

# Plano Municipal de **Redução de Riscos** para o município de Santo André

2025



## APÊNDICE 4

### Conceitos teóricos sobre movimentos de massa e inundações

## 1 Movimentos de massa

O termo genérico movimentos de massa engloba uma variedade de tipos de movimentos de instabilização de massas de solos, rochas ou detritos, gerados pela ação da gravidade, em terrenos inclinados, tendo como fator deflagrador principal a infiltração de água, principalmente das chuvas.

Esses processos podem ser induzidos, ou seja, gerados pelas atividades do homem que modificam as condições naturais do relevo por meio de cortes para construção de moradias, aterros, lançamento concentrado de águas sobre as encostas, estradas e outras obras. Por isso, a ocorrência desses movimentos de massa resulta da ocupação inadequada, sendo mais comum em zonas com ocupações precárias de baixa renda.

Os movimentos de massa têm possibilidade de previsão, ou seja, pode-se conhecer previamente onde e em que condições vão ocorrer, e qual será a sua magnitude, desde que se conheçam, em detalhe, o meio físico e antrópico, e os condicionantes do processo. Para cada tipo existem medidas não estruturais e estruturais (alternativas de intervenção) específicas.

Existem diversas classificações nacionais e internacionais relacionadas a movimentos de massa. Aqui será adotada a classificação proposta por Augusto Filho (1992), onde os movimentos de massa relacionados a encostas são agrupados em quatro grandes classes de processos, conforme apresentado no **Quadro 1**: Rastejos, Escorregamentos, Quedas e Corridas.

**Quadro 1 - Tipos de escorregamento/processo.**

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
RASTEJO (CREEP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vários planos de deslocamento (internos)</li> <li>• Velocidades muito baixas a baixas (cm/ano) e decrescentes com a profundidade</li> <li>• Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes</li> <li>• Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada</li> <li>• Geometria indefinida</li> </ul>
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poucos planos de deslocamento (externos)</li> <li>• Velocidades médias (m/h) a altas (m/s)</li> <li>• Pequenos a grandes volumes de material</li> <li>• Geometria e materiais variáveis</li> <li>• PLANARES / TRANSLACIONAIS: solos poucos espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza</li> <li>• CIRCULARES / ROTACIONAIS: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas</li> <li>• EM CUNHA: solos e rochas com dois planos de fraqueza</li> </ul>
QUEDAS (FALLS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Com ou sem planos de deslocamento</li> <li>• Movimento tipo queda livre ou em plano inclinado</li> <li>• Velocidades muito altas (vários m/s)</li> <li>• Material rochoso</li> <li>• Pequenos a médios volumes</li> <li>• Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc.</li> <li>• DESPLACAMENTO</li> <li>• ROLAMENTO DE MATAÇÃO</li> <li>• TOMBAMENTO</li> </ul>
CORRIDAS (FLOWS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação)</li> <li>• Movimento semelhante ao de um líquido viscoso</li> <li>• Desenvolvimento ao longo das drenagens</li> <li>• Velocidades médias a altas</li> <li>• Mobilização de solo, rocha, detritos e água</li> <li>• Grandes volumes de material</li> <li>• Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas</li> </ul>

Fonte: modificado de Augusto Filho (1992).

## 1.1 Tipos de movimentos de massa

Serão descritos a seguir os tipos de movimentos de massa que poderão ser encontrados no município de Santo André.

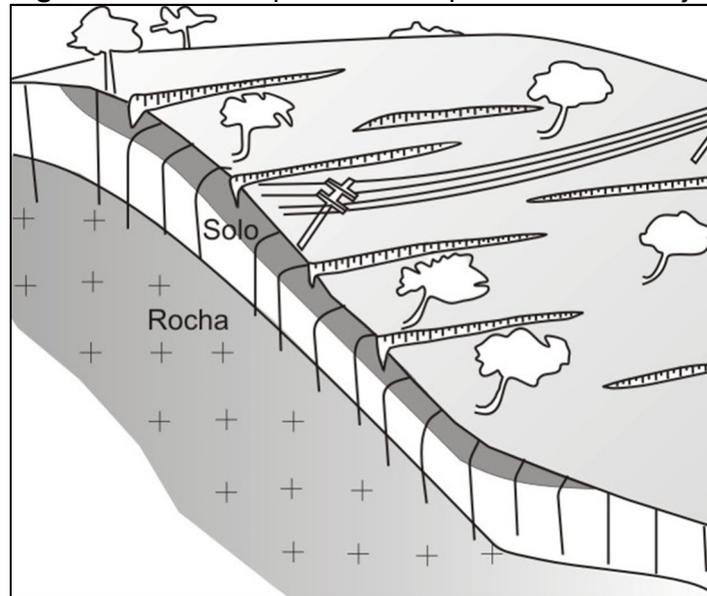
### 1.1.1 Rastejo

Os rastejos são movimentos lentos, que envolvem grandes massas de materiais, cujo deslocamento resultante ao longo do tempo é mínimo (mm a cm/ano).

Este processo atua sobre os horizontes superficiais do solo, bem como, horizontes de transição solo/rocha e até mesmo rocha, em profundidades maiores (**Figura 1**). Também é incluído neste grupo o rastejo em solos de alteração (originados no próprio local) ou em corpos de tálus (tipo de solo proveniente de outros locais, transportado para a situação atual por grandes movimentos gravitacionais de massa, apresentando uma disposição caótica de solos e blocos de rocha, geralmente, em condições de baixa declividade).

Este processo não apresenta uma superfície de ruptura definida (plano de movimentação), e as evidências da ocorrência de movimento correspondem a trincas verificadas no terreno natural, que evoluem vagarosamente, bem como as árvores, que apresentam inclinações variadas (**Figura 2**). Sua principal causa antrópica é a execução de cortes em sua extremidade média inferior, o que interfere na sua precária instabilidade. A **Figura 3** mostra o depósito de tálus, que está em movimento, afetando a rodovia.

**Figura 1** – Perfil esquemático do processo de rastejo.



Fonte: Min. das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (2007).

**Figura 2** – Micro escorregamentos e “caminhos de vaca” indicando processos de rastejo.



Fonte: Sirga/CIMA/IPT.

**Figura 3** – Vista parcial do depósito de tálus existente no bairro de Juquehy, em São Sebastião, SP, que está em movimento, afetando a rodovia.



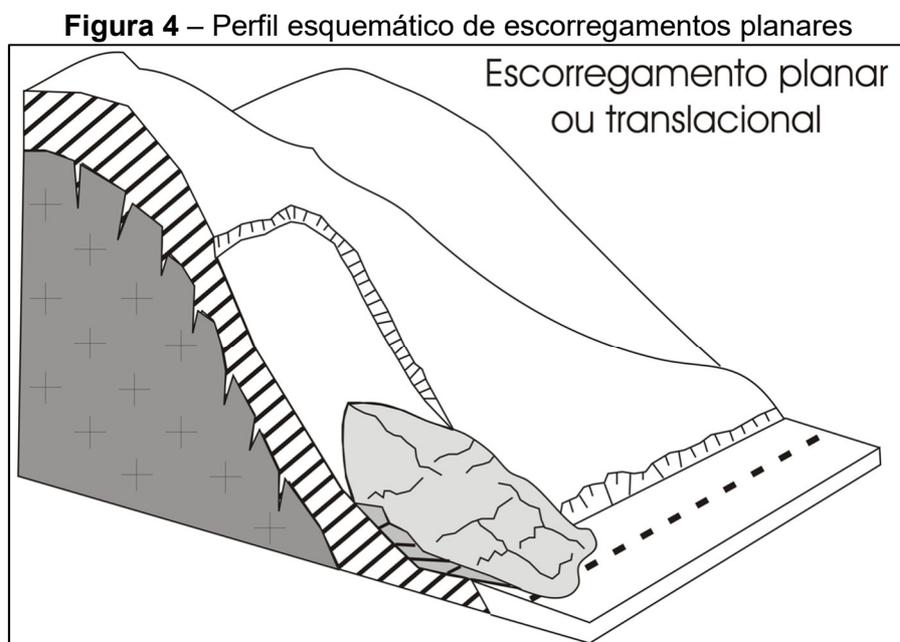
Fonte: Sirga/CIMA/IPT.

### 1.1.2 Escorregamentos

Os escorregamentos (ou deslizamentos) são processos marcantes na evolução das encostas, caracterizando-se por movimentos rápidos (m/h a m/s), com limites laterais e profundidade bem definidos (superfície de ruptura). Os volumes instabilizados podem ser facilmente identificados, ou pelo menos inferidos. Podem envolver solo, saprolito, rocha e depósitos. São subdivididos em função do mecanismo de ruptura, geometria e material que mobilizam. O principal agente deflagrador destes processos é a água das chuvas. Os índices pluviométricos críticos variam de acordo com a região, sendo menores para os escorregamentos induzidos e maiores para os generalizados.

Existem vários tipos de escorregamentos: planares ou translacionais; circulares ou rotacionais; e em cunha. A geometria destes movimentos varia em função da existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais movimentados, que condicionam a formação das superfícies de ruptura.

Os **escorregamentos planares ou translacionais** em solo são processos muito frequentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, ocorrendo predominantemente em solos pouco desenvolvidos das vertentes com altas declividades (**Figura 4, Figura 5, Figura 6**). Sua geometria caracteriza-se por uma pequena espessura e forma retangular estreita (comprimentos bem superiores às larguras). Este tipo de escorregamento também pode ocorrer associado a solos saprolíticos, saprolitos e rocha, condicionados por um plano de fraqueza desfavorável à estabilidade, relacionado a estruturas geológicas diversas (foliação, xistosidade, fraturas, falhas, etc.).



Fonte: Min. das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2007).

**Figura 5** – Escorregamento planar com blocos de rocha imersos na massa de solo no bairro Juquehy, São Sebastião, SP.



Fonte: Sirga/CIMA/IPT.

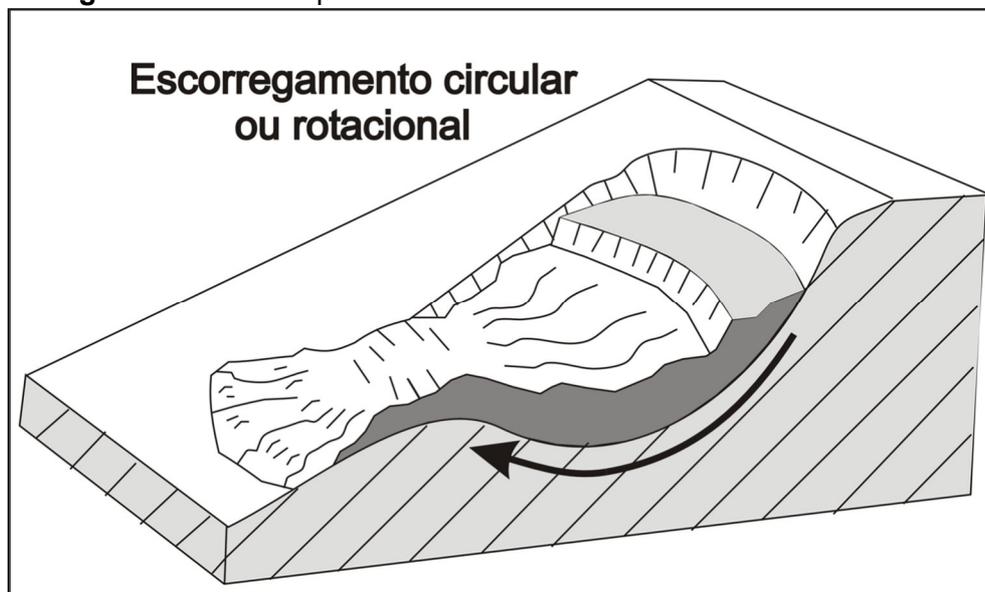
**Figura 6** – Escorregamento planar afetando moradias no bairro Cambury, São Sebastião, SP.



Fonte: Sirga/CIMA/IPT.

Os **escorregamentos circulares ou rotacionais** possuem superfícies de deslizamento curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas (**Figura 7, Figura 8**). Estão associadas a aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas. Possuem um raio de alcance relativamente menor que os deslizamentos translacionais.

**Figura 7** – Perfil esquemático do deslizamento circular ou rotacional.



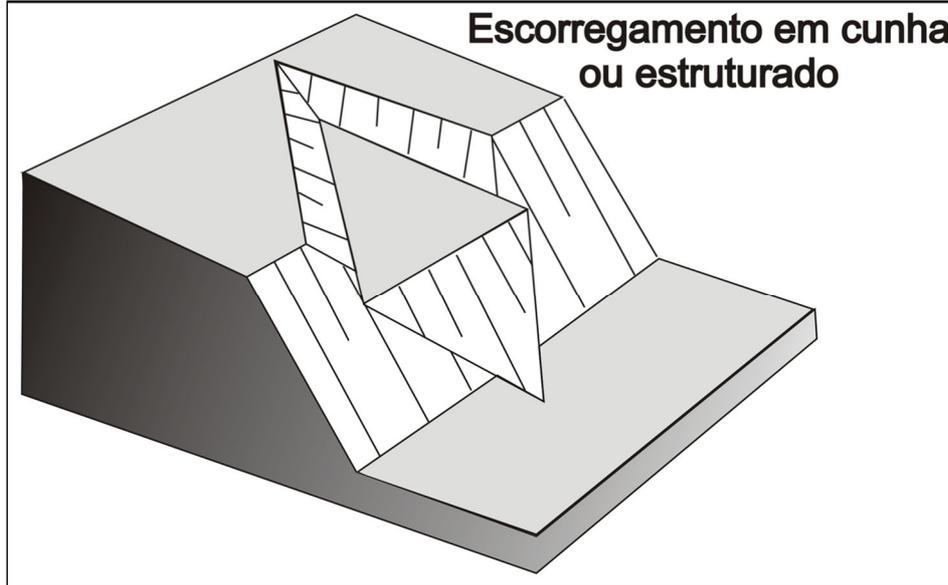
Fonte: Min. das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2007).

**Figura 8** – Deslizamento circular ou rotacional.

Fonte: Sirga/CIMA/IPT.

Os **escorregamentos em cunha** estão associados a saprolitos e maciços rochosos, onde a existência de dois planos de fraqueza desfavoráveis à estabilidade condicionam o deslocamento ao longo do eixo de intersecção destes planos (**Figura 9, Figura 10**). Estes processos são mais comuns em taludes de corte, ou encostas que sofreram algum processo natural de desconfinamento, como erosão ou deslizamentos.

**Figura 9** – Perfil esquemático de um deslizamento em cunha ou estruturado.



Fonte: Min. das Cidades, Inst. de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP – IPT (2007).

**Figura 10** – Deslizamento em cunha ou estruturado.



Fonte: Clima Info – Fortes chuvas causam deslizamento de terra no Paraná 2022.

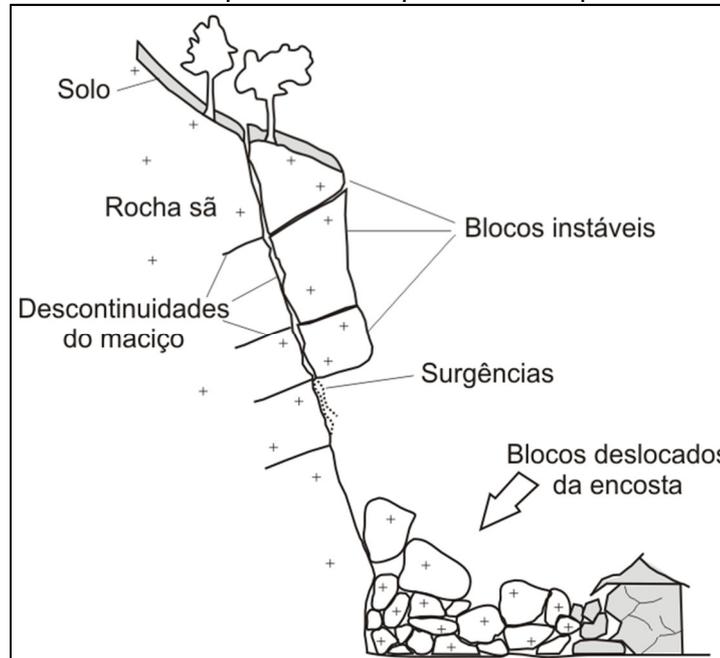
Em geral, a evolução da instabilização das encostas acaba por gerar feições que permitem analisar a possibilidade de ruptura. As principais feições de instabilidade, que indicam a iminência de escorregamentos são representadas por fendas de tração na superfície dos terrenos, ou aumento de fendas pré-existentes, pelo embarrigamento de estruturas de contenção, pela inclinação de estruturas rígidas, como postes, árvores, etc., degraus de abatimento e trincas no terreno e nas moradias.

### 1.1.3 Quedas

Os movimentos do tipo queda são extremamente rápidos (da ordem de m/s) e envolvem blocos e/ou lascas de rocha em movimento de queda livre ou segundo um plano inclinado, instabilizando volumes de rocha pequenos à médios (**Figura 11, Figura 12**).

A ocorrência deste processo está condicionada à presença de afloramentos rochosos em encostas íngremes, abruptas ou taludes de escavação, tais como, cortes em rocha, frentes de lavra, etc. As causas básicas deste processo são as descontinuidades do maciço rochoso, que propiciam isolamento de blocos unitários de rocha, subpressão causada pelo acúmulo de água em trincas, fraturas e descontinuidades, afetadas também pela penetração de raízes, e esses fatores sendo potencializados pelas variações térmicas, através da dilatação e contração da rocha. Esse processo pode ser acelerado pelas ações antrópicas, como, por exemplo, vibrações provenientes de detonações de pedreiras próximas. Frentes rochosas de pedreiras abandonadas podem resultar em áreas de instabilidade decorrentes da presença de blocos instáveis remanescentes do processo de exploração.

**Figura 11** – Perfil esquemático do processo de queda de blocos.



Fonte: Min. das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2007).

**Figura 12** – Bloco de rocha parcialmente imerso na matriz de solo, com obra de contenção, no bairro Itatinga, São Sebastião (SP).



Fonte: Sirga/CIMA/IPT.

As quedas como um conjunto de processos que envolvem massas rochosas podem ser subdivididas em três outros processos: o deslocamento, o tombamento e o rolamento de blocos. O **deslocamento** envolve o movimento de placas, lascas ou mesmo blocos que se soltam do talude rochoso e podem se movimentar em queda livre ou sobre uma superfície inclinada (**Figura 13**).

**Figura 13** – Vista de paredão rochoso com blocos individualizados, no alto do bairro Itatinga, São Sebastião (SP).



Fonte: Sirga/CIMA/IPT.

O **rolamento de blocos**, ou rolamento de matacões, é um processo comum em áreas de rochas ígneas, principalmente as graníticas, onde existe maior predisposição a originar matacões de rocha sã, isolados e expostos em superfície (**Figura 14, Figura 15**). Os rolamentos ocorrem naturalmente quando processos erosivos removem o apoio de sua base, provocando a sua movimentação. A escavação e a retirada do apoio, decorrente da ocupação desordenada de uma encosta, é a ação antrópica mais comum para o desencadeamento do processo.

**Figura 14** – Situação de risco de rolamento de bloco rochoso.



Fonte: A Gazeta 2018 – Rocha gigante corre risco de cair em trecho já interditado.

**Figura 15** – Moradia atingida por bloco que rolou da encosta, no bairro Morro do Abrigo, São Sebastião (SP).



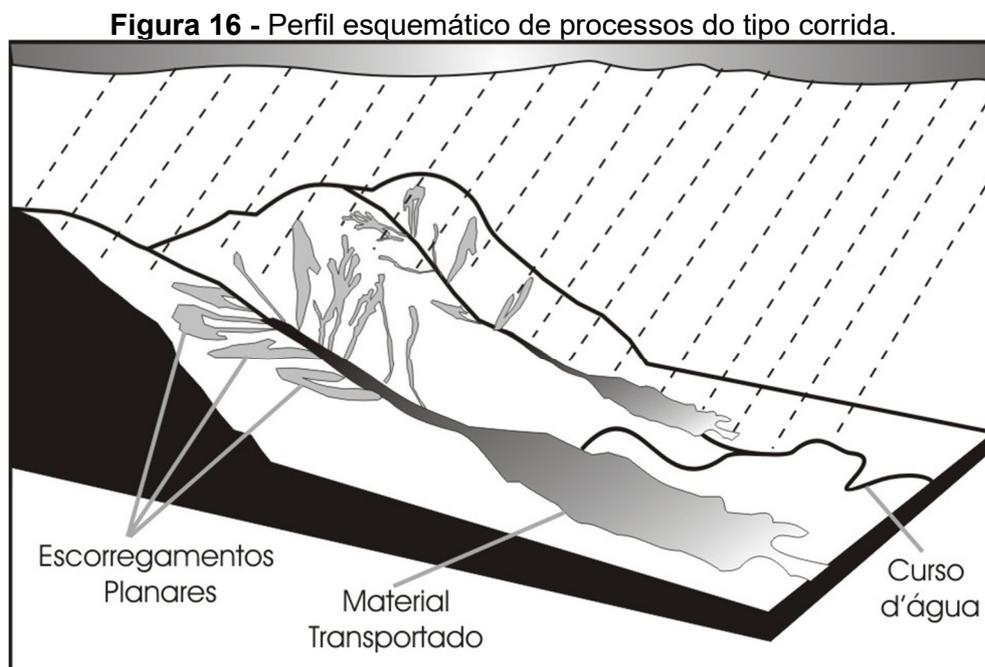
Fonte: Sirga/CIMA/IPT.

### 1.1.4 Corridas de massa

As corridas de massa são movimentos gravitacionais de massa complexos, ligados a eventos pluviométricos excepcionais. Ocorrem a partir de deslizamentos nas encostas e mobilizam grandes volumes de material, sendo o seu escoamento ao longo de um ou mais canais de drenagem, tendo comportamento líquido viscoso e alto poder de transporte (**Figuras 16 e 17**).

Estes fenômenos são bem mais raros que os deslizamentos, porém podem provocar consequências de magnitudes bem superiores, devido ao seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

As corridas de massa abrangem uma gama variada de denominações na literatura nacional e internacional (corrida de lama, *mudflow*, corrida de detritos, corrida de blocos, *debris flow*, etc.), principalmente em função de suas velocidades e das características dos materiais que mobilizam.



Fonte: Min. das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 2007).

**Figura 17** – Acidente associado ao processo do tipo corrida.



Fonte: Fabiano Peres/ND – 2024.

## 1.2 Condicionantes e causas dos movimentos de massa

Os movimentos de massa ocorrem sob a influência de condicionantes naturais, antrópicos ou ambos. As causas destes processos devem ser entendidas, a fim de se evitar e controlar movimentos de massa similares.

### 1.2.1 Condicionantes naturais dos movimentos de massa

Os condicionantes naturais podem ser separados em dois grupos, o dos agentes predisponentes e o dos agentes efetivos. Os agentes predisponentes são o conjunto das características intrínsecas do meio físico natural, podendo ser diferenciados em complexo geológico-geomorfológico (comportamento das rochas, perfil e espessura do solo em função da maior ou menor resistência da rocha ao intemperismo) e complexo hidrológico-climático (relacionado ao intemperismo físico-químico e químico). A gravidade e a vegetação natural também podem estar inclusas nesta categoria.

Os agentes efetivos são elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento dos processos, sendo estes diferenciados em preparatórios (pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura e umidade, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento) e imediatos (chuva intensa, vibrações, fusão do gelo e neves, erosão, terremotos, ondas, vento, ação antrópica, etc.).

Outros condicionantes naturais de grande importância são as características intrínsecas dos maciços naturais (rochosos e terrosos), a cobertura vegetal, a ação das águas pluviais (saturação e/ou elevação do lençol freático, geração de pressões neutras e forças de percolação, distribuição da chuva no tempo), além dos processos de alteração da rocha e de erosão do material alterado.

### **1.2.2 Condicionantes antrópicos dos movimentos de massa**

A atuação humana (ação antrópica) sobre o meio físico pode induzir a deflagração de alguns processos, como os escorregamentos, que assim são chamados de escorregamentos induzidos. Comumente são causados pela execução de cortes (taludes de corte) e aterros (depósitos de encosta) inadequados, pela concentração de águas pluviais e servidas, pela retirada da vegetação, etc. Muitas vezes, estes escorregamentos induzidos mobilizam materiais produzidos pela própria ocupação, envolvendo massas de solo de dimensões variadas, lixo e entulho.

## 2 INUNDAÇÃO

O termo inundação abrange várias tipologias de processos hidrometeorológicos que fazem parte da dinâmica natural. Podem ser deflagrados por chuvas rápidas e fortes, chuvas intensas de longa duração, degelo nas montanhas, e outros eventos climáticos tais como furacões e tornados. Os processos são intensificados pelas alterações ambientais e/ou intervenções urbanas produzidas pelo Homem, tais como a impermeabilização do solo, retificação dos cursos d'água, e redução no escoamento dos canais devido a obras ou por assoreamento.

Boa parte das cidades brasileiras apresenta problemas de enchentes e inundações, sendo as das regiões metropolitanas aquelas que apresentam as situações de risco mais graves decorrentes do grande número de núcleos habitacionais de baixa renda ocupando terrenos marginais de cursos d'água.

A seguir serão apresentadas algumas definições visando à uniformização conceitual de termos utilizados em relação a fenômenos e processos de natureza hidrometeorológica.

- **Vazão**

A vazão é definida como a quantidade de água que passa por uma dada seção em um canal de drenagem num período de tempo.

- **Planície de Inundação**

Define-se como planície de inundação as áreas relativamente planas e baixas que de tempos em tempos recebem os excessos de água que extravasam do seu canal de drenagem (**Figura 18**). Tecnicamente, o canal de drenagem que confina um curso d'água denomina-se leito menor, e a planície de inundação representa o leito maior do rio. Emprega-se também o termo várzea para identificar a planície de inundação de um canal natural de drenagem.

**Figura 18** - Planície de inundação.



Fonte: Pantanal em Poconé (MT). Flávio André/MTur Destinos.

- **Erosão Marginal**

Remoção e transporte de solo dos taludes marginais dos rios provocados pela ação erosiva das águas no canal de drenagem (**Figura 19**).

**Figura 19** – Taludes marginais sujeitos a erosão.



Fonte: Min. das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (2007).

## 2.1 Tipos de inundação

Como já mencionado, o termo inundação abrange vários tipos de processos quais sejam: Enchentes ou Cheias, inundação (propriamente dita), alagamento e enxurrada.

### 2.1.1 Enchente ou Cheia

As águas de chuva, ao alcançar um curso d'água, causam o aumento na vazão por certo período de tempo. A elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão, ou descarga, é chamada de enchente ou cheia, como observado na **Figura 20**.

**Figura 20** - Situação de enchente em um canal de drenagem.

Fonte: Isac Nóbrega / Paraná – 2021.

### 2.1.2 Inundação

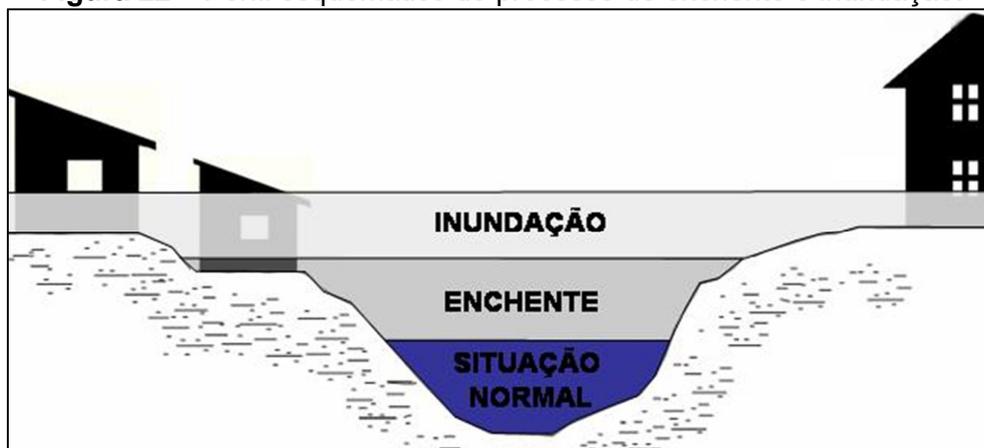
Por vezes, no período de enchente, as vazões atingem tal magnitude que podem superar a capacidade de descarga da calha do curso d'água e extravasar para áreas marginais habitualmente não ocupadas pelas águas. Este extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio), quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio caracteriza uma inundação (**Figura 21**, **Figura 22**).

**Figura 21** - Inundação em área urbana.



Fonte: Augusto Ayres/Climatempo.

**Figura 22** – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.



Fonte: Min. das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (2007).

### 2.1.3 Alagamento

Define-se alagamento como o acúmulo momentâneo das águas em uma dada área por deficiência no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial (**Figura 23**).

**Figura 23** – Situação de alagamento.



Fonte: CIMA/IPT.

### 2.1.4 Enxurrada

Define-se enxurrada como o escoamento superficial concentrado, com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais (**Figura 24**, **Figura 25**, **Figura 26**). É comum a ocorrência de enxurradas ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d'água com alto gradiente hidráulico em terrenos com alta declividade natural.

**Figura 24** – escoamento concentrado das águas pluviais, a enxurrada.



Ruas ficam completamente alagadas na capital paulista em 2025.  
Fonte: Reprodução / Redes Sociais

**Figura 25** – Danos causados por enxurrada.



Fonte: Leandro Saadi/G1.

**Figura 26** – Outro exemplo dos danos causados por enxurrada.



Fonte: Leandro Saadi/G1.

## 2.2 Condicionantes e Causas das Enchentes e Inundações

Pelas definições conceituais apresentadas, a diferença entre enchente e inundação se resume ao confinamento, ou não, das águas de um curso d'água no seu canal de drenagem. Importante entender que esses processos hidrológicos são fenômenos dinâmicos e que, ao longo de um curso d'água, podem ocorrer trechos com cenários de enchentes e trechos com cenários de inundação, com características dinâmicas específicas de energia cinética, volumes de água e impacto destrutivo que podem ou não causar efeitos adversos às ocupações humanas presentes nas áreas de domínio dos processos hidrológicos.

Nas cidades, a questão da drenagem urbana envolve, além desses processos diretamente ligados aos cursos d'água naturais, processos de alagamentos e enxurradas decorrentes de deficiências no sistema de drenagem urbana, e que podem ou não ter relação com os processos de natureza fluvial. Em muitas cidades, o descompasso entre o crescimento urbano e a drenagem urbana tem originado graves problemas de alagamentos e enxurradas.

Os trabalhos nessas áreas de risco devem procurar identificar e entender os diversos processos passíveis de ocorrer, tanto aqueles de natureza efetivamente hidrológica, quanto os processos consequentes tais como erosão marginal e solapamento, capazes de causar danos para a ocupação.

Os condicionantes naturais climáticos e geomorfológicos de um dado local (pluviometria; relevo; tamanho e forma da bacia; gradiente hidráulico do rio) são determinantes na frequência de ocorrência, tipologia e dinâmica do escoamento superficial de processos de enchentes e inundações.

Pode-se dizer que, além dos condicionantes naturais, as diversas intervenções antrópicas realizadas no meio físico têm sido determinantes na ocorrência de acidentes que envolvem esses processos, principalmente nas áreas urbanas. Nas cidades brasileiras a expansão urbana se dá com um conjunto de ações que modificam as condições originais do ciclo hidrológico de uma dada região: o desmatamento, a exposição dos terrenos à erosão e consequente assoreamento dos cursos d'água, a impermeabilização dos terrenos, os diversos tipos de intervenção estrutural nos cursos d'água e, principalmente, no tocante à questão de risco, a ocupação desordenada dos seus terrenos marginais.