

APLICAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE RISCO "ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM" NOS TALUDES DA VIA EN353 EM IDANHA A NOVA

APPLICATION OF THE RISK ASSESSMENT SYSTEM "ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM" IN THE EN353 IN IDANHA A NOVA

Pires, Ricardo; *Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal, rmvpres@ipcb.pt*
Gardete, Dinis; *Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal, dgardete@ipcb.pt*
Luzia, Rosa; *Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco, Portugal, rluzia@ipcb.pt*

RESUMO

Atendendo às características geológicas da Beira Baixa é comum a existência de estradas em maciços graníticos onde existe uma diversidade elevada de locais de risco. A utilização de métodos simples de avaliação de risco para a tomada de decisão sobre medidas de protecção apresenta-se, neste contexto, como um instrumento de grande utilidade no apoio à decisão. No presente trabalho estudou-se a aplicação do sistema de avaliação de risco em taludes rochosos "Rockfall Hazard Rating System" (RHRS), num troço da via EN353 na localidade de Idanha-a-Nova, como forma expedita de decisão da necessidade de intervenção. Procurou adaptar-se a classificação RHRS para as condições particulares das normas portuguesas. Os resultados obtidos neste trabalho permitem indicar que a utilização de metodologias simples, como o RHRS, pode ser muito útil como ferramenta de apoio à decisão. As alterações propostas introduzem conceitos menos subjectivos e mais próximos da realidade portuguesa.

ABSTRACT

Given the geological characteristics of Beira Baixa is very common the existence of roads that pass through granite formations. It is observed that in many roads the number and diversity of existing cases of rockfall hazard are very high. The use of simple methods of risk assessment for decision making on mitigation measures is presented in this context as a valuable tool for decision support. In this work it was made the assessment of the risk of rock falling using the "Rockfall Hazard Rating System" (RHRS) as a simple decision support method to evaluate of the need for mitigation measures. Two sections of the EN353 road in the town of Idanha-a-Nova were analyzed. The authors sought to establish hazard functions adapted to Portuguese practice. The results of this study confirm that the use of simple methods, such as RHRS, can be very useful as a tool for decision support. The proposed modifications use concepts less subjective and closer to the Portuguese reality.

1 - INTRODUÇÃO

Considerando que o risco de queda de blocos rochosos se encontra relacionado existe quando se observa a probabilidade de este afectar uma área onde existam actividades humanas provocando danos, assim, com a crescente ocupação do território a presença da actividade humana junto a taludes e encostas rochosas tem vindo a aumentar. Deste modo, este é um problema em crescendo (Li, Huang, Xue, & Yin, 2009). Em Portugal essa tendência tem aumentado igualmente observando-se inclusivamente alguns acidentes que se enquandram nesta temática. Este problema levou ao aparecimento de um número significativo de métodos de análise de queda de blocos bem como a utilização de novas técnicas de mitigação deste problema (Brukno et al., 2010). Estes métodos apresentam, contudo, algumas fraquezas. Métodos que apresentam maior fiabilidade são em geral complexos, exigem a utilização de equipamentos e técnicos especializados que se encontram associados a maiores custos. Para análises ao nível de decisão estratégica por administrações em que o número de locais a avaliar é significativo a utilização de métodos complexos e onerosos pode ser um obstáculo para proceder a este tipo de avaliação. Observe-se no caso português a questão das estradas, tipo de estrutura em que os locais com taludes rochosos pode ser extremamente significativo (Budetta, 2004), no entanto, um número considerável de Estradas Nacionais sob a tutela de um organismo central tem vindo a transitar para a alçada dos Municípios, em muitos casos com falta de pessoal técnico capacitado para análises complexas. Neste cenário, a utilização de metodologias de avaliação simples poderá ser essencial no estabelecimento de rotinas de avaliação de risco de queda de blocos em taludes rochosos por parte das administrações. Para situações que se enquadram no exposto a metodologia a implementar para avaliação de risco deve ter uma base empírica, ser fiável e poder ser aplicada por técnicos com formação regular. A sua aplicação deverá ser relativamente simples e lesta bem com não ter associado custos significativos.

O *Rockfall Hazard Rating System* (RHRS) (Pierson e Van Vickie, 1993) insere-se neste tipo de abordagem mais simples. O RHRS foi desenvolvido no estado norte-americano de Oregon e foi o primeiro método de análise de risco para a queda de blocos rochosos. O objectivo seria avaliar a exposição ao risco associado à queda de blocos e priorizar as intervenções ou estudos profundos a realizar bem como avaliar a alocação de recursos relacionados com as medidas de protecção. O sistema tem vindo a ser adoptado por

um significativo número de Departamentos de Transportes nos EUA, em alguns casos com modificações (Russel et al., 2008) e também noutros países (Buddetta & Panico, 2002; Li et al., 2009 e Luciano, 2008). São referidos alguns aspectos negativos quanto à aplicação do RHRS, como seja o facto de poder não dar um contributo efectivo para aumento da segurança das pessoas, devido à avaliação realizada diferir do comportamento observado do talude, ou de dificuldade de análise de soluções a implementar e os seus custos com base apenas na classificação por este método (Brukno et al., 2010). O RHRS foi desenvolvido para aplicar em vias de comunicação inserindo na avaliação parâmetros relacionados com o tráfego, velocidade dos veículos, visibilidade do condutor, largura da estrada e eficiência da valeta. Os parâmetros relativos ao tráfego destinam-se a avaliar a exposição ao perigo quando combinados com o a probabilidade de queda de blocos (Budetta, 2004). Para além do caso particular das estradas existe igualmente estudos sobre a avaliação da exposição ao perigo para outros locais com ocupação humana (Nix e Marinoni, 2006). Para avaliar a probabilidade de queda de blocos é habitual contabilizar elementos relacionados com o talude (altura do talude, natureza geológica, volume dos blocos, presença de água nas discontinuidades precipitação e ciclos gelo-degelo e número casos de queda observados). A classificação é determinada em cada categoria utilizando uma função exponencial. A classificação final é definida pela soma dos resultados obtidos nas diferentes categorias. Budetta (2004) propôs alterações à classificação para aplicação em Itália, em que considerou que a avaliação qualitativa de algumas categorias torna a classificação demasiado subjectiva. Deste modo, simplificou e tornou mais objectivas as classificações nas categorias de eficiência das valetas, caracterização geológica (introduzindo neste caso o valor do SMR), volume dos blocos, precipitação anual, circulação de água e histórico de queda de blocos (Budetta, 2004 e Li et al., 2009).

O objectivo deste trabalho consistiu em realizar esta análise a dois troços da EN 353 em Idanha-a-Nova. Estes troços apresentam-se inseridos numa paisagem de "caos de blocos" muito comum em maciços graníticos. Os batólitos graníticos atravessam diferentes estados durante a sua meteorização, uma classificação de quatro estados inclui, o granito são, formação de blocos, granito alterado e saprólitos. Conforme o grau de meteorização existem diferentes riscos relacionados com estas formações. No caso da ocorrência de erosão dos materiais mais degradados é comum encontrarem-se à superfície do terreno blocos de granito existindo a possibilidade de rolamento destes. No caso das faces dos taludes de escavação o perigo de queda de blocos está relacionado com a existência de discontinuidades uma vez que em geral o granito se apresenta são. Existe, deste modo, o perigo de rolamento de blocos sobre a via, bem como os outros modos de rotura como sejam o toppling, a rotura planar ou até a rotura em cunha nos taludes. O objectivo do trabalho será através da análise realizada a estes troços avaliar um método que possa ser utilizado neste tipo de situações

2 - "ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM" - RHRS

Numa análise da situação no local, atendendo à extensão e à complexidade de mecanismos de rotura envolvidos, foi necessário escolher um método que permitisse avaliar o potencial de risco de modo a estabelecer os troços em que era necessário estabelecer medidas de protecção da via.

Atendendo à dificuldade de implementação uma investigação aprofundada ao longo das centenas de metros dos troços da EN353 a analisar, adoptou-se o *Rockfall Hazard Rating System*, RHRS. A adopção do sistema deveu-se à sua simplicidade em termos de aplicação e ao baixo custo em termos de análise, para a extensão envolvida. O sistema consiste na atribuição de notas a 10 categorias distintas, Quadro 1.

Quadro 1 - Pontuação dos parâmetros do método RHRS, adaptado do sistema imperial para o sistema métrico (Pierson e Van Vickie, 1993)

Categoria	Critérios de Seleção e Notas				
	3 Pontos	9 Pontos	27 Pontos	81 Pontos	
Altura do talude (m)	8 m	15 m	23 m	30 m	
Eficiência da valeta	Boa capacidade	Capacidade Moderada	Capacidade limitada	Sem Capacidade	
Risco médio para veículos (%)	25%	50%	75%	100%	
Distância de visibilidade de decisão (%)	Distância adequada, 100% da distância mínima de projecto	Distância moderada, 80% da distância mínima de projecto	Distância limitada, 60% da distância mínima de projecto	Distância muito limitada, 40% da distância mínima de projecto	
Largura da via incluindo bermas pavimentadas	13,4 m	11,0 m	8,5 m	6,1 m	
Características geológicas	Caso 1 Condição Estrutural	Juntas descontinuas, com orientação favorável	Juntas descontinuas, sem orientação preferencial	Juntas descontinuas, com orientação desfavorável	Juntas contínuas, com orientação desfavorável
	Rugosidade entre planos	Rugoso, irregular	Ondulado	Planar	Preenchidas com argila ou abertas
	ou				
Caso 2 Condição estrutural	Pouca presença de alterações erosivas	Presença ocasional de alterações	Presença sistemática de alterações	Grandes alterações erosivas	
Taxa de erosão	Baixa	Moderada	Alta	Extrema	
Tamanho dos blocos (m)	0,3 m	0,6 m	0,9 m	1,2 m	
ou					
Volume de blocos (m ³)	2,3 m ³	4,6 m ³	6,9 m ³	9,2 m ³	
Clima e presença de água no talude	Precipitação baixa a moderada; sem períodos de gelo; sem água no talude	Precipitação moderada; ligeiros períodos de gelo; com água no talude intermitentemente	Precipitação elevada ou períodos de gelo contínuos; água no talude continuamente	Precipitação elevada e períodos de gelo contínuos ou água no talude continuamente e longos períodos de gelo	
Historial de Queda de blocos	Poucas	Ocasionais	Muitas	Constantemente	

Para cada um dos parâmetros é atribuída uma classificação pontual que varia entre os 3 e os 81 pontos de forma exponencial, podendo determinar-se de forma precisa a pontuação através da equação [1],

$$y = 3^x \quad [1]$$

Onde,

x – Valor obtido pelas equações para cada elemento a avaliar.

Quanto mais baixa a pontuação menor o risco rotura. No final somam-se as pontuações atribuídas e, caso esta seja inferior a 300, considera-se o risco baixo e devem ser tomadas medidas a curto ou médio prazo, no caso de ser superior a 500 então o risco é elevado e devem ser tomadas medidas de carácter urgente.

Os parâmetros a caracterizar são:

- **Altura do talude**, consiste na medição, na vertical, da altura do talude. Quanto maior a altura vertical maior a energia potencial daí maior o risco e maior a pontuação. A equação [2] traduz o valor de x constante da equação [1].

$$x = \frac{\text{alturado talude(m)}}{7,5} \quad [2]$$

- **Eficiência da valeta**, consiste na atribuição de uma pontuação função da existência ou não de valeta e, naquele caso, da sua eficácia no que respeita a impedir a entrada de blocos na via.
- **Risco médio para veículos (AVR)**, neste item procura-se caracterizar, em percentagem, a ocupação da via, função do tráfego médio horário da mesma. A pontuação é atribuída, em função do tráfego médio horário (TMH), do comprimento do troço e da velocidade limite sendo que, quanto menor a velocidade e maior o tráfego, maior é o risco. Deste modo, o AVR, *average vehicle risk*, é dado pela equação [3].

$$AVR = \frac{TMH \times \text{Comprimento do Troço(km)}}{\text{Velocidade Limite(km/h)}} \times 100 \quad [3]$$

A equação [4] traduz o valor de x constante da equação [1].

$$x = \frac{AVR}{25} \quad [4]$$

- **Distância de visibilidade de decisão, DVD**, refere-se à análise da relação entre a distância de visibilidade de decisão real (DVD_{real}) e a distância de visibilidade de projecto (DVD_{proj}). A DVD_{real} depende do traçado da via, nomeadamente a existência de curvas, enquanto a DVD_{proj} depende da velocidade de projecto. O parâmetro determina-se, em percentagem, através da equação [5].

$$DVD = \frac{DVD_{real}}{DVD_{proj}} \times 100 \quad [5]$$

Na equação [1] x assume o valor expresso na equação [6].

$$x = \frac{120 - DVD}{20} \quad [6]$$

Largura da via incluindo bermas pavimentadas. Quanto mais larga a via menor o risco de ocupação total com blocos caídos do talude, pelo que em vias mais estreitas será maior a pontuação atribuída. A equação [7] traduz o valor de x constante da equação [1].

$$x = \frac{15,86 - \text{largura via(m)}}{2,44} \quad [7]$$

- **Características geológicas.** Este item é caracterizado de forma distinta dos anteriores, atendendo a que apresenta dois casos, tendo que optar-se por um deles. O Caso 1 compreende sistemas de taludes em que as discontinuidades são o sistema estrutural principal que afecta a possibilidade de rotura. O caso 2 compreende um sistema estrutural alterado devido à erosão. A selecção da condição estrutural em qualquer dos casos bem como a taxa de erosão no caso 2, poderá ser alvo de interpretação díspar por diferentes intérpretes.
- **Tamanho dos blocos ou volume dos blocos resultantes da rotura.** À semelhança do item anterior, são colocadas duas situações de selecção, o tamanho dos blocos e o volume. A escolha baseia-se na observação do local, seleccionando o tamanho dos blocos quando se prevê que a rotura promova a queda de blocos isoladamente ou o volume de blocos quando se prevê que a rotura promova deslocamento de volumes e não de blocos isolados.

A equação [8] ou equação [9] traduzem o valor de x constante da equação [1] para cada caso.

$$x = \frac{\text{tamanho do bloco(m)}}{0,3048006} \quad [8]$$

$$x = \frac{\text{volume(m}^3\text{)}}{2,3} \quad [9]$$

- **Clima e presença de água.** A análise deste tipo de fenómeno não pode ser dissociado da presença água, mais concretamente da precipitação, dado que tem grande influência na estabilidade das estruturas. Assim sendo, faz-se a análise da quantidade de precipitação anual e a possibilidade desta congelar, ou não, durante alguns períodos do ano. Neste parâmetro também será útil analisar, caso exista, o historial de queda de blocos em dias de precipitação ou períodos de chuvada. Consideram-se zonas de baixa precipitação aquelas com valores da ordem dos 550 mm/ano e zonas de elevada precipitação para locais com valores da ordem dos 1375 mm/ano. É igualmente avaliada a presença de água nas faces dos taludes.
- **Historial de queda de blocos.** Neste item analisam-se registos de queda de blocos ao longo dos anos. A frequência, a quantidade, em que condições climatéricas ocorreram e os danos provocados são dados importantes a recolher, não só para aplicação do método em si mas também com vista ao tratamento estatístico das consequências dessas quedas.

Nesta secção foi apresentado o método original de RHRS, tendo sido feita apenas a adaptação do sistema imperial para o sistema métrico, atendendo à utilidade da sua aplicação em Portugal. Todos os itens são analisáveis com visita ao local e interpretação de cartas e apoio topográfico, não sendo, até este momento, necessário qualquer equipamento específico de corte ou de carga. O método RHRS foi por este motivo escolhido para análise do talude da EN353.

3 - "ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM" MODIFICADO – RHRS MODIFICADO

A aplicação do método no sul da Itália demonstrou que o método RHRS, atendendo à sua simplicidade, apresenta parâmetros subjectivos criticáveis, tais como as categorias em que se atribui a nota através de uma análise descritiva, sejam as características geológicas, a eficiência das valetas, a presença de água e o historial de queda de blocos, (Buddeta e Panico, 2002). Em Buddeta e Panico (2002) são apresentadas modificações de modo a eliminar a subjectividade, deste modo foram feitas correcções à eficiência da valeta, as características geológicas foram substituídas pelo *Slope Mass Rating, SMR*, foram definidos valores de precipitação e valores para o historial de queda. No presente trabalho adoptaram-se as normas de traçado do INIR (INIR, 2010) no parâmetro de percentagem da distância de visibilidade de decisão, visto que o método original segue as normas da ASHTTO e na largura da faixa de rodagem adoptaram-se as dimensões dos perfis transversais tipo inscritos no referido documento.

Deste modo, no Quadro 2 apresenta-se um resumo do sistema RHRS modificado.

As respectivas alterações propostas por Buddeta e Panico (2002), e agora adaptadas pelos autores, ao sistema original são as seguintes:

- **Eficiência da valeta**, na determinação da eficiência da valeta, tem que se considerar, a altura do talude e respectiva inclinação; a largura, a profundidade e a forma da valeta. Com recurso ao ábaco de Ritchie's, Figura 1, é possível dimensionar a valeta para uma boa recepção do material proveniente do talude e desta forma avaliar uma valeta existente a fim de aferir o seu correcto dimensionamento e validar o seu resultado no RHRS modificado.

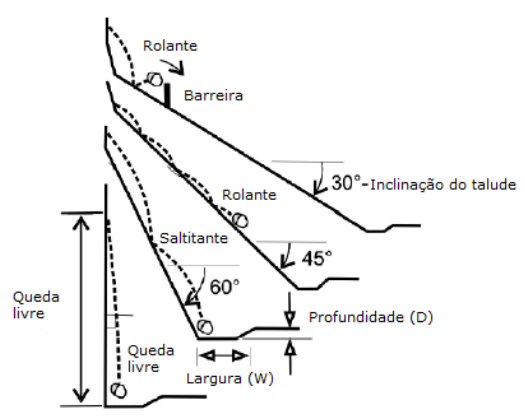
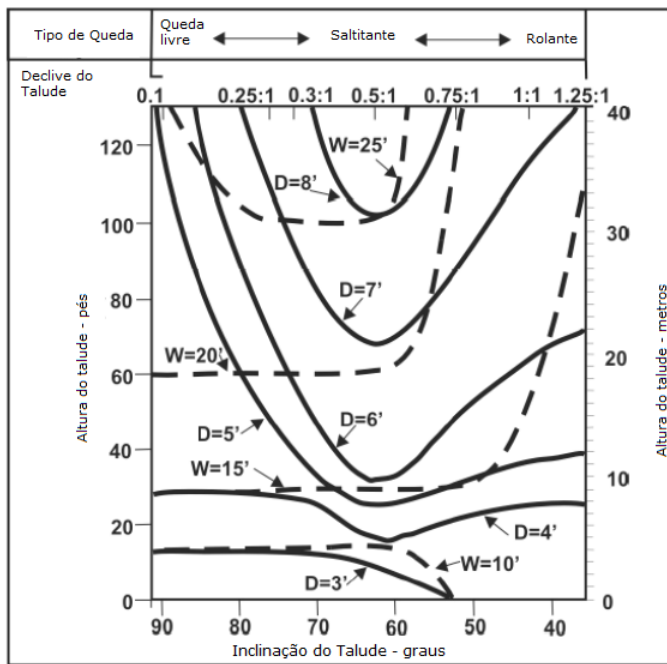


Figura 1 - Ábaco de Ritchie's para dimensionamento de valetas, adaptado de (Luciano, 2008)

Quadro 2 - Quadro resumo do método RHRS modificado, adaptado de Buddeta e Panico (2002)

Categoria	Critérios de Selecção e Notas			
	3 Pontos	9 Pontos	27 Pontos	81 Pontos
Altura do talude (m)	8 m	15 m	23 m	30 m
Eficiência da valeta	Boa capacidade: dimensionada correctamente de acordo com o ábaco de Ritchie's + barreiras de protecção	Capacidade Moderada: dimensionada correctamente de acordo com o ábaco de Ritchie's	Capacidade limitada: dimensionada incorrectamente	Sem Capacidade
Risco médio para veículos (%)	25%	50%	75%	100%
Distância de visibilidade de decisão (%)	Distância adequada, 100% da distância mínima de projecto	Distância moderada, 80% da distância mínima de projecto	Distância limitada, 60% da distância mínima de projecto	Distância muito limitada, 40% da distância mínima de projecto
Largura da via incluindo bermas pavimentadas	28,5 m	14,0 m	11,5 m	6,0 m
Características Geológicas Slope Mass Rating (SMR)	80	40	27	20
Tamanho dos blocos (m)	0,3 m	0,6 m	0,9 m	1,2 m
Volume do bloco (m ³)	26 dm ³	0,21 m ³	0,73 m ³	1,74 m ³
Volume de blocos após rotura (m ³)	2,3 m ³	4,6 m ³	6,9 m ³	9,2 m ³
Clima e presença de água no talude	h=300mm ou sem períodos de gelo	h=600mm ou ligeiros períodos de gelo	h=900mm ou períodos de gelo contínuos	h=1200mm ou períodos de gelo contínuos
Historial de Queda de blocos	1 por cada 10 anos	3 por ano	6 por ano	9 por ano

- **Distância de visibilidade de decisão, DVD**, a distância de visibilidade de decisão está relacionada com a velocidade de projecto, ou velocidade de base. Como na formulação original esta é determinada pelas normas AASHTO visto tratar-se do modelo americano, entenderam os autores adaptar a situação ao normativo português, ou seja ao proposto pelo INIR (2010) no que concerne à velocidade de tráfego (V_t) e consequente à distância de visibilidade de decisão de projecto.

É necessário também proceder a uma análise no sentido ascendente ou descendente da via, pois um objecto caído após uma curva estará mais escondido num sentido do que no outro. Deste modo a distância de visibilidade de decisão real (DVD_{real}) é diferente da de projecto

A distância de visibilidade de decisão de projecto é dada por,

$$DVD_{proj} = 3,3 \times V_t \quad [10]$$

Assim sendo o parâmetro é obtido em percentagem por:

$$DVD = \frac{DVD_{real}}{DVD_{proj}} \times 100 \quad [11]$$

conforme também a metodologia original.

- **Largura da via**, mais uma vez foi decido adaptar o método aos perfis transversais tipo das faixas de rodagem apresentados pelo (INIR, 2010). Deste modo a largura das vias considerada é superior ao proposto por (Pierson e Van Vickie, 1993), sendo deste modo mais gravoso do que o método original.
- **Características geológicas**, neste parâmetro procurou-se eliminar a subjectividade inerente á decisão da selecção em função do tipo de descontinuidade ou em função da alteração, pelo que se propõe a utilização do *Slope Mass Rating*, (SMR), desenvolvido por Romana posteriormente a Bieniawski após o desenvolvimento do sistema de *Rock Mass Rating*, (RMR) segundo Singh e Goel (1999).

Aplicando o SMR é necessário conhecer a atitude das descontinuidades existentes, o tipo de rotura prevista (planar, cunha e/ou toppling) e o método de escavação do talude (natural, escavação mecânica ou com explosivos).

Assim o SMR é obtido da seguinte forma:

$$SMR = RMR - (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4 \quad [12]$$

Onde o F_1 , é o factor que estabelece a relação entre a orientação das descontinuidades e a face do talude. F_2 é o factor relacionado com a inclinação das descontinuidades. F_3 é o factor que relaciona a inclinação da descontinuidade com a inclinação do talude. F_4 é um factor de ajustamento relacionado com o método de escavação.

- **Volume do bloco**, o parâmetro em causa, introduzido agora nesta versão do método, tem por objectivo quantificar, com base nas descontinuidades existentes e identificadas, a real dimensão dos blocos gerados por estas. Por conseguinte é necessário definir o espaçamento entre descontinuidades bem como o ângulo entre elas. O volume do bloco (V_b) é dado por,

$$V_b = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\prod_{i=1}^n \sin(\alpha_i)} \quad [13]$$

Em que:

$\sum_{i=1}^n S_i$ - é o somatório dos espaçamentos das descontinuidades e,

$\prod_{i=1}^n \sin(\alpha_i)$ - é o produtório dos ângulos de inclinação das descontinuidades.

Após a determinação do volume do bloco, determina-se a dimensão do bloco (D_b), que não é mais do que,

$$D_b = \sqrt[3]{V_b} \quad [14]$$

Com o valor de D_b atribuí-se a nota a este item.

- No parâmetro **Clima e presença de água no talude**, deixa de se contabilizar o efeito desta visto que a sua presença já foi quantificada anteriormente no parâmetro de caracterização geológica através do SMR. Contudo contabilizam-se agora os valores médios da precipitação anual, considerando-se zonas de precipitação moderada para valores da ordem dos 600 mm e zonas de precipitação elevada para valores da ordem dos 1200 mm por ano. Manteve-se a condição de períodos de gelo da formulação original.

Em suma, a metodologia modificada agora apresentada tem por base o método de RHRS original desenvolvido por Pierson e Van Vickie (1993), o método modificado proposto por Buddeta e Panico (2002) e a adaptação às normas portuguesas agora proposta pelos autores.

4 - ANÁLISE DO CASO EM ESTUDO

O traçado que se realiza na encosta foi seccionado em 5 troços distintos tendo sido identificados dois troços que se enquadravam no âmbito de aplicação deste método e cuja análise foi realizada. Estes troços foram designados por Troço 3, PK 13+000 até ao 13+250, e Troço 5, PK 13+450 até ao 13+800, apresentando-se a sua localização na Figura 2.

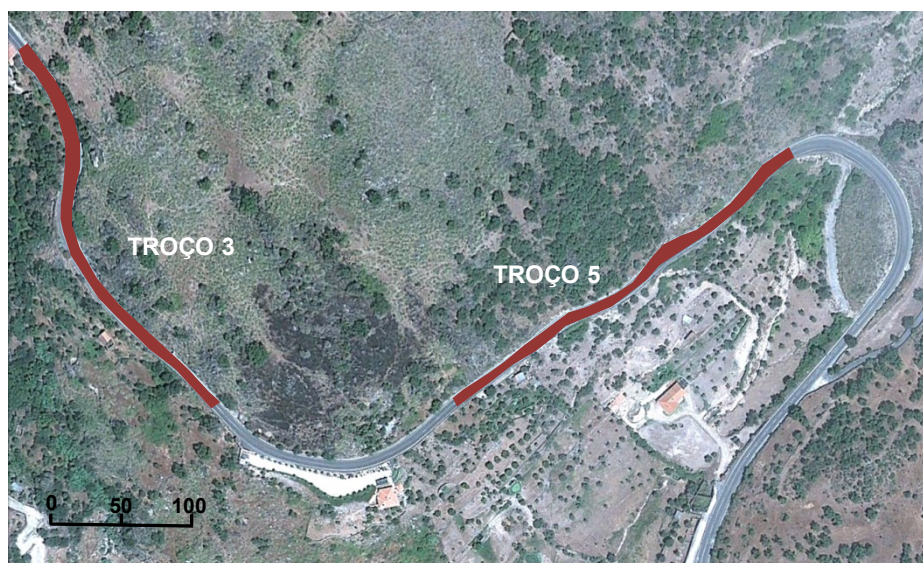


Figura 2 - Localização dos troços analisados com o RHRS

4.1. - Avaliação dos parâmetros relevantes

4.1.1. - Altura do talude

A altura do talude, foi determinada, a partir das cartas militares através do diferencial entre curvas de nível, deste modo determinou-se a altura do talude da ordem dos 60 metros.

4.1.2. - Eficiência da valeta

Conforme observável na Figura 3, a valeta existente não tem qualquer capacidade de retenção de blocos pelo que se considerou tanto para o RHRS como para RHRS modificado, valeta sem capacidade.

4.1.3. - Risco médio para veículos, AVR

Para determinação do risco médio para veículos utilizou-se a equação

$$AVR = \frac{TMH \times \text{Comprimento do Troço (km)}}{\text{Velocidade Limite (km/h)}} \times 100$$

[3] considerando TMH de 60 veículos por hora, um comprimento de 0,25 e 0,35 km respectivamente para o troço 3 e 5. A velocidade limite estabelecida para ambos os troços, por sinalização vertical, é de 50 km/h.

Assim o AVR é igual a 30% e 42% para os troços 3 e 5 respectivamente.



Figura 3 - Valeta existente no local, exclusivamente para efeitos de drenagem sem capacidade de retenção

4.1.4. - Velocidade dos veículos

A velocidade dos veículos pode ser estimada utilizando a metodologia proposta na Norma de Traçado (INIR, 2011). A metodologia é de simples aplicação e tem por fundamento expressões cujos parâmetros são relativamente fáceis de estimar, mesmo na análise de estradas já existentes, em que, frequentemente é difícil ter acesso ao projecto de traçado. Optou-se por aplicar as equações e [15] e [16] relativas a estradas com bermas pavimentadas que permitem determinar a velocidade média de circulação em elementos rectos e curvos, respectivamente.

$$V_{mr} = -28,52 - 0,047 \times S + 15,75 \times L_F + 0,023 \times R_{PC} \quad [15]$$

Em que:

V_{mr} – Velocidade média de circulação livre em recta [km/h],
 S – Sinuosidade média nos 500 metros antecedendo o início da recta [°/km],
 L_F – Largura da faixa de rodagem [m],
 R_{PC} – Raio da curva anterior ao início da recta [m].

$$V_{mc} = 16,44 + \frac{158,05}{\sqrt{R_c}} + 2,12 \times L_F + 0,705 \times V_{MR} \quad [16]$$

Em que:

V_{mc} – Velocidade média de circulação não impedida em curva [km/h],
 S – Sinuosidade média nos 500 metros antecedendo o início da recta [°/km],
 L_F – Largura da faixa de rodagem [m],
 V_{MR} – Velocidade média de circulação livre na recta de aproximação à curva [km/h].

A análise realizada incluiu os troços em estudo e alguns elementos adjacentes cuja inclusão é necessária de modo a se poder determinar a velocidade média nos troços com alguma coerência uma vez que a velocidade de circulação num determinado elemento do traçado depende da velocidade de circulação dos elementos adjacentes. Como o tráfego não é elevado considera-se que estas velocidades podem ser adoptadas. O perfil de velocidades médias de circulação obtido apresenta-se na Figura 4.

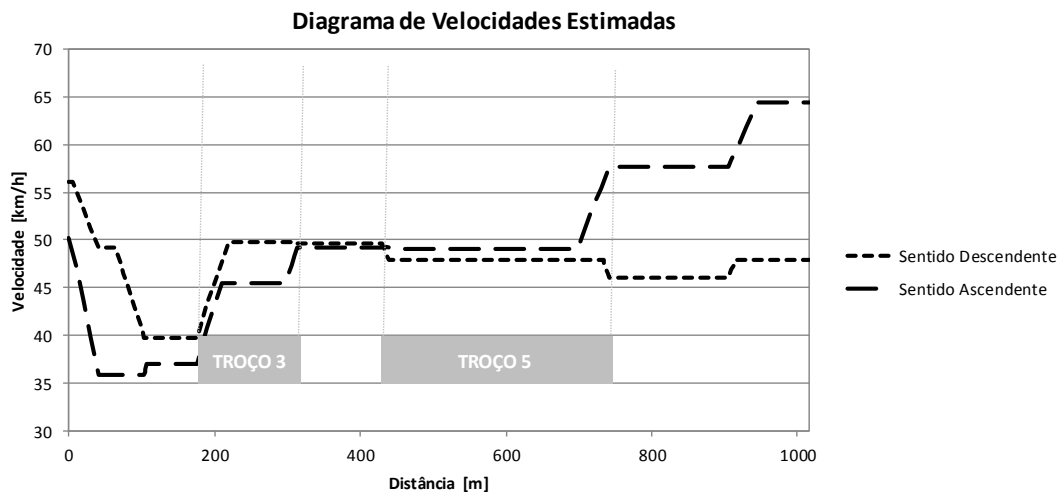


Figura 4 - Diagrama de velocidade médias de circulação para os troços em estudo

Para o Troço 3 obteve-se uma velocidade média de circulação de 50 km/h em sentido descendente e de 45 km/h em sentido ascendente. Para o Troço 5 obteve-se uma velocidade de 48 km/h em sentido descendente e de 49 km/h em sentido ascendente. Assim, considera-se que a adopção de uma velocidade média de circulação de 50 km/h como apropriada atendendo às características da via existente. Para análise do risco toma-se o valor da velocidade de tráfego, esta é definida como a velocidade correspondente ao percentil 85. Para uma velocidade de circulação média de 50 km/h a velocidade de tráfego poderá ser tomada como 60 km/h.

4.1.5. - Distância de visibilidade de decisão

Esta é determinada a partir da equação $DVD = \frac{DVD_{real}}{DVD_{proj}} \times 100$ [5] $DVD = \frac{DVD_{real}}{DVD_{proj}} \times 100$ [5], contudo é

necessário determinar a DVD_{proj} que corresponde neste caso para uma velocidade de tráfego de 60 km/h para o RHRS a um valor de 182,52 m e para o RHRS modificado um valor de 200 m.

A DVD_{real} para qualquer um dos métodos corresponde no sentido ascendente, como o mais desfavorável para o troço 5 da ordem dos 25 metros e no sentido descendente, para o troço 3 da ordem dos 27 metros.

4.1.6. - Largura da via incluindo bermas pavimentadas

Através de medição no local determinou-se a largura da via com 6,1 metros.

4.1.7. - Características geológicas

Para o sistema RHRS considerou-se o caso 1. Através de análise visual no local determinou-se com base na orientação das descontinuidades, Figura 5, que se tratava de juntas contínuas com orientações desfavoráveis. De amostras de mão recolhidas foi observável as descontinuidades planares.

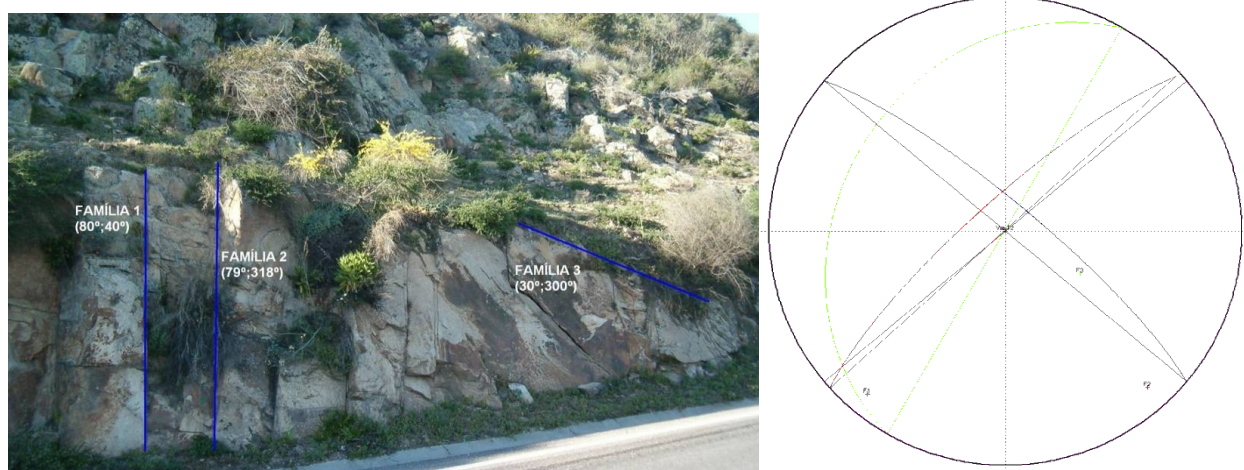


Figura 5 - Identificação das famílias e respectiva projecção estereográfica

4.1.8. – Rock Mass Rating

O índice de RMR é determinado, através da formulação inicial proposta por Bieniawski, com base na resistência à compressão, no *Rock Quality Designation*, RQD, no espaçamento entre descontinuidades na condição das fracturas e na presença da água (Quadro 3).

Quadro 3 - Quadro resumo dos parâmetros de RMR, adaptado de Singh e Goel (1999)

Resistência à compressão simples (MPa)	>200	200-100	100-50	50-25	25-10	10-3	3-1
Nota	15	12	7	4	2	1	0
RQD (%)	100-90	90-75	75-50	50-25	<25		
Nota	20	17	13	8	3		
Espaçamento de Descontinuidades	3 m	3-1 m	1-0,3 m	30-5cm	<5cm		
Nota	30	25	20	10	5		
Condições das fracturas	muito rugosas, descontínuas, sem separação, planos são	ligeiramente rugosas, separação <1mm, planos são	ligeiramente rugosas, separação <1mm, planos alterados	estriadas ou preenchidas <5mm ou abertas 1-5 mm, contínuas	preenchidas com argilas >5mm ou abertas >5mm, contínuas		
Nota	25	20	12	6	0		
Água Subterrânea	Fluxo	Nenhum	Nenhum	< 25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min	
	$R = \frac{u_0}{\sigma'}$	0	0	0-0,2	0,2-0,5	>0,5	
	Condições Gerais	seco	seco	água intersticial	pressão moderada	problemas graves com a água	
Nota	10	10	7	4	0		

Os parâmetros a sombreado no Quadro 3 foram os considerados para efeito de RMR. Para o RQD, pois não foi possível aferi-lo, considerou-se a opção mais desfavorável. A resistência à compressão foi determinada através do ensaio de *point load* (ASTM, 1995), onde se obteve uma resistência média de 70kPa. Deste modo o valor de RMR é de 42.

4.1.9. – Slope Mass Rating

O índice SMR é determinado através da equação $SMR = RMR - (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$ [12]. É necessário determinar os factores F_i que dependem da atitude das descontinuidades e do talude (Quadro 4).

Quadro 4 - Caracterização da atitude das descontinuidades e dos taludes

Famílias de descontinuidades	Inclinação	Orientação
J1	80	40
J2	79	318
J3	30	300
Talude troço 3 (S3)	26	180
Talude troço 5 (S5)	40	135

Os Factores de redução, F_i , segundo (Singh & Goel, 1999), podem ser definidos do seguinte modo:

O factor F_1 foi inicialmente estabelecido como um factor empírico, variando desde 0,15 até 1,0 consoante a relação do ângulo de orientação da face do talude e da descontinuidade, sendo o valor de 0,15 para ângulos superiores a 30°, onde a probabilidade rotura é muito baixa, chegando a valores próximos de 1,0 quando a face e a descontinuidade se aproximam do paralelo. Este pode ser determinado recorrendo às equações [17] e [18],

$$F_1 = (1 - \sin A)^2 \quad [17]$$

Onde,

$$A = (\alpha_s - \alpha_j) \quad [18]$$

Em que,

α_s - é a orientação da face do talude

α_j - é a orientação da descontinuidade

O factor F_2 traduz a inclinação da descontinuidade. O valor varia desde 0,15 até 1,0 correspondendo a inclinações desde a ordem dos 20° a maiores que 45°, respectivamente. Quando a rotura potencial é do tipo *toppling* considera-se F_2 igual à 1,0.

O factor F_3 traduz a relação entre a inclinação das descontinuidades e a face do talude, dependendo este do tipo de rotura considerada sendo,

- Rotura planar
$$F_3 = (\beta_j - \beta_s) \quad [19]$$

- Rotura cunha
$$F_3 = (\beta_i - \beta_s) \quad [20]$$

- Rotura por *toppling*
$$F_3 = (\beta_j + \beta_s) \quad [21]$$

Sendo que,

β_j , é a inclinação da descontinuidade;

β_i , é a inclinação da recta de intersecção das descontinuidades;

β_s , é a inclinação do talude;

O factor F_4 , traduz o método de escavação, caso se trate de talude natural, escavação com explosivos ou escavação com meios mecânicos.

Para o caso de taludes naturais, $F_4 = +15$.

Na avaliação feita, a situação mais desfavorável foi a rotura por *toppling* no conjunto talude, descontinuidade J_2 , para o Troço 5. Assim para a situação em causa determinaram-se os factores constantes do Quadro 5.

Quadro 5 - Valores dos factores de ajustamento, (Singh e Goel, 1999)		
Factores	Ângulo (°)	Valor
F_1 [<i>toppling</i> - ($\alpha_{J2} - \alpha_{S5} - 180^\circ$)]	3	1,0
F_2 [<i>toppling</i>]	-	1,0
F_3 [<i>toppling</i> - ($\beta_{J2} + \beta_{S5}$)]	119	-6
F_4	Talude natural	+15

Aplicando a equação $SMR = RMR - (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$ [12] determinou-se,

$$SMR = 42 - 6 + 15 = 51 \quad [22]$$

4.1.10. – Tamanho dos blocos

Atendendo ao observado no local e às medições efectuadas, considerou-se para ambos os troços um tamanho de blocos da ordem dos 1,2 metros, aplicado ao RHRS.

Para o sistema modificado aplicou-se as equações [13] e [14].

4.1.11. – Clima e presença de água na face do talude

Para o sistema RHRS, considerou-se a condição de ligeiros períodos de gelo, atendendo ao conhecimento do local e também foi visível água intermitente na face do talude.

Em termos de precipitação média anual observou-se as normais climatológicas 1971-2000, para o distrito de Castelo Branco, (Instituto de Meteorologia), onde a precipitação média anual é de 758,3mm. Assim para o sistema RHRS modificado considera-se precipitação moderada e ligeiros períodos de gelo.

4.1.12. – Historial de queda de blocos

Considerou-se para qualquer um dos sistemas como inexistência de quedas ou poucas, atendendo a que não existe qualquer informação ou registo sobre quedas.

4.2. – Avaliação pelo RHRS

No Quadro 6 e Quadro 7 apresentam-se os valores obtidos para o Troço 3 e Troço 5, respectivamente.

Quadro 6 - Avaliação do risco pelo RHRS, EN353 - PK13+000-13+250, Troço 3

Introdução de dados		Categoria	Selecione opção	Pontos
		Altura do talude (m)	60	100
Altura talude (m)	60	Eficiência da valeta	Sem Capacidade	81
Tmh (veíc./h)	60	Risco médio para veículos (%)	23	3
Comprimento troço (km)	0,25	Distância de visibilidade de decisão (%)	15	100
Velocidade limite (km/h)	64,36	Largura da via incluindo bermas pavimentadas	6,1	81
Distância de visibilidade de decisão de projecto (m)	182,52	Características geológicas Caso 1 Condição Estrutural	Juntas contínuas, com orientação desfavorável	81
Distância de visibilidade de decisão real (m)	27		Rugosidade entre planos	Planar
		ou		
		Caso 2	Condição estrutural	Caso 1
			Taxa de erosão	Caso 1
		Tamanho dos blocos (m)	1,2	76
		ou		
		Volume de blocos (m ³)		Tamanho
		Clima e presença de água no talude	Precipitação moderada; ligeiros períodos de gelo; com água no talude intermitentemente	9
		Historial de Queda de blocos	Poucas	3
TOTAL				560

Quadro 7 - Avaliação do risco pelo RHRS, EN353 - PK13+450-13+800, Troço 5

Introdução de dados		Categoria	Seleccione opção	Pontos		
		Altura do talude (m)	40	100		
Altura talude (m)	40	Eficiência da valeta	Sem Capacidade	81		
Tmh (veíc./h)	60	Risco médio para veículos (%)	33	4		
Comprimento troço (km)	0,35	Distância de visibilidade de decisão (%)	14	100		
Velocidade limite (km/h)	64,36	Largura da via incluindo bermas pavimentadas	6,1	81		
Distância de visibilidade de decisão de projecto (m)	182,52	Características geológicas	Caso 1	Condição Estrutural	Juntas contínuas, com orientação desfavorável	81
Distância de visibilidade de decisão real (m)	25			Rugosidade entre planos	Planar	27
			ou			
			Caso 2	Condição estrutural		Caso 1
				Taxa de erosão		Caso 1
			Tamanho dos blocos (m)	1,2	76	
		ou				
		Volume de blocos (m ³)		Tamanho		
		Clima e presença de água no talude	Precipitação moderada; ligeiros períodos de gelo; com água no talude intermitentemente	9		
		Historial de Queda de blocos	Poucas	3		
TOTAL				562		

4.3. - Avaliação pelo RHRS modificado

Na avaliação pelo método de RHRS modificado, analisou-se apenas o Troço 5, em virtude deste ter obtido um valor de SMR inferior. A análise efectuada encontra-se resumida no Quadro 8.

Quadro 8 - Avaliação do risco pelo RHRS modificado, EN353 - PK13+450-13+800, Troço 5

Introdução de dados				Categoria	Selecione opção	Pontos
				Altura do talude (m)	40	100
Altura talude (m)	40			Eficiência da valeta	Sem Capacidade	81
Tmh (veíc./h)	60			Risco médio para veículos (%)	42	6
Comprimento troço (km)	0,35			Distância de visibilidade de decisão (%)	13	100
Velocidade limite (km/h)	50			Largura da via incluindo bermas pavimentadas	6,0	85
Velocidade estimada (km/h) [INIR]	60			Características Geológicas Slope Mass Rating (SMR)	40	9
SMR	51			Tamanho dos blocos (m)	1,3	100
Distância de visibilidade de decisão de projecto (m)	200			Volume do bloco (m ³)	2,28	
Distância de visibilidade de decisão real (m)	25			Volume de blocos após rotura(m ³)		Tamanho
Descontinuidades	Família	S (m)	ângulo (°)	Clima e presença de água no talude	h=900mm ou períodos de gelo contínuos	27
	J1	0,3	80	Historial de Queda de blocos	1 por cada 10 anos	3
	J2	0,3	79	TOTAL		511
	J3	0,5	30			
Precipitação (mm)	758,3					

4.4. - Análise dos métodos

No Figura 6 apresentam-se os valores das classificações para os dois métodos de avaliação utilizados, observando-se, relativamente ao Troço 5, que a diferença é pouca, enquadrando-se ambas em valores superiores a 500, o que nos permite inferir que são necessárias medidas de carácter preventivo com urgência, dentro da filosofia dos métodos.

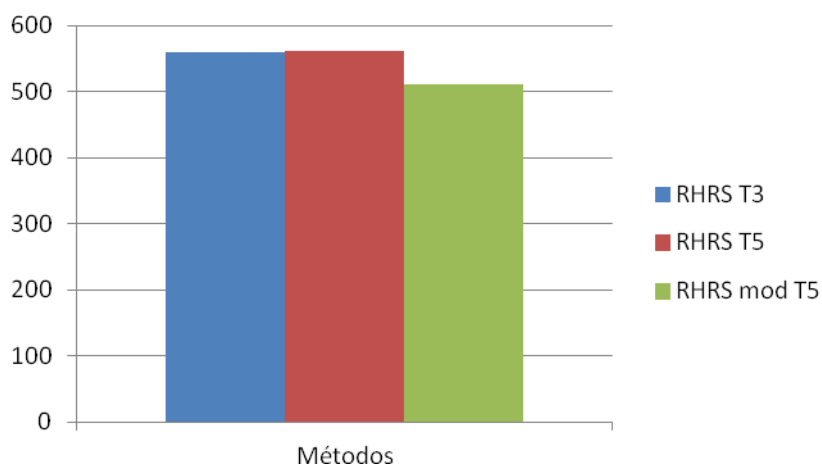


Figura 6 - Comparativo dos métodos de análise de risco para os diferentes troços

5 - CONCLUSÕES

A metodologia modificada, baseada na proposta por Buddeta e Panico (2002) mas adaptada à realidade portuguesa, permitiu para o caso em estudo obter resultados semelhantes ao método original proposto pelo Departamento de Transportes de Oregon. A menor subjectividade associada à avaliação de alguns parâmetros permite obter uma maior fiabilidade de resultados, o que é importante neste tipo de metodologias que se destinam a ser utilizadas por técnicos sem formação especializada profunda e em que a análise poderá em momentos diferentes ser realizada por diferentes técnicos. A metodologia modificada tem ainda a vantagem de utilizar na caracterização do maciço o valor do SMR o que permite durante a análise obter um parâmetro que pode indiciar quais as medidas de mitigação mais adequadas à situação em causa. Este facto tem no entanto a agravante de necessitar de equipamento pesado de perfuração e recurso a ensaios laboratoriais. No entanto, considera-se que a utilização do sistema RHRS original permite numa primeira abordagem realizar uma avaliação satisfatória das locais em estudo sem necessidade de grande investimento. Após esta avaliação inicial a determinação do SMR e aplicação do método modificado poderá ser realizada em zonas mais localizadas de modo a ter maior informação e fiabilidade da classificação obtida e nas medidas de protecção a implementar.

6 - TRABALHO FUTURO

O trabalho previsto prevê o estudo de um maior número de casos bem a implementação de um sistema de registo de ocorrência de queda de blocos nos troços analisados envolvendo as autoridades de protecção civil. Deste modo, pretende-se melhorar a fiabilidade do método e também melhorar a facilidade de aplicação ao nível das administrações locais e centrais.

REFERÊNCIAS

- ASTM, A. S. (1995). *Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock, D5731-95*. United States: ASTM international.
- Brukno, B., Lindsey-Griffin, N., & Griffin, J. (2010). *Safer Slopes: Understanding Rockfall Patterns For Risk*. Lincoln: University of Nebraska.
- Buddeta, P., & Panico, M. (Aprile/Giugno de 2002). Il metodo "Rockfall Hazard Rating System" modificato per la valutazione del rischio da caduta massi. *Geologia tecnica & ambientale, Journal of technical & environmental geology*, pp. 3-13.
- Budetta, P. (2004). Assessment of Rockfall Risk Along Roads. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol 4, pp. 71-81.
- INIR. (2010). *Norma de Traçado, Revisão*. Lisboa: INIR, Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias, I.P.
- Instituto de Meteorologia, I. (s.d.). *Instituto de Meteorologia, IP Portugal*. Acedido em 20 de Outubro de 2011, de <http://www.meteo.pt/pt/oclima/clima.normais/005/>
- Lawrence A. Pierson, C. E., & Robert Van Vickie, R. P. (1993). *Rockfall Hazard Rating System*. Washington DC: Federal Highway Administration.
- Li, Z., Huang, H., Xue, Y., & Yin, J. (2009). Risk assessment of rockfall hazards on highways. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, Volume 3, Issue 3, 147-154.
- Luciano, P. (2008). *Quantitative Risk Assessment of Rockfall Hazard in the Amalfi Coastal Road*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Nix, T., & Marinoni, O. (2006). Quantitative landslide risk analysis and risk evaluation for publicly. *10th IAEG International Congress*. Nottingham: International Association for Engineering Geology and the Environment.
- Russel, C., Santi, P., & Higgins, J. (2008). *Modification and Statistical Analysis of the Colorado Rockfall Hazard Rating System*.
- Singh, B., & Goel, R. K. (1999). *Rock Mass Classification- A practical approach in Civil Engineering*. Amsterdam: Elsevier.