



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

**CARACTERIZAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE
INSTABILIDADE NA ESTRADA NACIONAL 280,
SERRA DA LEBA
(ANGOLA)**

Arulo Ezequias Chitonga

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS – AMBIENTE E ORDENAMENTO

Fevereiro, 2016





UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências da Terra

**CARACTERIZAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE
INSTABILIDADE NA ESTRADA NACIONAL 280,
SERRA DA LEBA
(ANGOLA)**

Arulo Ezequias Chitonga

MESTRADO EM GEOCIÊNCIAS - AMBIENTE E ORDENAMENTO

**Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Geociências na área de
especialização em Ambiente e Ordenamento.**

Orientador científico

Prof. Doutor Pedro Gomes Cabral Santarém Andrade*

*Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar expresso a minha gratidão a Deus todo-poderoso pela vida e saúde que sempre me tem concedido.

Aos meus pais, Ovídio Chitonga e Janete Nogueve que durante a minha infância incentivaram-me em frequentar a escola. Aos meus irmãos, amigos e colegas por tudo quanto fizeram por mim durante a fase de formação e de investigação.

Ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Gomes Cabral Santarém Andrade, dirijo a minha alta consideração e gratidão, que estará sempre comigo.

Aos professores do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, especialmente os que lecionaram as diversas disciplinas durante a fase curricular do mestrado.

A todos os que direta ou indiretamente me apoiaram para que o presente trabalho chegasse a uma fase conclusiva.

Muito obrigado

Ndapandula

RESUMO

No presente trabalho procedeu-se à caracterização de movimentos de instabilidade em seis taludes localizados na descida da Leba ao longo da Estrada Nacional 280, a qual estabelece a ligação entre as províncias da Huíla e do Namibe. Nos taludes ocorrem arenitos e quartzo-arenitos, bem como vulcanoclastitos, verificando-se a sua sobreposição por depósitos de cobertura.

O estudo compreende uma introdução na qual são apresentados os objetivos e fundamenta-se a importância do trabalho efetuado. Descrevem-se os vários tipos de instabilidade e os seus principais fatores condicionantes. Procedeu-se à localização geográfica da área de estudo, à descrição dos aspetos climáticos, socioeconómicos, bem como às caracterizações geológicas regional e local. A metodologia utilizada no presente estudo é exposta. Recorre-se à aplicação das classificações “Rock Mass Rating” (RMR) de Bieniawski (1979, 1989) e “Rockfall Hazard Rating System” (RHRS) (Pierson et al., 1990). Do estudo efetuado verificou-se os taludes são constituídos por maciços rochosos com um comportamento geotécnico de boa a razoável qualidade. Os valores da classificação RHRS indicaram a existência de taludes com valores iguais ou superiores a 300, pelo que devem ser adotadas medidas de estabilização.

São apresentadas as principais conclusões, indicando-se igualmente as possíveis recomendações e propostas no sentido de evitar as consequências dos movimentos de instabilidade.

Palavras-chave: Taludes, RMR, RHRS, Leba, Angola

Abstract

This work studies stability problems of six slopes on the National Highway 280, in Leba Sierra. This road connects the provinces of Huila and Namibe. The slopes are composed by sandstones and quartz-sandstones; vulcanoclastites and overlapping coverage deposits are also present.

The study comprises an introduction where the objectives are set and the importance of the work justified. The different types of slope movements and their main factors are described. The geographical location of the study area, the description of the climate, the socio-economic aspects, as well as the geological characterizations are carried out. The methodology used is described. The Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski, 1979 & 1989) and Rock Fall Hazard System (RHRS) (Pierson et al., 1990) are adopted.

The main conclusions and also recommendations and possible stabilization measures are presented.

Key-words: Slopes, RMR, RHRS, Leba, Angola

Índice

Agradecimentos -----	i
Resumo -----	ii
Abstract -----	iii
Índice -----	iv
Capítulo 1- Introdução -----	1
1.1-Considerações gerais-----	1
1.2-Objectivo e importância do estudo-----	2
1.3-Estrutura do trabalho-----	3
Capítulo 2 - Movimentos de instabilidade de taludes -----	4
2.1-Considerações gerais-----	4
2.2-Fatores condicionantes da instabilidade nos taludes-----	4
2.3-Classificação dos movimentos de instabilidade nos taludes-----	5
2.3.1-Desmoronamentos-----	7
2.3.2-Basculamentos ou Toppling-----	7
2.3.3-Deslizamentos-----	8
2.3.3.1-Deslizamentos rotacionais-----	8
2.3.3.2-Deslizamentos translacionais-----	9
2.3.4-Fluxos-----	9
2.3.5-Expansões laterais-----	10
2.3.6-Movimentos complexos e compostos-----	11
Capítulo 3 - Enquadramento Geográfico e Geológico -----	12
3.1-Enquadramento Geográfico da área de estudo-----	12
3.1.1 – Características demográficas e socioeconómicas da zona de estudo-----	13
3.1.2 – Caracterização climática da zona de estudo-----	14
3.2 – Geomorfologia-----	16
3.3 – Hidrografia-----	17
3.4 – Enquadramento geológico regional-----	18
3.5 – Enquadramento geológico local-----	21
Capítulo 4 – Metodologia -----	23
4.1 - Descrição da metodologia empregue-----	23
4.2 - Classificação RMR-----	24
4.2.1 – Resistência do Material Rochoso-----	27
4.2.2 – Rock Quality Designation (RQD)-----	28
4.2.3 – Características gerais das descontinuidades-----	29

4.2.4 – Orientação-----	29
4.2.5 – Espaçamento-----	29
4.2.6 – Persistência ou continuidade-----	30
4.2.7 – Rugosidade-----	30
4.2.8 – Abertura-----	31
4.2.9 – Material de preenchimento-----	31
4.2.10 – Percolação-----	32
4.3 – Classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS)-----	32
4.3.1 – Altura do Talude-----	34
4.3.2 – Capacidade de retenção da vala-----	34
4.3.3 – Risco médio por veículo-----	34
4.3.4 – Distância de visibilidade de decisão-----	35
4.3.5 – Largura da plataforma da via-----	35
4.3.6 – Natureza geológica-----	35
4.3.7 – Dimensão do bloco ou volumetria de material instabilizado por evento-----	36
4.3.8 – Presença de água no talude-----	36
4.3.9 – Historial da queda de blocos-----	36
Capítulo 5 – Aplicação das Classificações RMR e RHRS-----	37
5.1 - Descrição das principais características dos taludes estudados.-----	37
5.2 - Parâmetros das Classificações Geomecânicas-----	43
5.2.1 – Resistência do material rochoso-----	43
5.2.2 – Determinação do valor do RQD e do Espaçamento-----	44
5.2.3 – Aplicação da Classificação RMR-----	45
5.2.4 – Valores totais da classificação RMR-----	50
5.3 – Aplicação da Classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS) -----	51
5.3.1 – Altura do talude-----	51
5.3.2 – Eficácia da vala-----	5
5.3.3 – Risco médio para veículos-----	51
5.3.4 – Distância de visibilidade de decisão-----	52
5.3.5 – Largura da plataforma da via-----	52
5.3.6 – Caso 1: Condição estrutural-----	52
5.3.7 – Caso 1: Atrito da rocha-----	52
5.3.8 – Tamanho do bloco-----	52
5.3.9 – Presença de água-----	53
5.3.10 – Historial da queda de blocos-----	53
5.4 – Resultados obtidos através da aplicação da Classificação RHRS-----	53
Capítulo 6 – Conclusões-----	57

1 - INTRODUÇÃO

1.1- Considerações gerais

A análise e compreensão das situações de instabilidade de taludes e vertentes correspondem a aspetos de maior importância no ordenamento correto do território.

Os movimentos de instabilidade dos taludes e vertentes, de acordo com a WP/WLI (1993), constituem um dos eventos que mais prejuízos financeiros e vítimas mortais provocam a nível mundial, correspondendo igualmente a processos geomorfológicos de grande importância na evolução do relevo. Nas zonas urbanas atingem, muitas vezes, proporções catastróficas dado que provocam importantes danos materiais e perdas de vidas humanas.

As situações de instabilidade nos taludes e vertentes têm preocupado a comunidade científica e as autoridades, procurando-se perceber a sua origem, prever a sua ocorrência, bem como estabelecer medidas preventivas. Para o estudo dos movimentos de instabilidade devem considerar-se fatores como a litologia, a textura, os aspetos estruturais e o grau de fracturação que são fundamentais na interpretação da evolução de vertentes e taludes (Teixeira, 2005). É igualmente necessário analisar as características geométricas das vertentes/taludes, a sua exposição, os pendores, o tipo de drenagem, a utilização do solo e as várias características da precipitação.

O crescimento dos aglomerados urbanos e a ausência de políticas adequadas de planeamento e ordenamento, em alguns países do continente africano, leva a que muitas populações se fixem em áreas com uma grande probabilidade de ocorrência de situações de instabilidade.

O governo de Angola tem demonstrado preocupação com o estado das principais vias de comunicação rodoviárias. O Instituto Nacional de Estradas de Angola (INEA) tem como uma das principais funções a manutenção das estradas. Em 2004, a Estrada Nacional nº 280 (EN 280) que estabelece a ligação entre a cidade do Lubango e o Namibe foi sujeita a trabalhos de reabilitação. Sete anos após, nos primeiros quatro meses de 2011, registaram-se situações de instabilidade na Serra da Leba que levaram à interrupção da circulação automóvel, na EN 280, durante alguns dias. De 2011 a 2013, na Serra da Leba, procedeu-se à reabilitação de pontes, de alguns troços da EN 280, assim como se repararam valas que se danificaram no decorrer no período de maior pluviosidade.

O tipo de instabilidade mais frequente nos taludes estudados corresponde à queda de blocos. Apesar da reabilitação efetuada, é de destacar que os trabalhos de estabilização nos taludes foram de pequena extensão pelo que os taludes se apresentam, de modo geral, propensos a situações de instabilidade tais como quedas de blocos, deslizamentos e fluxos.

1.2 - Objetivos e importância do estudo

O principal objetivo do presente trabalho é o estudo das situações de instabilidade presentes em 6 taludes rochosos na zona da Leba, ao longo da EN 280, definiram-se os tipos de instabilidade existentes, a sua probabilidade de ocorrência e também as formas de monitorização, de estabilização e de mitigação.

No presente estudo utilizou-se a classificação geomecânica “Rock Mass Rating” (RMR) de Bieniawski (1979, 1989) e também a classificação “Rockfall Hazard Rating System” (RHRS) (Pierson et al, 1990).

Definiram-se medidas de estabilização e de prevenção para incrementar a segurança dos utentes da EN 280.

Dada a melhoria que as vias de comunicação nacionais têm registado nos últimos anos, é necessário proceder a estudos relacionados com os movimentos de instabilidade nos taludes e vertentes, de modo a evitar prejuízos económicos e vítimas humanas. Presentemente a segurança dos utentes e os aspetos ambientais não são definidos de forma consequente, não existindo uma definição da probabilidade de ocorrência das instabilidades nos taludes das vias de comunicação rodoviárias.

A Estrada Nacional 280 constitui uma das principais vias de comunicação das províncias da Huíla e Namibe, intersetando diferentes maciços rochosos, destacando-se a descida da Serra da Leba.

As situações de instabilidade ao longo da Estrada da Leba têm sido recorrentes ao longo dos anos, designadamente nos em que ocorreram precipitações intensas, verificando-se várias estabilizações, como deslizamentos, queda de blocos e fluxos de detritos e solos, estes últimos envolvendo volumes consideráveis e cujas consequências levaram à destruição parcial e interrupção da EN 280 na Serra da Leba (Gomes & Teixeira-Pinto, 2011; Kapule, 2012). As linhas de água sofreram ravinamentos acentuados, evidenciando perfis de elevada erosão.

1.3 - Estrutura do Trabalho

O presente estudo compreende seis capítulos, com uma sequência de temas abordados, no sentido de permitir um desenvolvimento coerente e estruturado.

- O capítulo 1 é relativo à introdução e são desenvolvidos aspetos gerais relativos ao estudo efetuado, são apresentados os objetivos e fundamenta-se a importância do trabalho efetuado.
- No capítulo 2 descrevem-se os vários tipos de instabilidade e os seus principais fatores condicionantes: litologia, estruturas geológicas, condições hidrogeológicas, propriedades geomecânicas e tensões naturais. Na classificação das instabilidades nos taludes consideraram-se os desmoronamentos, os deslizamentos, os basculamentos, os fluxos, as expansões laterais e os movimentos complexos.
- No capítulo 3 procede-se à localização geográfica da área de estudo, à descrição dos aspetos climáticos, socioeconómicos, bem como às caracterizações geológicas regional e local.
- No capítulo 4 caracteriza-se a metodologia utilizada no presente estudo.
- O capítulo 5 está relacionado com a aplicação das classificações “Rock Mass Rating” (RMR) de Bieniawski (1979, 1989) e “Rockfall Hazard Rating System” (RHRS) (Pierson et al., 1990).
- No capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões. Mencionam-se igualmente as possíveis recomendações e medidas de estabilização.

2 – Movimentos de Instabilidade nos Taludes

2.1- Considerações Gerais

No estudo das situações de instabilidade presentes num maciço rochoso deve proceder-se à caracterização dos materiais constituintes e das estruturas geológicas, estas podem originar situações de instabilidade como as que têm ocorrido na zona da Serra da Leba (Fig. 2.1). Os taludes podem ser considerados como naturais, de escavação e de aterro. Os movimentos de instabilidade são enquadrados em classificações, o que permite a sua comparação, bem como a identificação das causas e das características em comum.

Os diferentes tipos de rotura nos taludes estão relacionados com a compartimentação dos maciços rochosos, pelas coordenadas geológicas das descontinuidades e pelas características geométricas dos taludes. As ocorrências de instabilidade são igualmente condicionadas pelos parâmetros de resistência das descontinuidades e do material rochoso (Giani, 1992).

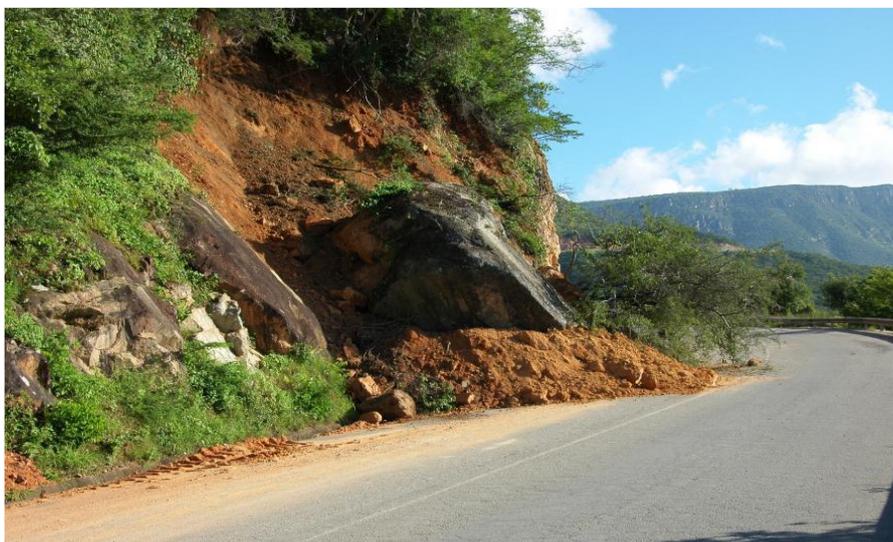


Figura 2.1- Situação de instabilidade na Serra da Leba (retirado de Gomes & Teixeira-Pinto (2011)).

2.2 - Fatores condicionantes da instabilidade nos taludes

Os principais fatores que condicionam a instabilidade de um talude são: a estratigrafia, as características litológicas, as estruturas geológicas, as condições hidrogeológicas, as suas propriedades físicas e químicas dos materiais constituintes, e as tensões naturais

e induzidas. Com a conjugação crítica destes fatores pode alcançar-se uma situação de rotura e o conseqüente movimento de instabilidade num determinado talude. É de salientar que os fatores geológicos, hidrogeológicos e geotécnicos estão estritamente relacionados com o tipo de material existente nos taludes (Vallejo et al., 2002), para além destes três últimos fatores que são designados como passivos, deve igualmente ter-se em atenção os fatores desencadeantes que também podem ser denominados como fatores ativos.

Os fatores desencadeantes correspondem a fatores externos e incluem as sobrecargas estáticas, as cargas dinâmicas, as modificações das condições hidrogeológicas, as variações climáticas, as alterações das características geométricas do talude e a diminuição dos valores dos parâmetros relativos à resistência.

A identificação e a caracterização dos fatores condicionantes e desencadeantes (Quadro 2.1) são necessárias para o desenvolvimento da investigação do talude, designadamente para a determinação das condições de estabilidade, e posteriormente, permitirá efetuar um estudo relacionado com as medidas de estabilização e/ou de proteção de taludes.

Quadro 2.1 - Fatores condicionantes e desencadeantes da estabilidade dos taludes (adaptado de Vallejo et al. (2002)).

Fatores condicionantes	Fatores desencadeantes
<ul style="list-style-type: none"> - Estratigrafia e litologia. - Estrutura geológica. - Condições hidrogeológicas. - Propriedades físicas, de resistência e de deformabilidade. - Tensões naturais e estado de tensão-deformação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecarga estática. - Cargas dinâmicas. - Variações nas condições hidrogeológicas. - Fatores climáticos. - Variação das características geométricas. - Redução dos parâmetros de resistência.

Souza (2000) menciona que as instabilidades dos taludes estão relacionadas com uma sequência de eventos que assumem, frequentemente, um carácter cíclico e são condicionadas pela formação do material rochoso, bem como pelos posteriores eventos geológicos e geomorfológicos.

Segundo Teixeira (2005), as ações antrópicas podem provocar movimentos de instabilidade sem qualquer interferência dos fatores de ordem natural, deste modo as situações de instabilidade podem verificar-se devido à modificação da geometria natural das vertentes, ao incremento das sobrecargas no topo das vertentes, à

perturbação dos cursos de água e à ocupação dos leitos de inundação ou das áreas localizadas no litoral.

2.3. Classificação dos movimentos de instabilidades nos taludes

Os tipos de instabilidade presentes nos taludes e vertentes podem ser classificados, de acordo com o material presente, velocidade, movimento de rotura, dimensão do material instabilizado e forma da superfície de rotura. As classificações de movimentos de instabilidade nos taludes, agrupam vários tipos de movimentos, de acordo com Varnes (1978) (Fig. 2.1), estes podem ser considerados como: desmoronamentos, basculamentos ou “toppling”, deslizamentos ou escorregamentos, expansões laterais, escoadas ou fluxos e movimentos complexos.

A classificação de Varnes (1978) foi adotada pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia e do Ambiente e estabeleceu-se de acordo com dois aspetos fundamentais; o tipo de mecanismo e a constituição do material (solos, detritos ou rochas), posteriormente Dikau et al. (1996) efetuaram modificações à classificação estabelecida por Varnes (1978).

Quadro 2.1 - Classificação dos movimentos de taludes segundo 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 unidad.	rotacional rochoso	rotacional em detritos	rotacional em terra
	Trans.	Muitas unidad.	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		

2.3.1 – Desmoronamentos

Os desmoronamentos são situações de instabilidade que ocorrem em taludes/vertentes de inclinação elevada, verificando-se que uma parte considerável do movimento é efetuada em queda livre (Fig. 2.2); apresentam uma velocidade muito rápida a extremamente rápida (Vallejo et al., 2002). As dimensões dos materiais instabilizados apresentam-se muito diversificadas e estão relacionadas com o grau de fracturação. Verifica-se, muitas vezes, na parte inferior dos taludes a acumulação de material resultante de desmoronamentos.

De acordo com Hoek & Palmieri (1998), as causas dos movimentos de queda de blocos correspondem ao incremento da pressão neutra devido à infiltração da água proveniente da pluviosidade, à ocorrência de processos erosivos em particular nos períodos de precipitação torrencial, aos processos de meteorização do material rochoso, às escavações e ao crescimento das raízes no interior das descontinuidades.



Figura 2.2 – Situações de desmoronamentos no litoral SW de Angola.

2.3.2 – Basculamentos ou Toppling

Nos basculamentos regista-se um movimento em torno de um eixo situado inferiormente ao centro de gravidade do material instabilizado (Fig. 2.3).

Para a ocorrência deste tipo de instabilidade, deve verificar-se que os planos de descontinuidades possuam inclinações elevadas e no sentido contrário ao da face livre do talude (Hoek & Bray, 1981), devendo igualmente as direções das descontinuidades e da face do talude serem aproximadamente paralelas. As superfícies de descontinuidades podem ser planos de estratificação, planos de xistosidade, fraturas como diáclases ou falhas ou ainda fendas de tração.

As principais causas dos basculamentos são situações de alívio de tensão, ação da água, presença de vegetação, tensões aplicadas pelos materiais adjacentes e vibrações provocadas pela atividade sísmica (Andrade, 2008).

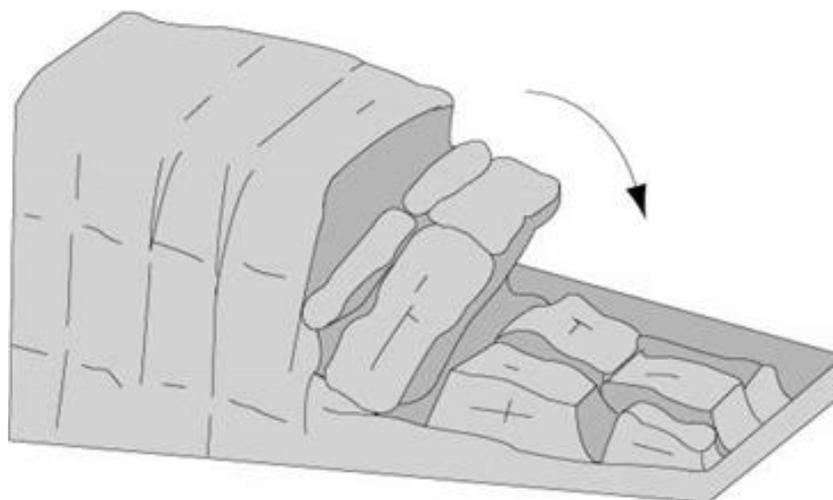


Figura 2.3 - Situação de Toppling (adaptado de BGS, 2016).

2.3.3 – Deslizamentos

Os deslizamentos ou escorregamentos correspondem a movimentos no sentido descendente de material rochoso, detritos ou solo, ao longo de uma superfície de rotura que pode ser curva (deslizamento rotacional) ou translacional (deslizamento planar e em cunha) (Highland & Borbrowsky, 2008).

Em algumas situações, os deslizamentos podem estar associados a outros tipos de movimentos quer no desenvolvimento inicial da rotura quer posteriormente a esta.

2.3.3.1 - Deslizamentos rotacionais

Os deslizamentos rotacionais ocorrem em solos ou em material rochoso muito fraturado e/ou de grau de alteração muito considerável, podem igualmente verificar-se em rochas brandas com características isotrópicas e de comportamento semelhante ao dos solos. As dimensões dos deslizamentos são muito variáveis desde poucos metros cúbicos até vários km^3 (Bell, 1993).

Os deslizamentos rotacionais podem ser causados pela erosão, pendores elevados, pluviosidade considerável, ou pela subida do nível freático. Nos taludes verifica-se que uma drenagem pouco eficiente aumenta a probabilidade de ocorrência dos deslizamentos rotacionais (Andrade, 2008).

2.3.3.2 - Deslizamentos translacionais

Os deslizamentos translacionais nos maciços rochosos ocorrem ao longo das superfícies de descontinuidades presentes. Esse tipo de movimento pode alcançar centenas de metros (Guidicini & Nieble, 1983).

De acordo com Markland (1972), para que se verifiquem os deslizamentos planares (Fig. 2.4), têm de se verificarem as condições:

- A direção do plano de deslizamento deve apresentar uma diferença não superior a 20° relativamente à direção da face do talude.
- O pendor da descontinuidade deve ser inferior ao pendor da face do talude e superior ao ângulo de atrito da superfície de descontinuidade.

Para que ocorram os deslizamentos em cunha, segundo Markland (1972):

- O mergulho da reta de interseção das duas descontinuidades tem de ser superior ao ângulo de atrito das descontinuidades. O pendor da reta de interseção das duas descontinuidades tem que ser inferior ao pendor da face do talude.
- Tem que existir um afastamento máximo de 25° entre a direção do mergulho da reta de interseção das duas descontinuidades e a direção do pendor da face do talude.

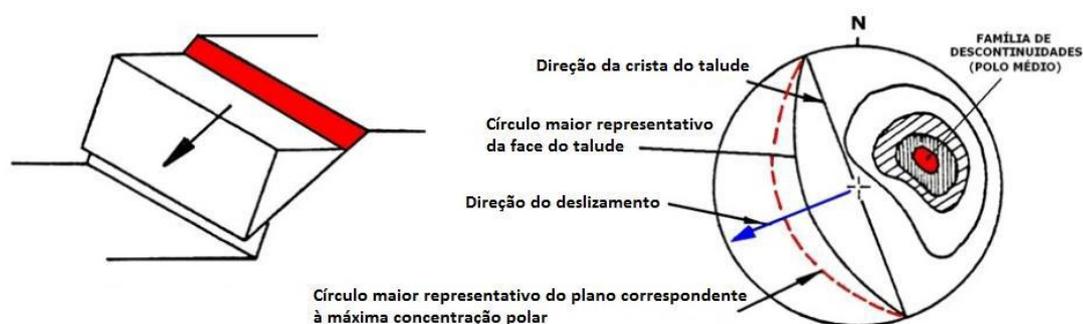


Figura 2.4 - Rotura por deslizamento planar e respetiva representação estereográfica (retirado de Castro (2014)).

2.3.4 – Fluxos

Os fluxos podem originar-se em materiais rochosos ou envolvendo detritos e/ou solos (Fig. 2.5). De acordo com Abreu (1999), os fluxos de detritos e solos estão relacionados com a presença excessiva de água, podendo verificar-se a perda das propriedades de resistência dos materiais envolvidos e um comportamento similar ao

de um fluido, originando-se uma movimentação de velocidade rápida. Correspondem a movimentos de instabilidade de grande capacidade destrutiva.

A água está associada aos processos de instabilização, correspondendo ao principal agente condicionante das situações de fluxos em climas tropicais (Suzuki, 2004).

Os fluxos de detritos e solos na Serra de Leba costumam verificar-se nos períodos de chuvas mais intensas, colaborando a água na diminuição da resistência aos movimentos de instabilidade. Os fluxos de detritos ocorrem muitas vezes nas linhas de água e os percursos apresentam uma seção transversal em forma de V ou retangular.

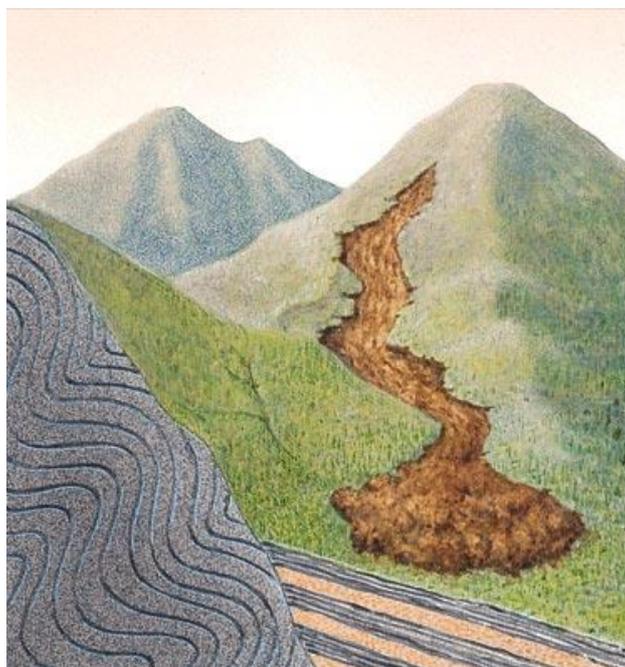


Figura 2.5 – Representação de fluxo, retirado de Press & Siever (1997).

2.3.5 - Expansões laterais

De acordo com Varnes (1978), a expansão lateral de solos corresponde a um movimento extremamente rápido que pode originar situações de grande perigosidade.

Os movimentos de expansão lateral ocorrem nas situações em que os materiais rochosos ou terrosos se sobrepõem a formações de comportamento brando, nos quais ocorre liquefação ou fluência. O processo é caracterizado pela inexistência de roturas basais bem definidas (Zêzere, 2000). A expansão lateral nos materiais rochosos apresenta, de modo geral, velocidades muito lentas e está associada a deformações visco-plásticas de grande profundidade (Pasuto & Soldati, 1996).

2.3.6 - Movimentos complexos e compostos

Os movimentos complexos e compostos englobam mais de que uma tipologia de movimentos de instabilidade. Nos primeiros é possível a distinção de vários tipos de movimentos, numa forma sequencial; nos segundos ocorrem duas situações de instabilidade, no mesmo período de tempo, mas em partes diferenciadas do material instabilizado.

A distinção entre um movimento complexo e um movimento composto apresenta-se, frequentemente difícil de efetuar, em particular quando o reconhecimento e o levantamento de campo são realizados após a ocorrência das instabilidades (Freitas, 2011). Podem considerar-se como movimentos complexos a avalanche de rochas e os deslizamentos de fluxos, estes últimos correspondem a movimentos de velocidade muito elevada, que inicialmente têm um comportamento de material granular, ou detrítico, enquanto a sua movimentação, numa fase posterior, assemelha-se a uma massa fluida (Ibsen et al., 1996).

3 - Enquadramento Geográfico e Geológico

3.1- Enquadramento geográfico da área de estudo

A área de estudo do presente trabalho está situada nas proximidades da fronteira entre as províncias da Huíla e do Namibe (Figs. 3.1, 3.2 e 3.3), neste caso entre os Municípios da Humpata e da Bibala, mais concretamente na descida da Serra da Leba e nas suas proximidades, ao longo da Estrada Nacional 280, esta possui uma grande importância no que diz respeito às ligações comerciais e de transporte das populações do Sudoeste de Angola. Do ponto de vista administrativo, a totalidade dos taludes considerados localizam-se na província do Namibe (Fig. 3.1). A zona da descida da Leba pertence à província do Namibe e está situada no município da Bibala, mais concretamente na comuna do Kapangombe. A área de estudo localiza-se a cerca de 42 km da cidade do Lubango, no limite fronteiriço entre as províncias da Huíla e do Namibe, pelo que apresenta características semelhantes às encontradas no Planalto da Humpata, região situada na Província da Huíla (Fig. 3.2). O município da Bibala tem uma extensão superficial de 7 612 km². O município da Humpata é limitado pelos paralelos 14° 46' e 15° 27' de latitude sul e pelos meridianos 13°12' e 13°36' de longitude este (Feio, 1981). Em termos de extensão, o Planalto da Humpata abrange uma área com cerca de 1242,8 km², envolvendo as povoações de Tchivinguiro, Palanca, Cangalongue, Bata-Bata, Cainde e Bimbe (Fig. 3.1).

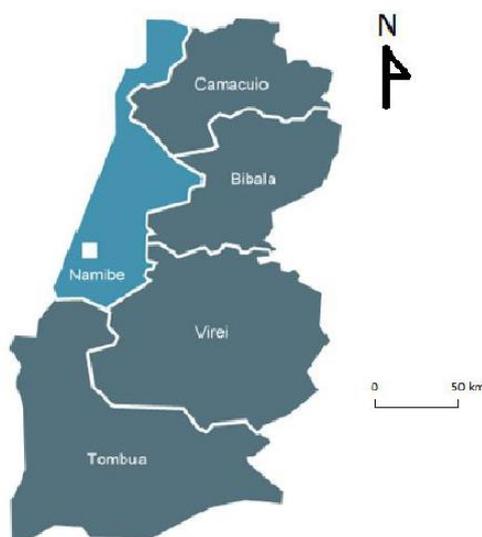


Figura 3.1 – Representação da província de Namibe, em que se inclui o Município da Bibala (adaptado de FAS (sd.a)).

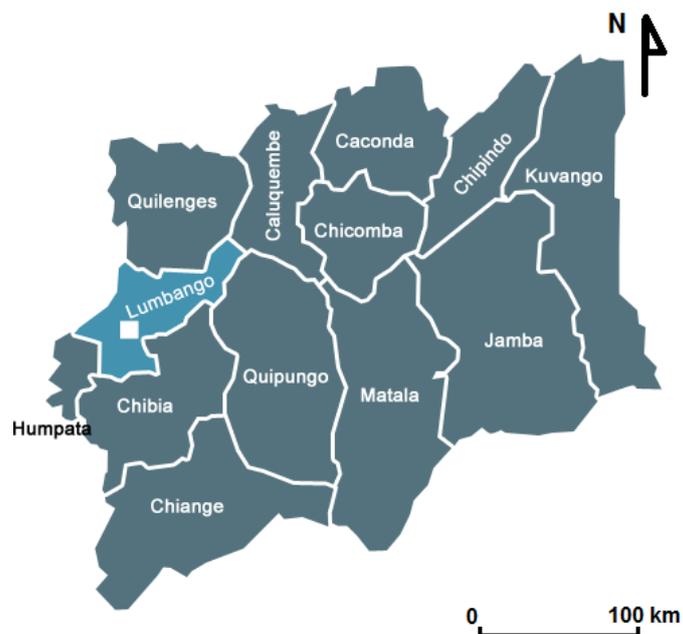


Figura 3.2 – Representação da província da Huíla, em que se inclui o Município da Humpata (adaptado de FAS (sd.b)).



Figura 3.3 – Representação da área de estudo (elipse de cor amarela), localizada na descida da Serra da Leba, ao longo da EN 280 (adaptado de Google Earth).

3.1.1 - Características demográficas e socioeconómicas da zona de estudo

A zona da Leba em termos de enquadramento geográfico localiza-se na província do Namibe, no município da Bibala mais concretamente na comuna do Kapangombe.

O Município da Bibala, de acordo com os resultados preliminares do censo geral da população realizado em Angola em 2014 (PopulationData.net, 2015), tem uma

população de 55 399 habitantes dos quais 25 850 pertencem ao sexo masculino e 29 549 ao sexo feminino. O Município da Bibala é limitado a Norte pelo município de Camucuiu, a Este pelos municípios de Quilengues, Cacula, Lubango e Humpata, a Sul pelo município de Virei, e a Oeste pelo município de Namibe. É constituído pelas comunas de Bibala-Sede, Caitou, Lola e Kapagombe. A povoação da Bibala, localizada a cerca de 176 km a norte da cidade do Namibe, foi fundada em 1 de Fevereiro de 1912 com a instalação do caminho-de-ferro, procedeu-se à criação do concelho em 13 de Dezembro de 1965. A população que reside na base da serra da Leba pertence ao subgrupo Mucubal que se enquadra no grupo étnico Herero.

Em termos socioeconómicos a população pratica a criação de gado e numa escala mais reduzida a agricultura de sequeiro. No município, a cerca de 5 km a NW da povoação da Bibala, localizam-se as águas termais da Mutipa que constituem igualmente uma atração turística.

O município da Humpata do ponto de vista demográfico é maioritariamente habitado pelo subgrupo *Ovamwila* e tem como língua o *Nyhaneca*. Segundo PopulationData.net (2015), o município da Humpata possui uma população estimada de 82 758 habitantes dos quais 39 416 do sexo masculino e 43 342 do sexo feminino. É um povo detentor de hábitos, usos e costumes típicos da região; pratica a agricultura, o artesanato e a pecuária. Outra atividade que permite o sustento das famílias é a produção de carvão vegetal para comercialização que também é utilizado como combustível. O parque industrial está em franco crescimento destacando-se as atividades económicas da agropecuária, a exploração dos calcários dolomíticos e o aproveitamento dos recursos hídricos que permitem a comercialização da "Água da Chela". O sector da saúde compreende dois centros de saúde (sede municipal e missão católica do Tchivinguiro) e 16 postos de saúde espalhados pelas periferias do município.

A vegetação natural da área corresponde a bosques pouco densos (*woodlands*) ou assume características de estepe de altitude (Diniz, 2006). A população que vivem nos arredores da Serra da Leba está distribuída em pequenos aglomerados rurais. Os principais produtos agrícolas cultivados pelos povos da região são, de modo geral, as hortaliças, os tubérculos e o milho, feijão, massango e massambala.

3.1.2 - Caracterização climática da zona de estudo

O clima varia entre o tropical de altitude, no Planalto da Humpata, e o semi-árido nas áreas de menor altitude. Na zona de estudo pode ser considerado como temperado húmido. A estação das chuvas vai de outubro a abril, caracterizando-se por

temperaturas médias entre 19°C e 21°C, enquanto nos restantes meses do ano, as temperaturas médias variam entre os 15,5°C e os 19°C, registam-se grandes amplitudes térmicas diárias, inexistência de pluviosidade e, conseqüentemente, uma humidade relativa do ar bastante reduzida. O mês de outubro é, na área considerada, o mês de temperatura média mais elevada. A pluviosidade média anual, na área da Humpata, é de 817 mm (Fig. 3.3), registando-se anos com valores de precipitação média anual de cerca de 1200 mm (Diniz, 2006).

Na área de estudo a temperatura média anual é de cerca de 19°C, enquanto na superfície planáltica da Humpata esse valor é de 16,9°C (Fig. 3.4), com amplitudes térmicas (diferença entre as temperaturas do mês mais quente e do mês mais frio) a variarem entre 5°C e 7°C (Fig. 3.5), estes valores são relativamente reduzidos quando comparados com as amplitudes diárias que alcançam no período de menores temperaturas (Maio a Agosto), valores muito elevados, da ordem dos 30°C, principalmente nos meses mais frios do ano (Junho e Julho). No período de temperaturas mais reduzidas, é frequente a ocorrência de geadas.

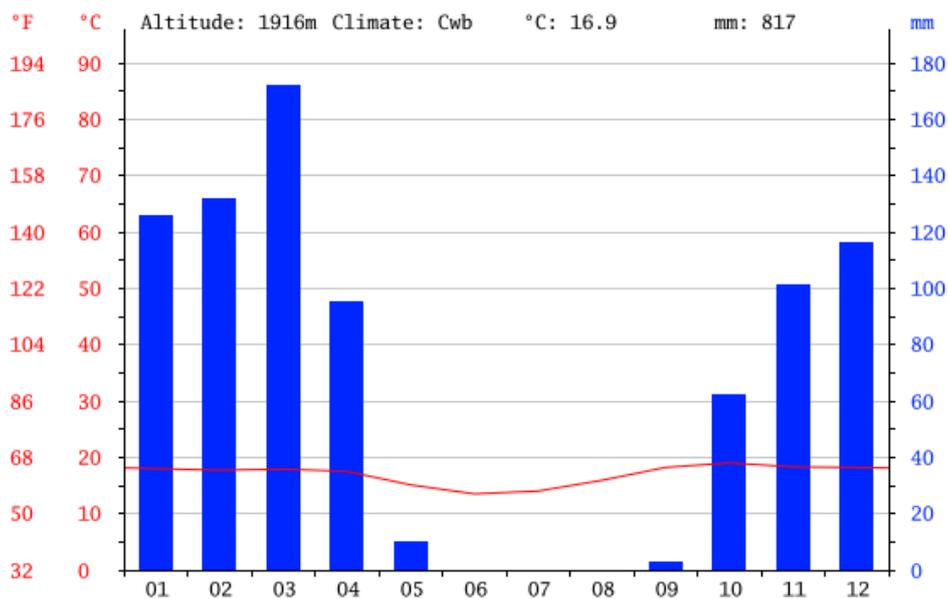


Figura 3.4 – Representação gráfica de temperaturas e precipitações médias mensais no Planalto da Humpata, retirado de CLIMAT DATA.ORG (sd).

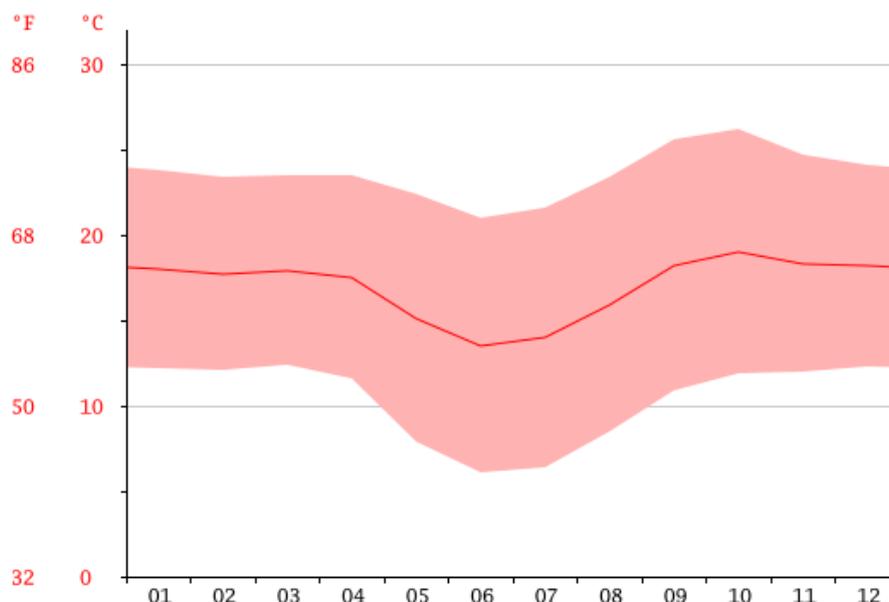


Figura 3.5 - Representação gráfica de temperaturas médias mensais no Planalto da Humpata, retirado de CLIMAT DATA.ORG (sd).

3.2 - Geomorfologia

O planalto da Humpata, localizado na Província da Huila, corresponde a um dos relevos mais importantes do sistema orográfico designado como Serra da Chela. Esta estrutura em forma de mesa é limitada, a ocidente, por enormes escarpas constituídas por formações quartzíticas, cujas diferenças de cota são superiores a 1000 m, as vertentes apresentam-se retilíneas e com pendores muito acentuados (de modo geral superiores a 65°), apresentando uma superfície culminante, de modo geral com um atitude horizontal (Henriques et al., 2012). A extremidade da parte oeste do Planalto da Humpata possui facetas muito acidentadas, com orientações variando entre NW-SE e NE-SW, formando pequenos polígonos a oeste e a sudoeste, e apresentando uma configuração dendriforme na parte nordeste (Lopes et al., 2012). Na região verifica-se a presença de dois importantes sistemas de falhamento, de acordo com Correia (1976) um de orientação E-W e outro NNW-SSE, ou ainda de orientação NW-SE (predominante), NE-SW a ENE-WSW e ainda N-S a NNW-SSE (Lopes et al., 2016).

Segundo Feio (1964), o planalto da Humpata (Nível V de Jessen) é um relevo estrutural que apresenta o nível de aplanção de cota mais elevada do SW de Angola (Fig. 3.6), e corresponde, em termos geomorfológicos, a duas aplanções distintas uma das quais designada por Humpata (2000 m no topo mais alto), localizada a sul e mais baixa, e a de Bimbe (atinge cotas de cerca de 2300m), a norte e de cota mais

elevada. A separação entre as duas aplanções efetua-se ao longo da linha irregular que estabelece a ligação do vale do Rio Leba à boca da Humpata, a qual corresponde a uma flexura das camadas quartzíticas, o que se pode observar na Leba.

A ocidente da descida da Serra da Leba localiza-se uma superfície de menor cota e que para Feio (1964, 1981) corresponde a uma superfície intermédia.

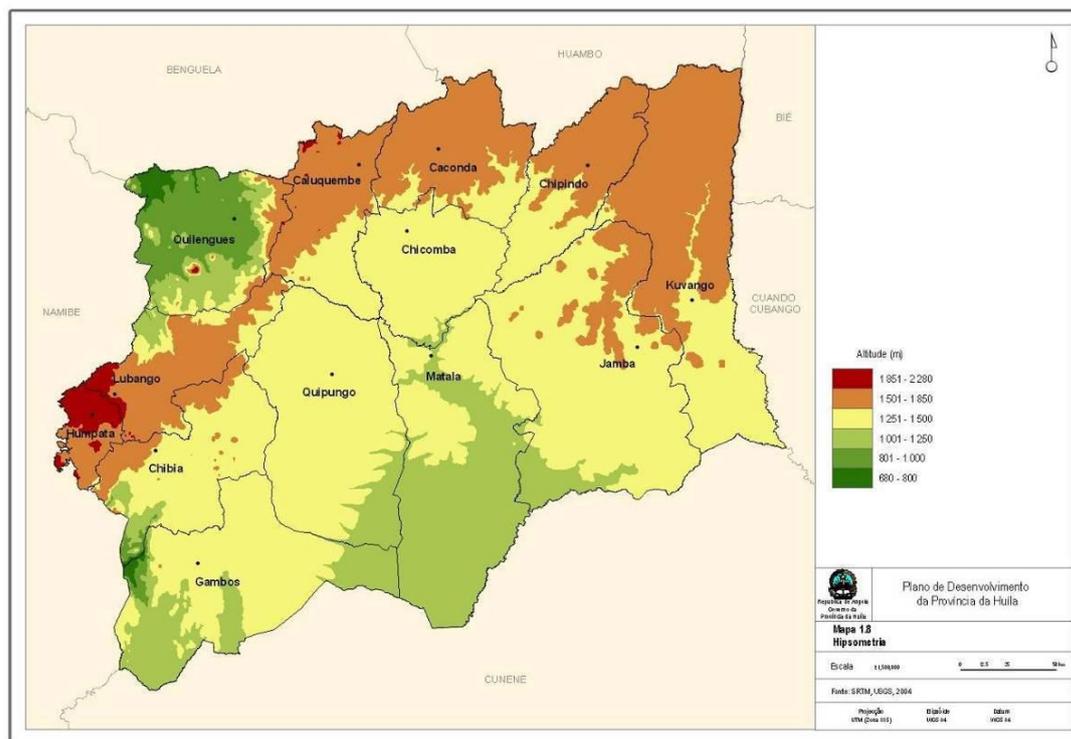


Figura 3.6 - Altimetria da província da Huíla (SINFIC, 2007).

3.3 - Hidrografia

A maior parte das terras altas da Huíla pertencem à bacia hidrográfica do Rio Cunene, que tem o seu percurso a leste. A rede das linhas de água é mais densa na parte norte do Município da Humpata onde a precipitação é mais elevada (Fig. 3.7). Verifica-se a presença de rios ou riachos de características temporárias, os quais se encontram secos durante parte do ano, registando-se situações de regime torrencial. Estes riachos têm a designação de mulolas; as mais características localizam-se, a sul (Gabriel, 2015).

O traçado da rede hidrográfica está relacionado com planos de fratura existentes; por vezes apresenta uma configuração dendrítica, com um sistema complexo de afluentes e subafluentes. A região planáltica tem potencialidades de constituir um reservatório de água devido à pluviosidade moderada e à rede de fracturação.

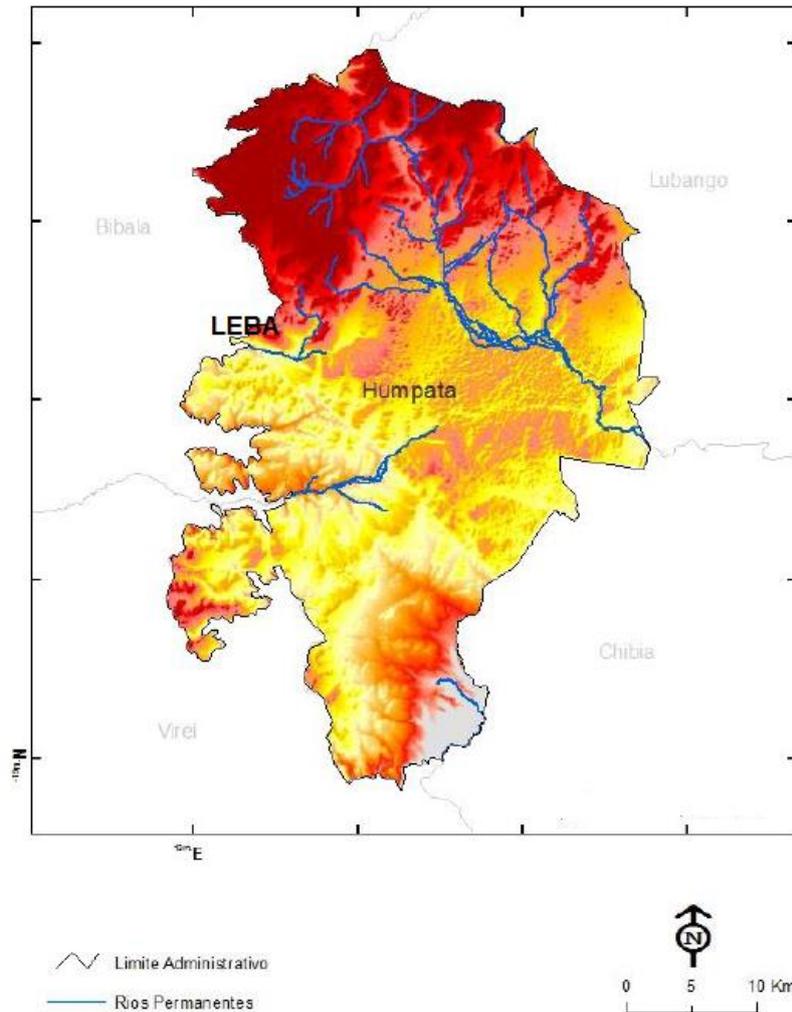


Figura 3.7 - Carta hidrográfica do município da Humpata e localização da descida da Leba (adaptado de Gabriel (2015)).

3.4 - Enquadramento geológico regional

Na província da Huíla e na parte leste da província do Namibe uma parte significativa das unidades rochosas apresenta uma idade precâmbrica, estas evidenciam uma grande variedade litológica que compreende quartzitos, arenitos, xistos, calcários, granodioritos, granitos, grauvaques, argilitos, gnaisses, migmatitos, gabros, anortositos, doleritos, noritos e pegmatitos (Fig. 3.8). Ao longo dos cursos de água principais e na parte inferior das vertentes de maior dimensão ocorrem materiais sedimentares recentes.

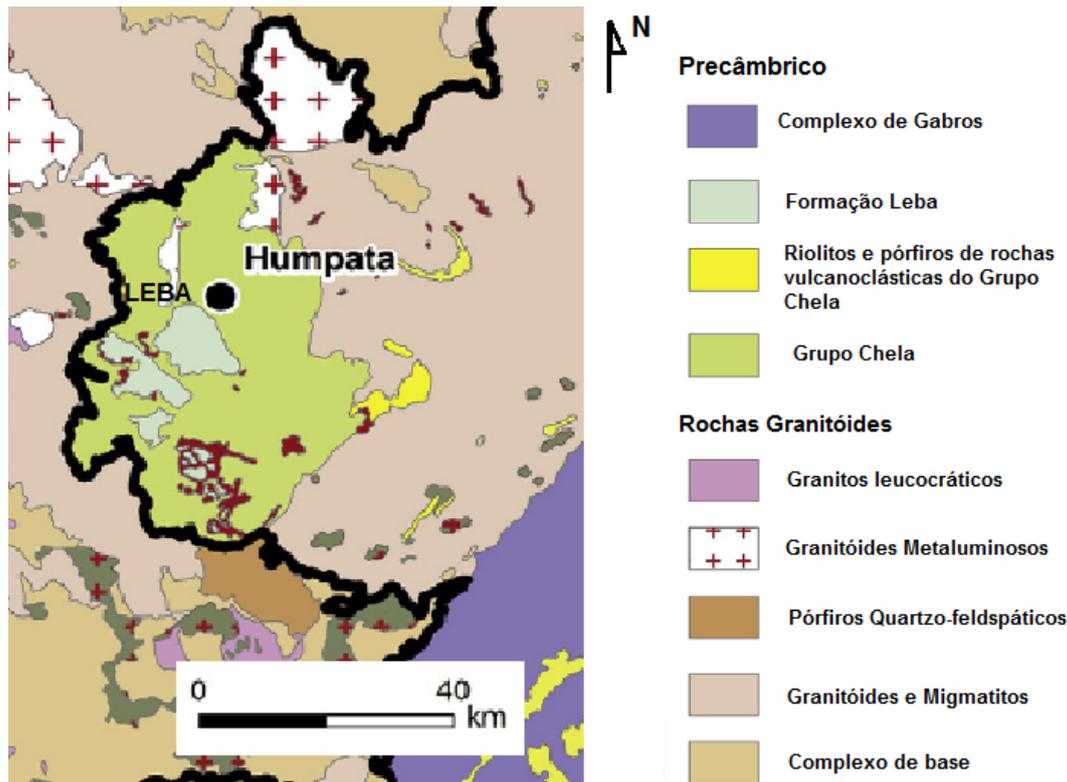


Figura 3.8 - Geologia da área da Leba, Humpata e Lubango, adaptado de Lopes et al. (2016).

As diferentes unidades articulam-se de acordo com a sua sobreposição estratigráfica e com as descontinuidades existentes a nível regional, sendo que a sua disposição em afloramento também é condicionada pela tectónica, cujas fases principais remontam ao Proterozóico, mas também encontram expressão no ciclo atlântico. Verifica-se a presença de um complexo polimetamórfico, em que é possível identificar a sobreposição de várias deformações orogénicas. O mesmo é constituído por rochas de fácies de metamorfismo regional de grau médio a elevado, constatando-se a presença de micaxistos, gnaisses, migmatitos e granitos.

Na área que inclui a região do Lubango e o Planalto da Humpata estão presentes catorze conjuntos de unidades do cratão africano localizado no Sudoeste de Angola. As unidades representadas englobam um complexo de base gabro-norítico de idade arcaica, cuja idade poderá atingir um patamar próximo de 3000 milhões de anos. Verifica-se a presença de granitos de idade precâmbrica, de composição mineralógica relativamente uniforme, e que contornam as formações mais antigas, aflorando em áreas extensas (Vale et al., 1973).

O Grupo Chela sobrepõe-se às formações graníticas e compreende quatro formações distintas (Correia, 1976): a Formação Tundavala que apresenta conglomerados na

base que são sobrepostos por arenitos e quartzo-arenitos com intercalações vulcanoclásticas; a Formação Humpata constituída por rochas vulcanoclásticas e intercalações de arenitos; a Formação do Bruco na qual estão presentes conglomerados na parte inferior, sobrepostos por arenitos e siltitos com intercalações de níveis vulcânicos e de conglomerados; a Formação Cangalongue que é constituída por alternâncias de rochas lutito-carbonatadas e grés ferruginosos. Sobreposta ao Grupo Chela encontrasse a Formação Leba, na qual as litologias ocorrentes são os chertes, argilitos, calcários e dolomias estromatolíticas (Pereira & De Waele, 2008), conforme se pode verificar na Fig.3.9.

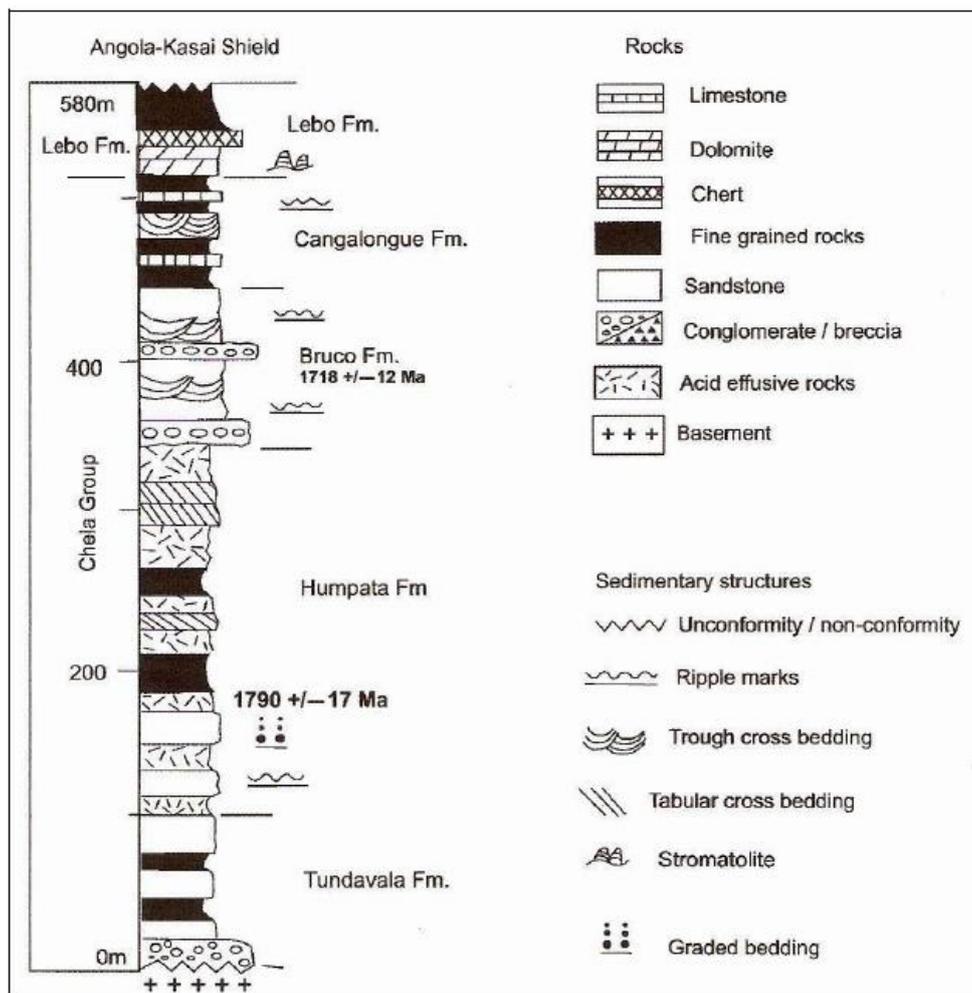


Figura 3.9 - Coluna estratigráfica do Grupo Chela e da Formação Leba na região do Planalto da Humpata, modificado de Pereira & De Waele (2008)

3.5 – Enquadramento geológico local

A escarpa da Leba é similar a outras que se encontram nas extremidades do planalto da Humpata e que correspondem ao limites de uma bacia sedimentar intracratónica, de idade Paleo-Meso-Proterozoica.

Na serra da Leba é observável o Grupo Chela e também a Formação da Leba, esta última constitui uma unidade de natureza carbonatada e que corresponde a calcários dolomíticos e estromatolíticos, verificando-se a presença de intercalações doleríticas de disposição tabular. A Formação da Leba apresenta uma possança de cerca de 100 m e possui um relevo cársico (Correia, 1976).

Os taludes estudados no presente trabalho estão localizados no Grupo Chela, verificando-se um predomínio da Formação do Bruco em relação à da Formação Cangalongue (Fig. 3.10), a primeira é constituída por material predominantemente arenítico e por uma menor presença de rochas vulcânicas quando comparada com a formação da Humpata. O material rochoso apresenta cimento silicioso, por vezes ferruginoso, e é de modo geral de resistência elevada aos processos de alteração. A Formação de Cangalongue apresenta unidades lutíticas avermelhadas de características ferruginosas, meta-arcosenitos avermelhados e xistos argilosos.

O material rochoso que ocorre nos taludes estudados é predominantemente arenítico e quartzo-arenítico de tonalidades esbranquiçadas, amareladas, acastanhadas ou avermelhadas/róseas, estas últimas aparecem relacionadas com fenómenos de oxidação ou com cimento ferruginoso. Os arenitos e os quartzo-arenitos têm uma densidade média, uma textura granular, o mineral predominante na sua composição é o quartzo. Por vezes observou-se, na parte superficial dos maciços rochosos, um aspeto mais pulverulento que está relacionado com o incremento do grau de alteração e/ou fracturação.

Na área de estudo verificou-se a presença de depósitos de cobertura localizados na parte superior dos taludes, e também na também na sua base, que estão associados aos processos erosivos e movimentos de instabilidade. Estes depósitos são heterogranulométricos, verificando-se um predomínio de fragmentos areníticos e, quartzo-areníticos, bem como a presença de material arenoso e siltoso. Estes depósitos apresentam-se por vezes pouco consolidados.

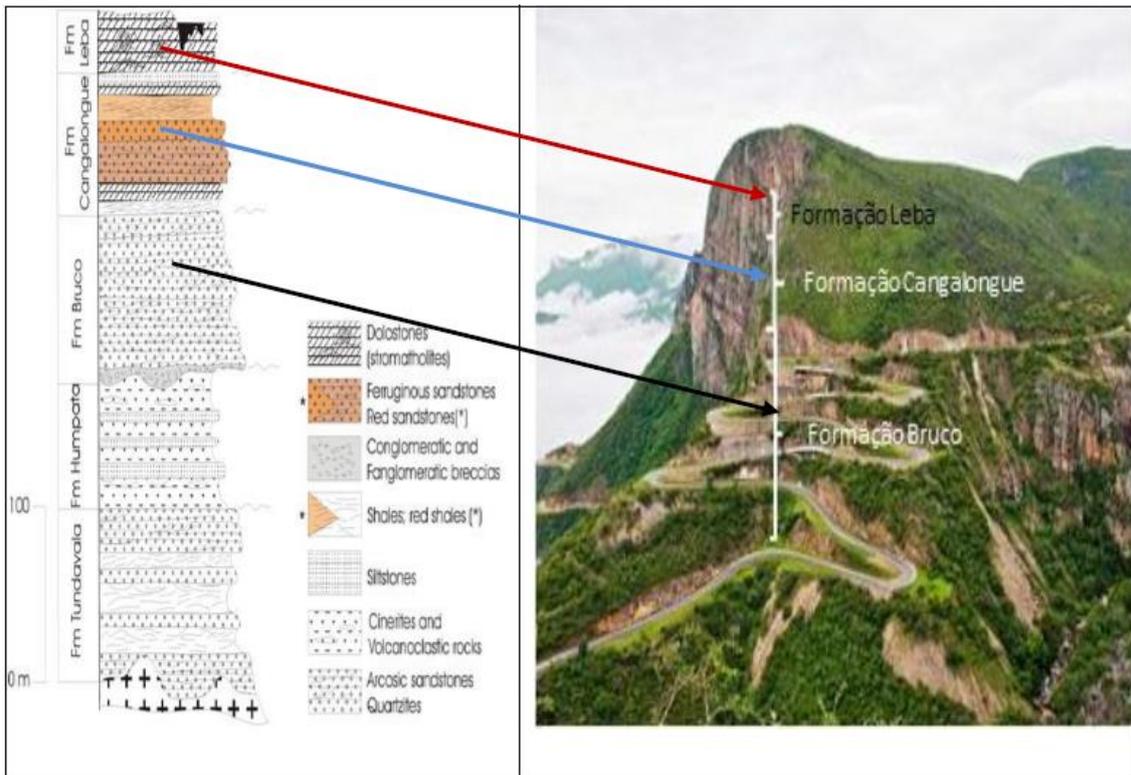


Figura 3.10 - Sequência estratigráfica do Grupo Chela e da Formação da Leba (retirado de Pereira et al. (2011)) e registo das Formações Bruco, Cangalongue e Leba a partir do Miradouro da Leba (retirado de Domingos (2014)).

4 - Metodologia

O estudo das situações de instabilidade dos taludes é realizado tendo em atenção os aspetos geomorfológicos que os maciços apresentam, bem como a observação e registo das características geológicas e estruturais presentes no local.

Torna-se relevante elaborar uma descrição de aspetos inerentes dos taludes como a altura, extensão, orientação e das características das descontinuidades. No estudo das descontinuidades deve-se ter em atenção determinados parâmetros como: designação das descontinuidades, orientação, espaçamento, continuidade, abertura, rugosidade, material de enchimento, grau de alteração e percolação de água.

O objetivo na análise da estabilidade de taludes passa por determinações que permitam uma melhor compreensão do comportamento e da probabilidade de rotura num talude (Souza, 2000), devido a fatores como a percolação de água, sobrecargas e características geométricas.

4.1 - Descrição da metodologia empregue

Numa fase inicial do presente trabalho identificaram-se 6 taludes localizados na descida da Leba, ao longo da Estrada Nacional 280, onde se observam situações de instabilidade. A caracterização dos taludes selecionados permitiu definir as causas dos movimentos e também as soluções para mitigar ou evitar os problemas de estabilidade.

Efetou-se um levantamento de campo que envolveu observações de modo a caracterizar as litologias, as principais estruturas, a presença de água e o historial das situações de instabilidade. Recorreu-se à utilização da bússola para medição das coordenadas geológicas das faces dos taludes e das descontinuidades. Características como o espaçamento, persistência e a abertura das descontinuidades, foram determinadas com uma fita métrica. Esta foi igualmente utilizada na definição da extensão e altura dos taludes, nas volumetrias dos blocos instabilizados e ainda na determinação da largura da Estrada Nacional 280. Um equipamento GPS serviu para definir a localização de cada talude estudado, recorreu-se a um martelo de Schmidt, do tipo L para estimar a resistência dos materiais rochosos. Os taludes foram fotografados para complementar o levantamento de campo, designadamente na caracterização dos aspetos estruturais, litológicos e também das situações de instabilidade.

Foi aplicada a classificação geomecânica Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski (1979, 1989) e também a classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS) de Pierson et al. (1990). Procedeu-se à análise e discussão dos resultados, classificaram-se os taludes considerados e estabeleceram-se medidas de prevenção e estabilização. As diferentes fases do trabalho são apresentadas na Fig. 4.1.

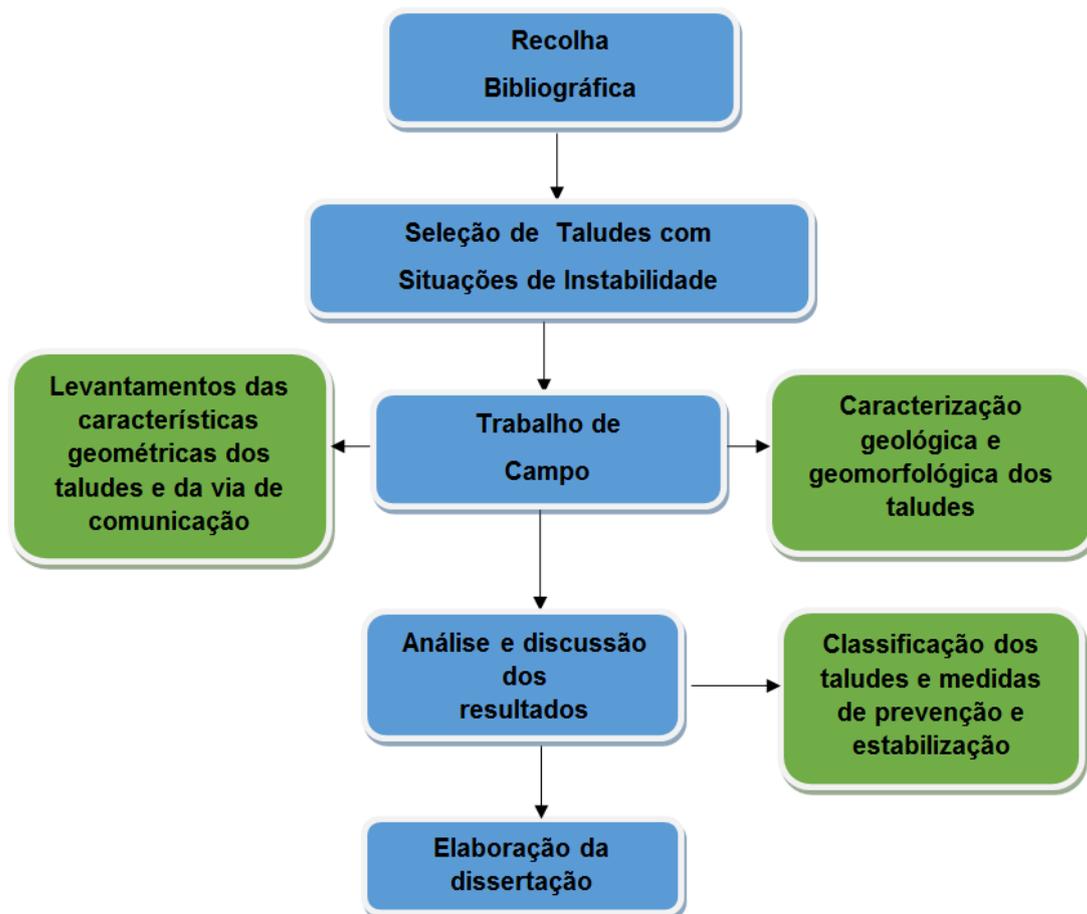


Figura 4.1 - Fluxograma de atividades no âmbito do presente trabalho.

4.2 - Classificação RMR

O sistema de classificação introduzido por Bieniawski (RMR) foi publicado em 1976, posteriormente em 1979 e 1989 efetuaram-se modificações. Na classificação RMR consideram-se seis parâmetros geológicos e geotécnicos, aos quais são atribuídos valores ponderais.

Cada parâmetro é classificado em termos de valores de ponderação, somam-se os valores de modo a traduzir a qualidade do maciço rochoso. Os valores do índice RMR estão compreendidos entre 0 e 100.

Em 1989, a versão de Bieniawski, é apresentada de um modo mais completo referindo as características relativas às descontinuidades.

Os parâmetros utilizados no sistema de classificação de Rock Mass Rating (RMR) são os seguintes (Quadro 4.1):

- 1- Resistência da rocha intacta;
- 2- Índice de qualidade da rocha RQD ("Rock Quality Designation");
- 3- Espaçamento das descontinuidades;
- 4- Condições das descontinuidades;
- 5- Presença de água;
- 6- Orientação das descontinuidades.

O parâmetro das condições das descontinuidades foi revisto de uma forma mais detalhada por Bieniawski (1989) (Quadro 4.2). O parâmetro relativo à orientação das descontinuidades para as diferentes obras de engenharia, que se pretendem implementar num dado maciço rochoso, é apresentado de modo mais pormenorizado no Quadro 4.3.

Os resultados do somatório da classificação RMR podem ser enquadrados em cinco classes distintas, possibilitando definir o comportamento geomecânico dos maciços rochosos desde muito fraco a muito bom. A partir do índice RMR é igualmente possível obter valores de parâmetros dos maciços rochosos como a coesão e o ângulo de atrito interno.

Quadro 4.1 - Classificação geomecânica de Biniawski (1989) – Rock Mass Rating.

PARÂMETROS		VALORES							
1	Resistência da rocha intacta (MPa)	Point Load	>10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Verificação da compressão uniaxial		
		Resistência à compressão uniaxial	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	<1
	Pesos	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	<25			
	Pesos	20	17	13	8	3			
3	Espaçamento das descontinuidades	>2m	0,6-2m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm			
	Pesos	20	15	10	8	5			
	Condições das descontinuidades (ver Quadro 4.2)	Superfícies muito rugosas, não contínuas, sem abertura, paredes de rocha não alterada	Superfícies ligeiramente rugosas, abertura <1mm, paredes ligeiramente alteradas	Superfícies ligeiramente rugosas, abertura <1mm, paredes muito alteradas	Superfícies polidas ou preenchimento com espessura <5mm ou juntas contínuas com abertura 1-5 mm	Preenchimento mole com espessura > 5mm ou juntas contínuas com abertura >5mm			
Pesos	30	25	20	10	0				
5	Presença de água	Caudal por 10m de Comprimento do túnel	Ausente	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min		
		Relação pressão da água vs tensão máxima	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		
		Condições gerais	Seco	Ligeiramente Húmido	Húmido	Escorrimento	Fluxo abundante		
	Pesos	15	10	7	4	0			

Quadro 4.2 - Classificação das condições das descontinuidades (Bieniawski, 1989).

Características das descontinuidades	Valores				
	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Comprimento da descontinuidade (persistência)	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Pesos	6	4	2	1	0
Separação (abertura)	Nenhuma	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm
Pesos	6	5	4	1	0
Rugosidade	Muito rugosa	Rugosa	Ligeiramente rugosa	Quase lisa	Lisa
Pesos	6	5	3	1	1
Material de preenchimento	Nenhum	Duro com espessura <5 mm	Duro com espessura >5 mm	Mole com espessura <5 mm	Mole com espessura > 5 mm
Pesos	6	4	2	2	0
Grau de alteração	Não alterado	Ligeiramente alterado	Moderadamente alterado	Muito alterado	Em decomposição
Pesos	6	5	3	1	0

Quadro 4.3 – Correção relacionada com a orientação das descontinuidades.

Orientação das descontinuidades		Muito favorável	Favorável	Razoável	Desfavorável	Muito desfavorável
Valores Ponderais	Túneis	0	-2	-5	-10	-12
	Fundações	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

4.2.1 - Resistência do Material Rochoso

A resistência das rochas é uma característica de extrema importância, dado que está relacionada com a facilidade de desgaste e/ou de desintegração das rochas quando submetidas a processos de meteorização, de ação antrópica e de cargas.

A resistência à compressão uniaxial do material rochoso pode ser estimada pelos valores da dureza que é encontrada pela utilização do martelo de Schmidt (Fig. 4.2), no presente trabalho utilizou-se o tipo L que tem uma energia de impacto padrão de 0,735 N.m.

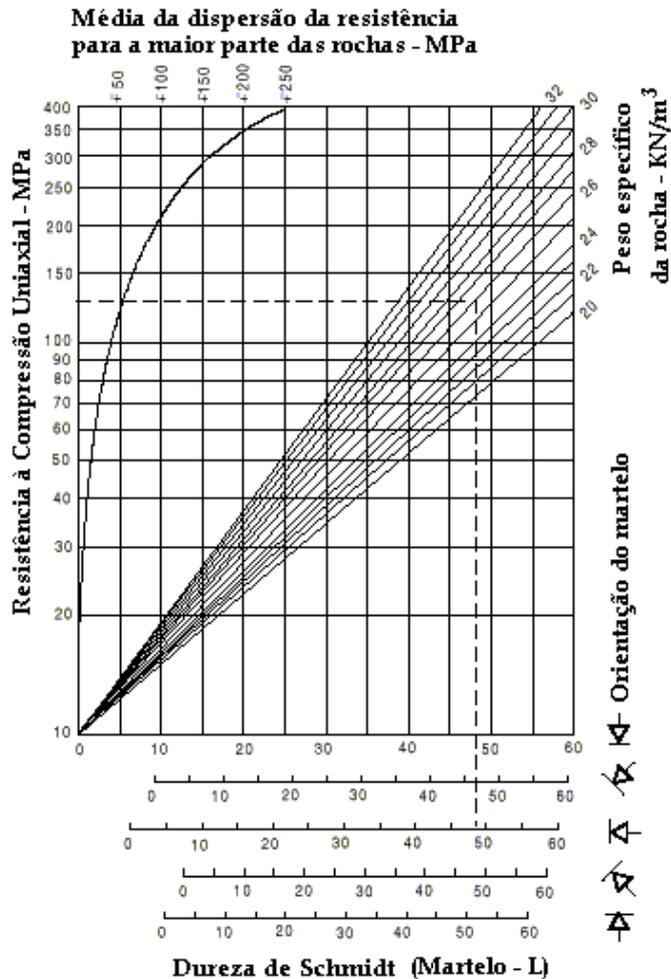


Figura 4.2 – Representação adaptada do Ábaco de Deere & Miller (1966) para determinação da resistência à compressão uniaxial.

4.2.2 - Rock Quality Designation (RQD)

O índice de qualidade da rocha (RQD) foi desenvolvido de modo a fornecer uma estimativa quantitativa e qualitativa dos maciços rochosos, correspondendo a um parâmetro da classificação RMR.

De acordo com Palmstrom (1982), o RQD pode ser obtido através da expressão 4.1.

O RQD exprime o grau de fracturação de um maciço rochoso, desde muito fragmentado até em muito bom estado, os seus valores estão compreendidos entre 0 e 100% (Ferrer & Vallejo, 1999).

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

O J_v traduz a soma do número de discontinuidades por unidade de comprimento, para as várias famílias definidas em cada talude. Também o J_v , refere ao número total

de fraturas por metro cúbico. No caso de existirem três famílias de descontinuidades, a determinação do J_v pode ser efetuada através da expressão 4.2. As designações E, F e V foram adotadas para as várias famílias de descontinuidades.

$$J_v = \frac{1}{\text{Esp}(E)} + \frac{1}{\text{Esp}(F)} + \frac{1}{\text{Esp}(V)} \quad (4.2)$$

4.2.3 - Características gerais das descontinuidades

As descontinuidades correspondem a superfícies que interrompem a continuidade de um dado maciço rochoso (Priest, 1993). De acordo com Rocha (1981) as descontinuidades condicionam o comportamento mecânico dos maciços correspondendo a estruturas de menor resistência, designadamente nas situações de movimentos ocorridos ao longo de superfícies. Romana (1993), indicou que um sistema de classificação geomecânico dos taludes deve considerar as características do material constituinte do maciço, das descontinuidades e dos próprios taludes.

As características fundamentais das descontinuidades que se devem considerar nos maciços rochosos sujeitos a instabilizações são de acordo com a ISRM (1978), Hoek & Bray (1981) e Priest (1993): as coordenadas geológicas, o espaçamento, a continuidade, a rugosidade, o material de preenchimento, a abertura, a presença da água e o grau de alteração.

4.2.4 – Orientação

No processo de avaliação das descontinuidades é necessário definir a direção e o pendor, de modo a identificar as famílias de descontinuidades presentes. Os dados relativos à orientação das descontinuidades são estabelecidos por várias metodologias, uma das mais comuns está relacionada com a utilização de bússola com clinómetro. Nos maciços rochosos muito compartimentados, torna-se difícil a representação das descontinuidades, pelo que se emprega a análise estatística.

4.2.5 - Espaçamento

O espaçamento corresponde à distância medida entre superfícies de descontinuidades pertencentes a uma dada família. O comportamento geomecânico dos maciços rochosos, bem como as suas características de permeabilidade são influenciadas pelo espaçamento. A dimensão dos blocos individuais de material rochoso intacto é condicionada pelo afastamento das descontinuidades (Ferrer & Vallejo, 1999). O

espaçamento das descontinuidades de acordo com a classificação RMR é apresentado no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 - Classificação dos espaçamentos na classificação RMR (Bieniawski, 1989).

Parâmetro	Classes e respectivos valores				
Espaçamento das descontinuidades	>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm

4.2.6 - Persistência ou continuidade

A persistência corresponde à extensão de uma superfície ou plano de descontinuidade, permitindo definir a influência de uma descontinuidade numa porção de um maciço rochoso. Esta característica é determinada através da utilização de uma fita graduada e é muito importante na definição da estabilidade dos taludes rochosos (Andrade, 2004).

A extensão das superfícies das descontinuidades é considerada, tendo em atenção a classificação RMR (Bieniawski, 1989) como: muito baixa, baixa, média, elevada e muito elevada (Quadro 4.5):

Quadro 4.5 - Classificação da persistência das descontinuidades na classificação RMR (Bieniawski, 1989).

Persistência	Extensão (m)
Muito baixa	<1
Baixa	1 - 3
Média	3 -10
Elevada	10 - 20
Muito Elevada	>20

4.2.7 – Rugosidade

As irregularidades evidenciadas nas superfícies de descontinuidades condicionam a resistência destas (ISRM, 1978).

A resistência ao deslocamento ao longo de uma descontinuidade é influenciada pela rugosidade. A resistência ao corte das descontinuidades apresenta uma redução com o incremento da abertura (ISRM, 1981). A rugosidade das superfícies das

descontinuidades pode ser determinada pela comparação com perfis de rugosidade predefinidos, estes perfis permitem definir a rugosidade como ondulada, planar ou denteada, e a uma escala mais reduzida, em rugosa, lisa ou polida (Fig. 4.3).

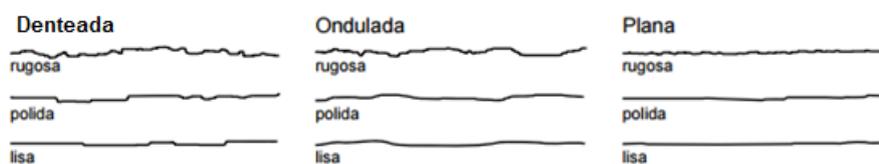


Figura 4.3 – Perfis de rugosidade (adaptado de ISRM (1978)).

4.2.8 - Abertura

A abertura é determinada pela medição da separação das superfícies adjacentes de uma descontinuidade. Num maciço rochoso, a abertura de uma dada descontinuidade pode apresentar-se muito variável, desde vários centímetros num afloramento até se encontrar fechada no interior de um maciço rochoso. Na classificação RMR optou-se pela caracterização da abertura em cinco classes desde nula até superior a 5 mm (Quadro 4.6).

Quadro 4.6 - Classificação da abertura segundo a classificação RMR de Bieniawski (1989).

Parâmetro	Classes e respetivos valores				
Separação (abertura)	Nenhum	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5 mm	>5mm

4.2.9 – Material de preenchimento

O enchimento corresponde ao material que ocupa totalmente ou de modo parcial, o espaço existente entre as paredes das descontinuidades, este pode ser constituído por minerais argilosos, ou por material de maior resistência, como a calcite ou o quartzo.

As medições da espessura do material de preenchimento devem ser efetuadas com uma régua graduada ou fita métrica (Quadro 4.7), deve proceder-se igualmente a uma descrição do enchimento que compreende a composição mineralógica do material e a sua dimensão, o seu teor em água e a permeabilidade do material (ISRM, 1978). A resistência ao corte das descontinuidades diminui quando o material de preenchimento argiloso se apresenta humidificado.

Quadro 4.7 - Classificação do material de preenchimento de acordo com a classificação RMR de Bieniawski (1989).

Parâmetro	Classes e respectivos valores				
Material de preenchimento	Nenhum	Duro com espessura <5mm	Duro com espessura > 5mm	Mole com espessura <5mm	Mole com espessura >5mm

4.2.10 – Percolação

A percolação ou existência de água constitui uma das principais características que condiciona a ocorrência de movimentos de instabilidade. A percolação nos taludes está muitas vezes associada à pluviosidade, bem como ao posicionamento do nível freático. De acordo com Hack (1998), a diferenciação da água que circula pelas fraturas da que escorre na superfície do talude é de modo geral difícil. Se possível deve proceder-se a uma estimativa do caudal da água que flui ao longo das descontinuidades ou que brota de ressurgências.

4.3 - Classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS)

A classificação de Rockfall Hazard Rating System (RHRS) foi estabelecida, nos Estados Unidos da América, por Pierson et al. (1990) e tem sido utilizada no estudo das instabilidades, em particular das quedas de blocos rochosos, nas vias de comunicação rodoviárias.

O RHRS é constituído por 9 parâmetros, aos quais são atribuídos valores ponderais (Quadro 4.8):

- Altura do talude.
- Capacidade de retenção da valeta.
- Probabilidade do material em queda atingir um veículo.
- Distância de visibilidade de decisão.
- Largura da plataforma da via de comunicação.
- Caracterização geológica.
- Dimensão do bloco ou volumetria do material rochoso resultante da instabilidade.
- Condições do clima e existência de água no talude.
- Historial das ocorrências de situações de instabilidade.

Quadro 4.8 – Classificação Rockfall Hazard Rating System (adaptada de Pierson et al. (1990)).

Parâmetro		Classificação e pontos respetivos				
		3 Pontos	9 Pontos	27 Pontos	81 Pontos	
ALTURA DO TALUDE		7,6 m	15,2 m	22,9 m	30,5 m	
CAPACIDADE DE RETENÇÃO DA VALETA		Boa capacidade de retenção	Retenção moderada	Retenção reduzida	Ausência de retenção	
RISCO MÉDIO PARA OS VEÍCULOS		25% do tempo	50% do tempo	75% do tempo	100% do tempo	
DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE DECISÃO		Distância de visão adequada (100%)	Distância de visão moderada (80%)	Distância de visão reduzida (60%)	Distância de visão muito reduzida (40%)	
LARGURA DA VIA DE COMUNICAÇÃO		13,4 m	11,0 m	8,5 m	6,1 m	
CONDIÇÕES GEOLÓGICAS	CASO 1	CONDIÇÃO ESTRUTURAL	Diaclases de continuidade limitada, orientação favorável	Diaclases de continuidade limitada, orientação aleatória	Diaclases de continuidade limitada, orientação desfavorável	Diaclases de continuidade elevada, orientação desfavorável
		ATRITO DA ROCHA	Rugoso, irregular	Ondulado	Planar	Enchimento argiloso ou superfície polida
	CASO 2	CONDIÇÃO ESTRUTURAL	Algumas características de erosão	Caraterísticas de erosão ocasionais	Muitas características de erosão	Caraterísticas de erosão muito significativas
		DIFERENÇA DAS TAXAS DE EROSÃO	Diferença reduzida	Diferença moderada	Diferença elevada	Diferença muito elevada
DIMENSÃO DO BLOCO		0,31m	0,61m	0,91m	1,22m	
VOLUME DE BLOCOS CAÍDOS POR EVENTO		2,3 m ³	4,6 m ³	6,9 m ³	9,2 m ³	
CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E EXISTÊNCIA DE ÁGUA NO TALUDE		Precipitação baixa a moderada; ausência de períodos de congelamento, sem presença de água no talude	Precipitação moderada, ou períodos curtos de congelamento, ou ainda 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 persistente de água no talude ou longos períodos de congelamento	
HISTÓRICO DA QUEDA DE BLOCOS		Número reduzido de quedas	Quedas ocasionais	Quedas frequentes	Quedas muito frequentes	

4.3.1 - Altura do Talude

A altura de um talude tem implicações no risco que as quedas de blocos rochosos podem representar, dado que está relacionada com a energia potencial com que estes podem atingir os utentes ou os veículos das vias de comunicação.

4.3.2 - Capacidade de retenção da vala

A capacidade de retenção da vala é condicionada por vários fatores como: altura e pendor do talude; a largura e profundidade da valeta; a volumetria dos blocos e a quantidade de blocos rochosos em queda. Se a capacidade de retenção de uma vala, localizada na base de um determinado talude, for eficaz pode reduzir a probabilidade de rochas instabilizadas atingirem a plataforma da via de comunicação (Fig. 4.4).



Figura 4.4 - Blocos rochosos presentes numa vala de um talude localizado na Serra da Leba.

4.3.3 - Risco médio por veículo

A probabilidade de um veículo ser atingido por material rochoso instabilizado está relacionada com o comprimento de um dado talude, verificando-se um maior risco de um veículo ser atingido nos taludes mais extensos. Outros fatores condicionantes são o limite de velocidade que é permitido no troço do talude considerado e ainda o número de veículos que circulam na via de comunicação por hora. Os valores do parâmetro são determinados através da expressão 4.3.

$$AVR = \frac{ADT(\text{veículos / hora}) \times \text{Comprimento do talude (metros)}}{\text{Limite de velocidade no local (metros / hora)}} \times 100\% \quad (4.3)$$

4.3.4 - Distância de visibilidade de decisão

Este parâmetro está relacionado com a presença de materiais instabilizados na via de comunicação e que funcionam como entaves à circulação rodoviária, podendo originar acidentes. É de notar que por em certos troços dos taludes estes materiais podem ser dificilmente observados, devido à existência de curvas, de afloramentos rochosos e de vegetação.

A distância de visibilidade de decisão (DVD) é calculada pela expressão 4.4, onde a distância de visibilidade no local (DVL) é dividida pela distância de decisão (DD) e o valor obtido é multiplicado por 100%.

$$DVD = \frac{DVL}{DD} \times 100\% \quad (4.4)$$

4.3.5 - Largura da plataforma da via

A largura da plataforma da via de comunicação é determinada através da medição efetuada de modo perpendicular à diretriz da via de comunicação rodoviária. Quanto maior for o valor deste parâmetro menor o risco que os materiais instabilizados, e presentes na via de comunicação, podem provocar.

4.3.6 - Natureza geológica

O parâmetro das características geológicas comporta duas situações distintas, o Caso 1 e o Caso 2. A primeira situação é aplicada nos taludes rochosos onde as descontinuidades, como as diáclases e os planos de estratificação, representam as características estruturais predominantes e que influenciam de modo determinante as condições de instabilidade. A avaliação ponderal é efetuada tendo em atenção as orientações, persistência, o enchimento, a abertura, a rugosidade das superfícies das descontinuidades, bem como a percolação da água. O Caso 2 é empregue em taludes onde os processos erosivos são importantes, verificando-se que a taxa de desgaste ou de erosão dos elementos constituintes dos taludes é diferenciada.

4.3.7 – Dimensão do bloco ou volumetria de material instabilizado por evento

Esta categoria pode ser determinada a partir dos registos de manutenção ou a partir das condições estruturais e litológicas existentes (Hoek, 2007). O volume de material instabilizado por evento está relacionado com o espaçamento e a persistência das discontinuidades presentes dos maciços. As consequências das instabilidades tendem a ser mais graves quanto de maior dimensão for a volumetria dos blocos em queda.

4.3.8 - Presença de água no talude

A presença de água aumenta de forma considerável a probabilidade de instabilidade nos maciços, promovendo o enfraquecimento da capacidade de resistência aos movimentos de instabilidade.

A modificação do nível freático, a infiltração da água relacionada com a precipitação, e a percolação da água nos taludes, são aspetos muito importantes a considerar no estudo das instabilidades nos taludes rochosos. Deve destacar-se que períodos de pluviosidade elevada e de duração temporal elevada podem originar e incrementar a ocorrência dos movimentos de instabilidade.

4.3.9 - Historial da queda de blocos

A queda de blocos rochosos ao longo do tempo permite efetuar uma previsão das situações futuras de instabilidade, bem como estabelecer medidas preventivas e/ou de estabilização. O registo periódico dos vários eventos de instabilidade é de grande importância para evitar que a ocorrência de danos materiais e também de vítimas humanas.

5 - Aplicação da Classificações RMR e RHRS

5.1 - Descrição das principais características dos taludes estudados.

Os taludes estudados localizam-se na Serra da Leba ao longo da EN 280 (Fig. 5.1) e são constituídos principalmente por arenitos e quartzo-arenitos, em alguns lugares observam-se litologias vulcanoclásticas e material argiloso, estas últimas relacionadas com o incremento do grau de alteração das rochas, registando-se a presença de depósitos de cobertura no topo dos taludes e também na sua parte inferior.

No presente trabalho procedeu-se à caracterização de 6 taludes que foram denominados como: Talude 1 constituído por dois troços (1º e 2º troços), Talude 2 com um troço, Talude 3 com dois troços (1º e 2º troços), Talude 4 composto por dois troços (1º e 2º troços), Talude 5 com dois troços (1º e 2º troços) e Talude 6 constituído por um troço.



Figura 5.1 – Localização dos Taludes estudados na Serra da Leba (adaptado de Google Earth).

O Talude 1 apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 15º 04,146' Sul; 13º 14,715' Este, tem uma extensão total de 95 m e está dividido em dois troços.

O primeiro troço tem uma orientação N80°W; 45°S. Apresenta uma altura de 10 m e 45 m de comprimento. O material rochoso predominante é quartzo-arenítico de tonalidades brancas a amareladas, apresenta uma estratificação bem definida e, de modo geral, um grau de alteração reduzido. Consideraram-se três famílias de discontinuidades. O pendora das diáclases presentes está compreendido entre 35° a 88°. Ainda observa-se a presença de depósitos de cobertura no topo com uma espessura aproximada de 3 m, sobre os quais se fixou vegetação como arbustos de pequeno e médio e gramíneas. As situações de instabilidade mais frequentes são os deslizamentos planares e as quedas de blocos rochosos (Fig. 5.2).

O segundo troço do Talude 1 tem como orientação N 81°E; 60°S e uma extensão de 50 m. As características estruturais e litológicas do segundo troço não são muito diferenciadas do primeiro, verifica-se a presença de quartzo-arenitos de grão médio. No topo deste troço estão presentes depósitos de cobertura com uma espessura de cerca de 2 m. Em termos de fracturação o maciço rochoso apresenta um diaclasamento de orientação favorável aos deslizamentos planares. Podem verificar-se alguns fluxos detríticos ou de solos, designadamente nos períodos de maior precipitação. São observáveis, de modo frequente, fragmentos de rochas instabilizadas na base do talude ou mesmo na via de comunicação.



Figura 5.2 – Representação do 1º troço do Talude 1, em que se registam situações de deslizamento planar.

O Talude 2 possui as coordenadas geográficas: 15° 04,259' Sul; 13° 14,475' Este. Apresenta uma altura de aproximadamente 5 m de altura e 96 m de extensão longitudinal (Fig. 5.3). A orientação da face do talude é igual a N60°E; 80°SE. O material rochoso existente corresponde, de modo geral, a quartzo-arenitos de grão grosseiro. O grau de alteração é muito reduzido. O pendora das descontinuidades das três famílias definidas é variável e apresenta valores entre 10° (planos de estratificação) a 90°. As diáclases, excetuando as relacionadas com a estratificação, não apresentam uma grande extensão e têm uma orientação desfavorável. Na parte superior do Talude registra-se a presença de depósitos de cobertura cuja espessura é de aproximadamente 1 m. As principais situações de instabilidade são os deslizamentos planares e em cunha, e também os desmoronamentos.



Figura 5.3 – Representação do Talude 2.

O Talude 3 tem as coordenadas geográficas: 15° 04,307' Sul; 13° 14,240' Este. As coordenadas geológicas deste talude são: N75°W; 75°-85°S. A altura do Talude 3 está compreendida entre 8 a 15 m, apresenta um comprimento total de 100 m e está dividido em dois troços.

O primeiro troço do Talude 3 possui uma extensão de 79,7 m, a litologia é constituída por arenitos e quartzo-arenitos de cor esbranquiçada a avermelhada e de grão fino, o grau de alteração do material rochoso é reduzido, sobretudo quando comparado com o existente no segundo troço. Neste primeiro troço, para além da existência de três famílias de descontinuidades, destaca-se a presença de um plano de falhamento de extensão de vários metros que favorece a ocorrência de roturas em cunha, estão igualmente presentes as quedas de blocos rochosos e os deslizamentos planares. Do

ponto de vista estrutural é de assinalar que a estratificação apresenta pendores elevados, por vezes superiores a 75° , o que está relacionado com a existência de uma estrutura em flexura que tem desenvolvimento a nível regional.

No segundo troço do Talude 3, os tipos litológicos existentes correspondem a arenitos quartzosos, argilas, arcoses e metavulcanitos, predominando os materiais rochosos com um grão fino a muito fino. A tonalidade das rochas é esbranquiçada, acinzentada e avermelhada, apresentando um grau de alteração elevado. O material constituinte deste troço revela-se, por vezes muito friável, devido à presença de argilas. Os tipos de instabilidade, presentes no segundo troço, são as quedas de blocos rochosos e as roturas em cunha (Fig. 5.4), constatou-se igualmente a existência de fluxos de detritos, os quais estão associados aos depósitos de cobertura que têm uma espessura aproximada de 2 m. Observou-se a presença de vários fragmentos de material rochoso relacionado com os vários movimentos de instabilidade e que, por vezes, alcançam a via de comunicação rodoviária.



Figura 5.4 – Representação de uma rotura em cunha presente no segundo troço do Talude 3.

O Talude 4 apresenta as coordenadas geográficas: 15° 04,270' Sul; 13° 14,173' Este. A sua altura varia entre 7 e 15 m, tem um comprimento de cerca de 95 m e consideraram-se dois troços.

O primeiro troço tem uma orientação de N40°W; 75°SW a subvertical, 15 m de altura e 63 m de comprimento. Os materiais rochosos predominantes são os quartzo-arenitos, arenitos de cores cinzentas e brancas, observou-se a existência de alguns depósitos de cobertura no topo. A vegetação na face do talude encontra-se, de modo geral, ausente. As quedas de blocos rochosos e os deslizamentos planares são os movimentos de instabilidade mais frequentes.

Para o segundo troço do Talude 4, as coordenadas geológicas são: N50°E; subvertical a vertical. O talude tem uma altura compreendida entre 7 e 14 m. As litologias ocorrentes são os quartzo-arenitos e os arenitos ligeiramente alterados e de tonalidades esbranquiçadas. A parte superior do talude evidencia depósitos de cobertura de espessura próxima dos 2 m. As situações de instabilidade de maior importância são as quedas de blocos, os deslizamentos em cunha também podem se verificar (Fig. 5.5). É de realçar que estes movimentos de instabilidade estão relacionados com o grau de fraturação elevado e com o pendor muito acentuado da face do talude.



Figura 5.5 – Representação de roturas em cunha no segundo troço do Talude 4.

O Talude 5 possui as coordenadas geográficas: 15° 04,302' Sul; 13°.14,204' Este. A sua altura está compreendida entre 10 a 14 m, e foi dividido em dois troços (Fig. 5.6).

O primeiro troço apresenta as coordenadas geológicas N40°W; 85°SW, tem uma altura entre 10 a 14 m, o comprimento deste primeiro troço é de 77 m. Os materiais rochosos predominantes são arenitos e quartzito-arenitos, de grau de alteração reduzida a média de cores cinzentas e esbranquiçadas, por vezes escuras e avermelhadas devido à presença de óxidos de ferro. É de mencionar a presença de vulcanoclastitos. São observáveis três famílias de diáclases, com orientações semelhantes às apresentadas no segundo troço. O maciço rochoso apresenta-se bastante diaclasado. O pendor elevado do talude é um fator relevante para as situações de instabilidade ocorrentes, das quais se destacam as quedas de blocos rochosos.

O segundo troço do Talude 5 apresenta uma orientação N50°W; 82°SW, uma extensão de 30 m de comprimento e uma altura de 10 m. Os materiais rochosos são os quartzo-arenitos e arenitos ligeiramente a medianamente alterados, algumas arcoses de grão médio e fino e ainda materiais argilosos. Os movimentos de instabilidade mais importantes, de modo semelhante ao verificado no primeiro troço, correspondem aos desmoronamentos.



Figura 5.6 - Representação do primeiro troço do Talude 5.

O Talude 6 tem como coordenadas geográficas: 15° 04,239' Sul; 13° 14,174' Este. Tem uma altura de 15 m e uma extensão longitudinal de 49 m. A parte superior deste talude é limitada por uma plataforma da via de comunicação e respetivas fundações (Fig. 5.7). A orientação do talude é N70°W; 80°S, o maciço rochoso é constituído por quartzo-arenitos e arenitos ligeiramente a medianamente alterados de tonalidades

esbranquiçadas e acinzentadas, bem como por vulcanoclastitos de tons avermelhados e cinzentos. A dimensão máxima dos blocos rochosos caídos na base do talude varia entre 3 e 50 cm. O espaçamento das descontinuidades está compreendido entre 10 e 50 cm. Os principais tipos de instabilidade são a queda de blocos rochosos e os deslizamentos planares.

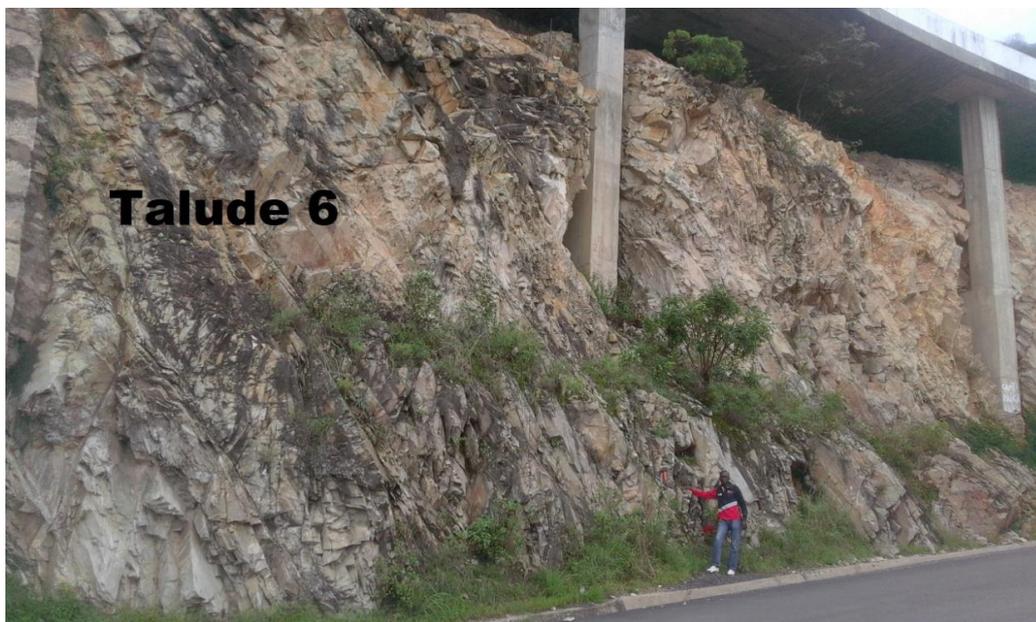


Figura 5.7 - Representação do primeiro troço do Talude 5.

5.2 - Parâmetros das Classificações Geomecânicas

5.2.1 - Resistência do material rochoso

Na caracterização geomecânica e para determinar a resistência do material rochoso foi utilizado o martelo de Schmidt do tipo L, os ensaios foram realizados com o equipamento numa orientação horizontal. O material rochoso presente nos vários taludes considerados é constituído predominantemente por quartzo-arenitos e arenitos, pelo que se realizaram ensaios laboratoriais de determinação da massa volúmica, de acordo com as recomendações do ISRM (1981), que permitiram a definição dos valores médios de 25kN/m^3 e de 23 kN/m^3 , respetivamente, para os materiais rochosos areníticos menos alterados e de alteração intermédia a mais acentuada. Nos ensaios realizados com os esclerómetro de Schmidt obtiveram-se os valores da dureza de Schmidt (R) de acordo com a metodologia da ISRM (1981). A estimativa da resistência à compressão uniaxial (RCU) foi definida a partir do ábaco de Deere & Miller (1966) que tem em atenção os valores de R e da massa volúmica.

Para o primeiro troço do Talude 1 o valor médio de R é igual 45,8 o que equivale a uma RCU de aproximadamente 100 MPa, no segundo troço desse talude o material rochoso encontra-se mais alterado pelo que o valor médio do R é de 35,6, o que corresponde a uma RCU de cerca de 60 MPa.

No Talude 2 o valor médio de R é 43,2, o que permite uma estimativa da RCU de 90 MPa.

Relativamente ao primeiro troço do Talude 3, o valor médio de R é igual a 44,4 o que equivale a uma RCU de 95 MPa. O segundo troço apresenta um valor médio de R mais baixo em relação ao primeiro troço, neste caso o valor médio obtido para R é de 26,0 correspondendo a uma RCU de aproximadamente 40 MPa.

Em relação ao Talude 4, o valor médio de R no primeiro troço é 43,1 o que permite definir uma RCU de 90 MPa. No segundo troço encontrou-se um valor de R igual a 25,5, o que permitiu estimar uma RCU de 40 MPa.

O material rochoso do primeiro troço do Talude 5 apresenta um valor médio de R de 44,3, correspondendo a uma RCU de 95 MPa. O segundo troço revelou um valor médio de R de 31,4, o que corresponde a um valor da RCU de 50 MPa.

5.2.2 - Determinação do valor do RQD e do Espaçamento

O valor do RQD foi determinado através de Palmstron (1982) de acordo com o que é representada na expressão 4.1. O RQD é encontrado a partir dos valores de J_v que por sua vez são definidos pela expressão 4.2.

A partir do levantamento realizado no campo, verificou-se que no primeiro troço do Talude 1 obtiveram-se valores do espaçamento das discontinuidades compreendidos entre 0,3 e 0,9 m, pelo que o valor do RQD corresponde a 95%. No segundo troço, o espaçamento das discontinuidades varia entre 0,1 e 0,9 m, sendo o RQD igual a 75%. Em relação ao Talude 2, o espaçamento das discontinuidades está entre 0,3 e 0,5 m, definindo-se um RQD de 89,9%. O espaçamento das discontinuidades no primeiro troço do Talude 3 está compreendido entre 0,2 e 0,5 m, o que permite definir um RQD de 85,7%. No segundo troço do Talude 3, o espaçamento das discontinuidades varia entre 0,07 e 0,4 m, o que se traduz em valores de RQD de 22,3%. No Talude 4, o primeiro troço tem valores de espaçamento compreendidos entre 0,2 e 0,4 m, o valor do RQD corresponde a 79%, no segundo troço o espaçamento varia entre 0,1 e 0,2 m, o que permite definir um valor do RQD igual a 49%. Para o primeiro troço do Talude 5, o espaçamento é de 0,2 m para as três famílias de discontinuidades presentes, pelo que o valor do RQD corresponde a 66%, no segundo troço o espaçamento das

descontinuidades é de 0,08 a 0,2 m, deste modo o RQD é equivalente a 21%. No Talude 6 os valores do espaçamento das várias famílias das descontinuidades variam entre 0,2 e 0,3 m, o que é correspondente a um RQD de 77%.

5.2.3 - Aplicação da Classificação RMR

No presente estudo recorreu-se à classificação RMR nos vários taludes considerados tendo em atenção os seus vários parâmetros, nos quais se destaca a resistência do material rochoso, o grau de fraturação e de alteração, as características das descontinuidades e a presença da água. É destacar a presença de 3 famílias de descontinuidades nos diferentes taludes estudados. A família de descontinuidade designada como E corresponde à estratificação. As famílias F e V apresentam pendores elevados e por vezes muito próximos da vertical. Nos Quadros 5.1 a 5.10 são apresentados os valores ponderais para os parâmetros considerados na classificação RMR, definindo-se ainda os respetivos somatórios.

Quadro 5.1 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no 1º troço do Talude 1.

Parâmetros	Famílias de descontinuidades		
	E	F	V
Resistência	10	10	10
RQD	20	20	20
Espaçamento	9	15	15
Condições das descontinuidades	16	19	18
Presença de água	13	13	13
Total	68	77	76

Quadro 5.2 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no 2º troço do Talude 1.

Parâmetros	Famílias de descontinuidades		
	E	F	V
Resistência	7	7	7
RQD	17	17	17
Espaçamento	8	9	11
Condições das descontinuidades	18	17	16
Presença de água	12	12	12
Total	62	62	63

Quadro 5.3 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no Talude 2.

Parâmetros	Famílias de descontinuidades		
	E	F	V
Resistência	9	9	9
RQD	18	18	18
Espaçamento	10	10	10
Condições das descontinuidades	18	17	14
Presença de água	12	12	12
Total	67	66	63

Quadro 5.4 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no 1º troço do Talude 3.

Parâmetros	Famílias		
	E	F	V
Resistência	9	9	9
RQD	17	17	17
Espaçamento	9	9	10
Condições das descontinuidades	12	18	16
Presença de água	12	12	12
Total	59	65	64

Quadro 5.5 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no 2º troço do Talude 3.

Parâmetros	Famílias		
	E	F	V
Resistência	5	5	5
RQD	3	3	3
Espaçamento	8	9	6
Condições das descontinuidades	18	14	18
Presença de água	11	11	11
Total	45	42	43

Quadro 5.6 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no 1º Troço do Talude 4.

Parâmetros	Famílias		
	E	F	V
Resistência	9	9	9
RQD	16	16	16
Espaçamento	9	13	14
Condições das descontinuidades	16	18	14
Presença de água	12	12	12
Total	62	68	65

Quadro 5.7 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no 2º Troço do Talude 4.

Parâmetros	Famílias		
	E	F	V
Resistência	5	5	5
RQD	10	10	10
Espaçamento	9	9	8
Condições das descontinuidades	14	19	14
Presença de água	12	12	12
Total	50	55	49

Quadro 5.8 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no 1º Troço do Talude 5.

Parâmetros	Famílias		
	E	F	V
Resistência	9	9	9
RQD	13	13	13
Espaçamento	9	9	9
Condições das descontinuidades	14	13	16
Presença de água	11	11	11
Total	56	55	58

Quadro 5.9 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no 2º Troço do Talude 5.

Parâmetros	Famílias		
	E	F	V
Resistência	6	6	6
RQD	3	3	3
Espaçamento	8	8	6
Condições das descontinuidades	15	13	13
Presença de água	11	11	11
Total	43	41	39

Quadro 5.10 - Valores ponderais da classificação RMR para as famílias de descontinuidades existentes no Talude 6.

Parâmetros	Famílias		
	E	F	V
Resistência	9	9	9
RQD	16	16	16
Espaçamento	9	10	9
Condições das descontinuidades	17	16	17
Presença de água	12	12	12
Total	63	63	63

5.2.4 - Valores totais da classificação RMR

Do conjunto de valores totais da classificação RMR verificou-se os valores mais elevados (RMR com valores de 68 a 76) se encontraram no 1º Troço do Talude 1, o que pode ser explicado pela resistência elevada do material rochoso existente e valores elevados de RQD e do espaçamento das descontinuidades. Os valores mais reduzidos da classificação RMR definiram-se no 2º troço do Talude 3 (RMR entre 42 e 45) e no 2º troço do Talude 5 (RMR entre 39 e 43), estes resultados mais baixos estão relacionados com uma menor resistência do material constituinte dos troços dos taludes, com um maior grau de alteração e de fracturação o que se traduz numa diminuição dos valores do RQD e do espaçamento das descontinuidades. É de notar que nos troços que evidenciam valores de RMR mais diminutos, se registou uma maior presença de material argiloso, arcósico e de alteração.

Os resultados totais do RMR permitem classificar, de acordo com Bieniawski (1989), os maciços rochosos dos Taludes 1, 2, 6 e os primeiros troços dos Taludes 3 e 4 como de boa qualidade, dado que os valores totais estão compreendidos entre 61 e 80. Os segundos troços dos Taludes 3 e 4 e o primeiro troço do Talude 5 e grande parte do segundo troço deste último talude são classificados como de qualidade razoável ou

média, o que está relacionado com os valores totais estarem enquadrados entre 41 e 60. É de mencionar que uma parte do maciço rochoso do segundo troço do Talude 5 é definida como de qualidade fraca.

5.3 - Aplicação da Classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS)

O estudo da caracterização das instabilidades teve como base a classificação (RHRS), que foi desenvolvida pela Divisão de Autoestradas do Estado de Oregon (Pierson et al., 1990).

5.3.1 - Altura do talude

O Talude 1 apresenta uma altura aproximada de 10 m, pelo que o valor de ponderação considerado é de 6 pontos (Quadro 5.11).

Em relação ao Talude 2 verificou-se uma altura de 5 m, correspondendo ao mais baixo de todos os taludes estudados, e foi-lhe atribuído um valor ponderal de 2 pontos. Quanto ao Talude 3, o primeiro e o segundo troço apresentam alturas próximas que variam entre 8 a 15 m, pelo que o valor de pontuação correspondeu a 9 (Quadro 5.12). O Talude 4 foi subdividido em dois troços, o primeiro e o segundo troço apresentam, respetivamente, uma altura entre 11 a 15 m e de 7 a 14 m, neste contexto o valor ponderal foi considerado como de 9 pontos. Para o Talude 5, os dois troços apresentam alturas entre 11 a 14 m, pelo que o seu valor de ponderação definiu-se como igual a 9 pontos (Quadro 5.13). O Talude 6 apresenta uma altura de 12 m, atribuindo-se um valor ponderal de 9 pontos.

5.3.2 - Eficácia da vala

A largura da vala em todos os taludes estudados apresenta uma largura de 80,3 cm e uma profundidade de 40,6 cm. Para os Taludes 1 e 2, a eficácia da vala apresentou uma retenção moderada, pelo que o valor de ponderação é de 9 pontos. Nos taludes 3, 4, 5 e 6 a vala revelou uma retenção limitada, pelo que o valor ponderal é igual a 27 pontos.

5.3.3 - Risco médio para veículos

Na definição do risco médio para veículos consideraram-se os valores relativos ao comprimento dos taludes e troços correspondentes, o número de veículos que circulam por hora e o limite da velocidade na via de comunicação (80 km/h). Os

valores do risco médio para os veículos, em todos os taludes, foram inferiores a 25%, pelo que o valor ponderal considerado foi de 3 pontos (Quadros 5.11, 5.12 e 5.13).

5.3.4 - Distância de visibilidade de decisão

Os valores de pontuação, para este parâmetro, foram atribuídos de acordo com a possibilidade de um condutor evitar o material instabilizado presente na via de comunicação. Para o conjunto dos taludes estudados obteve-se uma distância de visibilidade de decisão muito reduzida, somente para o primeiro troço do Talude 1 a distância de visibilidade de decisão foi definida como reduzida (Quadros 5.11, 5.12 e 5.13).

5.3.5 - Largura da plataforma da via

Este parâmetro é constante ao longo da EN 280 na zona de estudo, e está relacionado com o espaço que um dado condutor tem para efetuar uma manobra no sentido de se desviar do material caído na plataforma da via de comunicação rodoviária. No presente estudo o valor do parâmetro é de 9,7 m e atribuiu-se uma pontuação de 18 pontos.

5.3.6 – Caso 1: Condição estrutural

No trabalho efetuado considerou-se que as situações de instabilidade são condicionadas pelos aspetos estruturais e litológicos pelo que se escolheu o Caso 1. Na área de estudo considerou-se que nos Taludes 1, 3 e 4, as diáclases são contínuas e com orientação desfavorável, neste caso o valor ponderado foi de 81 pontos.

5.3.7 – Caso 1: Atrito da rocha

Este parâmetro está relacionado com a rugosidade e a ondulação das superfícies de descontinuidades presentes nos taludes. Para os Taludes 3, 4, 6 e 1º troço do Talude 5 assumiu-se um valor ponderal de 27 pontos.

5.3.8 – Tamanho do bloco

O tamanho dos blocos instabilizados, do Talude 1 é de 0,40 m correspondendo ao valor ponderal de 6 pontos, no Talude 2 o tamanho dos blocos é 0,31 m e tem-se pontuação de 3 (Quadro 5. 11).

Em relação ao Talude 3 a dimensão dos blocos instabilizados é igual a 0,6 m, assumindo-se um valor ponderal de 9 pontos. No talude 5 o material rochoso

apresenta um tamanho de 0,91 m pelo que o valor ponderal é de 27 pontos (Quadro 5.13).

5.3.9 – Presença de água

A percolação da água é considerada um elemento desfavorável à estabilidade dos taludes. Este parâmetro foi assumido como constante na zona de estudo, definindo-se a precipitação como moderada a elevada, neste último caso atendendo ao regime torrencial que por vezes se verifica, considerou-se um valor ponderal de 18 pontos (Quadros 5.11, 5.12 e 5.13).

5.3.10 – Historial da queda de blocos

Em relação ao historial da queda de blocos verificou-se que nos Taludes 1, 3, 4, 5 e 6 as quedas de blocos rochosos são frequentes, enquanto no Talude 2 as quedas podem ser consideradas como ocasionais a frequentes. Para os taludes 1, 3, 4, 5 e 6 atribuiu-se um valor ponderal de 27 pontos (Quadros 5.11, 5.12 e 5.13).

5.4 – Resultados obtidos através da aplicação da Classificação RHRS

Nos resultados da classificação RHRS deve ter-se em atenção que para os valores totais inferiores a 300, a estabilização não é prioritária, enquanto para os resultados superiores a 500, os taludes devem ser objeto de ações de estabilização urgentes. Verificou-se que nos Taludes 1 e 2, os resultados foram de 204 e 258, respetivamente, para o primeiro e segundo troços do Talude 1, enquanto o Talude 2 apresentou um resultado total de 182, estes valores podem ser condicionado pela altura não muito elevada dos taludes que não ultrapassa os 10 m. Neste caso o Talude 1 deve ser submetido uma monitorização das possíveis ocorrências de instabilidade, visto que o maciço rochoso apresenta uma de fracturação cuja orientação é favorável para a evolução de situações de instabilização.

O resultado do RHRS dos troços dos Taludes 3 e 4 é igual, respetivamente, a 300 e 318 (Quadro 5.12). O talude 5 apresenta resultados de 291 para o primeiro troço e de 246 para o segundo troço. Quanto ao Talude 6 registou-se o valor de 273 (Quadro 5.13). Deste conjunto de resultados deve assinalar-se que os taludes com valores de RHRS iguais ou superiores a 300 devem ser alvo de ações de estabilização e de mitigação de eventuais situações de instabilização.

Quadro 5.11 - Resultados da classificação RHRS para os Taludes 1 e 2.

Talude 1			Talude 2
Parâmetros	1º troço	2º troço	Talude 2
Altura do Talude	6	6	2
Eficácia da Vala	9	9	9
Risco médio para veículos	3	3	3
Distância de decisão	27	81	81
Largura da plataforma da via	18	18	18
Condição estrutural	81	81	27
Atrito da Rocha	9	9	3
Tamanho do Bloco	6	6	3
Presença de água no talude	18	18	18
Historial da Queda de blocos	27	27	18
Total	204	258	182

Quadro 5.12 - Resultados da classificação RHRS para os Taludes 3 e 4.

Talude 3			Talude 4	
Parâmetros	1º troço	2º troço	1º troço	2º troço
Altura do Talude	9	9	9	9
Eficácia da Vala	27	27	27	27
Risco médio para veículos	3	3	3	3
Distância de decisão	81	81	81	81
Largura da plataforma da via	18	18	18	18
Condição estrutural	81	81	81	81
Atrito da Rocha	27	27	27	27
Tamanho do Bloco	9	9	27	27
Presença de água no talude	18	18	18	18
Historial da Queda de blocos	27	27	27	27
Total	300	300	318	318

Quadro 5.13 - Resultados da classificação RHRS para os Taludes 5 e 6.

Talude 5			Talude 6
Parâmetros	1º troço	2º troço	Talude 6
Altura do Talude	9	9	9
Eficácia da Vala	27	27	27
Risco médio para veículos	3	3	3
Distância de decisão	81	81	81
Largura da plataforma da via	18	18	18
Condição estrutural	54	27	54
Atrito da Rocha	27	9	27
Tamanho do Bloco	27	27	9
Presença de água no talude	18	18	18
Historial da Queda de blocos	27	27	27
Total	291	246	273

6 - Conclusões

A Estrada Nacional 280 (EN 280) constitui uma das principais vias de comunicação das províncias da Huíla e Namibe, intersetando diferentes maciços rochosos, sendo de destacar a descida da Serra da Leba.

Os objetivos referenciados no capítulo 1 do presente trabalho levaram ao desenvolvimento do estudo e da avaliação dos processos de instabilidade em 6 taludes localizados ao longo da EN 280.

Os taludes estudados apresentam características estruturais e litológicas que permitem a ocorrência de situações de instabilidade, sendo necessário identificar os fatores que podem estar na origem destas ocorrências, bem como estabelecer soluções de estabilização.

As causas das situações de instabilidade ao longo da Estrada da Leba estão diretamente relacionadas com a orientação desfavorável das descontinuidades, os tipos litológicos e com as precipitações intensas, verificando-se várias instabilizações, como deslizamentos planares, roturas em cunha, queda de blocos e fluxos de detritos e solos.

Os materiais rochosos predominantes nos taludes rochosos são principalmente arenitos, quartzo-arenitos, ocorrendo por vezes vulcanoclastitos, arcoses e algumas argilas, as quais são observáveis de modo evidente no segundo troço do Talude 3. Nos taludes estudados verificou-se a presença de manchas de oxidação, relacionadas com a percolação de água em grande parte das superfícies de descontinuidade.

Os depósitos de cobertura no topo dos taludes são constituídos por detritos rochosos e material areno-siltoso, permitindo a fixação de vegetação, a qual se encontra de modo geral ausente nas faces dos taludes.

Recorreu-se à utilização do martelo de Schmidt do tipo L para definir, de modo indireto a resistência do material rochoso. Verificou-se que o material rochoso menos alterado dos primeiros troços dos Taludes 1, 3 e 4, bem como dos taludes 5 e 6 é definido como de resistência elevada, ao passo que para os segundos troços dos Taludes 1, 3 e 4 apresentaram o material rochoso mais alterado, o que tem como consequência os valores de resistência serem mais reduzidos. As superfícies das descontinuidades, nos taludes apresentam-se ligeiramente rugosas a lisas. Constatou-se a presença de 3 famílias de descontinuidade nos vários taludes estudados, das quais a relacionada com a estratificação apresenta uma maior continuidade que pode atingir as dezenas de metros.

Procedeu-se à utilização das classificações Rock Mass Rating (RMR) e Rockfall Hazard Rating System (RHRS). Na classificação RMR foi determinaram-se os valores de vários parâmetros como a resistência do material rochoso, o RQD, as condições das descontinuidades como: espaçamento, persistência, abertura, rugosidade, enchimento, estado de alteração, bem como a percolação ou presença de água.

A classificação RHRS é constituída por várias categorias como: altura dos taludes, eficácia da vala, risco médio para veículos, distância de visibilidade de decisão, largura da plataforma da via, características geológicas, volumetria dos blocos rochosos, presença de água no talude e o historial da queda de blocos. Através da atribuição de valores ponderais determinou-se a probabilidade da ocorrência de situações de instabilidade nos maciços rochosos constituintes dos taludes.

Em relação à classificação Rock Mass Rating (RMR) constatou-se que:

O primeiro troço do Talude 1 apresentou valores de resistência elevada e considerou-se a qualidade do maciço como boa, o segundo troço é de menor resistência mas a qualidade do maciço foi igualmente considerada como boa, verificando-se valores totais do RMR entre 61 e 80. O Talude 2 e os primeiros troços dos Taludes 3, 4 e 5 evidenciaram valores de resistência elevada. As superfícies de descontinuidades são ligeiramente rugosas nos Taludes 1 e 2, ao passo que os restantes predominam as superfícies lisas.

Os segundos troços dos Taludes 3 e 4, bem como o primeiro troço do Talude 5 e a maior do segundo troço deste último talude foram definidos como de qualidade razoável, com valores totais de RMR entre 41 e 60.

De acordo com os resultados da classificação RHRS para o Talude 1, com resultados de 204 e 258, indica-se que este deve ser sujeito a uma monitorização das prováveis situações de estabilização e submetido a algumas medidas de mitigação. Para os Taludes 3 e 4 cujos resultados da classificação RHRS foram, respetivamente, de 300 e 318, estabeleceram-se medidas de estabilização e de prevenção. Nos restantes taludes os valores de RHRS foram inferiores a 300, pelo que não foram considerados prioritários.

As medidas de estabilização são importantes para minimizar os problemas de instabilidade identificados no local, pelo que no presente estudo propõem-se as seguintes medidas:

No Talude 1 deve efetuar-se a remoção dos materiais instabilizados, muitas vezes relacionados com os deslizamentos planares.

Nos maciços rochosos estudados que se encontram muito fraturados sugere-se como medida de estabilização a utilização das redes de proteção metálica, propondo-se igualmente a fixação de blocos instáveis de maiores dimensões através de pregagens.

Nos Taludes 3 e 4, devido à possibilidade de quedas de blocos e de deslizamentos, preconiza-se a adoção de redes de proteção metálica, bem como a sinalização das zonas de maior probabilidade de ocorrência de movimentos de instabilidades. As redes de proteção poderão ser acompanhadas da realização de pregagens e reforçadas por cabos de aço.

Para o Talude 6 visto que o mesmo serve como fundação de uma secção da EN 280 da Leba deveria reforçar-se o talude com betão projetado. Para o conjunto dos taludes estudados deve-se proceder à limpeza periódica na base dos taludes e das valas, de modo a remover os materiais rochosos instabilizados que aí se encontram depositados. Esta manutenção periódica da via de comunicação deve ocorrer nos períodos de maior precipitação ou imediatamente após estes, deve salientar-se que esta atividade deve ser desenvolvida pelas autoridades administrativas como o INEA (Instituto Nacional de Estradas de Angola) ou empresas contratadas para o efeito.

No sentido da definição de trabalhos futuros de estabilização recomenda-se o seguinte:

Que sejam caracterizadas de forma sistemática as principais situações de instabilidade nos taludes localizados na zona da Leba e ao longo da EN 280, assim como se proceda ao desenvolvimento de investigações complementares sobre os principais fatores que têm contribuído para a ocorrência das instabilidades.

Referências Bibliográficas

- Abreu, R.M. (1999) – A problemática dos estudos geológicos e geotécnicos no projeto rodoviário. Mestrado em Geologia de Engenharia. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, 293 p.
- Andrade, P.S. (2004) – *Caracterização geomecânicas e análise da estabilidade em maciços rochosos anisotrópicos*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, 664 p.
- Andrade, P.S. (2008) – *Estudo das principais características das descontinuidades*. Departamento de Ciências da Terra, FCTUC, Coimbra, 39 p.
- Bell, F.G. (1983) – *Fundamentals of Engineering Geology*, London: Butterworths, 656 p.
- BGS (2016) – Discovering Geology. Landslides. British Geological Survey (BGS). <http://www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/hazards/landslides/topples.html#Topples>. Acedido em 15 de Fevereiro de 2016.
- Bieniawski, Z.T. (1979) – The Geomechanics classifications 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. A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering*. John Wiley & Sons, 251 p.
- Castro, M.A.L.A. (2014) – Basculamento de blocos em taludes rochosos. Utilização de cálculo automático na avaliação da estabilidade. Mestrado em Engenharia civil — Especialização em Geotecnia, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 51 p.
- CLIMAT DATA.ORG (sd). – Humpata. <http://pt.climate-data.org/location/506446/>. Acedido em 16 de Fevereiro de 2016.
- Correia, H. (1976) – O Grupo Chela e 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*, 20: 65-130.
- 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, 300 p.
- Diniz, A.C. (2006) – *Caraterísticas Mesológicas de Angola*. IPAD, Lisboa, Portugal. 2ª edição, 450p.
- Dikau, R.; Brunsden, D.; Schrott, L.; Ibsen, M.L. (1996) – *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. John Wiley & Sons, Chichester, 274p.

- Domingos, A.C. (2014) – Avaliação integrada do património geológico da Serra da Leba (Huíla – Angola): Contributo para a Geoconservação. Tese de Mestrado em Geociências do ramo de Ambiente e Ordenamento, DCT, Universidade de Coimbra, 89 p.
- FAS (sd.a) – Namibe. Fundo de Apoio Social (FAS). MAT-Ministério da Administração do Território. <http://www.fas-angola.org/provincia/fas-namibe>. Acedido em 16 de Fevereiro de 2016.
- FAS (sd.b) – Huíla. Fundo de Apoio Social (FAS). MAT-Ministério da Administração do Território. <http://www.fas-angola.org/provincia/fas-huila>. Acedido em 16 de Fevereiro de 2016.
- Feio, M. (1964) – O Relevo de Angola segundo as interpretações de Jessen. *Boletim da Sociedade Geológica*, 5 (3): 267-294.
- Feio, M. (1981) – *O Relevo do Sudoeste de Angola: Estudo da Geomorfologia*. Memórias da Junta das Investigações Científicas do Ultramar, Lisboa, 326 p.
- Ferrer, M.; Vallejo, L.G. (1999) – Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME, Madrid, 83 p.
- Freitas S.B.N. (2011) – Caracterização Geomecânica e Classificações RMR (Bieniawski) e SMR (Romana) de Maciços Rochosos em Taludes do Funchal. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade da Madeira, 97 p.
- Gabriel, P.D.D. (2015) – Uso da Detecção Remota na Caracterização da Paisagem do Município de Humpata, Angola. Tese de Mestrado em Ordenamento do Território e Sistemas de Informação Geográfica. Universidade Nova de Lisboa.
- Giani, G.P. (1992) – *Rock Slope Stability Analysis*. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands, 361 p.
- Gomes, M.J.A.L.; Teixeira-Pinto, A. (2011) – Notas sobre a estabilidade de taludes e ravinamentos na estrada da Leba, na Serra da Chela. 10 p.
- Guidicini, G.; Nieble, C. M. (1983) – *Mecânica dos Solos*. 2.ed. Blucher, São Paulo, Brasil, 194 p.
- Hack, R. (1998) – *Slope stability probability classification (SSPC)*. ITC publication 43, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Netherlands, 258 p.
- Henriques, M.H; Tavares, A.O.; Bala, A.L.M. (2012) – Património Geológico da Tundavala (Huíla, Angola) – uma avaliação qualitativa integrada. In *Para Aprender com a Terra: Memórias e Notícias de Geociências no Espaço Lusófono*, Henriques, M. H., Andrade, A. I., Quinta-Ferreira, M., Lopes, F. C., Barata, M. T., Pena dos Reis, R. & Machado, A. (Eds), Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 276 - 283.
- Highland, L.M.; Bobrowsky P. (2008) – *The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 1325, 129 p.

- Hoek, E.; Palmieri, A. (1998) – Geotechnical risks on large civil engineering projects. Keynote address for Theme I – *International Association of Engineering Geologists Congress*, Vancouver, Canada, September 21 to 25.
- Hoek, E. (2007) – *Practical rock engineering*. <http://www.rocscience.com/hoek>. Acedido em 20 de Janeiro de 2016.
- Hoek, E.; Bray J.W. (1981) – *Rock Slope Engineering*. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 358 p.
- Ibsen, M.L.; Brunnsden, D.; Bronhead, E.; Collison, A. (1996) – *Block slide Landslide Recoming*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 202-211.
- ISRM (1978) – Suggested methods for the qualitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Roch. Mech. Min. Sic. & Geomech. Abstr.* 15 (6): 319-368.
- ISRM (1981) – *Rock characterization testing & monitoring. ISRM suggested methods*. E.T. Brown (Ed.). Published for the Commission on Testing Methods. Pergamon Press Ltd, Oxford, 211 p.
- Kapule, E.E. (2012) – As instabilidade de taludes e vertentes na descida da Serra da Leba, Angola. Tese de Mestrado em Geociências do ramo de Ambiente e Ordenamento, DCT, Universidade de Coimbra, 61 p.
- Lopes, F.C.; Mantas, V.; Pereira, A.; Mepengo, H. (2012) – Caracterização morfoestrutural do Bordo Ocidental do Planalto da Humpata (SW de Angola) com recurso a técnicas de deteção remota. In: Para Conhecer a Terra. Memórias e Notícias de Geociências no espaço Lusófono. Imprensa da Universidade de Coimbra, ed. Lopes, F. C., Andrade, A. I. Henriques, M. H., Quinta-Ferreira, M., Barata, M. T. & Pena dos Reis, R., pp. 44 – 52.
- Lopes, F.C.; Pereira, A.; Mantas, V.; Mepengo, H. (2016) – Morphostructural characterization of the western edge of the Huila Plateau (SW Angola), based on remote sensing techniques. *Journal of African Earth Sciences*, May 2016, pp. 114–123
- Markland, J.T. (1972) - A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge slip type of failure is expected. Imperial College Rock Mechanics Research Reprints, 19, pp. 1-10.
- Pasuto, A.; Soldati, M. (1996) – *Rock spreading*. In Dikau, R.; Brunnsden, D.; Schrott, L.; Ibsen, M.-L. (Eds.), *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes*. John Wiley & Sons, Chichester, p.122-136.
- Pereira, A.J.; De Waele, B. (2008) – Contemporaneous evolution of the Palaeoproterozoic–Mesoproterozoic sedimentary basins of the São Francisco Congo Craton. Geological Society, Special Publications, London, 294, pp. 33-48.
- Pereira, E.; Tassinari, C.C.G.; Rodrigues, J.F., Van-Dúnem, M.V. (2011) – Novos Dados Sobre a Idade da Sequência Vulcano-Sedimentar do Grupo Chela e do Soco Granítico Subjacente: Implicações na Evolução Crustal Pós-Eburneana do SW de Angola. *Comunicações Geológicas*. 98: 29-40.

- Pierson, L.A.; Davis, S. A.; Van Vickle, R. (1990) - Rockfall Hazard Rating System – Implementation Manual, Federal Highway Administration (FHWA), Report FHWA-OR-EG-90–01, FHWA, U.S. Dep. of Transp, 80 p.
- Priest, S. D. (1993) – Discontinuity analysis for rock engineering. Chapman & Hall, London, 470 p.
- Palmström, A. (1982) – The volumetric joint count - a useful and simple measure of the degree of rock jointing. *Proc. 4th Congr. Int. Ass. Eng Geol.*, Delhi, vol. 5.
- Press, R.; Siever, F. (1997) – Understanding Earth. 2nd Edition. W H Freeman & Co., 672 p.
- PopulationData.net (2015) – Angola, République d'Angola. MyPopulationData. <http://www.populationdata.net/index2.php?option=pays&pid=7&nom=angola> Acedido em 14 de fevereiro de 2016.
- Rocha, M. (1981) – Mecânica das rochas. LNEC, Lisboa, 445 p.
- 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.
- SINFIC (2007) – *Plano de desenvolvimento, Província da Huíla. Caracterização ambiental*. Sistemas de Informação, Industriais e Consultoria (SINFIC).
- Souza, W.J. (2000) – Estudo de Estabilidade de Taludes da Mina de Casa de Pedra Congonhas (MG). Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 88 p.
- Suzuki, S. (2004) – Propriedades Geomecânicas de Alguns Solos Residuais e Colúviais ao Longo do Oleoduto Curitiba-Paranaguá. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 256 p.
- Teixeira, M. (2005) – Movimentos de Vertente. Factores de ocorrência e metodologia de inventariação. *Geonovas*, 19: 95-106.
- Vale, F.S.; Gonçalves, S.V.; Simões, M.C. (1973) – Carta Geológica Folha nº 355-Humpata-Cainde. Notícia Explicativa.
- Vallejo, L.I.G.D.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. (2002) – Ingeniería Geológica. Prentice Hall, 744 p.
- Varnes, D.J. (1978) – Slope Movement Types and Processes. Special Report 176: Landslide: Analysis and Control. Eds R. L. Schuster & R.J. Krizek. Transportation Research Board, National Research Council, pp.11 – 33.
- WP/WLI (1993) – A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. (International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory). *Bulletin International Association of Engineering Geology*, 47: 53-57.

Zêzere, J.L. (2000) – A classificação dos movimentos de vertente: Tipologia, actividade e morfologia. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 34