

ANÁLISE DAS DIFERENTES ABORDAGENS EMPREGADAS NA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE A ESCORREGAMENTOS

Sabrina de Paula Ferreira (Engenheira Civil - Jota Junior Consultoria e Projetos/
Universidade Federal de Ouro Preto);
contato@jotajunioreng.com.br

César Falcão Barella (Docente - Universidade Federal de Ouro Preto)
Rosyelle Cristina Corteletti (Docente - Universidade Federal de Ouro Preto)
Vera Lucia Silva Tavares – (Engenheira Civil – Universidade Federal de Ouro Preto)
Mateus Oliveira Xavier – (Engenheiro Civil - Universidade Federal de Ouro Preto)

Resumo: Este artigo apresenta as principais diretrizes atualmente utilizadas para análise de vulnerabilidade física a escorregamentos, bem como a exposição de incertezas que podem ocorrer nos métodos de cálculo recentemente aplicados, desde falhas inerentes ao próprio método, assim como possibilidades de erros de interpretação de resultados. Os principais pontos de discrepância encontrados se resumem nas diferentes variáveis consideradas na determinação da vulnerabilidade, assim como no grau de importância que cada variável recebe durante a análise, além do caráter qualitativo e quantitativo das avaliações. O estudo indica que, apesar de ainda não ser possível e aconselhável a utilização de um método universal de avaliação de vulnerabilidade aplicado em diferentes cenários, é necessário um modelo abrangente, que nos dê diretrizes para aplicação deste parâmetro na avaliação de risco em diferentes situações, assim como nos alerta para a responsabilidade de se utilizar um método não aplicável para determinado contexto geológico-geotécnico.

Palavras-chave: Danos, Riscos, Residências, Construções.

ANALYSIS OF THE DIFFERENT APPROACHES APPLIED IN THE APPRAISAL OF VULNERABILITY TO LANDSLIDES

Abstract: This article aims to present the main guidelines currently used for the analysis of physical vulnerability to landslides, as well as the exposure of uncertainties that may occur in the recently applied calculation methods, from inherent flaws in the method itself, along with the with the possibility of a misinterpretation of the results. The main points of discrepancy

are summarized in the different variables considered in the determination of the vulnerability, as well degree of relevance that each variable receives during the analysis, besides the qualitative and quantitative character of the evaluations. The study indicates that, although it is yet not possible and advisable to use a universal vulnerability assessment method applied in different scenarios, a comprehensive model is needed, which presents guidelines for the application of this parameter in risk assessment in different situations, as well as warns us to the responsibility of using a method that is not applicable to a particular geological-geotechnical context.

Keywords: Damage, Risks, Residences, Buildings.

1. INTRODUÇÃO

A interação entre a natureza e o homem progrediu ao decorrer do tempo e hoje toma proporções anteriormente inimagináveis. Este contato facilita que desastres afetem construções e humanos. No Brasil, mesmo que todos os desastres não sejam devidamente registrados em bancos de dados confiáveis, os eventos mais frequentes ocorridos no ano de 2012, segundo o Anuário de Desastres Naturais (BRASIL, 2013) contemplam deslizamentos, enxurradas, inundações e estiagens.

Ao longo dos últimos anos, diversos autores buscaram compreender melhor a análise de risco em áreas urbanas. Varnes (1984) foi um dos pioneiros a expressar em forma de equação matemática esta relação, definindo o Risco como uma relação entre o Perigo, a Vulnerabilidade e os Elementos em Risco. Todavia, poucos trabalhos subsequentes foram capazes de quantificar esses parâmetros e muito do que se encontra na atualidade representa uma interpretação subjetiva da realidade. Por este motivo, este trabalho visa analisar diferentes métodos de avaliação de vulnerabilidade a escorregamentos, bem como atentar aos problemas de uma aplicação inadequada destes métodos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para a compreensão deste presente estudo é necessário o desenvolvimento conceitual e prático de duas vertentes relativas ao estudo da vulnerabilidade: a definição dos conceitos clássicos da terminologia de análises de risco, bem como os métodos de cálculo de vulnerabilidade atualmente utilizados para tal análise.

2.1 TERMOS RELATIVOS A RISCOS

Durante as últimas décadas, houve várias publicações referentes aos desastres naturais e seus impactos. Nestas publicações, diferentes autores buscaram definições para termos relativos a riscos. No entanto, estes termos ainda não possuem uma definição universalmente aceita, apesar da notável evolução para conceitos convergentes. Neste trabalho serão apresentadas definições de renomados autores, cujo resultado conceitual está incorporado à realidade atualmente aplicada.

2.1.1 Risco

De acordo com Varnes (1984), a determinação do risco de uma área ocupada é dada pela expressão matemática dada pela Equação 1:

$$R_t = (E) \cdot (R_s) = (E) \cdot (H \cdot V) \quad (1)$$

Em que **R_t** é o risco total e representa o potencial número de vidas perdidas, pessoas afetadas, danos às propriedades e perdas relativas às atividades econômicas; **E** expressa os elementos em risco (pessoas, propriedades, atividades econômicas, serviços públicos, etc.) em uma determinada área; **R_s** é o risco específico e é dado pela multiplicação de dois fatores (**H** e **V**); **H** é o perigo natural, que representa a probabilidade de ocorrência de um evento dentro de um período de tempo específico; e **V** é a vulnerabilidade, que será detalhada no item 2.1.2.

2.1.2 Vulnerabilidade

A vulnerabilidade é uma variável que está condicionada não só aos aspectos inerentes ao elemento exposto, mas também às características do fenômeno que está sendo considerado. É representada em uma escala numérica, variando de 0 (sem danos) até 1 (perda total dos elementos em risco).

Apesar de ainda existir divergências na conceituação globalmente reconhecida para o termo vulnerabilidade, consagrados autores tendem a interpretá-la segundo uma definição análoga à de Varnes (1984), que descreve o termo como sendo o grau de perda de um elemento ou grupo de elementos em risco, resultante da ocorrência de um fenômeno natural de determinada magnitude.

A partir desta definição, é possível estabelecer métodos para a determinação do parâmetro vulnerabilidade. Uzielli *et al.* (2008), expressa genericamente a vulnerabilidade como mostra a Equação 2:

$$V = (I) \cdot (S) \quad (2)$$

Em que **V** é a vulnerabilidade; **I** é a intensidade do movimento e, segundo Hungr (1997), é um conjunto de parâmetros espacialmente distribuídos que descrevem a capacidade destrutiva de um deslizamento de terra; pode ser calculada a partir de parâmetros como profundidade da superfície de ruptura, área do deslizamento, altura do material acumulado, número de estruturas afetadas, velocidade do movimento, dentre outros; **S** é a suscetibilidade e, segundo Uzielli *et al.* (2008), refere-se à falta de capacidade dos elementos em preservar sua integridade física e funcionalidade no decorrer da interação física com a massa deslizante (a funcionalidade pode ser caracterizada como a capacidade do elemento de exercer as atribuições para qual foi fabricado/especificado). A suscetibilidade pode ser mensurada através de parâmetros como a tipologia estrutural dos elementos, o estado de conservação, a idade, dentre outros.

Quando a vertente do trabalho é a determinação da vulnerabilidade a movimentos de massa, uma série de variáveis influenciadoras podem ser levada em consideração, o que vai depender da disponibilidade de dados existentes e da capacidade do autor em interpretar essas informações. Portanto, os parâmetros para análise de vulnerabilidade podem variar de modelo para modelo.

2.2 MÉTODOS DE CÁLCULO DE VULNERABILIDADE

O conceito de vulnerabilidade vem sendo discutido há tempos, uma vez que esse termo é um dos pilares de sustentação da avaliação de risco. Normalmente, os métodos utilizados para sua determinação são simplificados demais para representar situações reais ou muito complexos para uso prático.

Existem três tipos de modelos de cálculo de vulnerabilidade, classificados de acordo com a determinação dos parâmetros envolvidos. Podem ser qualitativos (a magnitude dos parâmetros é descrita verbalmente), semi-quantitativos (os parâmetros são definidos em uma escala relativa, propositalmente definida) ou quantitativos (a magnitude dos parâmetros é expressa de forma quantitativa, mensurável e com escala).

Fazendo uma análise mais aprofundada, é possível perceber que muitos dos estudos atuais de vulnerabilidade determinam o valor de um atributo quantitativo, sem embasamento

teórico que lhes de sustentação científica, ou até qualitativo, sendo que esses dados são replicados em diversas localidades, assumindo, muitas vezes, uma homogeneidade inexistente. Dessa forma, não existe um modelo de análise da vulnerabilidade único e universalmente aceito. Nesse contexto, esta pesquisa traz a análise de diferentes abordagens empregadas na avaliação da vulnerabilidade a escorregamentos.

A seguir são apresentados três métodos de avaliação de vulnerabilidade, suas premissas e simplificações, expressões matemáticas, parâmetros considerados influentes na vulnerabilidade das estruturas, bem como os métodos de aplicação empregados.

2.2.1 Uzielli *et al.* (2008)

Os autores expressaram a vulnerabilidade conforme a Equação 2, e então definiram os termos de suscetibilidade e intensidade separadamente.

Para o cálculo de suscetibilidade foi fornecida a Equação 3:

$$S_{STR} = 1 - (1 - \xi_{STY}) (1 - \xi_{SMN}) \quad (3)$$

Em que S_{STR} é a suscetibilidade estrutural dos elementos; ξ_{STY} é o coeficiente relacionado à tipologia estrutural dos elementos; e ξ_{SMN} é o coeficiente relativo ao estado de conservação dos elementos, conforme Tabelas 1 e 2.

Como esperado, pode-se perceber que quanto melhor a tipologia estrutural e o estado de conservação das estruturas, menor será a suscetibilidade. De forma análoga, quanto pior a tipologia estrutural e o estado de conservação, maior será a suscetibilidade das estruturas.

Os autores não expõem como obtiveram estes coeficientes, nem como inserir um elemento em determinado estado de conservação, o que depende da interpretação do usuário, aumentando as incertezas relacionadas ao modelo.

Tabela 1 – Fator estrutural ξ_{STY} proposto por Uzielli *et al.* (2008)

Tipologia estrutural	Resistência	ξ_{STY}
Estruturas simples	Nenhuma	1,00
Estruturas leves	Muito Baixa	0,90
Alvenaria de pedra, concreto e madeira.	Baixa	0,70
Alvenaria de tijolo, estrutura de concreto.	Média	0,50

Estruturas de concreto armado	Alta	0,30
Estruturas reforçadas	Muito alta	0,10

Tabela 2 – Fator de conservação ξ_{SMN} proposto por Uzielli et al. (2008)

Estado de Conservação	ξ_{SMN}
Muito ruim	0,50
Ruim	0,40
Médio	0,25
Bom	0,10
Muito bom	0.00

Para mensurar a intensidade do movimento de massa, Uzielli et al. (2008) consideraram a interação de fatores cinéticos (estão relacionados à energia cinética da massa deslizante, isto é, aos danos causados pelo impacto com os elementos vulneráveis) e cinemáticos (explica os efeitos das características ligadas ao tamanho do deslizamento de referência).

É proposto um parâmetro de intensidade de deslizamento composto pelas variáveis da Equação 4:

$$I = K_s (r_K I_K + r_M I_M) \quad (4)$$

Em que K_s é a proporção de impacto espacial (ver Equação 5); I_K é o parâmetro de intensidade cinética; I_M é o parâmetro de intensidade cinemática; r_K é o fator de relevância cinética e r_M é o fator de relevância cinemática.

A proporção de impacto espacial K_s é a relação entre a área afetada pelo escorregamento (A_i) e a área total analisada (A_t):

$$K_s = A_i/A_t \quad (5)$$

Os fatores de relevância são definidos pelo usuários com a premissa de que a relevância total seja 1, conforme a Equação 6. Para maior entendimento, os autores exemplificam que o dano causado por um deslizamento de movimento lento em um edifício é principalmente devido ao deslocamento, enquanto as características cinéticas podem ser predominantes no caso de um movimento rápido.

$$r_K + r_M = 1 \quad (6)$$

No momento de definição destes fatores, expandem-se as incertezas referentes ao modelo, que depende do “feeling” e da “expertise” do usuário e reflete claramente o conhecimento e crença dos especialistas no momento de sua aplicação.

Para cálculo do fator cinético I_K (Equação 7), os autores sugerem uma relação com a velocidade do movimento, proposta por Cruden e Varnes (1996):

$$I_K \begin{cases} 0.00 & C < 5 \cdot 10^{-7} \\ 0.1 \cdot [\log(C) + 6.3] & 5 \cdot 10^{-7} \leq C \leq 5 \cdot 10^3 \\ 1.00 & C > 5 \cdot 10^3 \end{cases} \quad (7)$$

Em que C é a velocidade do movimento expressa em mm/s.

Para o fator cinemático, os autores utilizaram a Equação 8:

$$I_M \begin{cases} \frac{2D_G^2}{D_{G,t}^2} & \frac{D_G}{D_{G,t}} \\ 1 - \frac{2(D_{G,t} - D_G)^2}{D_{G,t}^2} & 0.5 \leq \frac{D_G}{D_{G,t}} \leq 1 \\ 1 & \frac{D_G}{D_{G,t}} > 1 \end{cases} \quad (8)$$

Em que D_G é o deslocamento absoluto (em mm) em relação ao solo e $D_{G,t}$ representa o deslocamento total (em mm) do solo necessário para atingir o dano total da estrutura.

Apesar de apresentar uma aplicação simples e prática, as incertezas referentes a este método de cálculo são frequentes; os fatores de tipologia e manutenção não são confiáveis por não ter exposição do método de cálculo e determinação dos coeficientes. Para o cálculo de intensidade de movimentos, os parâmetros são extremamente dependentes da experiência e da interpretação do usuários, sendo assim, é absolutamente possível que dois diferentes profissionais, utilizando o mesmo método de análise, em um mesmo cenário, obtenham diferentes resultados de vulnerabilidade.

2.2.2 Guillard *et al.* (2016)

Guillard *et al.* (2016) apresentaram uma avaliação semi-quantitativa da vulnerabilidade física dos edifícios aos deslizamentos aplicada ao município Loures (Portugal). O método é denominado semi-quantitativo pois embasou-se na opinião de especialistas em movimentos de massa, ou seja, a construção do modelo de vulnerabilidade foi baseada em um grupo de peritos europeus especialistas em deslizamentos e outro grupo de especialistas que dominavam o comportamento geotécnico da área de estudo.

Os autores fizeram uma pesquisa cuja premissa é de que futuros deslizamentos assumem características semelhantes ao dos deslizamentos passados; sendo assim, utilizaram de parâmetros de um banco de dados de movimentos de massa local composto por 686 deslizamentos já ocorridos na área. A área contempla especialmente movimentos rotacionais e translacionais. Os estudos foram feitos sobre os movimentos rotacionais, visto que o banco de dados disponível era mais preciso para este tipo de movimentação. É importante observar as características peculiares da área de estudo antes da aplicação de qualquer método, já que esta percepção pode diminuir consideravelmente o grau de incerteza do modelo.

Assim como Uzielli *et al.* (2008), os autores consideraram a tipologia estrutural como um dos parâmetros que contribuem para a vulnerabilidade dos elementos em risco, conforme Tabela 3. No entanto, a divisão de tipologias diverge vagamente de um método para outro, e o tratamento deste parâmetro é bastante distinto se for comparado ambos os métodos.

Os autores também consideraram a localização das estruturas em relação ao talude. Foram divididos em nove magnitudes: cinco cenários em que a localização do edifício está no corpo do movimento, assumindo diferentes profundidades da superfície deslizante (1, 3, 5, 10 e 20 m); e quatro cenários em que a localização do edifício está no pé do slide, assumindo diferentes alturas de material afetado (0,5, 1, 3 e 5 m). Estes valores foram considerados levando-se em conta os maiores deslizamentos já inventariados. Este fato levanta a importância e a influência de um banco de dados consolidado no método de análise de vulnerabilidade, assim como nos parâmetros de risco em geral.

Tabela 3 – Tipologia estrutural proposta por Guillard *et al.* (2016)

Tipologia Estrutural	Elementos Estruturais
SBT1	Madeira ou metal (estruturas leves)
SBT2	Estrutura de terra batida ou paredes de pedras soltas
SBT3	Alvenaria de tijolos ou pedras
SBT4	Estrutura de concreto armado

Mais de 300 especialistas foram convidados a preencher um questionário em que atribuíram, em quatro tipos estruturais de edifícios (Tabela 3), o dano potencial causado por deslizamentos de diferentes magnitudes (Tabela 4). Como o nível de danos perguntado no questionário foi utilizado como um proxy para a vulnerabilidade física, os valores de danos fornecidos pelos especialistas, compreendidos entre 1 e 5, foram convertidos em valores de vulnerabilidade, na escala de 0 a 1.

Tabela 4 – Nível de dano das construções proposto por Guillard *et al.* (2016)

Vulnerabilidade Física	Nível de dano das Construções
[0-0,2]	INSIGNIFICANTE: ligeira acumulação de material que causa danos estéticos
]0,2;0,4]	LEVE: Sem danos estruturais - danos reparáveis: gesso, pequenas rachaduras, danos nas portas e janelas
]0,4-0,6]	SIGNIFICANTE: Sem danos estruturais - danos importantes que requerem reparação complexa: deslocamento ou colapso parcial de paredes ou painéis sem comprometer a integridade estrutural, rachaduras desenvolvidas.
]0,6-0,8]	SEVERO: Dano estrutural que pode afetar a estabilidade: falha ou colapso de alvenaria, colapso de pisos, quebras severas/colapso das seções de estrutura.
]0,8-1]	MUITO SEVERO: Danos graves comprometendo seriamente a integridade estrutural; colapso do edifício.

A matriz de cálculo não foi exposta, entretanto, é perceptível que considerar a opinião de um montante de especialistas para essa relação entre danos e os parâmetros diminui significativamente a subjetividade do trabalho.

Como resultado foram geradas as Tabelas 5 e 6, relacionando a vulnerabilidade média com a tipologia estrutural dos elementos, a profundidade da superfície de ruptura (para escorregamentos no corpo do talude) e a altura de material acumulado (para rupturas no pé do talude).

Tabela 5 – Vulnerabilidade para cada tipologia estrutural em rupturas no corpo do talude proposta por Guillard *et al.* (2016)

Tipologia estrutural	Profundidade da superfície de ruptura				
	1m	3m	5m	10m	20m
SBT1	0,60	0,73	0,84	0,90	0,90
SBT2	0,57	0,72	0,85	0,92	0,91
SBT3	0,46	0,60	0,76	0,88	0,91
SBT4	0,35	0,48	0,66	0,80	0,86

Tabela 6 – Vulnerabilidade para cada tipologia estrutural em rupturas no pé do talude proposta por Guillard *et al.* (2016)

Tipologia estrutural	Altura do material acumulado			
	0,5m	1m	3m	5m
SBT1	0,45	0,61	0,85	0,94
SBT2	0,38	0,53	0,78	0,93
SBT3	0,30	0,40	0,66	0,83
SBT4	0,25	0,31	0,54	0,72

Deste modo, temos a vulnerabilidade física média típica para diversos contextos de estruturas e movimentações. Os autores tiveram o cuidado de convidar especialistas internacionais em movimentos de massa, bem como especialistas já habituados com o local de aplicação. Apesar de a vulnerabilidade ter sido estudada para determinada região, os mesmos parâmetros envolvidos neste método podem ser encontrados em outras áreas, sendo assim, a metodologia pode servir como guia para trabalhos em outras regiões, se feito um estudo cuidadoso e aprofundado.

2.2.3 Papathoma *et al.* (2007)

Os autores apresentaram um estudo de vulnerabilidade a deslizamentos de terra que é oriundo de uma adaptação de um trabalho anterior de vulnerabilidade a tsunamis proposto por Papathoma (2003).

Foi feito um levantamento sobre quais parâmetros podem ser relevantes à vulnerabilidade de construções. Os autores consideraram fatores como o material de um edifício, sua idade, sua altura/tamanho e o tipo de fundação. Foi também ressaltado no trabalho a importância de considerar a localização do edifício, não apenas no que se refere à macrolocalização (por exemplo, zona de alto risco), mas também a microlocalização (características da própria encosta onde está o edifício ou da encosta vizinha). Foram coletados diversos parâmetros potencialmente influenciadores da vulnerabilidade, que depois foram inseridos em um SIG para análise geográfica. Os parâmetros referentes à vulnerabilidade física são expostos na Tabela 7.

Foi utilizado um método conhecido como padronização para a transformação destes códigos, que trata-se de redimensionar os dados para uma base numérica comum por simples transformação linear. Os códigos transformados foram inseridos na Tabela 7 entre colchetes.

É possível notar que há um código antecedendo cada tipo de parâmetro, decrescente em relação à influência deste tipo na vulnerabilidade dos edifícios. Por exemplo, o parâmetro “sinais de aviso de movimentação” recebe o código 2 para a resposta “sim” (naturalmente mais vulnerável) enquanto o *input* “não” recebe o código 1.

Tabela 7 – Parâmetros potenciais influenciadores analisados por Papatoma *et al.* (2007)

Parâmetro	Tipos	Peso
Material	1.Concreto [0,33] 2.Alvenaria [0,66] 3.Outros (piores) [1,00]	5
Contenção (do lado da inclinação)	3.Inexistente/baixa [1,00] 2.Média [0,66] 1.Alta [0,33]	4
Descrição do lado da inclinação	1.Somente parede [0,33] 2.Janelas pequenas [0,66] 3.Janelas grandes [1,00]	3
Sinais de aviso movimentação	2.Sim [1,00] 1. Não [0,50]	2
Nº de pavimentos	2.Um andar [1,00] 1.Mais de um andar [0,50]	1

Os autores defendem que a ponderação dos parâmetros deve ser definida por cada usuário e apresentam a ponderação utilizada neste método conforme coluna “Peso” da Tabela 7.

Este tipo de ponderação, assim como a transformação feita para cada tipo de parâmetro, aumenta as incertezas do método. É recomendável que este tipo de análise seja feita a partir de estudos estatísticos e não apenas em transformações lineares que podem não exprimir a realidade da importância de cada parâmetro.

A partir desta ponderação, foi gerada uma equação de vulnerabilidade física (Equação 9):

$$V_b = (5a) + (4b) + (3c) + (2d) + (1e) \quad (9)$$

Em que V_b é a vulnerabilidade dos edifícios; a corresponde ao material do edifício; b está relacionado às contenções nos arredores do edifício; c faz referência à descrição da lateral próxima à inclinação; d está relacionado aos sinais de alerta à movimentação; e corresponde ao número de pavimentos que contém a construção.

Seguindo a Equação (9), é possível calcular a vulnerabilidade mais baixa e a mais alta e, para este estudo, tal parâmetro se encontra em uma escala de 4,46 a 15,00.

Como esperado, a vulnerabilidade mais baixa é calculada para um edifício de concreto, que tem mais de um andar e uma contenção alta, não tem janelas no lado da inclinação e não tem evidências de um potencial deslizamento de terra. No entanto, devido à falta de critérios para a ponderação dos parâmetros de cálculo, a determinação da

vulnerabilidade voltada à quantificação do risco não é precisa. Todavia, o método pode ser interessante para análises comparativas entre as residências de uma mesma região.

3. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Esta pesquisa diz respeito à análise de diferentes abordagens atualmente utilizadas para determinação da vulnerabilidade física a escorregamentos. A metodologia utilizada consistiu no levantamento de vários métodos existentes em um contexto internacional (apresentados no Item 2.2), bem como seu estudo e aprofundamento. Foi feita uma análise crítica e logo após uma investigação comparativa entre os principais métodos encontrados, assim como um diagnóstico sobre a interpretação e aplicação destes métodos em contextos similares.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para fins comparativos entre os métodos, a seguir será apresentada a vulnerabilidade de uma construção hipotética, referente à vulnerabilidade estrutural de um edifício de alvenaria, de 2 pavimentos, com médio estado de conservação estrutural, localizado em uma superfície de aproximadamente 500 m². Não há contenções ao redor do edifício, que possui o lado voltado para o movimento totalmente constituído de paredes. O movimento é considerado rápido (aproximadamente 0,2m/s) e a superfície de ruptura tem profundidade de 1m.

O rompimento, que já apresenta sinais, se dá no corpo do talude e a massa deslizante move-se em direção à estrutura. Análises indicam que a massa deslizante é susceptível a interceptar uma área de 250 m². É importante lembrar que não foi feita uma análise anterior do contexto geológico-geotécnico antes da aplicação destes métodos.

4.1 Uzielli *et al.* (2008)

O valor do fator estrutural e do fator de conservação pode ser coletado nas Tabelas 1 e 2 e substituídos na Equação 3 para encontrar o valor de suscetibilidade (Equação 10):

$$S = 1 - (1 - 0,5) \cdot (1 - 0,25) = 0,625 \quad (10)$$

O valor de **Ks** pode ser obtido através da Equação 5 e o valor de **Ik** é obtido pela Equação 7. Estes valores são substituídos na Equação 4 para encontrar o valor da intensidade de movimento (Equação 11):

$$I = (250/500) \cdot (1 - 0,86) = 0,46 \quad (11)$$

Como o movimento é rápido, o fator cinético foi considerado de valor 1 e o cinemático desconsiderado.

Para obter o valor de vulnerabilidade segundo Uzielli *et al.* (2008), basta substituir os valores de suscetibilidade (Equação 10) e intensidade (Equação 11) na Equação 2, resultando em 0,27, como apresentado pela Equação 12:

$$V = (0,43) \cdot (0,625) = 0,27 \quad (12)$$

4.2 Guillard *et al.* (2016)

Para obter o valor de vulnerabilidade segundo esta metodologia, basta verificar a tipologia estrutural na Tabela 3 (SBT3) e buscar a vulnerabilidade referente a movimentos no corpo do talude (Tabela 5), com profundidade de 1 m, que é dada como 0,46.

4.3 Papathoma *et al.* (2007)

Para constatação da vulnerabilidade deste edifício hipotético pelo método de Papathoma *et al.* (2007), é necessário verificar o tipo de cada parâmetro junto ao seu peso na Tabela 7 e substituir na Equação 9. A solução é obtida conforme mostra a Equação 13:

$$V = 5 \cdot (0,66) + 4 \cdot (1) + 3 \cdot (0,33) + 2 \cdot (1) + 1 \cdot (0,5) = 10,79 \quad (13)$$

Como o resultado deste método varia na escala de 4,46 a 15,00, é necessário fazer uma interpolação linear para a transformação na escala habitual (0-1). Sendo assim, a vulnerabilidade é dada como 0,60.

A aplicação hipotética dos três métodos apresentados nos mostra que há significativa divergência entre os resultados de vulnerabilidade, conforme explícito na Tabela 8:

Tabela 8 – Parâmetros potenciais influenciadores analisados por Papathoma *et al.* (2007)

Método	Uzielli <i>et al.</i> (2008)	Guillard <i>et al.</i> (2016)	Papathoma <i>et al.</i> (2007)
Vulnerabilidade	0,27	0,46	0,60

5. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Criar um método de vulnerabilidade é uma tarefa complexa por diversos fatores. Dentre as principais dificuldades, pode-se citar: (i) falta de dados precisos para uma análise confiável

de vulnerabilidade (bancos de dados duvidosos, incompletos ou imprecisos); (ii) natureza específica dos fenômenos geodinâmicos (a análise comportamental de efeitos pode ser replicada em outro ambiente desde que este local apresente características similares ao contexto original); (iii) heterogeneidade do meio físico (as condições de intemperismo do local, a anisotropia e a heterogeneidade geotécnica fazem, algumas vezes, determinada situação de estudo rara, sendo desaconselhável a junção de vários cenários distintos com um único comportamento geotécnico); etc.

Logo, a partir da análise dos dados, pode-se perceber que a vulnerabilidade varia acentuadamente de método para método. Isso pode ocorrer por vários motivos. O primeiro, e provavelmente mais relevante, é o fato de replicar uma metodologia de vulnerabilidade produzida para determinado contexto geotécnico-geológico sem uma análise prévia das devidas adaptações do método.

Dentre outros fatores que contribuem para a variabilidade dos resultados pode-se destacar a difusão de técnicas e métodos de análise, seja pela inclusão ou exclusão de algum parâmetro, seja pelo “peso” de cada parâmetro, dentre outros. Estas divergências podem ocorrer de acordo com a área de aplicação, por diferenças de opiniões entre especialistas ou mesmo por incertezas referentes aos modelos. Por esse motivo, antes de replicar algum método de vulnerabilidade existente, é muito importante avaliar sua adequação às peculiaridades da área modelada, bem como a possibilidade de executar ajustes para atender as especificidades locais.

A realização e elaboração deste estudo faz parte do Projeto “Identificação das áreas de risco de Ouro Preto”, inserido no programa de pesquisas firmado pelo Núcleo de Geotecnia (NUGEO) do Departamento de Engenharia Urbana (DEURB) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) junto a Prefeitura Municipal de Ouro Preto.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Anuário de Desastres Naturais 2012**, 3rd ed., CENAD, Brasília, Brasil, 2013.

Cruden, D. M., Varnes, D. J. **Landslide types and process**. Landslide investigation and mitigation, TRB Special Report 247, National Academy Press, Washington, DC, 1996.

Guillard-Gonçalves, C., Zêzere, J. L., Pereira, S., Garcia, A. C. **Assessment of physical vulnerability of buildings and analysis of landslide risk at the municipal scale: application to the Loures municipality**. Portugal, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 16, 2016.

Hungr, O. **Some methods of landslide intensity mapping**. Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment, Balkema, Rotterdam, **1997**.

Papathoma, M., Neuhauser, B., Ratzinger, K., Wenzel, H., Dominey-Howe, D. **Elements at risk as a framework for assessing the vulnerability of communities to landslides**, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 7, 2007.

Papathoma, M. **Assessing tsunami vulnerability using GIS with special reference to Greece**, PhD thesis, CoventryUniversity, 2003.

Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S., Kaynia, A. M. **A Conceptual Framework for Quantitative Estimation of Physical Vulnerability to Landslides**. Engineering Geology, ELSEVIER, Vol. 102, 2008.

Varnes, D. J. **Landslides hazard zonation: a review of principles and practice**, UNESCO, Paris, França, 1984.