

ANEXO V. Índice de Risco de Taludes em materiais Vulcânicos (IRTV)

V.1. Introdução

O índice de risco de queda de rochas em taludes de natureza vulcânica (IRTV) é um método de estimativa qualitativa do risco, expresso em função da probabilidade anual de ocorrência da queda de blocos, cujas consequências podem resultar em determinados prejuízos materiais. Este índice aplica-se a taludes ou encostas que necessitam de medidas de proteção ou estabilização em zonas de permanência.

O objetivo deste índice é fornecer uma avaliação preliminar do nível de risco, disponibilizando critérios para a segmentação e priorização das ações. A conceção de medidas de proteção específicas requer tanto a quantificação dos parâmetros de risco (Quantitative Risk Assessment, QRA), como os de conceção (*Service Energy Level, SEL; Maximum Energy Level, MEL; etc.*).

Para o cálculo do IRTV é necessário estimar a probabilidade de queda de blocos rochosos, que pode ser obtida pela relação entre o índice de suscetibilidade ISTV (Anexo II) e a frequência de queda dos mesmos, conforme indicado no esquema do Quadro V.1. Esta relação foi obtida a partir da análise casuística de taludes instáveis em Tenerife. Também pode ser estimado diretamente no local ou a partir do histórico de eventos registados.

Nos casos em que o ISTV não se aplique, por exemplo, em aterros, em depósitos de vertente ou coluvionares, em rochas muito alteradas e em rochas com a presença de cavidades ou grutas (Anexo II), a avaliação do grau de estabilidade do talude e a possível frequência de queda de blocos, devem ser estimadas por um profissional competente, que forneça essa informação.

A Figura V.1 apresenta um fluxograma que ilustra a determinação do IRTV, que pode ser expresso em função da perigosidade (PE) e do índice de perdas (IP), segundo a seguinte expressão:

$$\text{IRTV} = \text{PE} \cdot \text{IP}$$

(V. 1)

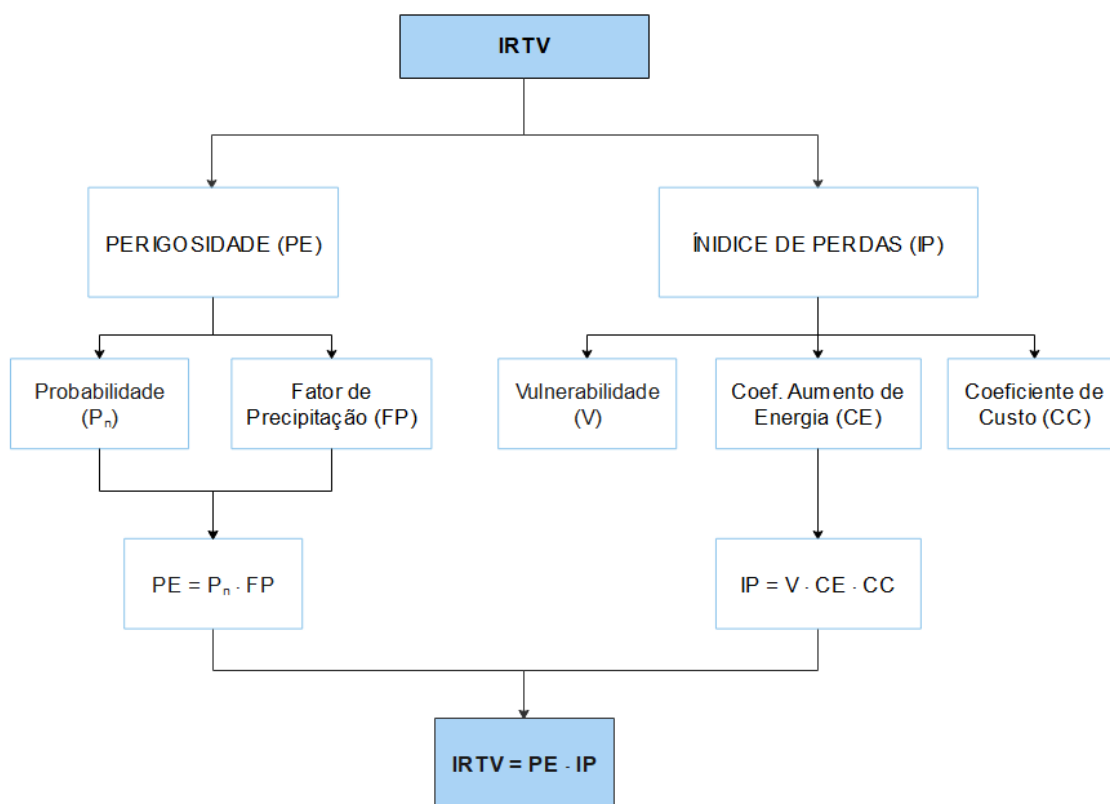


Figura V. 1. Fluxograma para a estimativa do IRTV.

V.2. Estimativa da perigosidade (PE)

É a probabilidade de ocorrência de um fenómeno danoso de determinada intensidade ou magnitude, numa dada área e num determinado período de tempo. A componente temporal da perigosidade também pode ser expressa a partir do período de retorno do processo em questão ($T = 1 / P$) e pode ser estimada em função da probabilidade anual (P_y) ou em função da probabilidade durante a vida útil do elemento exposto (P_n). Para o cálculo do IRTV, considerou-se, como referência, a vida útil de uma habitação estimada em 70 anos (n) embora também possa ser expressa em termos de qualquer outro valor de vida útil ou por ano.

Na perigosidade, intervêm o grau de estabilidade do talude, que é estimado através do ISTV, descrito no Anexo II, e a incidência de precipitação de determinada intensidade, como fator desencadeante, expressa em função do Fator de Precipitação (FP), conforme a expressão:

$$PE = P_n \cdot FP \quad (V. 2)$$

onde P_n é a probabilidade de queda de rochas em n anos e FP o fator de precipitação.

Probabilidade (P_n): no Quadro V.1 indicam-se as correspondências entre o grau de suscetibilidade face ao resultado obtido com o ISTV e o período de retorno associado. No caso da análise ISTV não estar disponível, é possível obter o período de retorno a partir da frequência de queda, apresentada no quadro referido.

Quadro V. 1. Obtenção de T em função do ISTV ou frequência de queda de rochas.

ISTV		Frequência de queda		
Pontos	Suscetibilidade	Observações de campo ⁽¹⁾	Histórico de eventos de queda de rochas ⁽²⁾	T (anos)
< 35	Baixa	Não são observados blocos caídos	Sem registo de queda de blocos na zona	≥ 100
≥ 35 < 60	Moderada	Algum bloco caído de tamanho pequeno ou médio	Sem registo de queda de blocos na zona	> 50
≥ 60 < 80	Alta	Vários blocos caídos de diferentes dimensões	Alguns registos de quedas nos últimos 25 anos	> 25
≥ 80	Muito alta	Numerosos blocos caídos de diferentes dimensões	Vários registos de quedas nos últimos 25 anos	≤ 25

⁽¹⁾ Observação no local de blocos caídos, sinais de instabilidade e ruturas nas zonas de origem. Estão excluídos blocos ou fragmentos de rochas de pequenas dimensões, etc. Inclui igualmente áreas próximas das zonas de origem e as áreas altas e baixas da encosta.

⁽²⁾ Com base em dados rodoviários, relatórios técnicos, câmaras municipais, testemunhas, registos de imprensa, dados bibliográficos, fotografias, etc.

T - período de retorno

O Quadro V.2. indica a probabilidade de queda de blocos associada a cada período de retorno e a cada grau de ISTV. Estas equivalências tiveram como suporte a frequência de eventos de queda de blocos rochosos em taludes da ilha de Tenerife, nos quais se determinou o ISTV. Para valores de ISTV compreendidos nos intervalos do Quadro V.2, pode estimar-se a probabilidade utilizando a seguinte expressão:

$$P_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (V. 3)$$

onde P_n é a probabilidade de queda em n anos, T é o período de retorno e n o número de anos.

Quadro V. 2. Probabilidade de queda de rochas estimada a partir da ISTV.

ISTV		Probabilidades			Grau
Pontos	Suscetibilidade	T(anos)	P_y	P_n	
< 35	Baixa	> 100	<0,01	< 0,5	Improvável
$\geq 35 < 60$	Moderada	$> 50 \leq 100$	$\geq 0,01 < 0,02$	$\geq 0,5 < 0,75$	Provável
$\geq 60 < 80$	Alta	$> 25 \leq 50$	$\geq 0,02 < 0,04$	$\geq 0,75 < 0,94$	Muito provável
≥ 80	Muito alta	≤ 25	$\geq 0,04$	$\geq 0,94$	Altamente provável

T = período de retorno.
 P_y = Probabilidade anual de excedência
 P_n = Probabilidade de ocorrência em n anos, em que n é o tempo de vida de uma casa ou instalação. Foi tomado como referência 70 anos.

Fator de Precipitação (FP): este fator tem em conta o aumento da probabilidade de queda das rochas a partir de determinados níveis de intensidade de precipitação, numa determinada área e num determinado período de tempo. Foi estimado de acordo com o regime de precipitações constantes no Guia CLIMCAN (2010), e com o estudo da frequência de queda de blocos, obtido a partir da base de dados existente no Município de Tenerife. O Quadro V.3 apresenta os intervalos médios anuais de precipitação e o respetivo fator de precipitação. Nos casos em que o topo e a base do talude tenham regimes de precipitação diferentes, deve considerar-se o mais representativo da totalidade do talude ou encosta.

Quadro V. 3. Fator de Precipitação (FP).

Precipitação média anual (mm)	< 300	$\geq 300 < 500$	≥ 500
Fator (FP)	1,0	1,7	2,0

Grau de perigosidade (PE): obtém-se através da multiplicação da probabilidade (P_n) obtida, pelo fator de precipitação (FP), tal como indicado na equação V.2. O Quadro V.4 apresenta os graus de perigosidade estabelecidos.

Quadro V. 4. Graus de perigosidade (PE) referidos à probabilidade (P_n), e ao fator de precipitação (FP).

Perigosidade ($P_n \cdot FP$) *	Grau de Perigosidade
< 0,5	Baixo
$\geq 0,5 < 1,0$	Moderado
$\geq 1,0 < 1,5$	Alto
$\geq 1,5$	Muito alto

* $n=70$ anos

V.3. Índice de Perdas (IP)

Corresponde às perdas esperadas (económicas). Estas dependem da vulnerabilidade dos elementos expostos ao processo de instabilidade em questão e do seu custo. É definido pela seguinte expressão:

$$IP = V \cdot CE \cdot CC \quad (V. 4)$$

onde V é a Vulnerabilidade, CE é o Coeficiente de aumento de Energia de impacto e CC é o Coeficiente de Custos.

Vulnerabilidade (V): corresponde ao grau de dano que um elemento exposto a um perigo, de uma determinada intensidade, pode sofrer. Se o elemento a proteger estiver na área de possível exposição ao perigo, é considerado vulnerável. Essa vulnerabilidade será maior em função do elemento em questão, e de acordo com a percentagem do mesmo poder vir a ser afetado pela magnitude ou intensidade do processo de instabilidade. Pode ser expressa numa escala de 0 a 1, ou em percentagem, sendo que 0 representa nenhum dano e 1 a destruição total. O Quadro V.5 sugere alguns intervalos frequentes de vulnerabilidade que devem ser estimados para cada caso.

Uma vez verificado que o elemento está exposto ao perigo, realiza-se uma inspeção ao talude, observa-se o tamanho dos blocos suscetíveis de cair, a distância relativa entre

o elemento a ser protegido e o talude ou zona de origem e, em função do tipo e qualidade construtiva do referido elemento, atribui-se um valor de vulnerabilidade entre 0 e 1.

Quadro V. 5. Intervalos frequentes de vulnerabilidade para zonas de permanência.

Tipo de elemento	Intervalos frequentes de vulnerabilidade
Zona habitacional	0,2 - 0,8
Centros urbanos	0,1 - 0,2
Instalações industriais	0,1 - 0,2
Zonas recreativas	0,1 - 0,3

Coeficiente de aumento de Energia (CE): este coeficiente considera o aumento da energia de impacto devido à altura do talude. Os aumentos de energia são indexados a um talude de 5 m de altura, assumindo que o início da queda de blocos ocorre no ponto mais alto do talude. O Quadro V.6 indica os coeficientes de energia sugeridos.

Quadro V. 6. Coeficiente de aumento de Energia (CE).

Altura do talude (m)	Energia de impacto	CE sobre rochas
≤ 5	Baixa	1,0
≤ 10	Moderada	1,5
≤ 30	Alta	2,5
> 30	Muito alta	3,5

Coeficiente de Custo (CC): Tem em consideração o custo ou perdas económicas resultantes de um evento de queda de blocos. O Quadro V.7 apresenta os coeficientes de custo associados e o grau de potenciais perdas.

Cálculo do Índice de Perdas (IP): De acordo com a expressão (V.4), o índice de perdas (IP) obtém-se pelo produto dos três parâmetros anteriores. O Quadro V.8 apresenta os valores de IP e o grau de perdas associado.

Quadro V. 7. Coeficiente de custo (CC) baseado no custo de reposição do elemento exposto e o grau de perda potencial associado para diversos intervalos de custos.

Custo € ($\cdot 10^3$)	Grau de perdas	Coeficiente de custo (CC)
< 50	Baixo	1,0
$\geq 50 < 200$	Médio	3,0
$\geq 200 < 1000$	Alto	8,0
≥ 1000	Muito alto	15 - 20

Quadro V. 8. Índice de Perdas (IP).

IP	Grau de perdas
≤ 2	Baixo a muito baixo
≤ 4	Moderado a alto
≤ 8	Alto
> 8	Muito alto

No Quadro V.9 apresentam-se as tabelas para calcular o IRTV, bem como, uma ficha de campo para facilitar a sua aplicação.

Quadro V. 9. Quadro resumo para aplicação do IRTV.

Probabilidade para edificações (P_n)					Fator de Precipitação (FP)				Grau de Perigosidade (PE)	
Suscetibilidade ISTV	T (anos)	P_y	P_n	Possibilidade de afetação da estrutura	Precipitação (mm/ano)	< 300	$\geq 300 < 500$	> 500	Perigosidade ($P_n \cdot FP$)	Grau de Perigosidade
(< 35) Baixa	> 100	< 0,01	< 0,5	Baixa - Moderada	Fator (FP)	1,0	1,7	2,0	< 0,5	Baixo
($\geq 35 < 60$) Moderada	> 50 \leq 100	$\geq 0,01 < 0,02$	$\geq 0,5 < 0,75$	Alta	T = período de retorno. P_n - Probabilidade de ocorrência em n anos a partir da expressão $P_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$ onde "n" é o tempo de vida de uma casa ou instalação. Foi tomado como referência 70 anos. P_y = Probabilidade anual de excedência				$\geq 0,5 < 1$	Moderado
($\geq 60 < 80$) Alta	> 25 \leq 50	$\geq 0,02 < 0,04$	$\geq 0,75 < 0,94$	Muito alta					$\geq 1 < 1,5$	Alto
≥ 80 Muito alta	≤ 25	$\geq 0,04$	$\geq 0,94$						$\geq 1,5$	Muito alto
Vulnerabilidade (V)		Coeficiente de aumento de Energia (CE)			Coeficiente de custo (CC)		Índice de Perdas (IP)			
Tipo de elemento	Valores frequentes de vulnerabilidade	Altura do talude (m)	Energia de impacto	CE sobre rochas	Custo € ($\cdot 10^3$)	Coeficiente de custo (CC)		IP (V · CE · CC)	Grau de perdas	
Habitação singular	0,2 - 0,8	≤ 5	Baixa	1,0	< 50	1,0		≤ 2	Baixo a muito baixo	
Habitação coletiva	0,1 - 0,2	≤ 10	Moderada	1,5	$\geq 50 < 200$	3,0		≤ 4	Moderado a alto	
Instalações industriais	0,1 - 0,2	≤ 30	Alta	2,5	$\geq 200 < 1000$	8,0		≤ 8	Alto	
Zonas recreativas	0,1 - 0,3	> 30	Muito alta	3,5	≥ 1000	15 - 20		> 8	Muito alto	

V.4. Cálculo do IRTV

O índice IRTV é obtido através da expressão:

$$\text{IRTV} = \text{PE} \cdot \text{IP} \quad (\text{V. 5})$$

A figura V.2 apresenta os níveis de risco baseados no IRTV, em função do grau de perdas e do grau de perigosidade, bem como a prioridade de atuação para cada nível de risco e respetivas recomendações.

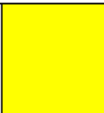



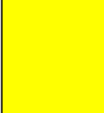

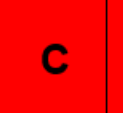



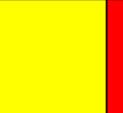

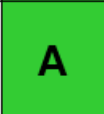



Grau de Perdas (IP)	Muito alto					Grau de risco	Recomendações	Prioridade de atuação
	Alto			C 		A – Muito baixo ou baixo	Nenhuma, salvo incidências	Baixa ou inexistente
	Moderado		B 			B – Moderado	Inspeção e estimativa preliminar	Médio prazo
	Baixo	A 				C – Alto ou muito alto	Inspeção detalhada por um técnico competente	Imediata ou a curto prazo
		Baixo	Moderado	Alto	Muito alto			
		Grau de Perigosidade (PE)						

Figura V. 2. Níveis de risco baseados no IRTV.