

# Avaliação da Estabilidade de Taludes em Áreas de Risco de Movimento de Massa por Meio de Ensaio de Campo na Área Urbana de Viçosa - MG

Cleverson Alves de Lima  
UFV, Viçosa, Brasil, cleversonet@yahoo.com.br

Enivaldo Minette  
UFV, Viçosa, Brasil, eminette@ufv.br

Eduardo Antônio Gomes Marques  
UFV, Viçosa, Brasil, emarques@ufv.br

Laís Emily de Assis  
UFV, Viçosa, Brasil, lais.assis@ufv.br

Sady Júnior Martins da Costa de Menezes  
UFRJ, Três Rios, Brasil, sadymenezes@gmail.com

**RESUMO:** O presente estudo buscou investigar os riscos associados a movimentos de massa em taludes do município de Viçosa (MG), áreas representativas classificadas previamente como de alto potencial a acidentes naturais. Foram analisados múltiplos cenários de estabilidade a partir das características geológicas e geotécnicas próprias do terreno, avaliaram-se os parâmetros de resistência e geometria considerando uma análise bidimensional. A pesquisa se baseou em mapas de classificação de risco aos movimentos de massa, ensaios de campo tipo PMT e simulações, em que se identificou o grau de instabilidade destas áreas e o seu respectivo fator de segurança. O ensaio de campo pressiométrico de Ménard - PMT foi o método utilizado na investigação devido sua rapidez e precisão dos resultados, obtendo os parâmetros de resistência do solo em profundidade, detalhando-o a cada metro e permitindo a identificação dos mecanismos de ruptura por meio das análises e dos métodos de avaliação de estabilidade (Bishop, Janbu e Morgenstern-Price), seguindo a norma brasileira ABNT NBR 11682/2009 que prescreve os requisitos exigíveis para o estudo e controle da estabilidade de encostas e de taludes resultantes de cortes e aterros. Tais avaliações foram obtidas com os parâmetros de solo originais encontrados durante o período seco, portanto, podem apresentar variações no período chuvoso. Desta forma, foram simulados cenários onde os parâmetros variaram de  $\pm 10\%$  em sua massa específica, coesão e ângulo de atrito, produzindo um intervalo de confiança. Estes resultados forneceram informações complementares sobre o comportamento dos taludes, nem sempre uniformes. Com isso em mãos, tornou-se uma importante base que permite ao município criar e planejar políticas públicas adequadas a cada tipo de área de acordo com as informações geológicas e geotécnicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Movimentos de Massa, Áreas de Risco, Estabilidade de Taludes

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os movimentos gravitacionais de massa destacam-se como o acidente de origem

geológica mais comum, principalmente nos períodos chuvosos. Muitos eventos dessa natureza têm ocorrido, causando acidentes em várias cidades, onde a ocupação desordenada e

acelerada avança cada vez mais para terrenos geologicamente desfavoráveis à ocupação (PARIZZI, 2011). O município de Viçosa-MG pode ser dado como exemplo, pois vem crescendo sem planejamento ou diretrizes urbanísticas, criando situações de risco a movimentos de massa e impactos ambientais. A falta de cadastro das áreas ocupadas, que durante os períodos chuvosos apresentam risco iminente, somente dificulta os trabalhos da defesa civil municipal, principalmente devido à falta de dados qualitativos e quantitativos das mesmas. Neste contexto o objetivo deste trabalho foi diagnosticar e quantificar os fatores geotécnicos através do ensaio de campo PMT (Ensaio Pressiôométrico de Ménard) em encostas classificadas previamente como de alto risco, seguido de avaliação de estabilidade destes taludes, a partir dos seus parâmetros de resistência e geometria, considerando uma análise bidimensional.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

De acordo com Cruz (2008), o Município de Viçosa-MG localiza-se na Zona da Mata de Minas Gerais, possui área de 299 km<sup>2</sup> e está situado em um planalto, com relevo acidentado, composto por cadeias de montanhas agrupadas, próximas uma das outras, com altas declividades, formando vales estreitos.

A ocupação do município se deu inicialmente ao longo dos vales dos córregos avançando posteriormente para as encostas. Muitas destas ocupações foram realizadas em cortes com sucessivo lançamento do material, formando aterros sem o devido preparo e compactação. Conforme classificação climática de Köppen-Geiger, Viçosa-MG se insere em um clima tipo cwa, tropical de altitude e com chuvas intensas no verão. A precipitação pluviométrica média gira em torno de 1300 mm/ano, com período de chuvas entre novembro e março. Ramalho (1994) realizou a caracterização geotécnica dos solos de Viçosa-MG, descrevendo um total de cinco horizontes: Saprólitos; Solo residual jovem;

Solo residual maduro; Solo coluvionar; e depósitos aluvionares.

### 2.2 Localização dos Ensaios de Campo

Para a determinação e localização dos ensaios de campo tomou-se como referência o mapeamento realizado por Roque (2013), que seguiu a metodologia proposta por Brasil (2007). Este estudo buscou cadastrar, identificar e caracterizar as áreas de risco sujeitas a movimentos de massa na zona urbana de Viçosa-MG, fornecendo ao final, uma carta de susceptibilidade contendo as zonas de alto, médio e baixo risco (Figura 1).

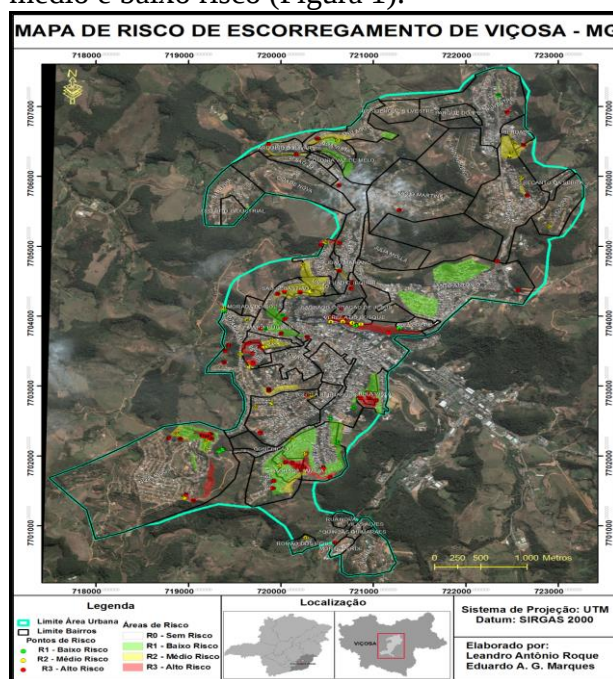


Figura 1. Mapa de risco de Viçosa-MG compilado por ROQUE (2013).

A área de estudo compreende 13 pontos susceptíveis a movimentos de massa, classificadas por Roque (2013) como sendo de alto e médio risco. Foram então realizadas investigações geotécnicas de modo a permitir o conhecimento do perfil da área. Desta forma, utilizaram-se os seguintes materiais para a execução deste trabalho: um trado manual, modelo tipo holandês, na realização do pré-furo; um pressiômetro de Ménard, tipo GC, fabricante APAGEO, o qual as investigações foram realizadas a luz das normas; seguido de análise de estabilidade dos taludes investigados como auxílio do software GeoStudio 2007 Slope/W, da Geo-Slope International; para a

coleta dos pontos, utilizou-se um GPS Garmin, modelo Etrex Legend H; os métodos para análise de estabilidade e obtenção do fator de segurança de acordo com a ABNT NBR 11682/2009 foram: Bishop, Janbu generalizado e Morgenstern-Price, esta norma apresenta os parâmetros de segurança para o projeto de taludes baseados em métodos semiprobabilísticos, mostrados na tabela 1. Neste trabalho foram consideradas as recomendações da norma citada.

Tabela 1. Fator de Segurança e Recomendações da Norma (NBR 11682, 2009)

| Grau de segurança necessário ao local | Métodos baseados no equilíbrio-limite | Tensão-deformação                                                                                                                              |
|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | Padrão: FS mínimo                     | Padrão: deslocamento máximo                                                                                                                    |
| Alto                                  | 1,5                                   | Os deslocamentos máximos devem ser compatíveis com o FS necessário ao local, à sensibilidade das construções vizinhas e à geometria do talude. |
| Médio                                 | 1,3                                   |                                                                                                                                                |
| Baixo                                 | 1,15                                  |                                                                                                                                                |

Nos estudos do mapa produzido por Roque (2013) foi determinado à execução de, pelo menos, uma sondagem em cada área considerada de risco, com profundidade máxima de até 13 metros. Alguns pontos foram analisados e encerrados com uma profundidade menor devido às limitações do equipamento e alta resistência do terreno, aferida nas leituras do equipamento pressiométrico.

Para as classificações dos solos utilizaram-se as referências Godoy (1972), Hoek e Bray (1981) e Guidicini e Nieble (1981). Para cada tipo de solo classificado foi necessário se ter o  $\gamma$  (massa específica),  $c$  (coesão) e  $\phi$  (ângulo de atrito). Tem-se consciência que este procedimento não é o mais adequado, devido ao comportamento dos solos serem diferentes entre si, em cada região, mas procurou-se aproximar ao máximo do comportamento dos solos conhecidos na região de Viçosa-MG. Para isso contou-se com o auxílio dos dados produzidos no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Cálculo dos Parâmetros dos ensaios PMT

##### 3.1.1 Talude 01 – (PMT- 01)

O Ensaio PMT-01 foi realizado na Rua Mato Grosso, B. Sagrada Família, ao final da Rua, em um platô na metade do talude. Este furo, em particular, está em situação crítica. A cota planejada para o ensaio deste foi de 13m, que foi atingido. Durante a realização do furo, foi encontrado uma falha geológica aos 7 m, provavelmente devido a ruptura do talude.

De acordo com a tabela 2 foram processados no Slope/W os resultados obtidos no PMT-01 o qual apresenta o resumo dos respectivos fatores de segurança (FS) calculados.

Tabela 2. PMT-01 - Resumo - FS obtidos dos referentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses.

| Código    | Variação     | Dados              | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------------|------|-------|------|
| O         | sem variação | Orig.              | 0,90 | 0,68  | 0,88 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ +10 % | 0,87 | 0,48  | 0,85 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ -10 % | 0,93 | 0,66  | 0,90 |
| C1        | c 1          | Coesão +10 %       | 1,10 | 1,04  | 1,06 |
| C2        | c 2          | Coesão -10 %       | 0,88 | 0,41  | 0,86 |
| Ângulo de |              |                    |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito +10 %       | 0,86 | 0,74  | 0,85 |
| Ângulo de |              |                    |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito -10 %       | 0,72 | 0,68  | 0,71 |

Com os parâmetros obtidos até a cota 6 m, foi possível perceber que o talude está em iminência de escorregar. Analisando os dados originais (O), percebe-se que em todas as hipóteses, o talude não apresenta segurança.

##### 3.1.2 Talude 02 – (PMT- 02)

O Ensaio PMT-02 foi realizado na Rua Paraná, B. Bom Jesus, na metade de um talude estável. A cota planejada para o ensaio deste foi de 13m, que não foi atingida devido à rigidez do solo e as limitações do trado manual. O ensaio PMT-02 atingiu 11 m de profundidade.

Analisando-se os dados originais (O) (Tabela 3) pode-se perceber que o mesmo está em situação estável, de acordo com o método de Janbu e Morgenstern-Price com um FS de 1,43

e 1,35, respectivamente. Já o método de Bishop simplificado, indica que o talude encontra-se em estado de alerta, com  $FS \approx 1$ . Recomenda-se observar o comportamento deste talude ao longo do tempo.

Tabela 3. PMT-02 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses

| Código    | Variação      |              | Dados | BSP  | Janbu | MP  |
|-----------|---------------|--------------|-------|------|-------|-----|
| O         | sem variação  |              | Orig. | 0,97 | 1,4   | 1,3 |
| ME 1      | $\gamma$      | $\dot{\rho}$ | +10 % | 0,94 | 1,1   | 1,3 |
| ME 2      | $\gamma$      | $\dot{\rho}$ | -10 % | 1,01 | 1,4   | 1,4 |
| C1        | c 1           | Coesão       | +10 % | 1,1  | 1,4   | 1,3 |
| C2        | c 2           | Coesão       | -10 % | 0,93 | 1,2   | 1,2 |
| Ângulo de |               |              |       |      |       |     |
| A1        | $\emptyset$ 1 | Atrito       | +10 % | 1,04 | 1,4   | 1,3 |
| Ângulo de |               |              |       |      |       |     |
| A2        | $\emptyset$ 2 | Atrito       | -10 % | 0,91 | 1,3   | 1,2 |

### 3.1.3 Talude 03 – (PMT- 03)

O Ensaio PMT-03 foi realizado na Rua Vicentina de Barros, B. de Fátima (divisa com o B. Nova Viçosa), na crista de um talude estável. O mesmo encontra-se com vegetação de médio a alto porte, em uma rua com pouco tráfego e casas em seu topo e em vias de ocupação. Trata-se de um talude bastante íngreme, olhando a partir de sua base, e contem alguns despejos de águas pluviais provenientes das casas acima e da própria rua, que não possui drenagem. O ensaio PMT-03 atingiu 6 m de profundidade. Analisando-se os dados originais (O) presentes na tabela 4, pode-se perceber que o mesmo está em situação estável e segura, com um FS mínimo de 2,35 pelo método de Morgesntern-Price. Nas situações com os dados alterados, a situação de estabilidade foi à mesma, conforme foi previsto. A variação do FS foi pequena,  $2,14 \leq FS \leq 2,39$ .

Tabela 4. PMT-03 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses

| Código    | Variação      |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|---------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação  |              | Orig. | 2,42 | 2,43  | 2,35 |
| ME 1      | $\gamma$      | $\dot{\rho}$ | +10 % | 2,38 | 2,36  | 2,32 |
| ME 2      | $\gamma$      | $\dot{\rho}$ | -10 % | 2,46 | 2,43  | 2,39 |
| C1        | c 1           | Coesão       | +10 % | 2,46 | 2,43  | 2,39 |
| C2        | c 2           | Coesão       | -10 % | 2,38 | 2,21  | 2,32 |
| Ângulo de |               |              |       |      |       |      |
| A1        | $\emptyset$ 1 | Atrito       | +10 % | 2,64 | 2,31  | 2,57 |
| Ângulo de |               |              |       |      |       |      |
| A2        | $\emptyset$ 2 | Atrito       | -10 % | 2,20 | 2,21  | 2,14 |

### 3.1.4 Talude 04 – (PMT- 04)

O Ensaio PMT-04 foi realizado na Rua Major A. Santana, B. de Fátima (divisa com o B. Nova Viçosa), na base de um talude estável. O ensaio PMT-04 atingiu 9 m de profundidade.

Analisando-se os dados originais (O) (Tabela 5) pode-se perceber que o substrato do talude esta em situação de iminente ruptura, com um FS mínimo de 0,858 pelo método de Janbu. Nas situações com os dados variáveis, o FS mínimo encontrado variou entre  $0,400 < FS < 0,932$ , sendo o primeiro quando houve redução na coesão e o segundo quando houve redução da massa específica. Contudo, recomenda-se canalizar as águas pluviais desviadas da Rua, que não possui drenagem, e das residências que as destinam para o talude.

Tabela 5. PMT-04 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses.

| Código    | Variação      |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|---------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação  |              | Orig. | 0,91 | 0,85  | 0,90 |
| ME 1      | $\gamma$      | $\dot{\rho}$ | +10 % | 0,87 | 0,83  | 0,86 |
| ME 2      | $\gamma$      | $\dot{\rho}$ | -10 % | 0,95 | 0,93  | 0,93 |
| C1        | c 1           | Coesão       | +10 % | 0,94 | 0,89  | 0,93 |
| C2        | c 2           | Coesão       | -10 % | 0,87 | 0,40  | 0,85 |
| Ângulo de |               |              |       |      |       |      |
| A1        | $\emptyset$ 1 | Atrito       | +10 % | 0,96 | 0,91  | 0,95 |
| Ângulo de |               |              |       |      |       |      |
| A2        | $\emptyset$ 2 | Atrito       | -10 % | 0,85 | 0,76  | 0,84 |

### 3.1.5 Talude 05 – (PMT- 05)

O Ensaio PMT-05 foi realizado na Rua Shotaro Shimoya, B. Nova Viçosa,

aproximadamente no meio de talude. O mesmo encontra-se com vegetação de baixo porte, em uma Rua com alto tráfego de todo tipo de veículo, por se tratar do principal acesso ao bairro. O ensaio PMT-05 atingiu 6 m de perfuração.

Observando-se a análise dos dados originais (O) (Tabela 6), em todos os métodos, verifica-se que o trecho acima do ponto estudado apresenta risco de movimento, podendo-se constatar “in loco” as diversas fissuras existentes no talude. No geral, a amplitude do FS girou em torno de FS=0,650, sendo considerado de alto risco.

Tabela 6. PMT-05 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses

| Código    | Variação     |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação |              | Orig. | 0,67 | 0,67  | 0,66 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | +10 % | 0,66 | 0,66  | 0,65 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | -10 % | 0,69 | 0,69  | 0,68 |
| C1        | c 1          | Coesão       | +10 % | 0,69 | 0,61  | 0,68 |
| C2        | c 2          | Coesão       | -10 % | 0,66 | 0,65  | 0,65 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito       | +10 % | 0,83 | 0,82  | 0,82 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito       | -10 % | 0,62 | 0,63  | 0,61 |

Esta área apresenta um comportamento de risco em sua parte mais elevada, e foi constatada em todas as situações simuladas. Nestas, o talude, teoricamente rompeu ou esta na iminência. Recomenda-se uma avaliação deste talude acima do furo com possível necessidade de intervenção.

### 3.1.6 Talude 06 – (PMT- 06)

O Ensaio PMT-06 foi realizado na estrada entre Nova Viçosa e Posses, no topo do talude. O talude apresenta inclinação de médio-alto, na direção centro-base, com a presença de casas tanto no topo quanto em sua base.

A cota planejada para o ensaio deste foi de 10m, que foi atingida. Observando-se a análise dos dados originais (O) (Tabela 7), pelo método de Janbu, verifica-se que o talude abaixo do ponto estudado apresenta risco de movimento.

Fazendo-se variar os parâmetros físicos, pode-se perceber que o aumento da massa específica promove uma queda no FS, enquanto que o aumento do ângulo de atrito mostra um aumento do FS. Aparentemente este talude encontra-se estável e com boa resistência em seu substrato, mas recomenda-se reanalisar os dados de maneira mais criteriosa utilizando índices físicos específicos para a região dada.

Tabela 7. PMT-06 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses

| Código    | Variação     |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação |              | Orig. | 1,06 | 1,02  | 1,03 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | +10 % | 1,03 | 0,90  | 0,99 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | -10 % | 1,11 | 1,15  | 1,07 |
| C1        | c 1          | Coesão       | +10 % | 1,11 | 1,01  | 1,07 |
| C2        | c 2          | Coesão       | -10 % | 1,02 | 0,99  | 0,99 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito       | +10 % | 1,28 | 1,27  | 1,27 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito       | -10 % | 0,99 | 0,97  | 0,96 |

### 3.1.7 Talude 07 – (PMT- 07)

O Ensaio PMT-07 foi realizado na Rua José Rocha Filho, B. Nova Viçosa. O talude apresenta inclinação de elevada, na direção base-topo, com a presença de casas tanto no topo quanto em sua base. O ensaio PMT-07 atingiu 6 m de profundidade. Observando a análise dos dados originais (O) (Tabela 8), pelo método de Morgenstern-Price, verifica-se uma situação estável da base do talude, com FS $\approx$  1,5. Situação semelhante para os demais casos, onde os índices físicos foram variados. Somente para o caso em que o ângulo de atrito foi minorado é que se notou queda do FS, chegando a 1,206, situação esta que classificaria o talude como estável. Este talude encontra-se estável e com boa resistência em seu substrato, possui inclinação elevada e está associada a uma vegetação de baixo porte, que confere boa estabilidade.

Tabela 8. PMT-07 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses.

| Código    | Variação     |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação |              | Orig. | 1,51 | 1,49  | 1,47 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | +10 % | 1,47 | 1,50  | 1,44 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | -10 % | 1,56 | 1,69  | 1,52 |
| C1        | c 1          | Coesão       | +10 % | 1,55 | 1,69  | 1,51 |
| C2        | c 2          | Coesão       | -10 % | 1,47 | 1,49  | 1,43 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito       | +10 % | 1,64 | 1,37  | 1,60 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito       | -10 % | 1,39 | 1,20  | 1,35 |

### 3.1.8 Talude 08 – (PMT- 08)

O Ensaio PMT-08 foi realizado na Rua José Santana, B. Santa Clara. O talude apresenta inclinação elevada, na direção topo-base, com a presença de casas em suas imediações. A cota planejada para o ensaio deste foi de 13m, chegando-se a até 9m de perfuração. Tomando-se a análise dos dados originais (O) (Tabela 9), em todos os métodos, verifica-se uma situação de alto risco, com  $FS < 1,0$ . Visualmente, nota-se uma fragilidade do talude devido à ocupação do seu entorno, cortes e erosão hídrica, que foi confirmada após as diversas análises. Em todos os cenários simulados o talude encontra-se com risco elevado de movimentação de massa. Somente para o caso em que a massa específica foi reduzida é que se notou um pequeno aumento do FS, chegando a 0,957, situação esta que classificaria o talude como em estado de alerta.

Tabela 9. PMT-08 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses.

| Código    | Variação     |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação |              | Orig. | 0,90 | 0,94  | 0,86 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | +10 % | 0,89 | 0,92  | 0,82 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | -10 % | 0,95 | 0,90  | 0,91 |
| C1        | c 1          | Coesão       | +10 % | 0,95 | 0,91  | 0,91 |
| C2        | c 2          | Coesão       | -10 % | 0,85 | 0,76  | 0,82 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito       | +10 % | 0,94 | 0,88  | 0,91 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito       | -10 % | 0,86 | 0,82  | 0,82 |

### 3.1.9 Talude 09 – (PMT- 09)

O Ensaio PMT-09 foi realizado na Rua Juscelino Kubitschek, B. Santa Clara. O talude apresenta inclinação elevada, na direção topo-base, com a presença de casas em seu topo. A cota planejada para o ensaio deste foi de 10m, chegando-se a até 8m de perfuração. Observando-se o resultado baseado nos dados originais (O) (Tabela 10) coletados em campo, tem-se um  $FS < 1,0$ , mostrando que o talude encontra-se em iminência de ruptura, em todos os métodos, percebe-se que o talude encontra-se com risco elevado de movimentação de massa. Recomenda-se uma investigação criteriosa a fim de se estabelecer a melhor solução para este talude.

Tabela 10. PMT-09 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses

| Código    | Variação     |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação |              | Orig. | 0,71 | 0,79  | 0,70 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | +10 % | 0,68 | 0,51  | 0,66 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | -10 % | 0,74 | 0,83  | 0,73 |
| C1        | c 1          | Coesão       | +10 % | 0,74 | 0,83  | 0,73 |
| C2        | c 2          | Coesão       | -10 % | 0,69 | 0,75  | 0,67 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito       | +10 % | 0,76 | 0,83  | 0,75 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito       | -10 % | 0,67 | 0,75  | 0,66 |

### 3.1.10 Talude 10 – (PMT- 10)

O Ensaio PMT-10 foi realizado na Rua Rio Doce, B. Betânia. A cota planejada para o ensaio deste foi de 10m, chegando-se a até 8m de perfuração. Observando o resultado (O) (Tabela 11) tem-se um  $FS < 1,0$ , mostrando que o talude encontra-se em iminência de ruptura, confirmando a hipótese esperada que se tratasse de uma área de alto risco. Somente para os casos em que a coesão foi majorada e a massa específica foi majorada, que houve um incremento no FS ao nível de estabilidade.

Tabela 11. PMT-10 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses.

| Código    | Variação     |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação |              | Orig. | 0,95 | 1,10  | 0,93 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | +10 % | 0,88 | 0,87  | 0,88 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | -10 % | 1,24 | 1,07  | 1,22 |
| C1        | c 1          | Coesão       | +10 % | 1,24 | 1,08  | 1,21 |
| C2        | c 2          | Coesão       | -10 % | 0,87 | 0,87  | 0,87 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito       | +10 % | 0,96 | 0,97  | 0,96 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito       | -10 % | 0,70 | 0,69  | 0,70 |

### 3.1.11 Talude 11 – (PMT- 11)

O Ensaio PMT-11 foi realizado na Rua da Mariquinha, Centro, Rua acima da Rua Dr. Milton Bandeira. O talude apresenta inclinação elevada, na direção topo-base, com a presença de diversas edificações em sua base. A cota planejada para o ensaio deste foi de 13m, chegando-se a até 9m de perfuração.

Visualmente, o talude encontra-se estável. Esta área foi classificada por Roque (2013) como de alto risco, sendo comprovado com os resultados de FS obtidos com o PMT e apresentados na tabela 12. Em todos os cenários, o talude encontra com FS < 1,0, ou seja, em risco iminente de rompimento.

Tabela 12. PMT-11 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses.

| Código    | Variação     |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação |              | Orig. | 0,76 | 0,81  | 0,72 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | +10 % | 0,75 | 0,68  | 0,73 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | -10 % | 0,92 | 0,97  | 0,92 |
| C1        | c 1          | Coesão       | +10 % | 0,80 | 0,84  | 0,77 |
| C2        | c 2          | Coesão       | -10 % | 0,90 | 0,92  | 0,90 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito       | +10 % | 0,84 | 0,79  | 0,81 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito       | -10 % | 0,71 | 0,76  | 0,70 |

### 3.1.12 Talude 12 – (PMT- 12)

O Ensaio PMT-12 foi realizado na Rua Emídio Dorneles, Bela Vista. O talude apresenta inclinação elevada, densamente habitada. A cota planejada para o ensaio deste foi de 10m, chegando-se a até 10m de perfuração. Visualmente, o talude encontra-se estável e com grande adensamento populacional. Constatou-se no local a falta de uma rede de drenagem na área o que agrava a situação de risco. Analisando os dados da tabela 13, verifica-se que em todos os cenários o talude encontra-se em iminência de rompimento.

Tabela 13. PMT-12 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses

| Código    | Variação     |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação |              | Orig. | 0,53 | 0,62  | 0,52 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | +10 % | 0,50 | 0,59  | 0,50 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | -10 % | 0,56 | 0,56  | 0,55 |
| C1        | c 1          | Coesão       | +10 % | 0,64 | 0,58  | 0,58 |
| C2        | c 2          | Coesão       | -10 % | 0,52 | 0,59  | 0,52 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito       | +10 % | 0,56 | 0,53  | 0,56 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito       | -10 % | 0,50 | 0,55  | 0,50 |

### 3.1.13 Talude 13 – (PMT- 13)

O Ensaio PMT-13 foi realizado na Av. Brasil, B. Sagrado Coração de Jesus. O talude apresenta inclinação elevada, na direção topo-base, com a presença de diversas edificações em sua base. Inicialmente planejou-se chegar ate a cota de 13m, sendo atingido 11m. De acordo com as análises realizadas, deve-se dar uma atenção a este talude. A área não foi classificada por Roque (2013) como de alto risco, mas optou-se por realizar um ensaio neste local devido a relatos dos moradores de movimentos de massa. Tomando-se a análise dos dados originais (O) (Tabela 14), em todos os métodos, verifica-se uma situação atenção.

Tabela 14. PMT-13 - Resumo - FS obtidos dos rereferentes métodos de análise, em suas respectivas hipóteses

| Código    | Variação     |              | Dados | BSP  | Janbu | MP   |
|-----------|--------------|--------------|-------|------|-------|------|
| O         | sem variação |              | Orig. | 0,89 | 1,34  | 0,89 |
| ME 1      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | +10 % | 0,83 | 1,24  | 0,83 |
| ME 2      | $\gamma$     | $\dot{\rho}$ | -10 % | 0,96 | 1,20  | 0,96 |
| C1        | c 1          | Coesão       | +10 % | 0,95 | 1,45  | 0,95 |
| C2        | c 2          | Coesão       | -10 % | 0,82 | 1,23  | 0,83 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A1        | $\phi$ 1     | Atrito       | +10 % | 0,91 | 1,37  | 0,91 |
| Ângulo de |              |              |       |      |       |      |
| A2        | $\phi$ 2     | Atrito       | -10 % | 0,86 | 0,98  | 0,86 |

#### 4 CONCLUSÃO

Verificou-se que das treze áreas avaliadas, cinco áreas (PMT-01, PMT-05, PMT-09, PMT-11 e PMT-12) estão em situação crítica com coeficientes de segurança bem abaixo do mínimo recomendado. Estes estão ocupados o que agrava o risco de perdas humanas. Outras seis áreas (PMT-02, PMT-04, PMT-06 PMT-08, PMT10 e PMT-13) estão em situação de alerta, já que os coeficientes de segurança encontrados estão próximos a 1,0. As demais duas áreas (PMT-03 e PMT-07) foram consideradas estáveis, já que o coeficiente de segurança encontrado foi bem acima de 1,0. Estas avaliações foram realizadas com os parâmetros de solo originais encontrados durante o período seco, portanto, podendo variar na entrada do período chuvoso. Desta forma foram simulados cenários onde os parâmetros variaram de  $\pm 10\%$  em sua massa específica, coesão e ângulo de atrito, produzindo um intervalo de confiança. Todas as áreas classificadas como de alto risco foram validadas e valoradas através do ensaio PMT e dos métodos de avaliação de estabilidade (Bishop, Janbu e Morgenstern-Price) à luz da norma brasileira de estabilidade de taludes.

Assim, com os resultados obtidos foi possível concluir que as avaliações realizadas com o método visual do Ministério das Cidades é uma boa forma de indicação das áreas de risco, servindo bem aos municípios que não dispõem de corpo técnico para a avaliação destas áreas. Embora este método trabalhe com

inferência baseada em observações e premissas, pode-se chegar a conclusões com pouca precisão. Portanto estas informações complementares em mãos pode-se prever o comportamento dos taludes analisados em diversas situações, extrapolando o conhecimento inicial proposto por este trabalho. Contribui-se assim com mais informações acerca dos problemas geotécnicos encontrados na área urbana do município, servido de subsídio para a tomada de decisões.

#### REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, 2009.
- BRASIL. Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Mapeamento de Risco em Encostas e Margens de Rios. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br>>.
- CRUZ, T.A.; ALVARENGA, S.C.A.; CARMO, M.I. SILVA, A.R. (CoordS.). Retrato social de Viçosa 2007. Viçosa, MG: CENSUS, 2008.
- GODOY, N.S. Fundações: Notas de aula, Curso de graduação. São Carlos, SP, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1972.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 1ed. Edgard Blücher: São Paulo, 1983. 194p.
- HOEK, E.; BRAY, J.W. Rock Slope Engineering. 3ed. Institute of Mining and Metallurgy: London, 1981. 358 p.
- PARIZZI, M.G. Retroanálise de escorregamento de talude na área de risco do Taquaril, Belo Horizonte, MG. Geonomos, v.2, n.19, p.32-41, 2011.
- RAMALHO, G.G.C. Mapeamento geotécnico de Viçosa com uso de sistema de informações geográficas. 1994. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ROQUE, L.A. Mapeamento das áreas de risco geológico-geotécnicos associados a movimentos de massa na área urbana de Viçosa – MG. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.