

AUTOR: NELSON FERNANDES - UFRJ



PROJETO GIDES
“FORTALECIMENTO DA ESTRATÉGIA NACIONAL DE GESTÃO INTEGRADA DE
RISCOS DE DESASTRES”

VOLUME

4

**MANUAL TÉCNICO PARA INTERVENÇÕES
ESTRUTURAIS PARA FLUXO DE DETRITOS**

A série “Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres – Projeto GIDES” reúne os manuais elaborados no âmbito da cooperação técnica firmada entre o Governo do Brasil e o Governo do Japão, por meio da Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA) e do Ministério da Terra, Infraestrutura, Transporte e Turismo do Japão.

Os Manuais tratam de temas relacionados ao Projeto Gides com o objetivo de auxiliar técnicos e gestores públicos federais, estaduais e municipais na gestão integrada dos riscos de desastres de sedimentos de massa.

Os Manuais e as instituições responsáveis pela sua elaboração são os seguintes:

- Volume 1- Manual Técnico para Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa – Serviço Geológico do Brasil/Ministério de Minas e Energia;
- Volume 2- Manual Técnico para Elaboração, Transmissão e Uso de Alertas de Risco de Movimento de Massa – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais/Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações;
- Volume 3- Manual Técnico para Planos de Contingência para Desastres de Movimento de Massa – Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/Ministério da Integração Nacional;
- Volume 4- Manual Técnico para Intervenções Estruturais para Fluxo de Detritos - Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil/Ministério da Integração Nacional;
- Volume 5- Manual Técnico para Plano de Intervenção de Ruptura de Encosta – Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano/Ministério das Cidades.
- Volume 6- Manual Técnico para Redução de Riscos de Desastres Aplicado ao Planejamento Urbano – Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano/Ministério das Cidades;

Este volume corresponde ao “Manual Técnico para Intervenções Estruturais para Fluxo de Detritos” e tem como objetivo apresentar aos gestores públicos e profissionais envolvidos nas fases de prevenção e pós-desastres uma ferramenta para análise, proposição de soluções técnicas e desenvolvimento de um plano de medidas estruturais para áreas suscetíveis a desastres relacionados a fluxo de detritos. Embora se espere que a atuação ocorra prioritariamente na fase de prevenção aos desastres, a metodologia apresentada também pode ser empregada em locais atingidos por desastres de fluxo de detritos, como forma de auxiliar o plano de recuperação das áreas afetadas.

Este Manual está dividido em seis capítulos que abordam respectivamente:

objetivo e visão geral do processo de desenvolvimento do plano de concepção de intervenções para fluxo de detritos, os parâmetros básicos para o planejamento das medidas preventivas para fluxo de detritos e apresenta em detalhes a metodologia adotada para a estimativa do volume de sedimentos e troncos que compõem a massa carreada pelas ocorrências de fluxo de detritos, o processo de seleção das soluções técnicas possíveis para controle/contenção do fluxo de detritos, bem como a escolha dos locais para implementação das obras, a importância e os métodos aplicados à limpeza e manejo dos detritos acumulados nas barragens Sabo, as obras e intervenções emergenciais possíveis de serem executadas em situações pós desastres relacionados à fluxo de detritos e, por fim, as questões relacionadas ao uso e ocupação de áreas que dispõem de obras destinadas a proteção contra fluxo de detritos.



MINISTÉRIO DAS CIDADES GOVERNO FEDERAL

PROJETO GIDES

Manual Técnico para Concepção de Intervenções para Fluxo de Detritos

Edição 2018

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

HELDER ZAHLUTH BARBALHO

Ministro da Integração Nacional

RENATO NEWTON RAMLOW

Secretário Nacional de Defesa Civil

PAULO ROBERTO FARIAS FALCÃO

Diretor do Departamento de
Reabilitação e Reconstrução

ROSILENE VAZ CAVALCANTI

Coordenadora Geral de Reabilitação e
Reconstrução

PROJETO GIDES

MINISTÉRIO DAS CIDADES

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO
NACIONAL

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
(CPRM)

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E
TECNOLOGIA (Cemadem)

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA
CATARINA

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO

MUNICÍPIO DE BLUMENAU/SC

MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO/RJ

MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS/RJ

MINISTÉRIO DA TERRA,
INFRAESTRUTURA, TRANSPORTE
E TURISMO DO JAPÃO

AGÊNCIA DE COOPERAÇÃO
INTERNACIONAL DO JAPÃO-JICA

GRUPO DE TRABALHO
MANUAL TÉCNICO PARA CONCEPÇÃO DE INTERVENÇÕES
PARA FLUXO DE DETRITOS

EQUIPE TÉCNICA DO MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO

Bráulio Eduardo da Silva Maia
Cássio Guilherme Rampinelli
Érico de Castro Borges
Leonardo da Silva Almeida
Magno Gonçalves da Costa
Marcus Vinícius Fagundes Mota
Paulo Roberto Farias Falcão

COLABORADORES

Anna Laura Lopes da Silva Nunes
Dimitry Znamesky
Faïçal Massad
Marcelo Fischer Gramani
Roberto Quental Coutinho

EQUIPE TÉCNICA DA JICA

Akinori Naruto
Ingrid Lima
Kenichiro Tominaga
Takao Hori
Takao Yamakoshi
Toshiya Takeshi
Yoshifumi Shimoda

EQUIPE DE APOIO PARA TRADUÇÃO

Bruna Nakaharada
Carolina Umeraba
Cristina Matayoshi
Goro Kodama
Ilze Maeda

APRESENTAÇÃO

O Governo Federal, com apoio dos Estados do Rio de Janeiro e Santa Catarina e dos municípios de Blumenau, Nova Friburgo e Petrópolis, em parceria com o Governo Japonês, traz ao livre acesso do público brasileiro um conjunto de manuais voltados ao gerenciamento de riscos em desastres naturais, abrangendo todo o território Brasileiro.

Tratam-se de seis manuais destinados a um amplo conjunto de atores ligados diretamente e indiretamente às atividades de Gestão de Desastres Naturais que envolve um processo de gestão complexo que perpassa por ações de planejamento e intervenções diretas que devem ser avaliadas e conduzidas de forma contínua durante todas as fases do desastre.

Os manuais foram desenvolvidos dentro de quatro eixos de trabalho no âmbito do Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada em Riscos de Desastres Naturais (GIDES) fruto da cooperação técnica entre os governos brasileiro e japonês. Listam-se, a seguir, os quatro eixos de trabalho e os seis manuais fruto do projeto GIDES.

Eixos

- 1 Mapeamento de Perigo e Risco a Movimento de Massa;
- 2 Monitoramento e Alerta;
- 3 Obras de Prevenção e Reabilitação;
- 4 Planejamento e Expansão Urbana.

Manuais

1. Manual de Mapeamento de Perigo e Riscos a Movimentos Gravitacionais de Massa – CPRM – Ministério das Minas e Energia;
2. Manual de Redução de Riscos de Desastres Aplicado ao Planejamento Urbano – Movimentos de Massa – Ministério das Cidades (MCid);
3. Manual Técnico para Elaboração, Transmissão e Uso de Alertas de Risco de Movimentos de Massa – CEMADEN – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC);
4. Manual para a Elaboração de Plano de Medidas Estruturais contra Rupturas em Encostas – Ministério das Cidades (MCid);
5. Manual Técnico para Concepção de Intervenções para Fluxo de Detritos – DRR (Departamento de Reabilitação e Reconstrução) / SEDEC (Secretaria Nacional de

Proteção e Defesa Civil) / MI (Ministério da Integração Nacional).

6. Manual para Elaboração do Plano de Contingência Municipal para Riscos de Movimento de Massa – CENAD (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e 7 Desastres) /SEDEC (Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil) / MI (Ministério da Integração Nacional).

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC, instituída pela lei 12.608/12, incorpora as ações relacionadas à gestão de desastres em seu artigo terceiro (Capítulo II, seção I) enumerando-as como ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação. Ainda de acordo com a Lei, estas ações figuram dentro de uma abordagem sistêmica e respectivamente integradas à políticas setoriais, tais como as de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, gestão de recursos hídricos, dentre outras.

Os manuais desenvolvidos vão ao encontro destas categorias e fases, e representam os conjuntos de decisões que devem ser tomadas pelos gestores de acordo com sua posição no ciclo de desastres.

Cada manual está associado ao ciclo de desastres da seguinte forma:

Categoria de Gestão de Risco	Fase de Gestão de Risco	Manuais GIDES
ANTES	Prevenção Mitigação Preparação Alerta	Mapeamento de Perigo e Riscos a Movimentos Gravitacionais de Massa (CPRM-Ministério das Minas e Energia) Redução de Riscos de Desastres Aplicado ao Planejamento Urbano (MCid-Ministério das Cidades) Elaboração, Transmissão e Uso de Alertas de Risco de Movimentos de Massa (CEMADEN- Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações) Concepção de Intervenções para Fluxo de Detritos (SEDEC-Ministério da Integração Nacional) Plano de Medidas Estruturais contra Rupturas em Encostas (Ministério das Cidades)
DURANTE	Alerta Planos de Contingência	Elaboração, Transmissão e Uso de Alertas de Risco de Movimentos de Massa (CEMADEN- Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações) Elaboração do Plano de Contingência Municipal para Riscos de Movimento de Massa (SEDEC-Ministério da Integração

Categoria de Gestão de Risco	Fase de Gestão de Risco	Manuais GIDES
		Nacional)
DEPOIS	Recuperação Desenvolvimento	Concepção de Intervenções para Fluxo de Detritos (SEDEC-Ministério da Integração Nacional) Plano de Medidas Estruturais contra Rupturas em Encostas (Ministério das Cidades)

A utilização dos manuais depende de questões como o conhecimento e experiência acumuladas pelas administrações estaduais e municipais e de sua estratégia de ação frente ao desastre. Portanto, o gestor tem em mãos as ferramentas necessárias para atender a sua demanda, escolhendo o manual de acordo com sua necessidade. Para os gestores ainda sem familiaridade com o assunto, sugere-se iniciar a leitura do ciclo de desastres e suas fases associadas, buscando os manuais correspondentes para o planejamento das intervenções apropriadas para o tipo de movimento de massa comum ao município.

Oferece-se, assim, um compêndio destinado à gestão de riscos em território Brasileiro para desastres relacionados a movimentos de massa. Esperam-se revisões e atualizações dos produtos aqui descritos de acordo com os avanços de conhecimento e com as lições aprendidas à partir de sua utilização.

Sobre o projeto GIDES

Em agosto 2013, a Agência Brasileira de Cooperação (ABC) e a Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA) criaram um acordo para desenvolver o Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada em Riscos de Desastres Naturais (GIDES). Do lado brasileiro participam do projeto: Ministério das Cidades, como coordenador, a Casa Civil da Presidência da República, Ministério das Minas e Energia, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Ministério da Integração Nacional, Ministério da Cultura, os estados de Santa Catarina (SC) e Rio de Janeiro (RJ), juntamente com os municípios de Blumenau/SC, Nova Friburgo/RJ e Petrópolis/RJ que foram escolhidos como piloto do projeto por se tratarem de cidades que sofreram com as consequências dos desastres naturais de 2008 (Blumenau) e 2011 (Nova Friburgo e Petrópolis). Há ainda, a participação de Universidades, Centros de Pesquisas, e outras instituições que contribuem com as atividades do projeto. Pelo lado do Governo Japonês participam o Ministério da Terra, Infraestrutura, Transporte e Turismo, bem como sua Agência de Cooperação Internacional (JICA) que promove o intercâmbio de especialistas e consultores dedicados a auxiliar no atingimento dos objetivos do projeto.

O projeto tem como objetivo formular estratégias de avaliação de riscos,

planejamento de expansão urbana e prevenção de áreas de risco e reconstrução de áreas atingidas por desastres no Brasil. Esses objetivos têm sido implementados por meio de ações e atividades técnicas que envolveram capacitações, reuniões técnicas, trabalhos técnicos em campo, pesquisa científica e produção de textos.

Sobre o Manual Técnico para Concepção de Intervenções para Fluxo de Detritos

Objetivo do Manual e Público Alvo

O principal objetivo do documento consiste em apresentar aos gestores públicos e profissionais envolvidos nas fases de prevenção e pós-desastres uma ferramenta para análise, proposição de soluções técnicas e desenvolvimento de um plano de medidas estruturais para áreas suscetíveis a desastres relacionados a fluxo de detritos. Embora espera-se que a atuação ocorra prioritariamente na fase de prevenção aos desastres, a metodologia apresentada também pode ser empregada em locais atingidos por desastres de fluxo de detritos, como forma de auxiliar o plano de recuperação das áreas afetadas.

O presente documento destina-se especialmente ao corpo técnico das prefeituras municipais brasileiras, responsáveis pela elaboração de planos de prevenção, ou de recuperação de áreas susceptíveis ou afetadas por desastres. O documento busca auxiliar os técnicos municipais, bem como especialistas ou consultores contratados a analisar e propor, a nível de concepção, soluções (intervenções estruturais/obras) para áreas diretamente afetadas ou sujeitas a riscos de ocorrências de fluxos de detritos. Embora qualquer profissional que se interesse pelo tema possa acompanhar o conteúdo do manual, acredita-se que engenheiros e geólogos possam ter mais afinidade com o conteúdo técnico apresentado.

Conteúdo do Manual

O conteúdo do manual foi dividido em 6 capítulos. O capítulo 1 apresenta os objetivos e a visão geral do processo de desenvolvimento do plano de concepção de intervenções para fluxo de detritos.

O capítulo 2 discute os parâmetros básicos para o planejamento das medidas preventivas para fluxo de detritos e apresenta em detalhes a metodologia adotada para a estimativa do volume de sedimentos e troncos que compõem a massa carregada pelas ocorrências de fluxo de detritos.

O capítulo 3 aborda o processo de seleção das soluções técnicas possíveis para controle/contenção do fluxo de detritos, bem como a escolha dos locais para implementação das obras. O ponto principal deste capítulo consiste na apresentação de um fluxograma prático para auxiliar o processo de definição das intervenções necessárias, com base em perguntas simples que direcionam o técnico a encontrar as soluções técnicas mais apropriadas para o caso analisado.

O capítulo 4 discute a importância e os métodos aplicados à limpeza e manejo dos detritos acumulados nas barragens Sabo.

O capítulo 5 refere-se à obras e intervenções emergenciais possíveis de serem executadas em situações pós desastres relacionados à fluxo de detritos.

Por fim, o capítulo 6 aborda questões relacionadas ao uso e ocupação de áreas que dispõem de obras destinadas a proteção contra fluxo de detritos.

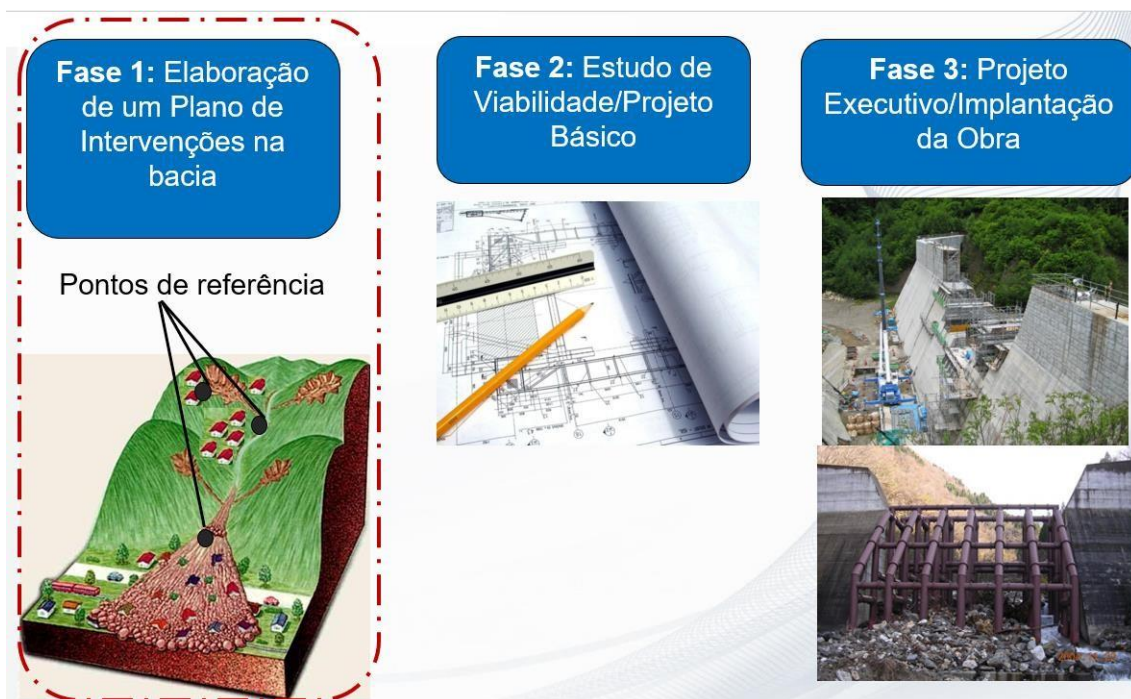
Ao final do texto principal, são apresentados Anexos ao Manual abordando metodologias referentes ao cálculo da vazão de pico do fluxo de detritos, a estimativa da vazão líquida associada a vazão de detritos, o processo de definição da chuva de projeto e o respectivo tempo de recorrência, o cálculo das forças hidrodinâmicas associadas ao fluxo de detritos, o cálculo da velocidade e concentração volumétrica do fluxo de detritos bem como uma sugestão de itemização do conteúdo básico de um Plano de Medidas Estruturais para Fluxo de Detritos, além de um exemplo prático de aplicação de um fluxograma para seleção de soluções técnicas de contenção/controle de fluxo de detritos.

Ainda compondo o conteúdo do manual há a apresentação de dois apêndices: Apêndice A: Estudo de Caso de Nova Friburgo/RJ e Apêndice B: Estudo de Caso de Blumenau/SC, onde a metodologia descrita no texto principal do manual foi aplicada a duas localidades severamente afetadas por eventos de fluxo de detritos passados. O objetivo dos apêndices consiste em demonstrar de forma mais clara o tipo de produto esperado a partir da aplicação da metodologia apresentada.

Destaca-se que o conteúdo deste manual deverá ser revisto à medida que o estudo e o levantamento de dados de eventos relativos a fluxo de detritos evoluam no Brasil, aumentando a compreensão acerca deste fenômeno pela comunidade técnica brasileira.

Contexto de Aplicação do Manual

O manual poderá ser aplicado às áreas com risco de fluxo de detritos em bacias hidrográficas de até 5 km². Destaca-se que o manual destina-se, exclusivamente, a uma fase de concepção ou planejamento de estruturas de contenção ou controle para fluxo de detritos, sendo, portanto, uma fase prévia ao desenvolvimento de projetos e implementação de obras que deverão compreender uma análise mais profunda e detalhada da estrutura inicialmente concebida. Para melhor ilustrar o contexto de aplicação do manual, apresenta-se a figura, a seguir, que resume de forma sucinta as principais fases referentes à implementação de obras desta natureza.



É recomendável o acompanhamento e avaliação de especialistas no assunto a medida que os estudos evoluam para a implementação das obras. Destaca-se que não é recomendado o uso do manual para bacias hidrográficas acima de 5km², casos que se requer uma avaliação técnica mais específica por especialista no tema a respeito da pertinência de aplicação da metodologia aqui apresentada ou outra mais apropriada.

Este manual é um guia orientativo para o planejamento e aplicação racional de medidas específicas destinadas a mitigar ou prevenir desastres referentes à fluxo de detritos, não pretendendo esgotar o tema ou restringir a aplicação de outras publicações técnicas ou metodologias correlacionadas.

Brasília, Janeiro de 2018

Paulo Roberto Farias Falcão

Diretor do Departamento de Reabilitação e Reconstrução

Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

Cássio Guilherme Rampinelli

Analista de Infraestrutura – Departamento de Reabilitação e Reconstrução

Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil

GLOSSÁRIO

Riacho ou talvegue com perigo de fluxo de detritos: córregos ou talvegues (vertentes de escoamento de água na ocorrência de chuvas) nos quais há o perigo de ocorrência do fluxo de detritos podendo causar danos às estruturas públicas e prédios.

Bacia hidrográfica: área delimitada pelas linhas que formam os divisores de água de uma região, sobre a qual a água da chuva escoar para um ponto específico podendo formar córregos e rios.

Ponto de referência: local utilizado como referência para o cálculo do volume de sedimentos que será tratado no plano de medidas para fluxo de detritos.

Área a ser protegida: região que onde há ocupação humana e infraestrutura que pode ser afetada pela ocorrência de fluxo de detritos.

Tempo de recorrência: período de tempo (em anos) em que, em média, um evento pode ser igualado ou superado em sua magnitude. O inverso do tempo de recorrência consiste na probabilidade de excedência da magnitude do evento.

Fluxo de detritos: É um tipo de movimento de massa que tem na sua composição alta densidade (10% a 50%) de cascalhos e se movimenta devido a força da gravidade. Consegue movimentar grande quantidade de sedimentos podendo ter em sua composição matações e troncos de árvores, com alta energia destrutiva.

Vazão de pico do fluxo de detritos: valor máximo da vazão do fluxo de detritos associada a um evento .

Densidade do fluxo de detritos: valor resultante da divisão do volume de sedimento contido no fluxo de detritos pelo volume total da mistura de água e sedimento.

Volume total escoado de detritos: é a soma do volume da água e o sedimento que passa pelo ponto de referência em decorrência do fluxo de detritos, que não inclui o ar contido nos poros.

Ângulo de atrito interno: ângulo formado com o eixo das tensões normais pela tangente à circunferência do círculo de Mohr.

Volume de sedimentos carregados do plano: é o volume de sedimento que passa pelo ponto de referência conforme critérios definidos no plano de medidas.

Volume específico de sedimentos carregados: é o valor da razão entre o volume de sedimentos carregado (incluindo o volume de vazios dos poros) por um determinado evento na bacia hidrográfica e a área da bacia hidrográfica associada.

Volume admissível do fluxo de detritos: volume de sedimentos decorrente de fluxo de detritos que não irá ocasionar danos a jusante do ponto de referência.

Volume de troncos: volume de material constituído por troncos de árvores localizadas nas encostas e vales que são derrubados e levados durante a ocorrência de um evento de fluxo de detritos.

Volume de sedimentos: volume de material granular composto pela mistura de água, solo e ar, podendo conter material composto por matacões e blocos de rocha mobilizado durante a ocorrência de eventos de fluxo de detritos.

Volume de detritos: soma do volume de sedimentos e troncos que compõe a massa total do fluxo de detritos.

Diâmetro à altura do peito: é o diâmetro médio da árvore à medida altura do peito de uma pessoa. É utilizado como referência para o cálculo do volume total da árvore.

Volume potencial de sedimentos gerados: é o volume máximo de sedimentos possível de ser gerado em uma determinada bacia hidrográfica tendo em vista as características físicas e morfológicas da área.

Volume de sedimentos transportável: é o volume de sedimentos que pode ser transportado tendo em vista um evento de chuva associado.

Probabilidade de excedência: é o inverso do tempo de recorrência e indica a probabilidade em que a magnitude de um determinado evento pode ser igualada ou superada.

Tempo de concentração: tempo necessário para que a “última gota” de água da chuva que tenha caído no ponto mais distante da bacia hidrográfica atinja o ponto de referência ou determinada seção de referência da bacia hidrográfica.

Chuva efetiva: Parcela do total de chuva que atinge uma determinada área que efetivamente contribui para formação do escoamento superficial. Ou seja, corresponde ao volume total de chuva subtraído da parcela da chuva que se infiltra, evapora e é interceptada pelas folhas e depressões do relevo.

Hierarquia de drenagem: ordenamento dos cursos d'água a partir de metodologia que estabelece um número de ordem para as diversas vertentes que compõem os cursos d'água de uma bacia hidrográfica.

Volume retido: É o volume de fluxo de detritos para o qual a barragem sabo é dimensionado para controlar/conter.

Volume depositado: É o volume de material que naturalmente é depositado na barragem sabo do tipo impermeável. Para barragens permeável este volume pode ser desprezado.

Gradiente de deposição do fluxo de detritos: Refere-se ao gradiente do leito (fundo) formado pela deposição do fluxo de detritos ao longo do trecho a montante da barragem sabo.

Gradiente natural do leito do rio: é o gradiente formado pela declividade natural do leito do rio antes da ocorrência de um fluxo de detritos.

Remoção de sedimentos: é o ato de recuperar o volume perdido a montante da barragem sabo após a deposição de sedimentos decorrente de um evento de fluxo de detritos.

SUMÁRIO

Capítulo 1.....	20
1.1 Objetivos do plano.....	21
1.2 Processo de elaboração do plano	21
Capítulo 2 Itens Básicos do Plano de Medidas de Proteção e Controle de Fluxo de Detritos.....	25
2.1 Diretrizes para elaboração	26
2.2 Áreas a serem protegidas	26
2.3 Dimensão e restrições de aplicação do plano	27
2.4 Pontos de referência e classificação das zonas de movimentação do fluxo de detritos.....	28
2.5 Estimativa do Volume de Detritos	30
2.5.1 Volume de detritos admissível.....	30
2.5 Volume de detritos a ser adotado no plano	30
2.5.1 Volume de sedimentos a ser considerado no plano	31
2.5.1.1 Volume potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia hidrográfica (Vdy1).....	32
2.5.1.2 Volume de material passível de ser transportado dentro de um evento de chuva com um dado tempo de retorno (Vdy2)	37
2.5.2 Volume de troncos	39
2.5.2.1 Caracterização das condições de vegetação arbustiva e árvores na bacia	39
2.5.2.2 Levantamentos de dados das árvores/arbustos	40
2.5.2.3 Estimativa do volume de troncos.....	41
2.5.2.4 Volume de troncos a ser considerado no plano.....	43
Capítulo 3 Alternativas de Controle para Fluxo de Detritos	45
3.1 Caracterização geral do trecho de escoamento do fluxo de detritos	46
3.2 Caracterização das medidas para controle do fluxo de detritos	47
3.2.1 Medidas de controle da geração de detritos.....	48

3.2.1.1	Medidas para conter a geração de detritos na encosta.....	49
3.2.1.2	Medidas para conter a geração de detritos no talvegue/ leito de córregos	50
3.2.2	Medidas de captura de fluxo de detritos.....	51
3.2.2.1	Barragens Sabo impermeáveis.....	51
3.2.2.2	Barragens Sabo permeáveis.....	52
3.2.2.3	Barragens Sabo Semi-permeáveis	54
3.2.2.4	Relação entre os volumes de detritos e os tipos de barragens Sabo .	55
3.2.2.5	Seleção do tipo de barragem Sabo	59
3.2.3	Medidas de canalização do fluxo de detritos	61
3.2.4	Medidas para deposição do fluxo de detritos	62
3.2.4.1	Lagoa de deposição	62
3.2.4.2	Deposição de detritos por prolongamento.....	63
3.2.5	Medidas para controle do trajeto do fluxo de detritos	64
3.3	Fluxograma para seleção de medidas para controle de fluxo de detritos	64
3.3.1	Instruções básicas para utilização do fluxograma de seleção de medidas para controle de fluxo de detritos	65
3.3.2	Comentários a respeito das questões indicadas no fluxograma.....	66
Capítulo 4	Limpeza e manejo dos detritos acumulados nas barragens Sabo ...	69
4.1	Objetivo da retirada dos detritos acumulados nas barragens Sabo	70
4.2	Retirada periódica de detritos.....	70
4.3	Retirada emergencial de sedimentos	70
Capítulo 5	Obras e intervenções emergenciais	71
5.1	Eventos secundários após a ocorrência do fluxo de detritos.....	72
5.2	Avaliação da necessidade de intervenções emergenciais/provisórias ...	73
5.3	Exemplos de intervenções emergenciais	74
5.3.1	Contenção de ocorrência ou controle da geração de fluxo.....	74

5.3.2	Canalização.....	75
5.3.3	Controle de direção do fluxo.....	76
5.3.4	Retirada do sedimento em obras de retenção.....	76
Capítulo 6	Uso e ocupação de áreas a jusante de barragens Sabo	77
6.1	Indicador para avaliação da implementação do plano de intervenções ..	78
6.2	Avaliação da segurança da área a ser protegida	78
6.2.1	Segurança em relação ao planejamento	79
6.2.2	Segurança em relação à estrutura	79
6.2.3	Segurança em relação à gestão.....	80
6.3	Avaliação de segurança da área a jusante após a conclusão das obras estruturantes implementadas.....	80
6.4	Necessidade de implantação e operação de sistemas de alerta e evacuação	80
	REFERÊNCIAS	82
	ANEXO 1 - Vazão de pico do fluxo de detritos	84
	ANEXO 2 –Velocidade do Fluxo de Detritos.....	94
	ANEXO 4 – Concentração volumétrica do fluxo de detritos.....	97
	ANEXO 5 -Conteúdo do Plano de Medidas Estruturais para o Fluxo de detritos	98
	ANEXO 6- Exemplo de Seleção de Obras através do Fluxograma em Vales com Fluxo de Detrito Típico	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma para elaboração do plano de medidas para fluxo de detritos	23
Figura 2- Dispersão entre os dados de volume de sedimentos movimentados em fluxos de detritos x área da bacia hidrográfica.....	24
Figura 3- Locais mais suscetíveis a serem atingidos pelo fluxo de detritos.....	27
Figura 4. Relação entre a declividade do talvegue e as zonas do fluxo de detritos.....	29
Figura 5. Caso em que há necessidade de inserção de um ponto de referência auxiliar.....	29
Figura 6. Volume de detritos admissível	30
Figura 7. Diagrama esquemático para definição do volume de detritos a ser adotado no plano	31
Figura 8. Local de origem dos sedimentos potencialmente mobilizáveis.....	32
Figura 9. Exemplos de sedimentos mobilizáveis advindos do canal(Vdy11) e da enconsta (Vdy12) ..	33
Figura 10. Esquema ilustrativo para o cálculo do volume de sedimentos mobilizáveis no leito do canal	34
Figura 11. Esquema ilustrativo para a estimativa dos parâmetros Bd e De.....	34
Figura 12. Hierarquização da rede de drenagem segundo Horton-Strahler.	36
Figura 13. Esquema indicativo dos comprimentos das bacias de ordem zero e de ordem maiores que zero.....	37
Figura 14. Cálculo do coeficiente	39
Figura 15. Etapas para o cálculo do volume de troncos.....	39
Figura 16. Quadrante para levantamento dos dados das espécies vegetais	41
Figura 17. Coeficiente Kd em função da altura para espécies típicas japonesas.....	42
Figura 18. Coeficiente Kd em função da altura para espécies típicas brasileiras	43
Figura 19. Caracterização das zonas de movimentação do fluxo de detritos	46
Figura 20. Identificação das medidas de controle em função das zonas de movimentação do fluxo de detritos	47
Figura 21. Identificação das medidas de controle em função das zonas de movimentação do fluxo de detritos.....	48
Figura 22. Exemplos de soluções para estabilização de enconstas	49
Figura 23. Exemplos de soluções para fixação de material do leito de talvegues	50
Figura 24. Exemplo de barragem Sabo impermeável	52

Figura 25. Exemplo de barragem Sabo permeável (Mizuyama, 2008)	53
Figura 26. Exemplo de estrutura auxiliar para contenção de blocos de rocha e troncos.....	54
Figura 27. Exemplo de estrutura auxiliar para contenção de blocos de rocha e troncos.....	55
Figura 28. Volumes e declividades características para barragem Sabo impermeável.....	57
Figura 29. Volumes e declividades características para barragem Sabo permeável	58
Figura 30. Volumes e declividades características para barragem Sabo semi-permeável.....	58
Figura 31. Exemplos de barragens Sabo permeáveis.....	61
Figura 32. Seção típica com revestimento do canal	62
Figura 33. Exemplo de lagoa de deposição de detritos	63
Figura 34. Exemplo de estrutura de deposição por prolongamento.....	63
Figura 35. Esquema da implantação de dique para desvio do fluxo de detritos	64
Figura 36. Fluxograma para seleção de medidas para controle de fluxo de detritos.....	68
Figura 37. Relação entre número de danos (humanos e materiais) em dados coletados para eventos de fluxo de detritos ocorridos no Japão entre 1992 a 1997.....	73
Figura 38. Exemplo de obra emergencial de proteção de enconsta com sacos de areia.....	75
Figura 39. Exemplo de canalização do leito da drenagem à partir do uso de Diques Marginais.....	75
Figura 40. Barragem Sabo e bacia de dissipação associada a barragem auxiliar.....	79
Figura 41. Evolução da implantação de das medidas estruturais contra fluxo de detritos na bacia e riscos nas áreas a jusante das medidas	81
Figura 42. Esquema da área considerada para estimativa do fluxo de detritos	85
Figura 43. Correlação entre o pico de vazão sólida (ordenadas) e o volume total de fluxo de massa (abscissas).	86
Figura 44. Exemplo da largura do fluxo de detritos (B_d) na seção transversal	95



Capítulo 1 O Plano de Intervenções para Fluxo de Detritos

1.1 Objetivos do plano

O plano a ser elaborado para implantação de medidas de controle ou contenção de fluxos de detritos deve ter como meta a proteção da vida humana, da infraestrutura local e do meio ambiente. Para isso, o plano deve ser elaborado considerando sistematicamente: a situação atual dos talvegues/córregos a partir de visitas *in loco*, o histórico de ocorrências de fluxos de detritos na bacia; a situação da bacia hidrográfica no que se refere ao uso e ocupação de áreas urbanas e rurais; os aspectos históricos e culturais, além de fatores econômicos locais.

Recomenda-se que o plano seja elaborado para cada bacia hidrográfica com risco de ocorrência de fluxo de detritos, sendo priorizada as áreas de risco mapeadas conforme Manual de Mapeamento de Perigo e Riscos a Movimentos Gravitacionais de Massa – CPRM – Ministério das Minas e Energia.

O principal objetivo do plano consiste na elaboração de um documento que apresente o processo de definição, a nível de concepção, das intervenções estruturais recomendadas para a bacia hidrográfica de interesse sujeita a ocorrência de fluxo de detritos, chegando-se a uma estimativa do volume de material a ser contido ou manejado, tendo em vista um determinado período de recorrência associado. Os Apêndices A e B, apresentam de forma mais objetiva o produto esperado para o plano de intervenções.

1.2 Processo de elaboração do plano

O processo de elaboração do plano deve ser realizado, sempre que possível, com base no mapeamento realizado para as áreas de risco sujeitas a ocorrências de fluxo de detritos, priorizando-se aquelas bacias com risco mais elevado. No processo de elaboração do plano é importante categorizar da melhor forma possível os trechos de córregos e/ou talvegues que podem contribuir para a formação da massa de sedimentos que irá compor o fluxo de detritos, sendo importante a definição adequada do volume de sedimentos a ser considerado no plano, é recomenda-se que a região da bacia estudada contenha informações topográficas mínimas que permitam a configuração de uma mapa topográfico com curvas de nível, pelo menos, a cada cinco metros de desnível. Com base nessas informações pode-se traçar o perfil do talvegue/córrego principais, permitindo uma melhor caracterização do fenômeno estudado ao longo da bacia avaliada.

Antes de avaliar o volume de sedimentos a ser considerado no plano é importante definir os principais itens que serão abordados no plano (no Anexo 2 do Manual é apresentada uma proposta de sumário básico para o plano, além disso, nos Apêndices A e B são apresentados dois modelos de aplicação da metodologia a dois estudos de caso), a área a ser protegida, a dimensão e restrições de aplicação do plano e o ponto de referência para cálculo do volume de sedimentos a ser considerado.

Em seguida, procede-se com a estimativa do volume potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia, seguido do cálculo do volume passível de ser transportado,

associado a um evento de chuva para um dado tempo de recorrência. Com base na comparação desses dois volumes define-se aquele que será considerado no plano (o menor dos dois, conforme será explicado no capítulo 2). Estima-se, na sequência, o volume de troncos, que é somado ao volume de sedimentos a ser considerado no plano para compor o volume total de detritos a ser adotado no plano, seguido de uma caracterização e avaliação da área passível de ser afetada pela eventual ocorrência de um fluxo de detritos. Complementarmente, estima-se a vazão de pico esperada para o fluxo de detritos bem como a respectiva velocidade de propagação.

O passo seguinte consiste em avaliar e definir a(s) possível(eis) obras/estruturas adequada(s) ao controle/contenção do volume de sedimentos adotado no plano, seguido de um plano de remoção/estabilização de blocos mobilizáveis maiores e do plano de manutenção das estruturas previstas. A Figura 1, a seguir, resume as principais etapas aqui descritas que compõem o processo de elaboração do plano de intervenções estruturais para bacias hidrográficas sujeitas a ocorrência de fluxo de detritos.

Com base na experiência japonesa em fluxo de detritos, há grande variação dos volumes de detritos mobilizáveis durante essas ocorrências para bacias hidrográficas com características similares, o que inviabiliza a aplicação de correlações estatísticas para obtenção de estimativas diretas de volumes de detritos mobilizáveis para esses tipos de fenômenos em função da área de drenagem das bacias hidrográficas. Para ilustrar essa situação, a Figura 2 apresenta um diagrama de dispersão que busca correlacionar o volume de sedimentos mobilizados e a área da respectiva bacia hidrográfica associada para um histórico de ocorrências de eventos de fluxo de detritos no Japão, para o período de 1992 a 1999, incluindo-se, alguns locais de eventos similares ocorridos no município de Nova Friburgo/RJ, em 2011, e no município de Salvador/BA, em 2015.

É notória a grande dispersão dos dados, o que indica que a estimativa dos volumes de detritos a serem carreados deve ser obtida com base em levantamentos de campo e procedimentos metodológicos específicos.

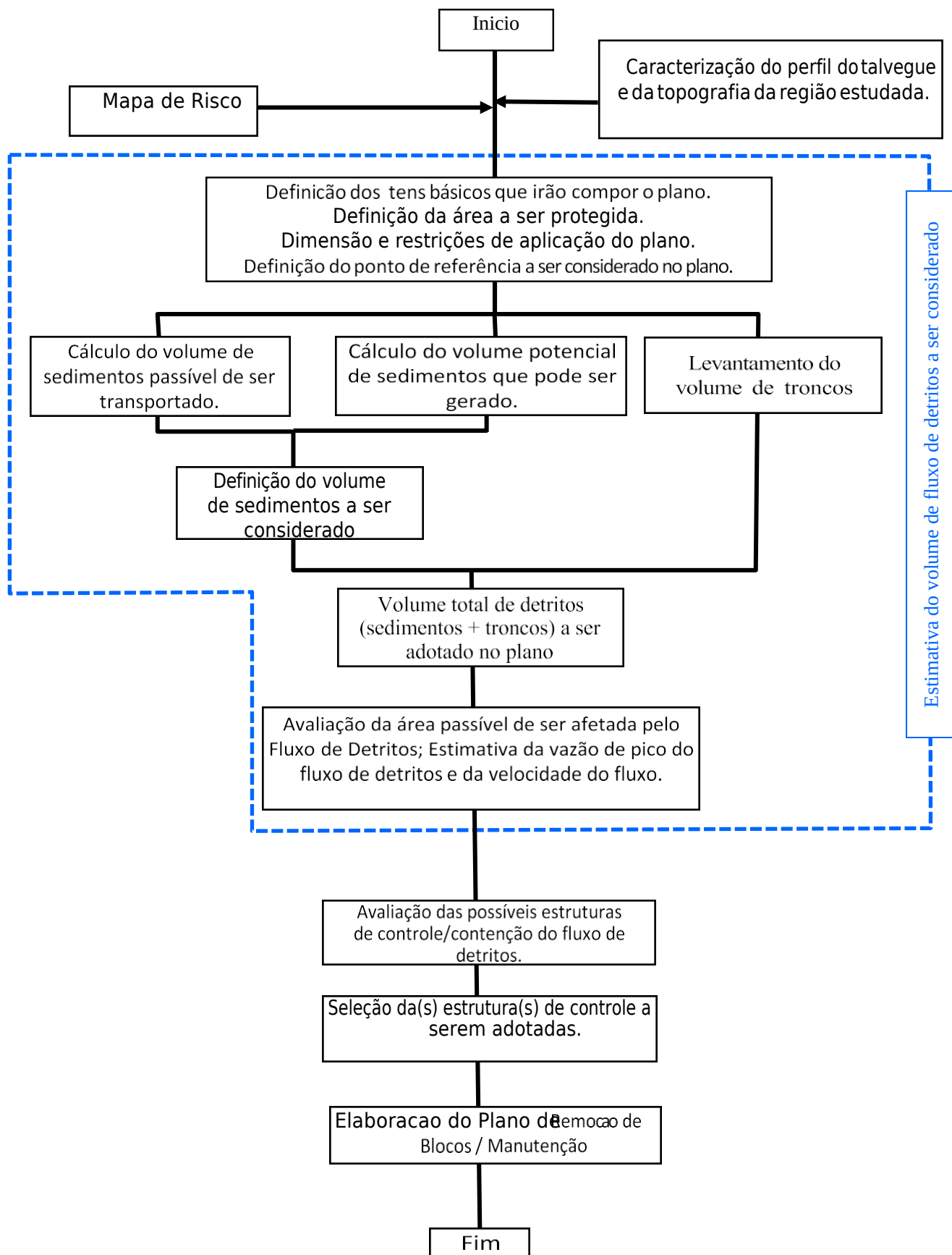


Figura 1- Fluxograma para elaboração do plano de medidas para fluxo de detritos

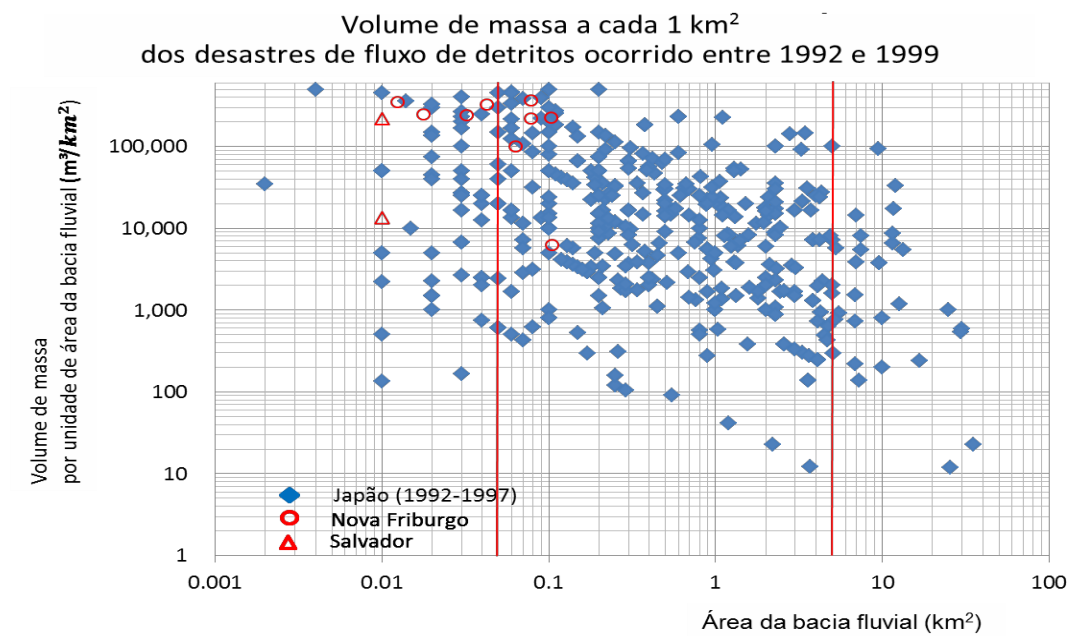


Figura 2- Dispersão entre os dados de volume de sedimentos movimentados em fluxos de detritos x área da bacia hidrográfica



Capítulo 2 Itens Básicos do Plano de Medidas de Proteção e Controle de Fluxo de Detritos

2.1 Diretrizes para elaboração

O planejamento das medidas de controle e proteção para fluxo de detritos deve ser elaborado de forma a tratar de forma efetiva o volume de material (sedimentos e troncos) que escoam na forma de fluxo de detritos, com o objetivo de evitar a ocorrência de desastres nas áreas que podem ser diretamente afetadas por esses fenômenos.

As metas do plano serão consideradas atingidas após a implementação de todas as ações e obras previstas no escopo do planejamento realizado. Deve-se, também, integrar ao plano medidas de cunho não estrutural, tais como sistemas de monitoramento e alerta (cuja diretriz são indicadas no Manual de Elaboração, Transmissão e Uso de Alertas de Risco de Movimentos de Massa – CEMADEN/MCTIC), ações de contingência (cuja diretriz são discutidas no Manual para Elaboração do Plano de Contingência Municipal para Riscos de Movimento de Massa – CENAD/SEDEC/MI) e questões relativas ao uso e ocupação do solo (cuja diretriz são apresentadas no Manual de Redução de Riscos de Desastres Aplicado ao Planejamento Urbano – Movimentos de Massa – MCid). Ainda que predominem ações estruturais, durante a fase de execução das obras previstas no plano, podem ocorrer situações críticas de escoamento de detritos, sendo imprescindível a implantação de medidas não estruturantes com a maior brevidade possível, como a instalação de um sistema de monitoramento e alerta, a fim de se proteger vidas e infraestrutura.

Ressalta-se ainda, que mesmo após a implantação das obras, podem ocorrer fluxos de detritos de grande magnitude, que ultrapassem o período de retorno adotado nos projetos e, para estes casos, as medidas não estruturais continuarão tendo uso e sendo fundamentais para preservação de vidas e redução de prejuízos e danos a infraestrutura.

Outro aspecto de relevância a ser destacado, consiste na necessidade de atualização periódica do plano. Sempre que ocorrerem mudanças na bacia hidrográfica, tais como alterações na topografia, tipo de uso do solo, cobertura vegetal, dentre outros, seja pela ação antrópica ou pela ocorrência de deslizamentos e/ou fluxo de detritos, será necessário revisar o plano, incluindo uma nova estimativa do volume de detritos a ser considerado no dimensionamento, caso se perceba que essas modificações possam impactar a estimativa inicial de volume de detritos considerado no planejamento.

2.2 Áreas a serem protegidas

As áreas a serem protegidas consistem nas localidades onde há residências, zonas de cultivo, infraestrutura pública e privada, dentre outras áreas onde há risco dessas benfeitorias serem atingidas por fluxo de detritos. O processo adotado para o levantamento dessas áreas de risco é detalhado no Manual de Mapeamento de Perigo e Riscos a Movimentos Gravitacionais de Massa (CPRM). A identificação das regiões a serem protegidas deve considerar a distância em relação ao ponto de referência adotado no planejamento, bem como a cota de elevação do terreno nessas áreas, tomando-se como referência a cota de alcance do fluxo de detritos.

Pela prática japonesa, usualmente, áreas que estão localizadas até 5 m acima do talvegue ou da calha do rio/córrego em bacias hidrográficas com risco de ocorrência de fluxo de detritos

possuem mais chance de serem atingidas. Dessa forma, é recomendável a remoção das moradias localizadas nessa área ou a adoção de alguma medida de proteção. A Figura 3 ilustra a situação descrita.

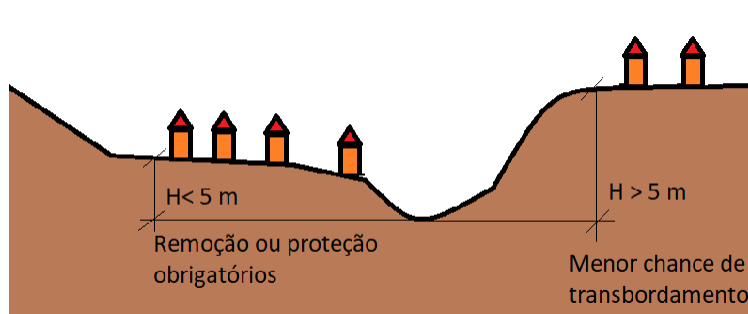


Figura 3- Locais mais suscetíveis a serem atingidos pelo fluxo de detritos

No que se refere às declividades dos perfis longitudinais dos talvegues ou dos córregos/rios, trechos com declividades da ordem de 3 graus (1V:20H) tendem a ser mais favoráveis à depósitos de fluxo de detritos com maior composição de cascalhos, enquanto trechos com declividades da ordem de 2 graus (1V:30H) tendem a ser mais propícios a depósitos de fluxos de detritos com maior composição de lama.

2.3 Dimensão e restrições de aplicação do plano

As medidas de controle/contenção para fluxo de detritos são concebidas com base em um volume de sedimentos estimado a partir uma probabilidade de ocorrência ou período de retorno associado a uma chuva de projeto ou a partir de levantados de volume de eventos de fluxo de detritos anteriores.

No caso da estimativa a partir de uma chuva de projeto, em princípio, o volume de sedimentos a ser adotado no plano é definido com base na comparação de dois volumes: o volume potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia e o volume de sedimentos passível de ser transportado com um evento de chuva específico associado a um tempo de recorrência pré-estabelecido. O método de cálculo dos volumes citados será melhor descrito nos itens seguintes. Ao volume de sedimentos considerado para o plano soma-se o volume de troncos para compor o volume de detritos a ser adotado no plano. O evento de chuva considerado trata-se da chuva máxima diária esperada para um dado período de retorno (recomenda-se a adoção de períodos de retorno a partir de 100 anos). Ressalta-se que para as situações onde o volume potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia supera o volume de sedimentos passível de ser transportado, há possibilidade de ocorrência de eventos que superem o volume de sedimentos adotado no plano.

No caso em que há histórico considerável de registros com dados de volumes dos eventos de fluxos de detritos ocorrido no passado na bacia hidrográfica de interesse, o volume de detritos a ser adotado no plano poderá levar em conta a correlação entre a magnitude das chuvas associadas aos volumes de detritos registrados.

Destaca-se, ainda, que este manual não leva em consideração o efeito da propagação de volumes de detritos represados naturalmente em obstruções naturais que bloqueiam a passagem dos fluxos no trecho de escoamento, bem como barragens artificiais utilizadas para contenção de rejeitos. A consideração desses tipos de efeitos deve ser avaliada de forma específica, sempre que forem identificados o seu potencial de ocorrência.

2.4 Pontos de referência e classificação das zonas de movimentação do fluxo de detritos

O ponto de referência consiste no local para o qual o volume de detritos a ser considerado no plano será calculado. O ponto de referência, usualmente, é posicionado à montante da área a ser protegida e a jusante da zona de escoamento do fluxo de detritos. Para melhor compressão do posicionamento do ponto de referência é importante ter uma noção da caracterização do fenômeno ao longo de sua formação, propagação, deposição e espraçamento dentro da extensão do talvegue/córrego considerado.

Assim, busca-se delimitar ao longo do talvegue/córrego sobre o qual o fluxo de detritos se propaga as seguintes zonas: trecho onde há a geração da maior parte do material detrítico que será propagado, denominado zona de ocorrência ou iniciação, trecho onde o material será propagado ou escoado, denominado zona de escoamento, trecho onde o material será depositado às margens do talvegue ou córrego, denominado zona de deposição e trecho onde o material será espalhado e disperso, denominado zona de espraçamento ou arraste.

De forma a facilitar essa compreensão, realiza-se uma classificação das zonas de movimentação do material propagado com base no gradiente de declividade do talvegue ou leito do córrego estudado, embora tal classificação também seja afetada pelo tipo de material passível de ser carregado. As zonas de movimentação descritas são apresentadas graficamente na Figura 4, em função do gradiente do leito do talvegue/córrego sobre o qual o fluxo se propaga.

Destaca-se que a delimitação dessas zonas não é um processo excludente, sendo possível a ocorrência de processos característicos de uma zona ou outra dentro de um mesmo trecho, podendo haver, portanto, sobreposição entre elas. Embora o diagrama apresentado possa servir como referência para essa classificação é importante complementar a classificação a partir de visita in loco e vestígios ou evidências de eventos anteriores ocorridos na bacia hidrográfica avaliada.

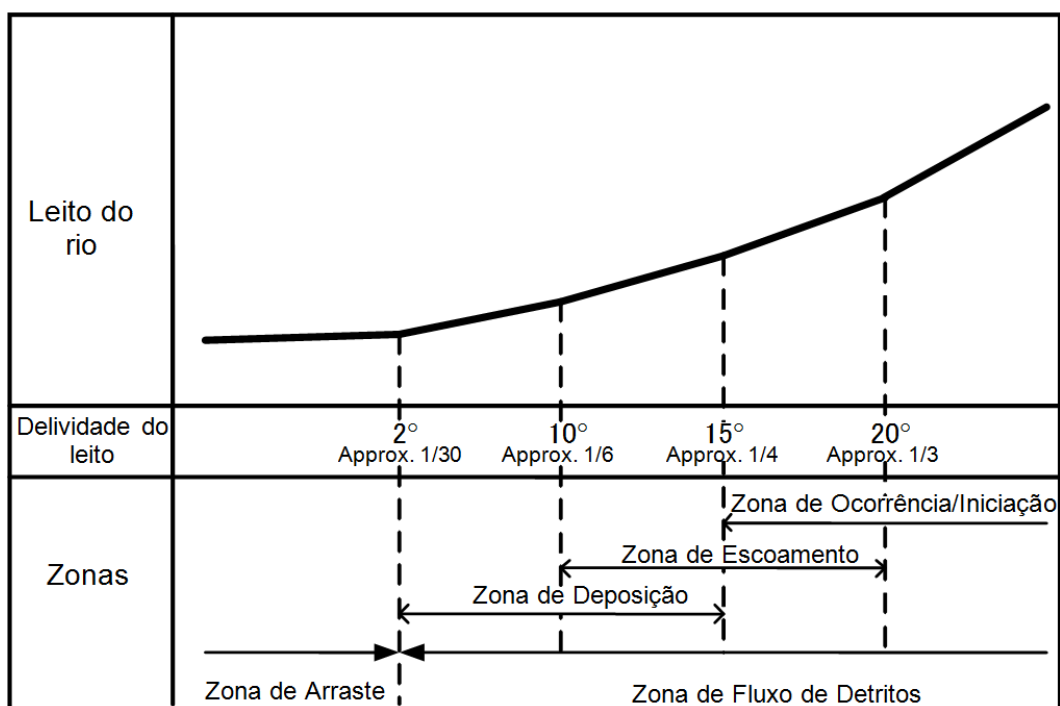


Figura 4. Relação entre a declividade do talvegue e as zonas do fluxo de detritos

A posição do ponto de referência tendo em vista as zonas de movimentação do fluxo de detritos é geralmente definida a jusante da zona de escoamento. Contudo, em determinadas situações, quando, por exemplo, a alta declividade do trecho de escoamento, logo a montante do ponto de referência, inviabiliza a inserção de uma barragem neste local, faz-se necessário a consideração de dois ou mais pontos de referência. Trabalha-se, portanto, com ponto(s) de referência auxiliar(es).

Nessas situações, pode ser necessário deslocar a estrutura de controle de fluxo para a zona de deposição, passando este local a ser o ponto de referência e o trecho imediatamente a jusante da zona de escoamento (ponto a partir do qual a jusante o relevo passa a ser mais plano) passa a ser o ponto de referência auxiliar. A Figura 6 apresenta um desenho esquemático com a situação descrita.

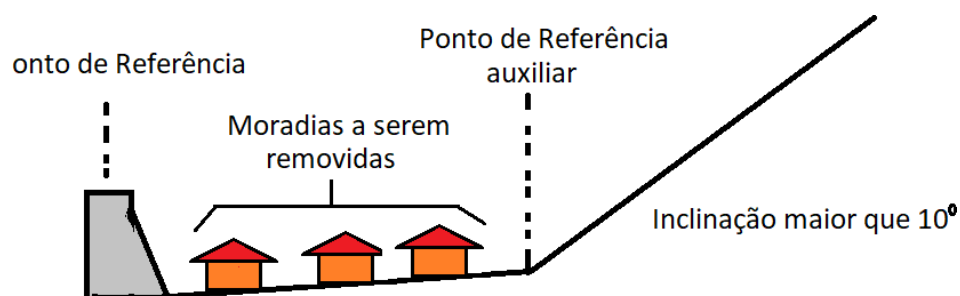


Figura 5. Caso em que há necessidade de inserção de um ponto de referência auxiliar

2.5 Estimativa do Volume de Detritos

Esta seção detalha a metodologia empregada para o cálculo do volume de detritos a ser adotado no plano de medidas estruturais. Apresenta-se, inicialmente, o conceito de volume admissível, seguido de uma visão geral da lógica envolvida no processo metodológico de definição do volume de detritos a ser adotado que perpassa pelo cálculo do volume potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia, do volume de sedimentos transportável e do volume de troncos.

2.5.1 Volume de detritos admissível

O volume de detritos admissível ou “tolerável” refere-se ao volume máximo de detritos que passará pelo ponto de referência não oferecendo risco às estruturas localizadas às margens do talvegue pelo o qual o fluxo perpassa. Como as calhas dos talvegues aqui considerados são, via-de-regra, estreitas para passagem do material mobilizado, a capacidade armazenamento desse material nas calhas será desprezada. A Figura 6 ilustra duas condições, uma em que o volume de material que escoar pela calha encontra-se dentro do volume admissível (imagem a esquerda) e outra em que o volume admissível foi ultrapassado pelo evento (imagem da direita).

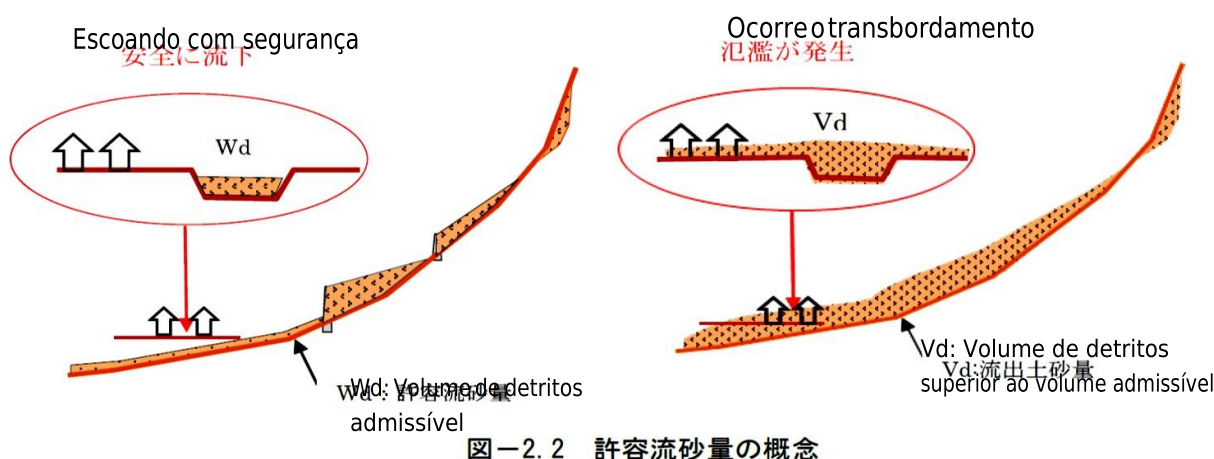


Figura 6. Volume de detritos admissível

2.5 Volume de detritos a ser adotado no plano

Tal como mencionado anteriormente, o volume de detritos a ser adotado no plano será obtido a partir da soma do volume de sedimentos a ser considerado com o volume de troncos estimado. O volume de sedimentos a ser considerado advém da comparação de dois volumes: o volume potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia e o volume de sedimentos passível de ser transportado, relativo a um evento de chuva associado a um tempo de retorno, sendo adotado o menor dos dois volumes. Ao volume de sedimentos considerado para o plano soma-se o volume de troncos para compor o volume de detritos a ser adotado no plano.

Complementarmente, é também importante estimar a vazão de pico do fluxo de detritos considerado. Os métodos de cálculo dos referidos volumes de sedimentos são apresentados nos itens seguintes. O método adotado para o cálculo da vazão de pico do fluxo de detritos é apresentado no Anexo I.

Ressalta-se que o termo sedimento aqui empregado leva em conta o material granular oriundo do solo bem como fragmentos de rocha, sendo composto, portanto, por diferentes granulometrias. Esse termo é empregado para distinguir esse material dos troncos de árvores que são carregados e que também compõem a massa de detritos. Na estimativa do volume de detritos carregados, o material oriundo de troncos de árvore, deve ser estimado separadamente.

Portanto, o volume de detritos a ser adotado no plano deverá ser a soma das estimativas do volume de sedimentos a ser considerado e do volume de troncos estimados, conforme resumido no diagrama da Figura 7.

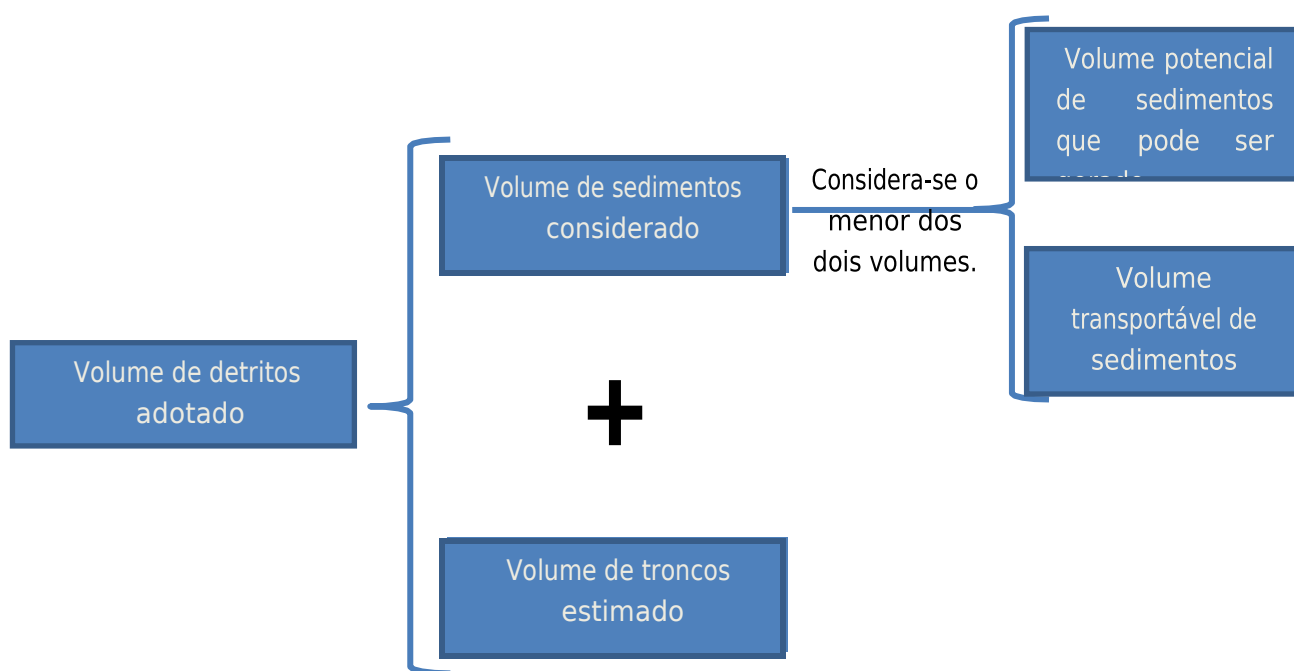


Figura 7. Diagrama esquemático para definição do volume de detritos a ser adotado no plano

2.5.1 Volume de sedimentos a ser considerado no plano

O volume de sedimentos a ser considerado no plano será aquele que passa pelo ponto de referência por meio do fluxo de detritos provocado por um evento de chuva com tempo de recorrência pré-definido.

O volume de sedimentos a ser considerado no plano será calculado em relação ao ponto de referência considerando a inexistência de medidas de controle ou proteção contra fluxo de detritos, bem como o volume admissível.

Assim, o volume de sedimentos a ser considerado será definido adotando-se o menor valor dentre o volume potencial de sedimentos que podem ser gerados (V_{dy1}) e o volume de sedimentos passível de ser transportado pelo evento de chuva adotado (V_{dy2}). O volume potencial de sedimentos que pode ser gerados (V_{dy1}) é definido a partir de levantamentos de campo, mapas topográficos e de registros de ocorrência de fluxos de detritos anteriores. O volume de sedimentos passível de ser transportado (V_{dy2}) é determinado a partir de formulação empírica que será apresentada na Seção 2.5.1.2 Volume de material passível de ser transportado dentro de um evento de chuva com um dado tempo de retorno (V_{dy2}).

Caso o volume de sedimentos a ser considerado resulte em valor menor que 1.000 m³, deverá ser adotado para o plano o valor mínimo de 1.000 m³. Tal valor se baseia na experiência japonesa onde há registros de casos em que o volume de sedimentos medido para eventos ocorridos superou os valores calculados quando esses foram inferiores a cerca de 1.000 m³.

2.5.1.1 Volume potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia hidrográfica (V_{dy1})

O volume potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia hidrográfica (V_{dy1}) é composto do volume de material que pode ser erodido, advindo do leito dos canais ou talvegues (V_{dy11}) e do volume de sedimentos advindos de rupturas de encostas (V_{dy12}). Consiste, em tese, no volume máximo de sedimentos que poderia ser fisicamente gerado na bacia hidrográfica e convertido em fluxo de detritos.

A Figura 8 e a Figura 11 ilustram as regiões de origem desses sedimentos.

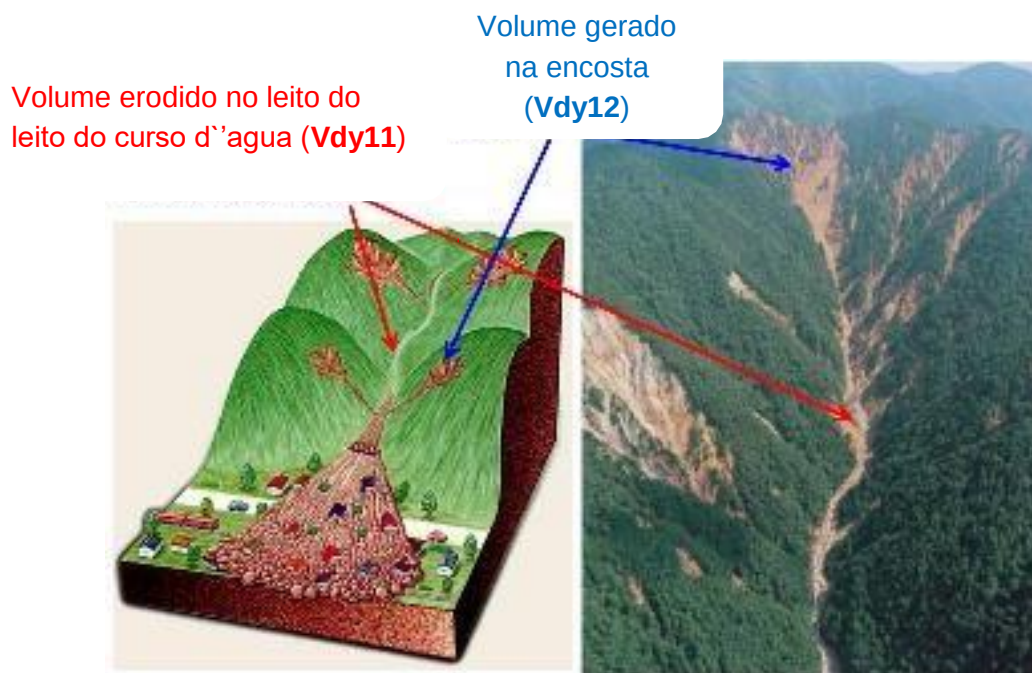


Figura 8. Local de origem dos sedimentos potencialmente mobilizáveis



Figura 9. Exemplos de sedimentos mobilizáveis advindos do canal(V_{dy11}) e da enconsta (V_{dy12})

Assim, a (Equação 1), apresentada a seguir, apresenta as parcelas que compõem o volume potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia hidrográfica de estudo.

$$V_1 = V_{11} + V_{12} \quad (\text{Equação 1})$$

- *Volume potencial de sedimentos advindo do canal ou talvegue (V_{11})*

O material mobilizável advindo do leito do canal ou talvegue (V_{11}) é calculado multiplicando-se o comprimento do canal ou talvegue pela média da área do material erodível depositado no leito. Esse procedimento é repetido para todos os trechos de igual profundidade e o somatório dos volumes de todos os trechos resulta no valor final de V_{11} para a bacia considerada. A Figura 10 ilustra a forma de cálculo para o material mobilizável do fundo do canal, que exige uma vistoria *in loco* para levantamento das informações necessárias.

A (Equação 2 e a(Equação 3 apresentam, respectivamente, o método de cálculo para a estimativa do volume de sedimentos advindos do leito e para o cálculo da área da seção média do leito considerada erodível.

$$V_{11} = A_{11} \times L_{11} \quad (\text{Equação 2})$$

$$A_{11} = \frac{L_{11}}{L} \times A \quad (\text{Equação 3})$$

Em que

V_{11} : Volume de sedimentos mobilizáveis acumulado no leito do canal (m³)

A_{11} : Área média do material mobilizável acumulado no leito do canal (m²)

L_{11} : Comprimento do talvegue do seu início até o ponto de referência(m)

L : Largura média da seção do talvegue onde se avalia que haverá erosão (m)

: Profundidade média da massa mobilizável acumulada no canal (m)

Os parâmetros B_d e D_e devem ser estimados com base em inspeções de campo para cada vertente a partir da ordem 1, conforme critério de hierarquização topológica da rede de drenagem estabelecido por Horton-Strahler e usualmente empregado na hidrologia (ver Figura 12). É importante que a estimativa desses parâmetros leve em consideração as variações na inclinação das encostas, bem como a presença de afloramentos rochosos e desníveis em forma de escadaria da seção longitudinal do canal. Apesar de experientes especialistas japoneses, muitas vezes, conseguirem estimar essas profundidades a partir de uma avaliação visual, apenas munidos de trena e inclinômetros, a realização de sondagens à trado ou SPT é recomendável para conferir maior confiabilidade à esta aferição. A Figura 10 mostra em uma seção típica os parâmetros B_d e D_e .

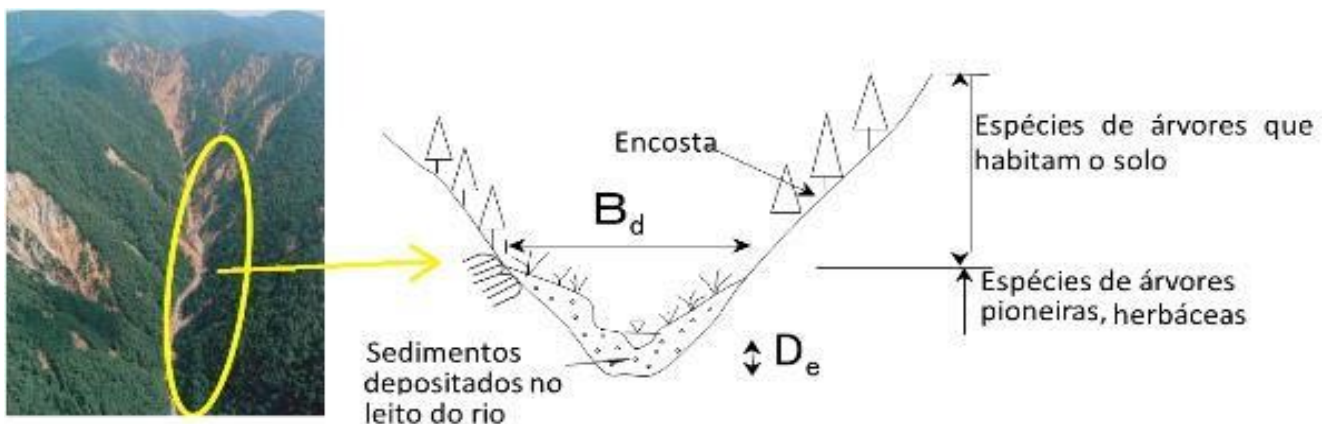


Figura 10. Esquema ilustrativo para o cálculo do volume de sedimentos mobilizáveis no leito do canal

Como no Japão existem muitos levantamentos das características de diversos fluxos de detritos ocorridos, sabe-se que para as condições geológicas japonesas não são comuns profundidades erodíveis superiores a 5 m para para calha do rio. A Figura 11 apresenta um exemplo de correlação entre o número de eventos de fluxo de detritos registrados e suas respectivas profundidades médias erodíveis para levantamentos realizados no Japão.

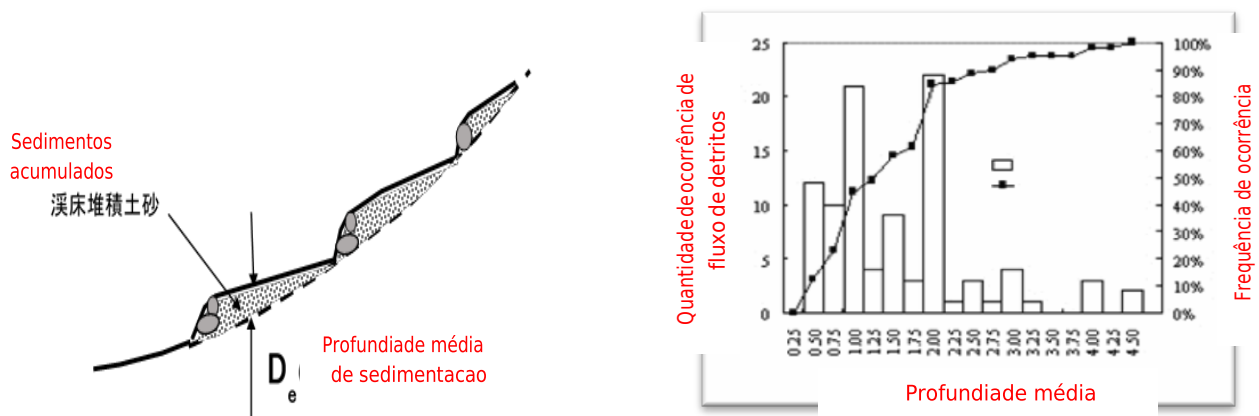


Figura 11. Esquema ilustrativo para a estimativa dos parâmetros B_d e D_e .

O comprimento l_{11} é determinado a partir da extensão do comprimento do talvegue avaliado considerando a sua ordem estabelecida a partir do método proposto por Horton-Strahler.

- *Volume de sedimentos advindo de rupturas de encostas* (V_{12})

A estimativa do material mobilizável advindo das encostas (V_{12}) pode ser realizado de duas formas, a saber: (a) quando há disponibilidade de dados de campo, mapeamento e modelos de ruptura de encosta e (b) quando não há disponibilidade de dados e informações mais específicas que permitam a estimativa descrita em (a).

- a) Quando há possibilidade de se estimar o volume de material passível de ruptura na encosta

Neste caso, inicialmente, deve-se identificar as encostas passíveis de ruptura na bacia, partindo-se do mapa de riscos e perigos. Para tal, utilizam-se dados obtidos de ensaios realizados *in loco*, a partir de sondagens, e, também, de laboratório com base em amostras de solo coletadas no local. A partir das informações coletadas definem-se os tipos de solo, teores de umidade, profundidade e largura erosiva, ângulo de atrito, coeficiente de coesão, dentre outras características e parâmetros de interesse. O histórico de rupturas anteriores também pode ser adotado para melhor caracterização dos locais passíveis de colapso.

Diante das informações obtidas pode-se utilizar algum método ou modelo de ruptura de encostas para definir o volume mobilizável nos locais identificados. Embora se saiba que quando a encosta se rompe o espalhamento do material mobilizável tende a aumentar o volume inicialmente confinado para mesma massa, para fins de estudos preliminares e práticos, pode-se desprezar este efeito.

- b) Quando não há disponibilidade de dados e informações mais específicas

Nas situações em que não é possível realizar levantamentos e coleta de dados para ensaios mais específicos, pode-se proceder com metodologia semelhante àquela empregada para a estimativa do material mobilizável advindo do leito do canal ou talvegue (V_{11}). Para isso, admite-se que no diagrama topológico proposto por Horton-Strahler a ocorrência das rupturas de encosta pode-se dar nos trechos definidos como de ordem zero. Os trechos de ordem zero são definidos com base nas curvas de nível do terreno para a condição em que “a” é maior do que “b”, conforme ilustrado na Figura 12. Assim, os trechos de ordem 1 se iniciam nos ponto em que $a=b$.

Tomando como referência o sentido jusante montante, considera-se que a partir do ponto final dos trechos de ordem 1, pela hierarquização do Horton-Strahler, até o ponto mais a montante na cabeceira da bacia seja o trecho de ordem zero (V_{12}). A área de sedimentos mobilizáveis advindos da encosta (V_{12}) será determinada de forma análoga àquela realizada para a definição da área de sedimentos mobilizáveis advindos do leito. (V_{11}). A Figura 12 ilustra a caracterização dos trechos de talvegues de ordem zero e aqueles de ordem superiores.

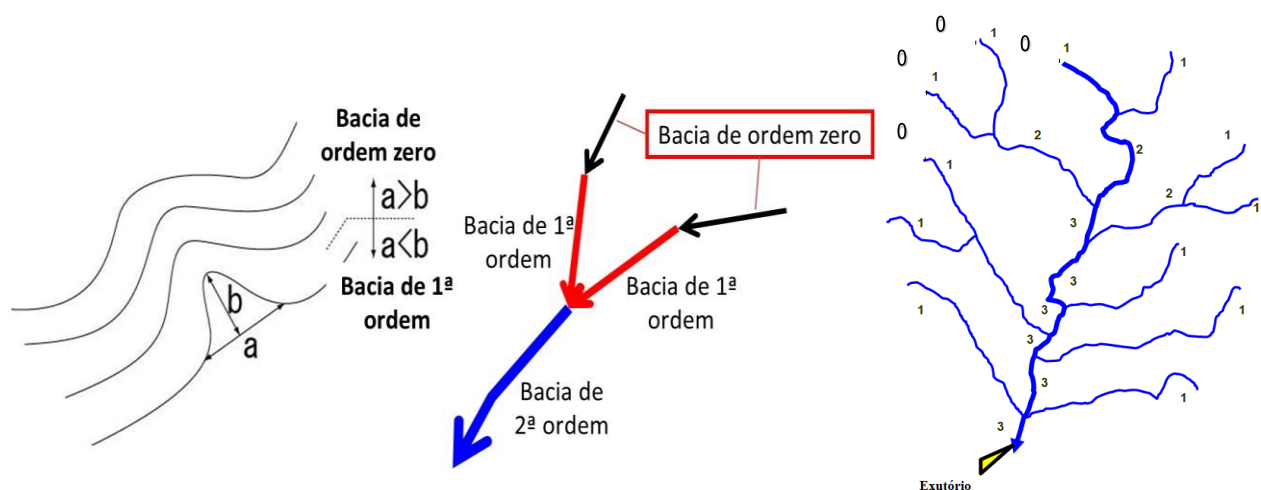


Figura 12. Hierarquização da rede de drenagem segundo Horton-Strahler.

Assim, a expressão para o cálculo do volume de material advindo de rupturas de encostas (V_{12}) é determinado com base na Equação 4 e Equação **Erro! Fonte de referência não encontrada**.5:

$$V_{12} = \sum (V_{12} \times L_0) \quad (\text{Equação 4})$$

$$V_{12} = A_m \times L_0 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que

V_{12} : Volume de sedimento mobilizável proveniente das encostas (m³)

A_m : Área média do material mobilizável proveniente da encosta (m²)

L_0 : Comprimento do talvegue de ordem 0 (m)

L : Largura média da seção do talvegue onde se avalia que haverá erosão (m)

H : Profundidade média da massa mobilizável da encosta (m)

apresenta um layout geral da caracterização dos comprimentos referentes às vertentes das bacias de ordem 0 e de ordem não nulas.

A Figura 13 ilustra uma indicação hipotética dos trechos de uma bacia hidrográfica caracterizados como de ordem zero e de ordem maiores que zero.

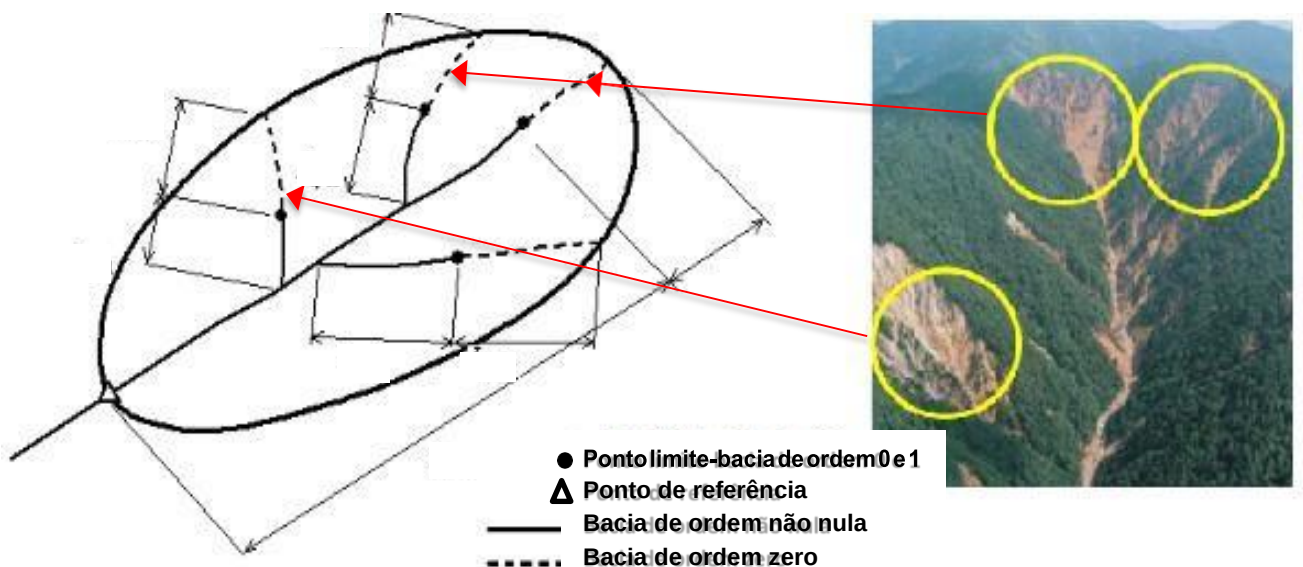


Figura 13. Esquema indicativo dos comprimentos das bacias de ordem zero e de ordem maiores que zero.

2.5.1.2 Volume de material passível de ser transportado dentro de um evento de chuva com um dado tempo de retorno (Vdy2)

O volume de sedimentos passível de ser transportado por um dado evento de chuva é dado por formulação empírica obtida a partir da experiência japonesa conforme (Equação 6) apresentada a seguir:

$$V_2 = \frac{10^3 \times P \times A}{1 - P} \times \left(\frac{1}{1 - C} \right)^2 \quad (Equação 6)$$

Em que

- V_2 : Volume de sedimentos passível de ser transportado (m³)
- P : Precipitação máxima diária para o período de retorno adotado (mm)
- A : Área da Bacia Hidrográfica (km²)
- C : Porosidade (na ausência de melhores estimativas adota-se 0,4)
- $\frac{1}{1 - C}$: Taxa de correção do escoamento em relação à área da bacia hidrográfica. Limite máximo 0,5 e mínimo 0,1.
- C : Concentração do fluxo de detritos durante seu escoamento (a fórmula de cálculo para concentração do fluxo de detritos é apresentada em anexo).

- *Precipitação máxima diária para o período de retorno adotado ()*

Para definição da precipitação máxima diária para o tempo de retorno considerado no estudo recomenda-se que seja realizado um estudo de análise de frequências das precipitações máximas diárias anuais. Conforme descrito por Naghettini & Pinto (2007), em uma análise de frequência o técnico procura selecionar, dentre as diversas distribuições candidatas, aquela que parece ser a mais capaz de sintetizar as principais características estatísticas amostrais, podendo-se resumir a análise de frequência nas seguintes etapas:

- a) optar pela utilização de séries anuais ou séries de duração parcial;
- b) avaliar os dados das séries, quanto aos atributos de homogeneidade, independência e representatividade;
- c) propor uma ou algumas distribuições teóricas de probabilidade, com a estimativa de seus respectivos parâmetros, quantis e intervalos de confiança, seguida da verificação de aderência à distribuição empírica;
- d) Realizar a identificação e tratamento de eventuais pontos atípicos, com possível repetição de algumas etapas precedentes;
- e) Selecionar o modelo distributivo mais apropriado.

Dessa forma, sugere-se a consulta a publicações referentes ao campo da hidrologia estatística para definição do método a ser utilizado no cálculo da precipitação máxima diária para um dado tempo de retorno. Para o caso de obras referentes à barragens Sabo, na ausência de melhores definições referentes ao risco a ser assumido, recomenda-se a adoção do tempo de recorrência de mínimo de 100 anos.

- *Taxa de correção do escoamento em relação a área da bacia hidrográfica ()*

O coeficiente de correção C_2 é obtido a partir do gráfico apresentado na Figura 14 que correlaciona a área de drenagem com o fator de correção. A equação que define a curva é apresentada no próprio gráfico. O ajuste foi realizado com base na correlação entre o volume de detritos mobilizados e índice pluviométrico da chuva de 24 horas para diversas ocorrências de fluxo de detritos no Japão.

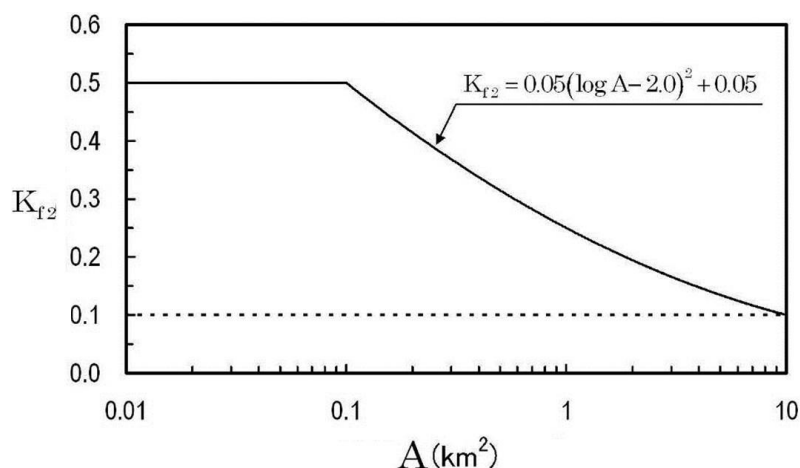


Figura 14. Cálculo do coeficiente .

2.5.2 Volume de troncos

O volume de troncos a ser considerado consiste naquele referente às árvores que são levadas pelo fluxo de detritos até o ponto de referência, sendo somado ao volume de sedimentos para compor o volume de fluxo de detritos a ser considerado no plano.

Para a estimativa desse volume faz-se necessário levantamento de campo na área da bacia de estudo. Contudo, havendo registros que permitam correlacionar o volume de troncos produzidos por fluxos de detritos anteriores com a área de drenagem da bacia hidrográfica, pode-se buscar alguma correlação que permita uma estimativa expedita desse volume. Neste guia

O volume de troncos é expresso na forma de volume de sólidos (não inclui o volume do vazio), e deve ser calculado considerando que não há intervenções para contenção do fluxo de detritos.

A Figura 15 resume as etapas para a estimativa do volume de troncos:

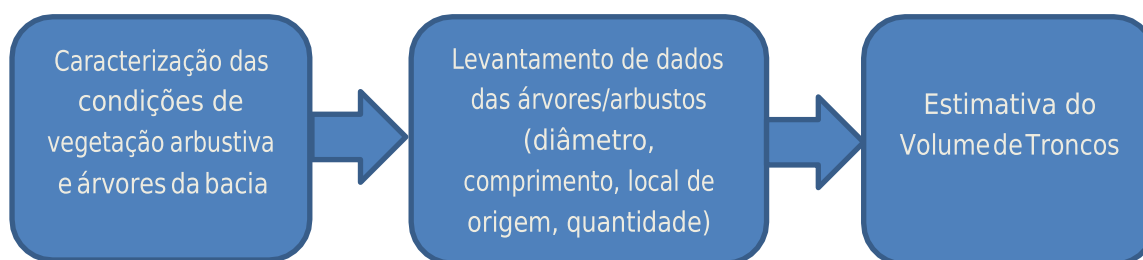


Figura 15. Etapas para o cálculo do volume de troncos

2.5.2.1 Caracterização das condições de vegetação arbustiva e árvores na bacia

A caracterização da vegetação na área de estudo busca identificar as espécies de árvores e arbustos que podem ser carregadas no caso de um evento de fluxo de detritos. No momento

da inspeção em campo deve-se observar as árvores que estão pé, bem como aquelas que estão caídas e procurar identificar os movimentos que podem deflagrar ou ter deflagrado a movimentação da árvore ou tronco tombado. A **Tabela 1** resume a possibilidade de origem do tronco e movimentações das espécimes vegetais.

A identificação das causas que possam originar a presença de troncos no fluxo de detritos é fundamental para estimar os danos passíveis de serem causados a jusante da bacia. Para tal, faz-se necessário a estimativa do diâmetro, comprimento, volume e local de origem da produção de troncos.

A identificação das áreas passíveis de produzirem troncos deverá considerar locais de solos menos coesivos, com topografia acentuada (locais considerados sensíveis em momentos de chuvas torrenciais), e aqueles onde se identificarem vestígios de eventos de fluxo de detritos anteriores.

Tabela 1: Origem e causas de movimentação de árvores, arbustos e troncos

Origem volume de tronco	Possível causa de movimentação da espécime
Espécimes de árvores/arbustos em pé	1. Queda por ocorrência de rupturas de encostas. 2. Queda por fluxo de detritos. 3. Queda devido a erosão nas margens e fundo do talvegue.
Espécimes de árvores/arbustos tombadas naturalmente	4. Tombadas por tufões ou danos decorrentes de insetos/outros animais 5. Tombadas por fluxos de detritos

2.5.2.2 Levantamentos de dados das árvores/arbustos

O levantamento dos dados das árvores/arbustos deve ser realizado com base em visita *in loco* e pode ser complementado por meio de fotos aéreas e da avaliação das características dos troncos carregados em desastres anteriores. O principal objetivo do levantamento consiste em informações sobre o diâmetro e a altura dos troncos das árvores de forma a permitir a estimativa do volume desse material.

Para tal, devem-se realizar amostragens nas áreas identificadas como passíveis de contribuírem com a produção de troncos durante um evento de fluxo de detritos. Para a amostragem são consideradas parcelas de 10 m x 10m, dentro das quais o diâmetro a altura do peito (DAP) e altura média das árvores/arbustos são medidos considerando cada espécime em separado. Também é possível realizar esta estimativa utilizando-se simultaneamente fotos aéreas e/ou imagens de satélites de resolução adequadas.

Assim, pode-se estimar a altura e espécies de árvores, bem como a densidade de árvores nas áreas de ocorrência de ruptura de encostas e fluxo de detritos. Com essa avaliação é possível classificar áreas com características vegetais similares. A Figura 16 ilustra a demarcação do quadrante para levantamento das informações das espécies vegetais.

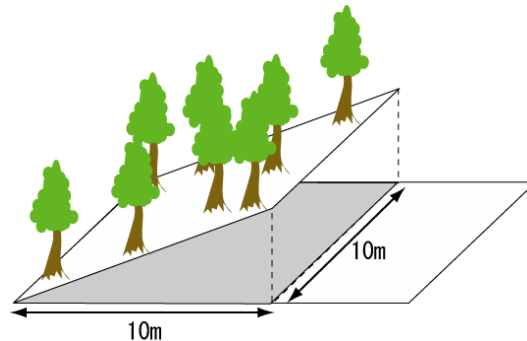


Figura 16. Quadrante para levantamento dos dados das espécies vegetais

2.5.2.3 Estimativa do volume de troncos

A partir do levantamento de dados *in loco* são obtidas as seguintes informações:

- *Densidade de árvores*: quantidades de espécimes árvores e troncos caídos, por 100m² (parcelas de 10 m x10m);
- *Diâmetro*: Diâmetro à Altura do Peito (DAP) de espécimes árvores e troncos caídos;
- *Altura*: Altura ou comprimento das árvores e troncos caídos.

As quais são empregadas para o cálculo do volume de troncos gerado partir da (Equação 7 e (Equação 8 . Quando a área de influência da ruptura de encosta ou do fluxo de detritos tem mais de uma espécie de árvores, o cálculo deverá ser realizado por espécie e somado.

$$= \frac{\times}{100} \times \sum_{2}^{13} \quad \text{(Equação 7)}$$

$$_2 = \frac{\times ()^2}{4} \times \quad \text{(Equação 8)}$$

Em que:

: Volume de troncos gerado (m³)

: Largura média do leito do talvegue prevista devido a ocorrência de fluxo de detritos (m)

₁₃ : Distância total do trecho em estudo medida do ponto onde se calcula o volume de troncos produzido até o limite da bacia (m)

₂ : Volume de cada espécie existente na área (m³),

: Altura (comprimento) da árvore/tronco (m)、

DAP : Diâmetro à altura do peito (m)、

Σ : Somatório do volume de árvores levantadas na área de amostragem (m³/100m²)

: Coeficiente do diâmetro à altura do peito (DAP) (Fator de Forma).

Uma atenção especial deve ser dada ao Fator de Forma (Kd), que visa corrigir o volume teórico calculado a partir do diâmetro médio da árvore/tronco a altura do peito (DAP). A Figura 17 apresenta os valores dos coeficientes Kd em função da altura da árvore para espécimes típicas japonesas.

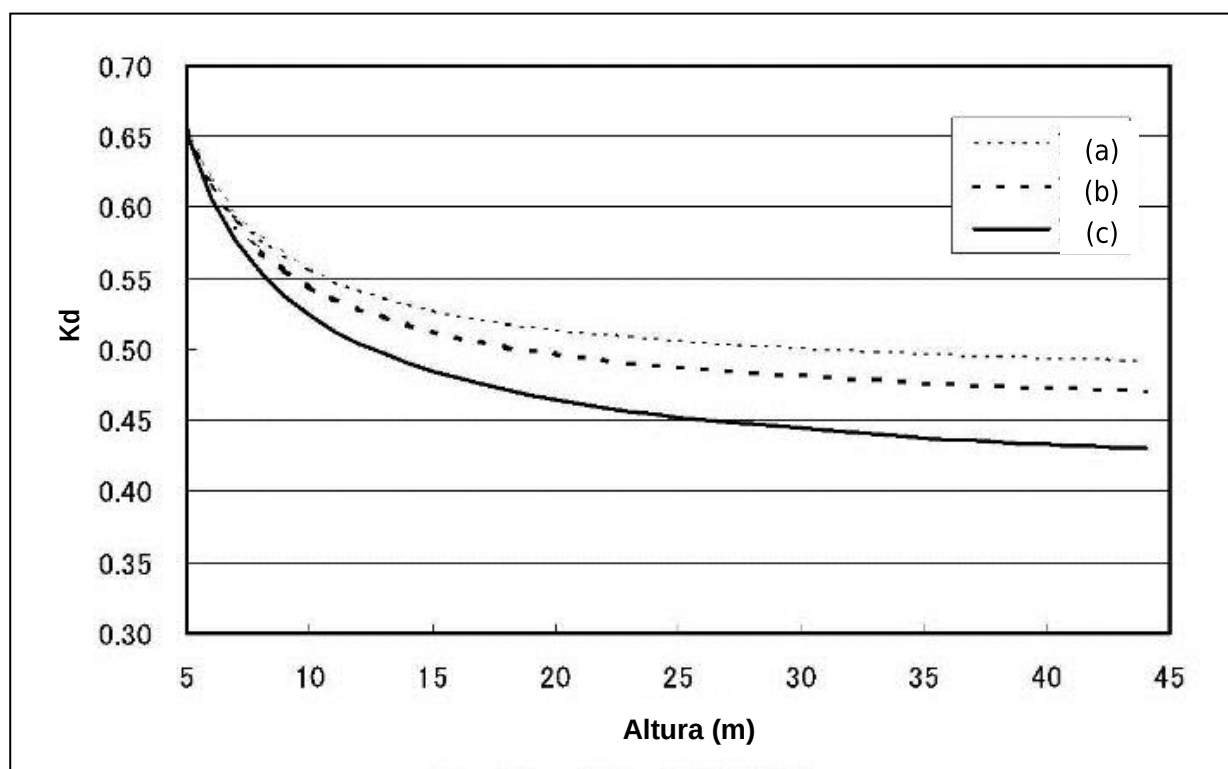


Figura 17. Coeficiente Kd em função da altura para espécimes típicas japonesas

Legenda:

(a) *Picea yezoensis*; *Abies sachalinensis*

(b) *Chamaecyparis obtuse*; *Chamaecyparis pisifera*; *Thujopsis dolabrata*; *Sciadopitys verticillata*

(c) *Juniperus virginiana*; *Pinus*; *Abies firma*; *Tsuga diversifolia*; outras árvores coníferas

Considerando as diferenças entre os espécimes vegetais existentes no Brasil e no Japão, faz-se necessário o levantamento dos coeficientes Kd para as espécimes vegetais brasileiras, especialmente àquelas geralmente presentes em áreas sujeitas a risco de fluxo de detritos. Verifica-se na literatura relacionada à engenharia florestal que existem diversas formulações

empíricas para cálculo de volume de espécies vegetais brasileiras, contudo, não são comuns publicações que apresentem os valores de Kd para essas espécies. Uma forma de obter esses valores consiste em aplicar as equações hipsométricas existentes para espécies vegetais brasileiras (equações que correlacionam o volume da árvore em função da sua altura) de forma a correlacionar a razão entre o volume esperado para uma árvore, com uma dada altura, na qual se considere o diâmetro médio aquele medido a altura do peito e o volume real da árvore com a altura associada. A título experimental, este procedimento foi empregado com base em equações hipsométricas apresentadas por Soares et al. (2011) para algumas espécies brasileiras, tendo-se obtido resultados aparentemente razoáveis. Contudo, avalia-se a necessidade de maiores investigações e estudos para consolidar curvas dessa natureza para o Brasil. A Figura 18 apresenta os resultados obtidos a partir do procedimento descrito para algumas espécies que apresentaram bons ajustes.

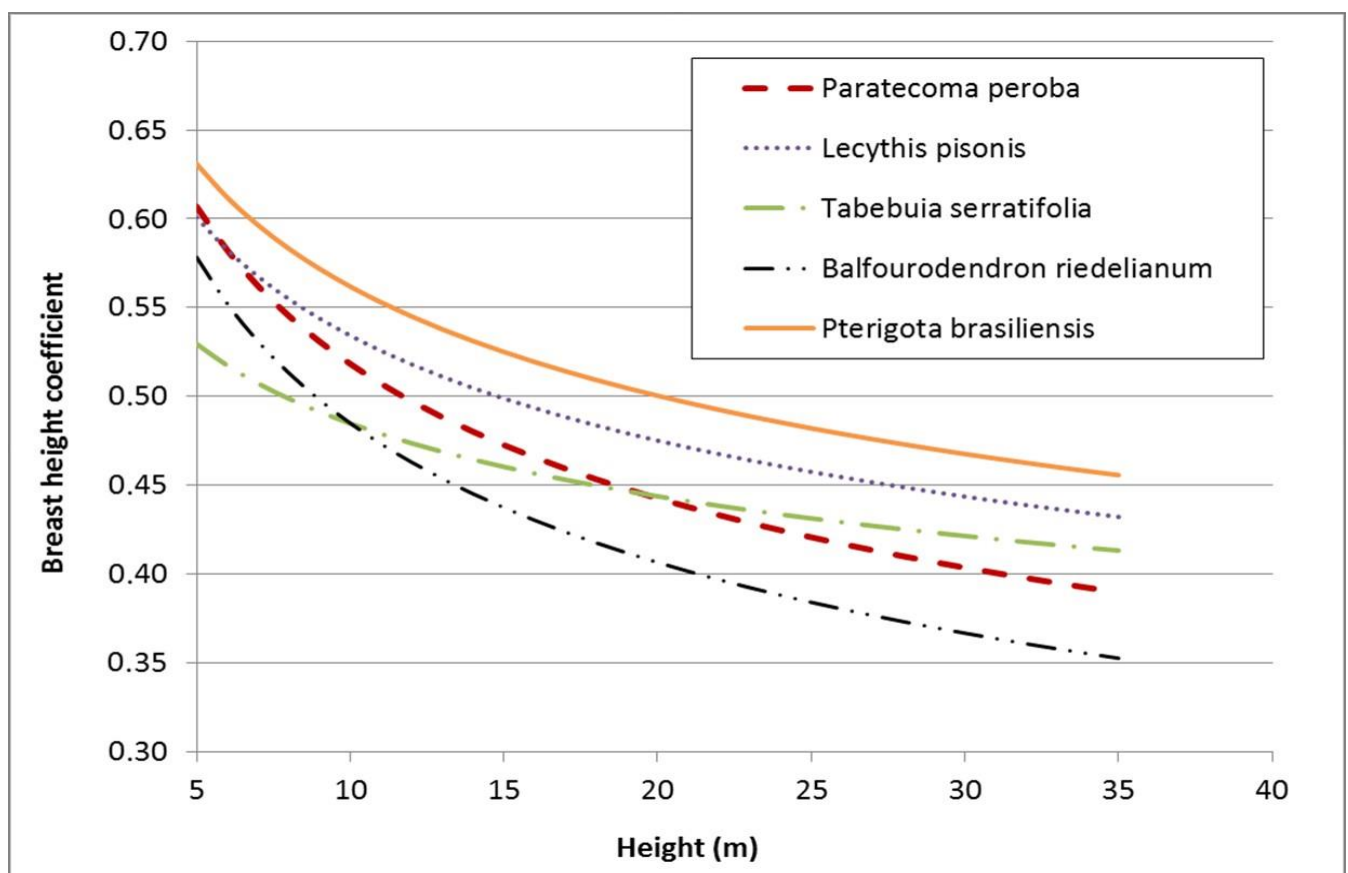


Figura 18. Coeficiente Kd em função da altura para espécimes típicas brasileiras

2.5.2.4 Volume de troncos a ser considerado no plano

O volume de troncos a ser considerado no plano, consiste naquele que efetivamente chegará ao ponto de referência. Tendo em vista a possibilidade de perdas ao longo do percurso do fluxo de detritos, considera-se um percentual do volume total de troncos calculado () para a bacia de estudo, a partir de um coeficiente Kw. A (Equação 9 apresenta o cálculo para a obtenção do volume de troncos a ser considerado no plano.

=

(Equação 9)

Em que:

: Volume de troncos carregados a ser considerado no plano (m³)

: Porcentagem do fluxo de troncos gerado que chega ao final da bacia hidrográfica.

Quando não há contramedidas implantadas na bacia, pode-se considerar o percentual de 0,8 a 0,9.



Capítulo 3 Alternativas de Controle para Fluxo de Detritos

3.1 Caracterização geral do trecho de escoamento do fluxo de detritos

O fluxo de detritos consiste em uma mistura de sedimentos e água que se move como um fluido contínuo, impulsionado pela força gravitacional. O material sólido que compõe o fluxo tem sua origem nos deslizamentos de encostas e na erosão do leito dos talvegues íngremes da bacia hidrográfica, sendo mobilizados pela água advinda da chuva. A medida que se desloca para o trecho de jusante do talvegue do córrego ou riacho, o fluxo de detritos aumenta em termos de volume até atingir trechos em que a declividade se torna mais suave, onde o material se deposita e transborda além da seção do canal, causando prejuízos e danos à infraestrutura existente às margens do canal principal de escoamento.

Para a proposição de medidas de controle do fluxo de detritos, primeiramente, faz-se necessário a caracterização das zonas de movimentação do fluxo de detritos para a bacia hidrográfica estudada, conforme apresentado na Figura 4 anteriormente. Tal como discutido anteriormente, a caracterização dessas zonas deve-se basear em resultados de levantamentos *in loco* a respeito da caracterização geológica, topográfica e eventos anteriores ocorridos na região. O emprego de imagens de satélite e plantas topográficas que permitam a caracterização de seções típicas e da declividade média do talvegue consistem em elementos importantes para a definição das zonas de escoamento do fluxo de detritos. Com base na caracterização das zonas de escoamento é possível avaliar os locais de origem do fluxo de detritos, os trechos por onde o material se movimenta e, com a estimativa de seu volume, as áreas possivelmente afetadas pelo transbordamento da calha do rio. A Figura 19 apresenta a delimitação dessas áreas para uma bacia hidrográfica suscetível a ocorrência de fluxo de detritos. Com base nesse procedimento é possível avaliar alternativas para controle ou contenção do volume de detritos estimado conforme procedimento descrito no capítulo anterior.

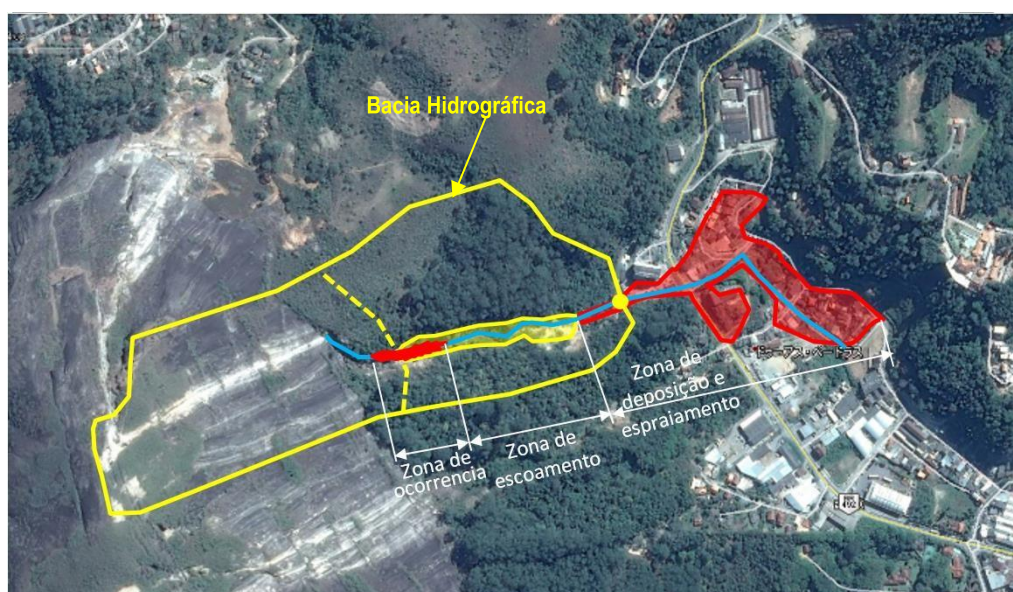


Figura 19. Caracterização das zonas de movimentação do fluxo de detritos

3.2 Caracterização das medidas para controle do fluxo de detritos

As medidas estruturais para o controle do fluxo de detritos são implementadas de acordo com a zona de movimentação do fluxo de detritos. É possível a inserção de soluções variadas conjuntamente que atuem em locais diferentes ao longo do percurso de formação/geração, propagação, deposição e espraio do fluxo de detritos. Tal abordagem permite a inserção de solução ou soluções na bacia hidrográfica de forma racional e mais eficiente, tendo em vista que o fenômeno é tratado de uma forma ampla, considerando todas as suas fases desde a sua origem.

Assim, essas medidas podem ser categorizadas da seguinte forma:

- *Medidas de controle da geração de detritos:* visam prevenir a produção de sedimentos;
- *Medidas de captura:* visam interromper a propagação do escoamento do fluxo de detritos, acumulando o material escoado;
- *Medidas de deposição:* visam espalhar o material carreado, diminuindo a força do fluxo de detritos, depositando-o em uma determinada área.
- *Medidas de canalização:* visa canalizar o fluxo, a partir da proteção da calha e margens até um determinado local;
- *Medidas de controle do trajeto:* visam direcionar o fluxo de detritos para locais onde não haja infraestrutura que possa ser afetada;

A Figura 20 identifica o grupo de medidas recomendadas em função da origem e propagação do fenômeno ou da zona de movimentação do fluxo de detritos

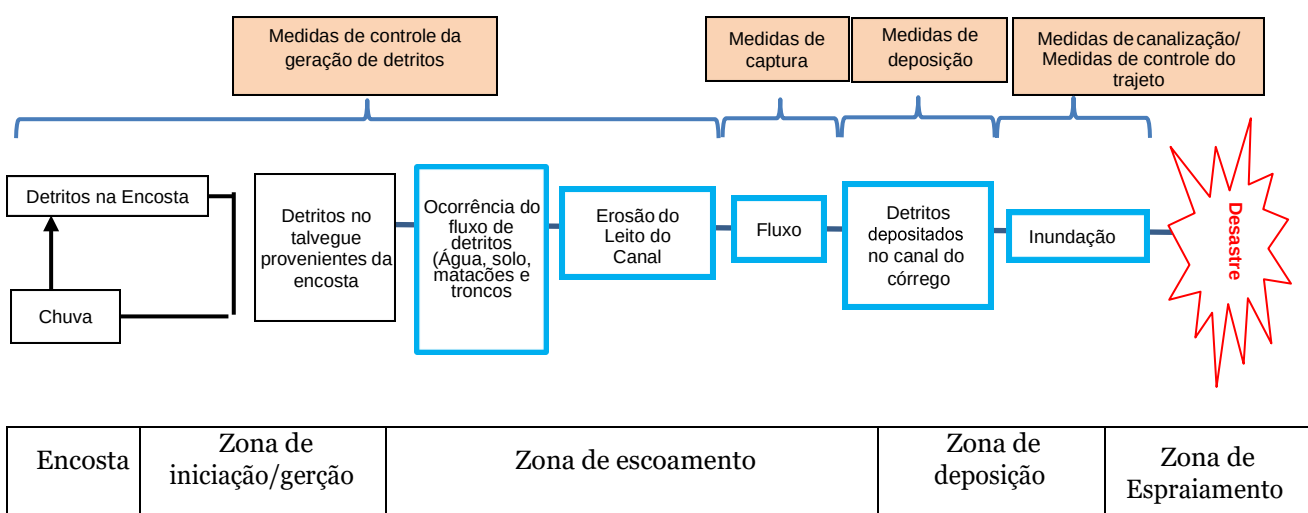


Figura 20. Identificação das medidas de controle em função das zonas de movimentação do fluxo de detritos

A Figura 21 relaciona a funcionalidade da medida de controle com a zona de movimentação do fluxo de detritos e a tipologia de obra correspondente. Na seção seguinte, as tipologias de obra são descritas de forma mais detalhada, considerando as suas funcionalidades.

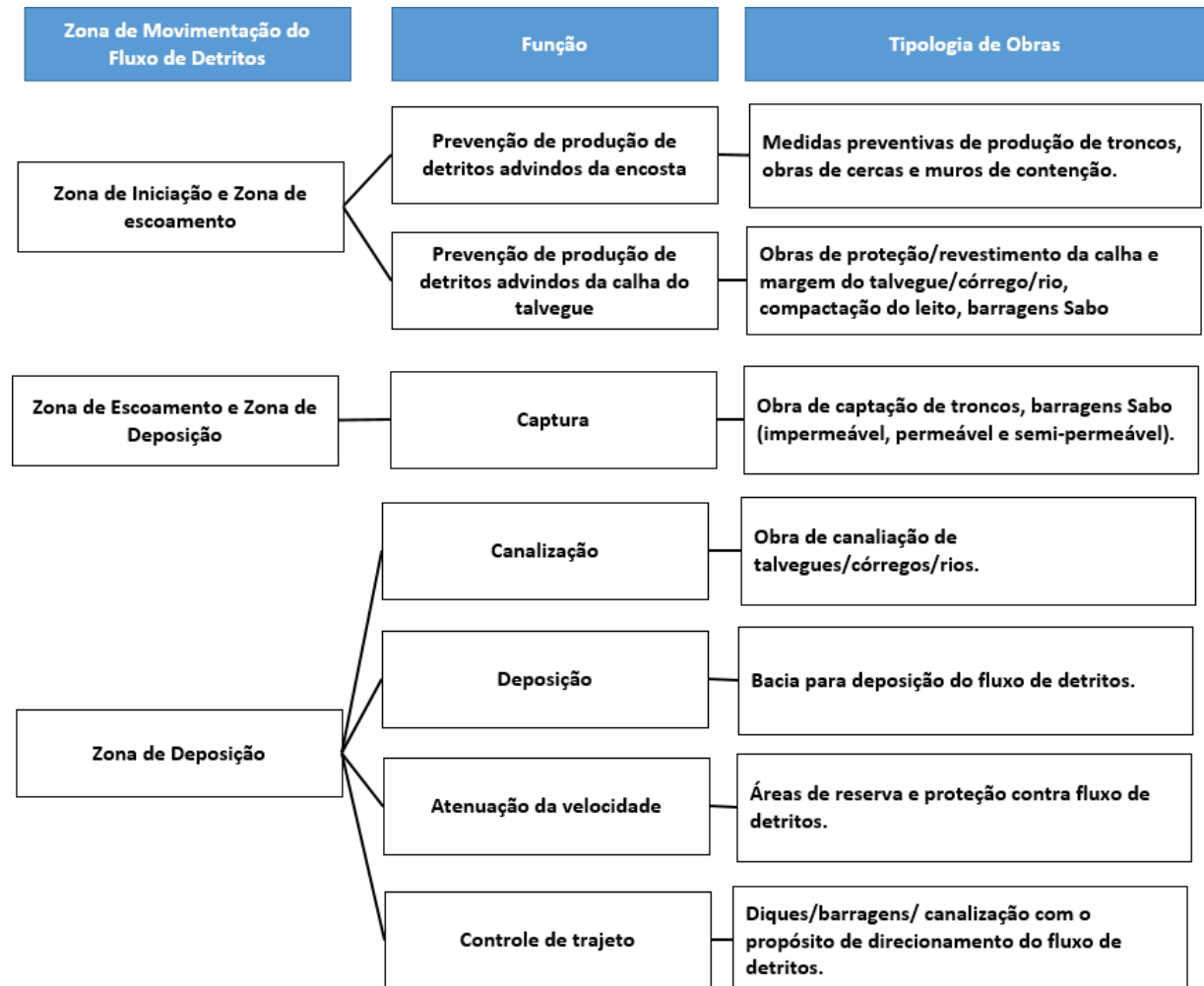


Figura 21. Identificação das medidas de controle em função das zonas de movimentação do fluxo de detritos

A disposição e locação das medidas para controle de fluxo de detritos deve levar em consideração o volume de detritos adotado para a bacia hidrográfica em análise, conforme descrito em capítulo anterior, bem como a combinação eficiente entre as medidas de controle descritas.

3.2.1 Medidas de controle da geração de detritos

As medidas de controle da geração de detritos consistem em instalações que buscam evitar que os sedimentos/troncos advindos de ruptura de encostas ou, aqueles depositados no leito dos talvegues/córregos se convertam em fluxo de detritos. Assim, essas medidas podem ser divididas em dois grupos:

- Aquelas que têm como objetivo evitar o desprendimento de sedimentos e troncos das encostas; e
- Aquelas que têm como objetivo evitar o deslocamento dos detritos depositados no leito do talvegue/córrego/rio e nas suas margens.

3.2.1.1 Medidas para conter a geração de detritos na encosta

As obras de estabilização de encosta visam obter o equilíbrio da massa suscetível a ruptura por meio de intervenções estruturais, retaludamento e revegetação das encostas.

Diversos tipos de estruturas e intervenções podem ser empregados, dentre eles: muros de contenção, inserção de curvas de nível no talude, telas de alta resistência, dentre outras. É importante que as intervenções para estabilização de encostas estejam sempre associadas a elementos de drenagem superficial. Maiores informações a respeito da seleção de tipologias de soluções para estabilização de encostas podem ser encontradas no Manual para a Elaboração de Plano de Medidas Estruturais contra Rupturas em Encostas – Ministério das Cidades (MCid);

A Figura 22 apresenta alguns exemplos de estruturas empregadas para estabilização de encostas.



Figura 22. Exemplos de soluções para estabilização de encostas

3.2.1.2 Medidas para conter a geração de detritos no talvegue/ leito de córregos

Esses tipos de instalações visam fixar os sedimentos acumulados nos leitos de talvegues e córregos, impedindo a sua movimentação em eventos de fluxo de detritos. Usualmente são empregadas pequenas barragens que favorecem a sedimentação e consolidação do material de fundo, havendo uma gradual mudança na declividade do talvegue a medida que o material se deposita, o que reduz o potencial erosivo do leito quando da ocorrência de chuvas. Uma opção de baixo custo com esta finalidade consiste no emprego das chamadas paliçadas, que consistem em obstáculos que obstruem a passagem de sedimentos construídos com o emprego de madeiras. Em locais mais propensos a erosões expressivas, pode ser necessário a inserção de proteção das margens/taludes do talvegue ou de pequenas barragens sucessivas. A Figura 23 apresenta algumas imagens com exemplos de estruturas para conter a geração de detritos/sedimentos advindos do leito de talvegues.

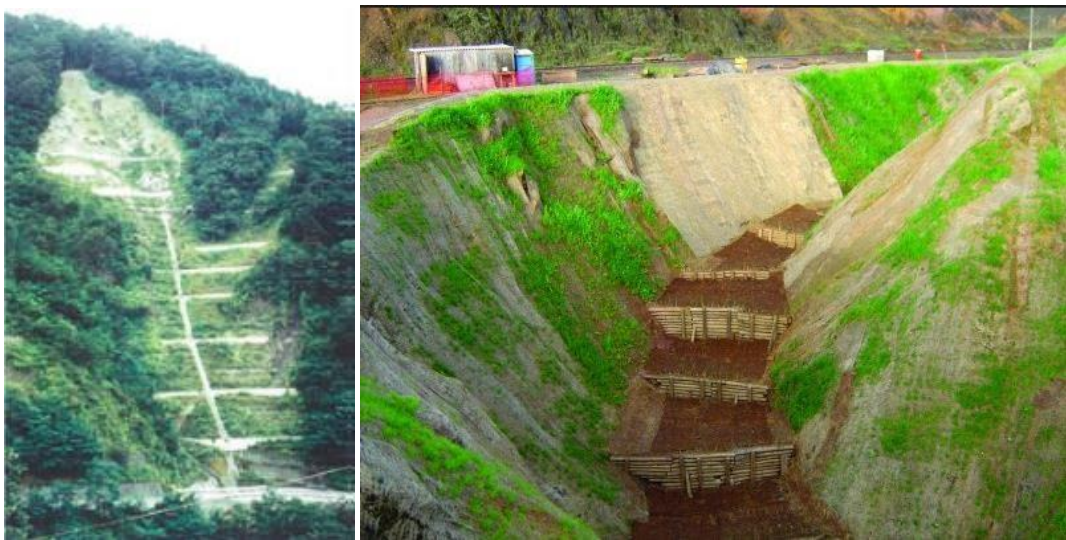
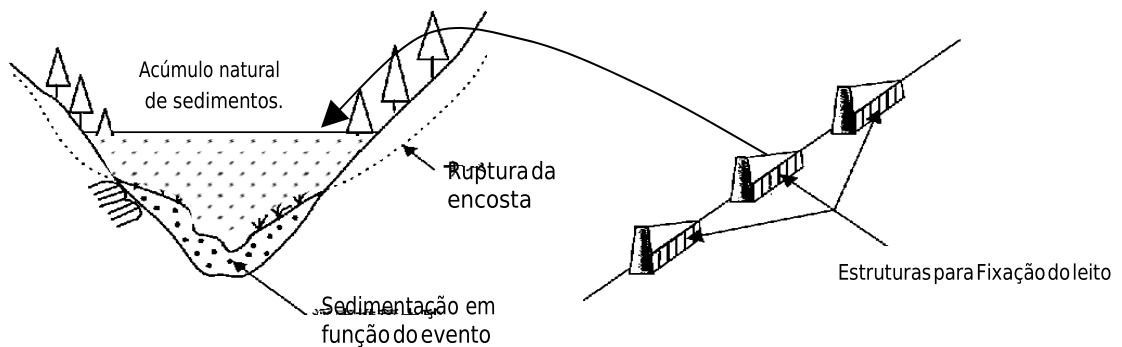


Figura 23. Exemplos de soluções para fixação de material do leito de talvegues

3.2.2 Medidas de captura de fluxo de detritos

As barragens tipo Sabo, cuja etimologia da palavra deriva do japonês Sa(sedimento) e Bo(proteção) consistem em estruturas usualmente de concreto, empregadas para a captura de sedimentos e troncos oriundos de fluxos de detritos.

Essas barragens normalmente são posicionadas à montante de áreas de risco a serem protegidas, podendo, também, ser inseridas em posições diversas na bacia hidrográfica, tendo como principal função:

- i. o disciplinamento do fluxo de detritos, quando de sua ocorrência;
- ii. a diminuição da declividade do talvegue, diminuindo a energia potencial do fluxo de detritos;
- iii. a captura de parte dos sedimentos e troncos mobilizados pelo fluxo de detritos diminuindo assim seu volume e permitindo a passagem de uma quantidade de sedimentos que garanta a segurança patrimonial e da vida das pessoas que habitam áreas de risco; e
- iv. a estabilização dos sedimentos ao longo do leito do talvegue, impedindo sua inclusão no fluxo de detritos.

As barragens do tipo Sabo podem ser divididas em três tipos, a saber: Impermeáveis, Permeáveis e Semi-Permeáveis. As características desses tipos de barragens são descritas nos itens seguintes.

3.2.2.1 Barragens Sabo impermeáveis

As barragens Sabo impermeáveis são aquelas que fecham completamente o canal do talvegue, bloqueando a passagem dos detritos e sedimentos e forçando o material a se depositar a montante da estrutura. A Figura 24 apresenta um exemplo deste tipo de barramento.

É importante destacar que este tipo de barragem, mesmo após ser saturada pela deposição natural dos sedimentos carregados, ou pela ação de um evento de fluxo de detritos, continua capaz de reter material de eventos subsequentes, tendo em vista que a mudança na declividade do trecho a montante da barragem gera uma redução do potencial gravitacional de transporte de material, promovendo a sua deposição. Dessa forma, o manejo de retirada de sedimentos nesses tipos de barramento é menos frequente do que nas barragens permeáveis, por exemplo. Assim, o acúmulo de material a montante do barramento acaba por promover a estabilização do leito nesse trecho, diminuindo o potencial de mobilização de material.

Uma desvantagem deste tipo de barragem consiste no fato de que os troncos carregados juntamente com a massa de sedimentos, muitas vezes, acabam passando

sobre as barragens com a água, não havendo muito potencial de retenção desse tipo de material.



Figura 24. Exemplo de barragem Sabo impermeável

3.2.2.2 Barragens Sabo permeáveis

As barragens Sabo permeáveis consistem em barragens que possuem em seu trecho central uma estrutura específica formada por barras metálicas tubulares interconectadas, cujo principal objetivo consiste em reter matacões e troncos carreados pelo fluxo de detritos, permitindo, contudo, a passagem da água. Em situações normais, a estrutura permite a passagem da água e sedimentos menores, contudo, de acordo com o espaçamento das grades, em eventos de fluxos de detritos, o material de maior granulometria, juntamente com troncos, são retidos e se acumulam nessa estrutura impedindo a passagem dos detritos.

Uma vantagem desse tipo de estrutura é que em função da abertura central não há impedimento à passagem do fluxo natural de água, o que gera menos impacto às condições naturais de escoamento da bacia hidrográfica. A barragem Sabo permeável não é adequada como infraestrutura de controle de geração de detritos, pois não favorece naturalmente a estabilização do leito a montante da barragem, como ocorre no caso das barragens impermeáveis. A Figura 25 apresenta um exemplo de barragem Sabo permeável.



Figura 25. Exemplo de barragem Sabo permeável (Mizuyama, 2008)

Em localidades que possuem predominância de matacões e blocos de rocha pode ser utilizado em conjunto com a barragem Sabo (permeável, semi-permeável ou impermeável) estruturas específicas compostas por uma espécie de grelha ou grade metálica (mizunuki screen), posicionada em trecho à montante do barramento, cuja principal finalidade consiste em reter matacões e blocos de rocha maiores.

Essas estruturas reduzem a mobilidade dos blocos e matacões a partir da retirada da água do fluxo de detritos e da alteração da declividade do leito, ao invés de forçar a parada da massa por meio de um obstáculo rígido. Usualmente, essas estruturas são simples do ponto de vista estrutural, ressalta-se, contudo, que o espaçamento entre as grades deve ser dimensionado de maneira adequada, a partir da granulometria do material previsto para o fluxo de detritos. A grade também pode ser empregada para ajudar na retenção de troncos. A Figura 26 apresenta um exemplo desse tipo de estrutura.



Figura 26. Exemplo de estrutura auxiliar para contenção de blocos de rocha e troncos

3.2.2.3 Barragens Sabo Semi-permeáveis

As barragens sabo semi-permeáveis consistem em um tipo de estrutura que mescla as características das barragens permeáveis e impermeáveis. Da fundação até uma determinada altura a seção central do vale é complementarmente obstruída pela estrutura do barramento, contudo, a partir de uma determinada altura é inserida a estrutura metálica característica das barragens permeáveis. Esse tipo de estrutura permite a retenção dos sedimentos e, também, de parte do volume de troncos previsto. Tendo em vista o fechamento parcial do vale, essa estrutura também possui a característica de favorecer a estabilidade do leito, como ocorre com as barragens impermeáveis. A Figura 27 apresenta um exemplo típico de seção deste tipo de barragem.



Figura 27. Exemplo de estrutura auxiliar para contenção de blocos de rocha e troncos

3.2.2.4 Relação entre os volumes de detritos e os tipos de barragens Sabo

O volume total de detritos considerado no plano pode ser entendido como a soma de diferentes parcelas, conforme indicado na (Equação 10, a seguir:

$$= + + + \quad (\text{Equação 10})$$

Em que:

- Volume total de detritos a ser considerado no plano (m³);
- W- Volume de detritos admissível (m³);
- X- Volume de detritos capturado (m³);
- Y- Volume de detritos naturalmente depositado no barramento (m³);
- Z- Volume de detritos advindos da erosão do leito (m³).

Dessa forma, a implantação da medida visa conter ou controlar o volume total de detritos a ser considerado no plano, assim, rearranjando a Equação 10, busca-se anular o seguinte somatório das parcelas:

$$- (+ + +) = 0 \quad (\text{Equação 11})$$

Cada parcela da equação descrita deve levar em conta a contribuição de volume de sedimentos e de volume de troncos. A seguir, as referidas parcelas são desmembradas nas sub-parcelas referentes ao volume especificamente de sedimentos, indexados pelo índice S, e de troncos indexados pelo índice t.

$$= + \quad \text{(Equação 12)}$$

$$= + \quad \text{(Equação 13)}$$

$$= + \quad \text{(Equação 14)}$$

$$= + \quad \text{(Equação 15)}$$

$$= + \quad \text{(Equação 16)}$$

a) Barragem Sabo Impermeável

Nas barragens Sabo impermeáveis, tendo em vista a obstrução completa do vale, independentemente da ocorrência de eventos de fluxos de detritos haverá uma deposição natural de sedimentos no reservatório, mudando a declividade natural (θ_0) do leito para um novo gradiente (θ) no trecho onde haverá a deposição de material.

A superfície formada pelo novo gradiente é denominada superfície normal de deposição. O volume contido entre o leito original e a nova conformação consiste no volume naturalmente depositado no barramento (Y). Tendo em vista a estabilização do leito, o volume de detritos advindos de sua erosão (Z) fica estabilizado no trecho a montante do barramento.

O volume de material decorrente de eventos de fluxo de detritos ficará depositado acima da superfície normal de deposição e consistirá no volume efetivamente a ser capturado pela barragem (X).

Essa superfície de deposição terá uma declividade (θ) e é denominada superfície de deposição planejada ou estimada. Tendo em vista a experiência japonesa, observa-se que o gradiente médio (tangente do ângulo θ) da superfície de deposição é da ordem de $\frac{1}{2}$ a $\frac{2}{3}$ da declividade natural do leito (θ_0), enquanto o gradiente normal de deposição (tangente do ângulo θ) é igual ou inferior a $\frac{1}{2}$ da declividade natural do leito (θ_0). Destaca-se que essas relações empíricas podem ser empregadas para os diferentes tipos de barragem Sabo.

A Figura 28 apresenta de forma esquemática a composição dos volumes e declividades características do material acumulado no interior das barragens Sabo impermeáveis conforme descrito.

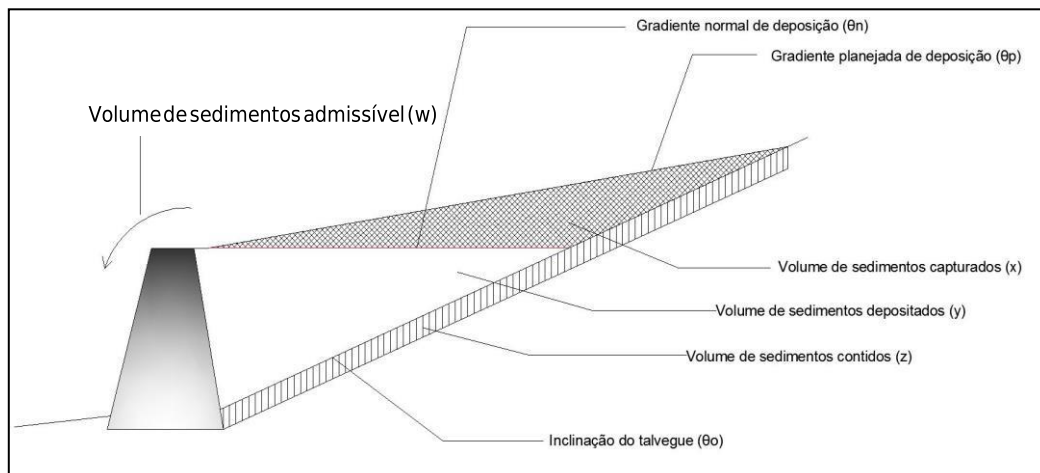


Figura 28. Volumes e declividades características para barragem Sabo impermeável

b) Barragem Sabo Permeável

No caso da barragem permeável, o sedimento que escoar regularmente com a passagem da água que drena naturalmente a bacia hidrográfica a montante do barramento ultrapassa a barragem pela abertura central do corpo da barragem, seguindo o fluxo para jusante.

Apenas nas situações de ocorrência de fluxos de detritos haverá retenção de material, compondo o volume a ser capturado (X). Portanto, no caso das barragens Sabo permeáveis, o volume de detritos que fica entre o leito original de declividade θ_0 e a superfície de deposição pode ser considerado o volume efetivo de detritos capturado (X).

Assim, a capacidade de captura de material da barragem permeável é maior que o volume de captura da barragem impermeável. Não obstante, faz-se necessário um controle mais rigoroso da limpeza do reservatório, tendo em vista que após ser preenchido, o reservatório perde significativamente sua capacidade de retenção de material.

A Figura 29 ilustra as relações de volumes e declividades para o material depositado na barragem Sabo permeável.

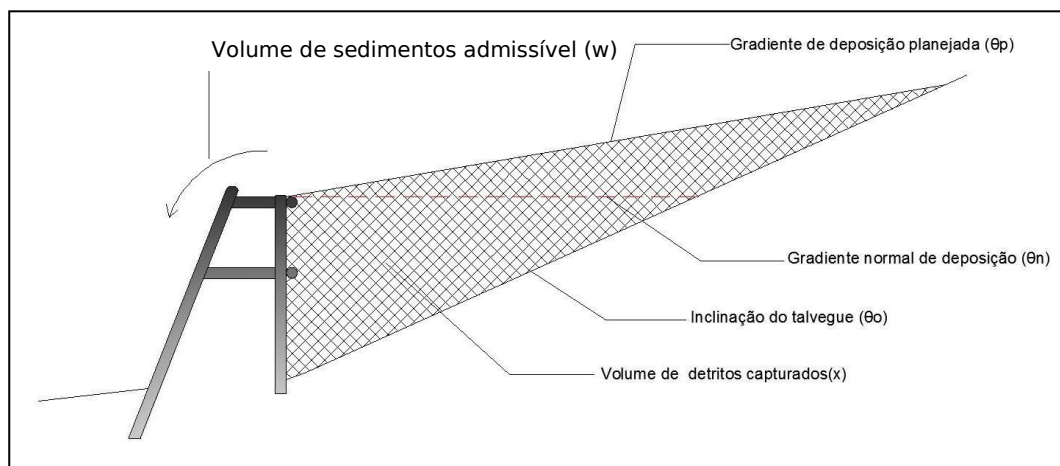


Figura 29. Volumes e declividades características para barragem Sabo permeável

c) Barragem Sabo Semi-permeável

As barragens semi-impermeáveis possuem componentes que reúnem características do material acumulado das barragens permeáveis e das barragens impermeáveis. Dessa forma, entre as elevações que compreendem a porção impermeável, as parcelas dos volumes acumulados são caracterizadas de forma similar ao das barragens impermeáveis, enquanto as parcelas de volume que preenchem as elevações entre a crista da barragem e a porção impermeável são caracterizadas de forma equivalente ao das barragens permeáveis. Dessa forma, nas barragens semi-impermeáveis, a capacidade de captura consiste naquela porção de volume que se encontra entre o gradiente de deposição planejado () e o gradiente normal de deposição (), conforme apresentado na Figura 30.

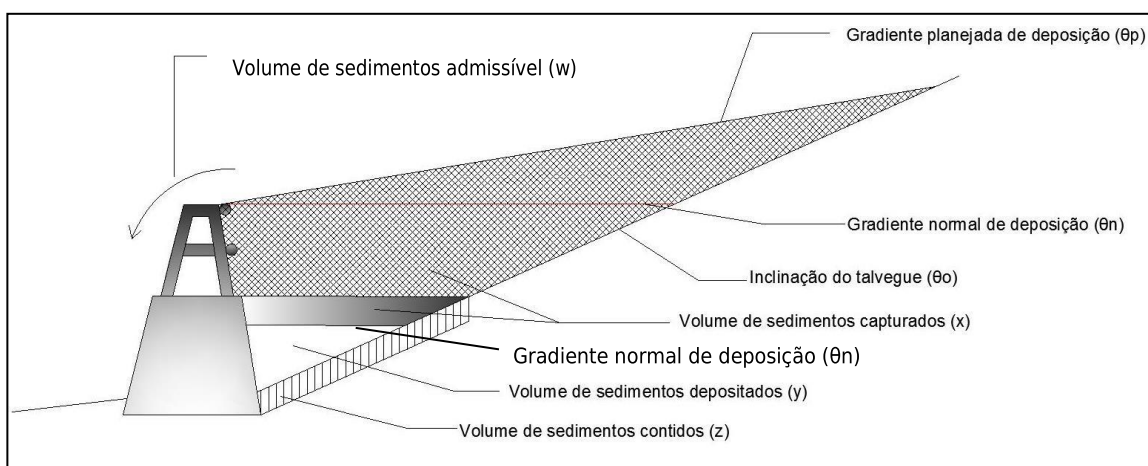


Figura 30. Volumes e declividades características para barragem Sabo semi-permeável

d) Considerações a respeito do volume de troncos (X_t)

O volume de troncos passível de ser capturado a partir da barragem Sabo pode ser estimado com base na seguinte relação:

$$= \bullet \quad \text{(Equação 17)}$$

em que k é um coeficiente que varia de 0 a 1. Dessa forma, a relação expressa pela (Equação 17) considera que o volume de troncos passível de ser capturado pela barragem Sabo é um percentual do valor total de detritos estimado para captura (X). Com base em levantamento realizado no Japão em barragens saturadas por eventos de fluxo de detritos foi estabelecido um fator de 0,3 (30%) para o parâmetro k , no caso de barragens permeáveis o valor sugerido para o parâmetro é 0,02 (2%).

3.2.2.5 Seleção do tipo de barragem Sabo

A seleção do tipo de barragem Sabo a ser adotada perpassa por questões relacionadas à identificação das zonas de movimentação do fluxo de detritos (Figura 4), à representatividade do volume de troncos em relação ao volume total de detritos a ser considerado, à possibilidade de realização de limpezas dos reservatórios após a ocorrência de eventos de fluxo de detritos, à viabilidade econômica para a execução das obras, além de questões relacionadas às características da bacia hidrográfica e do local de implantação da barragem. A seguir, discute-se melhor cada uma dessas questões.

a) Consideração da zona de movimentação do fluxo de detritos

Via de regra, as obras de captura devem ser implementadas na zona de escoamento do fluxo de detritos. Contudo, conforme descrito anteriormente, as zonas de movimentação do fluxo de detritos podem se sobrepor, tendo em vista que apenas o parâmetro declividade não é suficiente para delinear os limites das zonas de movimentação do material, sendo, também, importante a consideração de fatores como geologia, tipo de solo e o evento de chuva associado.

- Sobreposição entre a zona de ocorrência e zona de escoamento

Nas situações em que o volume máximo potencial de sedimentos que pode ser gerado na bacia é relativamente alto, recomenda-se o uso de barragem impermeável ou semi-permeável na região de interface entre as zonas de ocorrência e de escoamento, objetivando-se o controle da geração de material.

Como já foi mencionado, uma das funções da barragem Sabo é a de garantir a estabilidade dos sedimentos localizados no leito dos talvegues (à exceção da barragem Sabo tipo permeável).

Tal como apresentado na Figura 20, observa-se que a atuação sobre as fontes de geração de sedimentos é uma medida preventiva que visa reduzir o volume de material que contribui para formação do fluxo de detritos.

- Sobreposição entre a zona de escoamento e zona de deposição

Nas situações em que se pretende inserir a barragem Sabo na interface entre a zona de escoamento e zona de deposição, é conveniente ressaltar que as barragens permeáveis só conseguem conter o material advindo do fluxo de detritos quando o material de maior granulometria, juntamente com os troncos são detidos pela estrutura metálica inserida no vão central do barramento.

Dessa forma, quando se pretende inserir uma barragem Sabo permeável nessa região, é prudente verificar se há barragens Sabo instaladas a montante, uma vez que os blocos de rocha com maior granulometria bem como os troncos podem ficar depositados nessas barragens não chegando material com granulometria suficiente para ser detido pela barragem permeável. Nesses casos a estrutura metálica da barragem não será devidamente preenchida e essa perderá significativamente sua capacidade de retenção. Faz-se necessário, portanto, um dimensionamento adequado da treliça metálica de retenção, que deverá adotar um espaçamento menor ou ainda o emprego de uma barragem impermeável.

- b) Consideração da representatividade do volume de troncos em relação ao volume total de detritos

Em pequenas bacias hidrográficas, com volume potencial de geração de sedimentos relativamente baixo, é possível capturar o volume do fluxo de detritos com apenas uma barragem Sabo. Nesses casos, recomenda-se a utilização de barragens impermeáveis. Porém, como a barragem impermeável não tem função de capturar troncos, havendo volume significativo de troncos é recomendável a adoção de uma barragem semi-permeável. Caso o volume de troncos não seja significativo, pode-se instalar uma rede de contenção de troncos em uma barragem secundária.

- c) Manutenção e limpeza dos reservatórios das barragens Sabo

A capacidade de captura do volume de fluxo de detritos da barragem permeável fica severamente comprometida após a saturação de seu reservatório com a ocorrência de eventos de fluxo de detritos. Dessa forma, é fundamental que ao se optar por este tipo de barragem haja um planejamento de limpeza do reservatório após a ocorrência de eventos de fluxo de detritos. Caso haja impossibilidade em se executar o manejo de sedimentos do reservatório, seja por limitações orçamentárias ou por dificuldades de acesso das máquinas para retirada de sedimentos, ou ainda dificuldades de destinação dos mesmos, é mais interessante a adoção de barragem impermeável, haja vista que o manejo dos sedimentos capturados neste tipo de barragem é mais econômico do que na barragem permeável.

- d) Condições que devem ser consideradas ao selecionar a barragem semi-permeável ou permeável

Ao se adotar barragens Sabo do tipo permeável (Figura 31) ou semi-permeável, tal como mencionado anteriormente, é fundamental que a grelha metálica dessas barragens seja preenchida completamente pelo material de maior granulometria (blocos de rocha e matacões) para que o material do fluxo de detritos possa ser contido pelo barramento.

Dessa forma, esses tipos de barragem devem satisfazer as seguintes condições:

- a) A largura da grelha metálica deve ser, pelo menos, igual à largura natural do vale para não haver estrangulamento da passagem do fluxo natural de água;
- b) Os espaçamentos da grelha metálica devem ser dimensionados de forma a conter os blocos maiores (blocos de rocha e matacões) esperados para a região;
- c) A estrutura metálica da grelha deve resistir à abrasão do material granular;
- d) A área permeável não deve ser obstruída por detritos de pequeno e médio porte, ou seja, não deve ser saturada por sedimentos carregados por chuvas de média e baixa intensidade/volume.



Figura 31. Exemplos de barragens Sabo permeáveis

3.2.3 Medidas de canalização do fluxo de detritos

Quando a área a ser protegida estiver localizada na faixa de escoamento do fluxo de detritos pode-se buscar canalizar o trecho do rio/córrego ou talvegue de tal forma a manter o fluxo de detritos no interior da calha. Para tal, as margens e o leito da seção devem ser revestidas com algum material de proteção (usualmente revestimento com placas de concreto) para evitar o seu colapso pela ação erosiva do fluxo.

A seção transversal do trecho de interesse deve ser dimensionada de forma a permitir a passagem da vazão de pico do fluxo de detritos sem trazer danos à infraestrutura adjacente às margens, devendo o canal ser revestido ao longo de todo o trecho em que se pretende proteger. A Figura 32 apresenta um desenho esquemática de uma seção de canal com revestimento.

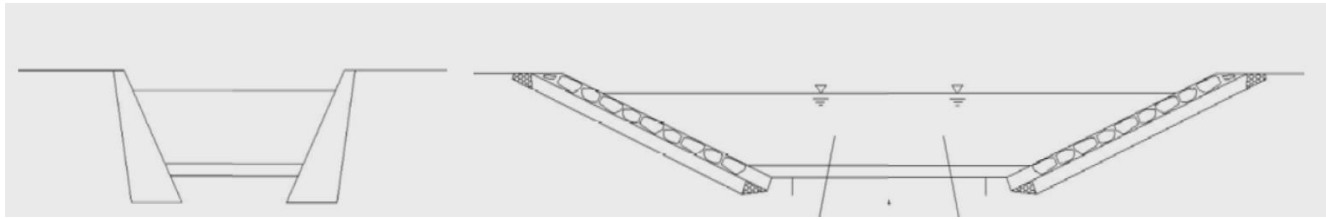


Figura 32. Seção típica com revestimento do canal

3.2.4 Medidas para deposição do fluxo de detritos

Com o propósito de favorecer a deposição de material podem ser adotadas duas alternativas:

- a) Lagoa de deposição; e
- b) Depósitos por prolongamento.

Ambas alternativas têm a função de diminuir a velocidade do fluxo de detritos e forçar a deposição do material.

As áreas destinadas à deposição de material devem ser adequadamente dimensionadas, sendo necessária simulações e testes em laboratórios para estimar o volume de massa possível de ser depositado, uma vez que este volume depende das seções transversais e longitudinais das instalações, das características hidráulicas do fluxo de detrito e da composição granulométrica dos sólidos presentes no fluxo.

3.2.4.1 Lagoa de deposição

A lagoa de deposição consiste em um alargamento de um trecho do canal/talvegue do curso principal, tendo uma estrutura de barragem na parte de montante e jusante. Este tipo de lagoa disponibiliza uma área que permite o acúmulo do volume de deposição previsto na fase de planejamento da contenção do fluxo de detritos e troncos, por meio do alargamento da seção do canal e redução da declividade longitudinal. A Figura 33 apresenta um layout de uma lagoa de deposição de detritos.

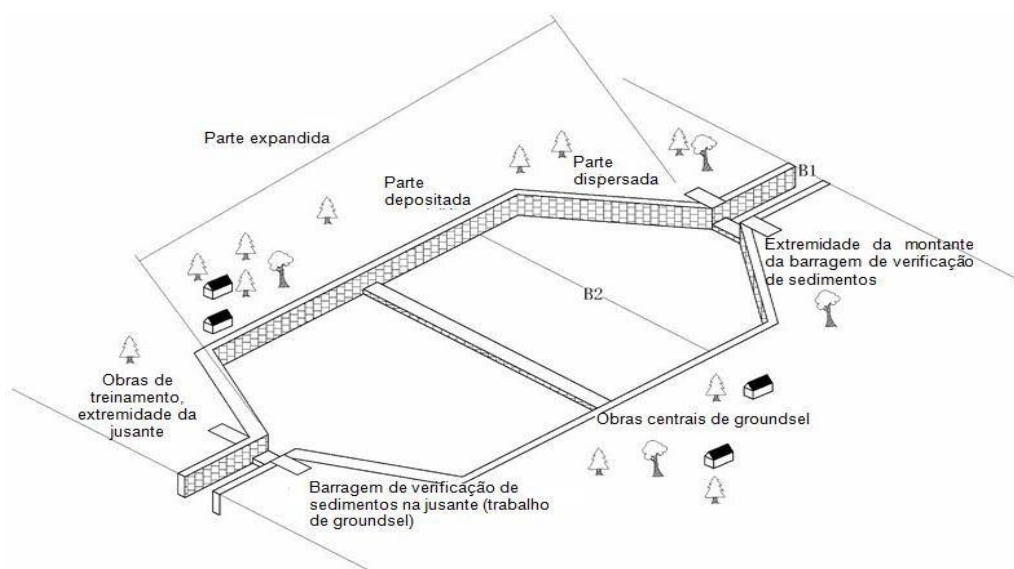


Figura 33. Exemplo de lagoa de deposição de detritos

3.2.4.2 Deposição de detritos por prolongamento

Nas situações em que o alargamento do canal principal não é possível (restrições topográficas ou de uso do solo), pode-se favorecer a deposição de material por meio de uma estrutura marginal ao canal, construída com o propósito de acumular o volume de detritos estimado para a bacia hidrográfica de estudo. Para favorecer a deposição de material, pode-se escavar o a margem de forma a reduzir a inclinação e favorecer o depósito dos detritos, procedendo-se com a proteção do fundo e do leito do canal principal no trecho que receberá a drenagem do prolongamento da margem. A Figura 34 apresenta um layout esquemático deste tipo de solução.

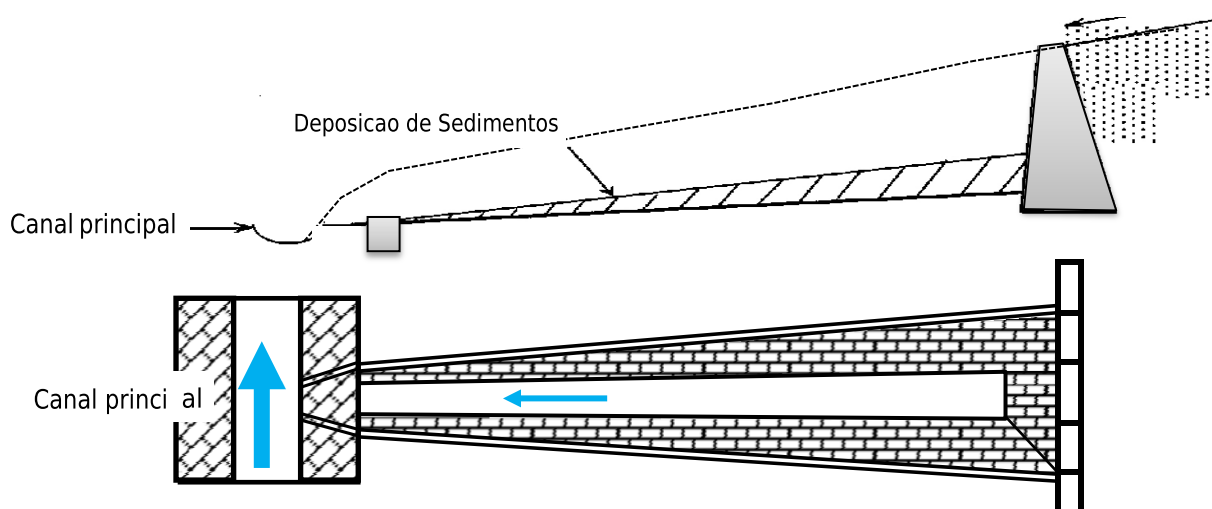


Figura 34. Exemplo de estrutura de deposição por prolongamento

3.2.5 Medidas para controle do trajeto do fluxo de detritos

São instalações que visam proteger a infraestrutura posicionada às margens do curso d'água ou talvegue por meio de um anteparo que desviará o fluxo de detritos da infraestrutura a ser protegida. Usualmente, são empregados diques de proteção na(s) margem(ns) que pretende-se proteger, não devendo existir, a jusante, infraestrutura que possa ser afetada pelo fluxo que será desviado. A Figura 35 apresenta um esquema ilustrativo desse tipo de solução.

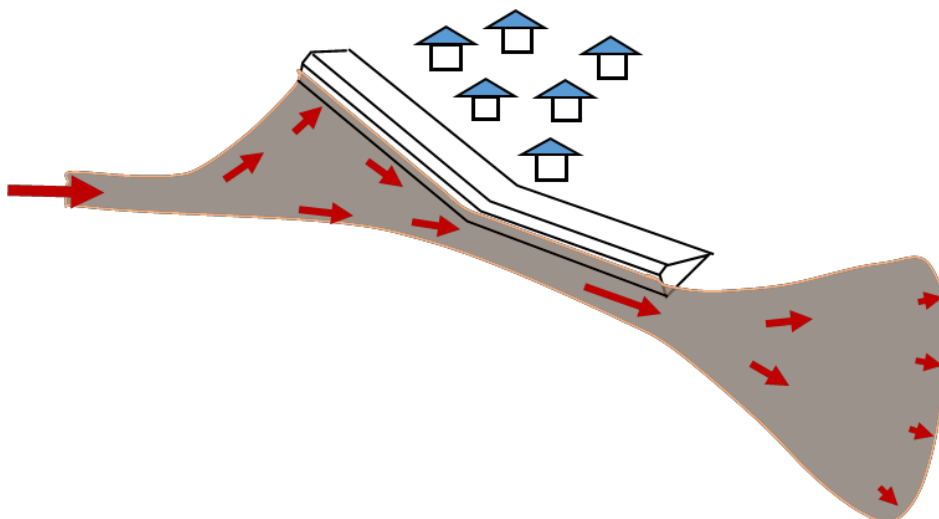


Figura 35. Esquema da implantação de dique para desvio do fluxo de detritos

3.3 Fluxograma para seleção de medidas para controle de fluxo de detritos

As diferentes medidas de controle de fluxo de detritos discutidas acima são definidas com base no tipo de fluxo de detritos esperado, na infraestrutura a ser protegida, no local onde se pretende realizar a intervenção, ou seja, em qual zona de movimentação do fluxo de detritos (Figura 4) a intervenção será implantada, além de características da topografia e geologia local.

De forma a auxiliar a seleção da(s) medida(s) mais adequada(s), foi elaborado um fluxograma prático (Figura 36) que se baseia em perguntas objetivas que visam direcionar a proposição da(s) solução(ões) apropriadas.

Destaca-se que o fluxograma é apenas uma maneira prática de se **iniciar** o estudo de concepção da(s) medida(s) de controle pra fluxo de detritos, não pretendendo esgotar a consideração de outras questões ou fatores que possam interferir na definição da solução técnica apropriada. Dessa forma, após selecionadas as intervenções a partir do fluxograma, essas devem ser comparadas e analisadas do ponto de vista da relação

custo/benefício, ou ainda, outros parâmetros de comparação que se julgue necessário, conforme o caso concreto.

Na seção seguinte são apresentadas algumas instruções básicas para utilização do Fluxograma apresentado na Figura 36.

3.3.1 Instruções básicas para utilização do fluxograma de seleção de medidas para controle de fluxo de detritos

A utilização do fluxograma parte de “perguntas chave”, cujas respostas são do tipo: sim ou não. Cada pergunta é identificada com um número ou uma letra (os números variam de 1 a 7, e as letras podem ser A ou B) e está associada à figura geométrica de um losango.

Com base na resposta às perguntas, podem-se seguir dois caminhos, indicados por setas, uma referente à resposta positiva (sim) e outra referente à resposta negativa (não). O caminho seguido após a resposta pode levar a outra pergunta (para qual se procede de maneira análoga) ou à uma recomendação de medida de controle de fluxo de detritos, que é referenciada por dois números (que variam de 3.1 a 11.2) e está associada a uma figura geométrica retangular.

Sempre que se chega a uma definição de solução procede-se com a verificação se esta é suficiente para conter todo o volume de detritos estimado (Pergunta - A), caso não seja, é preciso complementar a solução com a implantação de outra medida ou adotar uma que consiga conter todo o volume previsto. Se a solução implementada for suficiente para controlar o volume de detritos previsto, procede-se com a última verificação (Pergunta -B) para avaliar se o volume de troncos previsto é possível de ser contido com a solução proposta.

O emprego do fluxograma inicia-se a partir da definição do local onde se pretende realizar a intervenção, dessa forma, o usuário precisa pré-definir se a medida de interesse será implantada na zona de iniciação/geração, zona de escoamento ou zona de deposição, conforme classificação apresentada na Figura 4. Assim, busca-se a partir da definição da zona onde se pretende inserir a medida, estabelecer o tipo de controle mais adequado, conforme relação apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Relação entre o local de implantação da medida e o tipo de controle recomendado

Tipo de controle recomendado	Local de implantação da medida
Controle de geração (encosta)	Zona de iniciação
Controle de geração	Zona de iniciação, dentro do vale

Tipo de controle recomendado	Local de implantação da medida
(córrego/talvegue)	
Captura	Zona de escoamento
Deposição	Zona de deposição
Canalização	Zona de deposição
Controle de direção do fluxo	Zona de deposição

3.3.2 Comentários a respeito das questões indicadas no fluxograma

A seguir, são esclarecidos alguns aspectos referentes aos questionamentos indicados no fluxograma.

As questões (1); (4) e (9) visam identificar em qual zona de movimentação do fluxo de detritos a medida será implementada: zona de geração/iniciação; zona de escoamento ou zona de deposição. A definição da melhor zona para inserção da medida deve levar em conta o ponto de referência e a área a ser protegida, além das características esperadas para cada tipo de medida, conforme descrito no item 3.2 Caracterização das medidas para controle do fluxo de detritos.

A questão (2), visa verificar se os locais de origem do material que se converte em fluxo de detritos estão evidenciados e concentrados. Deve-se entender como “sim”, caso seja possível identificar cicatrizes de ocorrências passadas de fluxo de detritos e rupturas de encostas e tenha havido deposição de quantidade expressiva de sedimentos no talvegue/córrego (mais do que 1000 m³).

A questão (3) visa identificar se a proposta é realizar a contenção dos sedimentos no próprio talvegue/vale ou calha ou na encosta.

A questão (5) procura verificar se a área de interesse é uma zona em que a erosão nas margens e no leito do talvegue/córrego é epressiva. A resposta “sim” indica que se admite que a área é muito susceptível à erosão, sendo a ausência de vegetação, solo exposto, sinais de ravinamento, margens com declividade acima de 30°, córregos/talvegues estreitos (até 3 m de largura) e declividade do leito a partir de 1/10, fortes indícios de susceptibilidade erosiva.

A questão (6) destina-se a averiguar se a infraestrutura a ser protegida encontra-se na zona de escoamento.

A questão (7) busca avaliar o tipo de granulometria esperada para a matriz do fluxo de detritos. Define-se como fluxo de detritos com prevalência de cascalho, aquele o qual sua matriz contém areias e cascalhos com granulometria acima de 2 mm, e tipo lama aquele que contém grande quantidade de argila e silte em sua matriz com granulometria inferior que 0,074 mm.

A questão (8) avalia se a medida proposta estará próxima à área a ser protegida, enquanto a questão (10) verifica se a medida será posicionada à montante do ponto de referência definido.

A questão (11) procura avaliar se a infraestrutura a ser protegida está concentrada em uma determinada área ou margem do talvegue/córrego ou se está esta distribuída em ambas as margens. Dessa forma, a resposta “sim” deve indicar que as residências e instalações a serem protegidas estão concentradas em apenas uma margem do córrego/talvegue.

Para cada medida encontrada a partir do fluxograma, deverá ser realizado o cálculo estimativo do volume a ser considerado no plano e checar se a medida adotada será capaz de conter todo o volume previsto, que não deverá ser superior ao volume admissível (caso seja admitido algum). Caso a solução proposta não possa conter todo o volume considerado no plano, deverá se prosseguir a aplicação do fluxograma e a consideração de outras medidas até que se possa conter todo o material considerado no plano. Essa avaliação é feita a partir do questionamento (A).

A última verificação do fluxograma visa checar se o volume de troncos esperado ou contido pelas medidas indicadas é inferior àquele admitido, caso não seja, será necessário a adoção de alguma medida complementar para conter o volume de troncos.

No caso de se propor a implantação de várias medidas na zona de escoamento, deve-se selecionar primeiro a obra a ser instalada mais a jusante e depois selecionar as obras que serão implantadas a montante, sucessivamente.

Caso tenha sido planejado a implantação de barragem Sabo impermeável deve-se priorizar a instalação de obra de contenção de troncos na barragem secundária.

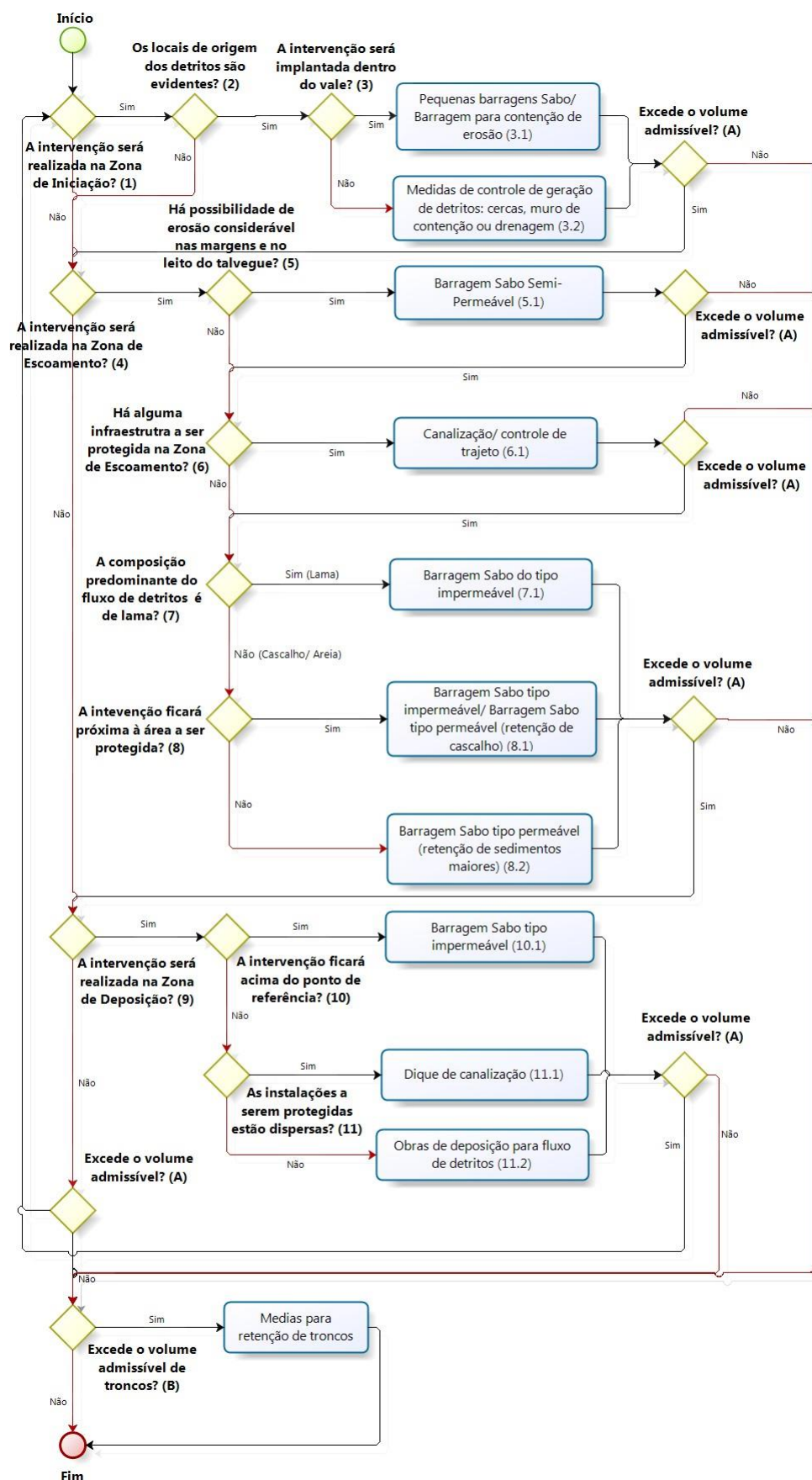


Figura 36. Fluxograma para seleção de medidas para controle de fluxo de detritos



Capitulo 4 Limpeza e manejo dos detritos acumulados nas barragens Sabo

4.1 Objetivo da retirada dos detritos acumulados nas barragens Sabo

O plano de execução e operação das barragens Sabo deve prever a retirada dos detritos acumulados pelo barramento de forma a garantir que as barragens possam utilizar sua capacidade total para acumular material em caso de ocorrência de fluxos de detritos. Dessa forma, os sedimentos acumulados necessitam ser removidos com uma certa frequência.

Há dois tipos de retirada de sedimentos (incluindo o volume de troncos acumulados), um considerado uma retirada de rotina, que deve ser realizada periodicamente com o propósito de garantir a capacidade do volume morto disponível para o acúmulo de material e um segundo tipo de retirada, denominada retirada emergencial, que deve ser realizada após a ocorrência de um evento de fluxo de detritos. A seguir, esses dois procedimentos são melhor comentados.

4.2 Retirada periódica de detritos

A retirada periódica de detritos visa a remoção dos sedimentos e troncos carregados naturalmente em direção à barragem de forma a preservar a capacidade de acumulação natural da barragem Sabo.

Para tal é importante o estabelecimento de um planejamento que, inclua a definição de um cronograma para os momentos de retirada, a definição ou o estabelecimento de vias de acesso para que esta ação possa ser viabilizada, bem como a estimativa de custos, equipamentos, mão de obra necessários, além do local para bota fora do material removido.

Via de regra, para as barragens Sabo construídas com a finalidade de estabilizar o leito do talvegue não deve ser prevista a retirada do material.

4.3 Retirada emergencial de sedimentos

Sempre que houver a ocorrência de eventos de fluxo de detritos, o material depositado no reservatório da barragem Sabo deve ser removido de forma a garantir o volume de captura planejado.

Durante a execução desses serviços, faz-se necessário especial atenção no sentido de verificar se houve comprometimento da estrutura do barramento após a ocorrência do evento. O serviço deve ser executado a partir da porção mais a jusante do reservatório e seguir as questões aplicáveis do planejamento de retirada periódico.



Capitulo 5 Obras e intervenções emergenciais

5.1 Eventos secundários após a ocorrência do fluxo de detritos

Quando ocorre um evento de fluxo de detritos, os sedimentos instáveis se depositam nas várzeas, canal/talvegue e encostas, podendo haver mobilização deste material ainda que com eventos de chuva menores, o que gera riscos de inundação e deslizamentos na área afetada.

Dessa forma, após a ocorrência de um evento de fluxo de detritos, deve-se realizar, o mais rápido possível, uma inspeção local para avaliar o risco de eventos secundários.

Os principais itens a serem observados são:

- a) sedimentos depositados no talvegue/córrego;
- b) depósitos provenientes de ruptura de encostas; e
- c) áreas instáveis nas encostas.

Em relação ao sedimento depositado no talvegue/córrego e do material decorrente de rupturas de encosta (itens “a” e “b”), deve-se realizar um levantamento de seu volume (ainda que de forma simplificada), bem como a identificação de sua localização. O registro de tais informações é importante para ajudar na composição de dados para pesquisas e estudos nesta área no Brasil, que ainda são incipientes quando comparado à dados e informações de eventos de fluxos de detritos catalogados em países como o Japão.

Em relação às áreas instáveis nas encostas, deve-se realizar o levantamento da possibilidade de rupturas ou deslizamentos secundários. Os indícios a serem observados no levantamento são: fissuras, topografia com ângulo negativo, dentre outras indicações que são claras indicações de ruptura. Deve-se, também, ser realizado o levantamento do volume de sedimentos considerando o formato esperado para a cunha de ruptura. Para maiores informações referentes à estabilidade de encostas pode-se consultar o Manual para a Elaboração de Plano de Medidas Estruturais contra Rupturas em Encostas – Ministério das Cidades (MCid);

De acordo com dados coletados sobre desastres de fluxo de detritos no Japão, entre 1992 e 1997, não houve ocorrência de danos humanos, nem danos estruturais a edificações para volumes de detritos mobilizados abaixo de 500 m³. Dessa forma, não se espera risco elevado de eventos secundários quando a soma do volume de detritos proveniente do fluxo de detritos é inferior a 500 m³. A Figura 37 apresenta os registros

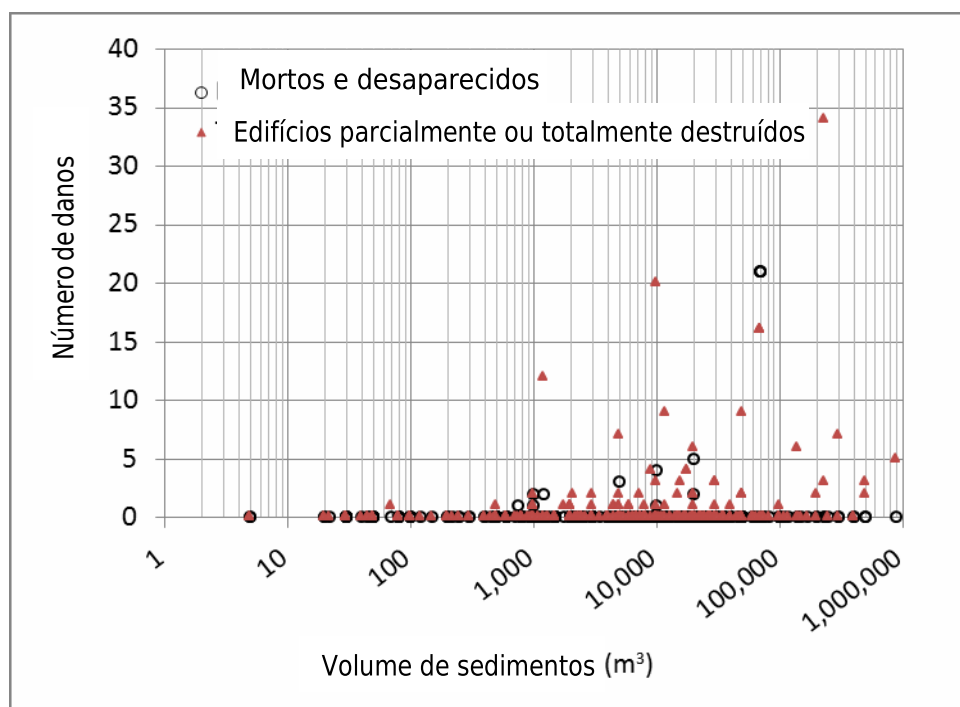


Figura 37. Relação entre número de danos (humanos e materiais) em dados coletados para eventos de fluxo de detritos ocorridos no Japão entre 1992 a 1997

5.2 Avaliação da necessidade de intervenções emergenciais/provisórias

Baseado nos resultados da análise do levantamento emergencial realizado após o desastre, se for confirmado o risco de ocorrência de contaminação de mananciais em virtude dos detritos carregados, risco de possíveis inundações em caso de chuvas posteriores ao evento ou ainda risco de rupturas de encostas, deve-se elaborar um plano de intervenção emergencial e a execução de obras emergenciais ou provisórias com o intuito de evitar os desastres secundários.

As intervenções emergenciais são obras que poderão ser executadas no curto prazo (2 a 3 meses após a ocorrência do desastre) e, por isso, devem ser executadas com recursos (materiais e humanos) facilmente disponibilizados (preferencialmente próximos ao local).

Após o levantamento emergencial, caso seja constatando a existência de locais com perigo de novas ocorrências de ruptura, grandes volumes de sedimentos depositados e material decorrente de rupturas, será necessário além das ações emergenciais a elaboração e um Plano de Intervenção para Fluxo de Detritos considerando toda a bacia hidrográfica.

5.3 Exemplos de intervenções emergenciais

As intervenções emergenciais podem visar o controle nos pontos de geração, como a contenção de encostas instáveis, o controle do escoamento superficial sobre taludes íngremes com vistas a melhorar o fator de segurança de encostas medidas de canalização do fluxo ou controle de direção, além da retirada emergencial de sedimentos em barragens Sabo, conforme descrito no Capítulo 4. Tal como comentado anteriormente as obras emergenciais devem presar pela praticidade e celeridade na execução, além do baixo custo.

5.3.1 Contenção de ocorrência ou controle da geração de fluxo

- a) Medidas que visam a preservação da capacidade de escoamento do canal.

Essas medidas visam assegurar a disponibilidade do canal para escoar o fluxo advindo do escoamento superficial de novos eventos de chuva, evitando que parte do solo rompido e do sedimento depositado do fundo do talvegue/canal se liquefaça e seja mobilizado. Dessa forma, além de atividades de limpeza e remoção de material depositado no fundo de talvegues/ canal pode-se propor a proteção de margens com entroncamento.

- b) Obra de drenagem nas encostas

Para diminuir a percolação de águas nas encostas onde há perigo de ruptura, devem ser realizadas obras de drenagem utilizando-se canaletas com formato de U e, concomitantemente, a utilização de mantas impermeáveis, diminuindo quaisquer possibilidades de infiltração da água que escoam superficialmente ao talude.

- c) Obra de proteção da encosta

Devem ser realizadas obras de proteção da encosta com sacos de areia empilhados e a proteção contra a infiltração da água da chuva, com mantas impermeáveis, quando houver grande quantidade de solo rompido na encosta. A Figura 38 apresenta um exemplo de proteção emergencial de talude com o emprego de sacos de areia.

SEÇÃO

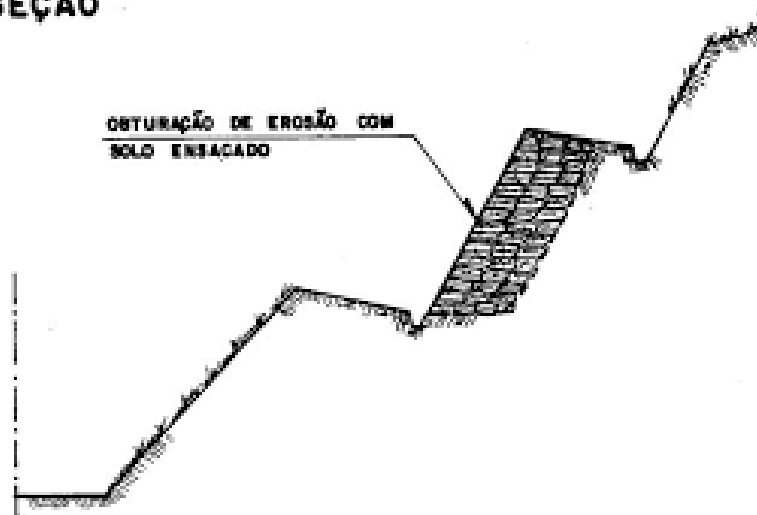


Figura 38. Exemplo de obra emergencial de proteção de encosta com sacos de areia

5.3.2 Canalização

Nas zonas de deposição do fluxo de detritos deve-se buscar garantir a capacidade de escoamento do canal, para se evitar ou minimizar os danos causados por fluxos de detritos subsequentes ou enchentes. Dessa forma, pode-se escavar o fundo do canal para remover o material depositado e proteger suas margens com o lançamento de entroncamento.

Nas situações em que não há restrições ao uso das margens do canal pode-se alterar as margens com o lançamento do próprio material escavado formando diques de proteção. A Figura 39 apresenta um exemplo desse tipo de medida.

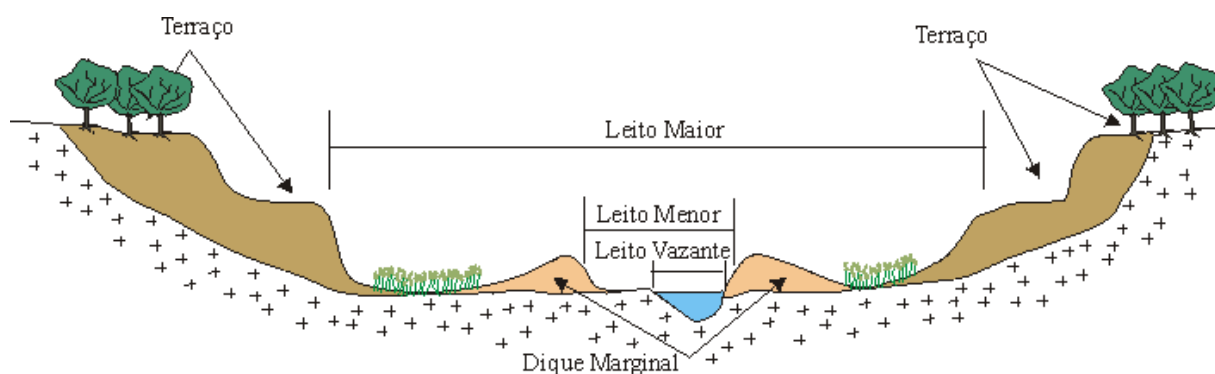


Figura 39. Exemplo de canalização do leito da drenagem à partir do uso de Diques Marginais.

5.3.3 Controle de direção do fluxo

Pode-se buscar o desvio de novos fluxos de detritos decorrentes do evento inicial a partir da execução de um aterro reforçado para proteger infraestruturas localizadas na área de espalhamento. Nesses casos é importante verificar se o desvio realizado não irá aumentar eventuais danos em áreas localizadas à jusante do trecho protegido.

5.3.4 Retirada do sedimento em obras de retenção

Trata-se da mesma da retirada emergencial de sedimentos descrita no Capítulo 4.



Capítulo 6 Uso e ocupação de áreas a jusante de barragens Sabo

6.1 Indicador para avaliação da implementação do plano de Intervenções

A ocupação de áreas a jusante de barragens Sabo pode ser viabilizada desde que haja um estudo e avaliação dos riscos envolvidos com a identificação e descrição das medidas de segurança necessárias. É oportuno que tais considerações sejam discutidas no âmbito do plano diretor do município, tendo em vista que a autonomia para definição dos usos e ocupação do solo é de responsabilidade do governo local.

A elaboração do plano de medidas estruturais para fluxo de detritos, conforme discutido nos Capítulos 2 e 3, leva em consideração um volume de detritos que se compõe de diferentes parcelas conforme apresentado na (Equação 10). Uma maneira de avaliar a parcela do volume total considerado no plano que está sendo controlada a partir das intervenções realizadas é por meio da relação apresentada pela (Equação 18, a seguir:

$$= \frac{(\quad + \quad + \quad)}{\quad} \quad 100 \quad \text{(Equação 18)}$$

Em que

- Volume total de detritos a ser considerado no plano (m³);

W- Volume de detritos admissível (m³);

X- Volume de detritos capturado (m³);

Y- Volume de detritos naturalmente depositado no barramento (m³);

Z- Volume de detritos advindos da erosão do leito (m³).

R – Percentual do volume total a ser considerado no plano que está sendo contido pelas medidas implementadas.

Ressalta-se que os volumes X, Y e Z da relação acima devem levar em conta as medidas efetivamente implementadas e o volume V_T deve-se se referir ao volume total de detritos a ser considerado no plano. O valor de R equivalente a 100% indica que todo o volume de detritos previsto no plano está sendo considerado nas medidas implementadas.

6.2 Avaliação da segurança da área a ser protegida

A avaliação da segurança da área a jusante das intervenções para controle de fluxo de detritos perpassa pela avaliação das seguintes condições: planejamento, estrutura e gestão.

6.2.1 Segurança em relação ao planejamento

O plano de medidas estruturais para controle do fluxo de detritos deve ser elaborado com base nas diretrizes estipuladas neste guia, sendo necessário a identificação dos volumes a serem controlados bem como as medidas indicadas e a capacidade de captura de cada uma delas. O estudo deve ser materializado em um documento, conforme itemização mínima apresentada em anexo a este guia ou de acordo com os modelos apresentados nos apêndices. Este documento integra o nível de planejamento e compõe o diagnóstico e a proposição das soluções previstas para garantir níveis mínimos de segurança a fluxo de detritos as áreas vulneráveis da bacia de estudo.

6.2.2 Segurança em relação à estrutura

Outra avaliação necessária consiste nas condições de estabilidade da (s) estrutura (s) da (s) barragem (ens) Sabo que deve verificar o equilíbrio de forças solicitantes e resistentes, bem como dispositivos de proteção à erosão da fundação da estrutura.

a) Segurança em relação ao equilíbrio de esforços solicitantes e resistentes

As barragens Sabo devem ser verificadas quanto ao equilíbrio ao tombamento, deslizamento e sustentação da base tal qual se procede em projetos de barragens convencionais. Dessa forma, devem ser avaliados os esforços decorrentes da pressão da água, da carga de sedimentos e da resistência ao fluxo de detritos, além da força de impacto oriunda de blocos de rocha e matacões.

b) Segurança em relação ao processo de erosão da base

Os danos mais frequentes à barragens Sabo decorrem de processos erosivos instalados no trecho de jusante da base do barramento. Tais processos se iniciam em função da descarga da água que verte pela barragem. Dessa forma, é fundamental a proteção da base a jusante com a implantação de estrutura de dissipação de energia. Usualmente, com base na experiência Japonesa, recomenda-se a construção de uma estrutura de dissipação integrada a uma barragem auxiliar a jusante, conforme esquema apresentado na Figura 40, a seguir.

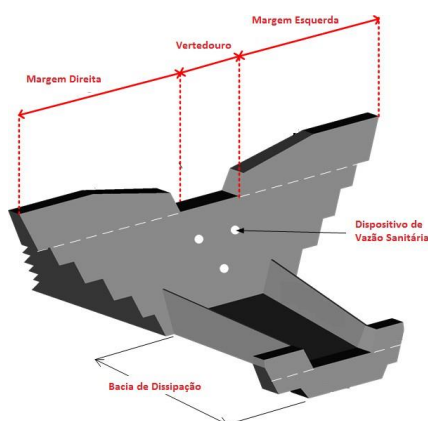


Figura 40. Barragem Sabo e bacia de dissipação associada a barragem auxiliar

6.2.3 Segurança em relação à gestão

Após o planejamento e implementação das obras estruturais previstas é fundamental o monitoramento e manutenção das estruturas implementadas. Além disso, a limpeza preventiva do reservatório a montante das barragens Sabo, bem como a remoção do material após a ocorrência de eventos de fluxo de detritos é fundamental, tal como descrito no Capítulo 4.

6.3 Avaliação de segurança da área a jusante após a conclusão das obras estruturantes implementadas

No caso de se obter uma taxa R igual a 100%, conforme indicador descrito no início deste capítulo, é possível se pensar na ocupação da área a jusante das obras implementadas, sendo necessário a implementação de sistemas de monitoramento, alerta, evacuação, gestão da infraestrutura implantada, além de treinamento à população residente à jusante.

Caso a taxa R seja inferior a 100%, a ocupação da área não é recomendada, tendo em vista a possibilidade de grandes danos, uma vez que o volume previsto no plano não pode ser contido/controlado pelas medidas implementadas.

6.4 Necessidade de implantação e operação de sistemas de alerta e evacuação

Caso se atinja a taxa R de 100% e a população local, no âmbito do plano diretor, entenda ser possível a ocupação da área a jusante à infraestrutura de proteção, é fundamental ter em mente que embora haja medidas de controle de fluxo de detritos, essas estão associadas a eventos com determinados tempos de recorrência, havendo ainda probabilidade de esses eventos serem superados, ainda que baixa.

Dessa forma é necessário que essas áreas disponham de sistemas de monitoramento, alerta e evacuação, devendo a população que habita essas localidades ser conscientizada e treinada. Para tal, é fundamental que se desenvolva um Plano de Contingência conforme orientações disponibilizadas no Manual para Elaboração do Plano de Contingência Municipal para Riscos de Movimento de Massa – CENAD (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e 7 Desastres) /SEDEC (Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil) / MI (Ministério da Integração Nacional).

A Figura 41 apresenta a delimitação das áreas de risco a jusante de um ponto de referência de uma bacia hidrográfica hipotética considerada em um plano de intervenções onde, supostamente, estavam previstas duas barragens Sabo para conter o volume de sedimentos esperado para um evento de tempo de recorrência de 100 anos.

A área em vermelho consiste naquela de maior dano associado ao fluxo de detritos não sendo possível a sua ocupação em nenhuma hipótese. A área em amarelo apresenta danos de menor magnitude sendo possível o uso da área com certa reserva. Na etapa (a), do contexto estabelecido na referida figura, ainda não havia a implantação de

nenhuma medida estruturante, sendo, não sendo aconselhável a ocupação a jusante. Na etapa (b), a estrutura hachurada em preto foi construída conforme o plano, enquanto a estrutura não hachurada está apenas prevista no plano de medidas, porém, não foi ainda executada. Neste caso, ainda que haja uma certa proteção parcial, não se recomenda a utilização da área. Por fim, a etapa (c) consiste naquela situação em que todas as barragens para controle do fluxo de detritos foram implementadas, sendo possível a ocupação a jusante com reservas, conforme discutido nesta seção.

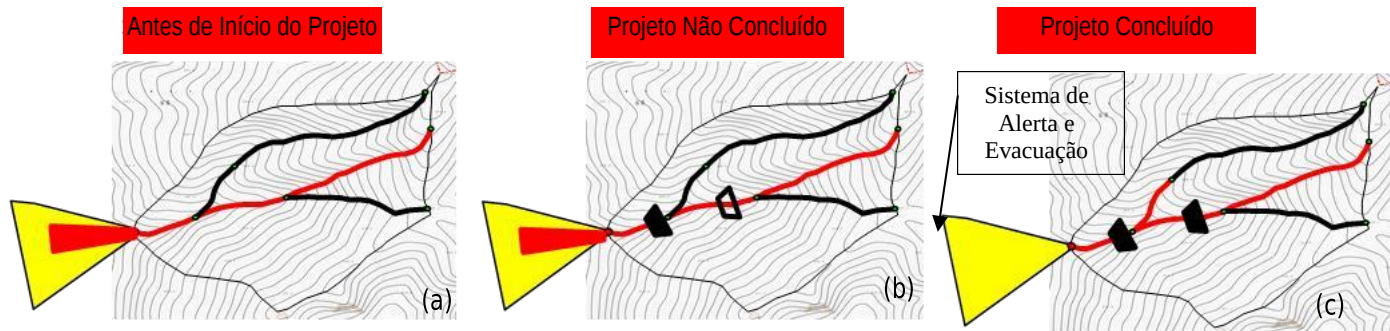


Figura 41. Evolução da implantação de das medidas estruturais contra fluxo de detritos na bacia e riscos nas áreas a jusante das medidas

REFERÊNCIAS

- Canholi, A. P. (2005). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos.
- da Silveira, A. L. (2005). Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10, pp. 5-23.
- DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes-Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Diretoria de Planejamento e Pesquisa.Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. (2005). *Manual de Hidrologia Básica Para Estruturas de Drenagem* (2ª ed.). Rio de Janeiro.
- Festi, A. V. (2006). Equações de Chuva Brasileira. *XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*.
- Flood Control District of Maricopa County. (2011). *Drainage Policies and Standards for Maricopa County, Arizona*. Maricopa, Arizona.
- Júnior, F. M., & Magni, N. L. (1999). *Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo*. São Paulo: Convênio-Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Kanji, M. A., Massad, F., & Cruz, P. T. (2003). Debris Flows in Areas of Residual Soils. *International Workshop on Occurrence and Mechanism of Lows in Natural Slopes and Earth*.
- Kuichling, E. (1889). The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. *Transactions, American Society of Civil Engineers*, 20, pp. 1-56.
- Ministry of Land, I. a. (1998). Pesquisa relacionada a desastre de fluxos de detritos. *National Institute for Land and Infrastructure Management*.
- Mizuyama, T. (2008). Sediment hazards and SABO works in Japan. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 1.
- Mulvaney, T. (1850). On the use of self-registering rain and flood gauges. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, 4, pp. 1-8.
- Naghettini, M., & Pinto, É. J. (2007). *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM-Serviço Geológico do Brasil.
- Pfaffstetter, O. (1982). *Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequências de chuvas, registradas com pluviógrafos, em 98 postos meteorológicos* (2ª ed.). Rio de Janeiro: DNOS.

Soares, C., Martins, F.B., Junior, H.U.L., da Silva, G.F., & Figueredo, L.T.M. (2011). Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. *Revista Árvore*, 35.

Takahashi, T. (2007). *Debris flow, Mechanics, Prediction and Countermeasures*. London,UK: Taylor & Francis Group.

ANEXO 1 - Vazão de pico do fluxo de detritos

Diversos processos podem contribuir isoladamente ou em conjunto para formação do fluxo de detritos, dentre eles podem-se listar:

- a) erosão do material coluvionar acumulado nos pontos mais baixos do vale mobilizados por eventos de chuva;
- b) ruptura de encostas de encostas; e
- c) rompimento de pontos de acumulação natural de sedimentos oriundos de deslizamentos ou fluxo de detritos anteriores.

A estimativa da vazão de pico do fluxo de detritos se baseia no processo descrito na alínea (a) e pode ser realizada a partir de dois métodos, um empírico que correlaciona a vazão de pico do fluxo de detritos com o volume de sedimentos carregado e outro que correlaciona a vazão de pico do fluxo de detritos com a vazão líquida associada a um evento de chuva.

A.1.1 Método empírico da estimativa da vazão de pico

Tendo em vista levantamentos realizados em desastres naturais de fluxo de detritos no Japão, não é usual a ocorrência de diversos fluxos de detritos simultâneos em uma mesma sub-bacia. Dessa forma, para a determinação da vazão de pico do fluxo de detritos esse método considera apenas o maior volume do fluxo de detritos dentre aqueles possíveis de ocorrer na bacia de interesse.

Dessa forma, considere um ponto de referência em uma determinada bacia hidrográfica da qual podem-se identificar 3 possíveis vertentes (A, B, C) nas quais podem haver fluxos de detritos, conforme apresentado na Figura 42. Se for possível registrar graficamente a vazão do fluxo de detritos (Q_{sp}) em função do tempo ("debrigrama") para cada um dos eventos associados a cada uma das três vertentes seria obtido um gráfico semelhante ao hipoteticamente apresentado na Figura 43

determinada bacia hidrográfica

Para estimar o volume do primeiro fluxo de massa (V_{dqp}), inicialmente delimita-se a bacia hidrográfica de interesse. Em seguida, calculam-se o volume de sedimentos potencial que pode ser movimentado dentro da Bacia Hidrográfica (V_{dy1}) e o volume transportável (V_{dy2}). Será considerado como primeiro fluxo de massa o menor dos dois valores de volume calculado. Ao fazer esta estimativa, devem ser desconsideradas eventuais estruturas de contenção existentes na bacia.

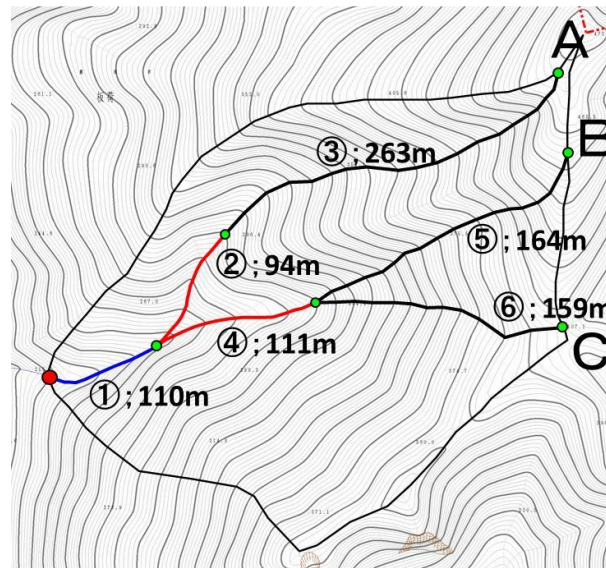


Figura 42. Possíveis vertentes nas quais podem haver a ocorrência de fluxos de detritos em uma bacia hidrográfica hipotética

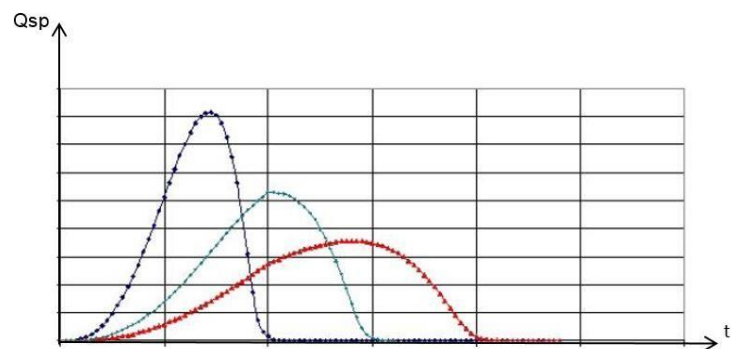


Figura 43. Vazão do fluxo de detritos em função do tempo (“debrigrama”) para cada uma das vertentes identificadas na Figura 42

Figura 44. Esquema da área considerada para estimativa do fluxo de detritos.

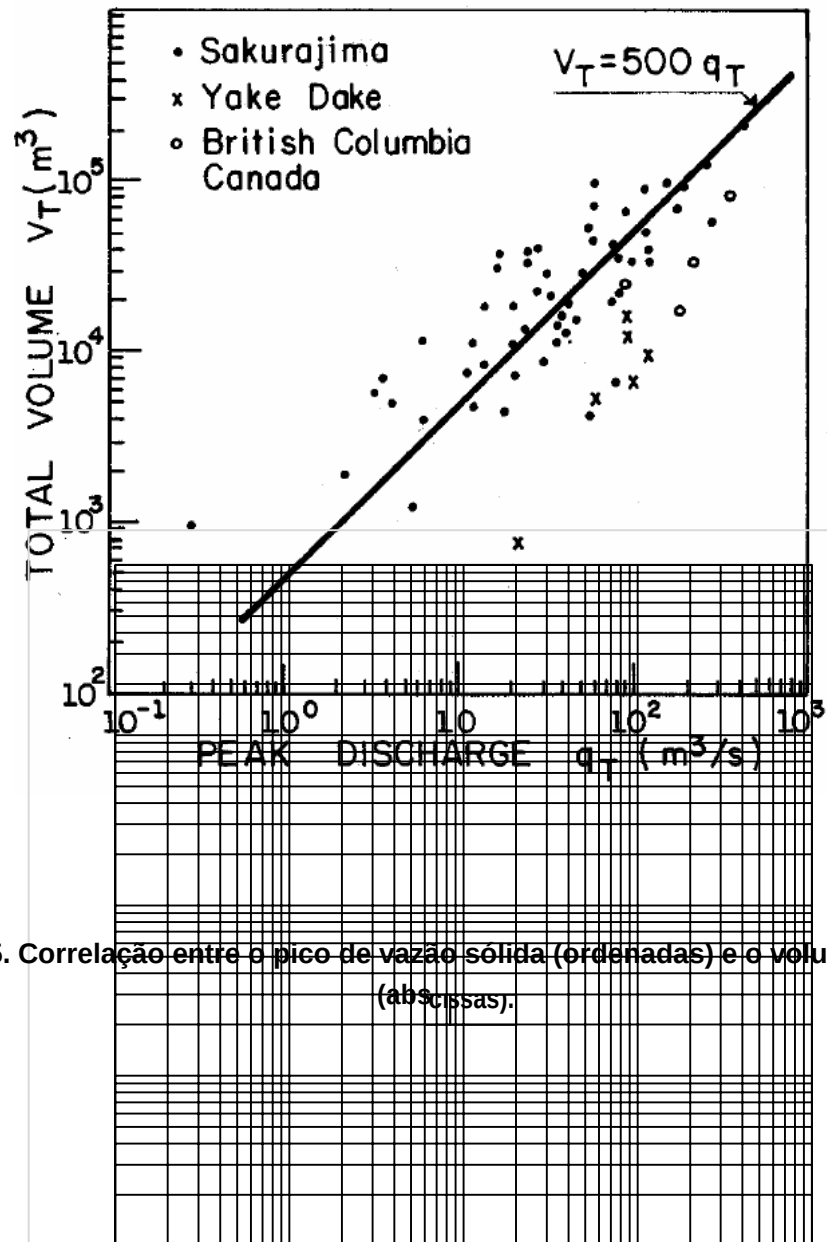


Figura 45. Correlação entre o pico de vazão sólida (ordenadas) e o volume total de fluxo de massa (abscissas).

A.1.2 Estimativa do pico de vazão do fluxo de detritos

Para simular onde irá iniciar o transbordamento do fluxo de detritos e a largura de erosão utilizada no cálculo do volume potencial máximo de sedimentos que podem ser gerados ou mobilizados é necessário primeiro determinar a vazão de pico e a taxa de fluxo do fluxo de detritos. A vazão de pico do fluxo de detritos é o valor máximo encontrado durante a ocorrência de um conjunto de fluxo de detritos. É de conhecimento de que esse valor máximo é de 1 a 10 vezes maior que o pico registrado em inundação comum. Para o cálculo deste parâmetro considera-se que não há nenhuma intervenção implantada.

Além disso, não se deve levar em consideração a variação do vazão de pico do fluxo de detritos, velocidade e a profundidade do fluxo, peso específico devido à inclusão de troncos. Pois o impacto relacionado à velocidade e profundidade do fluxo será pequeno devido à baixa porcentagem do volume de troncos em relação ao volume total do fluxo de detritos.

Usualmente, o pico de vazão do fluxo de detritos é calculado com base no volume de sedimentos escoado (doravante método empírico). Mas, caso existam dados levantados para a região, estes poderão ser utilizados por meio de outro método para se estimar o pico de vazão do fluxo de detritos.

O pico de vazão do fluxo de detritos pode ser determinado pelo método racional à partir do volume de precipitação. Este método está descrito no anexo 1 deste manual. A relação de dimensão do pico de vazão do fluxo de detritos determinado tanto pelo método empírico quanto pelo método racional descrito no anexo, varia de acordo com o volume do sedimento, chuva e da área da bacia hidrográfica. O valor adotado pelo método racional deve ser menor comparado ao valor do método empírico nas condições em que o volume de sedimento por área da bacia hidrográfica igual a $100.000 \text{ Km}^3/\text{km}^2$, volume de chuva diária ou de 24 horas igual a 260 (mm) e área da bacia hidrográfica ser menor que 1 km^2 . Geralmente, existem poucos riachos com essas condições citadas anteriormente. Portanto, para calcular o pico de vazão do fluxo de detritos utiliza-se o método empírico que adota o valor maior.

2.6.3.1 Relação entre o pico de vazão e o volume total escoado de detritos (m^3)

A Figura 16 mostra a correlação entre os dados do pico de vazão do fluxo de detritos e o volume total escoado de detritos, baseados em registros nas montanhas Yakedake e Sakurajima. A relação entre a média dos picos de vazão de fluxo de detritos e o volume total de detritos pode ser demonstrada na seguinte equação:

$$Q_{sp} = 0,002 \sum Q \quad (16)$$

$$\sum Q = \frac{* \times}{\quad} \quad (17)$$

Sendo que

Q_{sp} : Pico de vazão do fluxo de detritos (m^3/s);

$\sum Q$: Volume total escoado de detritos (m^3);

V_{dqp} : Estimativa do volume de sedimentos que escoam devido a primeira onda de fluxo de detritos (incluindo os vazios);

C^* : Porosidade (0,6 aproximadamente) do sedimento depositado no fundo do talvegue;

C_d : Densidade do fluxo de detritos após a ruptura

2. Método de cálculo da vazão líquida

correlaciona o pico da vazão do fluxo de detritos com o pico de vazão líquida associada à chuva.

A relação da dimensão do pico de vazão do fluxo de detritos calculado de acordo com o método teórico (24), que irá ser apresentado a seguir, e o método empírico (20), varia de acordo com a área da bacia hidrográfica, do volume de chuva, bem como do volume total de sedimento carregado.

Quando o volume total de massa por área de drenagem (volume específico) representa $100.000 m^3/km^2$, o volume de chuva diário ou de 24 horas atinge 260 mm e a área da bacia hidrográfica é menor que $1 km^2$, o valor utilizado no método teórico deve ser menor que o valor utilizado no método empírico.

O pico de vazão do fluxo de detritos deve ser calculado das 2 maneiras a seguir:

$$= \times \quad (19)$$

$$KQ = C^*/(C^* - C_d)$$

A despeito dos diversos métodos existentes no campo das ciências hidrológicas para cálculo de vazões líquidas, o método proposto neste manual consiste no Método Racional (Mulvaney, 1850). O referido método permite a estimativa da vazão de pico para bacias com pequenas áreas de drenagem estando, portanto, dentro dos limites de aplicação deste Manual. O Método Racional relaciona a vazão de pico com a área de drenagem da bacia hidrográfica, com a intensidade média da chuva, com a duração da chuva (usualmente equivalente ao tempo de concentração da bacia) e com um coeficiente que representa as abstrações hidrológicas (perdas de volume de água) e a atenuação do hidrograma em função da propagação da onda de cheia. Este coeficiente é denominado coeficiente de escoamento (coeficiente *runoff*) e pode variar de 0 (ausência de escoamento para uma dada intensidade de chuva) a 1 (conversão total da chuva em vazão). A Equação , abaixo, apresenta a expressão adotada para o Método Racional.

$$Q = \frac{\cdot \cdot}{3,6}$$

Equação 20

Em que:

C - coeficiente de runoff

I- intensidade média da precipitação (mm/h);

A- área de drenagem da bacia (km²);e

3,6- fator de conversão para obter o pico de vazão em m³/s

Q- vazão (m³/s)

3. O coeficiente de escoamento/runoff (C)

A estimativa do coeficiente de escoamento (ou coeficiente de *Runoff*) usualmente é baseada em ábacos e tabelas desenvolvidos por procedimentos empíricos, a partir da experiência de projetistas e pesquisadores. Tendo em vista o comportamento natural do escoamento na bacia, espera-se que o coeficiente de escoamento varie com o tempo de retorno e a intensidade do evento de chuva, uma vez que com o incremento desses fatores as perdas de escoamento tendem a diminuir proporcionalmente ao volume escoado, repercutindo em um aumento do valor do coeficiente de *runoff*. Na ausência de melhores estimativas do coeficiente C, pode-se adotar os valores indicados na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** O projetista pode ainda adotar um coeficiente de escoamento ponderado a partir de valores compostos de C em função dos diferentes usos do solo na bacia em estudo, ou ainda adotar como referência outras metodologias de definição deste coeficiente mais apropriadas ou indicadas para região de trabalho.

Tabela 3. Coeficientes de escoamento superficial (C) para o Método Racional (Canholi, 2005)

USO DO SOLO	TEMPO DE RETORNO (ANOS)			
	2-10	25	50	100
Sistema viário				
Vias pavimentadas	0,75-0,85	0,83-0,94	0,90-0,95	0,94-0,95
Vias não pavimentadas	0,60-0,70	0,66-0,77	0,72-0,84	0,75-0,88
Áreas industriais				
Pesadas	0,70-0,80	0,77-0,88	0,84-0,95	0,88-0,95
Leves	0,60-0,70	0,66-0,77	0,72-0,84	0,75-0,88
Áreas comerciais				
Centrais	0,75-0,85	0,83-0,94	0,90-0,95	0,94-0,95
Periféricas	0,55-0,65	0,61-0,72	0,66-0,78	0,69-0,81
Áreas residenciais				
Gramados planos	0,10-0,25	0,11-0,28	0,12-0,30	0,13-0,31

USO DO SOLO	TEMPO DE RETORNO (ANOS)			
	2-10	25	50	100
Gramados íngrimes	0,25-0,40	0,28-0,44	0,30-0,48	0,31-0,50
Condomínios c/lotes > 300 m ²	0,30-0,04	0,33-0,44	0,36-0,48	0,31-0,50
Residências unifamiliares	0,45-0,55	0,50-0,61	0,54-0,66	0,56-0,69
Uso misto-denso	0,50-0,60	0,55-0,66	0,60-0,72	0,63-0,75
Prédios/conjunto de apartamentos	0,60-0,70	0,66-0,77	0,72-0,84	0,75-0,88
Playground/Praças	0,40-0,50	0,44-0,55	0,48-0,60	0,50-0,63
Áreas rurais				
Áreas agrícolas	0,10-0,20	0,11-0,22	0,12-0,24	0,13-0,25
Solo exposto	0,20-0,30	0,22-0,33	0,24-0,36	0,25-0,38
Terrenos montanhosos	0,60-0,80	0,66-0,88	0,72-0,95	0,75-0,95
Telhados	0,80-0,90	0,90	0,90	0,90

4. Intensidade média da precipitação (I)

Na ausência de melhores estimativas para a intensidade média da precipitação, podem ser adotadas intensidades de chuvas a partir de Curvas de Intensidade Duração e Frequência (IDF). Tal procedimento, na verdade, tende a maximizar as precipitações para cada duração, uma vez que muito raramente os totais precipitados máximos para cada duração ocorrerão em um único evento. Órgãos municipais, estaduais e federais com atividades relacionadas ao campo da drenagem urbana usualmente publicam manuais, guias e diretrizes para o desenvolvimento de projetos de drenagem. Nesses documentos costumam haver curvas IDF de referência. No caso de cidades que disponham de um Plano Diretor de Drenagem, via de regra, há alguma consideração sobre as curvas de intensidade, duração e frequência que devem ser adotadas como referência para a região.

O engenheiro Otto Pfafstetter, do extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento-DNOS, desenvolveu estudos pioneiros relativos ao desenvolvimento de curvas IDF para diversas cidades do Brasil. Em obra publicada em 1957 e reeditada em 1982 (Pfafstetter, 1982) são apresentados os resultados de suas pesquisas, considerando 98 postos.

Festi (2006) publicou no XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Apêndice X) um artigo com uma coletânea de equações IDF para diversas cidades do país. Na ausência de uma equação desenvolvida especificamente para a área de estudo, ou caso haja dificuldade de pesquisa a outras fontes atualizadas de referências, sugere-se consulta às referências citadas acima para a definição da curva IDF a ser adotada.

As curvas de Intensidade Duração e Frequência (IDF) correlacionam a intensidade de precipitação com diferentes durações e tempos de recorrência do evento de chuva. São obtidas a partir do processamento de registros pretéritos de precipitação e duração da chuva, sendo expressas por equações do tipo:

$$I = \frac{a}{(b + t)^c} \quad \text{Equação 21}$$

Em que:

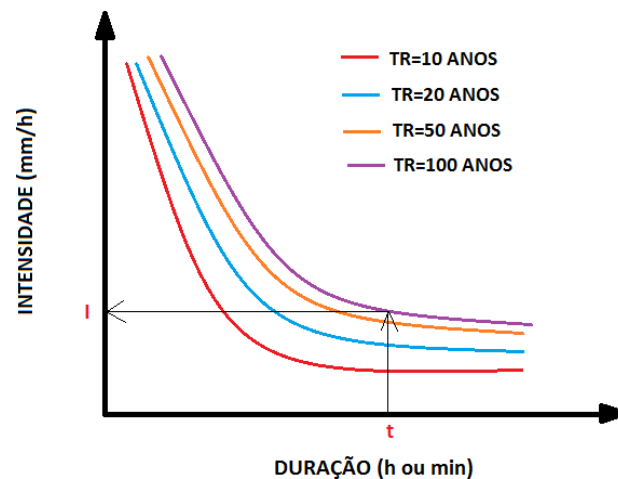
I-intensidade da precipitação (mm/h);

T_R -Tempo de recorrência (em anos)

a,b,c,d - coeficientes ajustados para cada localidade

t- duração do evento de chuva (min ou horas)

A Figura(1) apresenta uma ilustração de um conjunto de curvas IDF para uma localidade hipotética. Para definição da intensidade (I) de chuva a ser adotada, parte-se de um valor de duração de chuva (t) e um tempo de recorrência (T_R). O tempo de duração da chuva deve ser igual ou superior ao tempo de concentração da bacia.



Figura(1): Conjunto de curvas IDF para uma localidade hipotética

5. Tempo de duração da chuva (t)

O tempo de concentração consiste no tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento da seção de controle. Ou seja, o tempo de concentração vai do início da precipitação até o instante que todos os pontos da bacia passam a contribuir para vazão. Assim, recomenda-se que o tempo de duração da chuva adotada seja, pelo menos, igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica em estudo.

A estimativa correta do tempo de concentração é relativamente complexa devido aos diversos condicionantes envolvidos havendo uma ampla gama de formulações utilizadas. O Manual de Hidrologia Básica Para Estruturas de Drenagem do DNIT (2005) apresenta uma análise comparativa dos tempos de concentração calculados por meio de diferentes formulações empíricas e enumera 15 fórmulas empregadas para bacias menores que 2,5 km². O artigo intitulado Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais (da Silveira, 2005), publicado na Revista Brasileira de Recursos Hídricos, avaliou o comportamento de 23 fórmulas para o tempo de

concentração incluindo as mais encontradas na bibliografia técnica brasileira. Dessa forma, tendo em vista a dispersão entre os tempos de concentração obtidos pelas diferentes formulações existentes e o reflexo nos valores de vazões de pico calculados a partir deste parâmetro sugere-se que o projetista avalie a bacia hidrográfica em questão de forma criteriosa para definição de qual metodologia adotar.

6. Tempo de Recorrência (T_R)

O tempo de recorrência de um determinado evento significa que este evento será igualado ou superado em média uma vez dentro deste intervalo de tempo. Usualmente, em diretrizes para projetos de engenharia, costuma ser comum o estabelecimento de valores de referência para este parâmetro. No entanto, alerta-se que tal parâmetro não deve ser estabelecido de maneira indiscriminada.

O tempo de recorrência está associado com o risco de falha da obra e deve ser avaliado em conjunto com o período previsto para vida útil da infraestrutura construída. Assim, quanto maior o tempo de recorrência adotado menor será o risco da estrutura e consequentemente maior será o custo da obra. Quanto maior o período de vida útil da estrutura, fixando-se um mesmo tempo de recorrência, maior será o risco. A expressão a seguir apresenta a relação do risco com esses parâmetros.

$$R(\%) = 100 \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{1}{n} \right)^{T_R} \right] \quad \text{Equação 22}$$

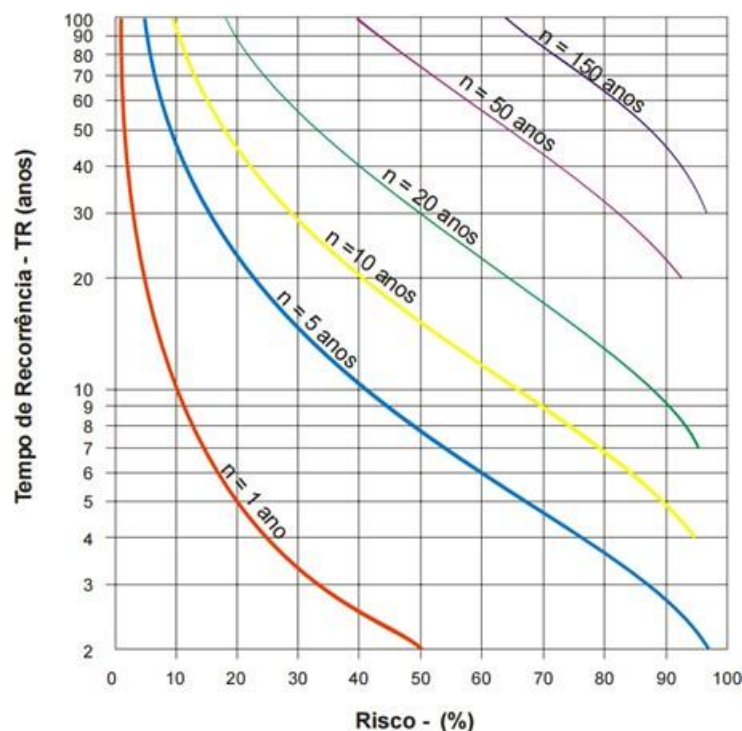
Em que:

R- Risco de falha (%);

T_R -Tempo de recorrência (em anos)

n - vida útil prevista para operação da infraestrutura (anos)

A Figura(2), extraída do Manual de Hidrologia Básica Para Estruturas de Drenagem do DNIT (2005) apresenta a relação entre o risco, tempo de recorrência e vida útil da infraestrutura.



Figura(2): Relação do risco com o tempo de recorrência e vida útil da infraestrutura (DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes-Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Diretoria de Planejamento e Pesquisa.Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias., 2005)

Dessa forma, tendo em vista que o risco está associado o nível de importância da área a ser protegida e também ao custo da obra a ser implantada, para intervenções de maior porte é recomendável que este parâmetro seja definido de maneira racional, quantificando-se os benefícios e custos atingidos com a intervenção, inclusive questão não quantificáveis diretamente para os impactos esperados em caso de superação de diferentes tempos de retorno.

Para fase de estudos iniciais, em nível de concepção, no caso do emprego de barragens do tipo Sabo, sugere-se que seja adotado pelo menos um tempo de recorrência de 100 anos com um período de vida útil de 50 anos. Contudo, em fases posteriores de projeto sugere-se que esta referência seja confirmada com base em avaliações de benefício-custo.

ANEXO 2 –Velocidade do Fluxo de Detritos

2.6.4 Método de cálculo da velocidade do fluxo de detritos e a profundidade do fluxo de detritos

A velocidade e a profundidade do fluxo podem ser calculadas a partir de fórmulas teóricas, fórmulas empíricas e medição de valores *in loco*.

Detalhamento

A velocidade do fluxo de detrito, U (m/s) pode ser calculada pela fórmula de Manning com base em dados observados em três localidades no Japão, Yake, Namerikewa e Sakurajima.

$$U = \frac{1}{n} \times (D_r)^{2/3} \times (\sin \theta)^{1/2} \quad (23)$$

Sendo D_r : raio hidráulico do fluxo de detritos (m), sendo $D_r \approx D_d$ (Profundidade do fluxo de detritos)

θ : Inclinação do talvegue (graus) K_n

n : Rugosidade ($s \cdot m^{-1/3}$)

O coeficiente de rugosidade é maior em caso de nascentes, sendo que no caso de curso natural de rios deve-se adotar 0,1 na parte frontal da onda de fluxo de detritos. A velocidade e a profundidade do fluxo de detritos são obtidas com base na parte frontal da onda de fluxo de detritos.

À partir do pico de vazão do fluxo de detritos Q_{sp} (m^3/s) e da largura, B_{da} (m), pode-se calcular a profundidade do fluxo de detritos D_d (m), pelas fórmulas, 29, 30 e 31

$$D_d = \left(\frac{Q_{sp}}{B_{da}} \right)^{1/3} \quad (24)$$

Sendo,

A_d : Área da seção de escoamento do pico de vazão do fluxo de detritos

Considera-se que o pico de vazão do fluxo de detritos está associado ao tempo de retorno

considerado no planejamento. A seção do escoamento do fluxo de detritos é representada pela

área hachurada na Figura 17, assim como a largura B_{da} (m)

Em relação a profundidade do fluxo de detritos D_d (m), deve-se utilizar o valor aproximado calculado pela equação abaixo:

$$D_d = \left(\frac{Q_{sp}}{B_{da}} \right)^{1/3} \quad (25)$$

Tabela 4. Uso adequado da declividade do córrego

Item	declividade do córrego
Para o dimensionamento da barragem deve-se considerar as forças externas, como os esforços sísmicos e a estabilidade dos taludes onde serão encaixadas suas ombreiras	(θ_0) Declividade natural do talvegue
(C_d) Densidade do fluxo de detritos	
(U) Velocidade do fluxo de detritos	
(D_d) Profundidade do fluxo de detritos	

(D_d) Para o dimensionamento da barragem Sabô usa-se a profundidade do pico de vazão do fluxo de detritos(D_e)	(θ_p) Declividade de deposição do projeto
--	--

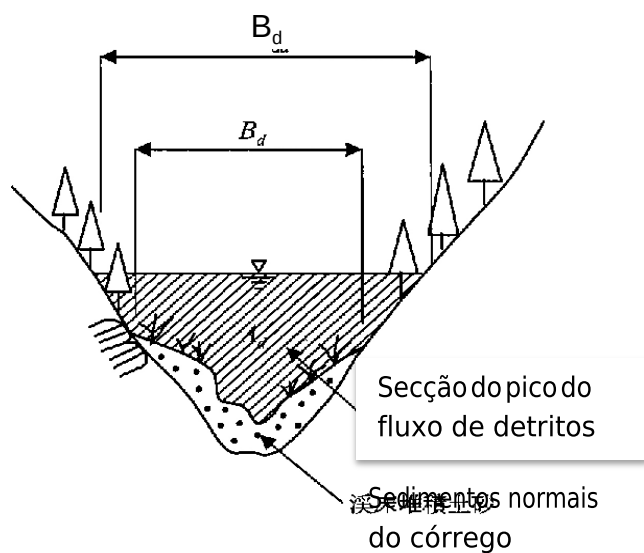


Figura 46. Exemplo da largura do fluxo de detritos (B_d) na seção transversal.

ANEXO 3 –Força hidrodinâmica e peso específico do fluxo de detritos

Método de cálculo do peso específico do fluxo de detritos

Usa-se para este cálculo os valores levantados em campo, experimentais ou teóricos.
Peso Específico do fluxo de Detritos γ_d (kN/m³) é obtido pela fórmula (32) abaixo

$$= \left[\frac{\sigma}{\rho} \times \frac{g}{\gamma_d} + (1 - \frac{\sigma}{\rho}) \right]$$

sendo,

σ : Densidade do material de maior granulometria (2,6 kg/m³);

ρ : Densidade da Água (1, 2 kg/m³)

g : aceleração da gravidade (9.8m/s²)

A unidade de γ_d é dada em kN/m³

C_d é obtido pela fórmula 22

$$= \frac{1}{(1 - \frac{\sigma}{\rho})(\frac{g}{\gamma_d} - 1)}$$

2.6.6 Cálculo da força hidrodinâmica do Fluxo de Detritos

Para o cálculo da força hidrodinâmica do Fluxo de Detritos utiliza-se a velocidade, a profundidade e seu peso específico

A força hidrodinâmica é obtido a partir da equação abaixo:

$$F_h = K_h \times D_d \times U^2$$

F_h : Força Hidrodinâmica do fluxo de detritos por metro de largura (kN/m); U : velocidade de fluxo de detritos (m/s)

D_d : profundidade do fluxo de detritos obtido na seção 2.7.5

g : aceleração da gravidade (9.8m/s²)

K_h : coeficiente (1.0)

γ_d : Peso específico do fluxo de detritos (kN/m³)

Anexo 4 – Concentração volumétrica do fluxo de detritos

2.6 Concentração do Fluxo de Detritos (Cd)

A densidade do fluxo de detritos após a ruptura é determinada utilizando-se o método de igual concentração (Método de Takahashi). Este método foi idealizado para inclinações de 10° a 20°, entretanto, podendo ser utilizada para inclinações menores. Os limites estabelecidos para os valores mínimos e máximos de Cd são 0,3 e 0,9C*, respectivamente, sendo C* a concentração volumétrica de sólidos in situ (antes de serem arrastados ao fluxo). Quando o cálculo do valor de Cd ultrapassar esses limites deve ser adotado o valor limite estabelecido.

A equação 22 ilustra o cálculo de Cd1:

$$Cd = \frac{\sigma - \rho}{(\sigma - \rho) \cos \theta} \quad (22)$$

Sendo:

σ : Densidade do material de maior granulometria (2,6 kg/m³);

ρ : Densidade da Água (1, 2 kg/m³);

ϕ : Ângulo de atrito interno do material (graus) (sedimento que é depositado no fundo do talvegue). Varia de 30° a 40°, adotando-se usualmente 35°; θ :

Declividade do talude/encosta (graus) Para o cálculo do pico de vazão do fluxo de detritos, a declividade a ser utilizada é a inclinação natural do talude.

Anexo 5 -Conteúdo do Plano de Medidas Estruturais para o Fluxo de detritos

1. Bacia hidrográfica onde será elaborado o plano de contramedidas para fluxo de detritos

1.1 Local da bacia hidrográfica

Demonstrar claramente as latitudes e longitudes, bairro, município e estado do córrego que tem como alvo do plano de contramedidas para fluxo de detritos.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Mapa a nível nacional que consiga localizar a posição do município, mapa a nível regional que consiga identificar a posição do córrego que tem como alvo do projeto

1.2 Meio Social e Natural dos arredores

Descrever sobre o meio social, tais como história, cultura, economia, indústria, densidade demográfica, população e meio ambiente, tais como precipitação anual, clima e altitudes do município onde há o córrego alvo.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Tabela e figuras dos indicadores econômicos, PIB, estatística de mudanças demográficas, distribuição do volume de chuva por mês dos Estados e Municípios

2. Contexto histórico do projeto

2.1 Desastre de movimento de massa e inundações ocorridos nos Municípios e Estados

Indica a realidade dos danos, volume de chuva, tipos de desastres, data de ocorrência, sobre desastres de movimento de massa e alagamento ocorrido nos últimos 100 anos. Indica os desastres que foi determinante para a elaboração deste plano do projeto de contramedida para fluxo de detritos.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Fotos que indicam as situações de desastres, mapas que indicam o local de produção do desastre e cronologia dos desastres

2.2 Planejamento de Expansão Urbano

Caso tenha o plano de expansão urbana do município, indica o resumo do projeto, tais como área, período do projeto, objetivo e localização da área a ser protegida. Além disso, indica sobre a relação do plano de medidas estruturais para o fluxo de detritos e plano de expansão urbana

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Cronograma e planta baixa do projeto

2.3. Mapa de risco

Indica a avaliação de risco do córrego e o andamento da elaboração do mapa de risco de desastres de movimento de massa dos arredores do córrego.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Mapa de risco

3. Características sociais e naturais do córrego

3.1 Características do formato transversal e horizontal e área do córrego

Indica sobre as características de formato transversal, alterações do declive horizontal e a área da bacia hidrográfica do córrego. Indica as características topográficas que influencia no movimento do fluxo de detritos nas partes curvaturas e saídas do vale.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Vista de cima da bacia hidrográfica, corte longitudinal e transversal do córrego.

3.2 Geologia e Solo

Apresenta o comportamento da erosão, ruptura dessa geologia, além da estrutura geológica superficial, classificação de substrato rochoso nos arredores da bacia hidrográfica.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Coluna estratigráfica, mapa de geologia superficial e carta geológica de faixa ampla

3.3 Vegetação

Indica sobre as principais vegetações da bacia hidrográfica. Em relação as árvores que se tornam origens de troncos, indicar sobre Diâmetro à altura do peito ou idade e espécie da árvore.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Foto das principais vegetações

3.4. Uso de solos e instalações de utilidade pública

Indica sobre o uso e ocupação de solo da área de transbordamento Indica a quantidade arredondada em relação a instalações de utilidade pública e moradias

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Fotos dos principais locais de proteção

3.5 Fenômeno do fluxo de detritos ocorridos

Em relação ao fluxo de detritos ocorridos, organizar a causa da ocorrência, faixa de iniciação, faixa de escoamento, faixa de transbordamento e acumulação, baseado nos relatórios e fotos existentes e apresentar. Além disso, indica de forma mais precisa possível por meio da estimativa de volume de sedimentos.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Fotos do momento do desastres, mapa topográfico que contém as anotações sobre a situação real do fluxo de detritos, fotos de satélites, mapa de perfil

4. Ítems básicos do plano

4.1. Alvo de preservação

Indica a área cultivada, instalações de utilidade pública, residências existentes nas áreas com risco de fluxo de detritos

4.2 Definição da escala de planejamento (probabilidade)

Indica o tempo de recorrência (probabilidade anual excedente) do plano que foi avaliado pela probabilidade de ocorrência do volume de chuva de 24 horas. Nesse caso, indica ao combinar a localização da estação meteorológica e tempo total de observação.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Curva de intensidade de precipitação e equação de intensidade de precipitação.

4.3 Ponto de Referência do Plano

Apresenta o fundamento decisivo e a declividade do leito do córrego juntos desse local, concomitantemente ao apresentar a localização do ponto de referência.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Planta da bacia hidrográfica com o ponto de referência do plano marcado

5. Levantamento do Volume potencial máximo de sedimentos mobilizáveis e volume de troncos

5.1 Análise de hierarquia fluvial

Indica a extensão de cada hierarquia fluvial (incluindo o vale aberto) necessário para cálculo do Volume potencial máximo de sedimentos mobilizáveis.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

O mapa topográfico de análise de hierarquia fluvial e a tabela de quantidade de hierarquia fluvial deve ser apresentada juntamente com a tabela de levantamento do volume de troncos produzidos, Volume potencial máximo de sedimentos mobilizáveis.

5.2 Levantamento do Volume potencial máximo de sedimentos mobilizáveis

Apresenta na forma de tabela, a profundidade da erosão, largura do leito do córrego que são justificativas do volume de sedimento por hierarquia fluvial que foi calculado por meio do levantamento local. Baseando nesse resultado, demonstra na tabela o cálculo do Volume potencial máximo de sedimentos mobilizáveis

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Tabela de cálculo do Volume potencial máximo de sedimentos mobilizáveis, Mapa do ponto de levantamento do local de produção do sedimento (demonstrar junto com o mapa topográfico para análise da hierarquia fluvial)

5.3 Levantamento do volume de troncos

Apresenta a tabela calculada do volume de troncos produzido que foi baseado nos resultados do levantamento por amostragem dos troncos.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Tabela de cálculo de troncos e o Resultado do levantamento in loco de troncos

6. Cálculo do volume de sedimentos e troncos

6.1 Determinação do volume de chuva do plano

Apresentar o resultado e contexto de como determinar o volume de chuva do tempo de concentração utilizando a curva de intensidade de precipitação e fórmula de intensidade de precipitação.

6.2 Cálculo da Capacidade de Transporte de Detritos e Determinação do Volume de Detritos do Plano

Apresenta o contexto de como adotou o volume de sedimento do plano sendo o valor menor comparando como Volume potencial máximo de sedimentos mobilizáveis, ao calcular a capacidade de transporte do fluxo de detritos baseado no volume de chuva.

6.3 Cálculo do volume de troncos

Indica o as etapas para calcular o volume de troncos considerando a taxa de vazão dos troncos no volume de troncos.

7. Diretrizes para o controle e simulação do fenômeno do fluxo de detritos

7.1 Simulação do fenômeno do fluxo de detritos

Apresenta o resultado do fenômeno do fluxo de detritos simulado, baseado nos resultados do capítulo 3 a 6. O conteúdo a ser simulado são: forma de produção (redeslocamento do sedimento do leito, ruptura de encosta), local e faixa de produção, classificação da forma de movimentação de massa, ponto inicial de transbordamento, volume de sedimento, volume de troncos, vazão de pico, profundidade do fluxo, velocidade do fluxo de detritos, tipo de fluxo de detritos (tipo lama, tipo cascalho fino) e granulometria máxima de rochas grandes.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Conteúdo do fluxo de detritos simulado descrito acima indica nos : Mapa topográfico, Foto de satélites e mapa de perfil do córrego. Tabela que resume as especificações do fluxo de detritos simulado.

7.2 Análise de perigo

Apresenta as características do fluxo de detritos, velocidade, granulometria máxima, profundidade de deposição de sedimentos que são indicadores para estimar a dimensão do perigo, local do perigo que causa os danos.

7.3 Diretrizes para o controle do fluxo de detritos

Apresenta as diretrizes de controle de fluxo de detritos (controle de produção, captura, canalização, deposição e controle de fluxo) baseado nas características do córrego e do volume de sedimento e das características do fenômeno do fluxo de detritos simulado.

8. Plano de Medidas Estruturais do Fluxo de detritos

8.1 Seleção de medidas estruturais

Indica o resultado e o histórico da seleção de medidas estruturais utilizando o fluxograma. Principalmente se tratando sobre o histórico, indica os fundamentos para decisão no fluxograma.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Tabela organizada com fundamento para decisão e fluxograma que demonstra o caminho para selecionar

8.2 Cálculo da Efetividade e Determinação do Dimensionamento e Quantidade das Obras de Intervenções

Apresenta a sua efetividade e os diversos elementos, tais como formatos das instalações, além de indicar a quantidade e tipo das medidas estruturais, tais como barragem Sabo.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Tabela de especificações das Medidas Estruturais para Fluxo de detritos

8.3 Plano Geral das Medidas Estruturais

Indica sobre a dimensão, localização e tipo de medidas estruturais para fluxo de detritos. Apresenta de forma quantitativa o quanto que conseguiu efetivar a redução e prevenção de desastres de fluxo de detritos, organizando o volume de sedimento calculado pós-medida, volume de detritos tolerável, capacidade de acumulação e volume de sedimento.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Balanco do volume de sedimento pós instalação de medidas estruturais, Desenho da estrutura simplificada de Sabo, Planta de corte longitudinal e planta baixa da localização das medidas estruturais de Sabo.

9. Custos Estimados do Projeto e sua Efetividade

9.1 Custos e quantidade estimados

Baseado no desenho das medidas estruturais de Sabo, apresentar o resultado das estimativas dos 6 tipos de obras, tais como proteção superficial de talude, obras de proteção a jusante da barragem (obras de mizutataki, barragem secundário), cofragem (forma) para construção de barragem, volume da barragem de concreto, peso da barragem de aço, escavação.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Tabela de cálculo de quantidade aproximada

9.2 Custos estimados do projeto

Apresenta o custo estimado do projeto que inclui as despesas gerais, custo estimado de obras utilizando o custo unitário médio por tipo de obras e quantidade estimada dos 6 tipos de obras.

(Fotos, tabelas e imagens a serem utilizadas)

Tabela de custo aproximado do projeto (Incluir os custos do projeto, custos da obra, custo unitário por tipo de obra na tabela de cálculo de quantidade estimada)

9.3 Efeitos de Mitigação dos Desastres e Efeitos Sociais

10. Recomendações para a Implementação do Projeto

Anexo 6- Exemplo de Seleção de Obras através do Fluxograma em Vales com Fluxo de Detrito Típico

Apresenta-se a seguir o uso do fluxograma para localizar uma barragem "Sabo" ;

1. Condição: volume de sedimento planejado menor que 2,000m³ origem de sedimento não concentrada e sem área de conservação no trecho do fluxo.

① Não é possível definir a origem dos sedimentos devido a não estarem concentrados. Portanto, instalar a obra de intervenção no trecho do fluxo ou de sedimentação;

② Sem erosão nas margens/fundo do vale e sem área de conservação na redondeza;

③ Instalar barragem de controle de sedimentos permeável ou impermeável que possa conter cascalhos no trecho do fluxo.

2. Condição: volume de sedimento planejado menor que 1,000m³ e condições iguais aos citados acima:

① Planejar uma barragem "Sabo" de concreto impermeável no ponto mais a jusante em primeiro lugar;

② Em segundo, planejar uma barragem "Sabo" de aço permeável no trecho a jusante do fluxo/sedimentação dos detritos.

