

CAPÍTULO 2. Tipos de instabilidade

A natureza litológica dos maciços rochosos ou terrosos, mantém uma estreita relação com o tipo de instabilidade que pode ocorrer, tendo as diferentes litologias ou tipos de solos diferentes graus potenciais de suscetibilidade perante a ocorrência de escorregamentos ou roturas, enquanto as propriedades físicas e resistentes de cada tipo de material, em paralelo com a presença de água, determinam o seu comportamento geomecânico.

No Quadro 2.1 indicam-se as Unidades Geotécnicas características dos materiais de origem vulcânica.

Quadro 2.1. Unidades geotécnicas da Macaronésia.

Unidade Geotécnica	Subunidade
Unidade I: Complexos basais	
Unidade II: Escoados e maciços sálicos compactos	
Unidade III: Escoadas basálticas alteradas	
Unidade IV: Escoadas basálticas sãs	IVa: Muito escoriáceas e/ou pahoehoe
	IVb: Compactas pouco escoriáceas
Unidade V: Materiais Piroclásticos	Va: Ignimbritos soldados
	Vb: Tufos surtseyanos
	Vc: Aglomerados de natureza pomítica
	Vd: Aglomerados de natureza basáltica
	Ve: Aglomerados brechóides
	Vf: Depósitos piroclásticos pomíticos soltos
	Vg: Depósitos piroclásticos basálticos soltos
Vh: Ignimbritos não soldados	
Unidade VI: Depósitos aluvio-colvionares	
Unidade VII: Areias litorais	
Unidade VIII: Solos argilosos e siltosos	
Unidade IX: Solos de superfície e solos vegetais	
Unidade X: Calcários	
Unidade XI: Aterros	

No Anexo I apresentam-se fichas de campo nas quais se descreve cada uma das unidades geotécnicas e se indica os tipos de movimentos de vertente associados a cada uma delas, bem como os problemas geotécnicos mais comuns.

No Quadro 2.2 relacionam-se os diferentes tipos de movimentos de vertente com observações no terreno, inclinações e outros parâmetros pertinentes.

Quadro 2.2. Algumas características gerais identificativas dos vários tipos de movimento de vertente.

Tipo de movimento	Zona de coroamento e parte superior da encosta	Inclinações e dimensões	Base da encosta
Queda de blocos (capítulo 2.1)	Encostas irregulares e rochosas, escarpadas, com material solto ou detritos na zona superior. Blocos individualizados por descontinuidades ou fraturas. Fendas atrás do talude. Vegetação escassa.	Inclinações elevadas > 50°	Acumulação de blocos e fragmentos rochosos
Deslizamentos rotacionais (capítulo 2.3)	Fendas de tração curvas e côncavas. Escarpas curvas com estrias, verticais na zona superior. Superfícies inclinadas com encharcamentos Zonas de vegetação contrastante. Más condições de drenagem e presença de encharcamentos em depressões.	Inclinações entre 20-40° D/L < 0,3 a 0,1	Depósitos convexos, lobulados Desvio de canais
Deslizamentos translacionais em rochas ou solos (capítulo 2.3)	Fendas de tração verticais paralelas ao talude. Escarpas verticais pouco profundas. Material fraturado formando blocos. Não existem encharcamentos no coroamento. Drenagem desordenada ou ausência da mesma.	Inclinações uniformes D/L < 0,1	Desvio de canais Ocasionalmente acumulação de matéria sob a forma de lóbulos
Expansão lateral	Blocos deslocados e tombados Inclinações suaves ou muito suaves Grandes fendas que individualizam blocos Blocos com formas irregulares determinadas pelas fraturas Sistemas de drenagem interrompidos, obstrução de canais	Inclinações suaves, incluindo < 10°	
Escoadas de lama (capítulo 2.4)	Nichos côncavos de pouca profundidade. Poucas fendas. Contrastes na vegetação, relativamente às zonas estáveis. Encharcamentos. Não se detetam irregularidades importantes na drenagem.	Inclinações 15-25° D/L = 0,05-0,01	Lóbulos. Morfologia ondulada irregular
Escoadas de terra e detritos (capítulo 2.4)	Concavidades e lóbulos na área de origem. Várias escarpas. Depósitos encadeados nos vales. Ausência de vegetação. Drenagem irregular e perturbada na zona deslizada.	Inclinações > 25° D/L muito pequeno	Lóbulos, depósitos convexos Morfologia irregular

D, L = profundidade e comprimento da massa deslocada.

2.1. Queda de rochas

Constituem quedas repentinas de blocos ou conjuntos de blocos rochosos, definidos por planos de descontinuidades pré-existent (diaclases, planos de estratificação, fendas de tração, etc.). O material precipita-se pela encosta, principalmente em queda livre, ressaltando ou rolando. Estes desprendimentos são frequentes em encostas de zonas montanhosas escarpadas, nas falésias e, em geral, em paredes rochosas, incidindo particularmente nas roturas em forma de cunha ou de blocos sensivelmente paralelepípedicos formados por várias famílias de descontinuidades.

São os processos de instabilidade de encostas mais frequentes e dispersos, e também os que maiores perdas provocam, tanto económicas como humanas.

Os fatores desencadeantes são a erosão, a perda de apoio ou descalce dos blocos previamente individualizados ou mesmo soltos, a água presente nas descontinuidades e fendas, os abalos sísmicos, etc.. Na Figura 2.1 apresenta-se um esboço de alguns tipos de desprendimentos.

Embora os blocos que se desprendem possam ser de pequenas dimensões, o facto de ser um processo repentino implica um risco significativo para as vias de comunicação e edifícios em zonas montanhosas (Figura 2.2).

Podem também ocorrer deslizamentos de terra em encostas ou taludes verticais, geralmente associados a fendas de tração resultantes dos níveis de tensão ou fendas de retração devido à dessecação do solo.

O **basculamento** de estratos ou de fragmentos de maciços rochosos ou terrosos, inclui-se na classe dos desprendimentos. Tende a ocorrer principalmente em frentes rochosas com estratificação aproximadamente vertical (Figura 2.3).

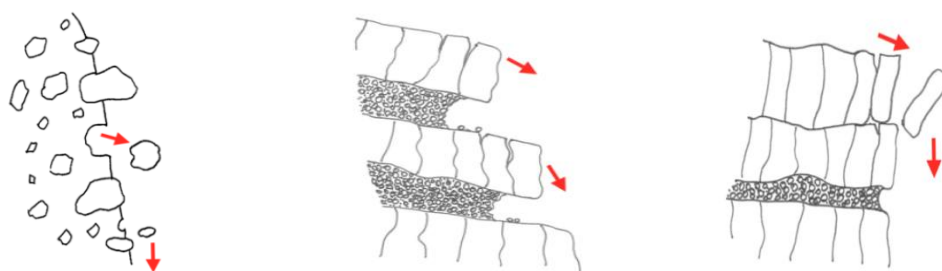


Figura 2.1. Esquema de desprendimentos em queda livre (esquerda), queda por descalce (centro) e queda por basculamento (direita).



Figura 2.2. Queda de blocos rochosos num talude de estrada, com corte de circulação (Santiago, Cabo Verde).

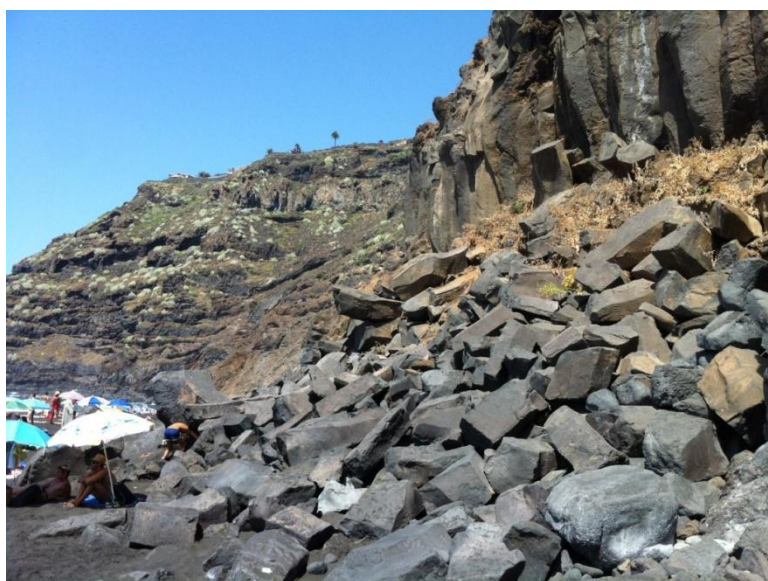


Figura 2.3. Rotura por basculamento de estratos na frente de uma escoada basáltica, com diaclases de retração sub-verticais, Playa del Ancón (Ilha de Tenerife, Canárias).

2.2. Avalanches rochosas

As **avalanches rochosas** são processos repentinos de queda de grandes quantidades de rocha ou detritos que se desprendem das encostas escarpadas e que se partem e pulverizam durante a queda, originando depósitos com uma distribuição aleatória de blocos, de tamanhos muito variados, sem estrutura definida, praticamente sem abrasão. Na Figura 2.4 apresenta-se um esquema de uma avalanche rochosa.

As avalanches resultam geralmente de deslizamentos ou desprendimentos de grandes quantidades de material, as quais, devido à elevada inclinação e à falta de estrutura e coesão dos maciços em rotura, se movimentam a grande velocidade pela encosta abaixo em zonas abruptas, podendo alcançar velocidades próximas dos 100 km/h, mesmo em maciços secos, devido à diminuição do atrito causada pela presença de ar entre os materiais e fragmentos rochosos. A água proveniente da precipitação ou do degelo, os abalos sísmicos e as erupções vulcânicas podem desempenhar um papel importante no desencadeamento destes processos.

As **avalanches detríticas** são constituídas por materiais rochosos de dimensões muito variadas, podendo incluir blocos de grande tamanho e quantidades significativas de material de granulometria fina; as moreias glaciárias são um material propenso para o desencadeamento destes processos, bem como as acumulações de materiais provenientes de erupções vulcânicas. A diferença principal, relativamente às escoadas detríticas, para além da presença de água (a qual não é necessária no caso das avalanches), é a rapidez com que se processa o fenómeno e a velocidade que os materiais atingem em zonas de elevada inclinação.

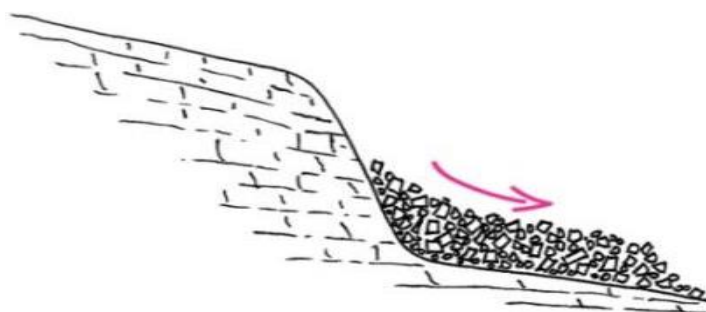


Figura 2.4. Esquema de avalanche rochosa.

2.3. Deslizamentos

Os **deslizamentos** são constituídos pelo movimento de massas de solo ou rocha que escorregam sobre uma ou várias superfícies de rotura devido a ter sido ultrapassado o valor da resistência ao corte mobilizável nestas superfícies; geralmente a massa em rotura desloca-se em conjunto, comportando-se como um corpo rígido, durante a ocorrência; a velocidade pode ser muito variável, no entanto tendem a ser processos rápidos e de grandes volumetrias (vários milhões de metros cúbicos). Ocasionalmente, quando a massa em rotura não estabiliza no pé do talude (devido à diminuição da resistência, ao teor em água ou à inclinação existente), pode continuar em movimento ao longo de centenas de metros e alcançar velocidades muito elevadas, originando uma escoada; os deslizamentos podem ainda provocar avalanches rochosas.

Podem ocorrer deslizamentos detríticos (por exemplo em coluviões depositadas em encostas, ao longo da superfície de contacto com o substrato rochoso, vertentes ou em rochas muito alteradas e fraturadas, ao longo da superfície de contacto com o maciço são) que geralmente originam escoadas detríticas, à medida que deslizam pela vertente abaixo, uma vez que, com frequência, ocorrem em condições de saturação do material.

Os **deslizamentos rotacionais** (Figura 2.5) são mais frequentes em solos coesivos. A rotura, quer superficial quer profunda, ocorre ao longo de superfícies curvas, geralmente arcos de circunferência. Uma vez iniciado o processo, a massa descreve um movimento rotacional, podendo eventualmente dividir-se em vários blocos que deslizam também entre si, originando “degraus” com a superfície inclinada para a vertente e fendas de tração estriadas. As suas dimensões mais frequentes variam entre várias dezenas e algumas centenas de metros, tanto em comprimento como em largura, podendo ser superficiais ou profundas (o limite entre ambas pode estabelecer-se em torno dos 10 m). A parte inferior da massa em rotura acumula-se no pé do talude formando um depósito com a forma de um lóbulo com fendas de tração transversais. (Figura 2.5). Dependendo do tipo de solos e do teor em água, podem ainda gerar-se fluxos.

Os maciços de rochas brandas ou que apresentem elevado grau de fracturação ou alteração, nos quais as discontinuidades não constituem superfícies de escorregamento preferenciais, podem também exibir este tipo de rotura.

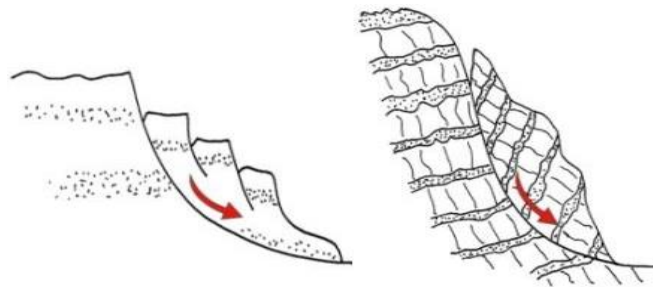


Figura 2.5. Esquema de deslizamentos rotacionais em solos (esquerda) e rochas (direita).

Nos **deslizamentos translacionais** a rotura ocorre ao longo de superfícies planares de menor resistência ou de descontinuidades pré-existentes (planos de estratificação, superfícies de contacto entre diferentes materiais, superfícies estruturais, etc.); ocasionalmente, o plano de rotura pode consistir numa fina camada de material argiloso entre estratos mais rijos ou de maior resistência. Geralmente não são muito profundos, embora possam ter grande extensão e atingir grandes distâncias. Podem ocorrer tanto em solos como em rochas, verificando-se por vezes que as massas em movimento constituem blocos retangulares cuja estrutura vem definida por descontinuidades ou fendas de tração (escorregamento de blocos). É frequente, neste tipo de instabilidades, a ocorrência de movimentos em fases distintas, que se sucedem no tempo, devido à mobilização da resistência limite dos diferentes planos de deslizamento envolvidos no processo. Estes planos não precisam de ser muito inclinados, sendo por vezes suficiente inclinações bastante modestas para que seja ultrapassada a resistência ao corte. Na maior parte dos casos, os deslizamentos translacionais são mais repentinos que os rotacionais, devido às características cinemáticas do mecanismo de rotura.

No caso das rochas vulcânicas, este tipo de movimentos é geralmente induzido por processos gravitacionais, chuvas intensas, atividade vulcânica e sísmica e pela ação humana. Afeta globalmente quase todos os tipos de unidades geotécnicas, desde os materiais soltos ou facilmente desagregáveis (Figura 2.6), até aos maciços rochosos duros que possam estar intensamente diaclasados.



Figura 2.6. Deslizamento translacional de piroclastos sobre uma camada de basaltos alterados (Ilha da Gran Canária, Canárias).

2.4. Escoadas

As **escoadas** ou fluxos são movimentos de massas terrosas (escoadas de lama ou terra), massas detríticas (escoadas detríticas ou “*debris flow*”, Figura 2.7) ou blocos rochosos (escoadas de fragmentos rochosos), nos quais o material se encontra desagregado e assume o comportamento de um “fluido”, sofrendo uma deformação contínua e sem apresentar superfícies de rotura definidas. A água é o principal fator desencadeante, devido à diminuição de resistência que provoca em materiais de baixa coesão. Atingem principalmente solos argilosos sensíveis, os quais sofrem uma considerável diminuição da resistência quando são mobilizados; estes movimentos, de profundidade reduzida relativamente à extensão, apresentam uma morfologia típica de glaciares, podendo ocorrer em encostas de baixa inclinação (inclusivamente inferior a 10°).



Figura 2.7. Escoadas detríticas ou “debris flow” causadas em depósitos coluvionares pelas fortes chuvas que ocorreram na Ilha de El Hierro em novembro de 2004.

As **escoadas de lama ou terra** (“*mudflow*” ou “*earthflow*”) acontecem em materiais de granulometria fina e homogénea, podendo a sua velocidade alcançar vários metros por segundo; a perda de resistência do material normalmente resulta da sua saturação. Classificam-se de acordo com o tipo de material, as suas características resistentes e o teor em água (Figura 2.8). As escoadas de lama são geralmente de pequena magnitude embora, ocasionalmente, e sobretudo em condições de saturação, possam ser extensas e alcançar grandes velocidades, acarretando consequências catastróficas no caso de atingirem zonas povoadas. Os depósitos de materiais finos de origem vulcânica, devido às suas características físicas e geomecânicas, são particularmente suscetíveis a este tipo de fenómenos.

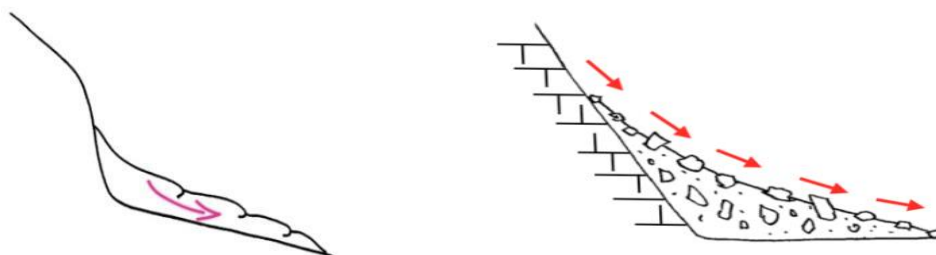


Figura 2.8. Esquemas de escoadas de lama (esquerda) e de escoadas de terra e detritos (direita).

Nos materiais tipo *loess* (siltosos ou silto-argilosos com estrutura pouco porosa) e nas areias secas podem ocorrer fluxos induzidos por movimentos sísmicos, provocados geralmente por colapsos repentinos resultantes da rotura das fracas ligações entre partículas; caso estes materiais se encontrem saturados ou submersos, origina-se uma massa sem coesão que pode fluir a velocidades muito elevadas. Estas mobilizações bruscas por colapso estrutural das areias, causado por abalos sísmicos ou por rotura do solo, designam-se por liquefação.

As escodas detríticas são movimentos complexos que englobam fragmentos rochosos, blocos, seixos rolados e cascalho numa matriz de areia, silte e argila. Geralmente ocorrem em encostas revestidas por materiais soltos ou não consolidados, especialmente naquelas em que não existe cobertura vegetal.

As escoadas podem resultar de deslizamentos, devido à saturação dos materiais afetados, continuando a fluir pela vertente abaixo, ou serem induzidas por desprendimentos rochosos. Juntamente com os deslizamentos, são os movimentos de vertentes mais comuns, afetando tipos muito diferentes de materiais.

As escoadas incluem vários processos com características próprias, como a **reptação** (*creeping*), a qual consiste num movimento superficial (poucos decímetros) muito lento, praticamente impercetível, que afeta solos e materiais alterados, provocando deformações contínuas que se manifestam ao longo do tempo na inclinação ou falta de alinhamento de árvores, cercas, muros, postes, e outros elementos existentes nas encostas. A **solifluxão** também influencia o terreno mais superficial das encostas, sendo um movimento produzido pelos processos de gelo-degelo que, devido a mudanças de temperatura diárias ou sazonais, afeta a água presente em solos finos em áreas ou regiões frias.