961 *in* ABNT 1998), cilindro rotatório (Moore & Masch Jr., 1962 *in* ABNT 1998), furo de agulha ou Pinhole Test (Sherard et al., 1976 *in* ABNT 1998) e dispersão SCS, este último desenvolvido pelo SCS/USDA (Soil Conservation Service/ United States Department Agriculture).

A avaliação experimental indireta da erodibilidade tem sido feita a partir de ensaios, que conduzem à caracterização física, química, mineralógica e estrutural do solo. Os ensaios de caracterização física, utilizados nessa avaliação indireta, são os limites de Atterberg ( $W_s$  e  $W_p$ ), granulometria, teor de umidade, curvas características, adsorção, porosidade e análise microestrutural. Na caracterização química, são determinados os valores de pH, teor de matéria orgânica, sais solúveis, cátions trocáveis, óxidos totais e amorfos. A caracterização mineralógica é feita por análise termo-diferencial (ATD) ou por meio de difratometria de raios-X.

Segundo Lal (1999 *in* Oliveira & Brito 2007), em escala global, a erosão acelerada, provocada pela água, é o tipo dominante na degradação do solo, sendo a erosão pelo vento, o segundo tipo mais importante. O autor apresenta um fluxograma fazendo um elo entre a degradação ambiental e a degradação do solo. A Figura a seguir



**não encontrada.** mostra uma nova proposta para esta relação.

Muitas das propriedades proeminentes dos perfis de solo requerem um tempo relativamente longo para se desenvolverem. Contudo, pode haver situações em que o intemperismo se dá de forma acelerada, como por exemplo, na lixiviação por águas agressivas de uma exploração mineira (Infanti Júnior & Fornasari Filho, 1998 *in* Oliveira & Brito 2007).

Ucha & Ribeiro (1998), ao analisarem 03 (três) perfis de solo, (02) dois sob cultivo e o outro sob vegetação natural, evidenciaram, por meio da micromorfologia, o atuante processo de transformação da cobertura pedológica, com perda de material argiloso em profundidade, sem indícios de acumulação subjacentes. Segundo os autores, tal transformação pode ser entendida como um processo natural de erosão, que transporta para fora do sistema superficial os materiais finos, provocando uma “arenização” do meio. A micromorfologia permitiu comprovar que os processos de transformação observados são naturais, mas que podem ser aceleradas pelas práticas agrícolas, assim como pela evolução das voçorocas, acarretando uma maior aceleração do processo de degradação dos solos.

De um modo geral, pode-se afirmar que as degradações químicas, biológicas e mineralógicas refletem na degradação física dos solos auxiliando, por exemplo, no fenômeno da esqueletização<sup>4</sup>. Portanto, elas influenciam o surgimento e a evolução das ravinas e voçorocas, bem como a ocorrência de deslizamentos de encostas. A própria ocorrência das ravinas e voçorocas passa a intervir nesta degradação, afetando o comportamento mecânico e hidráulico do maciço e intervindo diretamente no processo evolutivo das erosões.

Além disto, o próprio aparecimento e deflagração de processos erosivos, em conjunto com a mudança de fluxo de água superficial e subterrâneo local, ou com a natural degradação dos parâmetros geotécnicos da encosta (pela redução de variáveis ou até perda de sucção), ou com a mudança e extinção de florestamento de proteção superficial, e/ou com os aspectos dinâmicos associados a forças de impacto de ondas ou de chuva, pode levar à instabilização geotécnica dos taludes das encostas marginais do reservatório - e o início de processos de ruptura geotécnica associados a processos erosivos, simultaneamente ou em fases distintas.

### **4.33.3 - Justificativas**

A instabilização e a ocorrência dos processos erosivos, como consequência do enchimento e operação do futuro reservatório do AHE Jirau, podem levar ao assoreamento do reservatório, ao decaimento da qualidade da água e à perda ou à diminuição da capacidade

---

<sup>4</sup> Processo de remoção dos minerais primários e manutenção das estruturas originais do solo.

de produção energética do mesmo. Adicionalmente, esses processos podem levar a perda de vegetação na Área de Preservação Permanente (APP) do futuro reservatório, desfigurando a sua função.

Esses fatores justificam a necessidade de implantação de um programa de monitoramento de pontos propensos à instabilização de encostas e taludes marginais que possibilite a mitigação desses possíveis impactos, com a adoção de ações preventivas e corretivas, quando necessárias.

Justifica-se, portanto, um estudo sistemático das encostas e margens do futuro reservatório, para definição, qualificação e caracterização dos locais mais suscetíveis a instabilizações geotécnicas e erosões, orientando e efetivando o seu monitoramento e a aplicação de medidas de contenção e proteção, caso necessárias, em caráter sistemático e permanente. É de fundamental importância a obtenção de parâmetros geotécnicos para o estudo desses processos erosivos, para que se possa melhor quantificar e qualificá-los.

#### **4.33.4 - Objetivo**

O objetivo principal deste programa é o de caracterizar e acompanhar a evolução das condições naturais e a eventual ocorrência de processos erosivos/instabilizatórios de encostas, através de estudos específicos associados a monitoramentos de longo prazo, fenômenos estes de degradação geotécnica que são oriundos do conseqüente enchimento e operação do reservatório do AHE Jirau.

Para alcançar este objetivo, serão desenvolvidos os seguintes procedimentos:

- Elaboração de mapa-imagem e da situação atual e da possibilidade de fenômenos de degradação geotécnica e das encostas marginais do futuro reservatório, para cada ano do programa;
- Instalação de marcos que permitam uma avaliação sistemática dos processos erosivos de maneira semi-quantitativa;
- Proposição de planos de mitigação e de recuperação de eventuais processos erosivos e/ou instabilizatórios pré-existent nas encostas marginais, ou que venham a se desenvolver no decorrer do enchimento do reservatório;
- Acompanhamento temporal dos marcos instalados, com a comparação dos mapa-imagem, de forma a se visualizar e quantificar a evolução temporal da borda do reservatório e possíveis fenômenos geotécnicos que se desenvolvam nestas áreas.

- Fornecimento de subsídios a outros programas previstos no Projeto Básico Ambiental (PBA), de forma a se melhorar e viabilizar o manejo do futuro reservatório e sempre de forma conjunta com as informações a serem aqui adquiridas.

#### 4.33.5 - Metas

- Definir as condições específicas de monitoramento que devem ser adotadas para o período pós-enchimento do reservatório devido às suas condições de sazonalidade.
- Determinar as unidades geotécnicas mais vulneráveis à instabilização e erodibilidade com a formação do futuro reservatório do AHE Jirau;
- Criar os mapas-imagem para cada ano, com cobertura total do reservatório;
- Correlacionar, quando possível, as unidades geotécnicas com os sistemas erosivos já instalados ou pré-existentes. O mesmo é válido para os sistemas de encostas com aspectos de instabilidade geotécnica já plenamente deflagrados ou em fase de deflagração (regiões com conhecida movimentação ou *rastejo* superficial);
- Prever aquisição de imagens de alta resolução espacial para todo o reservatório por meio de fotogrametria ou imageamento, ortorretificado que deverão ser obtidas logo após o enchimento do reservatório e dois anos após a formação do reservatório, sempre em períodos com vazão semelhante.
- Orientar a continuidade do monitoramento durante a operação do empreendimento.

#### 4.33.6 - Base Legal

A base legal desse programa é atender a condicionante 2.15 da Licença de Instalação (LI) nº 621/2009, referente ao AHE Jirau, que dispõe: “2.15. *Estabelecer no Programa de Recuperação de Áreas Degradadas ou no Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, um subprograma de monitoramento de focos erosivos e depósitos aluvionares. Todo o trecho abrangido pelo Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico deverá ser documentado espacialmente e temporalmente através de fotogrametria e/ou imageamento ortorretificado e de alta definição. As imagens deverão ser georreferenciadas e subsidiar análises temporais como a evolução geomorfológica do estirão do rio. As imagens deverão retratar marcos temporais como a obtenção da Licença de Instalação e Licença de Operação além de considerar períodos com vazão semelhante*”.

#### **4.33.7 - Âmbito de Aplicação**

Esse programa se aplica na área de influência direta (AID) do AHE Jirau, principalmente na futura borda do reservatório, durante o período de construção e enchimento e até no mínimo por um período de 03 (três) anos após o enchimento. Esse período de monitoramento é proposto para gerar dados de comparação que deverá ser feita para avaliar o surgimento e evolução de eventuais processos de instabilização geotécnica gerados pela formação do reservatório. Ao final desses 03 (três) anos deverá ser feita uma avaliação das condições da borda do reservatório, sua ocupação e os planos de gerenciamento que a orientam.

#### **4.33.8 - Procedimentos e Metodologia**

Esse programa deverá ser executado em duas fases distintas, uma fase no período anterior à formação do reservatório, outra durante o enchimento do reservatório e a operação do empreendimento.

##### **4.33.8.1 - Fase 1: Período Anterior à Formação do Reservatório**

A determinação da erodibilidade dos solos por meio de ensaios geotécnicos tem sido uma ferramenta importante para identificar, entender e até mesmo propor soluções quanto ao surgimento de processos erosivos. Conforme mencionado anteriormente, a erodibilidade pode ser avaliada de forma direta, por meio de ensaios específicos ou ainda por meio de ensaios indiretos, tais como os realizados durante a caracterização física, química e mineralógica, comumente utilizados nos estudos geotécnicos. É importante ressaltar que, dada a grande gama de parâmetros que influenciam o potencial erosivo da água e a erodibilidade dos solos, tais determinações dificilmente se correlacionam isoladamente com a erodibilidade. Fácio (1991) mostrou para solos provenientes de voçorocas do Distrito Federal, que a correlação das propriedades físico-químicas e mineralógicas com a erodibilidade dos solos tropicais regionais só é possível se realizada a partir de análises multiparamétricas.

Existem vários modelos e ensaios destinados à determinação direta da erodibilidade dos solos. Para condições parecidas às locais tem sido utilizados ensaios como o ensaio de desagregação, o ensaio *Pinhole* e o ensaio *Crumb Test*. Embora esses ensaios permitam uma avaliação direta da erodibilidade do solo, eles o fazem para condições específicas que não conseguem abranger a totalidade das situações de campo.



Assim, por exemplo, no ensaio de *Inderbitzen*, faz-se necessário definir uma inclinação de rampa (no campo a topografia varia), uma vazão (no campo em função da intensidade e duração da chuva e da infiltrabilidade do solo) e um tempo de ensaio (a duração da chuva é variável). Isso retrata a necessidade de criar sistemas classificatórios de validade regional, que permitam, por meio desses ensaios, definir o potencial de erodibilidade do solo para as condições de utilização. Adicionalmente, para uma maior correlação do processo erosivo é necessária a determinação dos índices físicos de cada unidade pedológica da área. A seguir são descritos os ensaios necessários para a caracterização geotécnica dos solos na AID do AHE Jirau.

#### 4.33.8.1.1 - Ensaio do Furo de Agulha

O ensaio do furo de agulha ou *Pinhole Test*, idealizado por Sherard *et al.* (1976), consiste em se fazer percolar água, sob certa carga hidráulica, através de um furo de 1 mm de diâmetro feito no centro de um corpo de prova cilíndrico, na tentativa de simular o efeito de *piping*. Este ensaio encontra-se normatizado no Brasil na NBR 14114/98 da ABNT. Esta norma segue a metodologia estabelecida nos procedimentos descritos por Sherard *et al.* (1976). Neste ensaio, a resistência à erosão é estimada pelo diâmetro final do furo, pela coloração da água que sai e pela vazão de percolação.

A concepção do ensaio é avaliar de forma direta e qualitativa a dispersibilidade dos solos argilosos. Segundo Sherard *et al.* (1976), o ensaio de *Pinhole* constitui-se no melhor teste para a identificação de argilas dispersivas quando comparados a outros com o mesmo propósito. De acordo com o autor, são denominados solos dispersivos as argilas muito erodíveis, as quais em presença de água sofrem erosão por dispersão ou defloculação. Segundo Bastos (1999), não existem diferenças significativas nos teores de argila de solos dispersivos e não dispersivos, porém, evidências experimentais sugerem que solos com menos de 10% de argila não apresentam colóides suficientes para dispersão. Há que se ter em mente, porém, que a dispersividade é uma característica químico-mineralógica da argila e como tal independe de quantidade. Para baixos teores de argila, ela em si, se dispersiva, não deixa de sê-lo, no entanto, pode não gerar a instabilidade estrutural do solo.

A susceptibilidade de ocorrer erosão interna por dispersão está associada principalmente com a relação entre a quantidade de cátions de sódio e a quantidade total de sais dissolvidos (soma de cátions) na água intersticial. O sódio age aumentando a espessura da dupla camada de água difusa, que envolve as partículas individuais de argila, o que causa uma redução nas forças de atração entre elas, possibilitando assim, que as mesmas sejam

destacadas do maciço com maior facilidade (NBR 14114/98). Isto quer dizer que, parte-se do princípio que os solos apresentam elevado teor de sódio.

De maneira geral, o que se tem verificado é que os solos tropicais apresentam baixa concentração de sódio, devido ao seu elevado grau de intemperização e as amostras permanecem, na maioria dos casos, quase inalteradas quando da realização deste ensaio, indicando a baixa dispersividade do solo. Portanto, o ensaio é, nos moldes de análise propostos inicialmente, pouco adaptado aos solos tropicais. No entanto, Santos (1997), ao propor que se analise os resultados dos ensaios fazendo a comparação entre as vazões nas fases de aumento e diminuição da carga hidráulica, mostra que o ensaio pode ter grande utilidade na avaliação da degradação física do solo. Segundo ele, quanto maior a diferença entre a vazão na fase de carga e de descarga, maior será a degradação física do solo em consequência do fluxo.

Inicialmente, o corpo de prova é submetido a uma carga hidráulica de 50 mm, assim permanecendo por 12 horas de modo a propiciar a saturação do mesmo. O corpo de prova é, então, submetido progressivamente, em intervalos de tempo de 05 (cinco) minutos a cargas hidráulicas de 180 mm, 380 mm e 1020 mm. A cada aumento da carga hidráulica, é determinada a vazão e verificada a turbidez da água.

Santos (1997) optou pelo prosseguimento dos ensaios no sentido inverso, diminuindo progressivamente o gradiente hidráulico até as condições iniciais. Desta forma, um eventual alargamento do furo ou aumento de porosidade do solo se faria sentir no aumento de vazão na fase de retorno, evidenciando a ocorrência de processo erosivo ou do fenômeno de esqueletização.

A partir da análise dos resultados efetuada à luz do Projeto 02:004.02-022 (1996) da ABNT, Santos (1997) verificou que mesmo sendo todos os solos classificados como não dispersivos, (efluente claro e vazão sob a maior carga, 102 cm, não excede 4,0 ml/s) em uma das amostras ensaiadas pôde-se observar a ocorrência da erosão interna, evidenciada pelo aumento expressivo do diâmetro do furo (amostra BP-6), conforme ilustra a Figura 2.

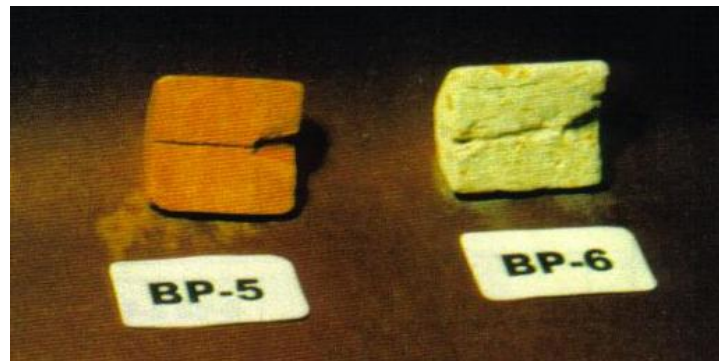


Figura 2. Amostras submetidas ao ensaio de *Pinhole*. A concavidade na extremidade direita das amostras é devida à incisão da guia de centralização (Santos, 1997).

O furo desta amostra (BP-6) teve seu diâmetro aumentado de 1 mm para até 3,9 mm em alguns pontos. Apesar disso, o fluxo se manteve quase sempre claro, apresentando um ligeiro aumento de turbidez da água apenas nas medições iniciais e quando da mudança de carga para 102 cm, aumento este que cessava após alguns segundos. No final do ensaio, constatou-se a presença de certa quantidade de sedimentos finos misturados ao cascalho do dreno na saída do aparelho. Pôde-se concluir que nessa amostra ocorreu erosão mecânica, sendo então as condições de fluxo suficientes para destacar e transportar as partículas sem que ocorra o processo de dispersão propriamente dito.

Skempton e Borgan (1994), citados por Santos (1997 *in* Oliveira & Brito 2007), estudando o fenômeno de erosão interna (*piping*) em solos grosseiros de distribuição granulométrica bimodal, detectaram a ocorrência do fenômeno a níveis bastante baixos de gradiente hidráulico. Segundo aqueles autores, toda a sobrecarga de pressão efetiva atuante nestes solos se concentra nas partículas grossas. O material mais fino, submetido a tensões menores, seria mais afetado pelo aumento da pressão neutra, facilitando assim o seu transporte pelo fluxo hidráulico. A similaridade de distribuição de poros desses solos com os solos tropicais profundamente intemperizados permite a extensão dessas observações aos solos tropicais regionais.

Santos (1997) plotou gráficos de vazão (ml/s) versus gradiente hidráulico para as diferentes amostras por ele ensaiadas. Tais gráficos permitiram uma boa visualização da ocorrência ou não do processo erosivo. Quando plotados em escala aritmética (Figura 3), os gráficos de vazão versus gradiente hidráulico para solos considerados não erodíveis apresentam uma curva de comportamento quase linear, com ligeira inflexão para baixo. Já os solos erodíveis apresentam na curva uma inflexão bem marcante para cima a partir do momento em que a erosão começa a ocorrer. A esse efeito se soma o fato da curva na descarga apresentar-se

marcantemente superior à de carga, evidenciando-se assim, de forma bastante clara, a ocorrência do processo erosivo.

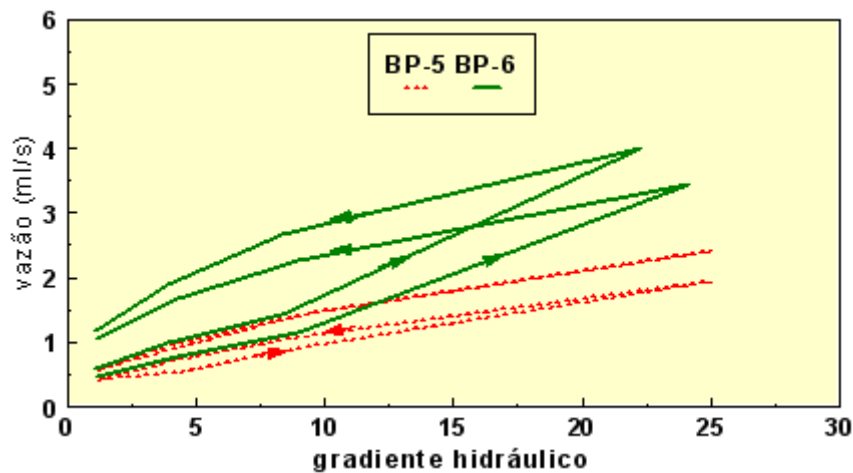


Figura 3. Resultados dos ensaios de Pinhole para a voçoroca do Batalhão Florestal de Polícia, Goiânia (Santos, 1997).

Sherard et al. (1976) indicam que durante o início desses ensaios alguns fragmentos podem manter-se soltos dentro do furo, sendo então removidos pelo fluxo até o estabelecimento do equilíbrio. Desta forma, pode-se explicar a ocorrência de vazões ligeiramente menores na fase inicial em relação à fase de retorno, além das pequenas variações de turbidez que se observa no fluido efluente.

Com relação à aplicabilidade do ensaio para solos com elevada quantidade de material grosseiro, Santos (1997) afirmou que seu uso pode apresentar resultados conclusivos, medindo-se somente, caso venha a ocorrer, a erosão atuante sobre a fração fina destes solos. Entretanto, nesses solos, o difícil é a cravação da agulha no corpo de prova, pois ao encontrar um fragmento mais grosseiro não consegue atravessá-lo.

Lima (2003), realizando o ensaio de *Pinhole* em amostras de solo oriundas de uma voçoroca situada próximo à cidade satélite Ceilândia, Distrito Federal, segundo a metodologia proposta por Santos (1997), buscou verificar a eventual existência de anisotropia no maciço quanto à direção preferencial de fluxo, ao se considerar amostras coletadas junto à voçoroca (Poço 1 à 5 m da borda) e dela afastadas (Poço 2 à 20 m da borda). Os ensaios foram realizados com o fluxo nas direções horizontal e vertical..

#### 4.33.8.1.2 - Ensaio de Crumb Test

O ensaio de Crumb Test, também denominado ensaio de dispersão rápida, apresenta como principal objetivo classificar qualitativamente a reação de uma porção de solo, em relação à dispersão, quando inundada em água.

O ensaio de Crumb Test consiste na colocação de uma porção de solo (cerca de 2 g) em um béquer contendo de 100 a 150 ml de água destilada. Tal porção deve permanecer no béquer durante 1 (uma) hora, verificando-se, decorrido este tempo, a capacidade de desprendimento de partículas ao redor da amostra imersa.

Motta (2001), ao realizar tal ensaio em amostras proveniente de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, cita em seu trabalho que, a partir da tendência de desprendimento de partículas de solo é possível classificar as amostras em:

- Grau 1 - sem reação: a amostra permanece inalterada no fundo do béquer, sem nenhum sinal de turbidez na água, permanecendo lisa a superfície do corpo de prova;
- Grau 2 - pequena reação: uma pequena turbidez da água é observada na superfície da amostra;
- Grau 3 - reação moderada: verifica-se turbidez, acompanhada de uma fina camada de partículas no fundo do béquer;
- Grau 4 - forte reação: observa-se uma nuvem de colóides em suspensão, praticamente cobrindo todo o fundo do béquer. Em casos extremos, toda a água do béquer torna-se turva.

Segundo Motta (2001), as amostras de solo analisadas não apresentaram dispersão. Ainda segundo o autor, verificou-se nas amostras de solo arenoso ensaiadas o fenômeno de desagregação das partículas, mas não de dispersão.

A análise dos corpos de prova ensaiados permitiu que Motta (2001) classificasse as amostras de solo, segundo a classificação acima descrita, como amostras sem reação, concluindo não possuírem essas dispersões em contato com a água, o que lhes garante menor susceptibilidade à ocorrência do fenômeno de erosão interna.

#### **4.33.8.1.3 - Instalação de Marcos**

Recomenda-se a instalação de marcos (estacas) nos pontos críticos. Trabalhos em outros reservatórios têm mostrado a utilização de vergalhões com 2,5 m de comprimento, sendo instalados 02 (dois) em cada ponto. Normalmente, utiliza-se 01 (um) na posição vertical (EV) e outro na horizontal (EH) para que se possa estimar o avanço do processo erosivo na encosta, bem como a quantidade de sedimento desprendido. Se necessário, a depender das condições geotécnicas locais (grau, tamanho, e velocidade da degradação) poderão ser instalados inclinômetros, tassômetros, tensiômetros, etc. como subsídio adicional na tomada de decisões e no controle do fenômeno.

#### **4.33.8.1.4 - Imageamento Temporal do Reservatório**

Com base na condicionante 2.15 da LI nº 621/2009, será necessária a aquisição do levantamento por fotogrametria ou imagens por sensores remotos de alta resolução e multiespectrais, com objetivo de recobrir uma área que corresponde a um limite que abrange o reservatório e sua área limítrofe, sempre de períodos com vazão semelhante.

Essas imagens deverão ser processadas para geração de um sistema de exposição do índice de vegetação e solo exposto para determinação de locais onde os processos erosivos se instalem. Após a determinação do local dos processos erosivos, deverão ser feitas vistorias e instalados marcos nessas localidades, nos pontos que existirem ou identificação das condições locais para o ponto ter sido classificado como processo erosivo e correção do sistema de classificação.

#### **4.33.8.2 - Fase 2: Período de Enchimento e Operação do Empreendimento**

Nessa fase, os mapas e os marcos já devem ter sido instalados e o programa passa unicamente a monitorar as condições observadas e a propor ações para mitigação de problemas que, eventualmente, venham a surgir.

##### **4.33.8.2.1 - Vistorias de Encosta**

Deverão ser realizadas campanhas para acompanhamento das encostas marginais do futuro reservatório. Essas vistorias têm como objetivo identificar e cadastrar locais com favorabilidade a implementação de fenômenos de instabilidade geotécnica, como processos erosivos, deslizamentos e rastejos de solo superficial e profundo, movimentações terrosas e rochosas, colapso de solo, expansibilidade e/ou outros fenômenos que eventualmente se desenvolvam (surgências freáticas, liquefação, etc.).

#### **4.33.8.2.2 - Estudos de Medidas de Proteção**

Deverão ser confeccionados mapas de risco ao desenvolvimento de processos erosivos com auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O SIG proposto deverá ser obtido a partir do cruzamento dos planos de informação, tais como mapa de declividade, mapa de cobertura de solos e mapa de cobertura vegetal. O resultado do SIG deverá destacar os pontos ou áreas com máximo risco de desenvolvimento de processos instabilizatórios do tipo erosão, colapso ou deslizamentos de encostas marginais.

Serão descritas as ações que deverão ser efetivadas para minimizar o risco erosivo nos pontos que forem considerados de risco alto a muito alto. Dentre as ações previstas, se necessárias, destaca-se a possibilidade de implantação de drenagem em estradas abandonadas, retaludamento, revegetação, proteção superficial, drenagem profunda, cobertura terrosa, e outras possíveis formas de contenção de processos erosivos superficiais.

#### **4.33.8 - Indicadores**

- Mapas-imagem da fase rio, de logo após o enchimento e de dois anos após a operação.
- Cadastramento das áreas favoráveis a instalação de processos de instabilização.
- Cadastramento de processos existentes na futura borda do reservatório.

#### **4.33.9 - Público-Alvo**

O público-alvo deste programa é composto por:

- Órgãos públicos (IBAMA; Secretarias Estaduais de Meio Ambiente; Universidades; Prefeituras).
- População da área de influência direta (AID) do empreendimento.

#### **4.33.9 - Relatórios/Produtos**

Os produtos resultantes do programa são relacionados a seguir:

- Relatórios parciais trimestrais;
- Relatório consolidado das campanhas realizadas na fase de construção do empreendimento.

- Relatório consolidado das campanhas realizadas na fase de operação do empreendimento.
- Relatório final.

#### **4.33.10 - Cronograma**

O cronograma deste programa é apresentado no ANEXO 1.

#### **4.33.10 - Interface com Outros Programas**

Este Programa relaciona-se com os seguintes programas: Programa de Monitoramento Hidrosedimentológico, Programa de Comunicação Social, Programa de Educação Ambiental e Programa de Monitoramento do Lençol Freático.

#### **4.33.11 - Equipe Técnica Necessária para Execução do Programa**

A responsabilidade pela execução do programa é do empreendedor. No início das obras, este deverá contratar uma empresa ou instituição que será responsável pelo programa.

Prevê-se a participação dos seguintes profissionais:

- 01 (um) coordenador com experiência em estudos e programas ambientais relacionados ao meio físico (geólogo, engenheiro ambiental ou engenheiro geotécnico).
- 01 (um) coordenador de campo para acompanhamento e montagem dos marcos (geólogo, engenheiro ambiental ou engenheiro geotécnico).
- Dois técnicos especialistas em geotecnia ou geologia com experiência em sistemas geográficos de informação.

#### **4.33.12 - Referências Bibliográficas**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 12007/90 - MB3336 - Ensaio de Adensamento Unidimensional (Ensaio edométrico duplo), 13p.

ABNT (1980). Identificação e descrição de amostras de solos: NB 617 - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT (1984). Determinação da massa específica - Peso específico dos grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm (de acordo com a NBR 5734), por meio de picnômetro, através



da realização de pelo menos dois ensaios: NBR 6508/84 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 8p.

ABNT (1984). Solo - Análise Granulométrica: NBR 7181 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 13p.

ABNT (1984). Solo - Determinação do Limite de Liquidez: NBR 6459 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 6p.

ABNT (1984). Solo - Determinação do Limite de Plasticidade: NBR 7180 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 3p.

ABNT (1996). Método de execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos: NBR6484 - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT (1998). Solo - Solos Argilosos dispersivos - identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (pinhole test): NBR 14114 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 8p.

ABNT (MB-3). Terminologia de solos e rochas.

ASTM 30880/79 - Cisalhamento Direto.

OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos e Brito, Sérgio Nertan Alves. 1998, Geologia de Engenharia. 5ª Edição ISBN 85-7270-002-1

Cunha, R. P. 1996. Apostila de Fundações. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. Universidade de Brasília. 600p.

JENNINGS, J. E. e KNIGHT, K. 1975. A Guide to Construction on or with Materials Exhibiting Additional Settlement Due to a Collapse of Grain Structure. Proced. IV Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Durban, pp.99-105.

LIMA, M.J.C.P. 1983. Prospecção geotécnica do subsolo. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 104 p.

SOUZA NETO, J. B. 2004. Comportamento de um Solo Colapsível Avaliado a Partir de Ensaio de Laboratório e Campo, e Previsão de Recalques Devido à Inundação (Colapso). Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 432p.

VARGAS, M. 1985. The concept of Tropical Soils. Brasília: ISSMFE.

#### 4.33.13 - Equipe Técnica Responsável pela Elaboração do Programa

Técnico	Formação
Alexandre Matos Seidel	Geólogo
John Eloi Bezerra	Engenheiro Civil