

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo apoio e saúde que me proporcionou durante a minha formação e realização deste trabalho.

Endereço os meus agradecimentos a todos os meus professores desde o ensino primário até ao ensino superior que ajudaram na minha formação.

Quero agradecer de modo profundo a todos os Professores do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, em particular aos envolvidos no Mestrado leccionado em Lubango, em Angola, pelo grande esforço de nos manter informados e actualizados com os conteúdos necessários para que fosse possível o presente Mestrado, este constitui uma grande valia para Angola, visto que o país necessita de quadros capacitados na área de Ordenamento de Território para um melhor desenvolvimento.

Agradeço imenso aos Professores Pedro Santarém Andrade e Mário Quinta Ferreira pela amabilidade que tiveram em tutelar e me ajudar na realização do presente trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais Miguel Prego e Joana Bento da Silva que desde muito cedo promoveram a minha formação, os meus sinceros agradecimentos, amor e carinho. Agradeço também aos meus irmãos, e sobrinhos, amigos e colegas: Ana Joana Prego, Manuel Prego, Jorge de Jesus, Germana Prego, João Sérgio, Henriqueta Prego, Gonçalo da Silva Prego, Dr José Macosso Cumbo, Dr Afonso Puna, Ladislau Mário, Avelino Mateus, Arlete Camosso, Miguel Camosso, Jacklin Tsimba, Aginaldo Macosso Prego, Dr Paulo Cassavela, Msc Óscar Cumbo, Dr Luís Gomes, Dr Lourenço Lucunde, Gabriel Jolela, Miguel Vieira, Edilson Pereira, Eng<sup>o</sup> João Vieira e outros, agradecendo por tudo que têm vindo a fazer por mim.

Finalmente, agradeço a todos aqueles que directa ou indirectamente prestaram o seu apoio material, espiritual e moral para que este trabalho tivesse êxito.

**“Guido Prego”**

## Resumo

Nesta dissertação caracterizam-se as situações de instabilidade de dois taludes rodoviários pertencentes à Estrada Nacional 280 e que se localizam nas proximidades da área urbana de Lubango. Os taludes são constituídos essencialmente por quartzo-arenitos ou quartzitos de cores esbranquiçadas a amareladas que são sobrepostos por depósitos de cobertura. Nos taludes estudados têm-se verificado quedas de blocos rochosos e também deslizamentos planares e em cunha. Procedeu-se a trabalhos de levantamento de campo e estudos de gabinete.

Este trabalho é constituído por seis capítulos, o primeiro capítulo corresponde à introdução do estudo desenvolvido; o segundo capítulo está relacionado com a classificação dos tipos de instabilidades de taludes e vertentes, com a descrição dos factores associados aos processos de instabilização e das medidas de estabilização dos taludes; no terceiro capítulo é abordado o enquadramento da área de estudo (enquadramento geográfico, geológico); no quarto capítulo define-se a metodologia utilizada, em que se utilizaram as classificações Slope Mass Rating e Rockfall Hazard Rating System; no quinto capítulo desenvolve-se a aplicação da metodologia proposta, a comparação dos resultados obtidos e também são abordadas as medidas de redução e de mitigação das situações de instabilidade; no sexto e último capítulo definem-se as conclusões.

### Palavras-chave

- Estabilidade de taludes
- RMR
- SMR
- RHRS
- Lubango

# Abstract

This dissertation analyses the stability problems of two excavation slopes that belonging to the National Road 280 and which are located nearby the Lubango's urban area. The slopes are mainly composed by whitish to yellowish quartz arenits formations, which are overlaid by debris deposits. Different types of slopes failures have occurred such as rockfalls and also planar and wedge failures have occurred. Several field tests and desk studies were carried out.

This study is constituted by six chapters. The first chapter corresponds to the introduction of the studied subject; the second chapter focuses the landslides classification and causes, as well as the slopes prevention and stabilization; the third describes the geography and geology of the studied area; the fourth describes the methodology used, which comprehends the Slope Mass Rating and the Rockfall Hazard Rating System; the fifth chapter carries out the proposed methodology, the results are compared and slope prevention and stabilization measures are defined; in the sixth and last chapter the conclusions are presented.

## Keywords

- Slope stability
- RMR
- SMR
- RHRS
- Lubango

Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Objectivo e estrutura .....	2
<b>2. SITUAÇÕES DE INSTABILIDADE DE TALUDES E VERTENTES</b> .....	<b>3</b>
2.1. Classificação de tipos de instabilidades de taludes e vertentes.....	3
2.1.1. Desmoronamentos ou desabamentos .....	4
2.1.2. Basculamentos ou toppling .....	7
2.1.3. Deslizamentos .....	8
2.1.4. Expansões laterais .....	11
2.1.5. Escoadas ou Fluxos .....	11
2.1.6. Movimentos Complexos .....	12
2.2. Factores associados aos processos de instabilidade .....	12
2.2.1. Causas das situações de instabilidade .....	14
2.3. Medidas preventivas e correctivas de estabilização .....	15
2.3.1. Alteração da geometria .....	16
2.3.2. Drenagem.....	16
2.3.3. Elementos de aumento de resistência do terreno .....	17
2.3.4 Muros de suporte .....	18
2.3.5 Medidas de protecção e tratamento superficial .....	19
<b>3. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO</b> .....	<b>21</b>
3.1. Enquadramento Geográfico da área de estudo .....	21
3.1.1. Características demográficas, económicas e sociais da zona em estudo .....	21
3.1.2. Caracterização climática da zona em estudo .....	21
3.3. Enquadramento Geomorfológico e Geológico .....	23
3.3.1. Geomorfologia .....	23
3.3.2. Enquadramento geológico regional .....	26
3.3.3. Enquadramento geológico local .....	29
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>31</b>
4.1. Considerações gerais sobre a metodologia do trabalho efectuado .....	31
4.2. Classificação RMR .....	32
4.2.1. Resistência do Material Rochoso na classificação RMR .....	33
4.2.2. Rock Quality Designation (RQD) .....	34
4.2.3. Características das descontinuidades .....	35

4.3. Classificação Slope Mass Rating .....	39
4.4. Classificação Rockfall Hazard Rating System.....	42
4.4.1 Altura do talude .....	44
4.4.2. Capacidade de retenção da valeta .....	45
4.4.3. Risco médio para veículos .....	46
4.4.4. Percentagem da distância de visibilidade de decisão .....	46
4.4.5. Largura da plataforma .....	47
4.4.6. Características Geológicas .....	47
4.4.7. Tamanho do bloco ou quantidade de queda de blocos por evento .....	48
4.4.8. Clima e presença de água no talude .....	49
4.4.9. Histórico da Queda de Blocos.....	49
<b>5. APLICAÇÃO DAS CLASSIFICAÇÕES SMR E RHRS.....</b>	<b>50</b>
5.1. Características dos taludes.....	50
5.2. Definição dos parâmetros das classificações geomecânicas .....	53
5.2.1. Resistência do material rochoso .....	53
5.2.2. Famílias de descontinuidades presentes no talude 1 .....	54
5.2.3. Descrição das descontinuidades .....	54
5.2.4. Determinação do valor do RQD e do espaçamento .....	58
5.3. Aplicação das classificações RMR e SMR.....	59
5.3.1. Determinação do RMR.....	59
5.3.2. Determinação do SMR .....	62
5.3.2.1. SMR do 1º troço do primeiro talude .....	62
5.4. Aplicação da Classificação Rockfall Hazard Rating System .....	64
5.4.1. Altura do talude .....	65
5.4.2. Capacidade de retenção da vala .....	65
5.4.3. Risco médio para veículos .....	65
5.4.4. Distância de visibilidade de decisão .....	66
5.4.5. Largura da plataforma da via de comunicação .....	66
5.4.6. Caracterização Geológica .....	67
5.4.7. Dimensão dos blocos .....	67
5.4.8. Condições climáticas e presença de água nos taludes .....	68
5.4.9. Registo histórico da queda de bloco. ....	69
5.4.10. Valores da classificação Rockfall Hazard Rating System.....	69
5.5. - Medidas de redução e de mitigação das situações de instabilidade....	71
5.5.1. - Medidas de estabilidade. ....	71
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>75</b>

# 1. Introdução

Nos anos mais recentes têm-se desenvolvido estudos relacionados com os conceitos de risco, acidente grave e catástrofe. Verificou-se, igualmente, um aumento no número de previsões de acontecimentos naturais e antrópicos que podem provocar perdas e danos.

Em muitos dos países africanos, a maior parte das cidades não obedece a um planeamento prévio, isto tem como implicação a possível construção em zonas de risco.

As autoridades oficiais angolanas estão actualmente preocupadas com os acidentes rodoviários, originando estes, um número elevado de vítimas. Angola está, presentemente, numa fase de desenvolvimento, no entanto verifica-se a existência de muitas obras de engenharia que foram construídas nas décadas de 50, 60 e 70 do século passado, sendo que estas apresentam uma estrutura envelhecida, devido à falta de manutenção.

As vias rodoviárias angolanas têm sido remodeladas e modernizadas e fiscalizadas pelo Instituto Nacional de Estradas de Angola, no entanto verifica-se que existem empresas de construção que não obedecem à legislação existente para a construção e reabilitação de estradas.

Na área urbana de Lubango constata-se um crescimento demográfico significativo nos últimos 15 anos. As autoridades consultadas da zona em estudo (administração da zona e sobas), alegam que este incremento foi devido à fuga da população das áreas onde se registavam conflitos armados. Não existem valores fiáveis do crescimento populacional verificado devido à construção das habitações ter sido efectuada de modo desordenado e porque não houve um acompanhamento prévio da população que se instalou na área urbana do Lubango. Para além do crescimento demográfico registou-se um aumento do tráfego automóvel. Verificam-se também situações de ocorrência de instabilidade de vertentes e taludes que afectam habitações, infra-estruturas e o trânsito automóvel.

No presente estudo pretende-se identificar os problemas de instabilidade de taludes da via rodoviária principal entre Lubango e Humpata. Esta estrada faz a ligação entre as províncias da Huíla e do Namibe e tem um carácter importante para as duas

províncias, pois permite o intercâmbio comercial de vários produtos, como os piscícolas provenientes do Namibe e os relacionados com a indústria existente na área de Lubango.

Na zona em estudo verificam-se situações de instabilidade dos taludes, designadamente a queda de blocos rochosos, e na referida zona, desde que a estrada foi construída, nunca foi efectuada nenhuma medida de protecção ou de estabilização dos taludes de modo a impedir as situações de instabilidade.

O troço da estrada na área estudada é relativamente estreito e apresenta um desnível significativo na vertente adjacente à faixa da rodovia de sentido de Humpata para Lubango, pelo que para além da queda de blocos, as próprias características da rodovia podem colocar em risco os utentes da via de comunicação.

## **1.1. Objectivo e estrutura**

Este trabalho tem como objectivo estudar a estabilidade de dois taludes da via de comunicação rodoviária entre Lubango e Humpata, podendo deste modo prevenir as autoridades responsáveis, bem como os utentes da via de comunicação sobre os perigos relacionados com a instabilidade dos referidos taludes.

O trabalho desenvolvido abrangeu a selecção de locais de instabilização, a elaboração da cartografia geológica e estrutural, definição de situações de instabilidade, descrição e aplicação das classificações geomecânicas como o “Rock Mass Rating” (RMR) de Bieniawski (1976, 1979 e 1989) e o “Slope Mass Rating” (SMR) de Romana (1996), estudo e utilização da classificação “Rock Fall Hazard System” (Pierson et al, 1990).

Para além da análise da estabilidade dos taludes, procedeu-se à definição de medidas de estabilização, designadamente preventivas ou correctivas, de modo a que se verifique um aumento das condições de segurança na via de comunicação adjacente aos dois taludes estudados e a diminuição das situações de risco para os utentes da estrada. Com o desenvolvimento da região e de Angola em geral, existe a necessidade de remodelar as vias de comunicação de modo a evitar acidentes relacionados com deslizamentos e quedas de blocos.

## **2. Situações de instabilidade de taludes e vertentes**

### **2.1. Classificação de tipos de instabilidades de taludes e vertentes**

Pode proceder-se à classificação dos taludes em: naturais (também designados como vertentes), de escavação e de aterro.

Os taludes relativos a obras de engenharia civil alcançam, geralmente, alturas máximas de 40 a 50 metros e são projectados para serem estáveis a longo prazo. Nas zonas de exploração mineira ou céu aberto, podem apresentar alturas superiores e alcançar centenas de metros.

Desde tempos remotos que existem preocupações com as condições de vida e de segurança das populações, pelo que na realização das várias obras de engenharia, como as vias rodoviárias, a definição das situações de riscos é fundamental.

As vertentes estão relacionadas com os processos de evolução geomorfológica natural, enquanto os taludes de escavação e de aterro resultam da acção antrópica.

Penck, em 1894, efectuou um dos estudos pioneiros sobre as situações de instabilidade dos taludes, estabelecendo uma classificação de acordo com dois processos: os movimentos de massa (que se verificam pela actuação da gravidade e na ausência de meio de transporte) e os transportes de massas (que estão associados aos movimentos provocados por agentes de transporte como a água, o ar ou o gelo). Dana, em 1862, definiu três tipos distintos de deslizamentos que presentemente são classificados como: fluxo de detritos, expansão lateral de solos e deslizamento de rochas.

A classificação de movimentos de taludes e vertentes de Varnes (1978) é das mais utilizadas a nível internacional. Esta classificação considera os mecanismos das situações de instabilidade e os tipos de materiais envolvidos, procedendo à classificação dos movimentos em seis classes: desmoronamentos, basculamentos ou “toppling”, deslizamentos, expansões laterais, escoadas ou fluxos e movimentos complexos (Quadro 2.1). A classificação de Varnes (1978) constitui a classificação adoptada pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia e do Ambiente (IAEG).



Quadro 2.1 - Classificação proposta por Varnes (1978), retirado de Rodrigues (2003).

Tipo de movimento			Tipo de material		
			Substrato rochoso	Solos	
				Dominante grosseira	Dominante fina
Desabamentos			rochoso	de detritos	de terra
Balançamentos			rochoso	de detritos	de terra
Deslizamentos	Rot.	Poucas unidades.	rotacional rochoso	rotacional em detritos	rotacional em terra
	Trans.	Muitas unidades.	translacional em bloco rochoso	translacional em bloco rochoso	translacional em bloco de terra
			translacional rochoso	translacional de detritos	translacional de terra
Expansões laterais			rochosa	em detritos	em terra
Escoadas			de rocha	de detritos	de terra
				"creep"	
Complexos			Combinações de dois ou mais tipos de movimentos principais		

Nas Figuras 2.1 e 2.2 podemos observar cinco tipos de instabilidade de vertentes e taludes. Os movimentos nos taludes ou vertentes podem ser classificados a partir da sua velocidade (Quadro 2.2).

### 2.1.1. Desmoronamentos ou desabamentos

Os desmoronamentos são movimentos de material que se desprende de taludes de pendor elevado e pelo menos parte do trajecto do material é em queda livre, caracteriza-se por ser um movimento muito rápido ou mesmo extremamente rápido que pode provocar situações de risco, como demolir estruturas na base dos taludes ou vertentes ou atingir viaturas que circulem em vias de comunicação.

O movimento de queda origina-se através do destacamento de material rochoso ou solo num talude de pendor muito acentuado, neste tipo de destacamento o deslocamento tangencial é diminuto ou mesmo inexistente (Andrade, 2008).

Antes do movimento dos desmoronamentos podem ocorrer movimentos de basculamento, deslizamento ou expansão. Os movimentos dos blocos rochosos nos desmoronamentos envolvem a queda livre, ressaltos, rolamento e deslizamentos (Giani, 1992).

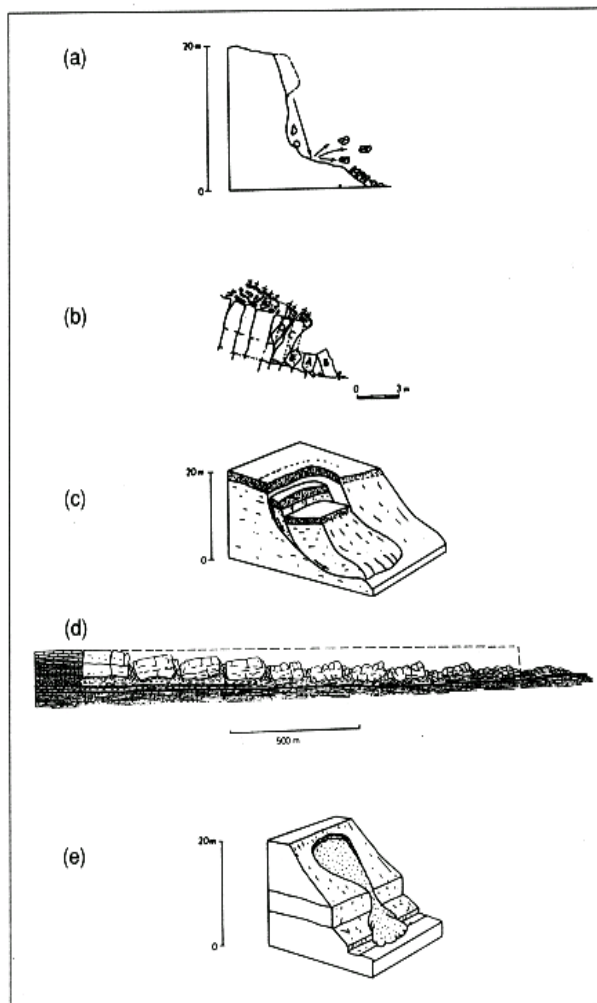


Figura 2.1 Tipos de instabilidade de taludes e vertentes (Dyminski, 2010). a) Desmoronamentos, b) Basculamentos, c) Deslizamentos, d) Expansão lateral e e) Fluxos.

Quadro 2.2 - Classificação da velocidade de movimentos nos taludes estabelecida por Cruden & Varnes (1996), retirado de (Andrade, 2009).

Movimento	Velocidade
Extremamente Rápido	>5 m/s
Muito Rápido	>3 m/min
Rápido	>1,8 m/h
Moderado	>1,3 m/mês
Lento	>1,6 m/ano
Muito lento	>1,6 mm/ano
Extremamente lento	<1,6 mm/ano

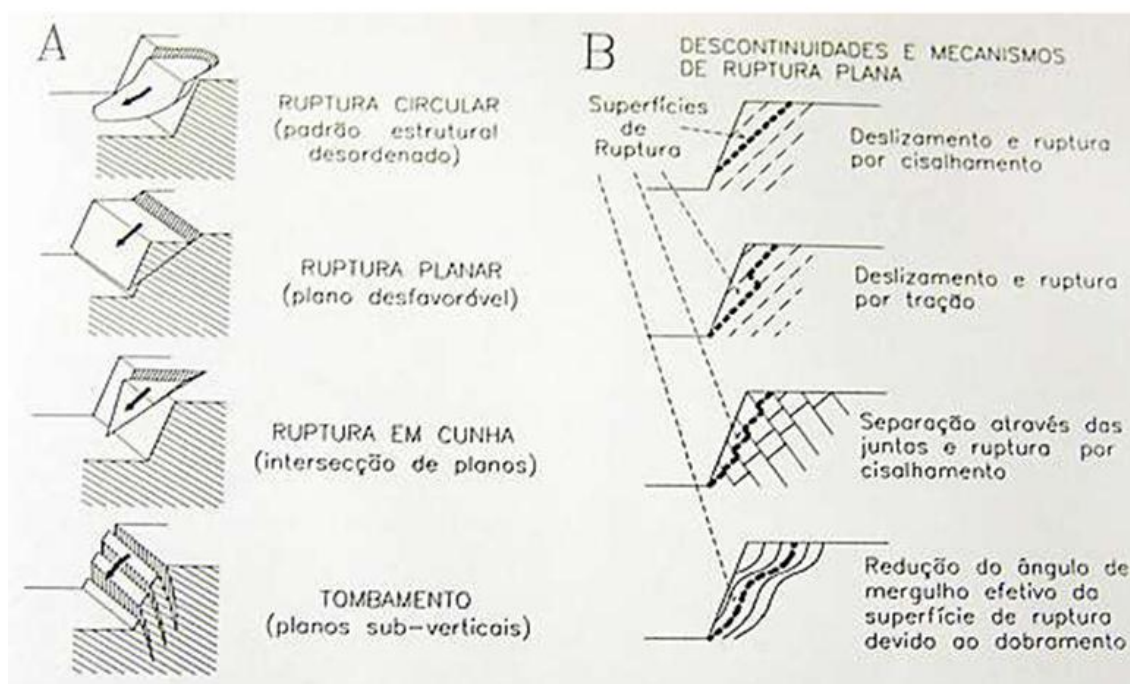


Figura 2.2 Tipos de rotura relacionados com a distribuição espacial das descontinuidades em maciços rochosos (Hoek & Londe, 1974).

Os desabamentos podem ocorrer em três estádios sucessivos e que podem ser complementares: (i) formação de fendas com o surgimento de blocos individuais; (ii) alargamento das fendas e incremento das tensões na secção da rocha competente que não apresenta suporte basal; (iii) queda relacionada com a ruptura por flexotracção (Zêzere, 2005). A classificação de Carson & Kirkby (1972) permite efectuar uma classificação dos movimentos de desmoronamentos e está relacionada com o volume de material instabilizado e o tipo de rotura.

O material que resulta de desmoronamentos deposita-se, geralmente, em zonas localizadas no pé do talude. Geralmente este mecanismo ocorre em taludes escarpados (Mercedes-Gijon, 1981) e que se localizam muitas vezes em zonas montanhosas, as vertentes em que se verificam os desmoronamentos têm pendores compreendidos entre  $50^\circ$  e  $90^\circ$  (Lefèvre & Schneider, 2002). Nas quedas de blocos rochosos, estes possuem várias dimensões e geralmente fragmentam-se na sua queda (Bell, 1993). Nos maciços rochosos como os granitos, arenitos, calcários e rochas metamórficas como os quartzitos são comuns as quedas de blocos. Os desmoronamentos são comuns em zonas em que as vertentes ou os taludes são constituídas por alternância de estratos de resistência diferenciada. Nas arribas litorais os desmoronamentos provocam o recuo progressivo da linha costeira.

Situações de quedas de blocos rochosos correspondem aos movimentos de instabilidade mais comuns nas vertentes da zona urbana de Lubango e na área em estudo no presente trabalho.

### **2.1.2. Basculamentos ou toppling**

O movimento de “toppling”, de acordo com Ortigão & Sayão (1999), consiste numa rotação para o exterior do talude de volumes de material litológico, este movimento é efectuado em redor de um eixo ou ponto localizado inferiormente ao centro de gravidade do material instabilizado. Os basculamentos são provocados pela acção da gravidade ou progressão em fissuras (Figura 2.3). Os basculamentos ocorrem ao longo de descontinuidades aproximadamente paralelas à crista do talude e que apresentam pendores elevado cujo sentido é para o interior do talude. Situações de decompressão nos taludes são um requisito essencial para a ocorrência de toppling (Dikau et al., 1996). Hutchinson (1988) procedeu a uma diferenciação dos basculamentos e considerou os subtipos simples e múltiplos. Vários tipos de basculamento como: flexural, em blocos, misto e secundários foram definidos por Goodman & Bray (1976).

Os movimentos de basculamentos podem originar situações de desmoronamentos ou deslizamentos. As situações de toppling de materiais rochosos ou detríticos são frequentes em xistos, calcários e também em rochas com disjunção colunar como os basaltos e doleritos, é de salientar que a presença de basculamentos na Ilha da Madeira está relacionada com a disjunção colunar das formações vulcânicas (Rodrigues et al., 2010). Os volumes de materiais instabilizados variam entre 1 a  $10^9$  m<sup>3</sup>. A geometria da massa afectada, a extensão e a orientação dos planos de descontinuidades como a estratificação e/ou diaclasamento são aspectos que condicionam de modo importantes estes movimentos. Os basculamentos podem ter consequências catastróficas em vertentes constituídas por maciços rochosos.

Os movimentos de basculamento desenvolvem-se lentamente, no entanto na rotura podem ser rápidos.

### **2.1.3. Deslizamentos**

Os deslizamentos, assim como outros movimentos de massa, fazem parte da dinâmica natural de transformação e formação da crosta terrestre e estão relacionados com fenômenos como a gravidade e as variações climáticas. Podem definir-se os deslizamentos como movimentos de solo ou de material rochoso que se verificam ao longo de um plano de ruptura ou de zonas relativamente estreitas e que apresentam uma deformação tangencial intensa (Zêzere, 2000).

Os deslizamentos são movimentos, cuja velocidade é geralmente classificada como de moderada (velocidades superiores a 1,3 m/mês) a muito rápida (velocidades superiores a 3 m/min) e que se verificam em solos ou ao longo de descontinuidades de maciços rochosos.

Quando estes movimentos ocorrem em locais onde é predominante a ocupação humana os resultados podem ser desastrosos. Numa situação de deslizamento, casas inteiras, estradas e tudo o que estiver no trajecto do movimento pode ser levado encosta abaixo ou acabar soterrado.

Os deslizamentos podem ser rotacionais e planares, definiu-se que os principais factores que condicionam os varios tipos de deslizamentos, são a litologia, o estado de alteração, as descontinuidades e a acção da água.

A construção de estradas em locais inadequados também contribui para a ocorrência de deslizamentos, estes também podem ser originados pelas vibrações provocadas pelo tráfego intenso (Sestini, 2000).

Os movimentos de deslizamento verificam-se numa vertente ou talude, quando existe um desequilíbrio na distribuição de forças ao longo de uma determinada superfície, como se pode verificar na Figura 2.4, verificando-se que as forças favoráveis ao deslizamento são superiores às forças que se lhe opõem (Matos, 2008).

#### **2.1.3.1. Deslizamento rotacional**

Os deslizamentos rotacionais apresentam superfície(s) de escorregamento curvas com a concavidade voltada para cima. Estes tipos de deslizamentos são frequentes em meios homogéneos e isotrópicos como solos e maciços rochosos muito fracturados/alterados. Verifica-se nestes movimentos uma rotação com movimentos descendentes na parte superior da superfície da rotura e movimentos de levantamento no pé do talude ou vertente com deslocamento para o seu exterior.

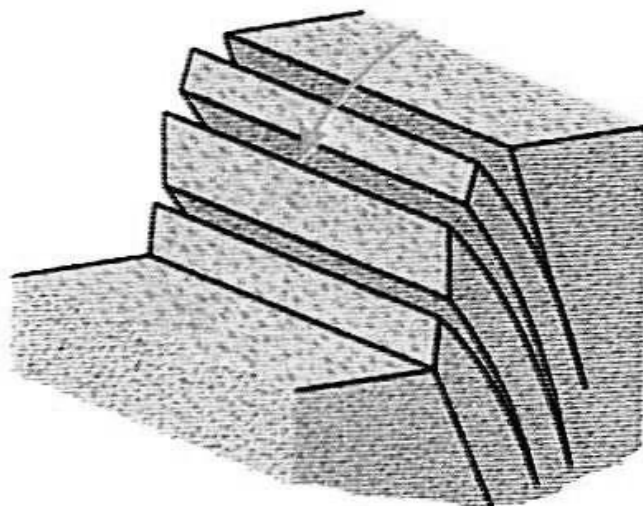


Figura 2.3 - Basculamento de material litológico (Vallejo et al., 2002).

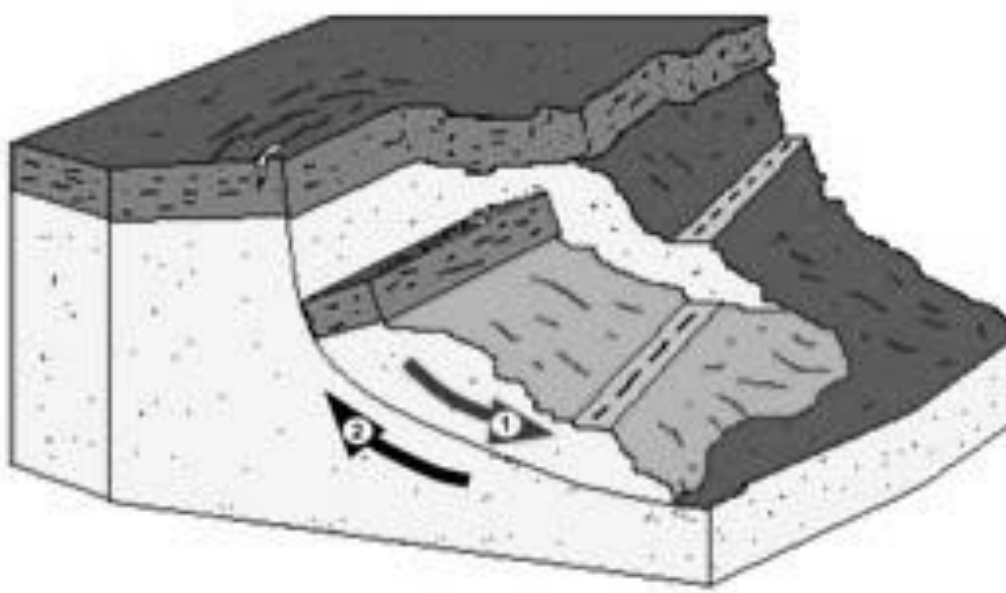


Figura 2.4 – Representação de forças exercidas num deslizamento. 1 – Forças favoráveis ao deslizamento; 2 – Forças de resistência ao deslizamento (relacionadas com a coesão, atrito) (Matos, 2008).

A origem dos deslizamentos rotacionais está geralmente associada a fracturas de tracção que ocorrem na parte superior do talude ou vertente e à presença de água. Nos deslizamentos rotacionais é frequente ocorrerem deslizamentos sucessivos até o talude se estabilizar (Bell, 1993). Os deslizamentos rotacionais podem afectar áreas que variam desde alguns metros quadrados até vários hectares (Dikau et al., 1996).

A velocidade dos movimentos rotacionais é variável, muitas situações apresentam uma velocidade lenta, mas sobretudo em taludes constituídos por solos pode constatar-se uma velocidade rápida da ordem dos metros/segundo.

Os deslizamentos rotacionais costumam verificar-se em materiais homogéneos e coesivos, designadamente solos argilosos (Hyndman & Hyndman, 2006), também podem ocorrer em taludes de material arenoso ou em maciços rochosos extremamente alterados e/ou fracturados, nos quais as pressões da água podem provocar uma rotura rotacional.

O deslizamento rotacional pode ser superficial ou profundo, a primeira situação está associada, de modo geral a períodos curtos de precipitação muito elevada, enquanto os deslizamentos com plano de ruptura profundo estão relacionados com períodos de precipitação mais prolongados, podendo o movimento verificar-se alguns dias após o período de precipitação.

Os deslizamentos, de acordo com a Figura 2.5, são considerados como simples, quando o material instabilizado se movimenta como uma unidade única ao longo da superfície de deslizamento; múltiplo se o movimento apresenta várias unidades e com um plano de deslizamento comum; sucessivos, quando existem várias roturas com uma profundidade diminuta e que ocorrem ao longo do tempo num mesmo perfil. Os movimentos sucessivos verificam-se geralmente em argilas fissuradas (Matos, 2008).

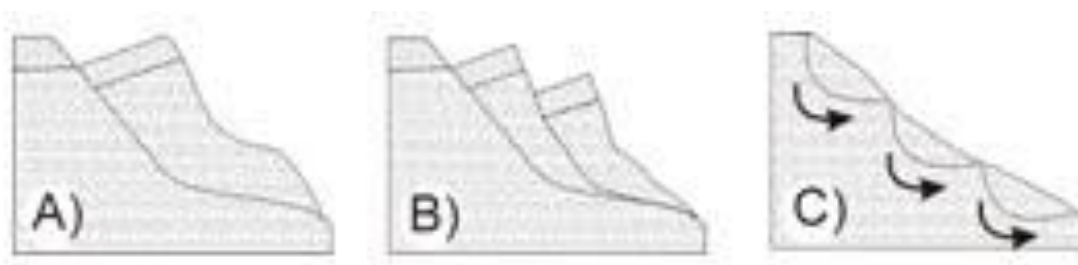


Figura 2.5 - Diferentes tipos de deslizamentos rotacionais.

A – simples; B – múltiplo; C – sucessivo.

### 2.1.3.2. Deslizamento planar ou translacional

Nos deslizamentos translacionais, o material instabilizado movimenta-se no sentido descendente, ou para a parte externa de um talude, ao longo de uma superfície planar ou de uma recta de intersecção de planos.

Os deslizamentos planares são muito frequentes nas regiões de topografia acidentada em que as vertentes têm pendores elevados e podem constituir situações de risco importantes (Lefèvre & Schneider, 2002).

As roturas translacionais englobam a ruptura em cunha, esta envolve duas descontinuidades planares cuja recta de intersecção mergulha para a parte exterior do talude. É um tipo de deslizamento que está geralmente associado a maciços rochosos, o deslocamento da cunha verifica-se ao longo do eixo de intersecção dos planos de descontinuidade (Júnior & Longo, 2010). Os principais parâmetros que condicionam a rotura em cunha são a coesão e o ângulo de atrito dos planos; a acção da pressão da água; existência de forças externas e de fendas de tracção; a orientação dos taludes e das famílias das descontinuidades.

#### **2.1.4. Expansões laterais**

A expansão lateral (*lateral spreading*) corresponde a uma deslocação de solos de características coesivas ou material rochoso, que se efectua em conjunto com uma subsidência geral do material brando situado inferiormente. Este último pode apresentar processos de liquefacção ou fluxo (WP/WLI, 1993). Neste tipo de movimento não se verifica a presença de roturas basais bem definidas.

A expansão lateral em maciços rochosos é, de modo geral, um movimento de velocidades muito baixas, que é originado através de deformações visco-plásticas de grande profundidade e que estão relacionadas com a acção da gravidade.

#### **2.1.5. Escoadas ou Fluxos**

Os movimentos de fluxo podem verificar-se em rochas, detritos e solos, o material na parte interior da massa movimentada apresenta uma velocidade semelhante a um fluido viscoso (WP/WLI, 1993), constituem movimentos contínuos em termos espaciais e cujo deslocamento é diferencial, tanto em profundidade como lateralmente, o que está relacionado com a interacção da massa em deslocamento com a parte subjacente.

A maior parte das distinções para os diferentes tipos de escoadas estão relacionadas com critérios de contexto geomorfológico e de localização geográfica, mecanismos de origem da movimentação, velocidade e dimensão dos materiais.



Os fluxos de rochas correspondem a deformações relacionados com a acção da gravidade, têm velocidades lentas e verificam-se em maciços rochosos de áreas montanhosas, abrangendo volumes de grandes dimensões como de vários milhares de metros cúbicos (Dramis & Sorriso-Valvo, 1994).

Os fluxos de detritos são constituídos por materiais de granulometria fina (argila, silte e areia fina), materiais mais grosseiros e por uma quantidade de água variável. A percentagem da carga sólida é geralmente superior a 50% da massa total (Zêzere, 2000). Os fluxos de detritos podem ser muito destrutivos, especialmente nas vertentes das áreas montanhosas.

Os fluxos constituídos por terra e de lama apresentam uma quantidade de água que permite que estes se movimentem em fluxo turbulento, o que possibilita a erosão de canais à medida que o movimento se processa (Bloom, 1970).

### **2.1.6. Movimentos Complexos**

Os movimentos complexos podem verificar-se quando um determinado tipo de instabilidade pode ocorrer e originar um outro tipo de instabilidade no seguimento da sua movimentação (Dikau et al., 1996). As diferentes velocidades dos movimentos complexos, bem como a sua distribuição espacial estão relacionadas com as suas principais características e com o tipo de rotura. Como exemplo de movimentos complexos tem-se a avalanche de rochas e o deslizamento de fluxo. Alguns dos movimentos complexos mais comuns são o deslizamento rotacional e o translacional, o deslizamento rotacional e o basculamento e também o deslizamento translacional ou rotacional e o fluxo.

## **2.2. Factores associados aos processos de instabilidade**

As diferentes acções a que os taludes estão sujeitos geram uma modificação constante na sua geometria, como resultado da adaptação a novas condições de equilíbrio.

As zonas montanhosas são áreas com facilidade de ocorrência de situações de instabilidade como as vertentes de pendor acentuado e sujeitas a elevada precipitação ou condições hidrogeológicas desfavoráveis.

De acordo com Ayala-Cacerdo et al. (1987) os factores associados aos processos de instabilidade podem ser considerados como factores condicionantes ou activos, os

primeiros são a estrutura geológica, a litologia, as condições hidrogeológicas, o grau de alteração e a morfologia de uma dada área, enquanto os factores activos são a acção da água (precipitação, águas subterrâneas, água superficial, gelo e neve), a sismicidade e o vulcanismo, a actividade biológica, a subsidência e a actividade humana.

Os factores activos podem ser distinguidos em naturais e antrópicos, no entanto existe a possibilidade de serem classificados como mistos quando a responsabilidade pela situação de instabilidade é provocada conjuntamente por factores naturais e antrópicos.

As instabilidades em taludes e vertentes podem ser provocadas pela erosão devido à acção da água ou do vento, variação sazonal da temperatura e da humidade.

A presença da água é o factor mais importante no desencadear dos movimentos de instabilidade. O aumento do nível freático e o incremento das pressões intersticiais são os principais factores que contribuem para as situações de instabilidade dos taludes, o aumento das pressões neutras levam a uma consequente redução da resistência ao corte dos terrenos (Bastos, 1999).

Os factores geomorfológicos têm uma influência significativa para a ocorrência dos movimentos de vertente, estes incluem o declive que tem uma importância ainda maior quando a vegetação se encontra ausente, a própria forma das vertentes condiciona a infiltração de água nos terrenos (Teixeira, 2005).

Nas análises que foram efectuadas aos efeitos das instabilidades destacam-se as relacionadas com as consequências das actividades vulcânicas. Grandes quantidades de lamas e rochas são movimentadas por acção da gravidade, em consequência de actividades vulcânicas.

A diminuição da resistência também pode ser originada pela meteorização que provoca o enfraquecimento dos materiais constituintes dos taludes.

A acção antrópica influencia principalmente os processos erosivos e o desencadear de situações de instabilidade de taludes e/ou vertentes, através de várias formas de actuação como a destruição da vegetação. A construção de vias de comunicação pontes, edifícios e de outras obras de engenharia são, muitas vezes, efectuadas sem atender às condições ambientais naturais (Andrade, 2009). Numa área estável, a execução de determinadas obras de engenharia pode provocar situações de instabilidade, através de escavações que levam ao aumento da inclinação e da altura do talude, outra possível causa de instabilidade é a aplicação de sobrecargas nos taludes, em particular na sua parte superior, bem como a produção de vibrações, esta

última pode ser cíclica e aumentar tensões que podem provocar a reestruturação dos solos ou a fracturação do material rochoso, algumas das vibrações podem ser originadas pelo tráfico rodoviário pesado ou ter uma origem sísmica. A acção humana pode obstruir a percolação da água, provocando a sua acumulação, o que pode originar movimentos de instabilidade que podem ser fluxos e deslizamentos de lama e de detritos (Teixeira, 2005).

## **2.2.1. Causas das situações de instabilidade**

### **2.2.1.1 Causas dos desmoronamentos**

Os desmoronamentos são dependentes das características litológicas e das fracturas existentes, nomeadamente a sua geometria e o espaçamento. Os desmoronamentos podem ser provocados pelos processos erosivos que tornam salientes as formações mais resistentes, outra das causas são as forças de descompressão que ocorrem na parte externa do talude, muitas vezes resultantes da escavação dos taludes. A presença de vegetação e o crescimento das raízes também pode provocar igualmente desmoronamentos, bem como a variação térmica diária e as forças relacionadas com a presença de água e as pressões de gelo-degelo (Hyndman & Hyndman, 2006).

### **2.2.1.2 Causas dos basculamentos**

Os basculamentos são causados por acção da força gravítica, acção da água, variações térmicas, acção alternada do gelo e degelo ao longo das fracturas, perda de apoio causada pela acção erosiva (Dikau et al., 1996), bem como processos de descompressão lateral dos maciços, acção de forças laterais exercidas por unidades adjacentes (Cacerdo-Ayala et al., 1987) e tensões tectónicas.

### **2.2.1.3 Causas dos deslizamentos rotacionais**

Os deslizamentos rotacionais são muitas vezes iniciados por processos de erosão, precipitação elevada, ou pela subida do nível freático no talude; a drenagem deficiente aumenta a susceptibilidade e o risco dos deslizamentos (Andrade, 2009). Os deslizamentos rotacionais estão geralmente associados a fracturas de tracção que ocorrem na parte superior do talude ou vertente.

### **2.2.1.4 Causas dos deslizamentos translacionais**

Dentro das principais causas dos deslizamentos translacionais destaca-se o contacto entre diferentes tipos de formações litológicas ou com estados de alteração muito

diferenciados, alternância de estratos ou a presença de descontinuidades com persistência elevada (Dikau et al., 1996). Outras causas importantes são os processos erosivos e escavações nos taludes ou vertentes, bem como a acção da água.

### **2.2.1.3 Causas das expansões laterais**

As causas desencadeantes deste tipo de movimento resultam da combinação da concentração de água em solos, dos longos períodos de precipitação, da actividade sísmica e estão também relacionados com deformações plásticas em solos e processos erosivos na parte inferior dos taludes (Hunt, 2007).

### **2.2.1.4. Causas das escoadas ou fluxos**

Os fluxos de material rochoso são provocados pela acção gravítica, libertação de tensões e acções sísmicas.

Os fluxos de detritos estão principalmente relacionados com as características topográficas e com períodos de precipitação muito intensa.

Os fluxos constituídos por terra e de lama verificam-se em zonas com precipitação muito acentuada, declives acentuados e falta de coberto vegetal. Os fluxos de detritos, de terras e lamas podem por vezes ocorrer em zonas de depósitos antrópicos como aterros de resíduos, materiais de escavação ou de actividades da construção civil.

## **2.3. Medidas preventivas e correctivas de estabilização**

Nas obras de engenharia espera-se que sejam tomadas medidas que permitam a salvaguarda de vidas humanas e dos bens materiais. No projecto e no decorrer da construção devem prever-se possíveis situações de instabilidade. É de referir que muitas das medidas correctivas implicam um incremento dos custos pois vão aumentar o número de horas de trabalho e, de modo geral, exigir uma maior mão-de-obra e a utilização de mais equipamentos.

A ausência de prevenção e correcção das situações de instabilidades que envolvem muitas vezes as quedas de blocos podem provocar danos nos veículos e utentes das vias rodoviárias e assim gerar consequentes pedidos de indemnizações, pelo que os responsáveis administrativos devem dedicar uma atenção especial a este tipo de ocorrências.

Na configuração dos taludes deve definir-se uma geometria de forma a garantir a estabilidade devendo adoptar-se pendores apropriados e, por vezes, patamares

intermédios (banquetas). Como a água é um dos factores influentes nas situações de instabilidade deve ter-se uma atenção especial relativamente às medidas que permitem uma drenagem eficiente, de modo a possibilitar a percolação da água e evitar o incremento das pressões neutras ou a subida do nível freático (Bastos, 1999).

Em face das situações encontradas pode proceder-se à estabilização dos taludes e protecção da estrada. Deve definir-se um plano para a conservação das obras de manutenção e tendo como base a avaliação do desempenho e de acordo com o tipo da instabilidade, deverá estabelecer-se um programa de manutenção da obra que poderá ser alterado no caso de situações de instabilidade não previstas (ABNT, 1991).

### **2.3.1. Alteração da geometria**

A modificação da geometria dos taludes instáveis permite que estes adquiram uma nova configuração que lhes possibilite o aumento da sua estabilidade.

Com a modificação da geometria verifica-se a redução das forças que tendem a instabilizar o talude ou vertente e a incrementar a resistência ao corte.

As principais técnicas de modificação de geometria são de acordo com (Ayala-Cacerdo et al., 1987): retirada de material, adição de material de modo a manter a estabilidade e a utilização de banquetas.

A remoção de material é efectuada acima da superfície de deslizamento, diminuindo ou anulando deste modo as forças favoráveis à ocorrência de situações de instabilidade. A adição de material é muitas vezes efectuada com a construção de aterros no pé dos taludes, para além dos aterros são por vezes utilizados enrocamentos. Uma solução económica é a utilização de materiais existentes nos taludes na construção dos aterros ou enrocamentos. A construção de banquetas é comum quer nos taludes de maciços rochosos quer nos terrosos e permite uma construção mais fácil e manutenção dos taludes.

### **2.3.2. Drenagem**

As pressões relacionadas com a presença da água são críticas para a estabilidade dos taludes, pelo que a drenagem dos taludes assume uma grande importância. Com os sistemas de drenagem podem dimensionar-se taludes de altura mais elevada ou de pendor mais acentuado que não seriam estáveis na ausência da drenagem.

Nos sistemas de drenagem podemos destacar a drenagem superficial e a drenagem profunda.

A drenagem superficial mais corrente corresponde a valetas de betão que permitem a intercepção da água superficial, uma possibilidade é a utilização de valetas em escada de forma a diminuir a velocidade do escoamento da água. Outros métodos da drenagem superficial são a protecção superficial de um talude com materiais plásticos e o preenchimento de fracturas com material impermeabilizante. É igualmente possível a utilização de máscaras drenantes e de valas drenantes (esporões drenantes).

As valas de enchimento drenante são constituídas por material como a gravilha ou seixo que permite a percolação da água e podem localizar-se ao longo da máxima inclinação de um talude ou na sua base, estes últimos podem revelar-se úteis em taludes com camadas horizontais ou sub-horizontais de permeabilidade diferentes.

A drenagem profunda compreende vários métodos como: drenos sub-horizontais, poços verticais e galerias drenantes.

Os drenos sub-horizontais constituem um meio de reduzir as pressões da água, consistem numa série de furos de diâmetro reduzido (até 15 cm) e com uma inclinação aproximada de 5°. Nos maciços rochosos devem intersectar as discontinuidades onde existe percolação de água (Wyllie & Mah, 2005).

Os poços de drenagem são perfurados desde a superfície do talude e podem atingir grandes profundidades e incluem geralmente um sistema de bombagem para retirar a água.

As galerias drenantes são sistemas de drenagem que apresentam uma orientação paralela à face do talude e têm custos elevados de instalação, mas podem ser necessários em deslizamentos de dimensões elevadas ou com o nível freático a uma profundidade considerável.

### **2.3.3. Elementos de aumento de resistência do terreno**

Nos elementos de incremento de resistência dos maciços rochosos destacam-se as pregagens e as ancoragens.

As ancoragens são elementos estruturais que permitem a transmissão de uma força de tracção a um terreno, possibilitando o aumento da sua resistência ao corte (Coelho, 1996). As ancoragens são cabos ou varões de aço que são introduzidas nos terrenos em furos previamente efectuados e são constituídas por três partes distintas:

- Zona de amarração: corresponde à parte mais profunda da ancoragem e que se encontra solidária com o terreno e que lhe transmite os esforços.
- Zona livre: nesta parte não é transmitida tração ao terreno.
- Cabeça: parte exterior e onde se localiza a união entre o varão e a placa de apoio, esta parte deve ser protegida da corrosão.

As ancoragens são muitas vezes empregues em maciços rochosos fracturados, permitindo a estabilização de blocos propensos a movimentarem-se.

As pregagens correspondem a varões de aço que são introduzidos nos terrenos, de acordo com Vallejo et al. (2002) correspondem a ancoragens passivas de capacidade reduzida. São executadas de forma expedita e têm diâmetros entre 25 a 40 mm, uma extensão geralmente compreendida entre 3 a 6 metros, podendo no entanto possuir comprimentos superiores.

#### **2.3.4 Muros de suporte**

Os muros de suporte correspondem a obras de contenção que permitem sustentar, conter e proteger os taludes, em especial a sua parte inferior. Os muros permitem reduzir a extensão dos taludes (Gonzalez, 2006). Dentro dos muros de suporte destacam-se os muros flexíveis, como os gabiões, e os muros rígidos que podem ser constituídos por material rochoso ou betão e que são utilizados quando as fundações apresentam boas condições.

Os gabiões correspondem a contentores de formas rectangulares e de malha hexagonal de arame de aço galvanizado ou revestido com PVC e que são sobrepostos. Os gabiões são preenchidos com material rochoso de resistência adequada e constituem uma infra-estrutura flexível e permeável de grande aplicação (Coelho, 1996).

Os muros de pedrapleno são formados pela sobreposição de material rochoso de boa qualidade e com grau de alteração inexistente a muito reduzido. Muitas vezes utiliza-se material proveniente de áreas próximas.

Os muros de alvenaria funcionam como muros de gravidade e têm uma capacidade de deformação pouco elevada.

Os muros de betão armado permitem a redução das dimensões da estrutura de suporte, têm como inconveniente serem dispendiosos e necessitarem de boas fundações, os muros de betão podem ser ancorados. Estes últimos são utilizados de

modo a eliminar os problemas relacionados com os possíveis basculamentos que os muros podem sofrer (Figura 2.6).

### **2.3.5 Medidas de protecção e tratamento superficial**

Nas medidas de protecção e tratamento superficial destacam-se:

- Betão projectado
- Redes de protecção
- Barreiras estáticas e dinâmicas

O betão projectado corresponde a uma mistura de vários componentes como água, material inerte, cimento e aditivos, esta mistura é projectada sobre uma superfície do talude (Figura 2.7), podendo igualmente ser utilizada em túneis. Os aditivos podem ser fibras metálicas. A técnica de betão projectado simples é geralmente utilizada em taludes rochosos pouco alterados e fracturados (Gonzalez, 2006). A utilização de betão projectado pode ser reforçada através da aplicação de uma malha metálica sobre o talude ou de pregagens (Vallejo et al., 2002).

As redes de protecção metálicas são utilizadas na superfície dos taludes e permitem o controlo da queda de blocos que são frequentes em taludes rochosos diaclasados, naturais ou de escavação (Ayala-Cacerdo et al., 1987). As redes apresentam, de modo geral, uma dupla ou tripla torsão galvanizada e são semelhantes às utilizadas nos cestos dos gabiões (Saraiva, 1994). As redes metálicas são um método de contenção de instalação simples e pouco dispendioso.

As barreiras estáticas podem ser instaladas na base ou sobre a parte superficial dos taludes, têm como objectivo impedir a progressão de materiais que se instabilizam nos taludes, muitas vezes de dimensão reduzida mas que ocorrem de uma forma continuada. As barreiras metálicas são constituídas por estruturas metálicas às quais se fixam malhas metálicas de grande resistência.

As barreiras dinâmicas são utilizadas para absorver a energia de impacto de blocos rochosos ou mesmo de massas de solo instabilizado. A redução da energia cinética é efectuada através da acção da barreira e dos elementos que dissipam a energia. O dimensionamento das barreiras dinâmicas deve ser efectuado através de métodos numéricos que envolvem a dimensão, a velocidade, a energia de impacto e as trajectórias dos materiais instabilizados (Vallejo et al., 2002). São geralmente utilizadas



em locais de acesso difícil como áreas montanhosas ou vertentes de altura considerável.



Figura 2.6 – Construção de muro de betão ancorado.



Figura 2.7 – Utilização de betão projectado num talude.

## **3. Enquadramento Geográfico e Geológico**

### **3.1. Enquadramento Geográfico da área de estudo**

A área de estudo localiza-se na província da Huíla, no município do Lubango, na via rodoviária entre Lubango e o município da Humpata, esta via é de grande importância, pois esta estrada constitui a ligação principal entre duas províncias, Namibe e Lubango. O local do trabalho situa-se a aproximadamente a uma cota de 1970 a 1980 metros (Figuras 3.1 e 3.2) na Estrada Nacional 280.

O município do Lubango situa-se na província da Huíla, esta localiza-se no Sudoeste de Angola, apresenta uma área de cerca de 79 000 km<sup>2</sup> e é constituída por 13 municípios. A população total da província da Huíla é de aproximadamente 2 milhões de habitantes o que a torna como a segunda em Angola em termos populacionais (SINFIC, 2007).

#### **3.1.1. Características demográficas, económicas e sociais da zona em estudo**

A zona em estudo não apresenta habitações, mas na parte inferior da vertente verifica-se a presença de 50 casas e uma população de quase 250 a 300 pessoas que se inserem no designado bairro “A Luta Continua”. É uma zona que carece de investimentos sociais, verificando-se um incremento na construção em algumas das vertentes adjacentes à via de comunicação devido às suas características paisagísticas.

#### **3.1.2. Caracterização climática da zona em estudo**

O clima da província da Huíla apresenta características muito diferenciadas, é considerado, de modo geral, como quente ou tropical (temperatura média anual superior a 20°C), mas nas áreas de cota mais elevada pode ser classificado como temperado, em particular como temperado quente. O mês de temperaturas mais baixas é o de Julho e os meses de temperaturas mais elevadas são os de Outubro e Novembro, sendo a temperatura média do mês mais quente, geralmente, mais elevada que 22°C (SINFIC, 2007). A amplitude da variação anual da temperatura do ar

é quase sempre inferior a 10°C. Nos meses mais frios podem verificar-se, se bem que de modo excepcional temperaturas mais baixas que 0°C.

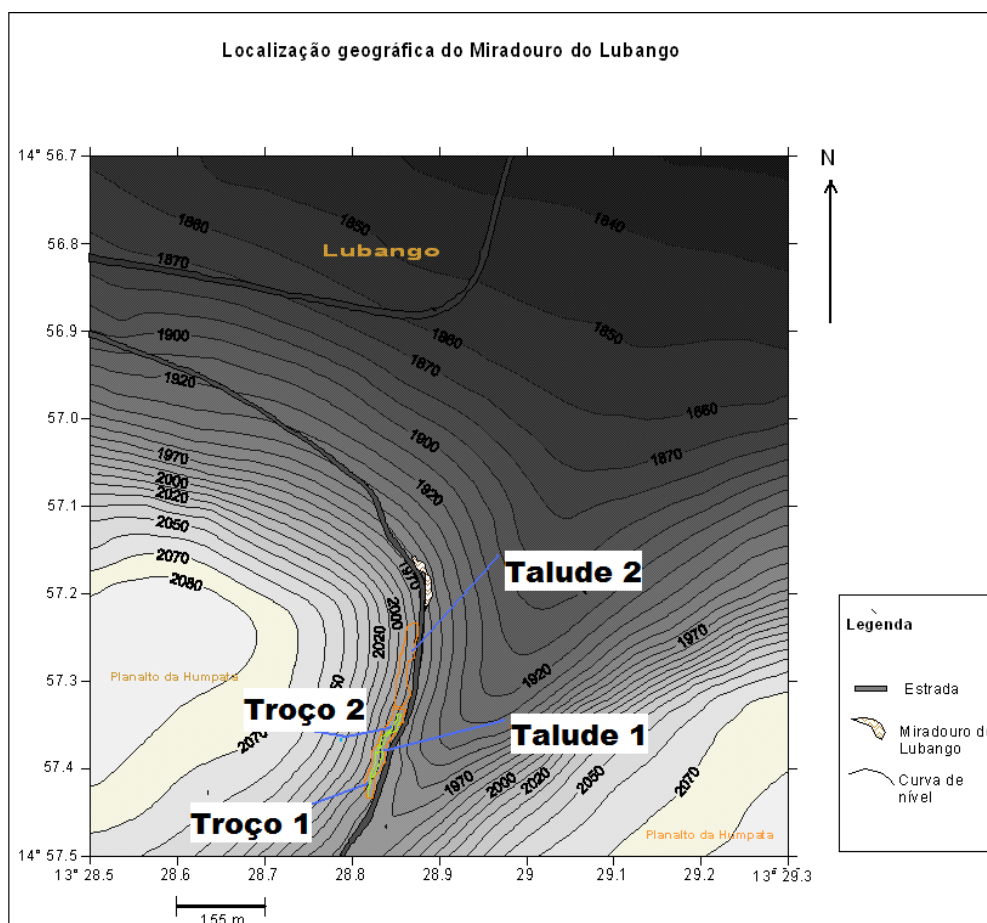


Figura 3.1 – Localização da área de estudo.



Figura 3.2 – Localização dos taludes estudados (Google Earth (2010)).

De acordo com a classificação climática de Thornthwaite, na parte Nordeste da província da Huíla, o clima é húmido. No extremo sudoeste da província é considerado como semi-árido.

A estação chuvosa decorre nos períodos de temperatura mais elevada, que normalmente decorrem entre Outubro a Abril. Nestes meses as temperaturas médias apresentam uma variação entre 19°C a 21°C e a precipitação varia entre os valores de 600 e 1200 mm. Na zona planáltica da Humpata que tem uma altitude muito elevada de aproximadamente 2000 metros, é onde ocorre uma maior precipitação. A intensidade pluviométrica é maior entre Janeiro e finais de Março,

O gráfico da Figura 3.3 mostra os valores da precipitação, no período 1944 – 1975, de 3 estações meteorológicas localizadas em municípios da província da Huíla: Caconda, Tchimbemba e Sá da Bandeira (actual Lubango) (SINFIC, 2007). O gráfico da Figura 3.1 permite a definição clara da estação das chuvas, em relação à estação seca.

O município de Caconda, localizada no Norte da província de Huíla, possui os valores pluviométricos mais elevados, registando valores de precipitação média mensal, ligeiramente inferiores a 300 mm no mês de Março.

Tchibemba localiza-se no Sul da província de Huíla, no município de Gambos, e apresenta os valores mais baixos de pluviosidade.

O município do Lubango (Sá da Bandeira) possui registos pluviométricos intermédios, quando comparados com os das estações de Caconda e Tchibemba.

O gráfico da Figura 3.4 representa, a variação da temperatura média diária do ar, em termos mensais, que foi registada entre 1944 – 1975, nas três estações meteorológicas já referidas, é possível verificar que Lubango que possui a altitude mais elevada, apresenta a temperatura média diária mais baixa.

### **3.3. Enquadramento Geomorfológico e Geológico**

#### **3.3.1. Geomorfologia**

Por definição, a geomorfologia é a ciência que estuda e interpreta as formas do relevo terrestre e os mecanismos responsáveis pela sua modelação.

A província da Huíla apresenta cotas elevadas, a maior parte superior a 1000 metros. A área da província é caracterizada por uma peneplanície de grandes dimensões que se prolonga para a parte central de Angola.

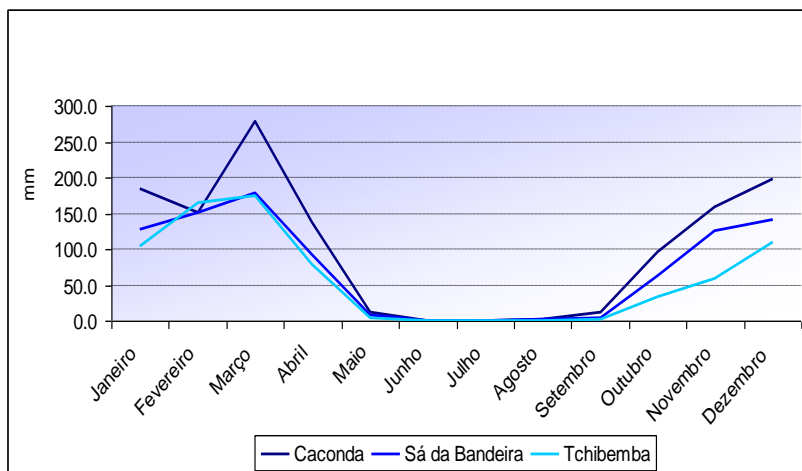


Figura 3.3 – Registo da precipitação mensal de três estações meteorológicas situadas na província da Huíla (SINFIC, 2007).

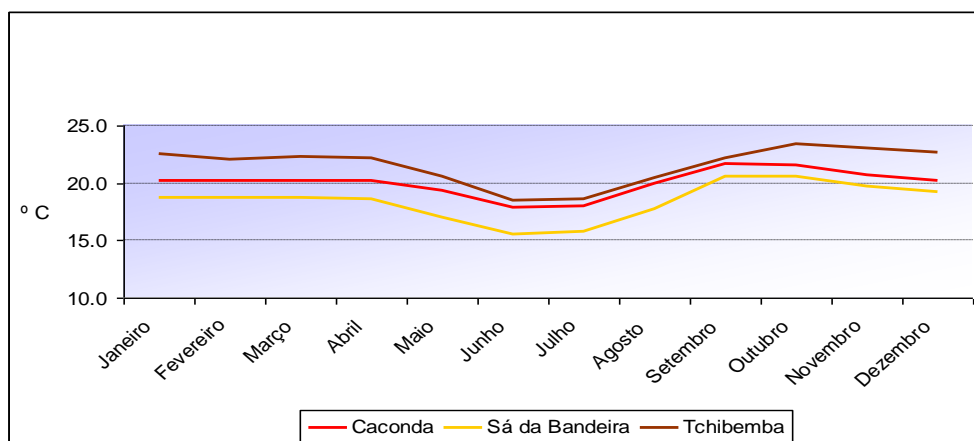


Figura 3.4 – Registos da temperatura média diária do ar, em termos mensais, de três estações meteorológicas situadas na província da Huíla (1944 – 1975) (SINFIC, 2007).

O relevo (Fig. 3.5) é afectado por uma erosão activa que está relacionada com uma pluviosidade regional considerável. Os processos erosivos originaram um relevo abrupto, designadamente na zona de transição da região planáltica para a subplanáltica (Feio, 1981).

A província da Huíla é constituída por grandes unidades geomorfológicas: a Faixa Subplanáltica (localizada no Noroeste e ainda numa diminuta área no Sudoeste); a

Montanha Marginal (no Oeste provincial); o Planalto Antigo (na parte Norte) e o Baixo Cunene (na parte Sul). Todas estas unidades geomorfológicas possuem características, designadamente em termos de cota, que as distinguem umas das outras e permitem a sua distinção em termos paisagísticos (SINFIC, 2007).

Um dos aspectos mais importantes da Geomorfologia da província da Huíla é a presença de cadeia marginal montanhosa que se localiza na parte Oeste da província da Huíla, esta possui uma orientação aproximadamente Norte-Sul e que pode ser diferenciada em dois maciços: a Serra da Chela na parte sul e a Serra da Chicuma na parte norte, na primeira podem verificar-se desníveis significativos que podem ser superiores a 1000 metros na parte ocidental da cadeia montanhosa.

A área da província que possui as cotas mais elevadas é designada como “Planalto de Humpata”, este faz parte da Serra da Chela e abrange a parte Sudoeste do município de Lubango, nesta área são frequentes altitudes superiores a 2000 metros, constituindo o nível de cota mais elevada do SW de Angola. O planalto apresenta uma estratificação próxima da horizontal, revelando uma estrutura tabular. As principais causas do revelo apresentado pelo Planalto de Humpata estão relacionadas com a acção tectónica e os processos erosivos que se mantêm até aos dias de hoje e produziram uma morfologia de escarpa de erosão. É de mencionar que na área de trabalho os valores de cota são de cerca de 1970 a 1980 metros.

Em relação a planos de falhamento há a destacar o que se situa ao longo do vale onde se localizam os taludes rodoviários estudados, esta falha tem uma extensão de vários quilómetros e na área estudada tem uma orientação NE-SW, no entanto é de assinalar que Feio (1981) consideram-na apenas uma flexura.

Na área de Lubango verifica-se a existência de algumas linhas de água permanentes, mas na maior parte das vezes as linhas de água são temporárias e só apresentam caudais significativos nos períodos de maior precipitação.

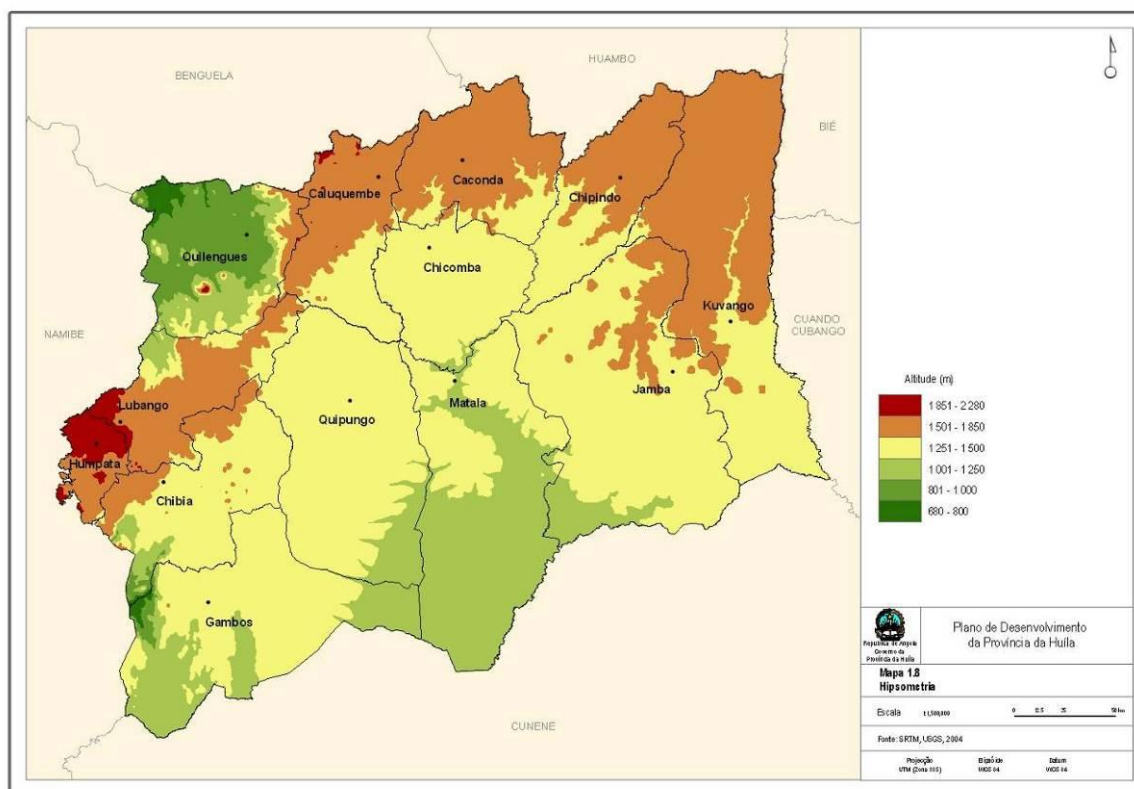


Figura 3.5 - Altimetria da província da Huila (Sinfic,2007).

### 3.3.2. Enquadramento geológico regional

Na província da Huíla destacam-se as formações do Précâmbrico e do Cenozóico, as primeiras afloram em cerca 2/3 da área da província e correspondem em grande parte a um soco de origem metamórfica e intrusiva, as formações mais antigas têm idades de aproximadamente 2000 milhões de anos (Vale, 1968).

As rochas graníticas afloram em grande parte da área da província da Huíla e pertencem às formações eruptivas do Maciço Antigo. Verifica-se a presença importante de rochas sedimentares (e também sedimentares metamorizadas) como calcários, xistos, arenitos, quartzitos, grauvaques, arcoses e argilitos, designadamente na área da Serra da Chela (SINFIC, 2007) (Figura 3.6). Nos limites oeste da área urbana de Lubango, verifica-se o contacto entre rochas de origem vulcano-sedimentar por vezes metamorfasadas (Grupo Chela) e o granito existente em Lubango.

As rochas graníticas na área de Lubango têm uma idade Précâmbrica, superior a 2250 milhões de anos e possuem variações texturais e de composição mineralógica, podendo ser definidas desde granitos de grão fino a grosseiro, granitos porfiróides, granodioritos a granitos gnáissicos.

Andrade (1954) mencionou que o granito apresenta como minerais mais comuns: plagioclases (principalmente a oligoclase e a albite), quartzo, biotite e minérios de ferro. A coloração do granito é geralmente rosa podendo apresentar tonalidades acizentadas, a textura é granular enquanto a granulometria é fina a grosseira. Os granitos podem ser porfiróides e de acordo com Vale (1971) a composição mineralógica apresenta como mineral mais importante a microclina, sendo também frequentes a ortoclase, a oligoclase e a biotite.

Numa área considerável nas imediações a Leste da área urbana de Lubango afloram migmatitos, pertencentes ao Complexo de Base e que possuem tonalidade pardas e como minerais essenciais, segundo Vale (1971), a microclina, a plagioclase, o quartzo e a hornblenda.

O planalto da Humpata apresenta na sua constituição um conjunto de rochas sedimentares e vulcanoclásticas que são parte integrante do Grupo Chela, as rochas desta formação repousam directamente sobre o granito aflorante na área de Lubango. A Formação Chela é constituída por duas importantes unidades litoestratigráficas (Correia, 1976):

- Grupo Chela
- Formação Leba

A espessura máxima do Grupo Chela pode ser superior a 500 metros, no entanto na escarpa leste do Planalto da Humpata não é superior a 100 metros (Correia, 1976).

O Grupo Chela inclui as “Séries Inferior e Média” de Vale (1968, 1971), enquanto a Formação Leba engloba a designada “Série Superior” de Vale (1968, 1971).

O Grupo Chela é anterior à Formação Leba, o primeiro tem idade provável do Précâmbrico Superior de acordo com os estudos de Torquato (1974) e Carvalho et al. (1979), segundo Carvalho & Alves (1993), a sua idade será proterozóica, entre 1100 a 1400 milhões de anos, a sua formação está relacionada com processos sedimentares que se verificaram numa fossa tectónica de dimensões consideráveis (Correia, 1976). De modo geral a estratificação do Grupo Chela é horizontal a subhorizontal. O Grupo Chela é constituído por quatro formações, desde a mais antiga até à mais recente: Formação da Tundavala, Formação da Humpata, Formação do Bruco e Formação de Cangalongue.



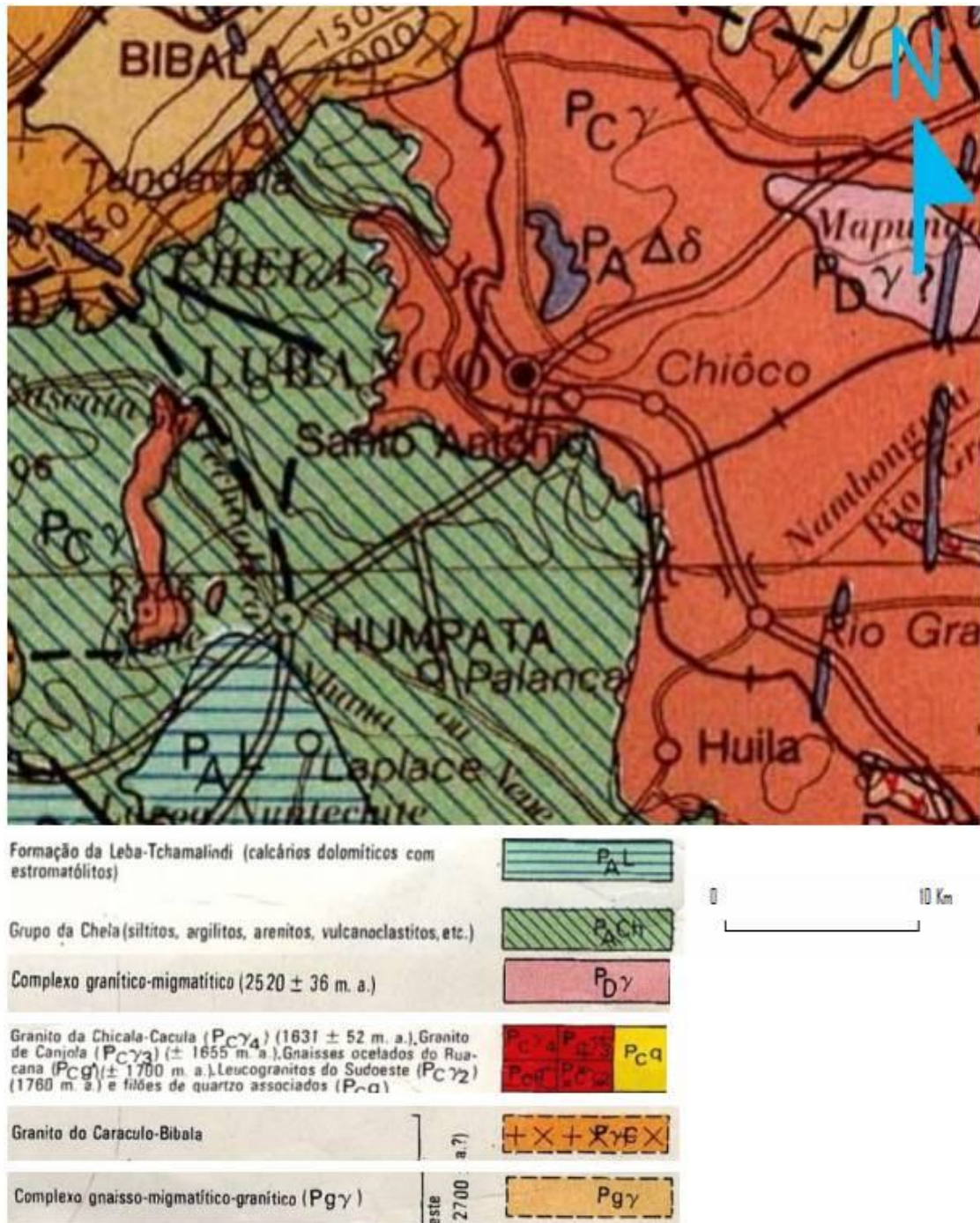


Figura 3.6 – Formações geológicas das áreas de Lubango e Humpata.

Os taludes estudados localizam-se na Formação da Tundavala, esta corresponde a um conjunto homogéneo, principalmente de rochas areníticas e que têm um conglomerado basal. O contacto da Formação Tundavala com as rochas graníticas do soco corresponde a uma discordância, por vezes ocorrendo por falha, no entanto é preciso realçar que este contacto é geralmente ocultado por depósitos de vertente. Correia (1976) procedeu à distinção de três grupos na Formação da Tundavala que

designou por: Membro conglomerático da Hunguéria (situado na base); Membro quartzo-arenítico da Senhora do Monte e Membro arenítico Techalundianga (situado no topo).

A Formação da Humpata apresenta-se constituída por conjunto de rochas vulcanoclásticas com uma espessura geralmente entre 100 a 150 metros, mas podendo atingir 200-300 metros. As rochas constituintes correspondem a cinzas vulcânicas, muitas vezes de cores avermelhadas, têm grão fino e composição siliciosa, muitas vezes vitrificadas, compactas e densamente fracturadas.

A Formação Bruco é constituída principalmente por rochas areníticas e apresenta uma espessura de 100 metros. Os arenitos revelam uma resistência elevada aos processos erosivos, o que está relacionado com a sua composição siliciosa.

A Formação de Cangalongue apresenta lutitos e xistos argilosos de cores avermelhadas e amareladas e tem uma espessura máxima de 70 metros

A Formação Leba é outra unidade litoestratigráfica da Formação Chela que é predominante no planalto da Humpata, as suas unidades são carbonatadas e correspondem a calcários dolomíticos e estromatolíticos (Correia, 1976), ocorrem algumas intrusões doleríticas. A Formação Leba tem uma espessura que pode atingir aproximadamente 100 metros e apresenta manifestações cárnicas (Kalukembe, 2010).

### **3.3.3. Enquadramento geológico local**

Os taludes que foram estudados neste trabalho localizam-se no Grupo Chela, mais concretamente na Formação Tundavala.

O material rochoso constitui os taludes é quartzo-arenítico e apresenta cores esbranquiçadas, amareladas, acastanhadas ou róseas, estas últimas aparecem associadas a fenómenos de oxidação. Os quartzo-arenitos apresentam-se de aspecto homogéneo, geralmente compactos, com uma densidade intermédia. O mineral principal é o quartzo, outros minerais como os feldspatos ou a moscovite são em termos percentuais inferiores a 5%. As percentagens elevadas de quartzo são indicadores de maturidade elevada. Os quartzo-arenitos revelam uma textura granular e grão médio a fino, alguns grãos de quartzo possuem tonalidades acizentadas enquanto outros apresentam-se esbranquiçados. O cimento é quartzoso, podendo ser quartzo-hematítico com as conseqüentes tonalidades rosadas, verificando-se uma presença reduzida da matriz, os grãos apresentam-se, de modo geral, arredondados. É por vezes visível a estratificação entrecruzada.

De acordo com Vale (1971) os quartzitos ou quartzo-arenitos da Formação Tundavala constituem formações rochosas resistentes, o que está associado à composição quartzosa. Nos quartzo-arenitos constata-se um incremento do grau de resistência com uma maior presença de cimento silicioso. É de assinalar que os quartzo-arenitos possuem por vezes um aspecto mais pulverulento na parte superficial do maciço rochoso, com o aumento do grau de alteração revelam-se mais friáveis e de aspecto mais arenoso.

Nos taludes em estudo, existem depósitos que se localizam na sua parte superior e que estão relacionados com os processos erosivos e também com situações de instabilidade das formações localizadas superiormente aos taludes. Os elementos mais grosseiros dos depósitos são de várias dimensões, têm características de fragmentação elevada e podem atingir os  $0,30 \text{ m}^3$ . A sua composição é variável mas com um predomínio de quartzitos, quartzo-arenitos e arenitos, também se verifica a presença de material arenoso. Os depósitos apresentam-se por vezes pouco consolidados.

A espessura dos depósitos no talude 1 apresenta-se variável desde um valor aproximado de 1 metro no primeiro troço até uma espessura máxima de 1,5 metros no segundo troço. No talude 2 a espessura dos depósitos é superior à encontrada no talude 1, definindo-se uma espessura entre 1,0 e 2,5 metros.

Os depósitos possuem permeabilidade mais elevada do que os quartzo-arenitos, nestes últimos a percolação da água circula pelas fracturas, é de realçar que algumas descontinuidades de pendor próximo da vertical apresentam uma abertura que pode indiciar alguma facilidade de percolação de água apesar de não se verificarem situações de fluxo de água nas superfícies das descontinuidades.

Nos taludes estudados, designadamente no talude 1 verifica-se a presença de vários blocos tombados, alguns dos blocos revelam um grau de alteração mais elevado do que o maciço rochoso, é de destacar que se apresentam com formas aproximadamente cúbicas e paralelepípedicas e têm dimensões que variam geralmente entre  $0,05$  e  $0,5 \text{ m}^3$ , por vezes alcançam volumes de  $1,5 \text{ m}^3$ .

## **4. METODOLOGIA**

Nos estudos sobre a estabilidade de taludes devem efectuar-se levantamentos geológicos e estruturais das descontinuidades expostas no maciço rochoso em causa, procedendo-se igualmente à obtenção de fotografias.

Deve elaborar-se um inventário relativo à descrição dos parâmetros morfológicos do movimento, designadamente em relação à altura do local da ruptura do movimento; a orientação do movimento; a forma do talude e a sua exposição; o declive do talude na área afectada; a área afectada e a extensão longitudinal e transversal do movimento.

A caracterização das descontinuidades deve compreender a definição de: orientação, espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, material de preenchimento, presença de água, estado de alteração, resistência das superfícies das descontinuidades e número de famílias.

### **4.1. Considerações gerais sobre a metodologia do trabalho efectuado**

Para realização deste trabalho identificou-se uma área relativa a taludes rodoviários em que se verificou a presença de situação de instabilidade.

Depois de identificar o problema, efectuou-se a sua caracterização de modo a analisar as possíveis causas e indicar as possíveis soluções. No local de estudo procedeu-se a uma caracterização geológica através da observação macroscópica e utilização do martelo de geólogo, recolheram-se dados usando instrumentos como a bússola para medir o pendor e a direcção das descontinuidades, o martelo de Schmidt para avaliar a dureza das formações rochosas desde as mais alteradas até as pouco alteradas; também se utilizou a fita métrica para medir algumas características das descontinuidades como o espaçamento, a continuidade, a profundidade e a abertura, bem como parâmetros geométricos dos taludes, as dimensões da plataforma da via rodoviária, a vala que se encontra no local; os dados foram devidamente registados numa caderneta de campo. No estudo efectuado fotografou-se toda a extensão dos taludes estudados e recorreu-se a imagens do Google Earth, a cartas geológicas do SW de Angola e da área de Lubango.

Anteriormente à definição das medidas de redução e mitigadoras das ocorrências das instabilidades de um determinado talude ou vertente, devem conhecer-se as

características geológicas dos materiais constituintes dos taludes; bem como definir os possíveis modelos ou mecanismos de ruptura que se podem verificar.

Para o estudo dos taludes procedeu-se à aplicação das classificações de Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski (1976, 1979, 1989) e de Slope Mass Rating (SMR) de Romana (1996).

A classificação RMR permite uma aplicação generalizada para diferentes tipos de obras de engenharia como fundações ou túneis, a classificação SMR de Romana está relacionada com o estudo de taludes.

A elaboração de um projecto de estabilização compreende três fases distintas: diagnóstico, solução e monitorização.

## **4.2. Classificação RMR**

Em 1976, Bieniawski estabeleceu a classificação geomecânica que é designada como sistema Rock Mass Rating (RMR), este foi elaborado a partir da grande experiência do autor em obras subterrâneas. A classificação tem uma vasta utilização e tem sido sucessivamente refinada à medida que são incluídos os resultados de análises de um maior número de casos práticos. Bieniawski procedeu a actualizações do sistema RMR nos anos de 1979 e de 1989, neste último ano foi apresentada uma versão onde as características relativas às descontinuidades são definidas de um modo mais completo.

No sistema RMR são utilizados os seguintes parâmetros:

1. Resistência à compressão uniaxial da rocha intacta;
2. RQD (“Rock Quality Designation”);
3. Espaçamento das descontinuidades;
4. Condição das descontinuidades;
5. Influência da água;
6. Orientação das descontinuidades.

A cada parâmetro são atribuídos valores ponderais, efectuando-se o somatório dos vários parâmetros, este último varia entre 0 e 100.

Esta classificação aplica-se aos maciços rochosos e implica a definição de várias zonas, de modo a serem classificadas de modo separado. Os limites destas zonas, de

modo geral, correspondem a estruturas geológicas principais, como falhas ou variações litológicas.

Quadro 4.1 - Sistema "Rock Mass Rating - RMR" (adaptado de Bieniawski (1989)).

Parâmetros			Coeficientes						
1	Resistência da rocha intacta	Point Load	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Ver compressão uniaxial		
		Compressão uniaxial	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Pesos		15	12	7	4	2	1	0
2	R. Q. D.		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	< 25 %		
	Pesos		20	17	13	8	3		
3	Espaçamento das descontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
	Pesos		20	15	10	8	5		
4	Condição das descontinuidades (ver Tabela 3)		Superfícies muito rugosas, não contínuas, sem separação, paredes de rocha não alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, separação ≤ 1 mm, paredes ligeiramente alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, separação ≤ 1 mm, paredes muito alteradas	Superfícies polidas ou enchimento com espessura ≤ 5 mm ou juntas contínuas com separação 1-5 mm	Enchimento mole com espessura > 5 mm ou juntas contínuas com separação > 5 mm		
	Pesos		30	25	20	10	0		
5	Presença de água	Caudal por 10 m de comprimento do túnel	nenhum	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min		
		Relação pressão da água vs tensão principal máxima	0	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condições gerais	Completamente seco	Água intersticial	Húmido	Escorrimentos	Entrada de água		
	Pesos		15	10	7	4	0		

#### 4.2.1. Resistência do Material Rochoso na classificação RMR

A resistência das rochas está relacionada com a sua estrutura interna. Nas rochas a resistência é uma propriedade de grande importância uma vez que traduz a facilidade ou dificuldade com que uma rocha se desgasta quando submetido à acção da água, do vento e do gelo nos processos de erosão e transporte.

Os maciços rochosos são constituídos pelo material rochoso e pelas descontinuidades, a rotura nos maciços é condicionada pelas características das descontinuidades presentes.

Na classificação RMR a resistência do material rochoso é definida pela resistência à compressão uniaxial ou pela resistência à carga pontual.

Uma estimativa da resistência à compressão uniaxial do material rochoso intacto pode ser encontrada pelos valores da dureza de Schmidt (R) (Figura 4.1) que é determinada pelo martelo de Schmidt (tipo L).

No presente trabalho determinou-se o valor médio de R através das recomendações da ISRM (1981).

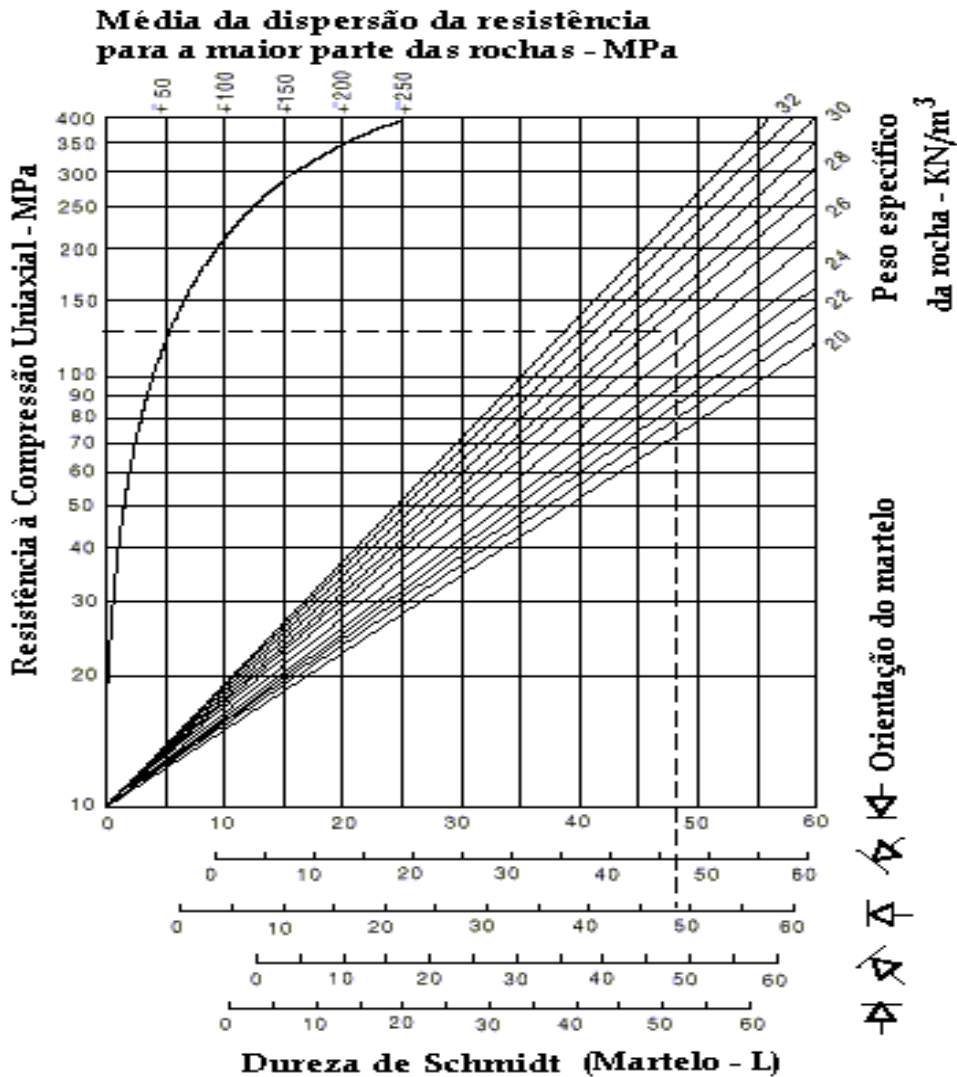


Figura 4.1 – Ábaco de Deere & Miller (1966) para a determinação da resistência à compressão uniaxial ( $\sigma_c$ ) a partir de R.

#### 4.2.2. Rock Quality Designation (RQD)

O RQD pode ser determinado de acordo com Palmstrom (1982) (expressão 4.1) quando não existem amostras recolhidas a partir de sondagens mas conseguem identificar-se as superfícies das discontinuidades nos afloramentos rochosos. O valor de RQD é expresso em valores percentuais (Quadro 4.2).

$$RQD = 115 - 3,3 J_v \quad (4.1)$$

$J_v$  corresponde ao índice de diaclasamento volumétrico (somatório do número de descontinuidades por unidade de comprimento, para as várias famílias consideradas).

O  $J_v$  traduz o número total de fracturas por metro cúbico. Para três famílias de descontinuidades o valor de  $J_v$  pode ser definido pela expressão 4.2.

$$J_v = \frac{1}{Esp(F)} + \frac{1}{Esp(O)} + \frac{1}{Esp(S)} \quad (4.2)$$

$Esp$  é relativo ao espaçamento; F, O e S correspondem às designações das famílias das descontinuidades.

Quadro 4.2 - Classificação dos maciços com base no RQD.

RQD (%)	Qualidade do Maciço
0 – 25	Muito Fraco
25 – 50	Fraco
50 – 75	Razoável
75 – 90	Bom
90 – 100	Excelente

#### 4.2.3. Características das descontinuidades

Considera-se como descontinuidade qualquer interrupção de uma determinada formação. Os tipos mais frequentes de descontinuidades que se podem observar são: falha; estratificação; diaclase; foliação; clivagem de fracturas; xistosidade.

Para maciços que possuam até três ou quatro famílias de descontinuidades é necessário estudar as características da fracturação, quanto à sua resistência ao corte e à sua atitude, pois são elas as principais responsáveis pela rotura do maciço. No caso de maciços de fracturação aleatória e/ou alterados, estes podem ser considerados, em alguns casos, como homogéneos e isotrópos, neste caso a resistência é definida por valores médios dos parâmetros que caracterizam a resistência do maciço, ou seja, uma coesão média e um ângulo de atrito médio, função da resistência das descontinuidades e da rocha.



#### 4.2.3.1. Orientação das descontinuidades

Nas descontinuidades, os parâmetros como a direcção e o pendor permitem a definição da orientação das descontinuidades, para a sua determinação utiliza-se uma bússola com clinómetro.

Em termos gráficos as coordenadas das descontinuidades podem representar-se através da projecção estereográfica, diagramas de roseta, representações tridimensionais ou de símbolos em mapas geológicos.

A Figura 4.2 apresenta um plano de descontinuidade, as coordenadas deste plano são expressas através do pendor e da direcção do pendor.

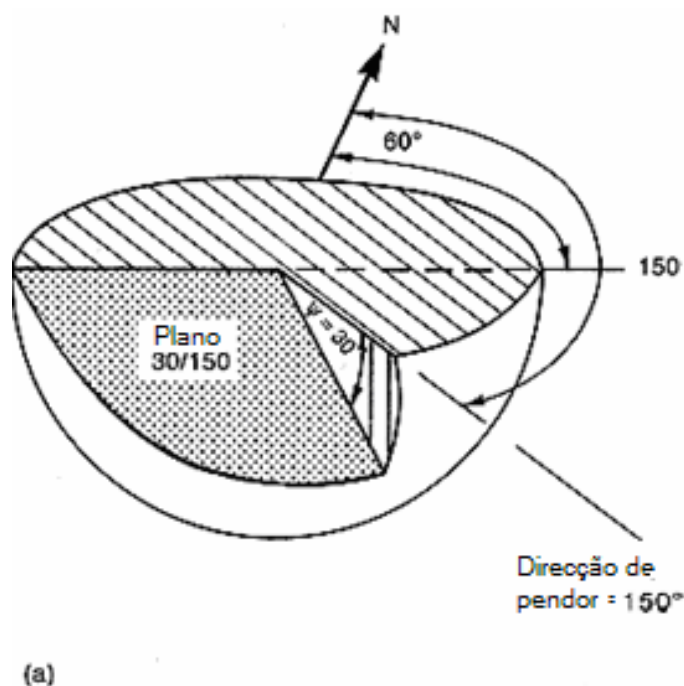


Figura 4.2 - Definição da orientação do plano duma descontinuidade de coordenadas geológicas: N60°E, 30°SE.

#### 4.2.3.2. Espaçamento das descontinuidades

O espaçamento das descontinuidades é definido através da distância medida perpendicularmente entre descontinuidades da mesma família e que são adjacentes.

Neste trabalho utilizou-se uma fita métrica para medir o espaçamento, cuja extensão é de 5 metros e com um grau de precisão da ordem de 1 mm. As várias classes de espaçamento estão representadas no Quadro 4.1.

#### 4.2.3.3. Continuidade

A continuidade influencia de modo determinante o comportamento geomecânico dos maciços rochosos, em particular a sua resistência. Considera-se que as descontinuidades horizontais apresentam uma persistência elevada, interrompendo sistematicamente as descontinuidades pertencentes às outras famílias.

A determinação da persistência está condicionada com a dimensão dos afloramentos rochosos ou taludes, quando as descontinuidades se prolongam para o interior do maciço rochoso a sua determinação apresenta uma menor precisão.

#### 4.2.3.4. Rugosidade

A rugosidade das superfícies das descontinuidades é determinada ao longo de uma linha ou superfície. Neste trabalho optou-se pela caracterização da rugosidade das descontinuidades de acordo com a classificação RMR que contém os termos desde muito rugoso a liso, atribuindo-se valores ponderados (Quadro 4.3).

Quadro 4.3 – Classificação da rugosidade de acordo com o sistema RMR (Bienawski, 1989).

Rugosidade das superfícies de descontinuidade	Muito rugoso	Rugoso	Ligeiramente rugoso	Quase liso	Liso
Valor ponderado	6	5	3	1	0

#### 4.2.3.5. Abertura e enchimento das descontinuidades

A abertura corresponde à distância que separa as superfícies adjacentes de uma descontinuidade na qual o respectivo espaço está preenchido por ar ou água, esta distância é medida perpendicularmente às paredes da descontinuidade. Enchimento é a designação para o material que ocupa o espaço entre as paredes da descontinuidade e que poderá ser muito diversificado, como por exemplo: calcite, quartzo, argila, silte, milonito de falha e material de brecha.

A abertura é considerada fechada quando, quando a distância entre as paredes da descontinuidade é nula. A abertura e o tipo de enchimento tem uma influência determinante nos parâmetros geotécnicos de um maciço: resistência, deformabilidade e permeabilidade (Andrade, 2008). No presente trabalho utilizou-se a classificação

RMR para enquadrar os valores da abertura e do material de preenchimento (Quadros 4.4 e 4.5).

Quadro 4.4 – Classificação da condição de descontinuidades para abertura (Bieniawski, 1989).

Abertura	Nenhuma	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
Valor ponderado	6	5	3	1	0

Quadro 4.5 – Classificação do material de preenchimento (Bieniawski, 1989).

Enchimento	Nenhum	Duro com espessura <5 mm	Duro com espessura >5 mm	Mole com espessura <5 mm	Mole com espessura >5 mm
Valor ponderado	6	4	2	2	0

#### 4.2.3.6. Estado de alteração das descontinuidades

O material rochoso pode apresentar-se alterado devido à actuação dos agentes de meteorização.

Na proximidade das descontinuidades, e em zonas de maior densidade de fracturação ou esmagamento, o grau de alteração é mais elevado, muitas vezes como resultado da oxidação dos minerais ferromagnesianos (particularmente da biotite), o que confere ao material rochoso uma tonalidade amarelada.

O aumento da intensidade do grau de alteração, pode levar à arenização das formações graníticas, o que ocorre na área da cidade de Lubango.

A classificação da alteração das superfícies das descontinuidades foi estabelecida pela observação macroscópica, compressão manual, emprego do martelo de geólogo, bem como pela aplicação do martelo de Schmidt. Para a classificação do grau de alteração das superfícies de descontinuidade utilizou-se a classificação descrita no Quadro 4.6 e que pertence ao sistema RMR de Bieniawski (1989).

Quadro 4.6 - Classificação da condição das descontinuidades de acordo com o seu grau de alteração (Bieniawski, 1989).

Grau de alteração	Não alteradas	Ligeiramente alterada	Moderadamente alterada	Muito alteradas	Decompostas
Valor ponderado	6	5	3	1	0

#### 4.2.3.7. Presença da água nas descontinuidades

Um dos contribuintes fundamentais da alteração das rochas é a presença da água, contribuindo igualmente para a erosão dos solos. A água constitui o agente principal do surgimento das instabilidades. Nos taludes rochosos, a percolação efectua-se principalmente através da rede de fracturação, no entanto é de realçar que em algumas formações rochosas sedimentares a percolação da água se processa, de forma considerável, através da matriz rochosa. A percolação da água ao longo das fracturas provoca o incremento da pressão nas superfícies das descontinuidades e provoca a lubrificação das mesmas, em particular se existirem minerais argilosos (Ayala-Cacero et al., 1987). A presença da água é classificada desde a sua ausência até a uma percolação de forma contínua (Quadro 4.1).

### 4.3. Classificação Slope Mass Rating

Utilizou-se a classificação SMR de Romana (1993, 1996) como método de avaliação das situações de instabilidade nos taludes estudados.

O SMR é obtido a partir da classificação Rock Mass Rating, ao valor desta última é adicionada o produto de uma série de factores de ajustamento que estão relacionados com a orientação das descontinuidades presentes no talude rochoso e com o tipo de movimento (Quadro 4.7), deve igualmente adicionar-se um factor que é definido pelo método utilizado na escavação ou desmonte do talude (Expressão 4.3).

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \quad (4.3)$$

- F1 é estabelecido através da diferença em valor absoluto entre as direcções das descontinuidades e do talude. Os valores obtidos podem ajustar-se aproximadamente segundo a expressão (4.4)

$$F1 = [1 - \text{sen}(\alpha_j - \alpha_s)]^2 \quad (4.4)$$

Sendo que  $\alpha_j$  e  $\alpha_s$  representam, respectivamente, os valores angulares respectivos da direcção de pendor das diaclases e do talude.

F1 varia entre 1,0 (quando as direcções do pendor das descontinuidades e do pendor são paralelas) e 0,15 (quando o ângulo entre as direcções é maior que 30°, nesta situação a probabilidade de rotura é muito baixa).

F2 está relacionado com a inclinação das descontinuidades. Os valores de F2, para as situações de rotura planar, podem definir-se segundo a expressão (4.5):

$$F2 = \text{Tg} \beta_j \quad (4.5)$$

sendo  $\beta_j$  o valor angular da inclinação das descontinuidades. F2 possui uma variação entre 1,0 (para descontinuidades com pendor é mais elevado que 45° ou que estão associadas à rotura por basculamento) e 0,15 (para descontinuidades cujo pendor é menor que 20°). F2 para as situações de rotura por toppling é igual a 1,0.

F3 é função da diferença entre as inclinações das descontinuidades e do talude. Se o pendor médio das descontinuidades é igual ao do talude, este último é definido como parcialmente estável. Para as roturas planares considera-se uma situação muito desfavorável se as descontinuidades assumem um pendor inferior a 10° ao pendor do talude. Na definição da possibilidade de rotura por basculamento não se assume esta como desfavorável ou muito desfavorável, pois este tipo de instabilidades ocorre poucas vezes de forma brusca (Romana, 1996).

• F4 está relacionado com o método de desmonte do talude considerado (Quadro 4.8), pode distinguir-se em:

- a) Taludes naturais ou vertentes;
- b) Desmonte de pré-corte;
- c) Desmonte com explosivos do tipo “smooth blasting”;
- e) Desmonte com explosivos ou escavação mecânica;
- f) Desmonte defeituoso por explosivos.

O factor F4 apresenta os valores:

- Taludes naturais ou vertentes: + 15
- Desmonte por explosivos do tipo “smooth blasting”: + 8

- Desmorte por explosivos ou escavação mecânica: 0 (zero)
- Desmorte por explosivos considerado defeituoso: - 8

O valor do SMR é calculado para as várias famílias de descontinuidades representativas do talude e devem assumir-se os valores mais reduzidos.

A partir do valor do SMR e da avaliação da estabilidade, que é definida em 5 classes (Quadro 4.9), podem adoptar-se medidas de estabilização como:

SMR > 65 → Não são efectuadas medidas de estabilização (possível retirada de blocos instáveis).

70 > SMR > 45 → protecção do talude (utilização de redes metálicas, valas na parte inferior dos taludes, protecção no pé dos taludes).

75 > SMR > 30 → reforço do talude (utilização de pregagens, ancoragens).

60 > SMR > 20 → utilização de betão (betão projectado, contrafortes, muros no pé do talude).

40 > SMR > 10 → utilização de drenagem (superficial, profunda).

30 > SMR > 10 → alteração da geometria do talude e muros de contenção.

Quadro 4.7 - Classificação geomecânica SMR (Romana, 1996).

Factor de ajustamento para a orientação das descontinuidade (F1,F2,F3)						
Tipo de situação		Muito favorável	Favorável	Normal	Desfavorável	Muito desfavorável
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	>30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180° $					
P/T	F <sub>1</sub>	0,15	0,40	0,70	0,85	1
P	$\beta_j$	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	F <sub>2</sub>	0,15	0,40	0,70	0,85	1
T	F <sub>2</sub>	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	>10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
	T	$\beta_j + \beta_s$	<110°	110°-120°	>120°	-
P/T	F <sub>3</sub>	0	- 6	- 25	- 50	- 60

P: rotura planar; T: rotura por basculamento;  $\alpha_s$ : direcção do pendor do talude;

$\beta_s$ : pendor do talude;  $\alpha_j$ : direcção do pendor das diaclases;  $\beta_j$ : pendor das diaclases

Quadro 4.8 - Factor de ajuste de acordo com o método de escavação ( $F_4$ )

Método	Talude natural	Pré-corte	Desmonte com Explosivos tipo “smoth blasting”	Desmonte com Explosivos ou Escavação mecânica	Desmonte com explosivos deficientes
$F_4$	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

Quadro 4.9 - Classificação da estabilidade

Classe	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 – 40	41 - 60	61 - 80	81 – 100
Descrição	Completamente Instável	Instável	Parcialmente instável	Estável	Completa. Estável
Roturas	Roturas de grandes dimensões por planos contínuos ou roturas do tipo solo	Roturas planares ou roturas por cunha de grandes dimensões	Algumas roturas planares ou muitas roturas por cunha	Alguns blocos	Nenhuma
Sustimento	Re-escavação	Correcção	Sistemático	Ocasional	Nenhum

#### 4.4. Classificação Rockfall Hazard Rating System

No presente trabalho utilizou-se a classificação que tem como designação original: “Rockfall Hazard Rating System” (RHRS), esta pode ser denominada em português como Sistema de Avaliação do Perigo de Queda de Blocos Rochosos. A classificação foi estabelecida por um organismo público dos Estados Unidos que tem a denominação de Divisão de Auto-Estradas do Estado de Oregon (Pierson et al., 1990).

Na classificação RHRS procede-se à definição das condições de estabilidade relativas a cada talude com vista à definição do risco relacionado com os desprendimentos de rochas para a circulação automóvel em vias de comunicação rodoviária. Os diferentes parâmetros constituintes da classificação RHRS são (Quadro 4.10):

- Altura do talude
- Capacidade de retenção da vala
- Risco médio para veículos
- Distância de visibilidade de decisão
- Largura da plataforma da via
- Caracterização geológica

- Dimensão dos blocos
- Condições climáticas e presença de água no talude
- Registo histórico da queda de blocos

Cada um dos parâmetros é classificado em termos pontuais, numa escala de 3, 9, 27 e 81 pontos.

Quadro 4.10 - Rockfall Hazard Rating System (adaptado de Hoek, 2007).

CATEGORIA		Critérios de Classificação e Pontuação				
		3 Pontos	9 Pontos	27 Pontos	81 Pontos	
<b>ALTURA DO TALUDE</b>		7,62m	15,24m	22,86m	30,48m	
<b>EFICÁCIA DA VALA</b>		Boa retenção	Retenção moderada	Retenção limitada	Sem retenção	
<b>RISCO MÉDIO PARA VEÍCULOS</b>		25% do tempo	50% do tempo	75% do tempo	100% do tempo	
<b>DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE DECISÃO</b>		Distância de visão adequada (100%)	Distância de visão moderada (80%)	Distância de visão Limitada (60%)	Distância de visão muito limitada (40%)	
<b>LARGURA DA PLATAFORMA DA VIA</b>		13,41m	10,97m	8,53m	6,10m	
<b>NATUREZA GEOLÓGICA</b>	<b>CASO 1</b>	<b>CONDIÇÃO ESTRUTURAL</b>	Diaclases descontínuas, orientação favorável	Diaclases descontínuas, orientação aleatória	Diaclases descontínuas, orientação desfavorável	
		<b>ATRITO DA ROCHA</b>	Rugoso, irregular	Ondulado	Liso	Preenchimento argiloso ou polido
	<b>CASO 2</b>	<b>CONDIÇÃO ESTRUTURAL</b>	Algumas características de erosão distintas	Características de erosão ocasionais	Muitas características de erosão	Enormes características de erosão
		<b>DIFERENÇA EM TAXAS DE EROÇÃO</b>	Pequena diferença	Diferença moderada	Diferença elevada	Diferença Extrema
<b>TAMANHO DO BLOCO</b>		0,31m	0,61m	0,91m	1,22m	
<b>QUANTIDADE DE QUEDA DE BLOCOS POR EVENTO</b>		2,29m <sup>3</sup>	4,59m <sup>3</sup>	6,88m <sup>3</sup>	9,18m <sup>3</sup>	
<b>PRESENÇA DE ÁGUA NO TALUDE</b>		Precipitação baixa a moderada; sem períodos de congelamento, sem presença de água no talude	Precipitação moderada, ou períodos curtos de congelamento, ou presença intermitente de água no talude	Precipitação elevada, ou períodos longos de congelamento ou presença contínua de água no talude	Precipitação elevada e longos períodos de gelo, ou presença contínua de água no talude e longos períodos de congelamento	
<b>HISTÓRICO DA QUEDA DE BLOCOS</b>		Poucas quedas	Quedas ocasionais	Quedas frequentes	Quedas constantes	



#### 4.4.1 Altura do talude

No comportamento dos taludes, principalmente quando se estudam deslizamentos ou movimentos, deve ter-se em conta a definição da altura dos taludes (Figura 4.3), esta é muito variável. Verifica-se que os blocos que se situam a alturas mais elevadas possuem uma maior energia potencial do que blocos, de igual peso, localizados a cotas mais baixas.

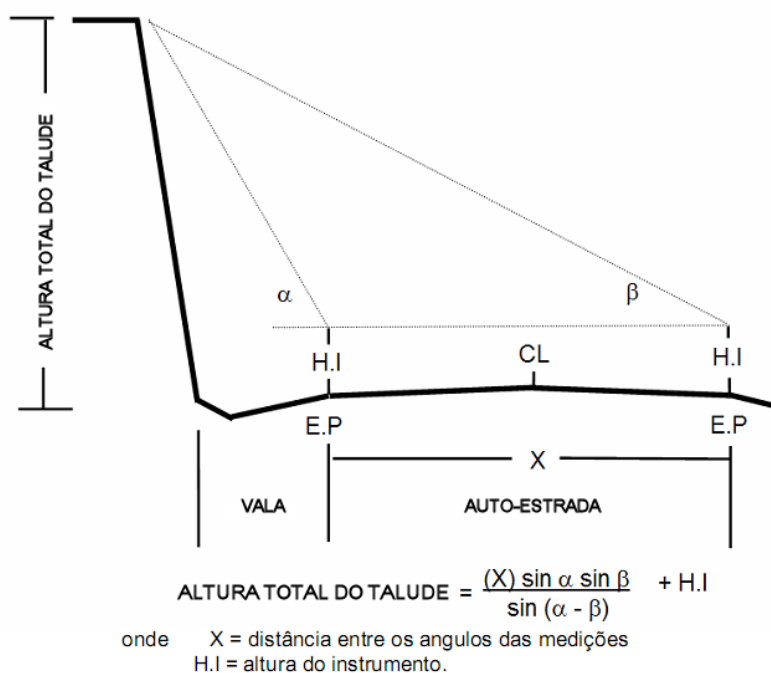


Figura 4.3 – Representação da altura de um talude.

Pierson et al. (1990), propuseram um método prático que possibilita o cálculo in situ da altura dos taludes isto devido às inúmeras dificuldades de acesso ao topo da maior parte dos taludes.

Pode estimar-se a altura do talude com o auxílio de uma bússola com clinómetro e através da utilização de relação trigonométrica entre o ângulo formado pelo ponto de observação e a superfície do talude (Expressão 4.6 e Figura 4.4).

$$H = X.Tg\alpha + AC \quad (4.6)$$

Onde  $X$  é a distância do ponto de medição à face do talude.

$\alpha$  é o ângulo medido pelo clinómetro

$AC$  é a altura a que se coloca o clinómetro.

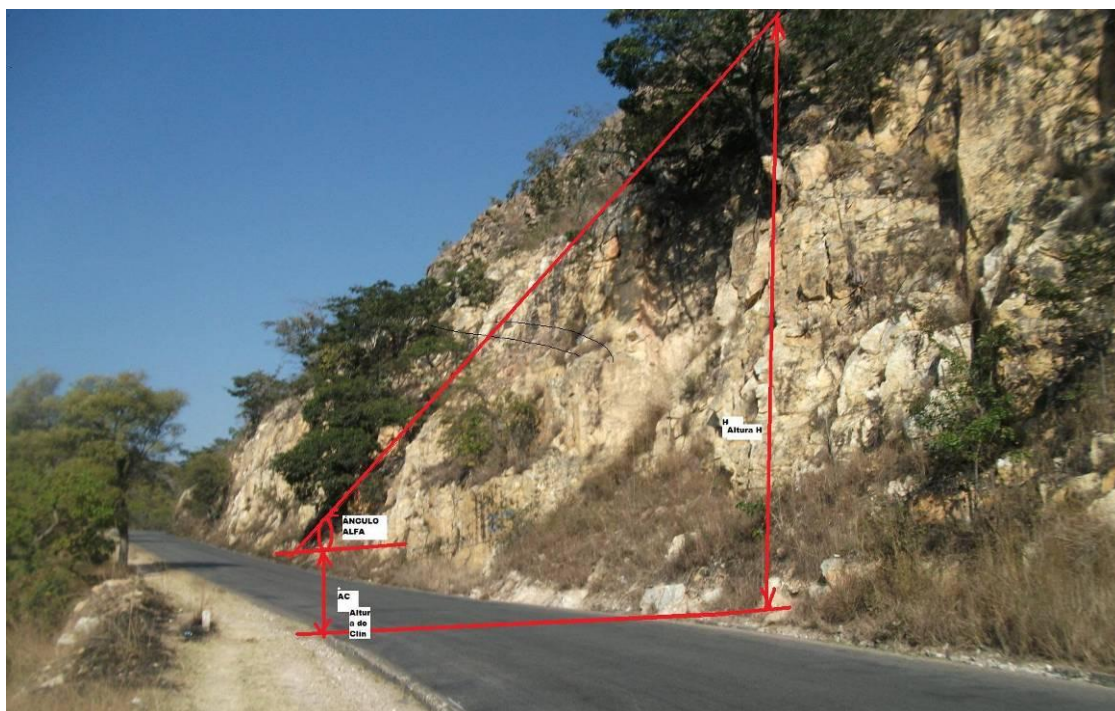


Figura 4.4 - Representação das medições para definição da altura nos taludes estudados utilizando a expressão 4.6.

#### 4.4.2. Capacidade de retenção da valeta

A capacidade de retenção de uma valeta está relacionada com a sua capacidade em impedir que o material rochoso instabilizado atinja a via de comunicação.

De modo a estimar a capacidade de retenção da valeta deve considerar-se:

- A altura e inclinação do talude.
- A largura, profundidade e forma da vala.
- Estimativa das dimensões dos blocos rochosos, bem como da sua quantidade.
- A influência das irregularidades da face do talude na queda de blocos.

A presença de irregularidades naturais ou provocadas pela acção humana nos taludes pode provocar a projecção dos blocos rochosos (Hoek, 2007).

A pontuação do parâmetro de capacidade de retenção da vala pode ter a seguinte distribuição:

3 pontos – Boa capacidade de retenção. A totalidade ou quase toda a totalidade das rochas instabilizadas são retidas na vala.

9 pontos – Capacidade de retenção moderada. As rochas instabilizadas atingem de modo ocasional a via de comunicação.

27 pontos – Capacidade de retenção limitada. As rochas instabilizadas atingem frequentemente a via de comunicação.

81 pontos – Sem capacidade de retenção. Não se verifica a presença da vala ou é completamente ineficaz. A totalidade ou quase todo o material rochoso alcança a via de comunicação.

#### 4.4.3. Risco médio para veículos

Este parâmetro do risco médio para veículos (*AVR*) está relacionado com os valores percentuais relativos ao tempo em que um veículo se encontra presente numa zona em que se podem verificar quedas de blocos. No caso de vias de comunicação os valores percentuais são obtidos usando a expressão (4.7) baseada no comprimento do talude, média diária de tráfego (*ADT*) e o limite de velocidade permitido no troço da via de comunicação considerado. Deve ter-se cuidado de modo a medir somente a extensão do talude que apresenta situações de instabilidade.

$$AVR = \frac{ADT(\text{veículos / hora}) \times \text{Comprimento do talude (metros)}}{\text{Limite de velocidade no local (metros / hora)}} \times 100\% \quad (4.7)$$

#### 4.4.4. Percentagem da distância de visibilidade de decisão

A distância de visibilidade de decisão define a extensão em metros que um determinado condutor tem para efectuar uma decisão complexa ou instantânea. Este parâmetro está relacionado com a probabilidade de ocorrer um acidente imediatamente após a queda de material rochoso na via de comunicação. A presença de curvas, de afloramentos rochosos e de vegetação pode dificultar a percepção por parte dos condutores de material rochoso tombado. A distância de visibilidade de decisão pode ser definida a partir dos valores expressos no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 – Distância para a visibilidade de decisão

Velocidade limite (km/h)	Distância de decisão (em metros)
48,3	137,2
64,4	182,9
80,5	228,6
96,6	304,8
112,7	335,3

Os valores percentuais relativos à distância de visibilidade de decisão são obtidos através da expressão (4.8):

$$DVD = \frac{DVL}{DD} \times 100\% \quad (4.8)$$

Em que DVD corresponde à distância de visibilidade de decisão, em termos percentuais, DVL à distância de visibilidade no local e DD à distância de decisão.

#### **4.4.5. Largura da plataforma**

A largura da plataforma é determinada perpendicularmente à directriz da via de comunicação, desde uma berma até à berma oposta. Esta medição representa o espaço que um condutor tem na via de comunicação para se desviar dos blocos rochosos instabilizados que se encontram nesta última.

#### **4.4.6. Características Geológicas**

As condições geológicas são avaliadas neste parâmetro, em que são considerados dois casos. O caso 1 é relacionado com os taludes rochosos onde as diaclases, planos de estratificação e outras descontinuidades representam as características estruturais dominantes. O caso 2 é utilizado nos taludes onde a erosão diferencial ou a sobre-inclinação são as principais condições responsáveis pela queda de blocos rochosos.

##### **4.4.6.1. Características geológicas Caso 1**

###### Condições estruturais

Consideram-se características das descontinuidades como a orientação, ângulo de atrito, material de preenchimento e nível hidrostático. As descontinuidades que se assumem como adversas podem originar roturas em cunha, planar, basculamento e queda de blocos. As diaclases são definidas como contínuas se têm mais de 3 metros de extensão.

###### Atrito da rocha

O movimento de um bloco rochoso em relação a outro está dependente do ângulo de atrito da superfície de descontinuidades, este último está relacionado com a rugosidade da superfície de descontinuidade. A queda de blocos tende a ser mais

frequente em taludes em que existem diaclases que contêm materiais com grau de alteração elevado, quando se verifica a presença de água nas superfícies das descontinuidades ou estas últimas se apresentam abertas.

#### **4.4.6.2. Características geológicas Caso 2**

##### Condições estruturais

O caso 2 é utilizado em taludes em que a erosão diferencial ou a sobre-inclinação são as condições predominantes e que podem originar a queda de blocos rochosos. As características de erosão englobam taludes muito inclinados ou formações rochosas sem suporte ou salientes num talude. A queda de blocos rochosos é originada pela falta de suporte pontual ou na totalidade do talude, estas situações ocorrem em taludes em que existe uma alternância de formações resistentes e mais brandas ou em formações como depósitos de cobertura e conglomerados.

##### Diferença nas taxas de erosão

Este parâmetro apresenta-se relacionado com as potenciais ocorrências de queda de blocos. O incremento dos processos erosivos, leva ao desenvolvimento de taludes sem suporte ou sobre-inclinados. Devem ser considerados as consequências de processos erosivos, bem como os efeitos da acção antrópica. A pontuação atribuída a este parâmetro está dependente da velocidade com que actuam os processos erosivos, da dimensão dos blocos rochosos, da frequência e do volume de material envolvido nas situações de instabilidade.

#### **4.4.7. Tamanho do bloco ou quantidade de queda de blocos por evento**

Este parâmetro está relacionado com o tipo de queda de blocos que é mais provável ocorrer. Se a queda de blocos se processa de forma individual, a dimensão destes blocos deve ser utilizada para a definição da pontuação a efectuar. Se um conjunto de blocos rochosos corresponde ao tipo predominante nas situações de queda de blocos, o volume por evento deve ser considerado. Esta categoria pode ser determinada a partir dos registos de manutenção ou estimado através das condições existentes (Hoek, 2007).

#### **4.4.8. Clima e presença de água no talude**

A presença da água e o gelo/degelo permitem a meteorização e as situações de instabilidade nos taludes rochosos. A percolação da água é pontuada de acordo com o seu fluxo ser intermitente ou contínuo. Se a precipitação anual é inferior a 508 mm por ano considera-se a área onde se localiza o talude como de precipitação reduzida. Se a precipitação anual é superior a 1270 mm define-se a área como de precipitação elevada.

#### **4.4.9. Histórico da Queda de Blocos**

A melhor forma de definir o registo histórico da queda dos blocos num talude é através das equipas responsáveis pela manutenção das vias de comunicação. A categoria representa a ocorrência de queda de blocos rochosos que se verifica ao longo dos anos. Esta informação é necessária para a previsão de futuras situações de instabilidade. Um registo preciso das ocorrências de queda de blocos, permite definir a possibilidade de queda de rochas, o que é importante pois os fenómenos de instabilidades de taludes rodoviários podem provocar vítimas humanas e danos materiais.

## 5. Aplicação das classificações SMR e RHRS

### 5.1. Características dos taludes

Os materiais rochosos predominantes nos taludes estudados são os quartzo-arenitos ou quartzitos, verificando-se a presença de depósitos de cobertura na parte superior dos taludes.

Consideraram-se dois taludes, designados como talude 1 (dois troços – 1º troço e 2º troço) e talude 2. O material rochoso no 1º troço do talude 1 aparece menos alterado, mas também se verificaram situações de instabilidade.

O primeiro troço do talude 1 tem como orientação: N15°E; 80°E (Figura 5.1), enquanto o segundo troço apresenta a orientação: N30°E; 85°SE.

O talude 1 tem 13,5 metros de altura média e 100 metros de comprimento, cada troço tem aproximadamente 50 metros de extensão.

O talude 2 tem como orientação: N10°E; 85°E, cerca de 8 metros de altura média e 100 metros de comprimento (Figura 5.2).

O levantamento de campo do talude 2 colocou problemas de segurança devido ao espaço reduzido entre o talude e a via de comunicação, pelo que se efectuou uma grande parte da sua caracterização através de registos fotográficos.

Na parte dos depósitos de cobertura é de salientar a presença de vegetação rasteira com algumas árvores de porte reduzido. No maciço rochoso do talude 1 constata-se a presença de alguma vegetação rasteira que acompanha a presença de algumas descontinuidades, enquanto no maciço rochoso do talude 2 a presença de vegetação é mais escassa mas não inexistente.

No decorrer do levantamento de campo não se observou percolação de água nas superfícies de descontinuidade, mas a abertura das descontinuidades e o aspecto oxidado das suas superfícies indicia a existência de presença de água nos períodos de precipitação mais elevada e também posteriormente.



Figura 5.1 – 1º Troço do talude 1.



Figura 5.2 – Fotografia relativa ao Talude 2.



Na construção da via de comunicação rodoviária utilizaram-se principalmente explosivos, recorreu-se igualmente a métodos de escavação.

No decorrer dos anos têm-se verificado a ocorrência de situações de instabilidade, designadamente no talude 1, em que é visível a presença de blocos tombados na base desse talude. No talude 1, no decorrer do mês de Março de 2011, verificou-se a ocorrência de várias instabilidades, registando-se a queda de blocos rochosos na via rodoviária, estas situações de instabilidade estão relacionadas com as precipitações elevadas que se registaram no mês de Março de 2011 (Figura 5.3).



Figura 5.3 - Quedas de blocos rochosos, alguns movimentos ocorreram no ano de 2011 (2º Troço do Talude 1).



Figura 5.4 – 2º Troço do Talude1, quartzo-arenitos com discontinuidades sem material de preenchimento nas discontinuidades.

Alguns blocos movimentaram-se até à vala de drenagem, conforme se observa na Figura 5.3 e blocos de menor dimensão atingiram a via de comunicação rodoviária.

No primeiro troço do talude 1, de modo geral, o maciço rochoso apresenta-se menos alterado do que no segundo troço do talude 1, neste último troço o maciço rochoso está muito facturado, a abertura das descontinuidades é mais elevada, o material de preenchimento está geralmente ausente, conforme se pode observar na Figura 5.4.

Para a utilização das classificações RMR, SMR e Rockfall Hazard Rating System (RHRS) procedeu-se a um levantamento geológico e estrutural que permitiu definir as famílias de descontinuidades e as suas características.

Procedeu-se à aplicação do RMR e SMR somente nos dois troços do talude 1, enquanto o RHRS foi utilizado nos taludes 1 e 2.

## **5.2. Definição dos parâmetros das classificações geomecânicas**

### **5.2.1. Resistência do material rochoso**

Para cada troço do talude 1 determinou-se a resistência do material rochoso através da utilização do martelo de Schmidt, do tipo L.

Com a aplicação do martelo de Schmidt determinaram-se os valores de R que estão relacionados com a dureza do material rochoso.

Utilizaram-se para os pesos específicos de 25 kN/m<sup>3</sup> e de 24 kN/m<sup>3</sup>, respectivamente para os quartzo-areníticos de maior e de menor resistência.

No primeiro troço do talude 1 determinou-se o valor médio de R para o material de resistência mais baixo como igual a 23,9, com o auxílio do ábaco de Deere e Miller (1966), definiu-se o valor da resistência à compressão do material rochoso como de cerca de 34 MPa, pelo que o valor ponderal do parâmetro de resistência do material rochoso na classificação RMR é igual a 4.

Na zona de resistência mais elevada do primeiro troço do talude 1, o valor médio de R é igual a 49,4, correspondente a uma resistência à compressão do material rochoso de aproximadamente 120 MPa e cujo valor ponderal é igual a 12 na classificação RMR.

Para o segundo troço do talude 1 determinou-se para a zona de menor resistência um valor médio de R de 16,9, o que permite estimar a resistência à compressão uniaxial

em cerca de 26 MPa, pelo que o seu peso na classificação RMR será considerado como igual a 4.

Para a zona de maior resistência do segundo troço do talude 2, o valor médio do R será 47,6, obtendo-se de forma aproximada um valor de resistência à compressão de 110 MPa, o que possibilita definir um peso de 12.

### **5.2.2. Famílias de descontinuidades presentes no talude 1**

O levantamento geológico e estrutural que se realizou no campo, bem como a utilização do programa informático Dips relacionado com a projecção estereográfica permitiu a determinação das famílias das descontinuidades e das suas orientações. No programa Dips utilizou-se o hemisfério inferior e optou-se pela projecção de igual-área.

O primeiro troço do talude 1 apresenta três famílias de descontinuidades (Figura 5.5): a família H com as coordenadas geológicas N14°E; 13°W (13°, 284°), família S de coordenadas geológicas N83°E; 84°S (84°, 173°) e a família O com as coordenadas geológicas N12°W;77°E (77°, 78°).

O segundo troço do talude possui 4 famílias (Figura 5.6) que são: a da família H de coordenadas geológicas N-S; 1°W (1°, 270°), a família S com coordenadas geológicas N87°E; 85°S (85°, 177°), a família O cujas coordenadas N7°W; 80°E (80°, 83°) e a família A com N14°E; 84°E (84°, 104°), é de notar que esta família é de menor importância que as restantes.

### **5.2.3. Descrição das descontinuidades**

No trabalho de campo efectuado caracterizaram-se as descontinuidades dos dois troços do talude 1 e de uma forma menos completa as descontinuidades do talude 2. É de salientar que as condições de percolação foram estudadas, na sua maioria, durante um período de tempo em que não ocorreu precipitação.

#### **5.2.3.1. Caracterização das descontinuidades do 1º troço do talude 1**

Família H

As descontinuidades da família H correspondem à estratificação. O espaçamento mais frequente para esta família está compreendido entre 0,06 – 0,2 metros. A continuidade apresenta-se geralmente de 1 a 3 metros, a abertura das descontinuidades foi definida

como inferior a 0,1mm, as descontinuidades são consideradas rugosas, o material de preenchimento é inexistente ou foi considerado como duro e de espessura inferior a 5 mm, o estado de alteração das superfícies foi classificado como ligeiramente a moderadamente alterado, verificou-se a presença de gotas de água nalgumas descontinuidades no decorrer ou após os períodos de precipitação.

#### Família S

As descontinuidades da família S apresentam-se com uma direcção aproximadamente perpendicular à orientação do 1º troço do talude 1 e têm um pendor elevado de cerca de 84°, o espaçamento destas descontinuidades enquadra-se no intervalo de 0,2-0,6 metros, a persistência está compreendida entre 1 a 3 metros, apresentam uma abertura inferior a 0,1 mm, as superfícies foram definidas como rugosas a ligeiramente rugosas, o material de preenchimento foi considerado como inexistente a duro e de espessura inferior a 5 mm, o estado de alteração foi assumido entre o ligeiramente a moderadamente alterado. Observou-se a presença de água em algumas descontinuidades durante a ocorrência ou posteriormente aos períodos de precipitação.

#### Família O

O espaçamento predominante das descontinuidades da família O é de 0,2-0,6 metros, a persistência das descontinuidades enquadra-se, de modo geral, entre 1 a 3 m, a abertura ou separação das descontinuidades tem como valores mais comuns os entre 1 a 5 mm, as superfícies apresentam-se ligeiramente rugosas, o preenchimento das descontinuidades revelou-se duro e de espessura inferior a 5 mm ou mesmo inexistente, o grau de alteração das superfícies mais frequente é ligeiramente alterado e a presença de água, sob a forma de gotas, só se verificou no tempo chuvoso.

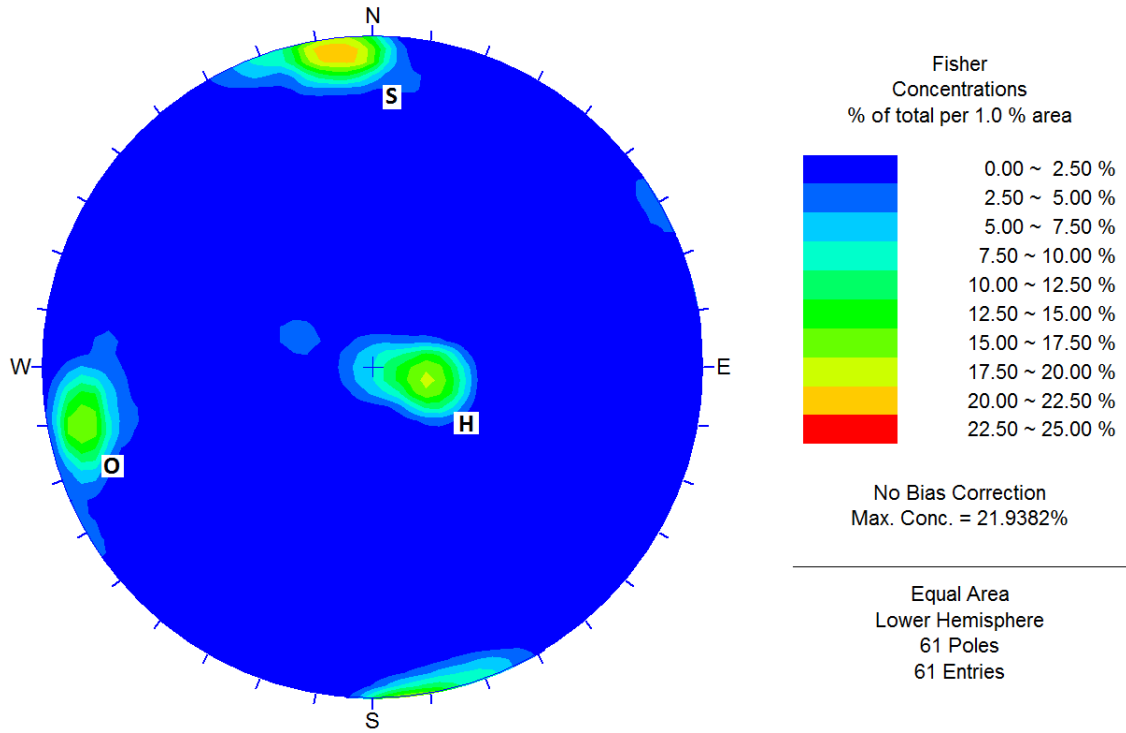


Figura 5.5 – Representação da projecção estereográfica das concentrações dos pólos das descontinuidades no primeiro troço do talude 1.

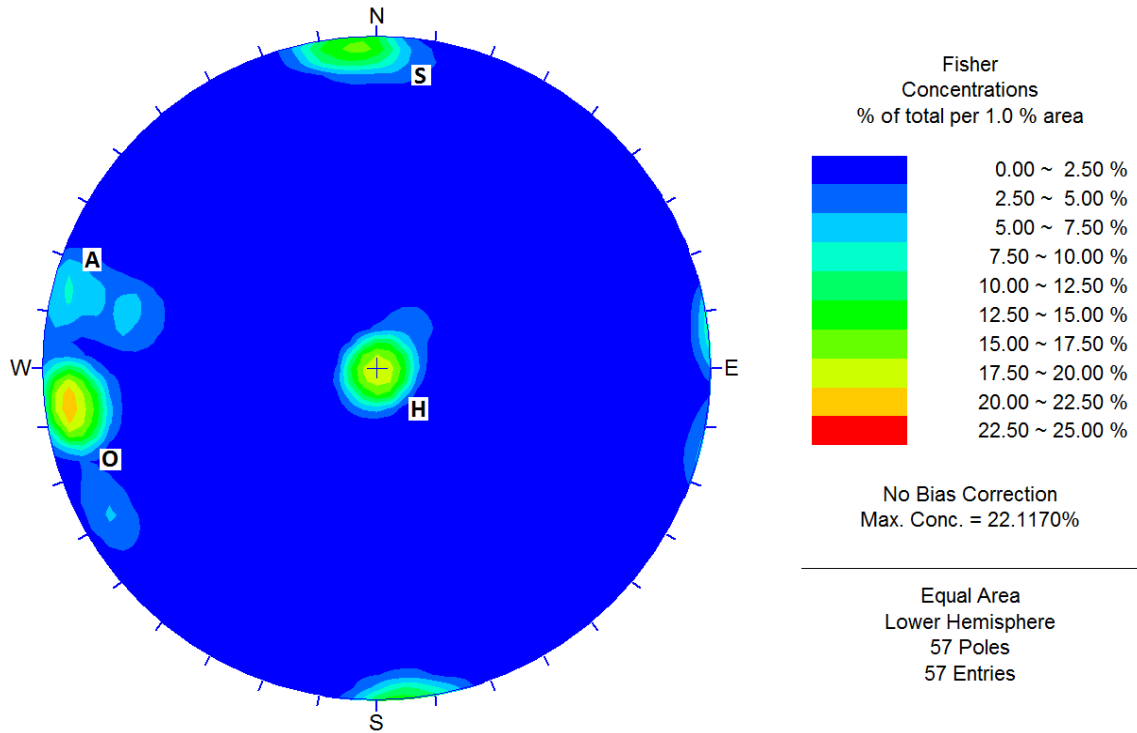


Figura 5.6 – Representação da projecção estereográfica das concentrações dos pólos das descontinuidades no segundo troço do talude 1.

### **5.2.3.2. Caracterização das descontinuidades do 2º troço do talude 1**

#### Família H

A família H apresenta descontinuidades paralelas à estratificação e com um pendor muito reduzido, o espaçamento mais comum pertence ao intervalo 0,2 – 0,6 metros, a persistência apresenta-se entre 1 a 3 metros, a separação das descontinuidade é frequentemente inferior a 0,1 mm, as superfícies são consideradas rugosas, o material de preenchimento apresenta-se como inexistente ou constituído com material duro de espessura menor que 5 mm, as descontinuidades são consideradas ligeiramente a moderadamente alteradas e a percolação é inexistente ou com algumas gotas de água, pelo que classificaram as descontinuidades numa situação intermédia entre descontinuidades secas a ligeiramente húmidas.

#### Família S

A família S do segundo troço tem uma orientação próxima da família com a mesma designação que está presente no primeiro troço. O espaçamento predominante é de 0,2-0,6 metros, a persistência mais comum é a da classe 1-3 metros, a abertura das descontinuidades é geralmente menor que 0,1 mm, as superfícies de descontinuidades são rugosas a ligeiramente rugosas, o material de preenchimento é desde inexistente a material duro com espessura inferior a 5 mm, as superfícies das descontinuidades são ligeiramente a moderadamente alteradas e com vestígios de percolação, como se pode comprovar pela presença de manchas de oxidação nas superfícies das descontinuidades.

#### Família O

O espaçamento predominante das descontinuidades é de 0,06 a 0,2 metros, a continuidade mais comum é de 1 a 3 metros, a abertura é geralmente superior a 1 mm, por vezes superior, as superfícies das descontinuidades são rugosas, o material de preenchimento apresenta-se como duro e de espessura menor que 5 mm, o estado de alteração das superfícies das descontinuidades é moderado a ligeiramente alterado e verifica-se por vezes a presença de água, sob a forma de gotículas nos períodos de precipitação ou após estes, a classificação da presença de água enquadra-se entre descontinuidades completamente secas a ligeiramente húmidas.

## Família A

A família de descontinuidades A apresenta-se com características semelhantes às descontinuidades da família O, no entanto deve destacar-se que as descontinuidades da família A apresentam um espaçamento mais frequente que está compreendido entre 0,2 a 0,6 metros.

### 5.2.4. Determinação do valor do RQD e do espaçamento

Uma vez que não se efectuaram sondagens ou não se teve acesso a resultados de eventuais prospecções geotécnicas, obteve-se o valor do RQD através da equação de Palmström (1982) que é evidenciada na expressão (4.1).

#### RQD do 1º troço do primeiro talude

Tendo atenção os resultados da caracterização geotécnica das descontinuidades para o primeiro troço constata-se que existem famílias de descontinuidades, designadas por H, S e O, os seus valores de espaçamento estão compreendidos para a primeira entre 0,06-0,2 metros e para as duas últimas entre 0,2-0,6 metros.

Os cálculos para a determinação do RQD consideram como o espaçamento considerado o valor de 0,13 metros para a família H, o valor de 0,4 metros para as famílias S e O. Pelo que o valor do RQD será, de acordo com a expressão (4.1), igual a 73,12%.

Através da utilização da classificação de RMR de Bieniawski (1989) o valor de RQD de 73,12% enquadra-se na classe 50% - 75% pelo que pode assumir um valor ponderal de 15.

#### RQD do 2º troço do primeiro talude

No segundo troço do primeiro talude distinguiram-se quatro famílias de descontinuidades, denominadas como H, S, O e A. Os valores de espaçamento para as famílias H, S e A estão compreendidos entre 0,2 e 0,6 metros. O espaçamento de 0,06 a 0,2 metros é mais frequente para as descontinuidades da família O.

Para a definição do RQD adoptou-se o valor de espaçamento de 0,4 metros para as descontinuidades das famílias H, S e A, enquanto o valor de espaçamento considerado para a família O foi de 0,13 metros. O valor de RQD determinado de acordo com a expressão (4.1) foi de 64,87%.

A classificação de RMR de Bieniawski (1989) permite enquadrar o valor de RQD de 64,87% na classe 50% - 75%, atribuindo-se um peso de 13.

### 5.3. Aplicação das classificações RMR e SMR

#### 5.3.1. Determinação do RMR

A classificação RMR foi aplicada para os dois troços considerado do Talude 1, utilizaram-se os cinco parâmetros da classificação: resistência do material rochoso, RQD, espaçamento das descontinuidades, condições das descontinuidades (persistência, abertura, rugosidade, material de enchimento e grau de alteração) e presença de água. Nos dois troços procedeu-se a uma distinção do maciço rochoso em termos da resistência do material rochoso. Nos Quadros 5.1 e 5.2 são definidos os valores dos pesos dos vários parâmetros considerados na classificação RMR, bem como o seu somatório para o primeiro troço do talude 1, enquanto os valores do segundo troço são apresentados nos Quadros 5.3 e 5.4.

Quadro 5.1 – Valores da classificação RMR para as diferentes famílias de descontinuidade presentes na zona de resistência mais elevada do 1º troço do talude 1.

Parâmetros		Famílias		
		H	S	O
1º	Resistência do material rochoso intacto	12	12	12
2º	RQD	15	15	15
3º	Espaçamento das descontinuidades	8	10	10
4º	Condições das descontinuidades	4+5+5+5+5= 24	4+5+4+5+5= 23	4+1+3+5+5= 18
5º	Percolação	12	12	12
Total		71	72	67



Quadro 5.2 – Valores da classificação RMR para as diferentes famílias de descontinuidade presentes na zona de resistência mais reduzida do 1º troço do talude 1.

Parâmetros		Famílias		
		H	S	O
1º	Resistência do material rochoso intacto	4	4	4
2º	RQD	15	15	15
3º	Espaçamento das descontinuidades	8	10	10
4º	Condições das descontinuidades	4+5+5+5+3= 22	4+5+4+5+3= 21	4+5+3+1+3= 16
5º	Percolação	12	12	12
Total		61	62	57

De acordo com os valores do RMR expressos nos Quadros 5.1 e 5.2 para o maciço rochoso mais resistente do primeiro troço, verificou-se que os valores para as diferentes famílias se revelaram próximos uns dos outros, com uma diferença máxima de 5 pontos, o maciço rochoso foi classificado como de boa qualidade. Para a parte de menor resistência do primeiro troço pode assumir-se o maciço rochoso como de qualidade razoável a boa.

Os resultados do RMR para a parte de maior resistência para o segundo troço do talude 1 revelaram-se semelhantes para as quatro famílias de descontinuidades (Quadro 5.3). O maciço rochoso de maior resistência do segundo troço foi considerado como de boa qualidade. A classificação dos valores do RMR para o maciço rochoso de menor resistência (Quadro 5.4) permitiu assumir este último como de qualidade razoável se exceptuarmos os resultados relacionados com a família H.

Quadro 5.3 – Valores da classificação RMR para as diferentes famílias de descontinuidades presentes na zona de resistência mais elevada do 2º troço do talude 1.

Parâmetros		Famílias			
		H	S	O	A
1º	Resistência do material rochoso intacto	12	12	12	12
2º	RQD	13	13	13	13
3º	Espaçamento das descontinuidades	10	10	8	10
4º	Condições das descontinuidades	4+5+5+5+5= 24	4+5+4+5+5= 23	4+2+5+4+5= 20	4+2+5+4+5= 20
5º	Percolação	12	12	12	12
Total		71	70	65	67

Quadro 5.4 – Valores da classificação RMR para as diferentes famílias de descontinuidades presentes na zona de resistência mais reduzida do 2º troço do talude 1.

Parâmetros		Famílias			
		H	S	O	A
1º	Resistência do material rochoso intacto	4	4	4	4
2º	RQD	13	13	13	13
3º	Espaçamento das descontinuidades	10	10	8	10
4º	Condições das descontinuidades	4+5+5+5+3= 22	4+5+4+5+3= 21	4+2+5+4+3= 18	4+2+5+4+3= 18
5º	Percolação	12	12	12	12
Total		61	60	55	57

### **5.3.2. Determinação do SMR**

Para a determinação do SMR é necessária a prévia obtenção do RMR para cada família de descontinuidades presentes na secção do maciço rochoso que estamos a estudar. Devem definir-se os subfactores F1, F2, F3 e F4. Nos troços considerados o valor de F4 foi considerado igual a zero, pois no desmonte efectuado com recursos a explosivos no decorrer da via de comunicação não se verificou a deterioração significativa do maciço rochoso.

#### **5.3.2.1. SMR do 1º troço do primeiro talude**

As coordenadas geológicas do 1º Troço do primeiro talude são de pendor  $80^\circ$  e de direcção de pendor  $105^\circ$ , estas coordenadas podem ser definidas como  $(80^\circ, 105^\circ)$ . As famílias de descontinuidades são H, S e O; a primeira tem como coordenadas geológicas  $(13^\circ; 284^\circ)$ , a segunda  $(84^\circ; 173^\circ)$  e a terceira  $(77^\circ; 78^\circ)$ .

De acordo com os Quadros 5.1 e 5.2 obteve-se para a família H um valor do RMR igual a 71 para a parte do maciço de resistência mais elevada, enquanto o valor do RMR é igual a 61 para o maciço rochoso de menor resistência. A F1 corresponde um valor de 0,15 para a rotura planar e de 1 para a rotura por basculamento, estes valores permitem assumir uma maior probabilidade de rotura por toppling tendo em atenção os valores da direcção de pendor. F2 apresenta um valor de 0,15 para a rotura planar e igual a 1 para a rotura por basculamento. O F3 tem um valor muito expressivo de -60 para a rotura planar e nulo para a rotura por basculamento.

A partir dos Quadros 5.1 e 5.2 verifica-se que a família S tem-se um valor de RMR para o maciço rochoso de maior resistência de 72, enquanto para o de menor resistência o RMR tem o valor de 62. F1 é igual a 0,15 para a rotura planar e por basculamento. F2 tem o valor de 1 para as situações de rotura planar e por toppling. F3 assume valores negativos como de -6 para a rotura planar e de -25 para a rotura por basculamento.

A família O apresenta valores do RMR igual a 67 e 57, respectivamente para o maciço rochoso de maior e menor resistência. O F1 corresponde a 0,4 para a rotura planar e a 0,15 para a rotura por basculamento. F2 é igual a 1 quer para a rotura planar quer por toppling. F3 apresenta o valor de -45 para a situação da rotura planar e de -25 para a de rotura por basculamento.

Os diferentes valores do SMR são definidos no Quadro 5.5, tendo em atenção a metodologia de Romana (1996) deve assumir-se o valor mais baixo, este para o

primeiro troço do talude 1 é igual a 39, é de assinalar que este valor está relacionado com as descontinuidades da família O.

O valor de 39 permite a classificação do 1º troço do talude 1 como instável pois enquadra-se na classe IV, esta define-se pela presença de roturas planares ou em cunha de grandes dimensões.

Quadro 5.5 – Valores do SMR do 1º troço do talude 1.

1º Troço	SMR (zona de maior resistência)	SMR (zona de menor resistência)	SMR (zona de maior resistência)	SMR (zona de menor resistência)
Famílias	Rotura planar		Rotura por basculamento	
Família H	70	60	71	61
Família S	71	61	68	58
Família O	49	39	63	53

### 5.3.2.2. SMR do 2º troço do primeiro talude

As coordenadas geológicas do 2º troço do primeiro talude são 85º e 120º, em que o primeiro valor corresponde ao pendor e o segundo à direcção do pendor. Definiram-se quatro famílias de descontinuidades que foram designadas por H, S, O e A. A família H apresenta como coordenadas geológicas (1º, 270º), a família S (85º, 177º), a família O (80º, 83º) e a família A (84º, 104º).

Dos Quadros 5.3 e 5.4 verifica-se que o valor de RMR relacionado com a família H tem um valor de 71 para o maciço rochoso de resistência mais alta e de 61 para o de resistência mais baixa. O factor de ajustamento F1 tem um valor de 0,15 para a rotura planar e de 0,4 para a rotura por basculamento. F2 foi definido como 0,15 para as situações de rotura planar e igual a 1 para as de toppling. F3 é igual a -60 para a rotura planar e nulo para a rotura por basculamento.

A família S está associada ao valor de RMR de 70 para o material rochoso de resistência mais elevada e de 60 para o de resistência mais reduzida. O valor de F1 é de 0,15 para as situações de rotura planar e de basculamento. F2 apresenta um valor unitário para a rotura planar e de basculamento. F3 assume o valor -25 para a rotura planar assim como para a rotura por toppling.

O valor do RMR relacionado com a família O é igual a 65 para o maciço rochoso de maior resistência, enquanto para o de resistência mais baixa tem-se o valor de 55. F1

para a rotura planar e por basculamento corresponde a 0,15. F2 tem o valor unitário quer para as situações de rotura planar quer de basculamento. F3 é igual a -50 para a rotura planar e -25 para a rotura por toppling.

O valor do RMR estabelecido para o segundo troço, tendo em consideração a família A é de 67 para o maciço rochoso mais resistente e de 57 para o menos resistente. F1 tem o valor de 0,7 para a rotura planar e de 0,15 para a rotura por basculamento. F2 assume o valor de 1 para ambas as situações de rotura que são consideradas. F3 corresponde a -35 para a rotura planar e a -25 para a rotura por toppling.

Os resultados do SMR para o segundo troço do talude 1 são definidos no Quadro 5.6.

Através dos critérios do SMR de Romana (1996) foi escolhido o valor mais baixo que corresponde a 33, o que possibilita enquadrar o segundo troço do talude 1 como pertencente à classe IV da classificação SMR de Romana (1996) e classificar o referido troço como instável. É de salientar que o valor de 33 é inferior ao encontrado para o 1º troço do talude 1, o que está de acordo com as observações efectuadas no local, em que se verificaram mais situações de instabilidade no segundo troço do que no primeiro troço do talude.

Quadro 5.6 – Valores do SMR do 2º troço do talude 1.

1º Troço	SMR (zona de maior resistência)	SMR (zona de menor resistência)	SMR (zona de maior resistência)	SMR (zona de menor resistência)
Famílias	Rotura planar		Rotura por basculamento	
Família H	70	60	71	61
Família S	66	56	66	56
Família O	58	48	61	51
Família A	43	33	63	53

#### 5.4. Aplicação da Classificação Rockfall Hazard Rating System

Para a aplicação da classificação Rockfall Hazard Rating System nos taludes 1 e 2 utilizaram-se os vários parâmetros constituintes da classificação, para cada um deles definiu-se um valor ponderado de acordo com as características dos taludes estudados.

#### **5.4.1. Altura do talude**

Definiu-se a altura dos dois taludes estudados. O talude 1 é constituído por dois troços (primeiro e segundo troço). O talude 2 apresenta características de difícil acesso, devido à largura da berma ser reduzida, tornando-se difícil efectuar o seu estudo.

A altura do talude 1, nos seus dois troços apresenta alguma variação, mas a altura média é de 13,5 metros, considerando-se a espessura de 1,5 metros relativa aos depósitos de vertente que se localizam na parte superior, de acordo com o Quadro 4.10 foi atribuído um valor ponderal de 9 pontos. O talude 2 apresenta algumas dificuldades na definição de altura, verificou-se alguma variação, mas tem uma altura média de 8 metros, uma espessura de 2,5 metros de depósitos na parte superior e atribui-se um peso de 3 pontos.

#### **5.4.2. Capacidade de retenção da vala**

Adjacente aos taludes 1 e 2 localiza-se uma vala que está relacionada com a drenagem da água superficial, esta vala tem em termos médios 70 cm de largura e 40 cm de profundidade. A vala permite de forma pontual reter alguns blocos instabilizados, sobretudo nos tempos de maior precipitação, a presença do material na vala pode impossibilitar a passagem de água e não impede que os blocos rochosos atinjam as faixas de rodagem da via de comunicação, pelo que a eficácia de retenção foi classificada como sendo limitada. Para os taludes 1 e 2 de acordo com o Quadro 4.10 foram atribuídos 30 pontos.

#### **5.4.3. Risco médio para veículos**

O local em estudo, é uma zona com bastante trânsito, porque os taludes pertencem a uma via de comunicação que faz a ligação entre as províncias da Huíla e do Namibe.

Existe uma maior probabilidade de queda de material rochoso nos períodos de maior precipitação, verificando-se uma maior perigosidade que é traduzida por um maior número de blocos na via de comunicação.

No tempo seco, houve um registo reduzido de queda de blocos, mas não se descarta a possibilidade de serem atingidas viaturas.

De acordo com as medições efectuadas nos troços estudados podem passar na via de comunicação, em termos médios, 12 veículos em 8 minutos, o que corresponde a 90 veículos por hora.

Com a expressão 4.7, pode-se calcular o risco médio para os veículos que circulam na Estrada Nacional 280. O limite de velocidade considerado foi de 80 km/h. Cada troço do talude 1 tem uma extensão de 50 metros. O risco médio para veículos (AVR) que foi determinado foi igual a 5,6%. O talude 2 apresenta uma extensão de 100 metros, pelo que o valor do AVR é igual a 11,3%. Para os troços do talude 1 e também para o talude 2 considerou-se o valor de 3 pontos, uma vez que os valores do AVR são reduzidos.

#### **5.4.4. Distância de visibilidade de decisão**

Os condutores que são provenientes do Lubango circulam na via de comunicação nas proximidades dos taludes com velocidades superiores a 40km/h, de modo que se encontrarem obstáculos, podem ter dificuldades em evitá-los, porque a estrada é relativamente estreita e do lado oposto aos taludes existe um desnível acentuado.

Tendo em atenção a expressão 4.8 definiu-se a distância de decisão (DD) como de 228,6 metros. A distância de visibilidade é inferior para o segundo troço do primeiro talude em que DVD apresenta um valor 20%, pelo que a distância de visão é extremamente limitada e o valor ponderado para a distância de visibilidade de decisão é de 90 pontos.

Para o 1º troço do talude 1 e para troço único do talude 2 teremos um valor do DVD de cerca de 40%, pelo que a distância de visão é muito limitada e o valor pontual considerado é de 81 pontos.

#### **5.4.5. Largura da plataforma da via de comunicação**

A largura da plataforma da via de comunicação nas zonas dos taludes 1 e 2 é de 8 a 9.5 metros, no entanto, a parte da via de comunicação pavimentada é cerca de 7 metros, pelo que existe pouco espaço para o condutor evitar o material rochoso que resultou da queda de blocos na estrada, verifica-se um desnível acentuado do lado da faixa de rodagem de sentido Humpata-Lubango e o maciço rochoso apresenta-se próximo da via de comunicação. As bermas da rodovia não são pavimentadas e considerou-se o valor mais reduzido da sua largura que no caso estudado é de 7,0 metros, é de registar que o cruzamento de duas viaturas pesadas na via de comunicação apresenta algumas dificuldades. O valor ponderal para o parâmetro foi considerado como de 70 pontos para os taludes 1 e 2.

#### **5.4.6. Caracterização Geológica**

Os taludes são essencialmente constituídos por material rochoso. Efectuando uma avaliação da caracterização geológica em que se considera o Caso 1, constatou-se que para o primeiro troço do talude 1 as descontinuidades são de orientação desfavorável podendo ser atribuído o valor ponderal de 70, para o segundo troço do talude 1 verificou-se que a orientação é mais desfavorável que no primeiro troço, pelo que o valor ponderal assume o peso de 81. O segundo talude revela descontinuidades de orientação tendencialmente mais favorável do que no troço do talude 1 e atribui-se o valor ponderal de 27.

O ângulo de atrito do material rochoso está relacionado com a rugosidade das superfícies de descontinuidades, a partir do estudo de caracterização efectuado considerou-se que as descontinuidades são rugosas a ligeiramente rugosas, pelo que o valor ponderal para os troços do talude 1 e do talude 2 foi considerado igual a 9.

Os depósitos de cobertura no talude 2 possuem uma espessura mais significativa do que no talude 1, pelo que se pode também analisar o parâmetro da natureza geológica através do Caso 2. A condição estrutural correspondente são, essencialmente, as características de erosão ocasionais, a que corresponde o valor ponderal igual a 12, enquanto a diferença em taxas de erosão é moderada a elevada o que permite atribuir o peso de 15 pontos.

#### **5.4.7. Dimensão dos blocos**

Os blocos nos troços do talude 1 que geralmente atingem a via de comunicação são de dimensão reduzida e variam geralmente entre 0,05 e 0,5 m<sup>3</sup>, por vezes alcançam volumes de 1,0 e 1,5m<sup>3</sup> e apresentam formas aproximadamente cúbicas e paralelepípedicas (Figura 5.8).

No 2º troço do talude 1 os blocos têm tendencialmente dimensões mais elevadas, optou-se por classificar a dimensão de blocos de 6 pontos para o troço 1 e de 15 pontos para o troço 2 do talude 1. No talude 2 os blocos rochosos apresentam, de modo geral, dimensões inferiores aos existentes no talude 1, pelo que se atribuiu o valor ponderal de 3 pontos.





Figura 5.7 – Medição da largura da rodovia.



Figura 5.8 - Quedas de blocos no Talude 1 – 2º Troço, Março de 2011.

#### **5.4.8. Condições climáticas e presença de água nos taludes.**

As condições de precipitação enquadram-se entre os valores de 508 e 1270 mm, mais concretamente entre 757 e 887 mm de acordo com a estimativa apresentada por SINFIC (2007), pelo que se considera a precipitação moderada, não se registando a

presença de gelo, verificando-se a presença intermitente de água no talude, pelo que o valor ponderal é igual a 9 pontos.

#### **5.4.9. Registo histórico da queda de bloco.**

Oficialmente não existem registos de ocorrências, no entanto efectuou-se uma estimativa de acordo com os últimos 5 anos, em que se verificaram movimentos de queda de blocos. Para o talude 2 as quedas de blocos foram consideradas ocasionais, pelo que o seu valor ponderal é igual a 9 pontos e para o talude 1 foram assumidas como frequentes e correspondentes ao peso de 27.

#### **5.4.10. Valores da classificação Rockfall Hazard Rating System**

No sentido de resumir a pontuação efectuada através da classificação Rockfall Hazard Rating System, para os dois troços do talude 1 e do talude 2 apresentam-se os resultados no Quadro 5.7.

O sistema de classificação RHRS não apresenta o tipo de acções de estabilização que devem ser adoptadas de acordo com as pontuações obtidas. Tendo em atenção o Sistema de Transportes do Estado de Oregon (Pierson et al., 1990) e de acordo com Hoek (2007), os taludes cujo somatório dos valores dos parâmetros da classificação RHRS são inferiores a 300 devem ser considerados como de prioridade baixa, enquanto os taludes com RHRS mais elevado que 500 devem ser alvo de acções de estabilização urgente (Jimeno et al., 2008).

De acordo com os resultados obtidos considerou-se que para os troços do talude 1 devem ser tomadas medidas de mitigação e de estabilização, pois o total da soma dos parâmetros da RHRS é superior a 300, enquanto para o talude 2 esses tipos de acções poderão ser igualmente realizados mas não de uma forma prioritária, uma vez que os valores do somatório da classificação da RHRS são inferiores a 300. Os valores do SMR para o 2º troço do talude 1 revelaram uma instabilidade acentuada, para esse mesmo troço os resultados da classificação RHRS correspondem a uma situação que requer a adopção de medidas de estabilização de uma forma mais rápida do que no 1º troço do talude 1 e do que no talude 2.

Quadro 5.7 – Aplicação da classificação RHRS.

Parâmetros		1º troço – Talude 1	2º troço – Talude 1	Talude 2	
ALTURA DO TALUDE		9	9	3	
EFICÁCIA DA VALA		30	30	30	
RISCO MÉDIO PARA VEÍCULOS		3	3	3	
DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE DECISÃO		81	90	81	
LARGURA DA PLATAFORMA DA VIA		70	70	70	
NATUREZA GEOLÓGICA	CASO 1	CONDIÇÃO ESTRUTURAL	70	81	27
		ATRITO DA ROCHA	9	9	9
	CASO 2	CONDIÇÃO ESTRUTURAL	-	-	12*
		DIFERENÇA EM TAXAS DE EROSÃO	-	-	15*
TAMANHO DO BLOCO QUANTIDADE DE QUEDA DE BLOCOS POR EVENTO		6	15	3	
PRESENÇA DE ÁGUA NO TALUDE		9	9	9	
HISTÓRICO DA QUEDA DE BLOCOS		27	27	9	
<b>Total</b>		314	343	244 / 235*	

\*Na natureza geológica considerou-se o Caso 2.

## **5.5. - Medidas de redução e de mitigação das situações de instabilidade.**

### **5.5.1. - Medidas de estabilidade.**

As medidas de estabilidade a adoptar estão relacionadas com os resultados das classificações SMR e RHRS, bem como das observações in situ. Devem ter-se em conta as condições dos taludes estudados: berma de largura, pendores superiores a 60°, escassa de vegetação arbórea nas faces dos taludes e orientações adversas das descontinuidades, estas condições permitem a queda de blocos que é o tipo de instabilidade predominante nos taludes estudados.

Os valores mais baixos do SMR foram de 33 e 39 respectivamente para o 1º e 2º troço do talude 1, estes resultados permitem enquadrar os taludes como necessitando de medidas correctivas. Os valores da classificação RHRS foram 314 e 343 para o primeiro e segundo troço do talude 1, enquanto para o talude 2 obteve-se um valor de 244 ou 235.

Numa fase inicial de estabilização dos taludes poderia proceder-se ao saneamento de blocos rochosos de volume significativo e que se encontram em situação de queda eminente. Deviam ser colocados sinais de trânsito a alertar os condutores que circulam na área da possibilidade de queda de blocos.

De acordo com as considerações de Romana (1996) para os valores encontrados através do SMR, e tendo em atenção os valores obtidos pela classificação RHRS, propõe-se a colocação de redes de protecção metálicas e a utilização de pregagens para o primeiro troço do talude 1, em algumas partes do maciço rochoso mais fracturadas e alteradas deste troço poderá utilizar-se betão projectado.

Para o 2º troço do talude 1, que apresenta os valores mais baixos de SMR e mais elevados da classificação RHRS, preconiza-se a colocação de redes metálicas e o reforço do talude através de pregagens que devem ser sistemáticas e mais profundas na parte do troço mais sujeita a situações de instabilidade, designadamente onde podem ocorrer quedas de blocos de maior dimensão e que estão associadas à presença das descontinuidades da família A, o betão projectado pode ser empregue nas zonas de fracturação com menor espaçamento e maior grau de alteração. O talude 2 não seria sujeito a medidas de estabilização, devendo no entanto continuar a monitorizar-se a evolução das situações de instabilidade, podendo efectuar-se intervenções se estas se verificarem e tenham possibilidades de atingir os veículos

que circulam na via de comunicação rodoviária. Os eventuais problemas de instabilidade provocados pelos depósitos de cobertura podem ser minimizados através do seu saneamento e pela redução do pendor dos referidos depósitos.

## 6. Conclusões

Procedeu-se ao estudo das situações de instabilidade presentes em dois taludes da Estrada Nacional 280. Os taludes estudados não apresentam medidas de prevenção ou de estabilização de modo a evitar as quedas de blocos ou outros tipos de instabilidade, o pendor do talude é elevado e não garante a estabilidade, designadamente durante os períodos de maior precipitação.

O trabalho pretende definir algumas das situações de instabilidade que podem ocorrer nas vias de comunicação localizadas nas proximidades de Lubango, pretendendo contribuir para um melhor planeamento e ordenamento do território através da caracterização dos movimentos de instabilidade que podem ocorrer nos taludes bem como definir as suas causas e recomendar medidas de estabilização.

Os taludes 1 e 2 são constituídos principalmente por quartzo-arenitos ou quartzitos da Formação Tundavala do Grupo Chela, na parte superior dos taludes localizam-se depósitos de cobertura cuja formação está relacionada com processos erosivos.

Verificaram-se ao longo dos anos, e mais recentemente em Março de 2011, situações de instabilidade nos taludes, em que o tipo de movimento de maior importância é a queda de blocos rochosos, podendo ocorrer igualmente deslizamentos planares e em cunha. As quedas de blocos são mais frequentes no talude 1 do que no talude 2.

Entre as principais causas para a ocorrência das situações de instabilidade está a orientação desfavorável das descontinuidades e a presença da água como se pode comprovar pelo incremento da queda de blocos rochosos nos períodos de maior pluviosidade.

A partir do levantamento geológico e estrutural, bem como da utilização de programas informáticos definiram-se 3 e 4 famílias de descontinuidades, respectivamente para o primeiro e segundo troço do talude 1.

Para os dois troços do talude 1 classificou-se a resistência do material rochoso como elevada para o material menos alterado e como baixa para o material rochoso de maior grau de alteração ou mais fracturado.

As superfícies das descontinuidades apresentam-se predominantemente rugosas a ligeiramente rugosas, o material de preenchimento foi considerado como inexistente ou duro de espessura inferior a 5 mm e o estado de alteração foi classificado como

ligeiro a moderado. A abertura de algumas descontinuidades sub-verticais é por vezes superior a 1 mm.

Os valores do RMR para o material mais resistente do primeiro e segundo troço do talude 1 revelaram que o maciço rochoso se pode qualificar de boa qualidade, enquanto para o material de menor resistência o maciço rochoso se pode definir como de qualidade intermédia a boa para o 1º troço do talude 1 e predominantemente de qualidade razoável para o 2º troço do talude 1.

Os valores mais reduzidos que foram obtidos através da aplicação do SMR permitiram classificar os dois troços do talude 1 como pertencentes à classe IV e deste modo serem considerados como instáveis.

Procedeu-se à aplicação do RHRS nos taludes 1 e 2, os resultados revelaram valores de 314 e 343, respectivamente para o primeiro e segundo troço do talude 1, enquanto para o talude 2, consoante se considerou o maciço rochoso ou os depósitos de cobertura, determinaram-se valores de 244 ou 235. Os dois troços do talude 1 são considerados como susceptíveis de intervenção, mas também não se enquadram nas situações de estabilização imediata que devem ser realizadas para taludes com valores superiores a 500.

As soluções de estabilização adoptadas têm como objectivo principal impedir que o material em queda atinja a zona de circulação dos veículos automóveis.

As medidas recomendadas para o aumento da estabilidade do primeiro troço do talude 1 são a utilização de redes metálicas associadas ao emprego de pregagens, podendo recorrer-se de modo localizado ao betão projectado. Para o segundo troço do talude 1, que apresenta valores do SMR mais reduzidos do que os do primeiro troço, devem utilizar-se os métodos de estabilização mencionados para o primeiro troço e também serem utilizadas pregagens de maior profundidade nos blocos potencialmente instáveis e que possuem dimensões mais elevadas. No talude 2 devem efectuar-se campanhas periódicas de observação visual de modo a verificar-se a propensão ou a ocorrência de situações de instabilidade. A frequência das campanhas deve ser adequada à meteorologia, devendo ser mais frequentes com o aumento da pluviosidade.

## Referências Bibliográficas

- ABNT (1991) – Estabilidade de taludes. N.R.B.11682-Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Alberto, P.J. (2010) – Avaliação dos processos de instabilidade do talude da Capelinha da Nossa Senhora do Monte. (Lubango, Angola.). Dissertação de Mestrado. DCT, Universidade de Coimbra.
- Andrade, M.M. (1954) – Rochas graníticas de Angola. Junta de Investigações do Ultramar, Memórias, Série geológica, IV.
- Andrade, P.S. (2008) – Estudo das principais características das descontinuidades; Departamento de Ciências da Terra, FCTUC, Coimbra.
- Andrade, P.S. (2009) – Diapositivos da disciplina de Análise e Gestão de Riscos Naturais. Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.
- Ayala-Cacerdo, F.; Marques, M.; Gijon, M.F.; Gil, A. (1987) – Manual de taludes. Instituto Geologico y Minero de España. Serie Geotecnia.
- Bastos, M.J.N. (1999) – A estabilidade estrutural na segurança de pedreiras a céu aberto – Maciços terrosos. Comunicações Técnicas. Visaconsultores. <http://www.visaconsultores.co>, acedido em Abril de 2011.
- Bell, F.G. (1993) – Engineering Geology. Blackwell Science (Ed.), Oxford.
- Bieniawski, Z.T. (1976) – Rock mass classification in rock engineering. Proc. Symp. Exploration for Rock Engineering. Johannesburg, South Africa. Balkema (Ed.), Rotterdam, vol.1, pp. 97-106.
- Bieniawski, Z.T. (1979) – The Geomechanics Classification in rock engineering applications. Proc. of the Fourth Congress International on Rock Mechanics, Montreux, Canada. Balkema, Boston, pp. 51-58.
- Bieniawski Z. T. (1989) – Engineering Rock Mass classifications. Wiley, New York.
- Bloom, A. (1970) – Superfície da Terra. Editora Edgard Blücher, São Paulo.
- Carson, M.A.; Kirkby, M.J. (1972) – Hillslope Form and Processes. 2. ed., Cambridge University Press, Malta.
- Carvalho, H.; Fernandez, A.; Vialette, Y (1979) – Chronologie absolue du Précambrien du sud-ouest de l' Angola. C.R. Acad. Sc. Paris, 228, pp. 1647-1650.
- Carvalho, H.; Alves, P. (1993) – The Precambrian of SW Angola and NW Namibia. General Remarks. Correlation Analysis. Economic Geology. *Comunicações do Instituto de Investigação Científica e Tropical, Série de Ciências da Terra*, 4.
- Cassetti, V. (1994) – Conceitos fundamentais in: Geomorfologia. Goiânia: CEGRAF.
- Coelho, S. (1996) – Tecnologia das fundações. E. P. Gustave Eiffel, Amadora.
- Correia, H. (1976) – O Grupo Chela e a formação Leba como novas unidades litoestratigráficas resultantes da redefinição da “Formação da Chela” na região do planalto da Humpata (Sudoeste de Angola). *Boletim da sociedade Geológica de Portugal*. Vol XX (I-II).
- Cruden, D.M.; Varnes, D.J. (1996) – Landslides Types and Processes. In Special Report 247: Landslides. Investigation and Mitigation (Turner, A.K. & Schuster



- R.L. eds) Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp 36-375.
- Deere, D. U.; Miller, R.P. (1966) – Engineering classification and index properties for intact rock. Report AFWL-TR – 65 – 116. Air Force Weapons Laboratory (WLDC). Kirtland Air Force base, New Mexico.
- Dikau, R.; Brunsden, D.; Schrott, L.; Ibsen, M.L. (1996) – Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes. John Wiley & Sons, Chichester.
- Dramis, F.; Sorriso-Valvo, M. (1994) – Deep-seated gravitational slope deformations related landslides, and tectonics. *Eng. Geology*, 38, pp. 231-243.
- Dyminski, A.S. (2010) – Noções de estabilidade de taludes e contenções. Estabilidade de Taludes. Universidade Federal do Paraná.
- Feio, M. (1981) – O relevo do sudoeste de Angola: estudo de geomorfologia. Junta de Investigação Científica do Ultramar.
- Giani, G. P. (1992) – Rock Slope Stability Analysis. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Gomes, T. (2009) – Caracterização de instabilidades em taludes de vias ferroviárias do centro de Portugal. Dissertação de Mestrado. DCT, Universidade de Coimbra.
- Gonçalves, G. (2011) – Avaliação dos processos de instabilização da vertente do bairro “ A luta Continua” – Lubango Angola. Dissertação de Mestrado. DCT, Universidade de Coimbra.
- Gonzalez, I. (2006) – Estabilização de taludes em auto-estradas. Formação de Estabilização de Taludes. LEMO, Oeiras.
- Goodman, R.E.; Bray, J.W. (1976) – Toppling of Rock Slopes. Proc. Rock Eng. For Foundations and Slopes, Boulder. 2, pp. 201-234.
- Hoek, E. (2007) – Practical rock engineering. <http://www.rocscience.com/hoek>. Acedido em 15 de Janeiro de 2011.
- Hoek, E; Londe, P. (1974) – The design of rock slopes and foundations. General Report on Theme III. Proc. Third Congress Int. Soc. Rock Mech., Denver. 1(A), pp 613-752.
- Hunt, R.E. (2007) – Geologic Hazards: A Field Guide for Geotechnical Engineers. Taylor and Francis Group. Boca Raton, Florida, USA.
- Hutchinson, J.N. (1977) – Assessment of the effectiveness of corrective measures in relation to geological conditions and types of slope movement. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 16, pp. 131-155.
- Hyndman, D.; Hyndman, D. (2006) – Natural hazards and disasters. Thomson Brooks/Cole, Belmont.
- ISRM (1981) – Rock characterization testing & monitoring. ISRM suggested methods. E.T. Brown (Ed.). Published for the Commission on Testing Methods. Pergamon Press Ltd, Oxford.
- Júnior, A.P.; Longo, A.C. (2010) – Análise dos movimentos de massa em área urbana: o caso do bairro dom giocondo. VI congresso nacional de excelência em gestão Energia, Inovação, Tecnologia e Complexidade para a Gestão Sustentável (U.F.F.).
- Kalukembe, A. (2010) – Caracterização e avaliação espacial das formações carbonatadas do planalto da Humpata. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra.
- Lefèvre, C.; Schneider, J. (2002) – Les risques naturels majeurs. CPI, Paris.

- Matos, L. M. (2008) – Estabilidade de Taludes em Rochas Silto-argilosas. Técnicas de Remediação para Roturas Superficiais. Dissertação de mestrado apresentado à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Mercedes-Gijon, F. (1981) – Riesgos Geológicos, Celebrado en Madrid. Instituto Geologico y Minero de España. Deslizamento, Desprendimentos, Flujos y Alavanchas.
- Ortigão, J.A.R.; Sayão, A. (1999) – Estabilização de Taludes – Experiência Brasileira em Maciços de Solos Residuais. FEUP, Porto.
- Palmström, A. (1982) – The volumetric joint count - a useful and simple measure of the degree of rock jointing. Proc. 4th congr. Int. Assn Eng Geol., Delhi, vol. 5.
- Pierson, L.A.; Davis, S.A.; Van Vickle, R. (1990) – Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual. Federal Highway Administration (FHWA). US Department of Transportation.
- Rodrigues, D.; Tavares, A.; Abreu, U. (2010) – Movimentos de vertente na ilha da Madeira. Eventos de Dezembro 2009 e Fevereiro de 2010. VIII Congresso Nacional de Geologia, Braga. Vol. 9 (7).
- Rodrigues, M.L. (2003) – Classificação de instabilidade de vertentes. Curso de especialização de Estabilidade de Vertentes e Taludes. FCUL.
- Romana, M. (1993) – A geomechanics classification for slopes: Slope Mass Rating. In Comprehensive Rock Engineering. J. Hudson (Ed). Pergamon, vol. 3. pp 575-600.
- Romana, M. (1996) – The SMR geomechanical classification for slopes: A critical ten-years review. Proceedings of the Eighth International Conference and Field Trip on Landslides, Granada, Spain. Balkema (Ed.), Rotterdam, pp. 255-267.
- Saraiva, A.A. (1994) – Estabilidade de taludes naturais e de escavação. Centro de Geociências da Universidade de Coimbra
- Sestini, M.F. (2000) – Variáveis Geomorfológicas no Estudo de Deslizamentos. <http://www.infoescola.com/geologia/deslizamento-de-terra/>, acedido em Julho de 2011.
- SINFIC (2007) – Plano de desenvolvimento, Província da Huíla (Caracterização ambiental).
- Teixeira, M. (2005) – Movimentos de Vertente. Factores de ocorrência e metodologia de inventariação. *Geonovas*, 19, pp. 95-106.
- Torquato, J.R. (1974) – Algumas considerações sobre a idade do grupo Chela. Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas, Memória 14.
- Vale, F.S. (1968) – Folha 355 – Humpata-Cainde, escala 1: 100 000. Direcção provincial dos Serviços de Geologia e Minas.
- Vale, F.S. (1971) – Folha 336 – Sá da Bandeira, escala 1: 100 000. Direcção provincial dos Serviços de Geologia e Minas.
- Vallejo, L.I.G.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. (2002) – Ingeniería Geológica. Prentice Hall (Ed.), Madrid.
- Varnes, D. J. (1978) – Slope Movement Types and Processes. In Special Report 176: Landslide: Analysis and Control (R. L. SCHUSTER and R.J. KRIZEK, Eds.), Transportation Research Board, National Research Council, pp.11 – 33.
- Wyllie, D.; Mah, C. (2004) – Rock Slope Engineering. Taylor and Francis, London and New York.

WP/WLI (1993) – A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 47, pp. 53-57.

Zêzere, J.L. (2000) – A classificação dos movimentos de vertente: Tipologia, actividade e morfologia. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.

Zêzere, J.L. (2005) – Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos, relatório nº41. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.