

3.6. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE PONTOS PROPENSOS A INSTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS E TALUDES MARGINAIS

3.6.1. Introdução

Em geral, as condições para o estabelecimento de processo erosivo residem na existência de solos de baixa coesão nas margens do reservatório, expostos à ação de ondas onde existirão grandes estirões de água sujeitos à ação continuada do vento. Esse processo erosivo tem duração bastante grande e pode ser generalizado em áreas com coberturas espessas de solos residuais, coluviais ou aluviais incoesos. Com a formação de praias no sopé dos taludes e a conseqüente diminuição da espessura da lâmina d'água nas imediações, a vegetação começa a se fixar, e vem a constituir fator adicional que contribui para a paralisação do processo erosivo.

A estabilidade e erodibilidade de taludes e encostas marginais são influenciadas, essencialmente, pelos fatores a seguir relacionados:

- Características dos depósitos aluviais e dos solos de cobertura.
- Declividades das encostas e do topo rochoso subjacente aos materiais de cobertura.
- Orientação das descontinuidades geológicas existentes nas rochas, desde sãs a muito alteradas, em relação às superfícies das encostas e taludes.
- Posição e oscilação do nível freático nas diferentes unidades geológicas.
- Presença de cobertura vegetal e suas características.
- Uso e ocupação do solo, destacando-se a ação antrópica referente a desmatamentos, atividade agropastoril, construção de estradas e implantação de diversas obras de infraestrutura, zonas urbanizadas, etc.

Os processos de erosão e instabilização de encostas marginais podem aumentar o assoreamento do lago e a turbidez da água, provocando alterações na qualidade da água e na ictiofauna, podendo vindo a constituir impactos negativos localizados e com área bastante restrita.

Os principais tipos de instabilização que poderão ocorrer nas bordas do reservatório de Estreito, e seus mecanismos de formação, referem-se ao tombamento e queda de blocos, erosões e ravinamentos profundos, além de erosão por embate de ondas.

O processo de tombamento e queda de blocos está associado à compartimentação estrutural dos maciços rochosos, sobretudo os de natureza arenítica, que afloram às margens do reservatório, a qual é definida por fraturas e falhas com mergulhos desfavoráveis e pela estratificação dos arenitos, sendo que a estratificação cruzada consiste em fator agravante.

Os processos de erosão e ravinamento profundo associam-se basicamente a fenômeno erosivo que se inicia por concentração de fluxos de águas de escoamento superficial, principalmente em áreas de manejo inadequado de solos. Ocorrem em materiais

inconsolidados ou em maciços areníticos pouco coerentes, como nas áreas de coberturas coluviais e residuais, ligadas aos domínios das formações Sambaíba, Piauí, Poti e Cabeças. A erosão desenvolve-se geralmente em sentido remontante, estendendo-se para áreas mais afastadas das margens e ampliando-se lateralmente. Uma vez estabelecido o processo, as encostas podem apresentar ravinamentos profundos, com solapamento das paredes laterais e escorregamentos superficiais associados. O início do processo se dá, geralmente, em áreas das encostas junto às margens do lago que tiverem a sua cobertura vegetal removida.

Com o enchimento de um reservatório, as cargas hidráulicas nas margens sofrerão elevação, estabelecendo temporariamente um fluxo de água do reservatório para as encostas, que vão sendo progressivamente submersas até o completo enchimento. A saturação dos solos que sustentam as encostas causa a redução de sua resistência ao cisalhamento, através dos efeitos do empuxo hidrostático vertical nas porções inferiores submersas das encostas, além da elevação das pressões neutras e/ou eliminação das tensões de sucção que emprestam ao solo uma coesão aparente, responsável por melhores condições de estabilidade.

Com a saturação, a coesão aparente desaparece por completo, possibilitando a ocorrência de processos de instabilização e escorregamento. Esse processo será mais crítico durante o enchimento, quando as encostas, antes não saturadas, forem submetidas à saturação por submersão. A redução da resistência ao cisalhamento pelo empuxo hidrostático vertical, nas porções inferiores submersas das encostas, é causada pela diminuição do peso específico efetivo da massa situada abaixo do lençol freático, com a conseqüente redução na resistência de atrito.

Os sucessivos estágios de submersão das encostas são responsáveis pela progressiva redução de estabilidade, até o ponto onde o fator de segurança torna-se mínimo, conhecido como “nível crítico do reservatório”. Acima desse ponto, com a elevação do nível d'água, a estabilidade tende a aumentar. Os efeitos desse fenômeno de instabilização serão mais acentuados nas encostas com permeabilidade elevada, onde a superfície piezométrica praticamente acompanha a elevação da lâmina d'água do reservatório. Esse é o caso dos depósitos arenosos dos terraços e das coberturas arenosas, cuja permeabilidade geralmente é da ordem de 10^{-3} cm/s.

No caso de afloramentos rochosos, poderá eventualmente ocorrer instabilização nos locais mais compartimentados dos maciços, onde os blocos ou lascas de rocha poderão sofrer os efeitos do empuxo hidrostático vertical pela sua submersão parcial.

Uma vez estabelecidas as novas condições de equilíbrio das encostas marginais com o enchimento do reservatório, inicia-se um processo de alterações decorrentes das oscilações do nível d'água e da atuação dos fatores climáticos. A variação do nível d'água deverá ser pequena, tendo em vista o regime de operação do futuro reservatório, devendo ser mínimo o seu impacto nas margens.

Por sua vez, as ondas que incidem nas encostas marginais provocam continuamente fenômenos erosivos por abrasão, com desenvolvimento de processos progressivos de desagregação e solapamento, reduzindo gradativamente a estabilidade, e causando movimentações nas encostas, principalmente as recobertas por materiais brandos arenosos, que dominam na área do reservatório de Estreito.

A ação erosiva nas bordas do reservatório processar-se-á, assim, também pelo embate de ondas, que poderá provocar um recuo das margens. O processo de solapamento das margens ocorre através da erosão do pé da escarpa em talude negativo, até provocar o desmoronamento de uma porção do solo acima. O material esboroadado é depositado na borda do lago e acaba originando pequenas praias que protegem o barranco recuado, chegando a um ponto de equilíbrio, quando o processo é interrompido. Com a formação das praias e a conseqüente diminuição da profundidade, a vegetação começa a se fixar, e vem a constituir fator positivo que contribui para a paralisação do processo erosivo pelo embate de ondas.

No mapa de Classes de Suscetibilidade à Erosão Superficial (laminar e por sulcos), Figura 3.6.1, apresentada adiante, são assinaladas preliminarmente áreas com maior probabilidade de instabilização de encostas marginais ao reservatório da UHE Estreito, as quais deverão ser mapeadas conforme indicado na metodologia apresentada no item 3.6.5 do presente programa.

ENTRA FIGURA 3.6.1.

3.6.2. Justificativa

A instabilização de encostas marginais está, em grande parte, intimamente ligada a fenômenos erosivos, sendo que o presente programa refere-se ao monitoramento e procedimentos que devem ser adotados no sentido de mitigar os processos erosivos e de instabilização das margens do futuro reservatório.

A formação do reservatório e as variações do nível d'água durante a operação da Usina Hidrelétrica de Estreito reativam e/ou induzem processos erosivos nas encostas, em função da elevação do nível freático, o qual pode provocar o aparecimento de surgências d'água que, por sua vez, contribuem para a aceleração da erosão. Através desse aumento do processo erosivo, a erosão se propaga para montante a partir das bordas do reservatório, podendo originar ravinamentos e voçorocamento. O embate de ondas provocadas pelos ventos é responsável pela ação erosiva, sobretudo, no domínio dos terraços aluvionares e das coberturas coluviais arenosas fofas.

A submersão parcial das encostas, a elevação do nível freático e suas oscilações e o embate de ondas favorecem o desenvolvimento de novos processos de instabilização de encostas ou a reativação de outros já atuantes, com a ocorrência de deslizamentos devido à redução da resistência dos componentes das unidades geológico-geotécnicas mais susceptíveis a escorregamentos.

As ações de relocação de estradas e acessos podem também contribuir para geração de processos erosivos e de instabilização. A elevação do nível d'água pode provocar colapso em barrancos sustentados por aluviões da planície de inundação e terraços, através do descalçamento de níveis limonitizados.

A subida do lençol freático e sua variação durante a operação da usina pode 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 nesses solos, alguns denotando o fenômeno de expansividade.

Em alguns locais, já se pode antever a necessidade de medidas de contenção e a sua natureza. Ainda não foram localizadas de modo definitivo as áreas onde haverá necessidade de tratamento, sendo que a definição de seu comportamento requer a elaboração de um programa de caracterização geológico-geotécnica e de monitoramento constante.

Os taludes mais susceptíveis à erosão e instabilidade são os correspondentes aos arenitos das Formações Sambaíba, Piauí, Poti e Cabeças. Bancos areníticos carboníferos sustentam alto talude rochoso em Palmeirante, na margem esquerda do rio Tocantins, o qual, em função de se situar na área do remanso do reservatório, sofrerá pequena influência das novas condições impostas pelo enchimento do lago de Estreito.

As planícies associadas ao leito maior excepcional do rio Tocantins, que na vazante chegam a ficar mais de 10 m acima do nível do rio, resultarão permanentemente submersas após o enchimento do reservatório de Estreito. Nos trechos mais a montante, onde o nível do reservatório não chega a inundar totalmente as planícies, o talude por elas sustentado

estará sujeito ao embate de ondas e à oscilação do nível d'água, podendo apresentar susceptibilidade à erosão na zona do remanso do reservatório.

Os taludes mais altos e íngremes, que raramente ultrapassam 10 m de altura, ocorrem assim de modo localizado, mencionando-se principalmente os relacionados à Formação Sambaíba, na margem esquerda do rio Tocantins, pouco a montante de Aguiarnópolis. Próximo a Babaçulândia, existem barrancos sustentados pela Formação Motuca, enquanto em Carolina e no vale do rio Manuel Alves Grande existem barrancos verticalizados em pelitos da Formação Pedra de Fogo.

Na margem esquerda do Tocantins, em frente a Barra do Ouro, há talude com pequena altura em arenitos da Formação Piauí, sendo que no rio Manuel Alves Pequeno, perto da foz, existem barrancos verticais com belas exposições de pelitos e folhelhos da Formação Longá. Esses barrancos têm 10 m de altura na estiagem, e são de suscetibilidade alta a desagregação e empastilhamento após submetidos a sucessivos processos de saturação e secamento. Em Palmeirante, na margem esquerda do rio Tocantins, há alto talude vertical sustentado por arenitos carboníferos das formações Piauí e/ou Poti. A Formação Cabeças sustenta alguns barrancos localizados, com até pouco mais de 10 m de altura, ao longo de pequenos trechos a jusante de Tupiratins, até o sítio da barragem homônima.

A possibilidade de instabilizações e ocorrências dos processos erosivos acima referidos, como consequência do enchimento e operação do reservatório de Estreito, justifica assim a necessidade de implantação do presente programa, procurando buscar soluções para mitigar esses impactos, com a adoção de ações preventivas e também corretivas. Justifica-se portanto um estudo sistemático das encostas e margens do futuro reservatório, para definição e caracterização dos locais mais suscetíveis a instabilizações e erosões, orientando e efetivando o seu monitoramento, e a aplicação de medidas de contenção e proteção, em caráter sistemático e permanente.

3.6.3. Objetivos e Público-Alvo

Objetivos

O objetivo do presente programa é monitorar e, quando necessário, conter fenômenos de instabilização de encostas e erosões, para garantir a segurança das construções e propriedades existentes nas margens do reservatório de Estreito, além de proporcionar condições de operação à usina e de controle do aumento dos processos de assoreamento do reservatório.

Este programa visa o detalhamento do potencial de mobilidade e das condições de estabilidade e suscetibilidade a fenômenos de colapso e expansão de solos em locais pré-identificados, como as margens do reservatório com altas declividades (maiores que 25%) e maior ocupação humana, como as localidades de Babaçulândia, Filadélfia e Carolina, onde poderão ocorrer instabilizações e colapsos possivelmente associados à expansividade e colapsividade em solos oriundos das formações Motuca e Pedra de Fogo.

Mais especificamente, objetiva-se a identificação e caracterização de áreas mais suscetíveis à erosão e instabilidade, tendo como base as declividades das encostas marginais e a presença de paredões rochosos nas bordas do reservatório. É objetivo desse programa também a caracterização dos agentes e causas dos processos de instabilização e erosão já

existentes e os potenciais, relacionados ao empreendimento, para a adoção de procedimentos de contenção de encostas que ofereçam riscos e de proteção ao sistema viário no âmbito da AID e das edificações junto ao reservatório.

A implementação de medidas de monitoramento e prevenção de escorregamentos e erosões também possibilitará evitar o aumento do processo de assoreamento do reservatório e obter subsídios para avaliação da integridade das estruturas das edificações e das obras da barragem. O programa tem por objetivo complementar a reabilitação da faixa de proteção do reservatório, pela utilização do solo de modo a propiciar, adicionalmente, a valorização cênica do entorno do reservatório.

As áreas mais suscetíveis à intensificação de processos erosivos e de instabilidade afetando sistemas de infra-estrutura correspondem a curtos trechos da ferrovia Norte-Sul, entre Aguiarnópolis e a altura da Ilha dos Campos, onde são atravessadas diversas drenagens da margem esquerda do rio Tocantins, e da rodovia BR-280 (Transamazônica), nas travessias do ribeirão Santana, rio Farinha e braços da margem direita do riacho seco, logo ao sul de Carolina. A travessia do braço do reservatório correspondente ao vale do rio Manuel Alves Grande, em Goiatins, também poderá envolver aterros sujeitos à ação da lâmina d'água do futuro reservatório, além da rodovia TO-388, no acesso a Babaçulândia.

Público-Alvo

O Programa de Monitoramento de Pontos Propensos à Instabilização de Encostas e Taludes Marginais tem como público-alvo, sobretudo os residentes e proprietários de imóveis situados na área a ser afetada pelo reservatório. Indiretamente, também se beneficiarão do programa os moradores afetados e trabalhadores envolvidos em atividades junto às áreas suscetíveis a instabilidade e erosão, além de Prefeituras, órgãos públicos, ONGs e usuários de futuras áreas de lazer.

3.6.4. Metas

As metas do presente programa são:

- Identificar, caracterizar, proteger e recuperar taludes e encostas das margens do reservatório de Estreito sujeitas à erosão e instabilidade, um ano antes do enchimento.
- Monitorar as condições dos taludes ribeirinhos, e implantar medidas corretivas, nos casos de erosão e desmoronamento, durante e após o enchimento do reservatório.
- Implantar, quando indicado, reflorestamento ciliar e cobertura vegetal de taludes, controlando os índices de pega e crescimento da vegetação.
- Implantar todas as demais medidas do Programa.

3.6.5. Descrição do Programa, Procedimentos Metodológicos e Atividades Previstas

Com o intuito de trabalhar com uma metodologia comum aos diversos temas relacionados à caracterização de eventuais processos erosivos, será estabelecida uma sistemática de análise geral a partir da avaliação da paisagem, quanto à sua vulnerabilidade.

Para tanto, será designada e contratada equipe técnica para atualizar o detalhamento do programa - e acompanhar a sua execução e desenvolvimento, e analisar e interpretar os seus resultados. Esses trabalhos abrangem a identificação de áreas críticas, seu monitoramento, estabilização e controle da erosão, contratação de investigações de campo e instrumentação, fotointerpretação e mapeamento geológico-geotécnico, acompanhamento e análises de estabilidade de taludes e dimensionamento de soluções. Deverão ainda ser estudadas medidas de proteção contra erosão superficial laminar, erosão profunda (voçorocas) e embate de ondas nas margens do lago, além de ser procedido o acompanhamento das condições de estabilidade e erosão das margens em resposta ao enchimento do reservatório, incorporando-se os dados de elevação do lençol freático e suas variações durante a operação.

A caracterização geológico-geotécnica da borda do lago nas áreas mais suscetíveis à instabilização será executada por meio dos seguintes trabalhos, na seqüência indicada:

- Fotointerpretação geológica a partir de fotos aéreas de grande escala.
- Mapeamento geológico-geotécnico de campo.
- Execução de sondagens a trado manual, poços de inspeção e sondagens a percussão, para caracterização dos tipos de solos, determinação de espessuras, amostragens, delimitação dos corpos rochosos, colúvios, tálus, sinais de escorregamentos, rastejos, trincas erosões, rupturas, movimentos de massa e outras feições; esses dados deverão ser integrados com os obtidos nos programas de monitoramento hidrológico e hidrogeológico, estimando-se a taxa de progressão relativa do movimento dos solos.
- Realização, quando necessário, de ensaios de laboratório para determinação das características geotécnicas e dos parâmetros de resistência dos materiais representativos, análises para detecção da presença de argilo-minerais expansivos, e ensaios de adensamento para medição de colapsividade e expansividade.
- Instalação, quando necessário, de instrumentação complementar (inclinômetros, tassômetros, tensiômetros e outros), incluindo a fixação de marcos topográficos.
- Determinação de locais críticos e sua ordenação em uma escala de prioridades, com base na origem e natureza dos solos, parâmetros de deformabilidade, expansividade, resistência e declividade de encostas, com avaliação de sua extensão que ficará emersa nas fases de enchimento e operação do reservatório.

No caso de formação de voçorocas, erosões e ravinamentos, deverão ser feitos re-aterros, retaludamentos, proteções contra embate de ondas, drenagens superficiais e profundas, e reordenamento de saídas de águas pluviais e esgotos. O monitoramento dos pontos propensos à instabilização deverá ocorrer com frequência quinzenal durante o enchimento e mensal nos 2 primeiros meses após a sua conclusão. Posteriormente, com frequência anual, deverão ser lidos todos os instrumentos instalados, bem como os pontos de monitoramento e os marcos topográficos.

Deverão ser efetuadas inspeções das condições de estabilidade e erosão logo antes do enchimento e após a sua conclusão. A partir daí, as inspeções serão feitas a cada ano. Essas inspeções deverão ser efetivadas com base nos mapas topográficos e geológico-

geotécnicos gerados durante o desenvolvimento dos trabalhos de fotointerpretação e mapeamento, destacando-se:

- Voçorocas, ravinamentos e sulcos de erosão.
- Rupturas, incluindo cicatrizes novas e antigas.
- Trincas e rachaduras.
- Sinais de deslizamento e tombamento de encostas em solo e/ou com presença de afloramentos rochosos.
- Surgências de água.
- Desempenho e estado de conservação dos elementos de drenagem e contenção implantados.
- Tipos de solos afetados e características dos deslizamentos e erosões.
- Comportamento da vegetação natural e/ou introduzida nas áreas com tratamento para estabilização e recuperação de encostas e taludes.

Esses procedimentos serão executados tendo em vista a determinação das classes de criticidade, segundo alguns critérios a seguir indicados:

- Inclinação ou declividade dos taludes e encostas, sua amplitude e perfil.
- Presença de discontinuidades, como falhas, fraturas, camadas com diferentes consistências e outras.
- Proximidade de elementos de infra-estrutura viária e obras complementares, envolvendo aterros, sistemas de drenagem e outros.
- Proximidade de construções e área urbanizadas.
- Ausência de vegetação protetora.
- Indícios de erosão laminar, em sulcos, ravinas ou voçorocas, rastejos e escorregamentos.

Os trabalhos executados durante o desenvolvimento deste programa permitirão indicar os graus de criticidade e prioridade das áreas a serem detalhadas, e a intervenção necessária para a sua contenção e reabilitação. Serão, assim, consideradas áreas muito críticas as que irão demandar obras de proteção mecânica e intervenções de engenharia, enquanto que áreas indicadas apenas para monitoramento serão consideradas de criticidade média. Áreas indicadas para hidrossemeadura e reflorestamento ciliar serão consideradas de baixa criticidade.

Para maior clareza, esse programa encontra-se dividido em 4 etapas distintas, descritas a seguir, que englobam os procedimentos acima descritos, com a finalidade de contextualizar mais eficientemente a metodologia a ser adotada.

1ª Etapa – Complementação dos dados planialtimétricos

Esta etapa consiste na revisão e ajuste, sempre que necessário e ao longo da fase de implantação dos projetos executivos, de algumas informações relativas à planialtimetria local, bem como das informações obtidas pertinentes às propriedades inseridas na área do empreendimento, de forma que se faça a intervenção da melhor maneira possível, para se obterem os resultados esperados dentro do princípio de sustentabilidade. Essa complementação dos dados planialtimétricos objetiva evitar mais dispêndios com a manutenção dessas áreas, objetos de proteção mecânica das margens, reflorestamento ciliar e revestimento de taludes de áreas críticas com hidrossemeadura.

Inicialmente, serão levantados todos os dados necessários, como mapeamentos geológicos, plantas topográficas, fotos aéreas e dados pluviométricos de toda a área de interesse que irão propiciar uma caracterização geral quanto aos aspectos de vulnerabilidade da paisagem como um todo.

Nessa análise, serão considerados os parâmetros entendidos como precursores da vulnerabilidade, considerando tanto seus aspectos intrínsecos (características do material rochoso e dos solos, estruturas geológicas, instabilizações existentes e declividade do terreno), como os extrínsecos, influenciados pela cobertura vegetal e pela ação humana.

Os dados levantados serão sistematizados e organizados em cartas de vulnerabilidade da paisagem, produzidas na escala de 1:100.000, com o objetivo de identificar as áreas mais suscetíveis a instabilizações, levando em consideração a implantação do empreendimento.

2ª Etapa – Zoneamento da faixa de proteção ambiental

Paralelamente, por meio de inspeções visuais nas áreas destinadas à formação do reservatório, deverão ser identificados e mapeados os pontos críticos de instabilidade dos solos onde já estejam instalados processos erosivos, observando-se indícios de escorregamentos, tais como trincas, rastejos, inclinações de árvores, etc.

A identificação das áreas de risco que serão monitoradas servirá como referência para outras áreas similares do reservatório, fornecendo informações que possibilitem intervenções para prevenir possíveis instabilidades dos taludes naturais, além de virem a constituir a base para futuras comparações.

A partir dessa inspeção inicial, nos pontos de risco identificados e quando for necessário, serão instalados antes do enchimento do reservatório, instrumentos de auscultação, como marcos superficiais de controle de recalque, piezômetros e/ou inclinômetros, que serão objeto de controle periódico durante e após o enchimento do reservatório.

Uma vez identificadas as áreas críticas, no âmbito deste zoneamento proposto far-se-á uma revisão para ajustes de contornos de áreas críticas.

O monitoramento do lençol freático, que será desenvolvido no Programa de Monitoramento Hidrogeológico, poderá também fornecer elementos valiosos para identificação de zonas críticas, que deverão ser incorporadas ao zoneamento ambiental da faixa de proteção.

Tal zoneamento ambiental considerará, dentre outros critérios específicos, os listados a

seguir, os quais delinearão classes críticas que serão identificadas ao longo do desenvolvimento do Programa.

(1) Quanto aos taludes da margem do rio:

- proximidade de superestruturas e suas obras complementares (sistemas de drenagens);
- proximidade de construções residenciais;
- ausência de vegetação protetora.

(2) Quanto aos processos naturais da dinâmica superficial das encostas evidenciados nas áreas adjacentes:

- erosão laminar;
- erosão em sulcos ou ravinas;
- erosão por voçorocas;
- rastejos;
- escorregamentos.

No zoneamento a ser realizado, será determinada uma ordem de prioridade na execução das diferentes medidas propostas, as quais deverão ser adotadas considerando os critérios explicitados no quadro 3.6.1, em ordem de prioridade.

Quadro 3.6.1 - Atributos e Prioridades das Áreas

Prioridade	Atributo(s) percebido(s)
0	Áreas com potencial ou com desenvolvimento de processos erosivos, onde foi constatada a ocorrência de todos ou grande parte dos critérios, quanto aos taludes da margem do reservatório de acumulação, citados anteriormente.
1	Áreas fortemente inclinadas (15 a 45% de declividade), sem vegetação protetora. Áreas de margem do reservatório.
2	Áreas recobertas por gramíneas e vegetação arbustiva rala nos diferentes estágios.

Obs: *Prioridades 0 e 1*: as intervenções deverão ser realizadas antes do enchimento do reservatório; *Prioridade 2*: as intervenções deverão ser realizadas após o enchimento do reservatório.

3ª Etapa – Elaboração dos projetos executivos

Esta etapa consiste no detalhamento dos seguintes projetos: Obras de Proteção Mecânica das Margens, Monitoramento de Áreas Críticas, Hidrossemeadura das Áreas Críticas e Reflorestamento Ciliar com enfoque para os seguintes aspectos:

⇒ O Projeto de Monitoramento de Áreas Críticas mostrará as áreas da margem do futuro reservatório, considerando os seguintes elementos:

- A identificação, o acompanhamento e a previsão sobre o comportamento de um talude que já exiba sinais de ruptura e que esteja se movimentando.
 - o levantamento planialtimétrico dos limites do talude referenciado ao sistema local, com emissão de planta na escala 1:250.000.
 - O nivelamento trigonométrico com definição do número de estacas por área, implantação de *benchmarking*, emissão de “croquis” esquemático e relatório de recalque.
 - O monitoramento trimestral para o controle de recalque, nas áreas selecionadas, e emissão de relatório.
- ⇒ O Projeto de Obras de Proteção Mecânica das Margens em áreas críticas deverá adotar diferentes procedimentos que, de maneira geral, são: limpeza das margens; escavação e regularização da margem com inclinação de 1:1,5, se necessário; colocação de filtro geotêxtil ou camada filtrante de solo graduado; afundamento ou submersão de plataforma de deformação (colchões Reno ou de gabião saco) que se façam necessários; colocação de colchões ou gabiões caixa; instalação de redes de troncos e/ou pneus nas margens expostas ao deplecionamento.
- ⇒ O Projeto de Hidrossemeadura das Áreas Críticas deverá ter como principal preocupação a fixação, o mais rápido possível, dos taludes das margens do reservatório a ser formado, devendo seguir a metodologia citada no Programa de Recuperação das Áreas Degradadas.
- ⇒ O Projeto de Reflorestamento Ciliar é considerado o mais importante sob o ponto de vista ambiental, já que pretende propiciar um hábitat adequado e fontes de alimentos às faunas terrestre e aquática.

4ª Etapa – Monitoramento

A partir de inspeção inicial nos pontos de risco identificados, serão instalados onde necessário, antes do enchimento do reservatório, instrumentos de auscultação, como marcos superficiais de controle de recalque, piezômetros e/ou inclinômetros, que serão objeto de controle periódico durante e após o enchimento do reservatório.

Na fase de acompanhamento das margens do reservatório, serão realizadas inspeções visuais e auscultação dos instrumentos instalados com a seguinte frequência:

- Quinzenal, durante o enchimento.
- Mensal, nos dois meses posteriores ao enchimento.
- Semestral, até completar o 2º ano após o enchimento.

- A partir dos resultados obtidos ao final do 2º ano, caso necessária, será proposta a continuidade do trabalho com a periodicidade adequada.

O monitoramento das margens durante o enchimento do reservatório será realizado quinzenalmente, por meio de inspeções visuais, a fim de avaliar a evolução ou não de processos erosivos em função das medidas adotadas. Caso se verifique qualquer ineficiência, serão adotadas medidas complementares de controle.

Após o enchimento do reservatório, o monitoramento e controle das margens terão continuidade, por meio de inspeções visuais e auscultação dos instrumentos instalados.

No tocante às áreas da obra, os procedimentos preventivos e corretivos dos processos erosivos estão considerados no Programa de Recuperação Ambiental de Áreas Degradadas pelas Obras.

3.6.6. Indicadores Ambientais

Os indicadores ambientais do Programa de Monitoramento de Pontos Propensos à Instabilização de Encostas e Taludes Marginais são os abaixo relacionados:

- Número de taludes protegidos e recuperados em áreas críticas.
- Percentual de pega alcançado na estabilização de taludes por cobertura vegetal herbácea.
- Nível de crescimento das espécies vegetais utilizadas nos processos de estabilização (altura média da vegetação).
- Total de áreas protegidas contra a erosão por ravinas e voçorocas.
- Número de edificações com fundações afetadas por expansividade e colapsividade de solos.
- Porcentual dos processos de instabilização e erosão que cessaram.
- Inexistência de controle prévio dos processos erosivos na área do futuro reservatório antes da implantação do presente programa.

3.6.7. Inter-Relação com Outros Programas Ambientais

Relacionamos a seguir outros programas ambientais deste PBA que mantêm relação com este Programa de Monitoramento de Pontos Propensos à Instabilização de Encostas e Taludes Marginais .

Programa de Monitoramento e Gerenciamento Ambiental, responsável pela execução e acompanhamento de todos os programas ambientais.

Plano Diretor do Reservatório - O Plano Diretor deverá se inter-relacionar com o monitoramento de encostas e taludes marginais, repartindo o conhecimento acerca das áreas mais susceptíveis a processos de instabilidade de encostas.

Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas – A instabilização das encostas afeta diretamente a qualidade das águas do reservatório.

Programa de Revegetação da Faixa de Proteção do Reservatório – Na revegetação deverá ser dada prioridade à seleção e qualificação dos locais propensos à instabilização para implantação de reflorestamentos heterogêneos.

3.6.8. Atendimento a Requisitos Legais

Além de obedecer às leis federais, estaduais e diretrizes municipais, o presente programa deverá se adequar às seguintes Normas Técnicas da ABNT:

- NBR 10703 TB 350 (1989) – Degradação do solo
- NBR 11682 (1991) – Estabilidade de taludes

3.6.9. Responsáveis pela Execução do Programa e Parceiros Institucionais Potenciais

O Empreendedor será o responsável pela implantação e cumprimento do Programa de Monitoramento de Pontos Propensos à Instabilização de Encostas e Taludes Marginais. A execução dos trabalhos ficará a cargo de contratados, devendo ser analisada a conveniência de contratação da empreiteira responsável pelas obras, sob a fiscalização direta do Empreendedor. A Empreiteira poderá subcontratar os serviços indicados no presente programa.

3.6.10. Recursos Humanos, Materiais e Financeiros

Recursos Humanos

Engenheiro
Geólogo
Técnico de campo
Braçais (2)

Recursos Materiais

Veículo
Combustível

Sondagem a trado
Poço de inspeção
Sondagem a percussão
Piezômetro
Instalação instrumentação
Ensaios de laboratório

Recursos Financeiros

A estimativa preliminar dos custos para execução deste programa é de R\$ 400.000,00 (quatrocentos mil reais). O cronograma de desembolso financeiro previsto é apresentado no capítulo 4 deste PBA.

3.6.11 Responsável pela Elaboração do Programa

CNEC Engenharia

Geólogo Andrea Bartorelli

CREA 0600221357

IBAMA 26761

3.6.12. Bibliografia

AB'SABER, A.N. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. Geomorfologia. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia. 1973. 41p.

ALMEIDA, J. R. de. Erosão dos solos e suas conseqüências. Belo Horizonte: Informe Agropecuário, p. 17-26. 1981.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba, Livroceres, 1985, 368 p.

BRASIL-MME/DNPM. Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais,. Schobbenhaus, C. (coord.). Brasília, 1984. Escala 1:2.500.000.

BRASIL-MME/DNPM. Projeto RADAM. Folha SB.22-Araguaia e parte da SC.22-Tocantins. Levantamento de Recursos Naturais, v. 4. Rio de Janeiro. 1974.

BRASIL-MME/DNPM. Projeto RADAM. Folha SB.23.Terezina e parte da Folha SB 24 Jaguaribe. Levantamento de Recursos Naturais – v. 2. Rio de Janeiro. 1973.

BRASIL-MME/DNPM. Projeto RADAM. Folha SB.23-Teresina e parte da SB.24-Jaguaribe. Levantamento de Recursos Naturais, v. 2. Rio de Janeiro. 1973.

BRASIL-MME/DNPM. Projeto RADAM. Folha SC.23.Rio São Francisco e SC.24 Aracaju. Levantamento de Recursos Naturais. v. 1, Rio de Janeiro. 1973.

BRASIL-MME/DNPM. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.22 - Tocantins. Levantamento de Recursos Naturais, v. 22. Rio de Janeiro. 1981.

BRASIL-MME/DNPM. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.22.Tocantins. Levantamento de Recursos Naturais. v. 22. Rio de Janeiro. 1981.

BRASIL-MME/DNPM. Projeto RADAMBRASIL: mapas geológicos na escala de 1:1.000.000 de parte das Folhas Rio São Francisco (SC.23) e Aracaju (SC.24), Folha Teresina (SB.23) e parte da Folha Jaguaribe (SB.24), Folha Araguaia (SB.22) e parte da Folha

- Tocantins (SC.22) e Folha Tocantins (SC.22). Volumes 1 (1973), 2 (1973), 4 (1974) e 22 (1981).
- CELTINS/THEMAG. Estudos de Viabilidade da UHE Lajeado: geologia e geomorfologia da Área de Influência Direta e da Área Diretamente Afetada pelo Reservatório de Lajeado. 1996.
- CELTINS/THEMAG. Reservatório do AHE Tupiratins: geologia das Áreas de Influência Indireta (All) e Diretamente Afetada (ADA). 2001.
- CHORLEY, R.J. et alli. Geomorphology. 1^a ed. London: Cambridge, 1984. 606 p.
- CNEC Engenharia, 2004, Estudos Complementares ao *EIA-RIMA da UHE Estreito*, São Paulo.
- CNEC Engenharia S. A., 2002, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA da Usina Hidrelétrica de Estreito. São Paulo.
- DEL'ARCO, D. M. *et al.* Susceptibilidade à Erosão da Macrorregião da Bacia do Paraná. Campo Grande: Convênio de Cooperação Técnico - Científica IBGE/Estado de Mato Grosso do Sul, 1992. 277p.
- DEMEK J. Generalization of Geomorphological Maps. In: Proceedings of the Meeting of the Igu. COMMISSION ON APPLIED GEOMORPHOLOGY. Sub-Comission On Geomorphological Mapping Brno And Bratislava. Progress made in Geomorphological Mapping, BRNO, 1967. p. 36-72.
- DNPM/CPRM. Projeto Estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba: mapas geológicos na escala de 1:500.000. Folhas Teresina-SO (SB.23-Y), Tocantins-NE (SC.22-X), Araguaia-SE (SB.22-Z) e Rio São Francisco-NO (SC.23-V). CPRM, Recife. 1978.
- DNPM/CPRM. Projeto Leste do Tocantins/Oeste do Rio São Francisco: mapas geológicos na escala de 1:250.000. Folhas Itacajá (SC.23-V-A), Lizarda (SC.23-V-C) e Miracema do Norte (SC.22-X-D). CPRM. 1976.
- E.U.A. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. Soil Survey Manual. Washington, D.C. 1951. 503p. (USDA. Agriculture Handbook, 18).
- E.U.A. Department of Agriculture. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, D.C.: Government Printing Office, 1975. 754 p. (Agriculture Handobook, 436).
- ELETRONORTE/THEMAG ENGENHARIA. Pedologia e Aptidão Agrícola das Terras das Áreas de Influência Indireta e de Influência Direta e Entorno da AHE SERRA QUEBRADA. São Paulo. 2000.
- ELETRONORTE/THEMAG. Estudos de Inventário do Médio Tocantins: avaliação sismotectônica da faixa de domínio do Rio Tocantins entre Campinaçu (GO) e Imperatriz (MA). Rel. TOC-04-321-RE. 1987.

- ELETRONORTE/THEMAG. Estudos de Viabilidade de Serra Quebrada: Geologia das Áreas Diretamente Afetada (ADA) e de Influência Direta (AID) do Reservatório. Rel. SEQ-00-1-08-0356. 1990.
- ELETRONORTE/THEMAG. Inventário Hidrelétrico do Médio Tocantins: Relatório Final. 1986.
- EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Mapa Esquemático dos Solos das regiões Norte, Meio-Norte e Centro-Oeste do Brasil. Texto explicativo. Rio de Janeiro. 1975. 553 p. (Boletim Técnico, 17).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solos. 2ª ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. Rio de Janeiro, 1986, 964 p. 2v. (Boletim de pesquisa n 35).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solos. Rio de Janeiro, 1979.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento. Normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro. 1988. 67 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 11).
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Definição e Notação de Horizontes e camadas do solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1988. 54 p. (EMBRAPA-SNLCS. Documentos, 03).
- FREIRE, O.; PESSOTTI, J. E. Erodibilidade de alguns solos de Piracicaba–SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO 2. Passo Fundo, RS, 1978. Anais, Passo Fundo, EMBRAPA. CNPT, 1978. p. 165–92.
- GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. Plano de Informação de Geologia na escala de 1:250.000. Folhas Conceição do Araguaia (SC.22-X-A/B), Araguaína (SB.22-Z-D), Carolina (SB.23-Y-C/D), Itacajá (SC.23-V-A/B) e Tocantinópolis (SB.23-Y-A). Secretaria dos Transportes e Obras: Sistema Estadual de Planejamento e Meio Ambiente - Programa Zoneamento Ecológico/Econômico. 1997/1998.
- HASUI, Y. et al.. A Borda Sul da Bacia do Parnaíba no Mesozóico. In: SIMP. NACIONAL ESTUDOS TECTÔNICOS 3 - Rio Claro, 1991. Boletim. p. 93-95. 1991.
- IBGE. Projeto Zoneamento das Potencialidades dos Recursos Naturais da Amazônia Legal. Convênio IBGE/SUDAM. Rio de Janeiro. 1990. 212 p.
- LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 2ª ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solos, 1982. 46 p.

- LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity: its distribution and relationship, with soil loss at Campinas, Brazil. May 1977. 53p. Thesis of Master of Science. Lafayette, Indiana, Purdue University.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. Erodibilidade de Solos Paulistas. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 27).
- MIOTO, J.A. Sismicidade e Zonas Sismogênicas do Brasil. Tese de Doutorado. IGCE/UNESP (Campus de Rio Claro), 1993.
- MUNSELL Soil color charts. Baltimore, Munsell Color Company, 1971. tab.
- PETRI, S.; FÚLFARO, V.J. Geologia do Brasil: Fanerozóico. São Paulo: T.A. Queiróz/Ed. da USP. 1983.
- PETROBRÁS/DNPM. Carta Geológica da Bacia do Parnaíba. Escala 1:250.000. Folhas Carolina (SB.23-Y-C), Tocantinópolis (SB.23-Y-A), Balsas (SB.23-Y-D), Fortaleza dos Nogueiras (SB.23-Y-B), Tasso Fragoso (SC.23-V-B) e Itacajá (SC.23-V-A). Petrobrás 1979.
- PONÇANO et alii. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT. Publicação n 1183, 1981.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. 3ª ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA. CNPS, 1995. 65 p.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos a conservação de solos.: Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 11 (128), p. 3-18. Ago. 1985.
- REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10. Rio de Janeiro. 1979. EMBRAPA-SNLCS. Serie Miscelânea, 1. Súmula. 1979. 83 p.
- RIOS, A. J. W. Uso dos Levantamentos Pedológicos na separação de Áreas com resistência variável aos agentes erosivos e na recomendação de práticas de manejo e conservação do solo. Goiânia, 2000. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Goiás, 2000.
- SCHUMM, S.A. The fluvial system. 1th ed. New York: Wiley & Sons, 1977.
- UNESCO/CPRM/DNPM. Carte Hydrogeologique de L'Amerique du Sud. Escala de 1:5.000.000. Rio de Janeiro. 1996.
- VAN ZUIDAN. Considerations on Systematic Medion Scale Geomorphological Mapping - Zeitschrift fuer Geomorphologie Berlin-Stuttgart 26(4), p. 473-480. 1982.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. Soil and Water Conservation Journal, 26, p. 189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7th CONG. INT. SOIL SCI. SOC. TRANS., 1961. V.01, paper 2.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, D.C., US. Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationships to soil loss. Trans. Am. Geophys. Un., 39, p. 285-291.1958.

3.6.13. Cronograma Físico

O cronograma físico das atividades previstas para este programa é apresentado a seguir.

É recomendável que os trabalhos referentes ao Programa de Monitoramento de Pontos Propensos a Instabilização de Encostas e Taludes Marginais sejam iniciados ao menos 02 anos antes do início do enchimento do reservatório.