

# Gestão de Risco a Escorregamentos em Áreas Urbanas Utilizando Inclinômetro, um Estudo de Caso Aplicado à Cidade de Ouro Preto/MG.

Michel Moreira Morandini Fontes

IGEO – Instituto Geotécnico, Belo Horizonte, Brasil, michel@igeo-op.com.br

Hermano Lage Carvalho Pinto

IGEO – Instituto Geotécnico, Ouro Preto, Brasil, hermano.lage@igeo-op.com.br

Júlia Almeida Lopes

IGEO – Instituto Geotécnico, Ouro Preto, Brasil, julia.almeida@igeo-op.com.br

**RESUMO:** A cidade de Ouro Preto situada na extremidade sudeste do estado de Minas Gerais, possui características geomorfológicas e geológicas desfavoráveis à ocupação urbana, que aliadas a um crescimento desordenado do ambiente urbano e aos índices pluviométricos expressivos e, em geral, concentrados em poucos meses do ano, propiciam graves problemas de instabilidade geotécnica. Diante desta demanda, o Instituto Geotécnico (IGEO) vem realizando, em parceria com a Prefeitura Municipal de Ouro Preto (PMOP), o monitoramento de encostas, com o levantamento de dados relativos ao deslocamento dos maciços de solo de Ouro Preto, para análise e proposição de ações resolutivas de possíveis problemas decorrentes de eventuais deslocamentos. A metodologia consiste na utilização de tubos de inclinômetros instalados em diversos pontos da cidade, a partir dos quais se faz a avaliação da estabilidade das encostas. Este estudo é realizado mensalmente, e leva em consideração as problemáticas citadas anteriormente. A observação detalhada das áreas caracterizadas como sendo de risco, com coleta e análise dos dados referentes aos deslocamentos, permite subsidiar o poder público com informações teóricas necessárias para estabelecer soluções eficazes para minimizar a possibilidade de danos decorrentes de acidentes geológico-geotécnicos e criar diretrizes para evitar os mesmos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inclinômetro, Escorregamentos, Ouro Preto.

## 1 INTRODUÇÃO

A cidade de Ouro Preto, localizada na região central do estado de Minas Gerais, possui características climáticas, geológicas e geomorfológicas que, quando associadas, propiciam graves problemas de instabilidade geotécnica. Além dos fatores naturais, intervenções antrópicas extremamente depredatórias, registradas desde a época de instauração do núcleo urbano, com as intervenções de exploração mineral, até os períodos posteriores de expansão, tornam a

região ainda mais susceptível à ocorrência de movimentos de massa. (PINHEIRO, 2004)

Apesar da sua fundação em 1711, somente no ano de 2006, foi estabelecido e implantado um Plano Diretor para o Município, por meio da Lei Complementar nº29, de 28 de dezembro do mesmo ano. Este documento fixa diretrizes e estratégias e instrumentos necessários ao pleno desenvolvimento da Cidade, como elemento norteador das ações dos agentes públicos e privados. Mas, apesar de este documento permitir o controle de novas ações sobre o meio físico, os núcleos de ocupação já consolidados e

em expansão, demandam a utilização de mecanismos gerais de controle, para avaliação geral das condições de risco já instauradas.

Neste contexto, destaca-se a necessidade da análise aprofundada e permanente da transformação do meio físico da Cidade, que permita uma avaliação não só qualitativa, mas também quantitativa dos riscos associados a escorregamentos. Esta necessidade é suprida através da implantação de campanhas de monitoramento das áreas em risco, para a observação e o registro permanente dos elementos associados, de modo que o acúmulo de informações permita a adequada avaliação e direcionamento de medidas a serem tomadas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A instrumentação geotécnica de obras de engenharia constitui uma das ferramentas mais adequadas para a observação, detecção e caracterização de eventuais deteriorações que constituem risco potencial às condições da segurança global do empreendimento. Ela permite fazer um processo de aquisição, registro e processamento sistemático dos dados obtidos, a partir dos instrumentos de medida instalados em diferentes seções e zonas dos maciços investigados.

Em encostas urbanas, estes princípios se aplicam integralmente, pela relevância de se monitorar o comportamento de taludes em largos períodos de tempo. A partir dos dados obtidos pela instrumentação, torna-se possível, mediante um adequado processamento e interpretação dessas leituras, envolvendo frequência e abrangência das mesmas, estabelecer bases consistentes para reavaliações dos critérios da sua estabilidade e formular diretrizes para eventuais intervenções nos taludes potencialmente instáveis. (FONTES, 2011).

Segundo Rizzo, 2007, o inclinômetro (Figura 1) é um instrumento que serve para medir deslocamentos horizontais dentro do terreno. Permite localizar a profundidade da superfície de ruptura e acompanhar a progressão dos movimentos de uma encosta. É um dos instrumentos mais importantes na maioria das obras geotécnicas. A coleta de dados é feita em furos de sonda, onde se encontram devidamente instalados tubos confeccionados em plástico ABS ou em aço galvanizado de maleabilidade mínima que acompanhe o movimento do solo. A parte inferior do tubo é fixada no maciço rígido, tornando-se um ponto fixo de referência em relação aos demais pontos do corpo do tubo, os quais se tornam sensíveis à movimentação horizontal do solo acima do maciço.

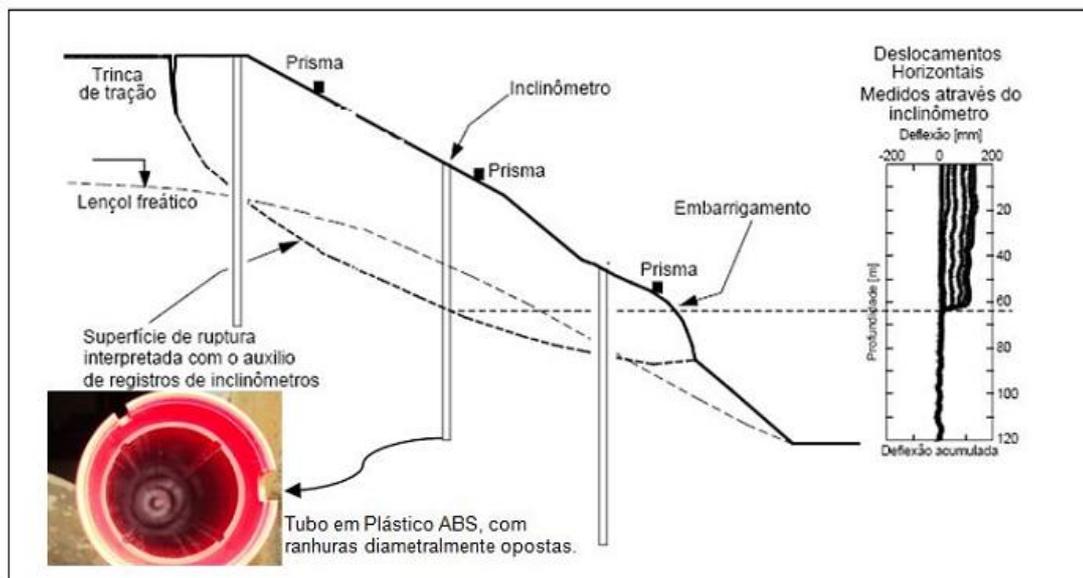


Figura 1: Esquema geral da instrumentação de uma encosta por meio de inclinômetros. (Fontes, 2011)

Um inclinômetro (Figura 2) consiste basicamente em um pêndulo atuando sob a ação

da gravidade, que mede a inclinação de um “torpedo” (no interior do qual o pêndulo é

instalado) em relação à vertical. A inclinação do torpedo é obtida via uso de servo-acelerômetros, conectados em ponte completa. Por meio de um transdutor, essa grandeza é convertida em sinal elétrico e enviada a um equipamento de leitura em superfície.

Torna-se importante enfatizar que as análises dos registros com este tipo de instrumento não estão associadas

especificamente à movimentação do tubo em relação à vertical, e sim à mudança da posição e da inclinação do tubo em relação a uma dada condição inicial (condição de instalação), caracterizada pela série de leituras iniciais. As leituras permitem quantificar a movimentação do tubo e, conseqüentemente, do terreno circunvizinho.



Figura 2: Equipamentos utilizados na aquisição de dados. (Modificada de [www.sisgeo.com](http://www.sisgeo.com))

1. Torpedo dotado de sonda e acelerômetros internos;
2. Aparelho de leitura, coleta e gravação de dados em superfície;
3. Roldana de apoio para descida do torpedo no interior do tubo;
4. Cabo sustentador do tubo que também indica a profundidade.

As variações do perfil do tubo representam o perfil dos deslocamentos do próprio terreno em profundidade, sendo expressas pelos valores acumulados dos desvios laterais registrados para os sucessivos intervalos de leitura. Desta forma, a partir de um alinhamento inicial (posição de instalação vertical do tubo-guia engastado no terreno pela base), torna-se possível medir a evolução da posição relativa dos diferentes segmentos do tubo, quantificando-se, então, o padrão de deslocamentos do maciço em profundidade. (MANUAL SISGEO).

A partir dos dados obtidos por meio de leituras mensais torna-se possível a elaboração de gráficos que relacionam, em função da profundidade de instalação do torpedo e do eixo escolhido: os desvios experimentados pelo tubo; a evolução dos deslocamentos horizontais, segundo ambos os eixos de análise ou em sentido resultante.

Com base nos resultados, foram constatados deslocamentos horizontais significativos em certos pontos. Tais movimentações ocorrem em função de aspectos particulares de cada ponto monitorado, tais como a litologia, o índice de precipitação pluviométrica e efeitos das vibrações induzidas pelo tráfego. Estes fatores caracterizam condicionantes eventuais, isto é, que podem variar em função do tempo, desta forma, demandam análise contínua e contextualizada de prevalência de fatores e sua influência em potencializar a extensão do problema.

Para melhor compreensão do método e instrumentação, são apresentados os resultados e análise de uma encosta que contém três

verticais de inclinômetro instalados no centro histórico da cidade de Ouro Preto, a localização destes pontos é observada no entorno da Igreja São José e imediações da Rua Getúlio Vargas, conforme descrito a seguir.

3.1 Igreja São José e Rua Getúlio Vargas  
A localização e a distribuição dos tubos de inclinômetro instalados nas adjacências da Igreja São José e na Rua Getúlio Vargas estão demonstrados na figura a seguir (Figura 3).



Figura 3 – Locais dos tubos de inclinômetro instalados nas imediações da Igreja São José e da Rua Getúlio Vargas. (Fonte: Google Earth, acessado em 10/04/2014)

A encosta em estudo possui três verticais de inclinômetro, que estão inseridas em uma zona de provável ocorrência de contato geológico (Figura 4). De acordo com o mapa geológico da área, proposto por Baltazar *et al*, 2005, nas porções ao sul são esperadas rochas do Grupo Sabará. Isto ocorre na área de instalação de duas verticais de inclinômetro à Rua Getúlio Vargas.

A porção norte é caracterizada por rochas da Formação Barreiro e Cercadinho, sendo passível a ocorrência de ambas as formações no ponto de instalação da vertical de inclinômetro, à Igreja São José, dada sua proximidade com a

zona de contato geológico inferido. Além da complexidade geomorfológica, um dos fatores de grande importância para a estabilidade da área em questão é o fato de ela ser constituída por feições em corte e aterro (Figura 5), que transformam o perfil em subsuperfície. Em geral, são observadas estruturas de contenção e formação de platôs não condizentes com o perfil natural. De fato, devido ao padrão de ocupação, estima-se que a encosta natural foi altamente modificada para criação de acessos, com abertura de vias e construção de edificações.

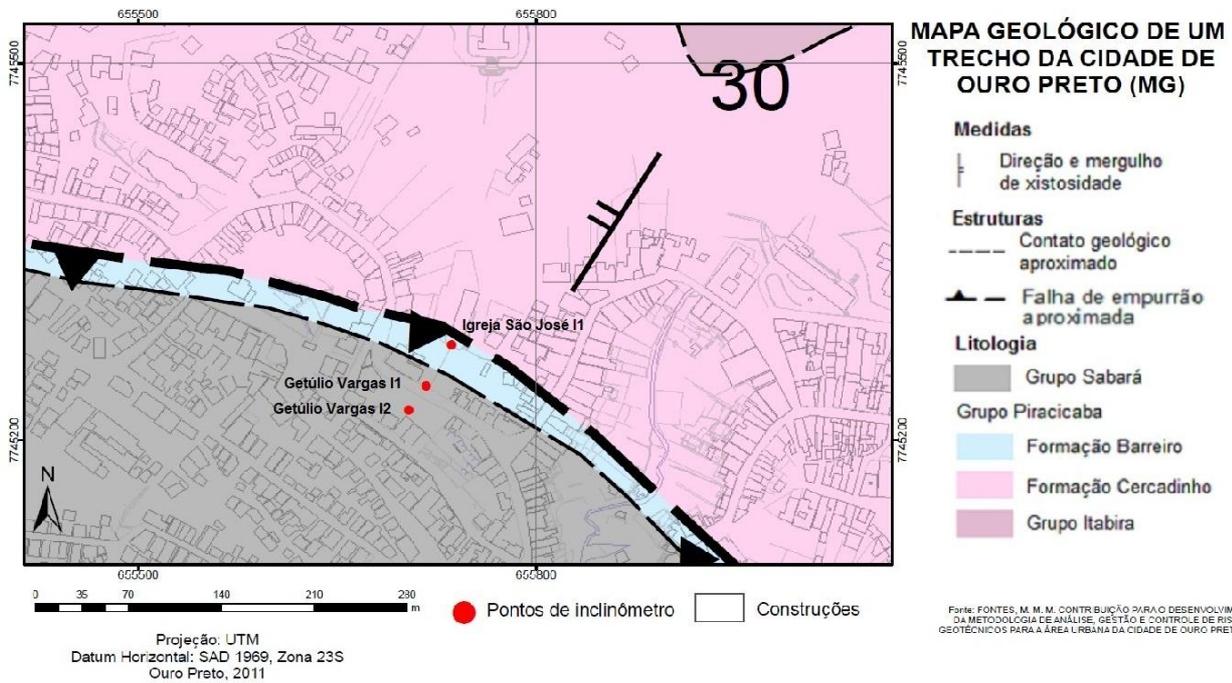


Figura Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento.: Mapa geológico da área de estudo. (Modificado de Baltazar *et al.*, 2005)

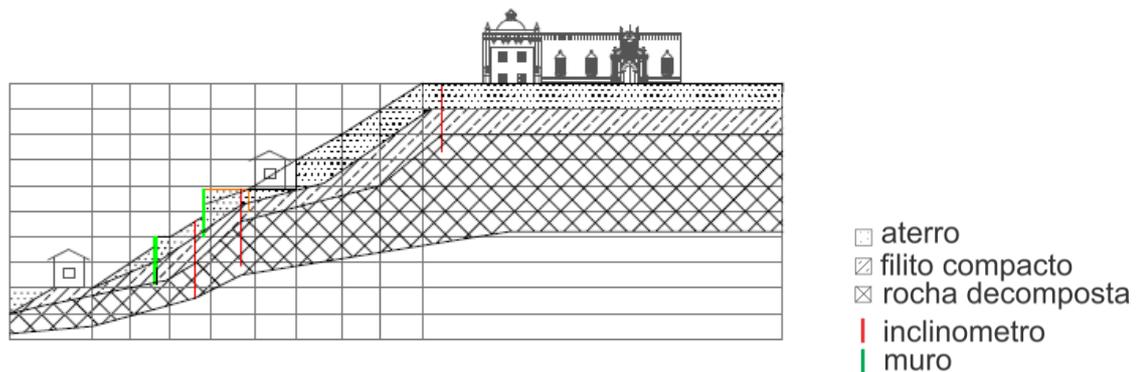


Figura 5: Perfil geológico da área de estudo.

A Rua Getúlio Vargas vem sendo objeto de estudo geológico-geotécnico por possuir alguns indícios de movimentação, como abatimentos e trincas no terreno e nas edificações. Esses indícios aumentam a preocupação em torno da área e complementam a análise da instrumentação local feita a seguir.

A Igreja São José se localiza na parte intermediária a superior da encosta, o furo possui 21,0m de profundidade, porém foi obstruído por objeto desconhecido na profundidade de 13,5m.

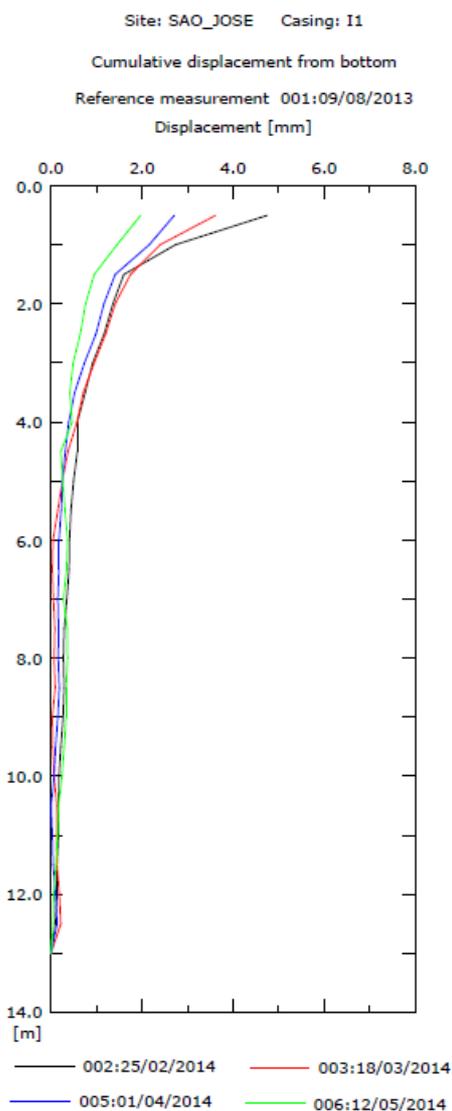


Figura 6: Gráfico do deslocamento acumulado do ponto I1 na Igreja São José.

O gráfico da Figura 6 mostra deslocamentos no sentido contrário ao esperado de movimento, o que pode caracterizar movimentação complexa do maciço, mas também há possibilidade de interferência das intervenções executadas na área, isto é, obras no acesso à Igreja. Ainda assim, os deslocamentos apresentam cerca de 5,0mm em subsuperfície, o que segundo Varnes, 1958, é considerado extremamente lento no intervalo de tempo de registro. Contudo, observa-se a progressão destes deslocamentos com o tempo, desta forma, é necessária a atenção e o permanente acompanhamento da área. Conforme caracterização apresentada acima, devido à alta possibilidade de existência de camadas superficiais de aterro de baixa resistência nesta

área, reforça a necessidade de monitoramento permanente, para detecção preventiva, caso este avanço de deslocamentos exija a execução de intervenção para estabilização.

As Figuras 7 e 8 apresentam os gráficos gerados a partir das leituras realizadas em campanha iniciada em julho de 2013. Na vertical de inclinômetro denominada I1 (Figura 7) observa-se um deslocamento global das camadas subsuperficiais da encosta, até o pico localizado a profundidade de aproximadamente 9,5 metros, com deslocamentos da ordem de 1,0mm. Observa-se que apesar de haver toda uma tendência de movimentação nas camadas subsuperficiais, este pico aponta provável movimentação em maiores níveis de profundidade, o que, em caso de progressão, pode resultar em ruptura global da área. Importante salientar que a magnitude dos deslocamentos observados neste período é pequena, estando abaixo do limite de precisão do equipamento, contudo, é nítida a tendência das leituras com todas as curvas seguindo um mesmo padrão.

Em complemento, observa-se que a via é contida por uma estrutura de pedra com altura de aproximadamente 4,50 metros. Isto é, inferior à profundidade de ocorrência dos picos de deslocamentos registrados entre 2013 e 2014 (Figura 7). Isto indica que em caso de progressão, a ruptura poderá passar abaixo da base desta estrutura, o que reforça a necessidade de intervenção dos terrenos de base, isto é, dos terrenos que se encontram a jusante da área.

A Figura 8 mostra o gráfico gerado da vertical de inclinômetro I2, nele percebe-se superficialmente um deslocamento de aproximadamente 8,0mm, que se inicia a partir de 3,0 metros de profundidade, mas que atualmente representa movimentação não característica a nível superficial, podendo ser resultado de distorções no procedimento de execução de leitura. Sendo em princípio desconsiderado como movimentação real. Hipótese a ser corroborada por futuras leituras.

Independente da magnitude descrita anteriormente, padrões de deslocamento são observados na profundidade de 3,0 metros, com progressão contínua no intervalo considerado. Estes deslocamentos se apresentam consistentes

com a profundidade dos picos de deslocamento registrados para o Furo I1. O que reafirma a possibilidade de concentração de deformações nestas áreas e a necessidade de monitoramento e intervenções anteriormente apontados.

Desta forma, mesmo que não haja risco imediato, a progressão da condição de instabilidade tem sido observada, sendo expressamente recomendada a continuidade do monitoramento da área, o que deve incluir não somente as leituras de inclinômetros, mas também inspeção visual periódica para observação do aparecimento e/ou progressão de indícios de movimentação em superfície. E diante dos fatos já constatados, aponta-se a necessidade de realização de intervenções para garantia da estabilidade global da área, incluindo a revisão dos padrões de contenção existentes e adequação dos sistemas de drenagem.

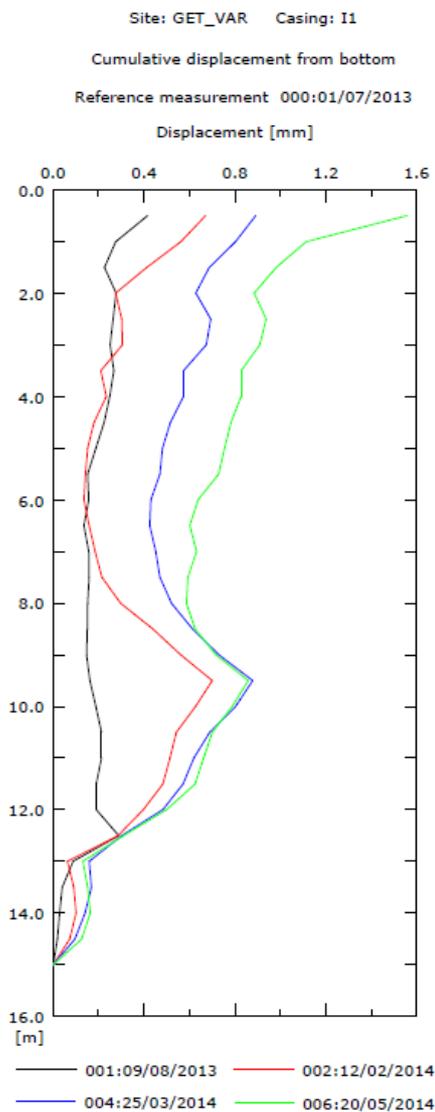


Figura 7: Gráfico do deslocamento acumulado do ponto I1 na Rua Getúlio Vargas.

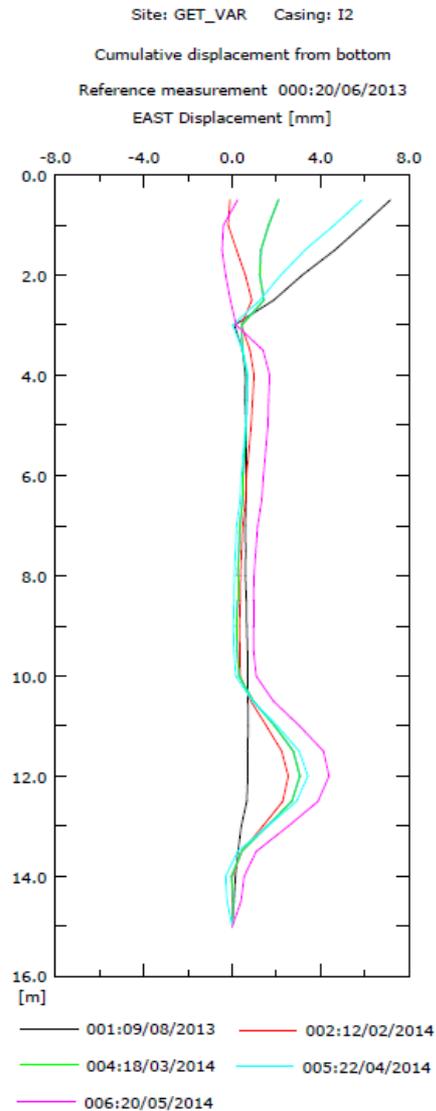


Figura 8: Gráfico do deslocamento acumulado do ponto I2 na Rua Getúlio Vargas

#### 4 CONCLUSÃO

A partir dos registros indicados anteriormente, observa-se, em geral, uma movimentação pouco expressiva, porém, em alguns locais existem deslocamentos que se destoam do padrão geral e devem ser monitorados para melhor compreensão dos movimentos, que em caso de progressão podem demandar intervenções. A localização destas movimentações mais expressivas permite direcionar demandas em intervenção, ditando, por exemplo, a profundidade de influência de soluções a serem

projetadas.

De acordo com o histórico da área, que registra intervenções antrópicas contínuas sobre o meio físico, e por sua relevância, anota-se que apesar de insipientes, as movimentações ocorrem e sua progressão deve ser acompanhada, de modo a permitir intervenções quando e se necessárias.

Importante destacar ainda que os intervalos de tempo aqui apresentados são relativamente pequenos, mas já suficientes para caracterizar relevância de um programa de monitoramento e diante da condição de risco caracterizada para a Cidade é recomendada sua expansão (para outras áreas igualmente importantes) e continuidade.

Nota-se então que o inclinômetro constitui-se de uma ferramenta poderosa no acompanhamento da evolução dos deslocamentos de massa, auxiliando de forma direta na avaliação da estabilidade global da encosta. O mesmo propicia informações integradas que permitem a implementação de análises da estabilidade das encostas, aferição dos condicionantes geológico-geotécnicos dos eventos e adoção de ações mitigadoras para controle e prevenção contra possíveis acidentes associados a movimentos gravitacionais de massa nesta região de implantação do tubo. Registra-se ainda que, estão em estudos outros pontos da cidade para instalação de outras verticais de inclinômetro, favorecendo de maneira considerável a previsão de ocorrências, com vistas à segurança da população local e subsidiando a gestão da cidade com ferramentas que auxiliem na priorização de recursos no controle de riscos associados a escorregamentos.

## REFERÊNCIAS

FONTES, M. M. M. 2011. *Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos para a área urbana da cidade de Ouro Preto*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. 188 p.

FONTES, M. M. M. 2006. *Instrumentação e Monitoramento das Encostas Urbanas e Zoneamento das Áreas de Risco da Cidade de Ouro Preto/ MG In:*

II Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos, 2006, Nova Friburgo.

<http://www.sisgeo.com/> Acessado em: 01/03/2014.

SISGEO. Manual Archimede Datallogger. Revisão2. 2013.

VARNES, D. J., 1958, *Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C., p.20-47.*

OLIVEIRA, L. D.,2010, *Ocupação Urbana de Ouro Preto de 1950 a 2004 e Atuais Tendências*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. 151 p.

RIZZO, S. M., 2007, *Monitoramento das Escavações de uma Área de Rejeito de Bauxita*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 172 p.

LOBATO, L. M.; BALTAZAR, O. F.; REIS, L. B.; ACHSCHIN, A. B.; BAARS, F. J.; TIMBÓ, M. A.; BERNI, G. V.; MENDONÇA, B. R. V. de; D. V. 2005. *Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero – Integração e Correção Cartográfica em SIG com nota explicativa*. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005.

PINHEIRO, A. L.; SOBREIRA, F. G.; LANA, M. S. 2004. *Riscos Geológicos na Cida Histórica de Ouro Preto*. Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais. p. 87-101.