

Dedico este trabalho aos meus pais, minha família e minha irmã, que sempre me apoiaram durante o período do meu curso de graduação estiveram ao meu lado.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pela sabedoria e proteção.

Ao professor Pedro Santarém Andrade, pelo conhecimento, sabedoria e apoio prestado durante todo o decorrer do trabalho e, por que não, da graduação.

Ao professor Pedro Callapez, pelo empenho, esforço e paciência para que o presente trabalho pudesse ser concluído com sucesso.

Agradeço aos meus pais, André Culita e Meta Anhesse e a minha irmã, Assa André, pelo apoio e carinho durante toda minha vida.

Agradeço a minha família, Ana Heta, Carlos André, Nizia Meta, Inácio André, e Andreia Francisca, pela força e coragem.

Agradeço em especial aos meus sobrinhos, pela ajuda e contribuição.

Por fim, à Universidade de Coimbra, por proporcionar uma aprendizagem incrível.

Resumo

No presente trabalho estudam-se os processos de instabilidade de sete taludes, um dos quais (talude 1) está localizado na via de comunicação entre a cidade do Lubango e a Fenda da Tundavala, outro situa-se no Caholo (talude 2) e cinco (taludes 3 a 7) encontram-se na descida da Serra da Leba, na Estrada Nacional 280.

O talude 1 é constituído por quartzitos, rochas vulcânicas e lutitos. O talude 2 apresenta arenitos, lutitos e quartzitos. No talude 3 observa-se a presença de granito são a muito alterado e também depósitos de vertente. Nos taludes 4 a 7 predominam os quartzitos e podem ocorrer depósitos de vertente. Os principais movimentos de instabilidade detetados foram a queda de blocos que se verificam na totalidade dos taludes estudados, os deslizamentos em cunha e planares, bem como os fluxos de detritos. Registaram-se situações de toppling no talude 4.

A dissertação compreende seis capítulos: no primeiro efetua-se a introdução e descrevem-se os objetivos e a estrutura do trabalho; no segundo caracterizam-se os tipos de instabilidade de taludes e vertentes e as principais medidas de estabilização; no terceiro efetua-se o enquadramento geográfico e geológico da área de estudo; no quarto descreve-se a metodologia utilizada, em que se utilizou a classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS); o quinto capítulo corresponde à aplicação da metodologia proposta, comparam-se os resultados e propõem-se medidas de redução e mitigação dos processos de instabilidade; no sexto capítulo elaboram-se as conclusões.

Palavras-chave: Instabilidade, Taludes, RHRS, Queda de blocos, Leba

Abstract

This paper comprehends the study of the stability problems of seven slopes, one is located on the road between the city of Lubango and the Tundavala Gorge, another slope belongs to the Caholo's area (slope 2) and five of them (slopes 3 to 7) are located on the Leba's Sierra, along the National Road 280.

Slope 1 consists of quartzites, volcanic rocks and lutites. Slope 2 shows sandstones, lutites and quartzites. Slope 3 is composed by sound and weathered granites and debris deposits. Slopes 4 to 7 show predominately quartzites and also debris deposits. The main slope movements identified were rock falls that occurred on all of the studied slopes, wedge and planar failures and debris flows. Toppling failures were identified in slope 4.

This dissertation consists of six chapters: the first includes the introduction, objectives and structure of the work; the second deals with the landslide classification and stabilization measures; the third presents the geography and geology of the study area; the fourth describes the methodology used, which comprehends the Rockfall Hazard Rating System (RHRS); the fifth chapter carries out the proposed methodology and the comparison of results, and several measures to improve the slope stability are established; the sixth chapter presents the conclusions.

Keywords: Instability, Slopes, RHRS, Rock falls, Leba

Índice

Prólogo	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice	v
1- Introdução	1
1.1 – Objetivos e estrutura	2
2 - Situações de instabilidade de taludes/vertentes	3
2.1 – Classificação de tipos de instabilidades de taludes e vertentes.....	3
2.2 – Fatores associados aos processos de instabilidade.....	5
2.3 – Tipos de instabilidades.....	6
2.3.1 – Desmoronamentos ou desabamentos.....	6
2.3.2 – Basculamentos ou toppling.....	7
2.3.3 – Deslizamentos.....	8
2.3.3.1 – Deslizamento rotacional.....	8
2.3.3.2 – Deslizamento translacional.....	9
2.3.4 – Expansão lateral.....	10
2.3.5 – Escoadas ou fluxos.....	11
2.3.6 – Movimentos complexos.....	12
2.4 – Medidas de redução e de mitigação das instabilidades.....	13
2.4.1 – Alteração da geometria.....	13
2.4.2 – Drenagem.....	14
2.4.3 – Elementos de aumento da resistência do terreno.....	15
2.4.4 – Muros de suporte.....	16
2.4.5 – Medidas de proteção e tratamento superficial.....	17
3 – Enquadramento geográfico e geológico	20
3.1 – Enquadramento geográfico.....	20
3.1.1 – Caracterização climática.....	24
3.1.2 – Características demográficas, económicas e sociais.....	26
3.2 – Enquadramento geomorfológico e geológico.....	28
3.2.1 – Geomorfologia.....	28
3.2.2 – Enquadramento geológico regional.....	30
3.2.3 – Enquadramento geológico local.....	37

4 – Metodologia	41
4.1 – Considerações da metodologia utilizada	41
4.2 – Resistência do material rochoso.....	43
4.3 – Características das descontinuidades.....	44
4.3.1 – Orientação das descontinuidades.....	44
4.3.2 – Espaçamento e continuidade.....	45
4.3.3 – Rugosidade.....	45
4.3.4 – Abertura e Material de preenchimento das descontinuidades.....	46
4.4 – Fichas de trabalho relativas à instabilidade.....	46
4.5 – Classificação Rockfall Hazard Rating System	48
4.5.1 – Altura do talude.....	50
4.5.2 – Retenção da valeta.....	50
4.5.3 – Risco médio para veículos.....	51
4.5.4 – Distância de visibilidade de decisão.....	52
4.5.5 – Largura da via de comunicação.....	52
4.5.6 – Características geológicas	53
4.5.6.1 – Caso 1.....	53
4.5.6.2 – Caso 2.....	53
4.5.7 – Dimensão do bloco ou volume de material instabilizado por evento.....	54
4.5.8 – Clima e presença de água no talude	54
4.5.9 – Histórico da queda de blocos	54
5 – Aplicação da metodologia	55
5.1 – Características principais dos taludes.....	55
5.2 – Comparação das características dos taludes.....	66
5.3 – Aplicação da classificação RHRS.....	70
5.3.1 – Altura do talude.....	76
5.3.2 – Eficácia da vala	77
5.3.3 – Risco médio para veículos.....	77
5.3.4 – Distância de visibilidade de decisão.....	77
5.3.5 – Largura da plataforma da via	78
5.3.6 – Características geológicas	78
5.3.6.1 – Condição estrutural.....	78
5.3.6.2 – Atrito da rocha.....	79
5.3.7 – Dimensão dos blocos.....	79
5.3.8 – Condição climática e presença de água nos taludes	80
5.3.9 – Registo histórico das situações de instabilidade	80

5.3.10 – Resultados totais da classificação RHRS	80
5.4 – Medidas de estabilização e de prevenção.....	81
6 – Conclusões.....	84
Referências Bibliográficas.....	87

1 - Introdução

Atualmente, os estudos relacionados com os processos de instabilidade de taludes e vertentes têm chamado atenção para o entendimento do conjunto de causas que os provocam, procurando-se igualmente entender a dimensão dos fenómenos de instabilidade com a finalidade de compreender os mecanismos que dão origem às situações de instabilidade, de modo a poder efetuar a sua previsão e prevenção, atendendo a que ultimamente se verifica um aumento de situações de instabilidade devido ao incremento de construção de novas vias de comunicação.

Registam-se em muitas zonas urbanas, dos países africanos, situações que culminam na destruição das infraestruturas e na ocorrência de vítimas humanas devido à inexistência ou não obediência de planos de ordenamento.

Em Angola verifica-se que a maior parte das vias de comunicação correspondem a estruturas desgastadas e que são desprovidas de manutenção, continuando a ocorrer um elevado número de acidentes que originam, muitas vezes, vítimas mortais, existindo a preocupação por parte das autoridades de reverter esta situação, ao apostar presentemente na remodelação e na construção de vias de comunicação, apesar dos problemas relacionados com a devida fiscalização.

Os movimentos de instabilidade nos taludes ou vertentes apresentam-se associados a vários fatores como a presença da água, e também com as características geométricas dos taludes/vertentes, estado de alteração, tipos litológicos, características das superfícies de descontinuidades e resistência aos processos erosivos.

No presente trabalho estudaram-se situações de instabilidade de taludes nas vias de comunicação localizadas no Sudoeste de Angola, designadamente entre Lubango e Tundavala, Humpata e Caholo e na descida da Serra da Leba (Estrada Nacional 280 – EN 280), esta última localizada nas proximidades da fronteira entre as Províncias da Huíla e do Namibe.

Nos locais estudados destacam-se os movimentos de instabilidade ligados à queda de blocos, sendo de assinalar também a presença de deslizamentos e fluxos. A maior parte das instabilidades ocorrem na época das precipitações mais elevadas, registou-se praticamente a ausência de medidas de proteção ou estabilização dos taludes considerados, no entanto são de referir a existência na EN 280, em particular na descida da Serra da Leba de alguns

trabalhos de estabilização, relacionados com a presença de muros de suporte. Em certos locais da EN 280 considerados no presente trabalho, é de destacar que os movimentos de instabilidade podem ocasionar situações que colocam em risco a circulação dos automóveis e a própria vida dos seus utentes.

1.1 - Objetivos e estrutura

Neste trabalho pretendem analisar-se as instabilidades existentes em vários taludes das estradas das proximidades da Tundavala, na área do Caholo e na descida da Serra da Leba, de modo a alertar e informar os utilizadores e os organismos responsáveis pela administração das vias de comunicação, como o Instituto Nacional de Estradas de Angola (INEA), acerca das situações de instabilidade.

Identificaram-se num estudo prévio algumas áreas de instabilização, procedeu-se a uma recolha bibliográfica, e também de cartas e de imagens de modo a permitir o devido enquadramento geográfico e geológico do trabalho. Elaboraram-se fichas de trabalho relacionadas com as situações de instabilidade e analisou-se e descreveu-se a classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS). Procedeu-se à execução da cartografia geológica e estrutural, à caracterização das vias de comunicação e dos taludes e efetuou-se a aplicação da classificação RHRS.

No âmbito do estudo em referência, efetuou-se a análise estatística dos dados encontrados, a caracterização da estabilidade de taludes, a definição das consequências das situações de instabilidade, e também a elaboração de medidas preventivas ou corretivas que permitam o incremento de segurança da utilização das vias em estudo.

2 - Situações de instabilidade de taludes/vertentes

2.1. Classificação de tipos de instabilidades de taludes e vertentes

Segundo Caputo (1988), os taludes correspondem a quaisquer superfícies inclinadas que limitam um maciço terroso, rochoso ou constituído por uma mistura de terra e rocha. Podem ser naturais, neste caso são designados como vertentes, ou de origem antrópica, como os taludes de escavação e de aterro.

Os movimentos nos taludes ocorrem com morfologias distintas, são originados pela atuação de diversos fatores, nomeadamente a ação da água, a meteorização e a erosão e correspondem à expressão de fenómenos cuja identificação é muitas vezes difícil.

Brabb & Harrod (1989) consideram os movimentos de massa como fenómenos complexos que não obstante serem responsáveis pela evolução da superfície terrestre, podem ter sérias consequências tanto económicas como sociais para muitos países, e estão muitas vezes relacionados com a sismicidade, degelo rápido, ou precipitação intensa. Os movimentos de massa estão associados ao enfraquecimento das características mecânicas dos materiais das vertentes/taludes através de processos naturais como a meteorização, os movimentos tectónicos e as atividades antrópicas (Soeteres & Van Western, 1996).

Segundo Andrade (2013), umas das primeiras classificações na qual vários tipos de instabilidade foram estabelecidos, foi definida em 1894, por Penck, onde se distinguiram os “movimentos de massa” relacionados com a ação da gravidade, e sem a influência de qualquer meio de transporte, bem como os “transportes de massa” que correspondem a movimentos associados a agentes de transporte como a água, o ar ou gelo.

As classificações dos movimentos de vertente são importantes, dado que o reconhecimento dos mecanismos presentes permite a definição dos processos de controlo e de intervenção corretiva das instabilidades.

A classificação das instabilidades nos taludes e vertentes pode ser definidas a partir de aspetos diferenciados como os tipos de rotura, a velocidade do deslizamento, os materiais existentes, as causas dos movimentos, as características geométricas e a morfologia das vertentes/taludes.

Vários autores apresentaram classificações de movimentos nos taludes ou nas vertentes, dentro destas destaca-se a de Varnes (1978) que tem uma ampla utilização a nível internacional. Varnes (1958, 1978 e 1984) procedeu ao estabelecimento de uma classificação,

cujos princípios foram igualmente adotados por Dikau et al. (1996), e que é baseada em seis tipos de movimentos principais: desmoronamentos, basculamentos, deslizamentos, expansões laterais, escoadas e movimentos complexos (Quadro 2.1).

Romana (1988) considerou uma classificação adaptada da classificação de Varnes (1978) (Quadro 2.1), em que cada uma das situações de instabilidade está associada a uma determinada velocidade, esta última foi referenciada de acordo com Cruden & Varnes (1996) (Quadro 2.2).

Quadro 2.1 – Classificação dos tipos de movimento de instabilidade (adaptada de Romana (1988)).

Tipo	Mecanismo principal de rotura	Velocidade de rotura
Desmoronamento	Queda de material por gravidade e por rotura frágil.	Extremamente rápido.
Deslizamento	Existência de uma superfície de rotura em que se excederam os parâmetros de resistência.	Muito lento a muito rápido.
Basculamento	Movimentos de flexão e de rotação.	De modo geral lento na fase inicial e rápido a muito rápido na fase final.
Fluxo	Deslocamento rápido de materiais associados à perda de coesão.	Rápido a muito rápido.
Complexo	Vários tipos de rotura.	Variável, geralmente rápido.

A velocidade dos movimentos de instabilidade é influenciada por vários fatores: pendor do talude ou vertente, o material existente, a presença de água, as dimensões da massa instabilizada, a ocorrência de material argiloso e a volumetria dos elementos constituintes (Hyndman & Hyndman, 2006).

Quadro 2.2 - Classificação da velocidade dos movimentos nas vertentes e taludes (Cruden & Varnes, 1996).

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

2.2 - Fatores associados aos processos de instabilidade

Os movimentos de vertente apresentam causas diversas, como as geológicas, morfológicas, físicas e antrópicas, devendo destacar-se o fator hidroclimático (Teixeira, 2005). A precipitação é determinante, no entanto está dependente das características litológicas, dado que as condicionantes de infiltração, circulação e armazenamento da água num solo determinam a sua capacidade de resistência à rotura (Andrade, 2009).

Nos maciços de rochas sedimentares, constituídas por argilas e por materiais silto-argilosos, os declives necessários para a ocorrência de movimentos de vertente são, geralmente, mais reduzidos (Bateira, 1991). A vegetação apresenta uma grande importância, dado que constitui um suporte dos materiais constituintes dos taludes. É de salientar que a vegetação pode também corresponder a um fator que provoca movimentos de vertente, devido ao alargamento das raízes nas fraturas poder originar situações de instabilidade.

Segundo Teixeira (2005), as ações levadas a cabo pelo homem podem originar movimentos de vertente sem qualquer dependência dos factores de ordem natural, as situações de instabilidade podem ocorrer devido à alteração da geometria natural das vertentes, à ocupação das linhas de água e dos leitos de inundação.

As causas de instabilidade nos taludes podem ser classificadas como externas, internas ou intermédias.

As causas externas estão relacionadas com ações que modificam o estado de tensão existente no maciço. Esta alteração provoca o aumento das tensões que provocam situações de rotura. De acordo com Andrade (2009) podem considerar-se como causas externas: o aumento do pendor dos taludes, a escavação ou erosão, o incremento do peso do talude por aplicação de sobrecargas, a infiltração de água, as ações sísmicas e as vibrações.

As causas intermédias correspondem à liquefação dos solos, erosão interna e rebaixamento súbito do nível das águas.

As causas internas estão associadas ao tipo de material e estruturas presentes nos taludes, ao aumento da pressão da água intersticial, assim como ao decréscimo da coesão dos terrenos e incremento das tensões tectónicas.

2.3 – Tipos de instabilidades

2.3.1 – Desmoronamentos ou desabamentos

Os desmoronamentos ou desabamentos são movimentos muito rápidos ou extremamente rápidos e que consistem em quedas de detritos, blocos de rochas e material terroso, podendo originar danos significativos em infra-estruturas, bem como atingir viaturas e pessoas que se desloquem nas vias comunicação. Esses movimentos compreendem sempre uma parte em queda livre. Giani (1992) mencionou que a movimentação dos blocos rochosos nos desabamentos incluem a queda livre, ressaltos, rolamentos e deslizamentos. Este tipo de instabilidade está relacionado com as descontinuidades no material rochoso onde a infiltração ou o incremento da pressão de água, assim como o crescimento de raízes origina o desprendimento de blocos de material rochoso (Matos, 2008). O movimento de queda tem o seu início a partir do destacamento de material terroso ou rochoso num talude de pendor elevado, constando-se que o deslocamento tangencial é reduzido ou está mesmo ausente (Andrade, 2008).

A forma e a dimensão dos blocos rochosos estão associadas ao grau de fraturação e à estrutura geológica do maciço.

Flageollet (1989) estabeleceu a diferença entre queda de blocos (queda de calhaus ou blocos, isolados ou em grupo) e desabamentos (queda de massas rochosas de grandes dimensões) e dividiu estes últimos de acordo com o enquadramento morfodinâmico existente: desabamento de massa rochosa posteriormente a movimentos de basculamento; desabamento de cornijas salientes; desabamento na continuidade de uma escavação na base de um talude ou vertente (Fig. 2.1).

O material que resulta de desmoronamentos acumula-se, na maioria dos casos, no pé dos taludes. Existindo uma repetição destes processos nas vertentes de zonas montanhosas e

nas falésias, podendo ter consequências graves em infra-estruturas, vias de comunicação, e zonas residenciais existentes.

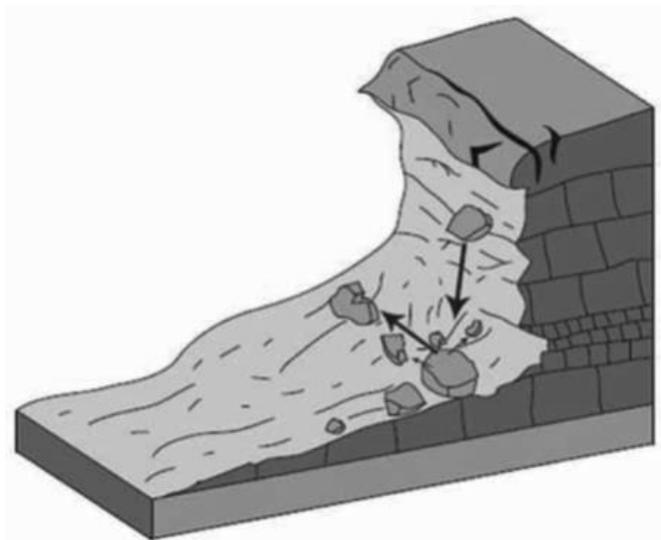


Figura 2.1 – Representação de queda de blocos rochosos, retirado de Highland & Bobrowsky (2008).

2.3.2 - Basculamentos ou toppling

O movimento de basculamento ou toppling, de acordo com Cruden & Varnes (1996), consiste numa “rotação de uma massa de solo ou rocha, a partir de um ponto ou eixo situado abaixo do centro de gravidade da massa afetada”. Os basculamentos estão relacionados com a ação da gravidade, presença de água nas discontinuidades, efeito da vegetação, descompressão ou desenvolvimento de fissuras (Fig. 2.2). Dikau et al. (1996) consideraram igualmente as ações erosivas como uma das causas dos basculamentos. Hutchinson (1988) procedeu a uma diferenciação dos basculamentos de acordo com a presença ou inexistência de discontinuidades e considerou os subtipos simples e múltiplos. Os movimentos de toppling possuem velocidades variáveis, desde extremamente lentas no início a extremamente rápidas na altura da rotura. Esses movimentos podem provocar outros tipos de instabilidades como desabamentos ou deslizamentos. As situações de basculamentos verificam-se com uma maior frequência em xistos, calcários e também em materiais rochosos que apresentam disjunção colunar, como os doleritos e basaltos.

A dimensão dos volumes instabilizados nos basculamentos varia entre 1 m³ até cerca de 10⁹ m³ (Andrade, 2008).

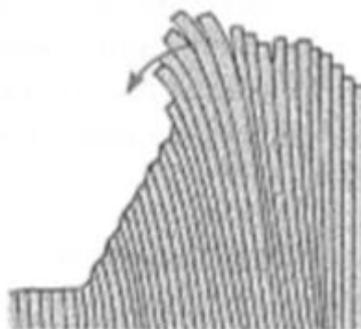


Figura 2.2 – Representação do basculamento (Vallejo et al., 2002).

2.3.3 - Deslizamentos

Os deslizamentos correspondem a movimentos descendentes de material ao longo de superfícies de rotura ou de zonas de espessura reduzida e com deformação tangencial intensa (WLWLI, 1993). Segundo Guidicini & Nieble (1984), os deslizamentos são movimentos rápidos, de duração relativamente curta e com volumes, de modo geral, bem definidos.

Os deslizamentos têm como causa fatores naturais e antrópicos, dentro destes últimos destacam-se as escavações na base dos taludes, bem como a construção de estradas em sítios inapropriados e também as vibrações resultantes de tráfego.

O modelo de rotura tangencial, bem como as propriedades do material instabilizado, são elementos fundamentais para a subdivisão dos deslizamentos, que podem ser classificados em dois tipos principais: os planares ou translacionais e os circulares ou rotacionais, como se pode verificar nas Figs. 2.3 e 2.4.

2.3.3.1 - Deslizamento rotacional

Nos deslizamentos rotacionais, como se pode observar na Fig. 2.3, os movimentos ocorrem ao longo de uma ou mais superfícies de escorregamentos com a concavidade voltada para a parte superior, estes deslizamentos são mais comuns em materiais do tipo solo e em maciços rochosos muito fraturados e/ou alterados.

Segundo Dikau et al. (1996), os deslizamentos rotacionais podem atingir áreas compreendidas entre poucos metros quadrados e os vários hectares. Os deslizamentos rotacionais apresentam muitas vezes fraturas de tração localizadas na porção superior do talude.

Os deslizamentos rotacionais são muitas vezes originados por processos erosivos, ações sísmicas e pela presença da água, esta última pode estar relacionada com precipitações

elevadas ou elevação do nível freático (Andrade, 2008), um mau funcionamento da drenagem nos taludes incrementa a probabilidade de ocorrência dos deslizamentos.

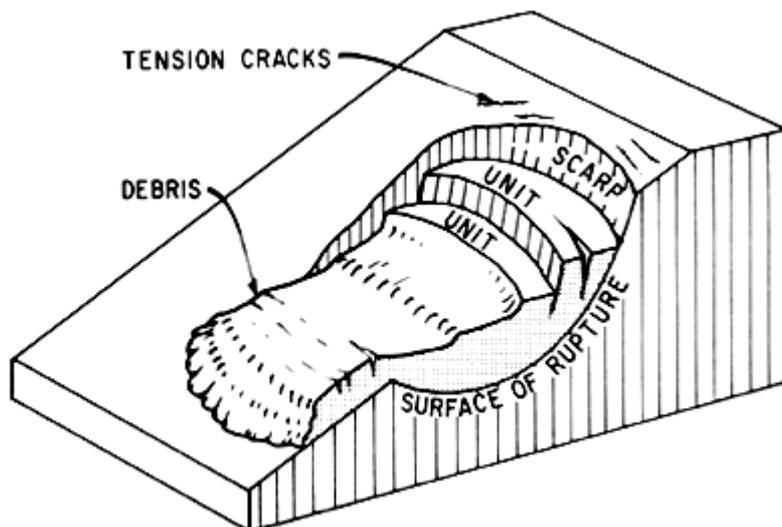


Figura 2.3 - Esquema de deslizamento rotacional (retirado de NRCC, 2005).

2.3.3.2 - Deslizamento Translacional

Nos deslizamentos translacionais (Fig. 2.4), os materiais instabilizados progridem no sentido descendente, ou para a parte exterior de um talude, os movimentos verificam-se ao longo de uma superfície planar ou ao longo da intersecção de planos de descontinuidade (Junior & Longo, 2010), estes últimos podem ser diaclases, falhas, superfícies de estratificação, xistosidade ou o plano de contacto entre o maciço rochoso e o solo (Rizzon, 2012).

As massas de solo nos deslizamentos translacionais possuem uma espessa reduzida e apresentam um plano de rotura (Augusto-Filho, 1992).

Os deslizamentos translacionais nos maciços rochosos são condicionados por características das superfícies de descontinuidade no maciço rochoso, como a orientação, a rugosidade, o espaçamento, a continuidade, o material de preenchimento e a presença de água. Este tipo de movimento pode alcançar distâncias consideráveis, desde que a superfície da rotura se apresente suficientemente inclinada.

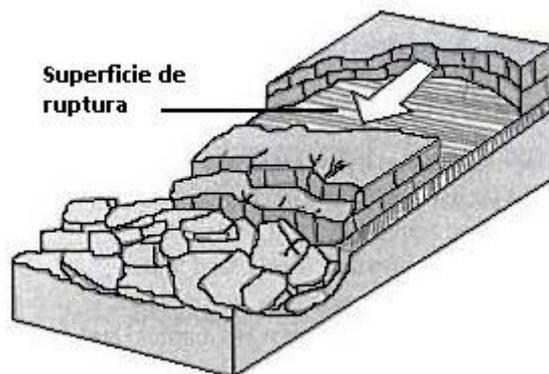


Figura 2.4 - Representação de deslizamento translacional (adaptado de USGS (2004)).

2.3.4 - Expansão lateral

As expansões laterais correspondem a movimentos de instabilidade em que os deslocamentos ocorrem devido à deformação interna do material, caracterizam-se também por situações de subsidência no material mais brando (WP/WLI, 1993), não se verificando a presença de roturas basais bem definidas (Zêzere, 2000). As expansões laterais em solos envolvem o colapso de uma camada a uma determinada profundidade, após o qual se verifica o movimento descendente das camadas sobrejacentes que apresentam uma maior resistência ou a ocorrência da ruptura da massa instabilizada (Buma & Van Asch, 1996). As expansões laterais estão muitas vezes relacionadas com a atividade sísmica (Highland & Bobrowsky, 2008) e com processos erosivos.

A expansão lateral em solos corresponde a um movimento extremamente rápido, podendo causar danos significativos (Fig. 2.5).



Figura 2.5 – Expansão lateral relacionado com o Sismo de Loma Prieta, Califórnia em 1989, USGS (1990).

2.3.5 – Escoadas ou fluxos

As escoadas ou fluxos são movimentos ininterruptos, em que as superfícies de tensão tangencial são de curta duração e de modo geral não são conservadas (WP/WLI, 1993), o material em movimento tem uma velocidade similar ao de um fluido viscoso.

Hungr et al. (2001) definiram os fluxos de acordo com o tipo e propriedades do material como a saturação, a velocidade, dimensão e outras características. Os fluxos podem verificar-se em rochas, detritos e solos.

Nos fluxos, a presença da água é essencial para o desencadear destas situações de instabilidade. Os movimentos de tipo fluido são frequentes em materiais ricos em argilas, que se localizam superiormente ao substrato rochoso. Os fluxos podem apresentar velocidades muito lentas até extremamente rápidas.

Nos fluxos de solos, o material transportado é de menor dimensão do que o existente nos fluxos de detritos (Fig. 2.6), segundo Takahashi (2007) estes últimos correspondem a uma mistura composta por água, elementos detríticos e mais finos, em que se verifica a liquefação de material existente numa encosta.

Os fluxos de terra podem ocorrer em inclinações suaves e moderadas, geralmente em solos constituídos por argila e/ou silte, mas também em camada de rochas argilosas. A massa num

fluxo de terra move-se como um fluido plástico e viscoso, com intensa deformação interna. Deslizamentos e expansões laterais também podem evoluir para fluxo de terra, estes podem ser desde muito vagarosos (rastejos) a rápidos e catastróficos. Podem verificar-se fluxos de areia seca, designadamente em areias não coesivas, estes são por vezes associados a ações sísmicas (Hutchinson, 1968).

Os fluxos de detritos podem originar danos muito consideráveis e vítimas mortais, sendo especialmente perigosos nas vertentes das zonas montanhosas, devido à sua grande velocidade e poderem ocorrer de modo muito repentino.

Dramis & Sorriso-Valvo (1994) consideraram que os fluxos de rochas estão relacionadas com movimentos de deformação associados à gravidade, estes ocorrem em maciços rochosos de zonas montanhosas, apresentam uma velocidade lenta e podem atingir volumes de vários milhares de metros cúbicos.

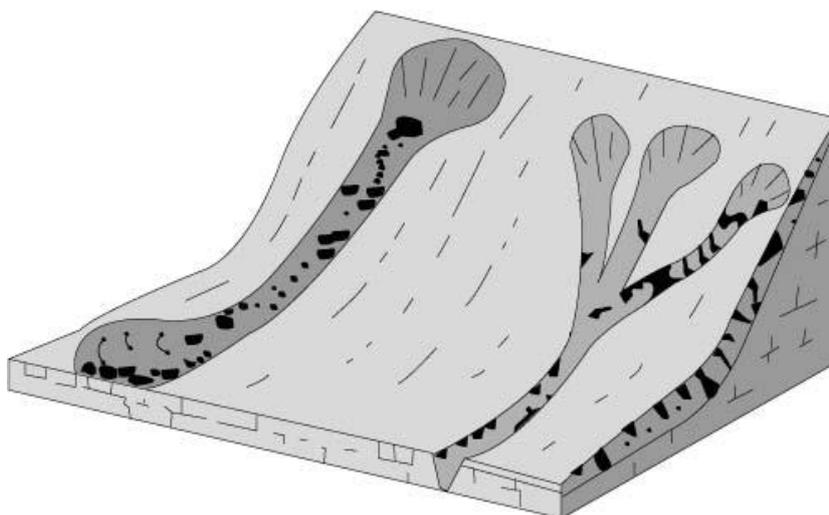


Figura 2.6 - Representação de fluxo de detritos (retirado de BGS, 2014).

2.3.6 - Movimentos complexos

Os movimentos complexos ocorrem quando um dado tipo de instabilidade no desenvolvimento da sua movimentação pode desencadear uma outra situação de instabilidade (Dikau et al., 1996). Os movimentos de instabilidade que apresentam, no mínimo, dois mecanismos de instabilidade em simultâneo, em setores distintos da massa movimentada, são designados como “compósitos”. A diferenciação, entre os movimentos complexos e os compósitos apresenta-se por vezes difícil, designadamente quando existem problemas no estabelecimento da definição das sequências temporais dos movimentos (Zêzere, 2000). Dentro dos movimentos complexos mais frequentes temos a associação entre o deslizamento rotacional e o translacional, bem como o deslizamento rotacional e o

basculamento ou ainda o deslizamento translacional e o fluxo. Os movimentos complexos englobam as avalanches de rochas e os deslizamentos de fluxo (Andrade, 2008).

2.4 - Medidas de redução e de mitigação das instabilidades

De acordo com Dyminski (2010), o conhecimento dos processos de instabilidade e a definição das suas formas de contenção são essenciais devido às desastrosas consequências que as situações de instabilidade provocam, estas tendem a aumentar devido ao incremento das áreas urbanas, ao desflorestamento contínuo e ao aumento da precipitação, este último também relacionado com as mudanças climáticas.

Para as vertentes ou taludes procede-se à sua estabilização para aumentar os níveis de segurança. Existem diversos métodos para prevenir os processos de instabilidade e mitigar os danos resultantes dos movimentos nos taludes/vertentes como:

- Alteração da geometria.
- Sistemas de drenagem.
- Pregagens e ancoragens.
- Construção de estruturas de suporte (muros de betão, gabiões, redes de proteção e barreiras estáticas e dinâmicas).

2.4.1 - Alteração da geometria

Pode proceder-se à alteração da geometria através da diminuição do declive (Fig. 2.7) e da redução da altura (em especial nos solos com comportamento coesivo). A geometria do talude pode ser modificada com a colocação do material na base ou efetuar-se a construção de uma berma, no primeiro caso é comum a utilização de material da parte superior do talude.

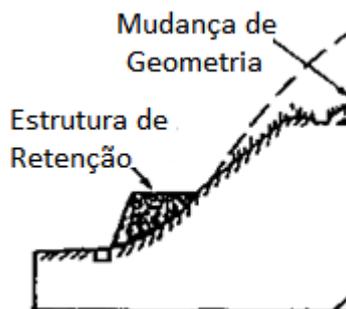


Figura 2.7 – Estabilização de um talude através da alteração da geometria.

2.4.2 - Drenagem

A presença de água é o principal agente de instabilidade nas vertentes e taludes constituídos por solo ou material rochoso, sendo de referir as situações em que este último apresenta um grau de alteração médio a elevado.

No dimensionamento de um sistema de drenagem, é necessário ter conhecimento do nível freático, sistema de percolação e características dos terrenos (Carreto, 1989).

Podem estabelecer-se vários tipos de drenagem. Os drenos sub-horizontais correspondem a tubos de 5 cm ou mais de diâmetro que são cobertos por um filtro perfurado, de modo a impedir a colmatação dos tubos por material fino. Os drenos são instalados com uma pequena inclinação, de aproximadamente 5° , e devem penetrar na zona freática e permitir o fluxo da água (Fig. 2.8). O espaçamento destes drenos depende do material onde são instalados e pode variar entre 3 e 8 m para as formações argilosas e lodosas, a mais de 15 metros, no caso de areias permeáveis.



Figura 2.8 - Dreno sub-horizental (Andrade, 2013)

Os drenos verticais podem ser utilizados quando existe uma camada impermeável situada inferiormente ao nível freático. Os drenos são instalados de modo a permitir o fluxo da água por gravidade para a camada mais permeável e com a consequente redução da pressão hidrostática. Outro meio de drenagem é a instalação de poços verticais, no interior dos quais se podem colocar bombas para extração da água (Vallejo et al., 2002).

A drenagem superficial é utilizada de modo a evitar que a água se infiltre no talude ou provoque processos erosivos em diferentes níveis. A sua utilização é comum na crista do talude, ao longo da sua face e também no pé. Para a drenagem é também possível a utilização de máscaras e esporões drenantes.

De modo geral, os métodos de drenagem devem evitar que a água da superfície e/ou da subterrânea permita a ocorrência de situações de instabilidade que estão, muitas vezes, relacionadas com o aumento das pressões neutras.

2.4.3 - Elementos de aumento da resistência do terreno

O método de pregagem corresponde a um sistema pontual de sustentação, que utiliza o atrito através do contacto contínuo com as paredes do furo (Rodrigues et al., 2009). De acordo com Guerreiro (2000), o emprego frequente das pregagens está relacionada com as seguintes características:

- versatilidade, dado que podem ser utilizadas em qualquer tipo de geometria de escavações;
- método simples;
- custo reduzido;
- as pregagens podem ser utilizadas em conjunto com outros sistemas de suporte, como as redes metálicas e o betão projetado;
- a frequência de aplicação pode ser variável tendo em atenção o tipo de rocha e as situações de instabilidade.

As ancoragens são elementos de suporte ativo, exercendo uma ação de suporte independentemente da movimentação dos elementos a conter. As ancoragens são constituídas por cordões e barras de aço que são posteriormente tensionadas. Estas são também conhecidas por método de sustentação suspenso e utilizam-se com muita frequência

para melhorar a auto-sustentação dos maciços e evitar a queda de blocos mais ou menos individualizados.

Uma ancoragem é constituída por três partes (Santa, 2010): a cabeça da ancoragem que corresponde à parte mais externa da ancoragem, o comprimento livre que compreende a parte entre a cabeça e o bolbo de selagem, nesta última parte injeta-se um ligante que pode ser calda de cimento ou resina, em redor da extremidade da ancoragem.

As cargas nas ancoragens, não são transmitidas na totalidade do seu comprimento, mas somente na zona da selagem (BAUER, 2014).

2.4.4 - Muros de suporte

Um muro de suporte ou contenção corresponde a uma obra de sustentação e retenção de terrenos, verificando-se o seu apoio sobre uma fundação. De modo geral apresentam elementos verticais, terraplenagem e elementos horizontais. Podendo ser distinguidos como muros de gravidade e de betão armado (Fig. 2.9).

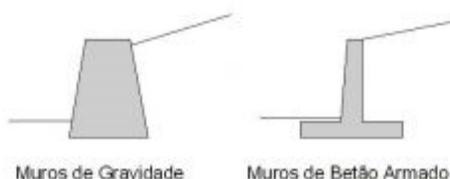


Figura 2.9 – Muros de suporte.

Os muros de gravidade correspondem a estruturas de suporte, e que são constituídas por betão ou material rochoso (Fig. 2.9), dependem do próprio peso para assegurarem a estabilidade, não se verificando em nenhuma das suas seções o desenvolvimento de tensões de tração (Bueno & Vilar, 1996).

Os Muros de Terra Armada correspondem a um método construtivo em que a sustentação dos solos está associada ao incremento da sua capacidade em termos de resistência à tracção. Neste método os aterros são reforçados pela presença de elementos de amarração horizontais constituídos por aço ou polietileno (Gonzalez, 2006).

Os muros de suporte construídos em betão apresentam uma permeabilidade muito reduzida, o que pode levar ao incremento das pressões hidrostáticas, para evitar este problema pode proceder-se à instalação de drenos de modo a diminuir o excesso de pressão. Um tipo de

parede de suporte que apresenta características de boa drenagem são os gabiões (Figuras 2.10 e 2.11), dado que possibilitam a percolação da água. Os gabiões correspondem a gaiolas de rede de aço, estas são sobrepostas e no seu interior são colocados blocos rochosos. Os gabiões são relativamente pouco dispendiosos, e têm como vantagem admitir grandes deformações sem perderem as características de resistência.

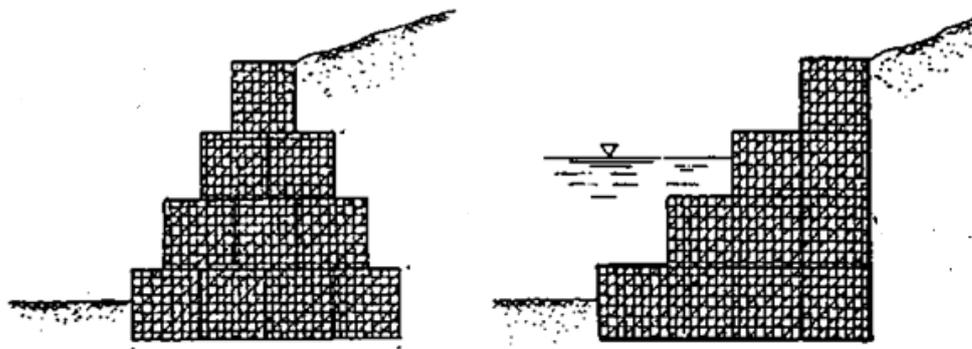


Figura 2.10 – Muros de gabiões.



Figura 2.11 - Representação de Gabião.

2.4.5 - Medidas de proteção e tratamento superficial

As principais medidas de protecção e tratamento superficial correspondem a:

- Barreiras estáticas e dinâmicas;

- Redes de proteção;
- Betão projetado.

As barreiras estáticas são utilizadas de modo a evitar a deslocação de materiais relacionados com as situações de instabilidade, as dimensões dos materiais não são consideráveis mas a sua frequência processa-se de uma forma continuada. As barreiras estáticas podem ser posicionadas na parte superficial ou na base dos taludes.

Nas zonas montanhosas ou nas vertentes de altura elevada pode recorrer-se ao emprego de barreiras dinâmicas, dado que nessas áreas se verificarem situações de queda de blocos de grandes dimensões e que atingem velocidades consideráveis. As barreiras dinâmicas são sistemas flexíveis e com uma deformabilidade que permite a retenção dos blocos rochosos que se movimentam no sentido descendente. As barreiras dinâmicas são constituídas por vários elementos como postes, painéis e também cabos de aço ligados aos elementos estruturais que permitem a absorção dos impactos de elevada energia (MACCAFERRI, 2012). No decorrer do impacto o sistema permite que a energia da queda das rochas seja dissipada, através de deformações elásticas e plásticas, impedido deste modo a deslocação dos materiais rochosos.

As redes de proteção (Fig. 2.12) apresentam, de modo geral, malha hexagonal de dupla ou tripla torsão galvanizada e são similares às utilizadas nos cestos dos gabiões. As redes devem possuir resistência para suportar o impacto dos materiais rochosos, e são utilizadas para proteger infraestruturas como as vias de comunicação e edifícios. As redes de protecção devem permitir a retirada dos materiais acumulados entre a superfície do talude e a rede de proteção (MACCAFERRI, 2008).

A rede é fixada ao talude com recurso a pregos, permitindo que seja disposta ao longo das faces dos taludes e de acordo com as irregularidades do terreno, não condicionando a elasticidade da malha (Quinta-Ferreira, 2010).



Figura 2.12 – Rede de protecção metálica (retirado de Andrade (2008)).

A técnica de betão projetado simples tem a sua aplicabilidade em taludes com um menor grau de alteração (Gonzalez, 2006). O betão projetado corresponde a uma mistura de água, cimento, inertes e aditivos que são lançados com a ajuda de uma bomba e canhão sobre a superfície do talude.

A aplicação do betão projetado deve ser acompanhada da realização de sistemas de drenagem interna, mas também superficial. O betão projetado pode ser utilizado em conjunto com malhasol.

3 - Enquadramento geográfico e geológico

3.1 - Enquadramento geográfico

O presente trabalho compreende três áreas de estudo localizadas nas Províncias de Huíla e de Namibe, designadamente nos Municípios de Lubango, Humpata e Bibala.

A província de Huíla está situada no Sudoeste de Angola, onde abrange uma área estimada em 79 022 km² e é composta por 14 Municípios e 36 Comunas, apresentando uma população total de aproximadamente 3.012.621 habitantes (GPH, 2014), números que a tornam na terceira mais populosa em Angola (Fig. 3.1).

A província de Namibe abrange o litoral sudoeste de Angola e a sua transição para as regiões planálticas do interior. Representa uma superfície estimada em 57 091 km², hierarquizada, do ponto de vista administrativo, em cinco Municípios e dez comunas (GPN, 2014), que apresentam uma população total de cerca de 255 000 habitantes, dos quais a maior parte reside na cidade de Namibe, a capital de província (GPN, 2014) (Fig. 3.2).

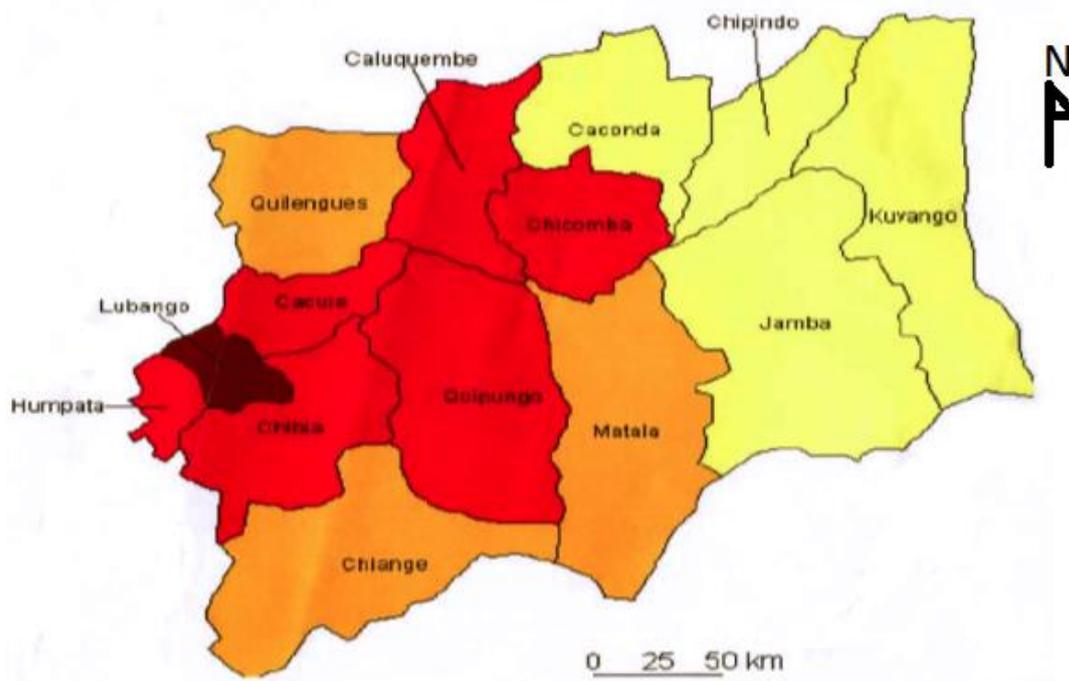


Figura 3.1 – Mapa referente à província da Huíla e respetivos municípios (SINFIC, 2007).

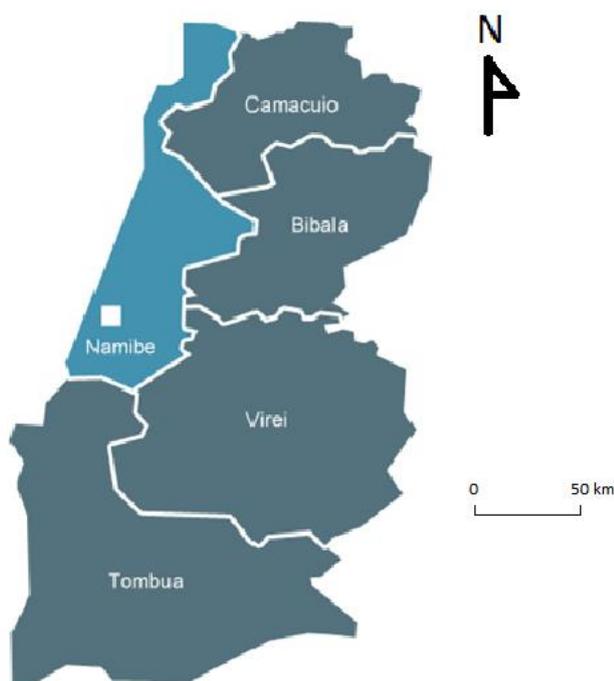


Figura 3.2 – Mapa referente à província de Namibe (adaptado de Oliveira (2012)).

Geograficamente e quanto à primeira área de estudo (Fig. 3.3) e o respetivo talude analisado, designado como Talude 1, apresenta-se dividido em três troços, e localiza-se na província da Huíla, município do Lubango, na via rodoviária entre Lubango e a zona turística da Tundavala (Fig. 3.4). Esta via é de grande importância, pelo seu valor turístico, pois dá acesso à famosa Fenda da Tundavala, considerada no presente ano de 2014 como uma das sete maravilhas de Angola e de grande importância patrimonial (Henriques et al., 2014).

A segunda área de estudo (Fig. 3.3) compreende um talude dividido em quatro troços, denominado Talude 2 (Fig. 3.5), e que se localiza no Município da Humpata, município na via secundária que liga o entroncamento da estrada nacional nº238 e o Tchivinguiro, mais concretamente no lugar de Caholo. Esta via é de importância capital, pois dá acesso à grande e famosa escola de Angola vocacionada na formação de quadros no domínio Agropecuária. O planalto da Humpata comporta uma área de aproximadamente 1242,8 km² subdividida por povoações como Caholo, Tchivinguiro, Palanca, Cangalongue, Bala-bala, Cainde e Bimbe, assim como por pequenos aglomerados rurais com habitações rústicas e populações que praticam agricultura de subsistência.

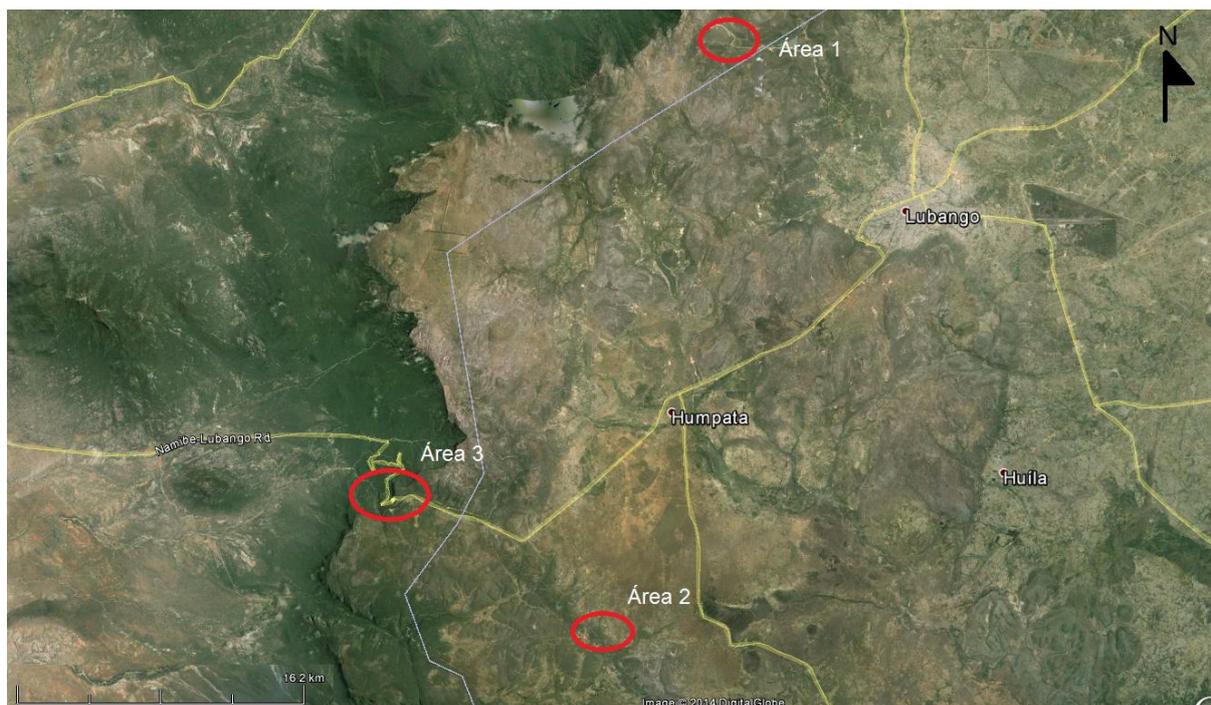


Figura 3.3 – Localização das áreas onde se localizam os taludes (adaptado de Google Earth, 2010).



Figura 3.4 - Localização do Talude 1 na “estrada entre Lubango a Tundavala” (adaptado de Google Earth, 2010).

Relativamente à terceira área de estudo (Fig. 3.3), localizada na descida da Serra da Leba, esta compreende 5 taludes, designados como Taludes 3 a 7 (Fig. 3.6), e expostos ao longo da estrada nacional nº280 (EN 280), perto do limite entre as duas províncias consideradas, embora se situe na Província do Namibe, inserindo-se nas imponentes vertentes de elevado pendor que se associam ao grande ressalto topográfico do escarpamento da Leba. Esta via de comunicação é estratégica para os interesses económicos do país e de extrema importância para a movimentação de pessoas e bens entre o litoral e o interior. Com efeito, estabelece a ligação entre as duas Províncias, Huíla e Namibe, sendo esta última detentora de um grande polo industrial e interface internacional (porto do Namibe), visando o crescimento económico do País. A EN 280 constitui a principal via de ligação entre o litoral e o planalto angolano, a Sul do paralelo de Benguela.

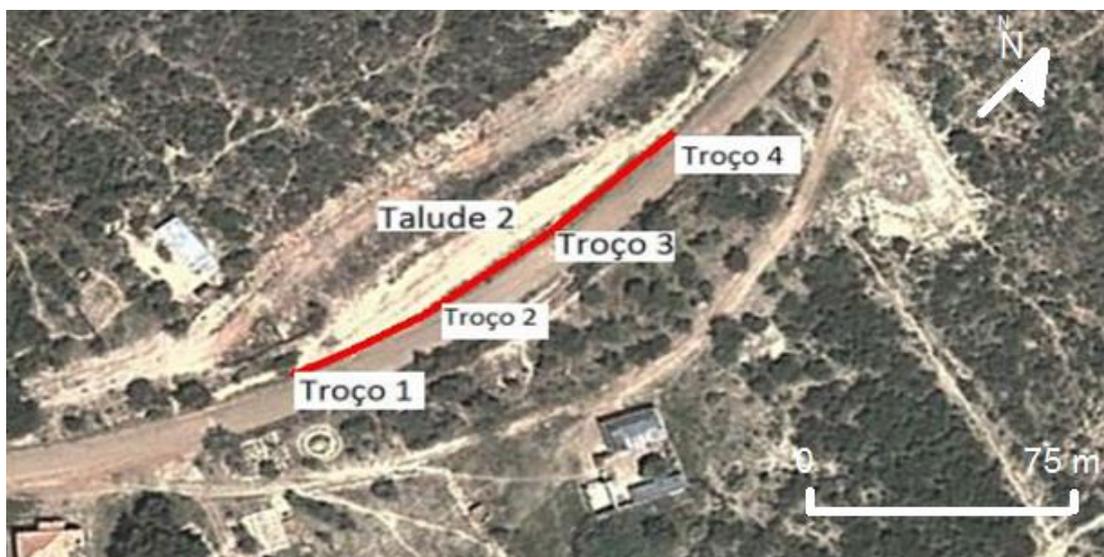


Figura 3.5 - Localização do Talude 2, localizado no troço da via de acesso à Escola de Regentes Agrícolas do Tchivinguiro, junto ao lugar de Caholo (adaptado de Google Earth, 2010).

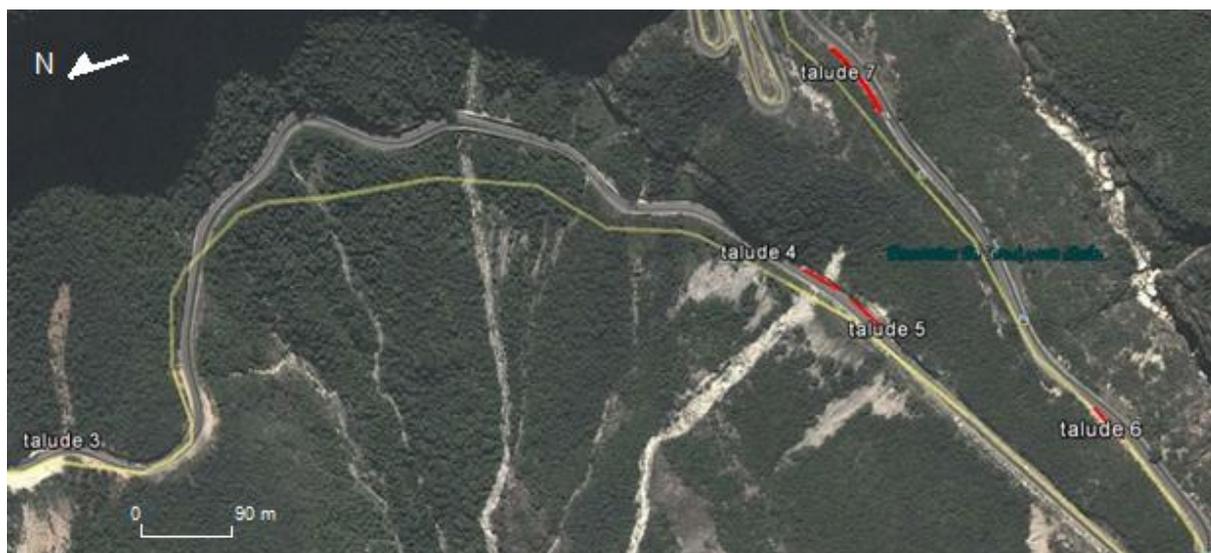


Figura 3.6 - Localização dos Taludes 3, 4, 5, 6 e 7 que se situam ao longo do troço sinuoso da Estrada Nacional nº 280, na área da Leba (adaptado de Google Earth, 2010).

3.1.1 - Caracterização climática

No aspeto climatológico há que considerar duas estações climáticas na província da Huíla: A das chuvas, que corresponde a um período de nove meses, desde meados de outubro a meados de abril, e a de seca, que compreende os restantes meses do ano (SINFIC, 2007). As chuvas mais intensas ocorrem, geralmente, entre o princípio do mês de janeiro e finais de março (JIU, 1959).

O mapa da Fig. 3.7 apresenta 4 classes de precipitação total média anual: 582-756 mm; 757-887 mm; 888-1030 mm e 1031-1224 mm. O valor de precipitação média anual aproxima-se dos 1200 mm, ao norte, descendo para os 750 mm no extremo sul da zona (Fig. 3.7). O respetivo mapa permite verificar um padrão claro de distribuição da precipitação total média anual, segundo um eixo principal Norte-Sul (SINFIC, 2007).

Não obstante estes valores médios registados, a distribuição é bastante variável, de ano para ano, existindo anos particularmente pluviosos durante a época das chuvas, fato que contribui para o acentuar de instabilizações nas vertentes e taludes da região, não sendo raro o encerramento temporário do troço da Leba para remoção de obstáculos, como ocorreu nos primeiros meses de 2011.

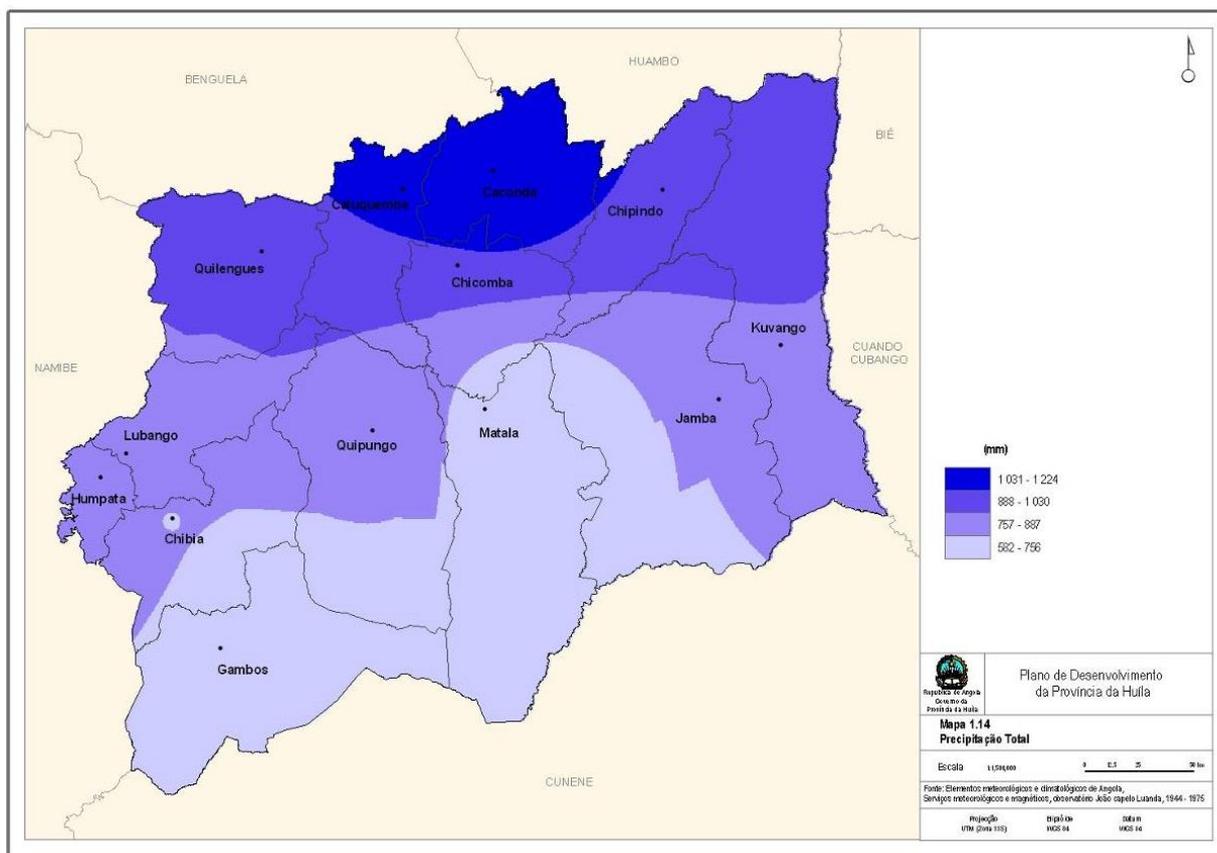


Figura 3.7 – Registo da precipitação total média anual, na Província da Huíla (1944 - 1975) (SINFIC, 2007).

Quanto à temperatura média anual, as áreas dos taludes ficam envolvidas, sensivelmente, pela isotérmica dos 19°C (Fig. 3.8)., com diminuição gradual para o interior, à medida que se atingem valores crescentes de altitudes médias (18,5°C no Lubango) (Diniz, 2006).

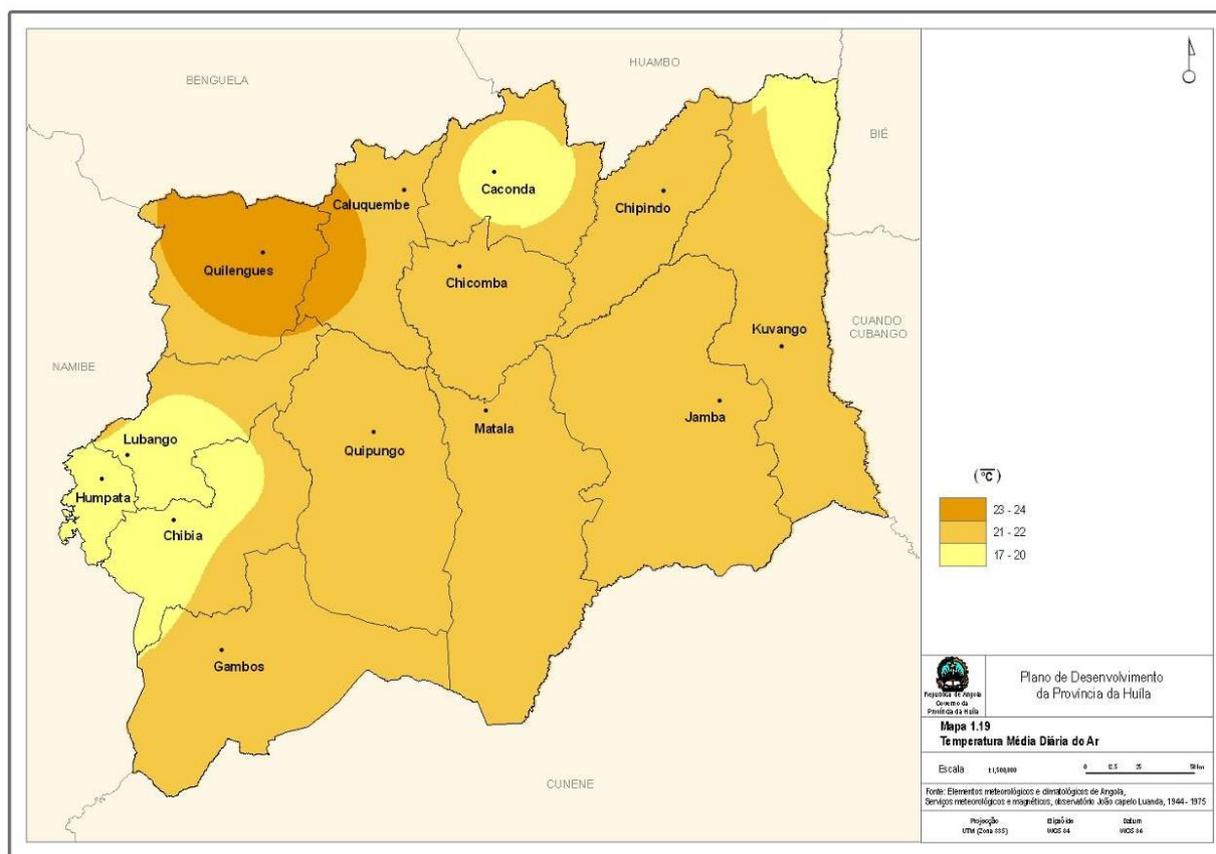


Figura 3.8 - Temperatura média diária do ar, média anual, na Província da Huíla, para a série temporal 1944-1975 (SINFIC, 2007).

No que respeita ao clima da província do Namibe, este apresenta-se em três configurações: clima seco, desértico, quente na faixa litoral; clima seco, desértico, muito quente na faixa intermédia; clima seco, de estepe, muito quente no interior. A temperatura média anual oscila entre 18 e 20° C. A província do Namibe caracteriza-se por ter ventos bastante regulares quer em direção como em intensidade, ao longo de todo o ano. As quedas pluviométricas oscilam, em média, entre 0-50 mm, consoante as faixas climáticas acima referidas (Oliveira, 2012). Todavia, a terceira área em estudo, e que compreende os taludes 3 a 7, já está situada sobre o imponente ressalto morfológico que constitui o escarpamento da Leba, sofrendo a influência da proximidade da região planáltica e sendo, por isso, bastante mais pluviosa no seu extremo oriental.

3.1.2. Características demográficas, económicas e sociais

A área do talude 2, que se localiza no lugar do Caholo, é a que apresenta uma densidade populacional mais elevada em relação aos demais. As populações autóctones das áreas dos

taludes inserem-se nas grandes etnias regionais, nomeadamente, os povos Ganguelas, estes mais concentrados na parte leste da província, e os povos Humbundos. Estas etnias fazem da agricultura de sequeiro a sua atividade primordial, embora no sul e sudoeste existam outras tribos que, adaptadas à especificidade do meio, complementam a agricultura com uma atividade essencialmente pastoril. Para a zona oeste localiza-se uma pequena extensão territorial designada como Terras altas da Chela, na qual a ocupação também é de natureza pastoril e de prática agrícola, uma vez que se trata de uma província de cariz fortemente agrícola, onde o sector agropecuário apresenta grande expressão e elevadas potencialidades (SINFIC, 2007). Nesta área, os contrastes Noroeste-Sudeste são evidentes, observando-se uma transição da preponderância da atividade agrícola para a atividade pecuária.

De acordo com SINFIC (2007), a etnia dos Muílas é predominante na província da Huíla, pertencendo a grande maioria da população autóctone a seis grupos etnolinguísticos específicos: Nhaneca-Nkumbi, Umbundo, Nganguela, Quioco, Herero e não-Bantu, sendo ainda de referir a presença de uma população alóctone relevante.

A título de exemplo, a economia tanto de Lubango como da Humpata é hoje baseada principalmente na agricultura de cereais, frutas e legumes. Tem também algumas indústrias de manufatura especializadas em embalagens de alimentos, fábricas de água, sumos, produtos lacticínios e bebidas alcoólicas e refrigerantes, para estes últimos produtos as fábricas localizam-se na Capital da Província, a cidade de Lubango. A principal fonte de emprego ainda continua fortemente associada ao setor tradicional, nas áreas rurais, e informal nos principais aglomerados urbanos. Apesar de não ser possível avaliar a sua importância, pode-se deduzir que, face ao pouco desenvolvimento do tecido empresarial, que nas áreas rurais a maior parte da ocupação depende do sector tradicional, composto por camponeses que exercem a sua actividade por conta própria e alguns se associam em cooperativas e associações de camponeses. Já nas áreas urbanas (cidades e sedes municipais), é o sector informal do comércio que assume um peso bastante relevante como fonte de subsistência e de rendimento das famílias (Oliveira, 2012).

Os taludes 3 a 7 localizam-se no Município da Bibala, na província do Namibe, concretamente na descida da Serra da Leba, sobre a EN 280, uma formação montanhosa outrora pertencente à província da Huíla, e hoje pertencente à da do Namibe, que é famosa pela altitude, pela sua beleza e também pela estrada que a serpenteia.

O acesso de via de comunicação entre o litoral e as regiões planálticas do interior permite o transporte rodoviário de granito, gabro e doleritos, sob a forma de blocos destinados à produção de rocha ornamental, muitos deles destinados a exportação, assim como combustível e produtos comerciais para as duas províncias e não só.

3.2. Enquadramento geomorfológico e geológico

3.2.1. Geomorfologia

A cadeia de montanhas marginal constitui um “degrau” morfológico que marca, sobretudo na metade Sul da província, o limite entre esta e a província do Namibe. Este limite é quase sempre caracterizado por uma rotura abrupta de declive, testemunhada por diferenças de altitude por vezes da ordem dos 250-300 metros.

A partir da montanha marginal, para Sudeste, esta peneplanície apresenta uma gradual diminuição de altitude, atingindo valores na ordem dos 1100 m no limite Sul da província. “Esta peneplanície apresenta uma altitude a rondar os 1700 m junto à cadeia marginal de montanhas, a qual desce suavemente para Leste e Sul até atingir a cota dos 1100 metros nos limites da província.” (GPH, 2014).

De acordo com dados do GPH (2014), a província abrange quatro grandes unidades geomorfológicas do território, a saber: (1) o planalto antigo localizado na parte norte; (2) a montanha marginal situada no Oeste da Província; (3) a faixa subplanáltica localizada numa parcela no noroeste bem como numa área reduzida no Sudoeste; (4) o Baixo Cunene na parte Sul (Fig. 3.9).

A extensão territorial da província da Huíla tem cotas elevadas, maioritariamente superiores a 1000 metros. De acordo com Feio (1981) esta província é constituída por uma peneplanície de grandes dimensões que se prolonga para norte, ocupando parte da área central de Angola, onde abrange a cadeia marginal a oeste, com as cotas a atingir, por vezes, os 2000 metros (Diniz, 1991).

Certas elevações mais pronunciadas, localizadas a espaços em plena peneplanície, podem ser encontradas mormente nos municípios da Chibia, da Jamba e do Kuvango.

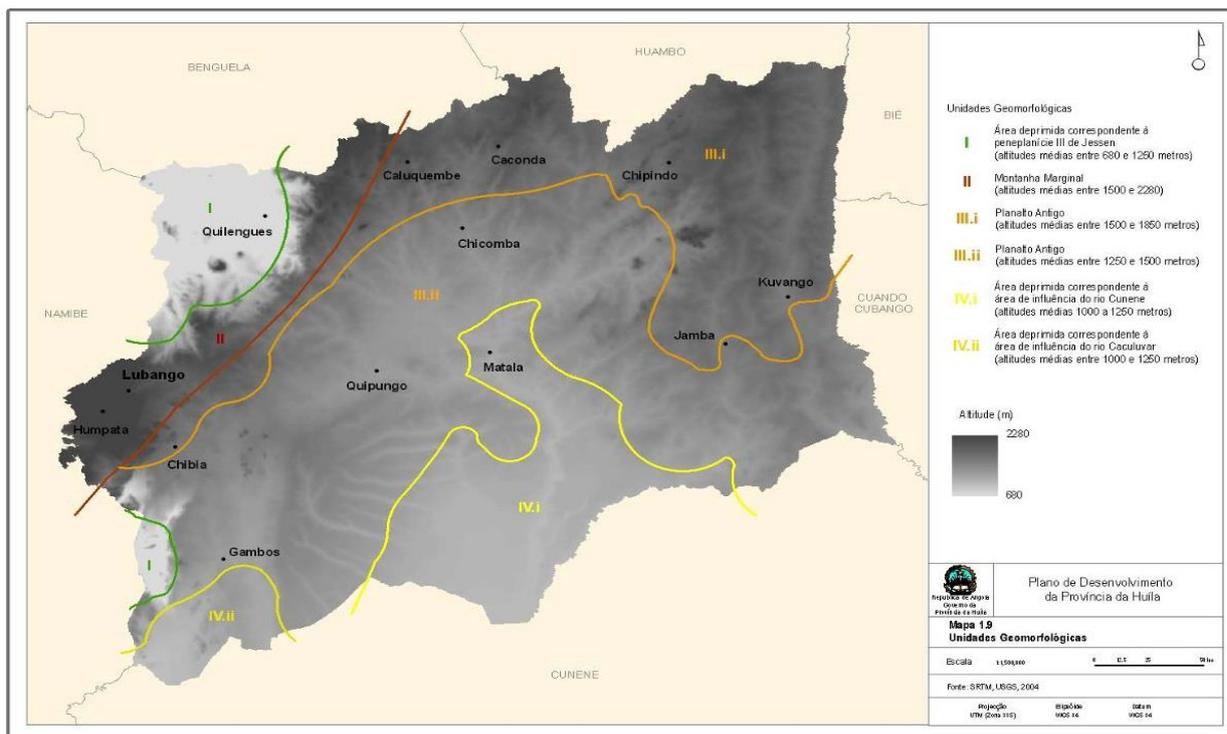


Figura 3.9 - Unidades geomorfológicas da Província da Huíla (segundo SINFIC (2007)).

Neste contexto merece destaque a passagem da Serra da Chela para a Serra da Chicuma, a qual compreende um conjunto de elevações que se alinham sensivelmente no mesmo sentido daquelas, quebrando de alguma forma o contínuo altitudinal existente. Destas elevações, que ligam estas duas serras, distinguem-se as serras de Daundo, Munjangolo, Cariamba, Talunda, Daulau e Tunda, esta última separada da Serra da Chela pela conhecida portela (área aplanada entre dois topos) da Quilemba (SINFIC, 2007).

Ainda de acordo com SINFIC (2007), para Oeste desta cadeia de relevos importantes localizam-se, primeiramente, a peneplanície III (tem expressão com maior realce no Noroeste, concretamente na área que corresponde ao município de Quilengues, onde é possível destacar alguns relevos residuais importantes como o monte Bonga e o monte Chivira), seguida de peneplanície II de Jessen, com relevância na província vizinha do Namibe (localização dos taludes estudados 3, 4, 5, 6 e 7).

A Nordeste de Quilengues destacam-se ainda certas elevações, como são os casos da Serra Mucanga, da Serra Cunga, da Serra da Jamba e do maciço do Lombiri, este último localizado próximo da Serra da Chicuma (Diniz, 1991).

O território da Província da Huíla com cotas mais elevadas situa-se na zona da Humpata, designadamente “Planalto de Humpata”. Este está inserido na Serra da Chela. Nesta área são frequentes altitudes superiores a 2000 metros, integrando o nível de cota mais elevada do Sudoeste do país (Pereira et al., 2006).

Por sua vez, a Serra da Chela é um enorme maciço montanhoso que se dispõe segundo uma linha poligonal muito irregular, estendendo-se ligeiramente ao norte de Sá da Bandeira (atual Lubango), até próximo do rio Cunene. Limitada na parte ocidental por uma escarpa que chega a alcançar 1100 metros de desnível, a transição para a peneplanície localizada a oriente é mais suave, não obstante se possa apresentar recortada por degraus com amplitude superior a 200 metros (SINFIC, 2007).

3.2.2 – Enquadramento geológico regional

A província da Huíla apresenta das rochas mais antigas, cratónicas, do território angolano, com idades que ultrapassam 2000 milhões de anos (Vale, 1968), (Fig. 3.10). As unidades com rochas metamórficas, metassedimentares e magmáticas do Précâmbrico (Arqueozóico e Proterozóico) afloram em cerca de 2/3 da área desta extensão territorial, tal como se pode verificar na (Fig. 3.11) seguindo-se uma cobertura essencialmente sedimentar, com rochas cenozóicas. As rochas mesozóicas apresentam uma expressão tão diminuta, que não são referenciadas no mapa de enquadramento geológico da Fig. 3.10.

Neste contexto geológico de apreciável diversidade, diferenciam-se unidades estratigráficas compostas por uma grande variedade de litótipos, tais como diferentes tipos de rochas granitoides, gabros, dioritos, gneisses, filádios e micaxistos, quartzitos e rochas sedimentares siliciclásticas e carbonatadas (Fig. 3.12). Estas unidades articulam-se em função da sua sobreposição estratigráfica e das grandes discontinuidades presentes a nível regional, sendo que a sua disposição em afloramento também é influenciada pelo rejogo de uma tectónica cujas fases principais remontam ao Proterozóico, mas também encontram expressão no ciclo atlântico.

A cartografia geológica hoje existente (Figs. 3.12 e 3.13), distingue na região de entre o Lubango e Planalto da Humpata e o seu sopé, não menos de 14 conjuntos de unidades do cratão africano do Sudoeste de Angola. Nesse sentido, 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.

Existe, também, um complexo polimetamórfico em que é possível reconhecer sobreposição de várias deformações orogénicas. Este é constituído por rochas de fácies de metamorfismo regional de médio a alto grau, entre as quais se encontram diferentes variedades de micaxistos, gnaisses, migmatitos e granitos de anatexia.

Outrossim, o intervalo entre 1175 e 2700 milhões de anos está representado por diversos tipos de corpos intrusivos, relacionados com, pelo menos, três etapas orogénicas, das quais a mais recente permitiu a intrusão de corpos básicos com geometria filoneana

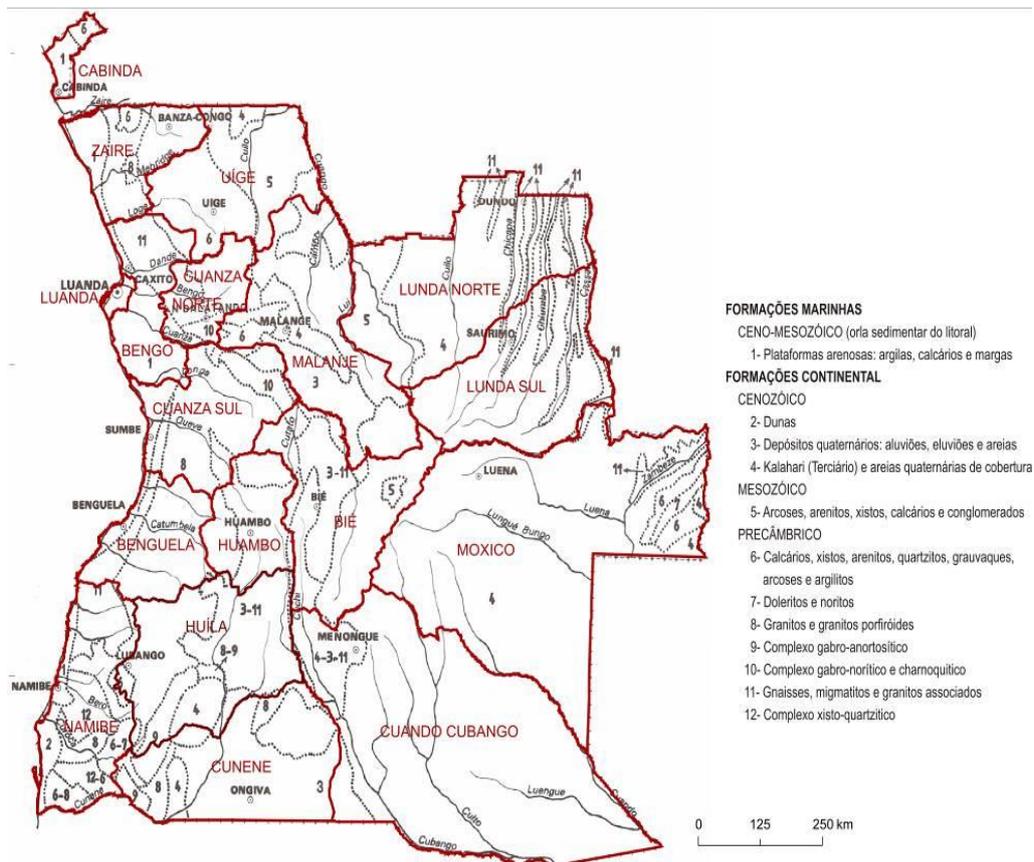


Figura 3.10 - Enquadramento geológico da Província da Huíla (SINFIC, 2007).

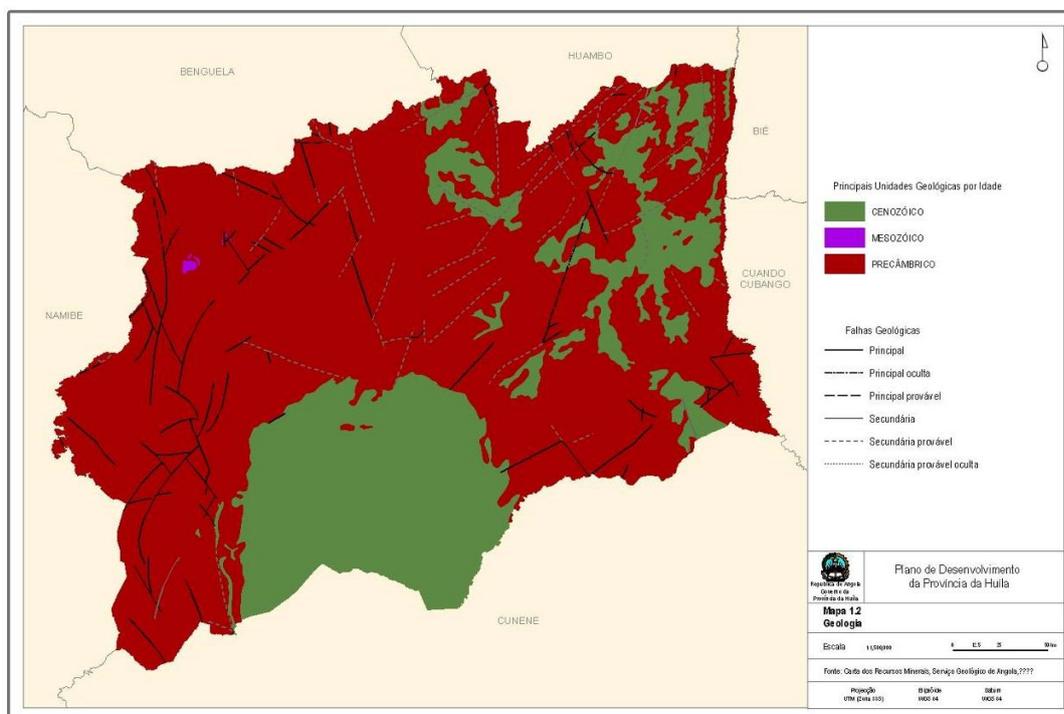


Figura 3.11 - Unidades geológicas da Província da Huíla, de acordo com as suas idades relativas (SINFIC, 2007).

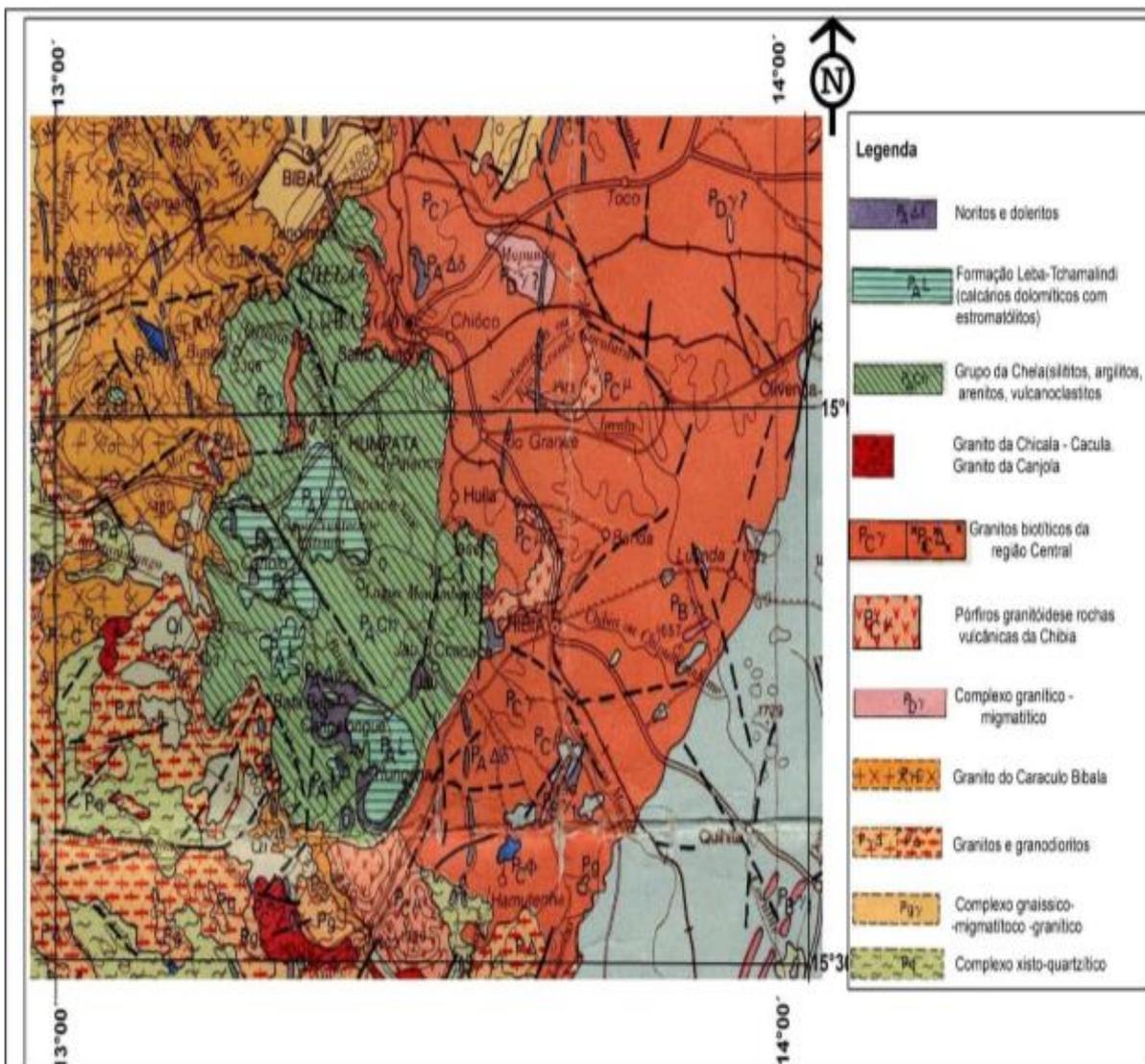


Figura 3.12 – Estrato da folha nº3 da Carta Geológica de Angola, à escala 1:1.000.000 (Carvalho, 1980).

Segundo Correia (1976), este soco de origem metamórfica e intrusiva representa o substrato sobre o qual assenta em inconformidade o espesso Grupo da Chela, caracterizado por um episódio sedimentar que teve lugar numa extensa fossa tectónica, em meados do Pré-Câmbrico Superior.

Os limites do espaço planáltico coincidem com os relevos escarpados, em que as dimensões atingidas na Leba e a Tundavala os classificam entre os mais imponentes a nível mundial. A origem destes escarpamentos é muito antiga, podendo remontar a finais do Cretácico Superior ou do Paleogénico, iniciado que foi o ciclo distensivo do Atlântico Sul.

Quanto aos corpos intrusivos do Maciço Antigo, nestes predominam as rochas granitoides, para além do complexo gabro-norítico acima mencionado.

Ainda de acordo com Vale (1971), os pegmatitos e os aplitos afloram na área urbana de Lubango e respetivas imediações sob a forma de filões.

Quanto às estruturas que compõem o Planalto da Humpata, estas são horizontais a sub-horizontais, revelando fraca metamorfização e sem deformação complexa (Feio, 1981). No quadro da Fig. 3.14 é ilustrada a sucessão de unidades estratigráficas definidas em Correia (1976). De acordo com este quadro, é fácil observar que, no seio da sucessão sedimentar e metassedimentar, se diferenciam diversos conjuntos com o valor de Formação, ou hierarquicamente inferiores, e que a sucessão carbonatada de origem marinha litoral é a mais recente, posicionando-se, desta forma, no topo do Grupo Estratigráfico.

Neste contexto, o Grupo da Chela integra formações com vários tipos de rochas, com maior realce para as sedimentares detríticas e carbonatadas e para as vulcanoclásticas. Cada uma das unidades litostratigráficas envolvidas diferencia-se das restantes pela especificidade litológica, posicionamento estratigráfico e limites geralmente separados por descontinuidades (GPH, 2014).

A atitude geral da estratificação é, como se referiu, horizontal a sub-horizontal, conforme constatámos nas observações de campo que efetuámos. A unidade apresenta uma espessura máxima próxima de 500 m, é limitado na parte inferior por conglomerado que assenta em inconformidade sobre o soco e, na porção superior, traduz a passagem de calcilutitos a calcários dolomíticos e estromatólíticos, com o significado paleoambiental de tidalitos (Carvalho & Alves, 1993).

De acordo com os estudos de Torquato (1974) e de Carvalho *et al.* (1979), a idade de formação do Grupo da Chela situar-se-á no Pré-câmbrico Superior, entre 1488 e 1118 milhões de anos. Por sua vez, Carvalho & Alves (1993) consideram a sua idade como proterozoica e situada dentro um intervalo de 1400 a 1100 milhões de anos.

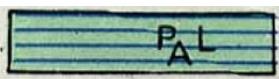
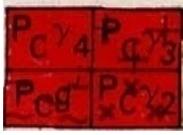
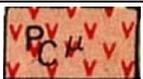
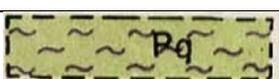
Simbologia	Descrição	Idade	
	Noritos e doleritos	Orogenia Pan-Africana	1118
	Formação Leba-Tchamalindi (calcários dolomíticos com estromatólitos)		1400-1100
	Grupo da Chela (siltitos, argilitos, arenitos, vulcanoclastitos)		
	Doleritos e gabros doleríticos		1175
	Granito da Chicala-Cacula. Granito de Canjola	Orogenia Eburneana	1631-1655
	Granitos biotíticos da região Central		2250
	Pórfiros granitóides e rochas vulcânicas da Chibia		2210
	Complexo granítico – migmatítico	Orogenia Limpopo- Liberiana	2520
	Granito do Caraculo Bibala		2000-2700
	Granitos e granodioritos		2000-2700
	Complexo gnaissico- - migmatítico – granítico		2000-2700
	Complexo xisto-quartzítico		2000-2700
	Complexo gabro – norítico		2850-2900

Figura 3.13 - Representação cronológica das unidades geológicas situadas na região do Lubango e do Planalto da Humpata. Adaptado da folha nº3 da Carta Geológica de Angola, à escala 1:1000 000, de Carvalho (1980) e de Carvalho & Alves (1993).

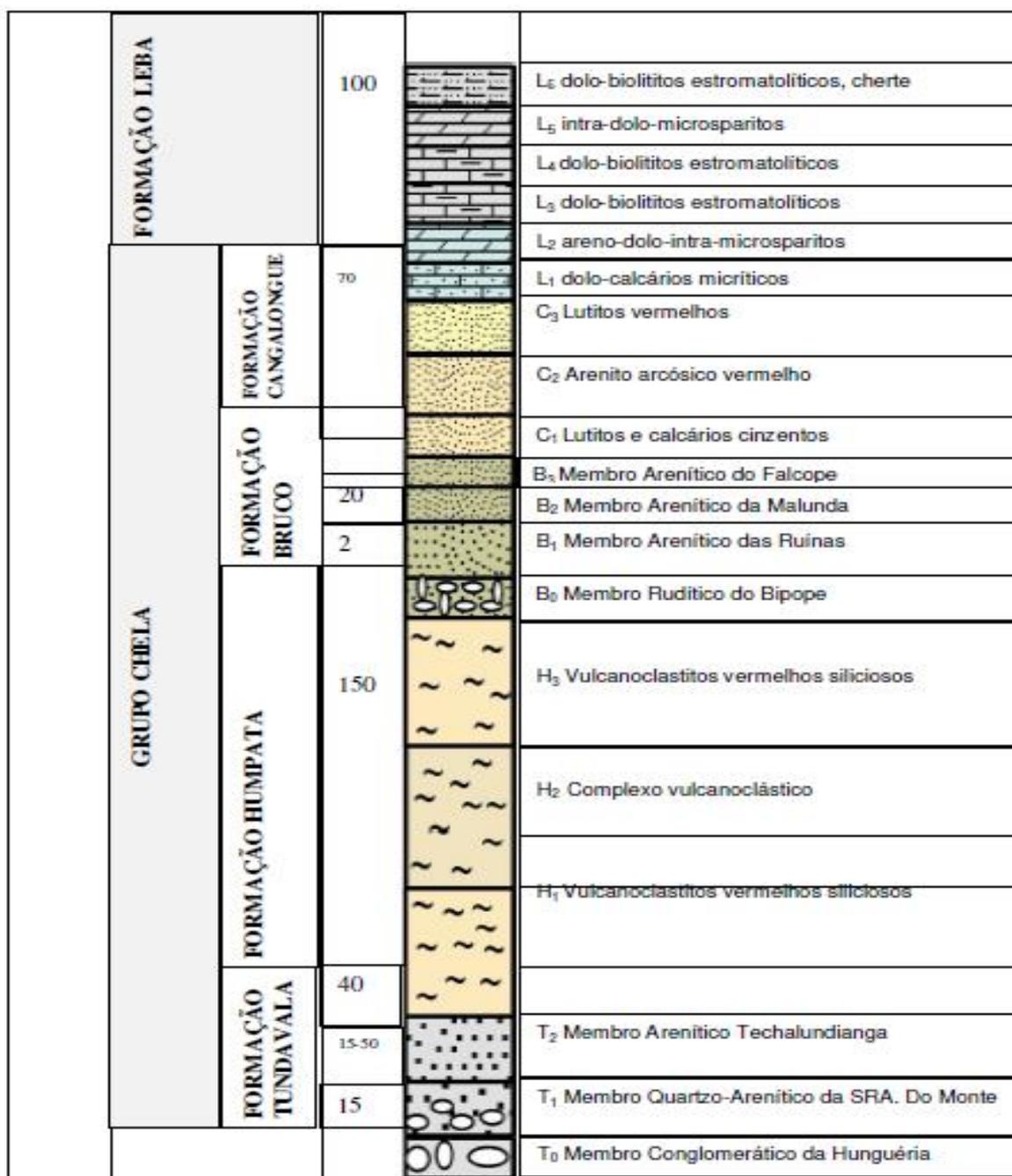


Figura 3.14 - Coluna estratigráfica sintética do Grupo da Chela e sua subdivisão em formações e membros (Adaptado de Correia (1976) in Kalukembe (2010)).

Numa perspetiva mais simplista e de acordo com Beetz (1933), no mesmo conjunto podem-se considerar três diferentes séries, designadas respetivamente por: inferior, média e superior:

- A série inferior é caracterizada por uma sucessão espessa de conglomerados ou brechas de composição quartzítica, e grandes clastos, com possível origem aluvial ligada ao desenvolvimento de episódios glaciares, apesar de até hoje não existir um consenso a esse respeito;

- A série média integra estratos de siltitos de tonalidades avermelhadas; grés vermelho ferruginoso e grés feldspático de grão fino, para além de outras litologias siliciclásticas em que predomina tonalidades brancas, incluindo quartzitos brancos, acinzentados ou róseos e xistos argilosos acastanhados, amarelados e acinzentados.

- A série superior compreende calcários dolomíticos dispostos em bancadas quase sempre silicificadas, sendo que bancadas de sílex com uma orientação paralela à estratificação também podem ocorrer.

Assim sendo, o Grupo da Chela compreende quatro formações, desde a mais antiga até à mais recente designadas respetivamente por (Fig. 3.14): (1) Formação de Tundavala (onde se localizam os Taludes 4, 5, 6 e 7), unidade que Correia (1976) subdividiu em três conjuntos, designadamente (a) o Membro conglomerático da Hunguéria (disposto na base), (b) Membro arenítico de Techalundianga (situado no topo) e (c) o Membro quartzo-arenito da Senhora do Monte, este último mais localizado e com a espessura média que varia entre 15 e 50 metros; (2) Formação de Humpata (localização do Talude 1); (3) Formação de Bruco e (4) Formação de Cangalongue (localização do Talude 2).

A Formação da Tundavala é relativamente homogénea do ponto de vista litológico (Fig. 3.14). Esta unidade engloba maioritariamente rochas areníticas de origem epiclástica, com presença de conglomerado na base. É limitada superiormente por uma descontinuidade litológica, na passagem dos arenitos às rochas vulcanoclásticas. Tem espessura variável de 30 a 50 m, devido a geometria irregular do soco e da tectónica (Correia, 1973). O seu contacto com a rocha base, granítica, é tipicamente estratigráfico, mas nalguns locais ocorre por falha. Está encoberto por antigos depósitos de vertente, mas é possível observá-lo na zona da Leba e em outros locais dispersos.

A Formação de Humpata (Fig. 3.14) está ligada a um conjunto de rochas vulcanoclásticas, principalmente cinzas vulcânicas, ácidas, siliciosas, de grão fino, frequentemente vitrificadas e muito compactas (Feio, 1981). Assenta em discordância litológica e concordância estratigráfica sobre os Arenitos de Techalundianga. Em relação ao seu limite superior, de descontinuidade litológica, está ligada à passagem entre vulcanoclástito silicioso vermelho e arenito. A sua sucessão vulcanoclástica apresenta variações de espessura significativas, mas esta, em média, ronda 100 a 150 m, mas com possibilidade de atingir os 200 – 300 m em alguns locais. É, também, notória a presença de densas redes de diáclases a fraturarem as bancadas desta Formação.

A Formação do Bruco é uma unidade com composição arenítica dominante, bastante resistente aos processos erosivos devido à natureza siliciosa das suas litologias,

apresentando uma espessura de cerca de 100 metros e larga representação cartográfica (Correia, 1976).

Nela é possível diferenciar quatro Membros, designados, da base para o topo, por (Correia, op. cit.): B0 - Membro Rudítico do Bipope, B1 - Membro Arenítico das Ruínas, B2 - Membro Arenítico da Malunda e B3 - Membro Arenítico do Falcope (Fig. 3.14).

Por fim, a Formação de Cangalongue, sendo o topo do Grupo Chela, é constituída por lutitos e xistos argilosos amareladas e avermelhadas cuja espessura tem no máximo 70 metros (Fig. 3.14). O seu limite superior está ligado a descontinuidade litológica muito brusca, através da passagem dos lutitos vermelhos a dolomias estromatolíticas. Esta Formação compreende ampla representação apenas no Planalto da Humpata. A não existência desta no Planalto do Bimbe deve-se a falha E – O que produziu desnível entre as duas aplanções.

Correia (1973) distingue 3 membros no seu seio, designados respetivamente por: C1 - Lutitos e calcários cinzentos, C2 - Arenito arcósico vermelho e C3 - Lutitos vermelhos.

3.2.3 - Enquadramento geológico local

Tal como se fez referência anteriormente, o presente trabalho compreende três áreas de estudo, que se passam a descrever mais detalhadamente.

A geologia local da primeira área do estudo (Talude 1) comporta rochas inseridas na parte superior da Formação de Humpata e também na porção inferior da Formação de Bruco, nomeadamente o membro composto por rochas vulcanoclásticas vermelhas e siliciosas e outro membro de natureza arenítica, sendo que este último se observa no topo da área planáltica onde passa a estrada de acesso para a Fenda de Tundavala e, aí se observam afloramentos com forma de erosão muito característica que tem importância patrimonial (Henriques et al., 2013).

Inferiormente ao membro da Formação de Bruco observam-se litologias típicas da Formação de Humpata, em que para além de alguns níveis de quartzitos aparecem fundamentalmente níveis de litologia mais fina, pelítica, intercalados com soleiras e filões de rochas vulcanoclásticas de cor avermelhada ou de cor clara de natureza siliciosa, ácida. Essas unidades compreendem igualmente, no local, estratos com rochas de granulometria mais grosseira, nomeadamente quartzo-arenitos grosseiros a finos, maciços ou com estrutura interna laminada. Os pelitos observados, por sua vez, tendem a apresentar uma estrutura interna laminada.

A geologia local do Caholo, que compreende a segunda área de estudo (Talude 2), é caracterizada pela presença de um conjunto de afloramentos de unidades de natureza lutítica com granulometria mais fina, que pertencem à Formação de Cangalongue (Fig. 3.15). Estes aparecem muito bem representados nos taludes da Humpata, em que se observa uma

sucessão de estratos de lutitos com estrutura interna geralmente laminada, com colorações que variam entre amarelada, avermelhada e esbranquiçada. São rochas relativamente friáveis e aparecem intercaladas com níveis de quartzito que, inclusive, podem ser quartzitos grosseiros a muito grosseiros com tonalidade amarelada a roxeada e acinzentada, como acontece no topo do talude do Caholo (Fig. 3.15). Também aparecem intercalados níveis de materiais de granulometria fina lutítica, por vezes laminados e com ondulações de calcários dolomíticos intercaladas, que se tornam cada vez mais frequentes para o topo da Formação de Cangalongue, ao estabelecerem a passagem para a Formação de Leba. Esta, por sua vez, como já se referiu no ponto anterior, é constituída por unidades carbonatadas calcárias, dolomíticas, com estruturas laminadas, que a alguns quilómetros do Caholo afloram extensamente, em particular junto às grutas e à estação agronómica do Tchivinguiro.

Nesta segunda área em estudo o maciço rochoso encontra-se consideravelmente fraturado, sendo atravessado por várias falhas geológicas de desenvolvimento regional (Fig. 3.12). Estas põem em contacto tectónico a Formação de Leba e contribuem para o adensamento do campo de diaclases que se observam nos taludes locais.

Por fim, a terceira área de estudo compreende o material rochoso granítico (Talude 3) e a Formação de Tundavala (Taludes 4, 5, 6 e 7). O material rochoso granítico pertence de acordo com Carvalho (1980) ao denominado Granito Caraculo-Bibala (Fig. 3.12), com uma idade compreendida entre 2000-2700 milhões de anos. Posteriormente, Carvalho & Tassinari (1992) enquadraram-no no “Granito Regional”, este último apresenta uma idade de 2000 ± 100 Milhões de anos (Torquato et al., 1979) e está em contacto com os Granitóides dos Gandarengos. Por sua vez Pereira et al. (2011) designam o granito existente na terceira área de estudo como “Granito Peraluminoso”, sendo que este corresponde a um granito equigranular, geralmente biotítico e deformado.

A Formação de Tundavala (Fig. 3.16) é limitada no topo por descontinuidade litológica, através da passagem dos arenitos às rochas vulcanoclásticas. A sua espessura varia entre 30 e 50 m, tendo em conta a geometria irregular do soco e da tectónica, de acordo com Correia (1973). Sobre estas rochas intrusivas, muito antigas, assentam discordantemente estratos com espessura decimétrica a métrica, muito compactos, compostos por quartzitos de tom acinzentado, amarelado ou com oxidações avermelhadas, grosseiros a muito grosseiros, localmente conglomeráticos, pertencentes aos membros inferiores da Formação de Tundavala (Fig. 3.14). Como se referiu, estas rochas siliciclásticas grosseiras são muito compactas, resistentes à meteorização e aos fenómenos erosivos contribuindo significativamente para o desenvolvimento do relevo escarpado da área em estudo. Em suma, os quartzito-arenitos ou quartzitos da Formação de Tundavala são caracterizados por litologias particularmente resistentes, devido à composição quartzosa (Vale, 1971).



Figura 3.15 – Ilustração de talude estudado na localidade de Caholo (Talude 2), na estrada para o Tchivinguiro.



Figura 3.16 – Ilustração de uma porção do talude 4, localizado na descida da Leba (EN 280).

4 - METODOLOGIA

No estudo efetuado pretendeu-se definir as situações de instabilidade presentes nos taludes, pelo que se procedeu à caracterização dos seus aspetos geológicos e estruturais, bem como dos diferentes parâmetros, consequências e causas dos movimentos de instabilidade.

4.1 - Considerações da metodologia utilizada

Neste trabalho efetuou-se a identificação de taludes rodoviários onde foram constatadas situações de instabilidade, entre as quais se destaca a queda de blocos. A metodologia utilizada apresenta cinco fases distintas (Fig. 4.1).

Numa **primeira fase** procedeu-se a um levantamento preliminar de campo, e obtiveram-se fotografias e imagens digitalizadas, de modo a detetar as antigas e presentes situações de instabilidade, recorreu-se igualmente a imagens do sítio Google Earth. Efetuou-se o enquadramento geográfico e geológico dos locais considerados, para isso procedeu-se à obtenção e interpretação de bibliografia, cartas topográficas e geológicas e análise da legislação existente e relacionada com as situações de ordenamento e planeamento.

Numa **segunda fase** procedeu-se ao estabelecimento de uma ficha de trabalho, de modo a caracterizar os taludes e vertentes considerados, bem como os tipos de instabilidade. Na ficha de trabalho são considerados parâmetros como a localização, as características geométricas e geológicas, o tipo de vegetação, a definição das instabilidades, as suas dimensões, os efeitos e as causas internas e externas dos movimentos de instabilidade. Estabeleceu-se um plano de levantamento geológico e estrutural, em que se considerou uma caracterização litológica através da observação macroscópica, bem como o estudo dos aspetos principais das discontinuidades. Utilizou-se um aparelho do sistema de posicionamento global (GPS - "Global Positioning System") para a localização dos locais estudados, recorreu-se a bússola, martelo de geólogo, fita métrica para determinar as características geométricas das discontinuidades como o espaçamento e a continuidade, bem como parâmetros geométricos dos taludes e as dimensões da plataforma da via rodoviária. No talude 2 utilizou-se o martelo de Schmidt para determinar o valor da dureza do material litológico. O conjunto dos dados obtidos foram registados numa caderneta de campo. Relativamente ao estudo dos taludes recorreu-se à Classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS), procedendo à definição dos vários parâmetros utilizados.

Numa **terceira fase** realizou-se o trabalho de campo, efetuando-se o levantamento geológico-estrutural, em que se definiram os tipos de litologias existentes, bem como as principais características das discontinuidades como a orientação, o espaçamento, a persistência, a rugosidade, o material de preenchimento, a presença de água, o estado de alteração e o número de famílias. Efetuaram-se as atividades plasmadas nas fichas de trabalho elaboradas para o desenvolvimento das investigações de campo baseando-se na obtenção de vários parâmetros relacionados com aspetos de localização e geometria dos taludes, orientação, características litológicas e de vegetação, definição das instabilidade presentes, medidas de estabilização, volumetrias das instabilidades, bem como as suas principais consequências e causas. Definiram-se os parâmetros da classificação Rockfall Hazard Rating System (RHRS).

Numa **quarta fase** procedeu-se à seleção, quantificação e interpretação dos dados recolhidos no levantamento de campo. Em relação aos tipos de instabilidade principais, analisaram-se as suas características, dimensões e causas. Procedeu-se à quantificação dos parâmetros da classificação RHRS, o que permitiu definir quais os taludes que apresentam uma maior tendência para a ocorrência de situações de instabilidade, e que podem atingir os veículos que circulam nas vias de comunicação.

Numa **quinta fase** elaboraram-se as principais conclusões dos estudos realizados, os vários tipos de instabilidade são referenciados, assim como as suas principais consequências. Efetuaram-se sugestões relativamente às medidas de prevenção, estabilização e redução dos principais problemas que os movimentos de instabilidade podem originar.

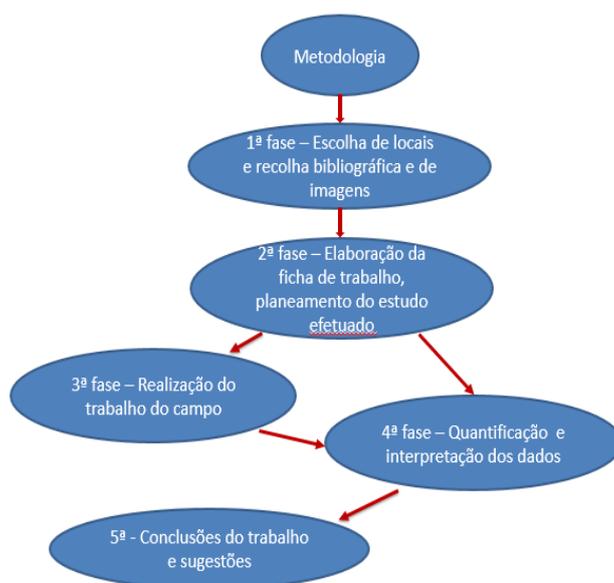


Figura 4.1 – Diagrama das diferentes fases da metodologia utilizada.

4.2 - Resistência do material rochoso

A resistência dos materiais rochosos está relacionada com a sua composição mineralógica e com os processos de alteração e fragmentação. Para além da erosão, muitas vezes as obras de engenharia civil como as escavações e terraplenagens, podem ocasionar a degradação das características mecânicas.

A resistência de um maciço rochoso até profundidades de cerca de 400 – 500 m depende essencialmente das descontinuidades (Pistone, 2011).

A resistência à compressão uniaxial do material rochoso pode ser estimada através da dureza (R) (Figura 4.2) que é encontrada pela utilização do martelo de Schmidt (tipo L).

Procedeu-se à determinação do valor médio de R de acordo com as recomendações da ISRM (1981).

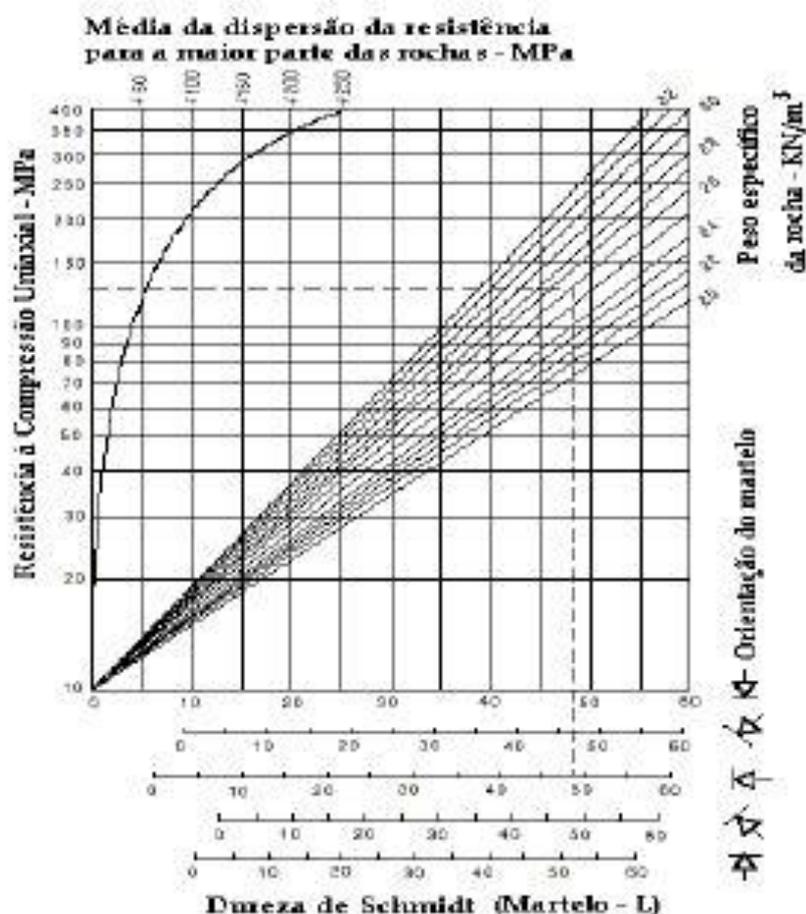


Figura 4.2 – Determinação da resistência à compressão uniaxial (σ_c) a partir de R e através do ábaco de Deere & Miller (1966).

4.3 - Características das descontinuidades

As descontinuidades constituem uma interrupção física da continuidade do maciço rochoso e compreendem as diaclases, os contatos geológicos, os planos de estratificação, de falhamento, de foliação e de xistosidade, e também as alternâncias litológicas e as clivagens. A caracterização das descontinuidades e o estudo da intensidade de fraturação dos maciços rochosos é importante para a compreensão do seu comportamento anteriormente, no decorrer e posteriormente à escavação (Hudson & Priest, 1983).

As características das descontinuidades que mais influenciam o comportamento geotécnico dos maciços rochosos são de acordo com a ISRM (1978) e Hoek & Bray (1981), a orientação, o espaçamento, a persistência, a rugosidade, o material de preenchimento e a abertura. São igualmente importantes a presença de água nas descontinuidades e o estado de alteração das superfícies das descontinuidades (Fontinhas, 2012).

4.3.1 - Orientação das descontinuidades

A orientação das descontinuidades no espaço é definida por dois parâmetros, designadamente, a direção e pendor, utilizando-se para o efeito da sua determinação uma bússola com clinómetro.

Para a obtenção da informação relacionada com a orientação das descontinuidades, para além do levantamento de campo, podem utilizar-se furos de sondagem. Na Figura 4.3 é representado um plano de descontinuidade, cujas coordenadas são definidas em termos do pendor e da direção do pendor.

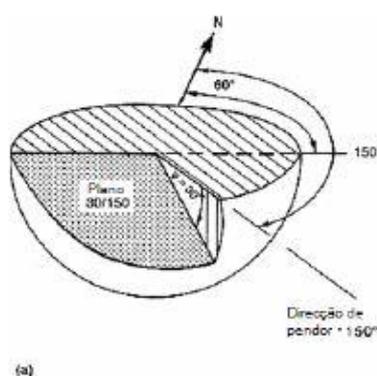


Figura 4.3 - Representação da orientação do plano duma descontinuidade cujas coordenadas geológicas correspondem a: N60°E, 30°SE.

4.3.2 - Espaçamento e continuidade

Neste trabalho para a determinação do espaçamento e da continuidade (persistência), utilizou-se uma fita métrica com uma extensão de 30 metros e com um grau de precisão de 1 mm. O espaçamento é definido como a distância medida perpendicularmente entre descontinuidades adjacentes e que pertencem à mesma família (Andrade, 2008), estas apresentam-se, de modo geral, como paralelas entre si. Os principais fatores que condicionam o espaçamento são características litológicas, a ação das tensões presentes e a profundidade. A continuidade corresponde à extensão ou tamanho exposto de uma determinada superfície da descontinuidade, os seus valores e respetiva classificação são apresentados no Quadro 4.1. De acordo com Scarpelli (1994), a persistência constitui uma das características de maior dificuldade para ser determinada, dada a indefinição da geometria das descontinuidades no interior dos maciços rochosos.

Quadro 4.1 - Descrição da continuidade (ISRM, 1981).

Continuidade	Comprimento (m)
Muito baixa	< 1
Baixa	1 – 3
Média	3 – 10
Elevada	10 – 20
Muito elevada	> 20

4.3.3 - Rugosidade

A rugosidade das descontinuidades corresponde às irregularidades presentes nas suas superfícies, estas irregularidades são constituídas por ondulações e asperezas e influenciam de modo determinante a resistência ao deslocamento tangencial, em especial na ausência do material de preenchimento (Andrade, 2008). No Quadro 4.2 está representada a classificação da rugosidade das descontinuidades adotada na classificação Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski (1989).

Quadro 4.2 - Classificação relativa à rugosidade referente ao sistema RMR (Bienawski, 1989).

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

4.3.4 - Abertura e Material de preenchimento das discontinuidades

A abertura é definida como a distância medida perpendicularmente às “paredes” contíguas de uma determinada discontinuidade, as que se apresentam fechadas possuem propriedades correspondentes às do maciço rochoso em que estão inseridas (ABGE, 1998). É de realçar que a abertura tende a diminuir para o interior dos maciços rochosos, sendo deste modo difícil proceder à sua determinação (Giani, 1992).

O enchimento corresponde ao material que ocupa de modo total ou parcial, o espaço existente entre as superfícies das discontinuidades. O enchimento pode ser constituído por materiais de diferentes composições e grau de resistência: quartzo, calcite, material argiloso, siltoso, material esmagado resultante da movimentação ao longo do plano de falhamento e do tipo “brecha”. A determinação da abertura das discontinuidades e também da espessura ou largura do preenchimento foi efetuada através da utilização de uma fita métrica ou régua graduada. A possibilidade de movimentação e a permeabilidade ao longo das discontinuidades são condicionadas pelo material de preenchimento, este último pode ser caracterizado pelas recomendações da ISRM (1978), envolvendo a determinação da sua espessura, bem como a indicação da dimensão e da composição mineralógica do material, assim como do teor de humidade, deformabilidade e da permeabilidade.

4.4 - Fichas de trabalho relativas à instabilidade

As fichas de trabalho relacionadas com a instabilidade foram estabelecidas de modo a definirem-se as ocorrências que se verificam em vários taludes rodoviários das províncias da Huíla e do Namibe. Nas fichas de trabalho são considerados vários parâmetros como: a denominação do talude/vertente, a sua localização, características geométricas, orientação, litologia, tipo de vegetação, tipo de instabilidade, existência de trabalhos de estabilização, representações gráficas das instabilidades, velocidade dos movimentos de vertentes/taludes, estado da atividade e dimensão da instabilidade, bem como suas consequências e causas.

A ficha de trabalho apresenta 17 parâmetros que são expostos de um modo resumido no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Ficha de trabalho de situações de instabilidade (versão resumida).

1- Denominação do talude
2 – Localização
3 – Extensão longitudinal (em metros) do talude
4 - Altura (em metros) do talude/vertente
5 – Inclinação do talude/vertente
6 – Caracterização litológica
7 – Vegetação presente: - Sem vegetação - Vegetação rasteira - Existência de árvores de médio e pequeno porte e vegetação moderada - Existência de árvores de grande e médio porte e vegetação moderada a densa
8 – Caracterização estrutural
9 – Tipo de Instabilidade tendo em atenção as classificações de Varnes (1978) & Dikau et al. (1996) -Desmoronamentos (Queda de blocos) -Basculamento - Deslizamentos - Fluxos - Movimentos complexos
10 – Ocorrência de trabalhos de estabilização
11 - Esboço da instabilidade
12 - Velocidade dos movimentos de vertentes / taludes: - Muito rápido: > 3m/min - Rápido: 1,8m/h a 3m/min - Moderado: 1,3 m/mês a 1,8m/h - Lento: 1,6 m/ano a 1,3 m/mês - Muito lento: < 1,6m/ano
13 - Estados de atividade da instabilidade
14 - Dimensões da instabilidade
15 - Consequências da instabilidade
16 - Causas externas da instabilidade
17 - Causas internas da instabilidade

4.5 - Classificação Rockfall Hazard Rating System

No estudo da caracterização das instabilidades recorreu-se à classificação “Rockfall Hazard Rating System” (RHRS), esta foi desenvolvida pela Divisão de Auto-Estradas do Estado de Oregon e é de autoria de Pierson et al. (1990). O RHRS é um sistema que avalia o risco potencial das situações de instabilidade para os utentes das vias de comunicação e corresponde a uma análise pouco dispendiosa.

Com a classificação RHRS (Quadro 4.3) pretende-se definir quais as condições de instabilidade dos taludes estudados e quais as probabilidades dos veículos que circulam nas vias de comunicação serem atingidos pelos movimentos de instabilidade. Os vários parâmetros que são considerados na classificação RHRS são: a altura do talude, a capacidade de retenção da vala, o risco médio para veículos, a distância de visibilidade de decisão, a largura da via de comunicação, a caracterização geológica, as características climáticas e a existência de água no talude, os registos históricos dos volumes instabilizados. Os parâmetros podem assumir valores ponderais de 3, 9, 27 e 81 pontos.

Quadro 4.3 – Rockfall Hazard Rating System (adaptado de Pierson et al. (1990) e Hoek (2007)).

Categoria			Classificação e valores ponderais				
			3 Pontos	9 Pontos	27 Pontos	81 Pontos	
ALTURA DO TALUDE			7,6m	15,2m	22,9 m	30,5 m	
CAPACIDADE DE RETENÇÃO DA VALETA			Boa capacidade de retenção	Retenção moderada	Retenção reduzida	Sem 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	
NATUREZA GEOLÓGICAS	CASO 1	CONDIÇÃO ESTRUTURAL	Diaclases de continuidade reduzida, orientação favorável	Diaclases de continuidade reduzida, orientação aleatória	Diaclases de continuidade reduzida, orientação desfavorável	Diaclases de continuidade elevada, orientação desfavorável	
		ATRITO DA ROCHA	Rugoso, irregular	Ondulado	Planar	Preenchimento argiloso ou superfície polida	
	CASO 2	CONDIÇÃO ESTRUTURAL	Algumas características	Caraterísticas de erosão	Muitas características de erosão	Caraterísticas de erosão muito	
		DIFERENÇA DAS TAXAS DE EROSÃO	Pequena diferença	Diferença moderada	Diferença elevada	Diferença muito elevada	
	TAMANHO 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
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E PRESENÇA DE ÁGUA NO TALUDE			Precipitação baixa a moderada; sem 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 contínua de água no talude e longos períodos de congelamento	
HISTÓRICO DA QUEDA DE BLOCOS			Poucas quedas	Quedas ocasionais	Quedas frequentes	Quedas muito frequentes	

4.5.1 - Altura do talude

O parâmetro da altura de um talude está relacionado com a energia potencial do material rochoso em queda, pelo que quanto mais elevada for a altura do talude maiores serão as probabilidades dos danos relacionados com as quedas de blocos ou material rochoso instabilizado serem mais significativos. Uma estimativa da altura do talude pode ser efetuada a partir da representação da Fig. 4.4.

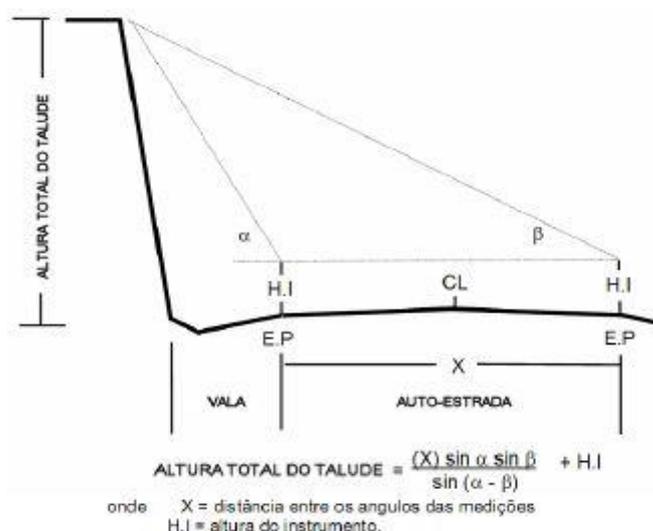


Figura 4.4 – Determinação da altura de um talude.

4.5.2 - Retenção da valeta

A capacidade de retenção da valeta é definida pela sua aptidão em não permitir que o material rochoso instabilizado alcance as rodovias (Fig. 4.5). Em função do que foi mencionado, importa referir que a retenção da valeta depende de vários fatores como: a altura e pendor do talude, a largura, a profundidade e a forma da valeta, a volumetria dos blocos rochosos, a trajetória da queda dos materiais rochosos ao longo do talude. A determinação da capacidade de retenção de uma valeta, dada a variabilidade as situações de instabilidade, deve ser estabelecida ao longo de um período de tempo considerável.



Fig. 4.5– Representa a capacidade de retenção da valeta.

4.5.3 - Risco médio para veículos

Este parâmetro, avaliado em termos percentuais, está relacionado com a probabilidade de um veículo ser atingido por materiais rochosos instabilizados e é condicionado por fatores como:

- Extensão do talude.
- O limite da velocidade máxima permitida na via de comunicação.
- O tráfego médio diário ou horário.

O cálculo do risco médio para veículos (RMV) é determinado pela expressão 4.1.

$$RMV = \frac{\text{Tráfego médio por hora (carros/hora)} \times \text{Comprimento do talude (m)}}{\text{Velocidade máxima (m/hora)}} \quad (4.1)$$

Os valores deste parâmetro são mais elevados para os valores da velocidade mais reduzidos e para o tráfego mais intenso.

4.5.4 - Distância de visibilidade de decisão

A distância de visibilidade de decisão corresponde à relação entre a distância de visibilidade no local e a distância de decisão, como se pode verificar na expressão 4.2.

$$DVD = \frac{DVL}{DD} \times 100 (\%) \quad (4.2)$$

em que DVD corresponde à distância de visibilidade de decisão, em termos percentuais, DVL à distância de visibilidade no local e DD à distância de decisão. A distância de visibilidade está relacionada com a distância que um determinado condutor se consegue aperceber de um obstáculo na via de comunicação rodoviária, e recorrendo à travagem ou desviando-se consegue deste modo evitar um acidente.

A DVL é condicionada pelo traçado da via de comunicação, designadamente com a sua sinuosidade (Pires et al., 2012), podendo também ser influenciada pela presença de afloramentos rochosos ou de vegetação existente nas faces dos taludes e que podem ocultar os materiais tombados. O parâmetro DVD está relacionado com a possibilidade de ocorrência de um acidente instantes após a queda de material instabilizado na via rodoviária. Os valores da DD estão dependentes do limite de velocidade na via de comunicação que é adjacente ao talude considerado e são apresentados no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Distância para a visibilidade de decisão.

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

4.5.5 - Largura da via de comunicação

A largura da plataforma é definida perpendicularmente à diretriz da via de comunicação, compreendendo as bermas quando estas são pavimentadas. Para as vias de comunicação mais importantes, os valores da largura são geralmente constantes. O valor da largura representa o espaçamento que um dado condutor possui para se desviar do material rochoso instabilizado na estrada. Quanto mais espaçosa for a via de comunicação mais elevada a possibilidade de se evitarem materiais provenientes das situações de instabilidade.

4.5.6 - Características geológicas

O parâmetro das condições geológicas apresenta dois casos distintos (Caso 1 e Caso 2), o primeiro está relacionado com os taludes rochosos, nos quais as descontinuidades constituem as características estruturais mais importantes e condicionam as situações de instabilidade, o segundo caso é representativo dos taludes em que a queda de blocos é provocada essencialmente por fenómenos erosivos ou pendores muito elevados. Na situação dos dois casos estarem presentes deve adotar-se a situação de maior instabilidade e cujos valores ponderais do RHRS sejam mais elevados (Hoek, 2007).

4.5.6.1 - Caso 1

Condições estruturais

Este parâmetro é essencial na avaliação das instabilidades presentes nos maciços rochosos, e tem em atenção várias características das descontinuidades como as coordenadas geológicas, o ângulo de atrito, o material de preenchimento, a abertura e a presença de água. As descontinuidades são consideradas como contínuas se apresentam uma extensão superior a 3 metros. Quando os planos das descontinuidades apresentam um sentido de pendor para a via de comunicação, está-se perante uma orientação em que a probabilidade de ocorrência de instabilidade é elevada.

Atrito da rocha

Este parâmetro está relacionado com a movimentação dos blocos rochosos, esta é condicionada pela rugosidade das superfícies das descontinuidades.

A presença de material de preenchimento no interior das descontinuidades e o grau de alteração deve ser mencionado, dado que estas características podem facilitar a ocorrência de situações de instabilidade.

4.5.6.2 - Caso 2

Condições estruturais

As condições estruturais relativas ao Caso 2 aparecem em taludes em que a erosão diferencial e a sobre-inclinação são as causas principais das ocorrências das instabilidades. As situações de erosão podem provocar a existência de formações rochosas salientes e que sejam propensas a desmoronamentos.

Diferença nas taxas de erosão

No parâmetro relativo às taxas de erosão deve ter-se em atenção a possibilidade de eventos futuros de queda de material rochoso. A evolução dos processos erosivos pode provocar

situações de falta de suporte das formações rochosas ou situações de sobre-inclinação. Deve ter-se em atenção os processos de erosão física e química, bem como as ações de origem humana.

4.5.7 - Dimensão do bloco ou volume de material instabilizado por evento

Neste parâmetro são consideradas duas situações, uma relativa ao tamanho dos blocos que se instabilizam de forma isolada e outra relacionada com a dimensão volumétrica de vários blocos que se movimentam em conjunto. As condições estruturais do maciço desempenham um papel importante na definição deste parâmetro.

4.5.8 - Clima e presença de água no talude

A presença da água e os ciclos de gelo/degelo ao longo das discontinuidades originam processos de alteração, bem como a diminuição da resistência do maciço rochoso, possibilitando a ocorrência e o incremento de situações de instabilidade. Constatam-se um aumento no número de movimentos nos taludes rochosos nos períodos de precipitação mais elevada. De acordo com a classificação RHRS, a precipitação é considerada reduzida quando a precipitação anual é inferior a 508 mm, assumindo-se a precipitação como elevada quando os seus valores são superiores a 1270 mm.

4.5.9 - Histórico da queda de blocos

Este parâmetro pretende definir a frequência da queda de material rochoso no decorrer de um determinado período de tempo. O registo histórico da queda dos blocos e de outras situações de instabilidade está relacionado com as ocorrências climáticas e os prejuízos provocados. Os dados podem ser obtidos junto das equipas de manutenção das vias de comunicação e constituem igualmente uma previsão das possíveis instabilidades que se podem verificar num talude.

5 - Aplicação da metodologia

5.1 - Características principais dos taludes

A litologia predominante na maior parte dos taludes estudados é a dos quartzitos, mas também se observam arenitos, lutitos, rochas vulcânicas, argilas, depósitos de vertente, verificando-se que um dos taludes é composto por granito com diferentes estados de alteração.

O **Talude 1** apresenta as coordenadas geográficas: latitude de 14° 50, 087' Sul e longitude de 13° 23,639' Este, localiza-se na estrada de acesso da cidade do Lubango à Tundavala, e é constituído por três troços distintos. O talude 1 apresenta litologias pertencentes à Formação de Humpata do Grupo Chela.

A vegetação no talude 1 foi considerada como inexistente e rasteira. Os tipos de instabilidade para o conjunto dos três troços foram definidos, de acordo com a classificação de Varnes (1978) e de Cruden & Varnes (1996), como desmoronamentos de rocha e detritos, deslizamentos de material rochoso e também de fluxos de detritos e solos. A velocidade dos movimentos de instabilidade considerou-se como muito rápida a rápida na totalidade dos troços. As instabilidades foram classificadas como ativas e suspensas. As consequências da instabilidade afetam a via de comunicação entre Lubango e a Tundavala. As causas externas de instabilidade consideradas foram o aumento de inclinação do talude, a infiltração de água, as vibrações, a erosão superficial e presença de gado, ao passo que as causas internas corresponderam à litologia, estruturas geológicas como a estratificação, falhas, diaclases, xistosidades, filões, dobras, aumento da pressão da água e diminuição da resistência dos terrenos.

O troço 1 do talude 1 compreende 80 m de comprimento, a sua Direção é aproximadamente E-W e o Pendor é igual a 60°N, apresenta uma altura de 3 a 9 metros. A sua litologia é constituída por quartzitos de tonalidades esbranquiçadas, acinzentadas, cuja estrutura interna é geralmente laminada e apresenta uma granulometria média, verifica-se a presença de falhas, dobras e uma soleira de rocha vulcânica muito alterada. Assinala-se a existência de erosão na parte superior do talude, bem como de material argiloso avermelhado a escuro. Constatou-se a presença de blocos de quartzito assimilados pelo material da soleira, constituindo material brechificado. Observou-se, igualmente um estrato de lutito laminado. Verificou-se a existência de trabalhos mínimos de estabilização com a utilização de cimento, na base dos taludes.

O troço 2 do talude 1 tem uma extensão de 90 metros, uma altura de cerca de 9 metros, uma direção de E-W e pendor de 80°N (Fig. 2.1). A litologia é compreendida por quartzitos de grão de dimensão variável e de tonalidade amarelada, destacando-se a presença de alguns óxidos de ferro e existência de uma soleira de rocha vulcânica básica com duas ramificações, uma das quais é paralela à estratificação, enquanto a outra intersesta a estratificação. Verifica-se a presença de lutitos laminados, argilas friáveis e de sulcos de erosão. Observam-se duas sucessões de quartzitos, uma localizada na parte superior e outra na parte inferior do troço, o diaclasamento é pouco afastado (5 a 30 cm) e existem blocos instabilizados na via de comunicação.



Figura 5.1 – Troço 2 do Talude 1, em que são visíveis as diferentes litologias e as situações de instabilidades como a queda de blocos.

O troço 3 do talude 1 apresenta uma extensão longitudinal de 76,4 metros, uma altura de 4 m e tem como orientação: E-W, 40°N. Em termos litológicos caracteriza-se pela presença de quartzitos com famílias de diaclases bem distintas e de orientação perpendiculares umas às outras, os valores de espaçamento das diaclases variam entre 3 a 30 cm, sendo muitas vezes inferior a 10 cm. Os quartzitos têm uma tonalidade esbranquiçada, predominante nos materiais rochosos pouco alterados, amarelada e acinzentada e a presença de certos óxidos e hidróxidos de ferro, verificando-se a existência de óxidos de manganésio que apresentam uma tonalidade escura. São muito frequentes os materiais rochosos caídos e resultantes dos fenómenos de instabilização numa área com um afastamento de 1 metro da face do talude 1. Observou-se a presença de medidas de estabilização com uso de cimento na base do talude, no entanto estas medidas apresentam alguma degradação.

O **Talude 2** possui as coordenadas geográficas: latitude de 15° 08, 085´ Sul e longitude de 13° 20,122´ Este, situa-se nas proximidades do Caholo, designadamente na estrada que permite a ligação entre esta povoação e a EN 280. O Talude 2 foi dividido em quatro troços, as litologias presentes são parte integrante da Formação Cangalongue que pertence ao Grupo Chela.

A vegetação existente na face do talude apresenta características muito variáveis, desde inexistente até à presença de vegetação moderada e com árvores de pequeno porte. As situações de instabilidade ocorrentes em todos os troços considerados foram a queda de blocos e os deslizamentos, enquanto os fluxos verificaram-se em dois dos troços. A velocidade dos movimentos de instabilidade foi definida como rápida a muito rápida, e como moderada para algumas das situações de fluxos. As instabilidades foram identificadas como ativas e suspensas e afetaram a circulação na via de comunicação adjacente. Não existem medidas de estabilização para a totalidade dos troços. Revelaram-se como causas externas principais de instabilidade o incremento do pendor do talude, a infiltração de água e as vibrações, sendo também de referenciar a erosão superficial e a circulação de gado. As causas internas das instabilidades estão representadas pela litologia, estruturas geológicas, aumento da pressão da água e a redução de resistência dos terrenos.

O troço 1 do talude 2 tem uma extensão de 23 metros, a sua direção é N27°E e o pendor é 70°E, possui uma altura de 2 a 5 metros. É constituído por pelitos laminados e friáveis, arenitos de grão grosseiro, e também por quartzitos, verificando-se a presença de óxidos e hidróxidos de ferro de tonalidades avermelhadas. Neste troço constata-se a presença de duas falhas, de extensão de vários metros e que se intersejam, uma das falhas é quase paralela ao troço 1 do talude 2, o posicionamento destes planos de falhamento potencia situações de instabilidade, a estratificação apresenta uma inclinação oposta à do troço. Observou-se a existência de uma estrutura de cavalgamento de extensão de alguns metros, o maciço rochoso foi comprimido segundo o plano de estratificação, constatando-se a presença de dobras anticlinais com diaclases lítricas que se alongam até à camada de quartzitos. O espaçamento para as descontinuidades da estratificação varia de 10 a 40 cm, para as restantes diaclases tem-se uma variação de 10 a 50 cm. Os tipos de instabilidade mais frequentes são os desmoronamentos de rocha, verificando-se igualmente deslizamentos em cunha de material rochoso e alguns fluxos de detritos e solos. No troço 1 do talude 2 recorreu-se ao ensaio com o martelo de Schmidt para estimar-se a resistência do material rochoso, para os quartzitos encontrou-se um valor médio de R igual a 39,6, que de acordo com o gráfico

de Deere & Miller (1966) da Fig. 4.2 e considerando o peso específico de 25 kN/m^3 , permite definir uma resistência à compressão uniaxial (σ_c) de aproximadamente de 76 MPa, enquanto para os pelitos obteve-se um valor de R de 11,8, o que corresponde tendo em atenção o peso específico de 22 kN/m^3 , a um valor de σ_c de cerca de 22 MPa. Como se pode depreender dos valores de σ_c , os pelitos apresentam-se uma menor resistência do que os quartzitos.

O troço 2 do talude 2 apresenta um comprimento de 38 m, a orientação é igual a N26°E; 50°E, e tem uma altura de 5 a 18 m. A litologia compreende quatro conjuntos: o primeiro conjunto encontra-se localizado na parte inferior do talude e apresenta uma tonalidade esbranquiçada, sendo constituído por pelitos e arenitos finos laminados. O segundo conjunto apresenta uma bancada de quartzitos saliente, de espessura de 20 a 40 cm e de resistência elevada. O terceiro conjunto é constituído por uma maior predominância de estratos mais compactos de quartzitos, observando-se igualmente intercalações de pelitos. Os estratos apresentam espessuras, geralmente, de 8 a 25 cm. O quarto conjunto encontra-se na parte superior do troço 2 do talude 2, observando-se a ocorrência de quartzitos semelhantes aos encontrados na base do talude, e que apresentam um diaclasamento bem definido de 3 famílias distintas e aproximadamente ortogonais, é também de salientar a presença de pelitos esbranquiçados e arenitos finos. No troço 2 do talude 2 verifica-se a existência de planos de falhamento com uma extensão de vários metros, caixas de falhas, algumas dobras e um diaclasamento de espaçamento variável, compreendido entre 8 e 70 cm para as superfícies de estratificação e de entre 10 e 100 cm para as restantes diaclases. Os movimentos de instabilidade mais comuns são a queda de blocos e os deslizamentos de material rochoso. Os resultados obtidos com a utilização do martelo de Schmidt neste troço revelaram valores de médios de R de 25,7 ($\sigma_c = \pm 37 \text{ MPa}$) para os pelitos, e entre 39,2 ($\sigma_c = \pm 75 \text{ MPa}$) e 48,4 ($\sigma_c = \pm 115 \text{ MPa}$) para os quartzitos, demonstrando desse modo a maior resistência dos quartzitos, em relação aos materiais pelíticos.

O troço 3 do talude 2 possui um comprimento de 34 m, tem uma direção de N12°E e pendor de 70°E, e uma altura de aproximada de 18 metros (Fig. 5.2). A litologia é constituída na parte inferior do talude por quartzitos em bancada, de grão grosseiro e compactos, a que segue um conjunto pelítico. Na face do talude são frequentes as intercalações de quartzitos e pelitos, verificando-se igualmente a presença de conglomerados, o espaçamento das fraturas está geralmente compreendido entre 10 a 70 cm. Na parte superior do talude observam-se quartzitos de características semelhantes aos existentes no troço 2. Os tipos de instabilidade são a queda de blocos e os deslizamentos de material rochoso, é de salientar que estes últimos são favorecidos na parte intermédia do talude, dado nesta última o sentido de

inclinação da estratificação ser concordante com o sentido do pendor da face do talude. É de assinalar a presença de blocos rochosos de dimensões mais elevadas que podem atingir 1 m³ (Fig. 5.2), estes são provenientes dos quartzitos localizados no topo do talude, em que as descontinuidades apresentam de modo geral um espaçamento mais elevado do encontrado nas partes intermédias e superiores do talude. Verifica-se a presença de algumas situações de fluxo de dimensões inferiores a cerca de 3 m³ e que estão associadas ao material esmagado e/ou alterado.



Fig. 5.2 – Representação do troço 3 do talude 2.

O troço 4 do talude 2 apresenta uma extensão de 37,6 m, uma altura de 8 m e uma direção N4°E e pendor de 60°E. Este troço é constituído essencialmente por quartzitos de bancadas espessas, que podem atingir 40 cm, e intercalações de pelitos, verifica-se a existência de dobras, bem como de uma falha geológica de extensão de vários metros e que está associada à presença de vegetação. Observam-se intercalações de pelitos laminados e friáveis e de arenitos grosseiros. Neste troço as situações de instabilidade são menos expressivas, ocorrendo algumas situações de quedas de blocos e deslizamentos, que se revelaram de menor importância do que nos segundo e terceiro troços do talude 2.

Para os taludes 3 a 7, não se procedeu a trabalhos de estabilização, a atividade da instabilidade foi considerada como ativa e suspensa, enquanto a velocidade dos movimentos de instabilidade foi definida como muito rápida a rápida. Dada a proximidade dos taludes à EN 280, as consequências da instabilidade estão relacionadas com situações de perturbação da referida via de comunicação.

O **talude 3** apresenta as coordenadas geográficas de latitude $15^{\circ}03,862'$ Sul e longitude de $13^{\circ}13,958'$ Este, tem 114 m de comprimento e uma altura de 25 m, a face do talude apresenta a direção de N 22° E e o pendor de 68° E. Localiza-se na estrada nacional 280 (EN 280) que constitui o acesso principal da cidade do Lubango à do Namibe, e situa-se na parte inferior da descida da Serra da Leba. Este talude é constituído por uma rocha intrusiva granitóide, neste caso granito com textura fanerítica granular, de grão médio, biotítico, equigranular e de tonalidades cinzentas a amareladas, encontra-se deformado e é constituído principalmente por quartzo, plagioclases e feldspatos alcalinos, apresentando igualmente biotite. O material rochoso pertence ao designado “Granito Regional” definido por Carvalho & Tassinari (1992), Pereira et al. (2011) designam o granito ocorrente na área do Talude como Granito Peraluminoso. Na parte Sul do talude 3, aproximadamente numa extensão de 20 metros, o granito evidencia um grau de alteração intermédio, enquanto na parte restante do talude, em cerca de 80 m de extensão, o granito apresenta um grau de alteração química considerável, encontrando-se arenizado, de tonalidades amareladas a alaranjadas e com a presença de sulcos de erosão. Verifica-se igualmente a existência de material argiloso avermelhado, bem como de depósitos de vertente na parte superior, e por vezes intermédia, do talude. Constatou-se a presença de várias falhas com uma extensão de vários metros e orientação variável.

A maior parte da face do talude 3 é desprovida de vegetação, observa-se igualmente a existência de vegetação moderada e por vezes, árvores de pequeno porte. Os tipos de instabilidade ocorrentes foram os desmoronamentos de rocha, deslizamentos planares e em cunha e também fluxos de detritos e solos. As quedas de material rochoso aparecem associadas às zonas do maciço rochoso mais fraturados, verificando-se situações nos extremos Norte e Sul do Talude 4. Os deslizamentos em cunha e planares ocorrem no maciço rochoso menos alterado, mas também no granito mais alterado, este último apesar de apresentar um grau de alteração elevado, ainda apresenta um comportamento mecânico associado às superfícies de descontinuidade. Alguns dos deslizamentos em cunha estão associados à interseção de fraturas de orientação $N70^{\circ}$ E e $N20^{\circ}$ W e cujos pendores são superiores a 70° . Os deslizamentos planares podem verificar-se devido à existência de fraturas de direção próxima da face do talude e de pendores de 30° a 60° E a SE.



Figura 5.3 – Representação do talude 3 localizado na EN 280 (descida da Leba).

O espaçamento das descontinuidades está compreendido entre 20 cm até cerca de 1 a 3 m. São frequentes blocos rochosos com volumetrias de cerca 1 m³ ou mesmo superiores. As situações de fluxo estão relacionadas com os depósitos de vertente, e podem atingir dimensões consideráveis de várias dezenas de m³. As causas externas de instabilidade prendem-se com a infiltração de água, com as vibrações provocada pela passagem dos veículos e a erosão superficial, esta última associada ao material granítico mais alterado. As causas externas de instabilidade são as características litológicas e o estado de alteração, descontinuidades, aumento da pressão da água e diminuição de resistência dos terrenos.

O **talude 4** tem as coordenadas geográficas: latitude de 15°04,334´Sul e longitude de 13°13,979´Este, possui uma extensão longitudinal de 110 metros, aproximadamente 35 m de altura e como orientação: N60°E; 85°NW. Situa-se na EN 280 e corresponde a um talude de pendora quase vertical que é constituído por quartzitos compactos de tonalidades esbranquiçadas e cinzentas, a parte superficial destes quartzitos está muitas vezes coberta por óxidos de ferro que lhe conferem uma tonalidade avermelhada a alaranjada. Para além de quartzitos também se verifica a presença de arenitos. As litologias do talude 4 enquadram-se na Formação da Tundavala e apresentam como mineral predominante o quartzo, o que confere aos materiais rochosos uma elevada resistência mecânica. A vegetação é semelhante à existente no talude 3. Na extremidade NE do talude observa-se a existência de uma linha de água intermitente, ao longo da qual que se registaram fluxos de detritos, verificando-se a presença de materiais detríticos e de alguns blocos de dimensão de vários m³ que na altura de precipitações são transportados pelos fluxos, podendo alcançar e levar à interrupção do

trânsito na EN280. Consta-se a presença de um maciço rochoso muito fraturado, em que o espaçamento das descontinuidades é variável, mas que de modo geral está compreendido entre 10 cm até 1 m. Ocorrem planos de falhamento com uma extensão de dezenas de metros. As situações de instabilidade mais comuns são a queda de blocos rochosos, observando-se na face do talude alguns blocos em situação particularmente instável, também ocorrem deslizamentos planares e em cunha. A orientação da estratificação favorece a ocorrência das situações de deslizamento e de queda de blocos rochosos. Na parte superior do talude verificam-se situações de toppling que estão associadas a fraturas de pendor próximos da vertical. A dimensão dos materiais instabilizados está compreendida entre 60 cm³ até várias dezenas de m³. Para as situações dos fluxos de detritos atingem-se volumes consideravelmente superiores. As causas externas de instabilidade são a infiltração de água e as vibrações. As causas internas de instabilidade consideradas foram a litologia, estruturas geológicas como a estratificação e planos de falhas, incremento da pressão da água e redução de resistência dos terrenos.



Figura 5.4 – Representação do talude 4.

O **talude 5** apresenta as coordenadas geográficas em que a latitude é 15°04,351' Sul e a longitude igual a 13°13,956' Este, tem 114 metros de comprimento e entre 25 a 31 metros de altura, e uma orientação de N65°E;70°NW (Fig. 5.5). Localiza-se na EN 280 e é adjacente ao talude 4. Litologicamente é constituído por materiais rochosos pertencentes à Formação da Tundavala, designadamente quartzitos resistentes de cores esbranquiçadas, amareladas e cinzentas, evidenciam uma textura granular e cimento quartzoso. Nas superfícies das discontinuidades observam-se óxidos e hidróxidos de ferro, o que confere tonalidades avermelhadas. Estão presentes três famílias de discontinuidades, aproximadamente perpendiculares entre si. Os espaçamentos das discontinuidades estão entre 15 cm e 1 m. Alguns planos de falhamento possuem uma extensão semelhante à altura do talude, é de referir que a vegetação nas caixas de falha, tende a ser mais abundante do que nas restantes partes da face do talude, em que é praticamente inexistente ou rasteira. A superfície de estratificação tem um pendor de cerca de 20° a 30° com um sentido para o exterior da face do talude 5, o que facilita os deslizamentos, em particular os deslizamentos planares. As quedas de blocos são igualmente frequentes e estão relacionadas com a orientação e espaçamento das fraturas, bem como com a presença da água. A volumetria dos materiais instabilizados apresenta uma variação de cerca de 90 cm³ até vários m³. As causas internas das instabilidades são as mesmas das apresentadas para o Talude 3, enquanto as causas externas foram definidas como a litologia, as estruturas geológicas e o incremento da pressão da água.

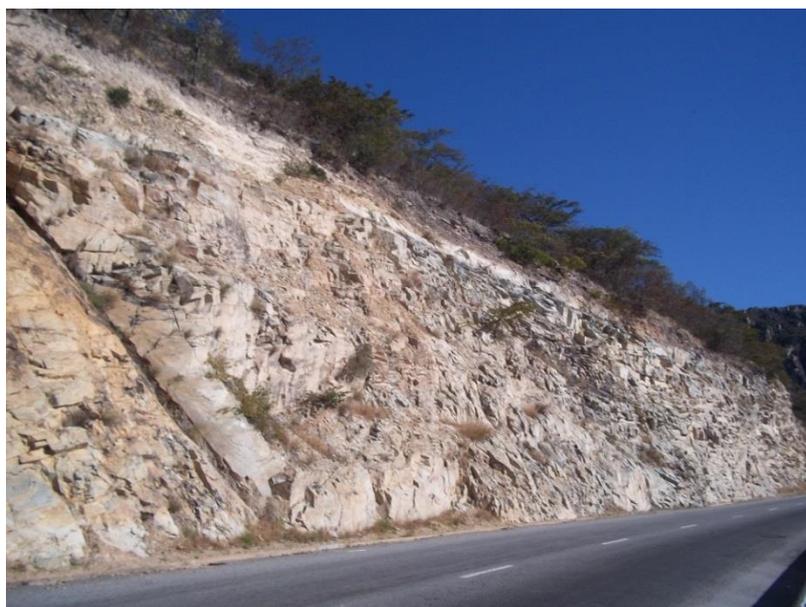


Figura 5.5 – Representação do talude 5, em que é visível a fraturação do maciço rochoso e a ocorrência de roturas planares.

O **talude 6** tem como coordenadas geográficas: latitude de 15°04,461´Sul e longitude de 13°13,855´ Este, apresenta 76 metros de comprimento e cerca de 10 metros de altura, apresentando uma orientação de N65°E; 83°SE (Fig. 5.6). O talude 6 situa-se na EN 280 e é constituído por litologias da Formação da Tundavala, neste caso quartzitos fraturados ligeiramente alterados, estes apresentam uma tonalidade avermelhada devido a uma película de óxidos e hidróxidos de ferro, regista-se a presença de óxidos de manganésio que conferem aos quartzitos uma tonalidade mais escura. Os grãos de quartzo possuem um grau de arredondamento elevado e uma dimensão aproximadamente igual. O grau de fraturação e a tonalidade do material rochoso são mais intensas na parte superior do talude, distinguiram-se 3 famílias de fraturas aproximadamente perpendiculares. Na parte intermédia do talude regista-se a presença de material mais friável que corresponde a arenitos mais alterados e pelitos. A estratificação é aproximadamente horizontal, no entanto apresenta, por vezes, um sentido de pendor oposto à da face do talude. O espaçamento da fraturação tende a ser mais reduzido do que nos taludes 4 e 5, com valores de 8 a 75 cm. Estão presentes planos de falhas, de vários metros de extensão, que aparecem associados às instabilidades. As quedas de blocos rochosos constituem a grande maioria das situações de instabilidade. Os blocos rochosos apresentam formas aproximadamente paralelepípedicas e têm dimensões compreendidas entre 30 cm³ até 0,5 m³. A vegetação foi definida como inexistente a rasteira. As causas externas de instabilidade correspondem à infiltração de água, vibrações e erosão superficial. Definiram-se como causas internas de instabilidade a litologia, as estruturas geológicas, o aumento da pressão da água e o decréscimo da resistência dos terrenos.



Fig. 5.6 – Representação do talude 6.

O **talude 7** compreende as seguintes coordenadas geográficas: latitude de 15° 04,375´ Sul e longitude de 13° 14,070´ Este. O comprimento do talude 7 é igual a 55 metros, tem 10 metros de altura e de orientação: N65°E; 80°SE (Fig. 5.7). O maciço rochoso exposto pertence à Formação da Tundavala, e é constituído por quartzitos relativamente alterados com três famílias de diaclases, cujo espaçamento está compreendido entre 5 a 60 cm, apresentando deste modo valores inferiores aos encontrados no talude 6. Na parte Sul do talude, a estratificação tem um pendor oposto ao sentido da face do talude. Os quartzitos possuem tonalidades cinzentas, esbranquiçadas e também avermelhadas e escuras. Verifica-se igualmente a presença de arenitos. É de registar a existência de uma falha que interseta a totalidade da face do talude, e de sulcos erosivos na extremidade norte do talude, em que ocorrem depósitos de vertente. O tipo de vegetação é idêntico à do talude 6. As principais situações de instabilidade são as quedas de blocos rochosos, verificando-se igualmente os deslizamentos planares e em cunha. Os volumes dos blocos rochosos estão entre 25 cm³ e 0,25 m³. As causas externas e internas das instabilidades são idênticas às encontradas no estudo do Talude 6.



Figura 5.7 – Representação do talude 7.

5.2 – Comparação das características dos taludes

Um dos objetivos do presente trabalho foi a comparação das diferentes características dos taludes estudados, consideraram-se os vários parâmetros presentes nas fichas de trabalho relativas às situações de instabilidade.

Os taludes apresentam, de modo geral, pendores elevados, assim os troços do talude 1 têm pendores entre 40° a 80°, enquanto os do talude 2 variam de 50° a 70°, os taludes 3 e 5 possuem inclinações de cerca de 70°. Para os taludes 4, 6 e 7, os pendores são iguais ou superiores a 80°.

Da observação da Figura 5.8 constata-se que 3 dos taludes possuem uma altura superior a mais de 20 metros, e localizam-se na área da descida da Leba, correspondendo a 42,9% dos taludes estudados. Outros 3 taludes apresentam uma altura entre 10 a 20 metros, deste conjunto dois deles situam-se na descida da Leba e o restante corresponde ao talude localizado no Caholo, em que dois dos seus troços têm uma altura superior a 10 m. Dois taludes possuem uma altura inferior a 10 m, representando deste modo 28,6% do conjunto estudado. O talude 1, localizado nas proximidades da Tundavala, apresenta uma altura sempre inferior a 10 metros, enquanto o talude 2, nas proximidades do Caholo possui dois troços cuja altura máxima é também inferior a 10 metros.

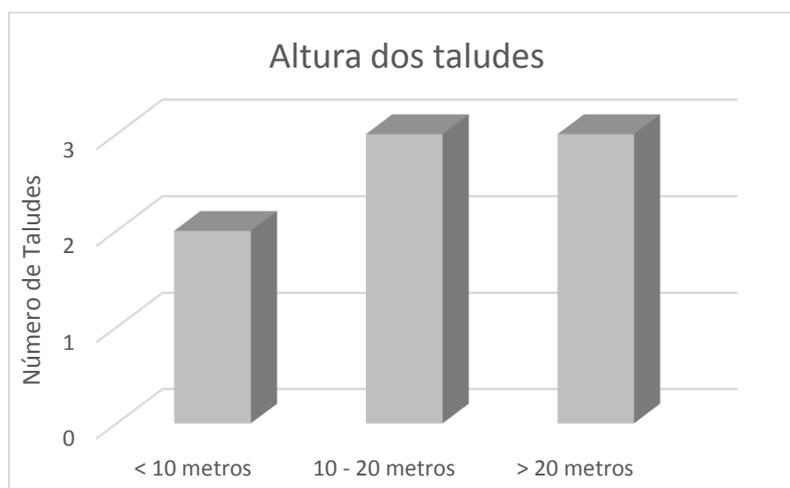


Figura 5.8 – Caracterização da altura dos taludes.

Na Figura 5.9 observa-se uma clara predominância, em termos litológicos, dos quartzitos nos taludes considerados, correspondendo a 85,7%, pelo que seis dos taludes são constituídos por quartzitos. Os depósitos de vertente estão presentes em quatro taludes. Os lutitos e

arenitos ocorrem em dois taludes, os primeiros podem observar-se nos taludes 1 e 2, enquanto os arenitos fazem parte da constituição litológica dos taludes 2 e 6. Os granitos com diferentes estados de alteração aparecem no talude 3 que se localiza na parte inferior da descida da Leba. As rochas vulcânicas ou vulcanoclásticas estão presentes em dois troços do talude 1, situado nas proximidades da Tundavala.



Figura 5.9 – Representação dos tipos litológicos presentes nos taludes.

O tipo de vegetação é condicionado pelo facto dos taludes serem de escavação. A vegetação predominante nos taludes é a rasteira, que está presente na totalidade dos taludes considerados (Fig. 5.10). A ausência de vegetação é evidente em 85,7% dos taludes. Constatou-se a existência de vegetação moderada em 3 taludes, por vezes com a presença de árvores de porte pequeno a médio.

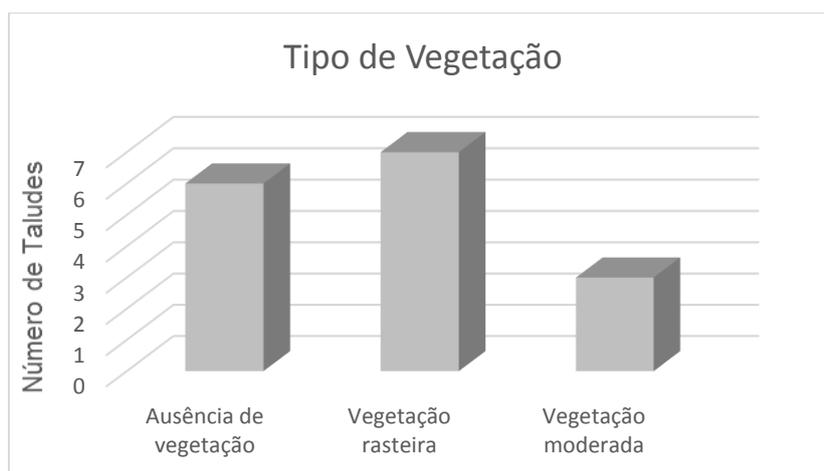


Figura 5.10 – Tipo de vegetação presente nos taludes.

O tipo de instabilidade mais frequente são os desmoronamentos de rochas e detritos (Fig. 5.11), estes ocorrem em todos os taludes estudados. Em cinco dos taludes, o que constitui 71,4%, verificaram-se deslizamentos de material rochoso, podendo estes deslizamentos serem em cunha ou planares. Quatro taludes (57,1%) apresentaram fluxos de detritos e solos, e somente um talude evidenciou a ocorrência de situações de Toppling.

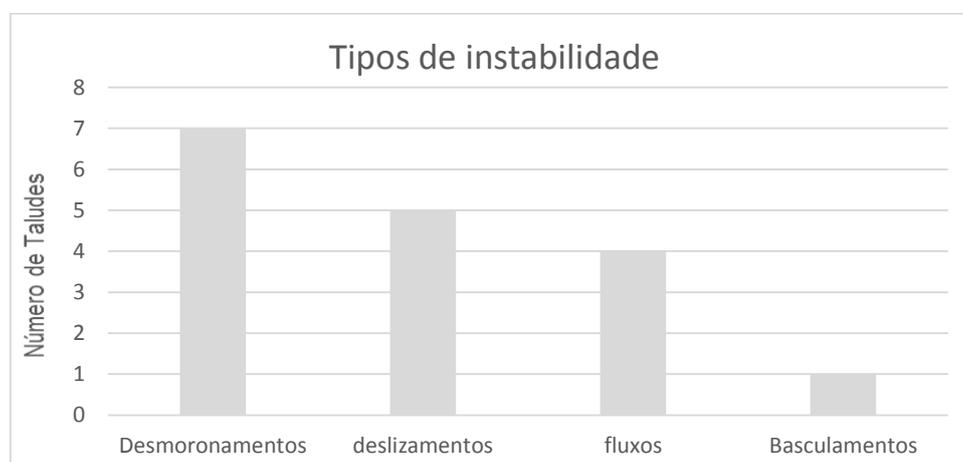


Figura 5.11 – Tipos de instabilidade nos taludes estudados

De acordo com a Fig. 5.12, é constatado que a infiltração de água corresponde a uma das causas externas das situações de instabilidade que afeta a totalidade dos taludes, as vibrações e a erosão superficial constituem causas externas de instabilidade para seis dos taludes. As atividades de pastorícia no topo ou mesmo na face dos taludes também podem

originar instabilidades, situação verificada nos taludes 1 e 2. O incremento de inclinação do pendor foi igualmente responsável pelas situações de instabilidade no talude 1.

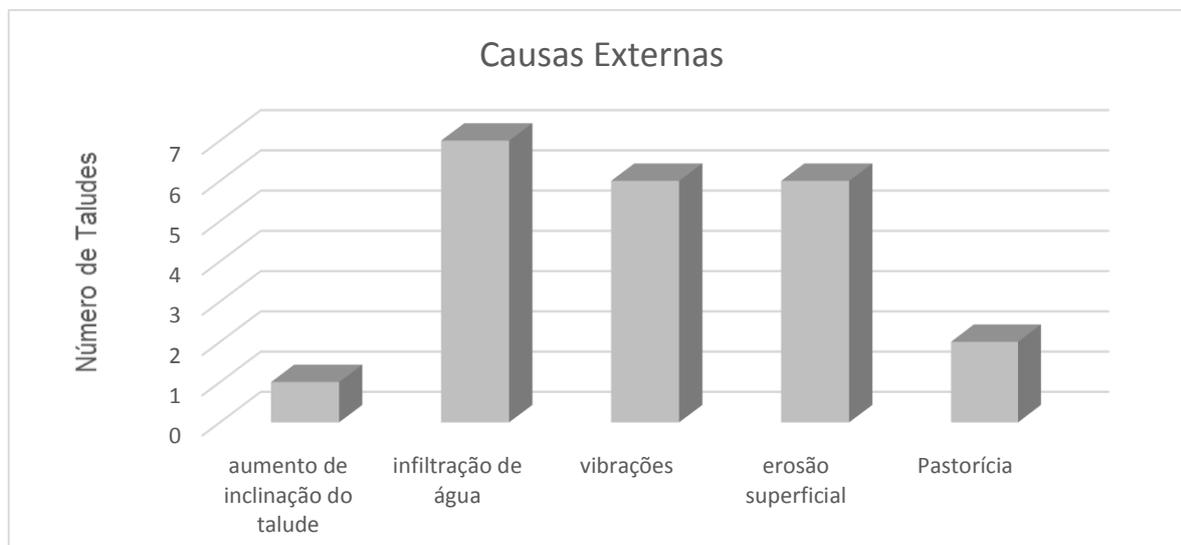


Figura 5.12 – Representação das causas externas dos movimentos de instabilidade.

A litologia, a estrutura geológica que compreende o conjunto das superfícies de descontinuidade e os dobramentos, e também o aumento da pressão da água constituem causas internas das situações de instabilidade para todos os taludes (Fig. 5.13). A diminuição de resistência dos terrenos corresponde, igualmente, a uma das principais causas externas dos movimentos, verificando-se em 85,7% dos casos estudados.

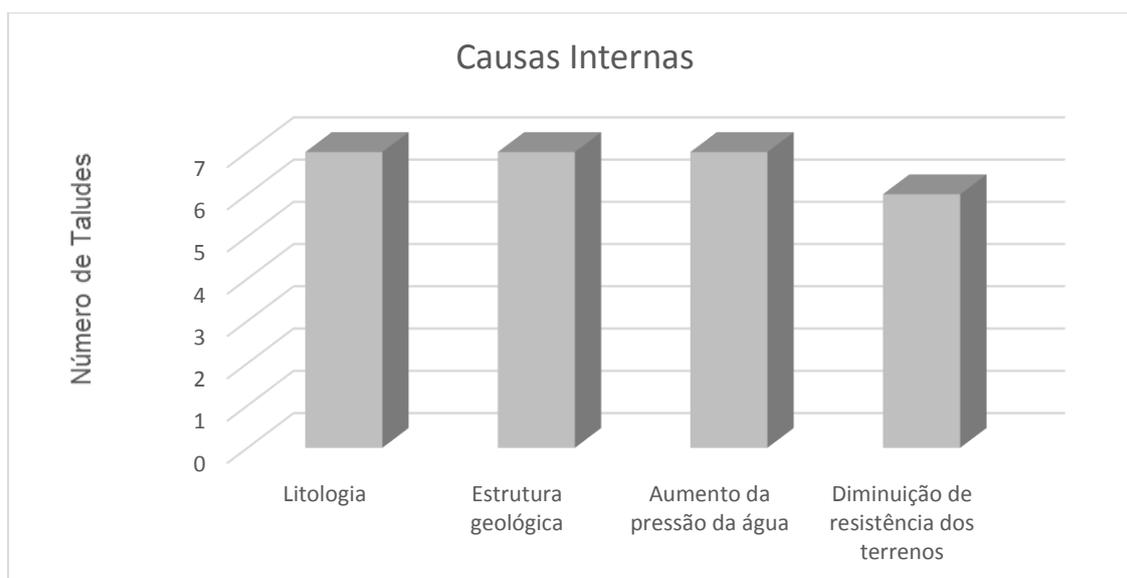


Figura 5.13 – Representação das causas internas das instabilidades.

Apesar das várias ocorrências de instabilidade, é de salientar que o talude 1 é único que apresenta trabalhos de estabilização, ao passo que nos restantes não se observaram nenhuma medida de estabilização. De referir que os trabalhos de estabilização, no talude 1, são de grande simplicidade e consistiram na aplicação de cimento na base do talude de modo a evitar o incremento de processos erosivos. A velocidade dos movimentos de vertente/talude foi definida como rápida a muito rápida designadamente para os movimentos de queda de blocos rochosos e deslizamentos, classificando-se como moderada para alguns fluxos do talude 2. As situações de instabilidade foram consideradas ativas ou suspensas no conjunto dos locais estudados. Como se analisaram taludes de vias de comunicação, as principais consequências foram os danos ou interrupções que se podem verificar nessas devido à ocorrência das situações de instabilidade.

5.3 – Aplicação da classificação RHRS

Procedeu-se à aplicação da classificação RHRS nos taludes estudados, esta baseou-se na metodologia de Pierson et al. (1990) e adaptada por Hoek (2007). Os parâmetros da classificação RHRS são enquadrados em valores ponderais que variam entre 3 e 81. Os taludes foram estudados e consequentemente classificados através da análise de vários parâmetros, de acordo com as características de cada um deles. Os valores dos diferentes taludes estudados são apresentados desde o Quadro 5.1 ao Quadro 5.12.

Quadro 5.1 - Classificação RHRS do Talude 1-Troço 1.

Coordenadas Geográficas: latitude de 14° 50, 098´ Sul e longitude de 13° 23,721´ Este		
Comprimento: 80 m		
Orientação: E-W; 60°N		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	3 a 9 m	3
Eficácia da vala	Retenção moderada a limitada	18
Risco médio para veículos	0,6 %	3
Distância de visibilidade de decisão	26,7 %	81
Largura da plataforma da via	9,5 m	18
Condição estrutural	Diaclases descontínuas, orientação favorável	3
Atrito da rocha	Ondulado a liso	18
Tamanho do bloco	0,31 m	3
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da queda de blocos	Quedas ocasionais a frequentes	18
Total		174

Quadro 5.2 - Classificação RHRS do Talude 1-Troço 2.

Coordenadas Geográficas: latitude de 14° 50, 087' Sul e longitude de 13° 23,639' Este		
Comprimento: 90 m		
Orientação: E-W; 80°N		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	9 m	6
Eficácia da vala	Retenção moderada a limitada	18
Risco médio para veículos	0,7 %	3
Distância de visibilidade de decisão	39,8 %	81
Largura da plataforma da via	9,5 m	18
Condição estrutural	Diaclases descontínuas, orientação favorável	3
Atrito da rocha	Ondulado a liso	18
Tamanho do bloco	0,31 m	3
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da queda de blocos	Quedas ocasionais a frequentes	18
Total		177

Quadro 5.3 - Classificação RHRS do Talude 1-Troço 3.

Coordenadas Geográficas: latitude de 14° 50, 078' Sul e longitude de 13° 23,568' Este		
Comprimento: 74,6 m		
Orientação: E-W; 40°N		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	4 m	3
Eficácia da vala	Retenção moderada a limitada	18
Risco médio para veículos	0,6 %	3
Distância de visibilidade de decisão	26,3 %	81
Largura da plataforma da via	9,5 m	18
Condição estrutural	Diaclases descontínuas, orientação favorável	3
Atrito da rocha	Liso	27
Tamanho do bloco	0,31 m	3
Quantidade de queda de blocos por evento	Precipitação moderada	9
Presença de água no talude	Quedas ocasionais a frequentes	18
Total		183

Quadro 5.4 - Classificação RHRS do Talude 2 - Troço 1.

Coordenadas Geográficas: latitude de 15° 08, 09´ Sul e longitude de 13° 20,118´ Este		
Comprimento: 23 m		
Orientação: N27° E; 70°E		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	2 a 5 m	3
Eficácia da vala	Retenção limitada	27
Risco médio para veículos	0,2%	3
Distância de visibilidade de decisão	28,5%	81
Largura da plataforma da via	8,75 m	27
Condição estrutural	Diaclases descontínuas, orientação desfavorável	27
Atrito da rocha	Ondulado a liso	18
Tamanho do bloco	0,31 m	3
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da queda de blocos	Quedas ocasionais	9
Total		207

Quadro 5.5 - Classificação RHRS do Talude 2-Troço 2.

Coordenadas Geográficas: latitude de 15° 08, 085´ Sul e longitude de 13° 20,122´ Este		
Comprimento: 38 m		
Orientação: N26° E; 50°E		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	5 a 18 m	9
Eficácia da vala	Sem retenção	81
Risco médio para veículos	0,2 %	3
Distância de visibilidade de decisão	26,2 %	81
Largura da plataforma da via	8,75 m	27
Condição estrutural	Diaclases descontínuas, orientação desfavorável	27
Atrito da rocha	Ondulado a liso	18
Tamanho do bloco	0,91 m	27
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da queda de blocos	Quedas frequentes	27
Total		309

Quadro 5.6 - Classificação RHRS do Talude 2 -Troço 3.

Coordenadas Geográficas: latitude de 15° 08, 066´ Sul e longitude de 13° 20,127´ Este		
Comprimento: 34 m		
Orientação: N12° E; 70°E		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	18 m	18
Eficácia da vala	Sem retenção	81
Risco médio para veículos	0,2 %	3
Distância de visibilidade de decisão	25,8 %	81
Largura da plataforma da via	8,75 m	27
Condição estrutural	Diaclases descontínuas, orientação desfavorável	27
Atrito da rocha	Ondulado a liso	18
Tamanho do bloco	0,91 m	27
Presença da água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da queda de blocos	Quedas frequentes	27
Total		318

Quadro 5.7 - Classificação RHRS do Talude 2 - Troço 4

Coordenadas Geográficas: latitude de 15° 08, 047´ Sul e longitude de 13° 20,129´ Este		
Comprimento: 37,6 m		
Orientação: N4°E; 60°E		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	8 m	3
Eficácia da vala	Sem retenção	81
Risco médio para veículos	0,2 %	3
Distância de visibilidade de decisão	17,5 %	81
Largura da plataforma da via	8,75 m	27
Condição estrutural	Diaclases descontínuas, orientação aleatória	9
Atrito da rocha	Ondulado a liso	18
Tamanho do bloco	0,31 m	3
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da queda de blocos	Quedas ocasionais	9
Total		243

Quadro 5.8 - Classificação RHRS do Talude 3.

Coordenadas Geográficas: latitude de 15° 03, 862´ Sul e longitude de 13° 13,958´ Este		
Comprimento: 114 m		
Orientação: N22° E; 68°E		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	25 m	54
Eficácia da vala	Retenção limitada	27
Risco médio para veículos	3,2 %	3
Distância de visibilidade de decisão	33 %	81
Largura da plataforma da via	9,3 m	18
Condição estrutural	Diaclases contínuas, orientação desfavorável	81
Atrito da rocha	Ondulado	9
Tamanho do bloco	0,91 m	27
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da queda de blocos	Quedas frequentes	27
Total		336

Quadro 5.9 - Classificação RHRS do Talude 4

Coordenadas Geográficas: latitude de 15° 04, 334´ Sul e longitude de 13° 13,979´ Este		
Comprimento: 110 m		
Orientação: N60° E; 85°NW W		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	35 m	81
Eficácia da vala	Retenção limitada	27
Risco médio para veículos	3,1 %	3
Distância de visibilidade de decisão	38 %	81
Largura da plataforma da via	9,3 m	18
Condição estrutural	Diaclases contínuas, orientação desfavorável	81
Atrito da rocha	Liso	27
Tamanho do bloco	0,91 m	27
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da quedas de blocos	Quedas frequentes	27
Total		381

Quadro 5.10 - Classificação RHRS do Talude 5

Coordenadas Geográficas: latitude de 15° 04, 351´ Sul e longitude de 13° 13,956´ Este		
Comprimento: 114 m		
Orientação: N65° E; 70°NW		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	26 a 31 m	81
Eficácia da vala	Retenção limitada	27
Risco médio para veículos	3,2 %	3
Distância de visibilidade de decisão	44 %	75
Largura da plataforma da via	9,3 m	18
Condição estrutural	Diaclases contínuas, orientação desfavorável	81
Atrito da rocha	Liso	27
Tamanho do bloco	0,91 m	27
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da queda de blocos	Quedas frequentes	27
Total		375

Quadro 5.11 - Classificação RHRS do Talude 6

Coordenadas Geográficas: latitude de 15° 04, 461´ Sul e longitude de 13° 13,855´ Este		
Comprimento: 76 m		
Orientação: N65°E; 83°SE		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	10 m	6
Eficácia da vala	Retenção moderada a limitada	18
Risco médio para veículos	2,1 %	3
Distância de visibilidade de decisão	33,5 %	81
Largura da plataforma da via	9,3 m	18
Condição estrutural	Diaclases contínuas, orientação favorável a desfavorável	54
Atrito da rocha	Liso	27
Tamanho do bloco	0,61 m	9
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico da queda de blocos	Quedas ocasionais a frequentes	18
Total		243

Quadro 5.12 - Classificação RHRS do Talude 7

Coordenadas Geográficas: latitude de 15° 04, 375´ Sul e longitude de 13° 14,070´ Este		
Comprimento: 55 m		
Orientação: N65°E; Pendor: 80°SE		
Parâmetros	Classificação	Pontuação
Altura do talude	10 m	6
Eficácia da vala	Retenção moderada a limitada	18
Risco médio para veículos	1,5 %	3
Distância de visibilidade de decisão	38,5 %	81
Largura da plataforma da via	9,3 m	18
Caso 1 - Condição estrutural	Diaclases descontínuas, orientação desfavorável	27
Caso 1 - Atrito da rocha	Ondulado a liso	18
Tamanho do bloco	0,31 m	3
Presença de água no talude	Precipitação moderada	9
Histórico de queda de blocos	Quedas ocasionais e frequentes	18
Total		201

5.3.1 - Altura do talude

Determinou-se a altura de sete taludes estudados, dos quais o talude 1 que compreende três troços apresentou uma altura nunca superior a 9 metros, pelo que os valores ponderais variam entre 3 e 6.

Para o talude 2 que é constituído por quatro troços, verificou-se que a altura do primeiro troço está compreendida entre 2 e 5 m, pelo que o seu valor ponderal é igual a 3. O segundo troço do talude tem uma altura que variam de 5 a 18 metros de altura, definindo-se que o peso atribuído é de 9 pontos, para os restantes troços determinou-se uma altura de 18 m e 8 m, a que correspondem, respetivamente, aos valores ponderais de 18 e 3 pontos. As alturas mais elevadas são apresentadas pelos Taludes 4 e 5 e possuem alturas superiores a 25 m, pelo que os seus valores ponderais são iguais a 81. O talude 3 tem 25 m pelo que o seu valor ponderal é de 54 pontos. Os taludes 6 e 7 apresentam alturas de cerca de 10 m, e o respetivo valor ponderal é igual a 6 pontos.

5.3.2 - Eficácia da vala

A vala presente na base do talude 1 tem 1,20 m de largura e 20 cm de profundidade, tendo sido classificada a sua eficácia de retenção como sendo moderada a limitada para todos seus troços. O talude 2 possui uma vala com 1 metro de largura e 22 cm de profundidade. Somente o troço 1 do talude 2 evidenciou uma retenção considerada como limitada, os restantes troços apresentam uma vala que não desempenha as funções de retenção, dado que foi preenchida por material de solo misturado com blocos de pequenas dimensões, registando-se ainda o crescimento de vegetação sobre este material. Nestes troços do talude 2 a eficácia da vala é inexistente, verificando-se que alguns dos materiais instabilizados atingem a via de comunicação, colocando os seus utentes em perigo.

Nos taludes que se localizam na EN280, a largura da vala é de 80,6 cm e a profundidade de 40,8 cm. Para os taludes 3, 4 e 5 a eficácia da vala foi classificada como limitada, e o valor ponderal foi definido como de 27 pontos. Os taludes 6 e 7 possuem valas cuja eficácia de retenção foi definida como moderada a limitada, pelo que o respetivo valor ponderal é de 18 valores.

5.3.3 - Risco médio para veículos

Para a determinação do risco médio para os veículos (RMV), definiram-se os valores relativos à extensão dos taludes ou dos seus troços, ao número de veículos por dia e ao limite de velocidade, este último foi assumido como 80 km/h para os taludes 1 e 2, enquanto para os restantes, localizados na descida da Leba ou nas suas proximidades, considerou-se 60 km/h. É de assinalar que os taludes 3 a 7 apresentam valores de RMV superiores aos dos taludes 1 e 2, o que está relacionado com o maior número de veículos por hora e com as velocidades de circulação mais reduzidas. Os valores encontrados para o RMV foram sempre muito inferiores a 25%, pelo que os valores ponderais foram considerados como iguais a 3.

5.3.4 - Distância de visibilidade de decisão

Para definir a possibilidade dos condutores evitarem o material instabilizado presente na via de comunicação, procedeu-se à determinação da distância de visibilidade de decisão (DVD). Consideraram-se as medidas efetuadas *in situ* e que envolveram as distâncias de visibilidade no local (DVL) de um objeto de altura de 15,8 cm. A distância de decisão (DD) foi assumida de acordo com os valores expressos no Quadro 4.4.

Com exceção do talude 5, o valor ponderal considerado para o parâmetro DVD foi igual a 81 para todos os taludes estudados. Os valores obtidos apresentam-se quase todos com percentagens inferiores a 40%, o que corresponde a uma distância de visão muito limitada, o que está relacionado com a presença de traçados rodoviários não retilíneos nas proximidades ou ao longo dos taludes.

5.3.5 - Largura da plataforma da via

Definiram-se, *in situ*, os valores da largura da plataforma da via de comunicação, em que se incluiu as bermas asfaltadas ou pavimentadas. Os valores mais reduzidos foram encontrados no Talude 2, em que a largura é igual a 8,75 m, correspondendo a um valor ponderal de 27 pontos. Para os troços do talude 1 que pertencem a uma obra de engenharia mais recente, a largura é de 9,50 metros e definiu-se a classificação de 18 pontos. Os taludes 3 a 7, situados ao longo da EN 280, apresentam uma largura de cerca de 9,30 metros, assumindo-se o valor ponderado de 18 pontos.

5.3.6 - Características geológicas

Procedeu-se à definição do parâmetro da natureza geológica para os vários taludes estudados, tendo em atenção que o caso 1 é destinado para taludes constituídos por materiais rochosos, em que o seu comportamento é influenciado pela presença das descontinuidades e das suas características, designadamente a persistência, a orientação e rugosidade, o caso 1 foi considerado para a totalidade dos taludes estudados. O caso 2 está relacionado com taludes que apresentem situações erosivas e diferenças de taxas de erosão. Parte do talude 3 pode ser estudado considerando o caso 2, no entanto verificou-se que a maior parte das situações de instabilidade estavam relacionadas com os planos de descontinuidade. Os fluxos de detritos, que são de grande importância nos taludes 3 e 4, não são abrangidos na utilização da classificação RHRS.

5.3.6.1 – Condição estrutural

Para o talude 1 definiram-se as fraturas como descontínuas e de orientação favorável, atribuindo-se o valor ponderal a de 3 pontos. Para o talude 2 consideraram-se as diaclases como descontínuas e orientação desfavorável para os troços 1, 2 e 3, assumindo-se um valor ponderável de 27 pontos, enquanto para o troço 4, as diaclases são descontínuas e de orientação aleatória correspondendo um valor ponderal de 9 pontos.

Os taludes 3, 4 e 5 apresentam um valor ponderado de 81 pontos, para a condição estrutural, devido às suas diaclases serem contínuas e de orientação desfavorável. O talude 6 possui diaclases descontínuas e de orientação desfavorável a favorável, pelo que o valor ponderal é igual a 54, enquanto o talude 7 apresenta diaclases descontínuas e orientação desfavorável, cujo valor ponderal é de 27 pontos.

5.3.6.2 - Atrito da rocha

O atrito do material rochoso está relacionado com a rugosidade das superfícies de descontinuidades. Para generalidade dos troços dos taludes 1 e 2, bem como para o talude 7, a rugosidade foi definida como ondulada a lisa.

O talude 3 apresenta a maior parte das superfícies de descontinuidade com um aspeto ondulado, a que corresponde um valor ponderal de 9.

Os taludes 4, 5 e 6, bem como o terceiro troço do talude 1 caracterizam-se pelas descontinuidades serem, de modo geral, lisas ou planas, atribuindo-se um valor ponderado de 27 pontos.

5.3.7 - Dimensão dos blocos

A definição dos volumes dos blocos rochosos ou da quantidade de queda de blocos por evento foi estimada a partir dos materiais rochosos instabilizados e do espaçamento da fraturação.

O diâmetro dos blocos instabilizados, dos taludes 1 e 7, é igual a 0,31 m ou inferior, correspondendo ao valor ponderal de 3 pontos, o que está de acordo com as dimensões reduzidas dos blocos instabilizados que se observaram *in situ*.

Em relação ao segundo talude, nos troços 1 e 4 a dimensão dos blocos instabilizados é igual a 0,31 m ou mesmo inferior, enquanto para os segundo e terceiro troços, o tamanho dos blocos pode alcançar 0,91m, a que corresponde o valor ponderado de 27 pontos.

Os taludes 3, 4 e 5 apresentam blocos rochosos instabilizados cujos diâmetros máximos se aproximam de 1 metro, pelo que assumiram valores ponderais de 27 pontos. O talude 6 possui blocos instabilizados cujos diâmetros são aproximadamente iguais a 0,61 m, o que corresponde a 9 pontos.

5.3.8 - Condição climática e presença da água nos taludes

A ação da água tem uma grande influência nas situações de rotura dos maciços rochosos. O parâmetro relativo à presença da água está relacionado com as condições climáticas, designadamente com os valores de precipitação.

Os valores da precipitação média anual apresentam os valores de 888 e 1030 mm, de acordo com SINFIC (2007), para as áreas dos taludes estudados, sendo considerados valores de precipitação moderada, assumindo-se os valores ponderais iguais a 9. No entanto é de assinalar a ocorrência de períodos de precipitação muito intensa, como a que ocorreu de Fevereiro a Abril de 2011, pelo que os valores ponderais poderão ser eventualmente mais elevados. De acordo com Kaplule (2012), na área da descida da Leba, definiu-se que um valor diário de precipitação superior a 30 mm poderá desencadear situações de fluxos, estes poderão ver a sua intensidade aumentada se nos dias anteriores ocorrer uma precipitação diária superior a 10 mm. As quedas de blocos e os deslizamentos poderão ocorrer em períodos de valores de precipitação mais reduzida.

5.3.9 - Registo histórico das situações de instabilidade

Para os diferentes taludes não existem dados oficiais sobre o volume do material instabilizado e retirado das vias de comunicação ou das suas bermas. Procedeu-se a uma estimativa dos últimos 5 anos das situações de instabilidade, tendo em atenção o levantamento de campo efetuado. Para os taludes 3 a 7, localizados na EN 280 designadamente na descida da Serra da Leba, recorreu-se a Kapule (2012) em que foram estudadas situações relativas aos movimentos de instabilidade. As ocorrências de instabilidade foram classificadas como frequentes para os taludes 3, 4, 5 e também para os segundo e terceiro troços do talude 2, assumindo-se a sua classificação ponderal como igual a 27. Nos taludes 1, 6 e 7, o registo histórico foi considerado como ocasional a frequente, enquanto no primeiro e quarto troço do talude 2 foi definido como ocasional.

5.3.10 - Resultados totais da classificação RHRS

Dos resultados dos somatórios dos valores dos parâmetros da classificação RHRS constatou-se que para os taludes 3, 4, 5 e também para os segundo e terceiro troços do talude 2, os valores totais ultrapassam o resultado de 300, o que significa que as situações de instabilidade devem ser objeto de medidas de estabilização e prevenção num prazo relativamente curto. Dos valores totais superiores a 300, destacam-se os taludes 4 e 5, respetivamente com resultados de 381 e 375, estes valores estão relacionados com as alturas elevadas dos taludes, com as condições geológicas e estruturais mais adversas em relação à estabilidade e com as volumetrias consideráveis dos materiais instabilizados.

Deve destacar-se a ocorrência de fluxos de detritos de extensão e dimensões elevadas nos taludes 3 e 4, se bem que a classificação RHRS não seja aplicável a estas situações de instabilidade, é necessário indicar que as volumetrias destes fluxos, bem como a fluidez dos movimentos poderiam, em hipótese, aumentar os valores totais do RHRS em cerca de 100 a 150 pontos, o que implicaria que os taludes fossem considerados como quase ou mesmo prioritários em termos de medidas de estabilização urgente.

Os taludes 6 e 7, bem como o primeiro e quarto troços do talude 2 possuem valores totais de RHRS entre 200 e 250, o que indica que as medidas de estabilização não são prioritárias, podem ser efetuadas num prazo mais longo, devendo proceder-se à monitorização dos taludes em relação a possíveis situações de instabilidade. Os valores encontrados, entre 200 e 250, estão relacionados com os taludes não apresentarem alturas elevadas, neste caso não superiores a 10 m, e as suas características geológicas definiram-se como intermédias em termos de instabilidade.

Os vários troços do talude 1 apresentam valores totais do RHRS inferiores a 200, estes estão associados às alturas reduzidas dos taludes, a uma maior eficácia de retenção por parte da vala localizada na base do talude, às condições geológicas e estruturais serem mais favoráveis à estabilidade, bem como as dimensões dos materiais instabilizados serem, de modo geral, menores do que nos outros taludes. A ocorrência de instabilidades que possam provocar danos ou vítimas nos utentes da via de comunicação de acesso à Tundavala é reduzida. Os troços do talude 1 devem, no entanto, ser sujeitos a monitorização, pois o maciço rochoso apresenta uma complexidade geológica e grau de fraturação que pode potenciar um aumento das instabilidades.

5.4 - Medidas de estabilização e de prevenção

As medidas de estabilização procuram minimizar ou evitar os principais problemas de instabilidade observados *in situ*, para a sua definição utilizou-se a classificação RHRS.

As principais medidas de estabilização e de prevenção propostas são as seguintes:

- Remoção de blocos instáveis de dimensões intermédias a reduzidas e de material muito alterado instabilizado;
- Sinalização nas proximidades dos taludes da possibilidade de ocorrência de situações de instabilidade;
- Colocação de redes de proteção metálicas nas situações de queda de blocos;

- Utilização de pregagens para blocos rochosos, designadamente onde ocorrem blocos de dimensões mais elevadas;
- Melhorias geométricas no traçado e plataforma;
- Colocação de gabiões fixados por varões de aço nas situações de fluxos.

Numa primeira fase relativa à estabilização dos taludes efetua-se a remoção de blocos instáveis e que evidenciam uma movimentação iminente. A remoção de tais blocos pode ser efetuada utilizando meios mecânicos. Para os maciços rochosos fraturados poderia utilizar-se rede de proteção metálica, verificando-se a fixação de blocos instáveis de maiores dimensões através de pregagens. Para as situações de instabilidade relacionadas com os depósitos de vertente sugere-se a sua retirada ou diminuição de pendor, ou a utilização de gabiões devidamente ancorados aos maciços rochosos através de varões de aço.

No talude 1 poderá recorrer-se à instalação de placas de sinalização nas suas proximidades, de modo a alertar os motoristas da eventualidade da queda de blocos. Deverá ter-se especial atenção à remoção de materiais presentes na valeta. O talude 1 deverá ser sujeito a observações periódicas, de modo a registarem-se os incrementos das situações de instabilização.

Nos troços de talude 2, a capacidade de retenção da vala foi prejudicada devido à queda de blocos de menor dimensão que se apresentam misturados com solos e cobertos de vegetação, devem ser tomadas medidas de remoção desses materiais e restauração do pavimento para prevenir acidentes. Nas secções que evidenciaram valores do RHRS mais elevados, é indicada a utilização de redes de proteção metálicas e a utilização de pregagens localizadas nos blocos rochosos de dimensão mais elevada e cuja movimentação pode romper as redes de proteção instaladas.

No talude 3 poderá efetuar-se a redução da inclinação da parte do talude constituído por granito mais alterado, sendo possível a introdução de banquetas e a instalação de um sistema de drenagem superficial de modo a evitar as situações de erosão. No maciço rochoso granítico menos alterado é sugerida a instalação de redes de proteção e de pregagens, estas últimas para os blocos rochosos de dimensões mais elevadas.

Nos taludes 4 e 5 é preconizada a instalação de redes metálicas com o reforço de cabos de aço e de pregagens que devem ser sistemáticas, em particular no maciço rochoso do talude 4, neste último é possível a utilização do betão projetado nas zonas em que o espaçamento da fraturação é mais reduzido.

As situações de fluxos de detritos nos taludes 3 e 4 poderão levar à instalação de gabiões, cuja ligação ao maciço deverá ser efetuada através varões de aço, de modo a impedir a sua movimentação.

Nos taludes 6 e 7, as situações de instabilidade são menos expressivas do que nos taludes 4 e 5, pelo que se preconiza a adoção de redes de proteção metálica, é de assinalar que nas zonas de maior probabilidade de ocorrência de instabilidades, essas redes de proteção poderão ser acompanhadas de pregagens e reforçada por cabos de aço.

6 – Conclusões

O método de avaliação sugerido nesta investigação é um instrumento fundamental para a identificação de vias de comunicação sujeitas a movimentos de instabilidade. O esforço na realização deste trabalho tem como objetivo a tentativa de correção de problemas de instabilidade em taludes de vias rodoviárias das Províncias da Huíla e Namibe causados por quedas de blocos, deslizamentos, fluxos e basculamentos, tendo em atenção que os taludes estudados estão praticamente desprovidos de medidas de estabilização ou de prevenção.

O estudo do presente trabalho abrangeu o levantamento de campo e a identificação das instabilidades, bem como a aplicação do sistema de classificação RHRS a taludes constituídos por diferentes litologias.

No trabalho de campo analisaram-se os vários parâmetros presentes nas fichas de trabalho, em particular as litologias, o tipo de vegetação, as estruturas geológicas, os movimentos de instabilidades e as suas diferentes causas.

Procedeu-se à definição das características geométricas dos troços rodoviários estudados, dado que estas têm extrema importância na avaliação das situações de instabilidade.

Em seis dos taludes estudados verifica-se a presença de quartzitos, em dois taludes existem arenitos. Os pelitos fazem parte da constituição litológica de 2 taludes. As rochas vulcânicas e os granitos estão presentes, respetivamente, num talude, enquanto os depósitos de vertente, relacionados com processos erosivos, ocorrem em 4 taludes. O talude 1 enquadra-se na Formação de Humpata e compreende 3 troços. O talude 2 apresenta litologia da Formação de Cangalongue e é constituído por 4 troços, os materiais rochosos do talude 3 enquadram-se no Granito Regional ou Peraluminoso, enquanto os taludes 4 a 7 pertencem à Formação da Tundavala do Grupo Chela.

Verificou-se a existência de vegetação rasteira na totalidade dos taludes, registando-se a sua ausência de vegetação em seis deles. As situações de instabilidade mais comuns são as quedas de material rochoso ou detritos que ocorreram na totalidade dos taludes, em 71,4% registaram-se deslizamentos, enquanto em 57,1% identificaram-se ocorrências de fluxos de detritos.

As causas externas das instabilidades mais importantes são a infiltração de água, a erosão superficial e a ação das vibrações. As causas internas das instabilidades mais frequentes são

a composição litológica, as estruturas geológicas, o incremento da pressão da água e a perda da resistência dos terrenos.

Definiram-se as características dos vários parâmetros da classificação RHRS. As alturas mais elevadas são encontradas nos taludes 4 e 5, em que os seus valores são superiores a 25 m, enquanto a altura dos vários troços do talude 1 nunca ultrapassa os 9 m. A eficácia da vala foi considerada muito variável, para alguns troços do talude 2 foi definida como inexistente, assumindo-se a retenção da vala como moderada a limitada para os taludes 6 e 7.

Para o risco médio para os veículos encontraram-se sempre valores inferiores a 25%. A distância de visibilidade de decisão foi para quase todos os taludes inferior a 40%, o que corresponde a uma distância de visão muito limitada.

A largura da plataforma da via dos diferentes taludes apresentou valores compreendidos entre 8,75 m e 9,50 m, para os taludes da EN 280 encontrou-se um valor intermédio que correspondeu a 9,30 m.

As características geológicas enquadraram-se no caso 1, em que se definiram as condições geológicas e o atrito das descontinuidades. As condições geológicas mais propícias para as instabilidades foram encontradas nos taludes 3, 4 e 5, o que está associado à persistência das diaclases e à orientação desfavorável. Para o atrito, as descontinuidades mais propensas aos deslocamentos localizam-se nos taludes 4, 5 e 6, dado que se apresentam, geralmente, como lisas ou planas.

Os blocos rochosos instabilizados de maior volumetria situam-se nos taludes 3, 4 e 5 e apresentam diâmetros de cerca de 1 metro. Os valores de precipitação média anual estão compreendidos entre 888 e 1030 mm, o que corresponde a uma precipitação moderada, é de destacar que as situações de instabilidade nos taludes ocorreram geralmente durante os períodos de precipitação mais elevada, em que se registam quedas de blocos, assim como movimentos relacionados com os deslizamentos em cunha e planares, bem como situações extremas de fluxos de detritos. É de realçar que a última ocorrência de grande impacto, na descida da Serra da Leba, teve lugar em Março de 2011 e esteve associada a períodos de precipitação muito elevada, que culminaram com a interrupção de circulação na Estrada Nacional 280. A periodicidade das instabilidades foi definida como frequente para os taludes 3, 4 e 5, localizados na EN 280, sendo considerada ocasional para alguns troços do talude 2.

A partir dos resultados totais da classificação RHRS podem definir-se os taludes 3, 4, 5 e também dois troços do talude 2, como os de maior tendência para a ocorrência de instabilidades, dado que os valores totais do RHRS são superiores a 300. Observando-se, nesses locais, as situações de instabilidade mais gravosas para a circulação rodoviária. Os

taludes 6 e 7, e também o primeiro e quarto troço do talude 2 apresentam valores totais de RHRS de 200 a 250, pelo que a tendência para se verificarem instabilidades é reduzida a média. Para o talude 1 encontrou-se um valor total do RHRS inferior a 200, o que traduz uma tendência reduzida no que diz respeito à ocorrência de instabilidades. De acordo com os valores da classificação RHRS devem definir-se medidas para a prevenção e mitigação dos problemas provocados pelas situações de instabilidade.

Verificou-se a presença, nos taludes 3 e 4, de fluxos de detritos de dimensões consideráveis que devem se ter em consideração nas medidas de estabilização a efetuar.

Deverá proceder-se a uma remoção prévia dos materiais mais propensos a movimentarem-se, bem como instalarem-se sinais de trânsito nas imediações dos taludes instáveis. Para todos os taludes deve proceder-se a monitorizações periódicas, de modo a acompanhar as eventuais manifestações de ocorrências de instabilidade, tendo particular atenção aos períodos de maior precipitação.

Para as situações de quedas de blocos, é proposta a utilização de redes de proteção metálicas, que poderão ser reforçadas com cabos de aço, designadamente nos taludes 4 e 5. Para as quedas de blocos rochosos de dimensões mais elevadas e também para as possíveis ocorrências de deslizamentos que apresentem dimensões significativas poderá utilizar-se pregagens. A utilização de betão projetado é sugerida no talude 4, nas áreas onde o espaçamento da fraturação é menor. A modificação da geometria do talude, com a redução do pendor do talude constituído por granito alterado, e a consequente instalação de um sistema de drenagem é proposto para o talude 3.

Nas áreas dos taludes 3 e 4, sujeitas aos fluxos de detritos, poderão instalar-se gabiões devidamente ancorados ao terreno através de varões de aço.

A inventariação e o estudo das situações de instabilidade dos taludes das vias de comunicação deverão ser efetuados de modo mais pormenorizado. Deverá recorrer-se à utilização de classificações geomecânicas, bem como a métodos determinísticos e probabilísticos de definição dos fatores de segurança. Este estudo e a definição das eventuais consequências das instabilidades poderão ser realizados pelas autoridades administrativas em conjunto com as instituições do ensino superior e empresas especializadas.

Referências Bibliográficas

- ABGE (1998) – Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. António Manoel dos Santos Oliveira & Sérgio Nertan Alves de Brito (eds.), pp. 214-216.
- Andrade, P.S. (2008) – Estudo das principais características das discontinuidades. Departamento de Ciências da Terra, FCTUC, Coimbra.
- Andrade, P.S. (2009) – Diapositivos da disciplina de Análise e Gestão de Riscos Naturais. Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra.
- Andrade, P.S. (2013) – Instabilidade de vertentes e taludes. Aparentamentos da disciplina de Geologia Geral do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. DCT, Universidade de Coimbra.
- Augusto-Filho, O. (1992) - Caracterização geológico – geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de encostas, ABMS/ABGE/PCRJ, Rio de Janeiro, V.2, pp. 691 – 704.
- Bateira, C. (1991) – Contributo para o estudo da dinâmica actual e riscos naturais na depressão de Ota e colinas de Alenquer-Merceana. Porto, *Revista da Faculdade de Letras – Geografia*, I Série, Vol. VII, pp.57 – 138.
- BAEUR (2014) – Métodos de Construção. Execução de Ancoragens. <http://www.bauer-angola.com/>. Acedido em 15 de Maio de 2014.
- Beetz, P.F.W. (1933) – Geology of South of West Angola, between Cunene and Lunda axis. *Trans. Geological Society of South Africa*, 36, pp 137 – 178.
- BGS (2014) – Flows. Discovering Geology. British Geologic Survey. <http://www.bgs.ac.uk/> . Acedido em 3 de julho de 2014.
- Bieniawski Z. T. (1989) – Engineering Rock Mass classifications. Wiley, New York.
- Brabb, E. E.; Harrod, B. L. (1989) – Landslides: Extent and economic significance: Proceedings of the 28th International Geological Congress: Symposium on Landslides, Washington D.C., 17th July, 1989. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Bueno, B.S.; Vilar, O.M. (1996) - *Mecânica dos solos*. São Carlos, EESC-USP, volume 2.
- Buma, J.; Van Asch T. (1996) – Soil spreading. *Landslide Recognition*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 137 – 148.
- Caputo H. P. (1998) – Mecânica dos Solos e suas aplicações. Vol.2, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. LTC, São Paulo.
- Carreto, A. (1989) – Técnicas de estabilização de taludes. III Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.
- Carvalho, H.; Fernandez, A.; Vialette, Y (1979) – Chronologie absolue du Précambrien du sud-ouest de l'Angola. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 228, pp. 1647-1650.

- Carvalho, H. (1980) – Carta Geológica de Angola, à escala 1000 000. Folha 3. Direcção dos Serviços de Geologia e Minas. Luanda.
- Carvalho, H.; Tassinari, C.C.G. (1992) – Idades do magmatismo granítico da região de Caraculo-Bibala (SW de Angola) e suas implicações na correlação geológica com o cinturão ribeira no sudeste do Brasil, *Revista Brasileira de Geociências*, Volume 22.
- Carvalho, H.; Alves, P. (1993) – The Precambrian of SW Angola and NW Namibia, general remarks, correlation analysis, economic geology. Comunicações do Instituto de Investigação Científica e Tropical, Série de Ciências da Terra, 4.
- Correia, H. (1973) – Sobre a existência de rochas vulcânicas na Formação de Chela, região do planalto de Humpata/Herlander Correia Luanda: Ciências Geológicas dos Cursos da Universidade de Luanda.
- Correia, H. (1976) – O Grupo Chela e a formação Leba como novas unidades litoestratigráficas resultantes da redefinição da “Formação da Chela” na região do planalto da Humpata (Sudoeste de Angola). *Boletim da sociedade Geológica de Portugal*, vol XX (I-II).
- Cruden, D.M.; Varnes, D.J. (1996) – Landslides Types and Processes. In Special Report 247: Landslides. Investigation and Mitigation Turner, A.K. & Schuster (eds.).
- 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.
- Diniz, A. C. (2006) – Características Mesológicas de Angola. IPAD, Lisboa, Portugal. 2ª edição, 450p.
- Diniz, A.C. (1991) – Angola. O meio físico e potencialidades agrárias. Instituto para a Cooperação Económica, Ministério dos Negócios Estrangeiros, Lisboa.
- Dikau, R.; Brunsden, D.; Schrott, L.; Ibsen, M.L. (1996) – Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes. John Wiley; Sons, Chichester.
- Dramis, F.; Sorriso-Valvo, M. (1994) – Deep-seated gravitational slope deformations related landslides, and tectonics. *Eng. Geology*, 38, pp. 231-243.
- Dyminski, A.S. (2010) – Noções de estabilidade de taludes e contenções. Estabilidade de Taludes. Universidade Federal do Paraná.
- Feio, M. (1981) – O relevo do Sudoeste de Angola. Estudo de Geomorfologia, Memórias da Junta de Investigações Científicas do Ultramar, 326p.
- Flageollet, J. C. (1989) – Les mouvements de terrain et leur prévention. Masson, Paris.
- Fontinhas, A.M.P. (2012) - Aplicação do SMR na avaliação da estabilidade de taludes de escavação em grauaques da Formação de Mértola. Tese de Mestrado em Engenharia Geológica – Geotecnia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 75 p.
- Giani, G. P. (1992) – Rock Slope Stability Analysis. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Gonzalez, I. (2006) – Estabilização de taludes em auto-estradas. Formação de Estabilização de Taludes. LEMO, Oeiras.

- GPH (2014) – Perfil da Província. Governo Provincial da Huíla. <http://www.huila.gov.ao>. Acedido em 15 de Julho de 2014.
- GPN (2014) – Perfil da Província. Governo Provincial do Namibe. <http://www.namibe.gov.ao/>. Acedido em 15 de Julho de 2014.
- Guerreiro, H.J.P. (2000) – Exploração subterrânea de mármore. Aspectos geotécnicos. Tese do mestrado. IST, Lisboa, 196 p.
- Guidicini, G.; Nieble, C. M. (1984) – Estabilidades de taludes naturais e de escavação. USP, 216 p.
- Henriques, M. H.; Tavares, A. O.; Bala, A. I. M. (2013) – The geological heritage of Tundavala (Angola): Na integrated approach to its characterization. *Journal of African Earth Sciences*, 88, pp. 62 – 71.
- Highland, L.M.; Bobrowsky P. (2008) – The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- Hoek; E.; Bray (1981) J. W. (1981) – Rock slope engineering. Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E. (2007) – Practical rock engineering. <http://www.rocscience.com/hoek>. Acedido em 15 de Janeiro de 2011.
- Hungr, O.; Evans, S. G.; Bovis, M.J.; Hutchinson, J.N. (2001) – A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, vol. VII (3), pp. 221 – 238.
- Hutchinson, J.N. (1968) – Mass movement. *Encyclopedia of Geomorphology*. Ed. R.W. Fairbridge. Reinhold, New York, pp. 688 – 695.
- Hyndman, D.; Hyndman, D. (2006) – Natural hazards and disasters. Thomson Brooks/Cole, Belmont.
- ISRM (1978) – Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.*, vol. 15.
- ISRM (1981) – Rock characterization testing & monitoring. ISRM suggested methods. E.T. Brown (Ed.). Published for the Commission on Testing Methods. Pergamon Press Ltd, Oxford.
- JIU (1959) – Missão de pedologia de Angola. Carta geral dos solos de Angola / Missão de Pedologia de Angola. Junta de Investigação do Ultramar (JIU), Lisboa.
- Junior, A.P.; Longo, A.C. (2010) – Análise dos movimentos de massa em área urbana: o caso do bairro dom giocondo. VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão Energia, Inovação, Tecnologia e Complexidade para a Gestão Sustentável, U.F.F., Brasil
- Kalukembe, A. Q (2010) – Caracterização e Avaliação Espacial das Formações Carbonatadas do Planalto da Humpata, Huíla – Angola. Tese de Mestrado em Geociências do ramo de Ambiente e Ordenamento, DCT, Universidade de Coimbra, 88 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.

- MACAFERRI (2008) – Sistemas contra a queda de rochas. Necessidades e Soluções. MACAFERRI América Latina, 20 p.
- MACCAFERRI (2012) – Barreiras Dinâmicas RMC. <http://www.maccaferri.com.pe>. Acedido em 9 de Julho de 2014.
- Matos (2008) - Estabilidade de Taludes em Rochas Silto-argilosas. Técnicas de Remediação para Roturas Superficiais. Dissertação de mestrado apresentado à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- NRCC (2005) – Landslides in Clays. National Research Council Canada. archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/cbd/building-digest-143.html. Acedido em 2 de julho de 2014.
- Oliveira, A.C. (2012) – Estudo da linha de base. Município do Namibe. Província do Namibe. FAS – Fundo de Ação Social, Programa de Desenvolvimento Local.
- Pereira, E.; Tassinari, C. C. G.; Rodrigues, J. F., Van-Dúnem, M. V. (2011) – New data on the deposition age of the volcano-sedimentary Chela Group and its Eburnean basement: Implication to post-Eburnean crustal evolution of the SW of Angola. *Comunicações Geológicas*, 98, pp. 29 – 40.
- Pereira, E.; Van-Dunen, M. V.; Tassinari, C. C. G. (2006) – Notícia explicativa da carta geológica de Bibala. Folha 335 Sul D – 33/ N – III. Instituto Geológico de Angola, Luanda.
- Pierson, L.A.; Davis, S.A.; Van Vickle, R. (1990) – Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual. Federal Highway Administration (FHWA). US Department of Transportation.
- Pires, R.; Gardite, D.; Luzia, R. (2012) – Aplicação do Sistema de Avaliação de risco “Rockfall Hazard Rating System” nos taludes da via EN 353 em Idanha-a-Nova. 13º Congresso Nacional de Geotécnia, LNEC, 16 p.
- Pistone, R.S. (2011) – Caracterização geotécnica de maciços rochosos. Exploração a Céu Aberto: Novos desenvolvimentos. Ordem dos Engenheiros, Lisboa.
- Hudson J.A.; Priest S.D. (1983): Discontinuity frequency in rock masses. *Int. J. Rock Mec. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol 20, No 2, pp. 73-89, 1983.
- Quinta-Ferreira, M. (2010) – Taludes em Rocha. Apontamentos teóricos da disciplina de Estabilidade de Taludes e Instrumentação. Departamento de Ciências da Terra da FCT da Universidade de Coimbra.
- Rizzon, M. M. (2012) – Risco Geotécnico de Encostas Ocupadas: Avaliação e indicação de soluções para mitigar problemas na Vila Graciliano Ramos em Porto Alegre. Trabalho de Diplomação para obtenção do título de Eng. Civil, UFRGS, Porto Alegre, 82 p.
- Rodrigues, F.; Teixeira, P.; Cardoso, C. (2009) - Aplicação do FMECA a sistemas de estabilização e reforço de maciços em túneis. Colóquio Internacional de Segurança e Higiene Ocupacionais, Universidade do Minho, Guimarães, pp. 555-561.
- Romana, M. (1988) – Practice of SMR classification for slope appraisal. Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides. Lausanne. Balkema, Rotterdam, vol. 2, pp 1227 – 1232.

- Santa, V. B. B. (2010) - Controlo de qualidade de ancoragens passivas e activas. Controlo de qualidade de ancoragens passivas e activas. Dissertação de Mestrado do Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, IST, Lisboa, 84 p.
- Scarpelli, A.G. (1994) - Classificação geomecânica aplicada à avaliação da estabilidade de taludes em minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Dissertação de Mestrado, EESC-USP, São Paulo, 187 p.
- SINFIC (2007) – Plano de desenvolvimento, Província da Huíla (Caracterização ambiental). Sistemas de Informação Industriais e Consultoria (SINFIC).
- Soeteres, R.; Van Western, C. J. (1996) – Slope Instability recognition, analysis, and zonation. In A. K. Turner & R. L. Schuster (eds), *Landslides – Investigation and Mitigation*: 129 – 177. Washigton, D. C.: National Academy Press. National Research Council. Transportation Research Board Special Report 247.
- Takahashi, T. (2007) - *Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures*, London, Taylor & Francis.
- Teixeira, M. (2005) – Movimentos de Vertente. Factores de ocorrência e metodologia de inventariação. *Geonovas*, 19, pp. 95-106.
- Torquato, J.R. (1974) – Algumas considerações sobre a idade do grupo Chela. Direcção Provincial dos Serviços de Geologia e Minas, Memória 14.
- Torquato, J.R.; Silva, A.T.S.F.; Cordani, U.G.; Kawashita, K. (1979) - Evolução geológica do cinturão móvel do Quipungo no ocidente de Angola. *An. Acad. Brás Ciên.*, 51, pp. 133-143.
- USGS (1990) – United States Geological Survey Open File Report 90-547, number XIV-4.
- USGS (2004) – *Landslide Types and Processes*. United States Geological Survey, 4p.
- Vale, F.S. (1968) – Folha 355 – Humpata-Cainde, escala 1: 100 000. Direcção provincial dos Serviços de Geologia e Minas.
- Vale, F.S. (1971) – Folha 336 – Sá da Bandeira, escala 1: 100 000. Direcção provincial dos Serviços de Geologia e Minas.
- Vallejo, L.I.G.; Ferrer, M.; Ortuño, L.; Oteo, C. (2002) – *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall, Madrid, 715p.
- Varnes, D.J. (1958) – *Landslide Types and Processes*. In Eckel, E.B (Ed), *Landslides and Engineering Practice*, Highway Research Board, Special Report. 29, Nat. Academ. Sci., pp.20 – 47.
- Varnes, D.J. (1978) – *Slope Movement Types and Processes*. In Special Report 176: *Landslide: Analysis and Control*. Eds R. L. Schuster & R.J. Krizek. Transportation Research Board, National Research Council, pp.11 – 33.
- Varnes, D.J. (1984) – *Landslide Hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris.
- WP/WLI (1993) – A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 47, pp. 53-57.

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