



ARTICLES/ARTIGOS/ARTÍCULOS/ARTICLES

Estudo da declividade e identificação de áreas de risco na região de cava da mina de ferro no Morro do Urucum, estado do Mato Grosso do Sul, Brasil

Mestrando Hudson de Azevedo Macedo

Programa de Pós-Graduação em Geociência e Meio Ambiente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. **E-mail:** hud_azevedo@hotmail.com

Doutor Aguinaldo Silva

Professor Adjunto do Curso de Geografia, Campus Pantanal, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. **E-mail:** aguinald_silva@yahoo.com.br

Doutor Edgar Aparecido da Costa

Professor Adjunto do Curso de Geografia, Departamento de Ciências do Ambiente, Campus Pantanal, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. **E-mail:** edgarac10@gmail.com

Doutora Beatriz Lima de Paula

Professora Adjunta do Curso de Geografia, Colegiado de Geografia, Campus Universitário Marco Zero do Equador, Universidade Federal do Amapá. **E-mail:** beatrizlpaula@yahoo.com.br

RESUMO

ARTICLE HISTORY

Received: 12 December 2011
Accepted: 29 June 2012

PALAVRAS-CHAVE:

Área de risco
Declividade
Mina de ferro
Topografia

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de declividade da região da mina de ferro situada no morro do Urucum, localizado nos municípios de Corumbá e Ladário-MS. Neste estudo, procurou-se identificar as áreas de risco geotécnico por motivo de inclinação acima dos limites de segurança nos taludes da cava da mina a céu aberto, e para isso, utilizou-se dados de levantamento topográfico, juntamente com outros dados de altimetria, como aerolevanteamento laser. Como recurso computacional para a confecção do mapa de declividade,

empregou-se o software ArcGIS 9.3, utilizando-se a ferramenta de interpolação TIN (Triangulation Irregular Network) e posterior conversão em arquivo raster.

KEY-WORDS:

Risk area
Slope
Iron mine
Topography

ABSTRACT – STUDY OF SLOPE AND IDENTIFICATION OF RISK AREA IN REGION PIT OF IRON MINE ON MORRO DO URUCUM, MATO GROSSO SUL STATE, BRAZIL. The aim of this work is to present a study of slope of the area of the mine of iron in Morro do Urucum, located in the municipal districts of Corumbá and Ladário-MS. In this study, the areas of risk geotechnical were identified because of inclination above safety's limits in the shelving of the digging of the mine in the open, and for that, it was used data of topographical, together with other altimetric data, as laser air survey. As Software of space analysis was used ArcGIS 9.3, for making of the map of steepness of the area, using the tools TIN (Triangulation Irregular Network) and after converting raster file.

RESUMEN:

Área de risco
Declividade
Mina de ferro
Topografía

RESUMEN – ESTUDIO DE LA PENDIENTE Y LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RIESGO EN LA REGIÓN DE LA MINA A TAJO DE HIERRO EN MORRO DO URUCUM, ESTADO EL MATO GROSSO DO SUL, BRASIL. El objetivo de este trabajo es presentar un estudio de la mina de hierro declividad región ubicada en el cerro del achiote, que se encuentra en los municipios de Corumbá y Ladário MS-. En este estudio, hemos tratado de identificar las áreas de riesgo geotécnico, debido a la pendiente por encima de los límites de seguridad de las pistas de pozo en la mina a cielo abierto, y para ello, hemos utilizado los datos de la encuesta, junto con otros datos del altímetro, como el láser de reconocimiento aéreo. Como un recurso computacional para la elaboración del mapa de la pendiente, se utilizó el software de análisis espacial ArcGIS 9.3, utilizando la herramienta de interpolación TIN (Triangulation Irregular Network) y posterior conversión en archivo raster.

Introdução

A área de estudo situa-se na morraria do Urucum, nos municípios de Ladário e Corumbá-MS (Figura 1). A região é ocupada por empresas de mineração que exploram as formações ferríferas e manganésíferas desta região. Nestas minerações, são executadas lavra do tipo céu aberto e subterrânea, sendo a primeira, o foco deste trabalho.

A geologia do morro é composta por camadas de manganês e jaspilitos intercalados por camadas de arcósio. O minério de ferro é produto de alteração do jaspilito, formando assim uma camada de elúvio e colúvio, sendo que apenas o primeiro é explorado nesta jazida. Os diversos níveis e subníveis estratigráficos que compõem a geologia da Mina de Urucum são compostos por diversos tipos de minérios eluviais (chapinha, olítico, queijo suíço, ripa, compacto, cúbico, preto fino, foliado, laminado planar, compacto cavernoso, ocelar) arcósios ferruginosos, arcósios e camadas localizadas de manganês (Solosconsult Engenharia, 2007). A ocorrência de deslizamento nos taludes de corte desta mina não é comum, pois a estrutura geológica do maciço garante estabilidade dos taludes, devido ao acamamento da estratigrafia estar inclinado no sentido interno do maciço (Figura 2). Porém, foram registrados no ano de 2008 dois acidentes imprevistos (Figura 3), envolvendo equipamentos de desmonte e carregamento do minério, sendo estes, localizados na área da mina chamada de escarpa, por apresentar uma maior declividade em relação ao restante da mina.

Os principais agentes deflagradores de deslizamentos são a remoção da cobertura vegetal, lançamento e concentração de águas pluviais e/ou servidas, execução de cortes com alturas e inclinações acima de limites seguros (Brasil, 2007). A cobertura vegetal assume importante papel na estabilização das vertentes assumindo efeito de frenador, que é dissipador da energia do material em deslocamento (Cassetti, 1991). Raramente um deslizamento pode ser associado a um único e definitivo fator condicionante, devendo ser observado como o produto de uma cadeia de fatores e efeitos que acabam determinando sua deflagração (Brasil, 2007). Os deslizamentos podem ser induzidos, gerados pelas atividades do homem que modificam as condições naturais do relevo, por meio de cortes para construção de moradias, aterros, lançamento concentrado de águas sobre vertentes, estradas e outras obras (Brasil, 2007).

No caso estudado, os deslizamentos foram gerados pelas atividades mineiras nas vertentes, provocando a remoção da vegetação e cortes com alturas e inclinações acima de limites seguros. Nas atividades de mineração a céu aberto, a geometria da cava é definida por metodologia de terraceamento, ou seja, construções de bancadas como geometria básica da cava. Na execução das bancadas, muitas vezes, não é observado parâmetros geotécnicos, ficando os taludes de corte com inclinação acima do indicado para as características da rocha. Assim, ocorrem na mina, regiões de risco de desmoronamento, escorregamento e queda de blocos nos taludes de corte da mina.

Mapeamento e identificação de riscos de deslizamento e queda de blocos são executados no intento de prevenir e garantir a integridade física dos trabalhadores da empresa. Contudo, esta tarefa é elaborada a partir de monitoramento “in loco” pelos técnicos de segurança, geotecnia e geologia, nos taludes da mina, ficando este conhecimento no âmbito dos mapas mentais, do conhecimento empírico. O estudo visa identificar por meio de ferramentas computacionais, as áreas com risco de deslizamento e quedas de blocos na área da cava da mina de ferro no morro do Urucum.

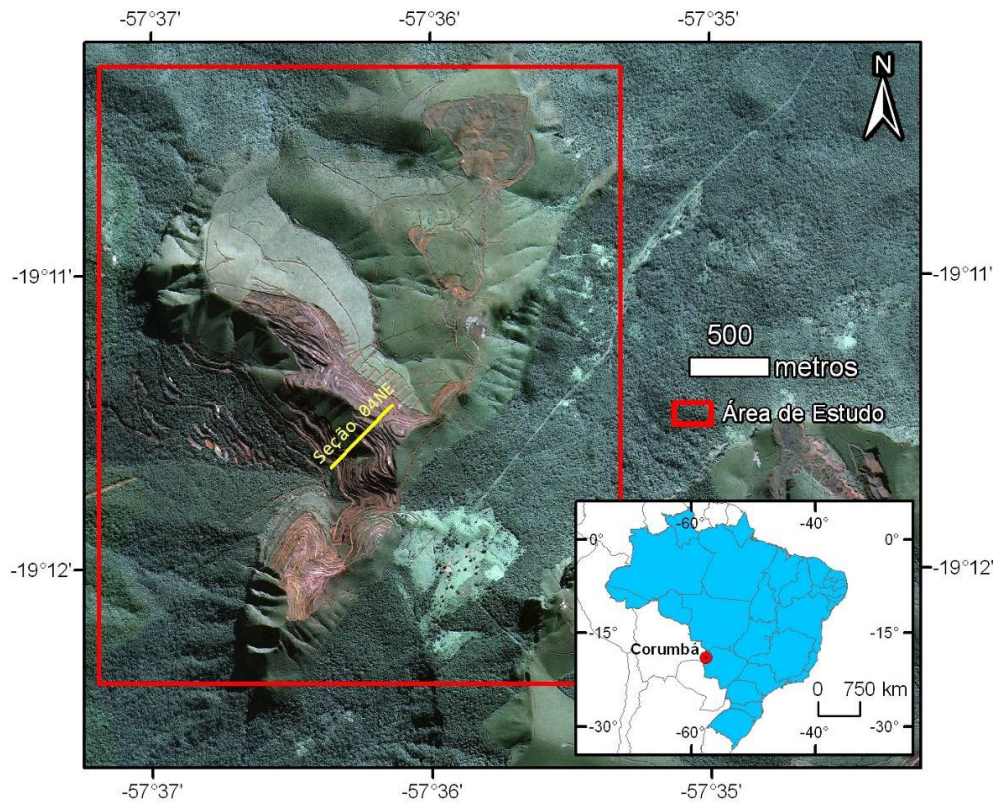


Figura 1 - Localização da área de estudo. A Mina Urucum está situada no morro do urucum, entre os municípios de Ladário e Corumbá-MS. Imagem Ikonos de 23/07/2008.

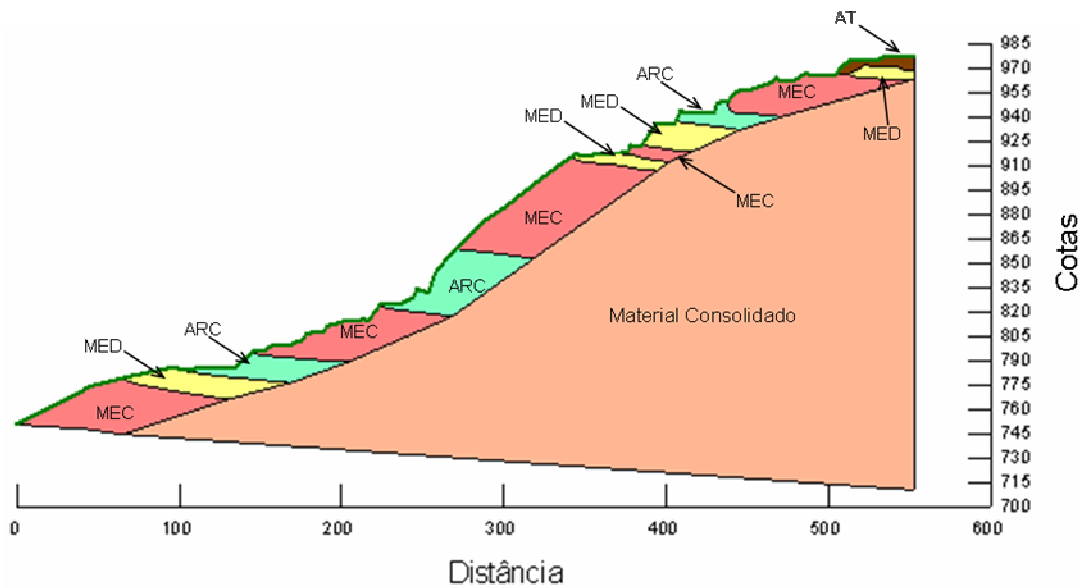


Figura 2 - Perfil geológico da mina do urucum (seção 04NE) demonstrando que a estratigrafia apresenta-se inclinada no sentido interno do maciço. MEC=Minério Eluvial Cavernoso; MED=Minério Eluvial Diversificado; ARC=Arcósio; AT=Aterro. Fonte: Solosconsult Engenharia, 2007.

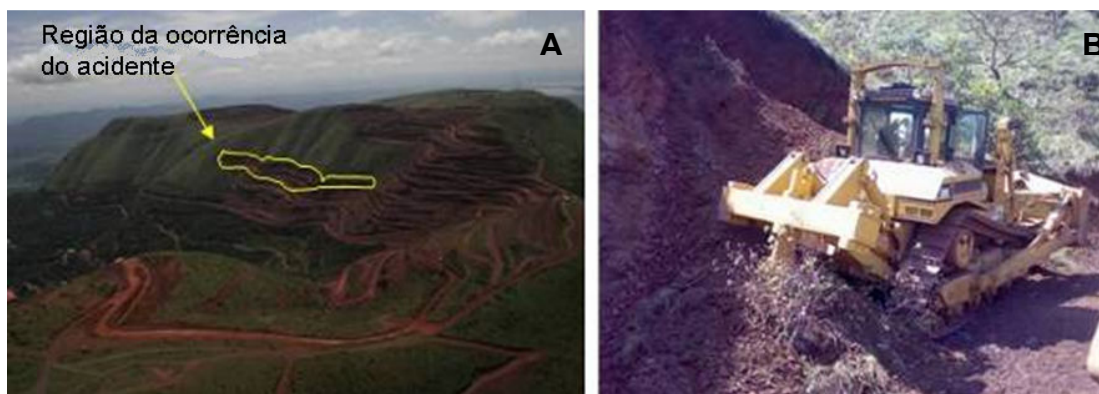


Figura 3 - Visão da cava da mina de ferro na morraria no Urucum, sentido sul-norte (foto A). (A) indicação da área de ocorrência dos deslizamentos (foto: Hudson de Azevedo, 2005). (B) foto do equipamento atingido pelo deslizamento do talude de corte (cortesia de Edson Douglas, 2008).

2. Materiais e Métodos

Neste estudo empregou-se o software ArcGIS 9.3, o qual utilizou-se a ferramenta de interpolação de dados topográficos TIN (Triangulation Irregular Network). Foram utilizados dados de levantamento topográfico da mina (Figura 4), assim como dados de aerolevante laser (Figura 5), todos georreferenciados no sistema UTM, datum horizontal SAD-69, no fuso 21 sul. Foram utilizados dados de atualização da topografia da cava, levantamento do dia 21/10/2010 e as curvas de nível provenientes do aerolevante laser com equidistância de 5 metros. Esses dados foram utilizados para construção do MDE (Modelo Digital de Elevação – Figura 6) da área de estudo e posterior visualização das declividades do terreno (Figura 7). Os dados encontravam-se já processados e em formato DWG 2004 (formato do AutoCAD) e foram fornecidos pela empresa de mineração que atua na área, sendo necessária apenas a conversão do formato do arquivo. Assim, os arquivos foram inicialmente convertidos em formato Shapefile (ArcGIS) para em seguida serem interpolados gerando assim um arquivo TIN do ArcGIS, o qual foi em seguida convertido em arquivo raster gerando o Modelo Digital de Elevação da área de estudo (Figura 6). MDE foi criado com resolução espacial de 2 metros. Foi definida como escala de trabalho a escala de 1:10000 por ser a que melhor se adéqua a resolução do MDE. Imagem Ikonos, datada de 23/07/2008 foi utilizada para a elaboração do mapa de localização da área de estudo e mapa de área de risco.

Buscou-se primeiramente delimitar a área de interesse. De posse desta definição, calculou-se a superfície topográfica da área de estudo (TIN). Com a construção da superfície topográfica e conversão em raster (MDE – Figura 6), partiu-se para a elaboração do mapa de declividade (Figura 8). Este mapa foi gerado após a triangulação dos dados topográficos, assim gerando-se o arquivo TIN da ArcGIS, o qual contém as informações do terreno como elevação, declividade e aspecto do relevo. Em seguida, esse arquivo foi convertido em formato raster com resolução espacial de 2 metros, com informação de elevação. Com esta imagem foi calculado o arquivo de declividade, também com 2 metros

de resolução. Apoiando-se nas imagens Ikonos e de declividade foram feitas incursões ao campo no intuito de verificação das características da geológica/geotécnica local. Assim, foi possível definir três setores geológicos (Figura 8), os quais subsidiaram a classificação de riscos adotada neste estudo. A classificação aqui feita foi apoiada no mapa de declividade, nas características geológico/geotécnica da área e na imagem Ikonos, a qual possui boa resolução espacial (1 metro).

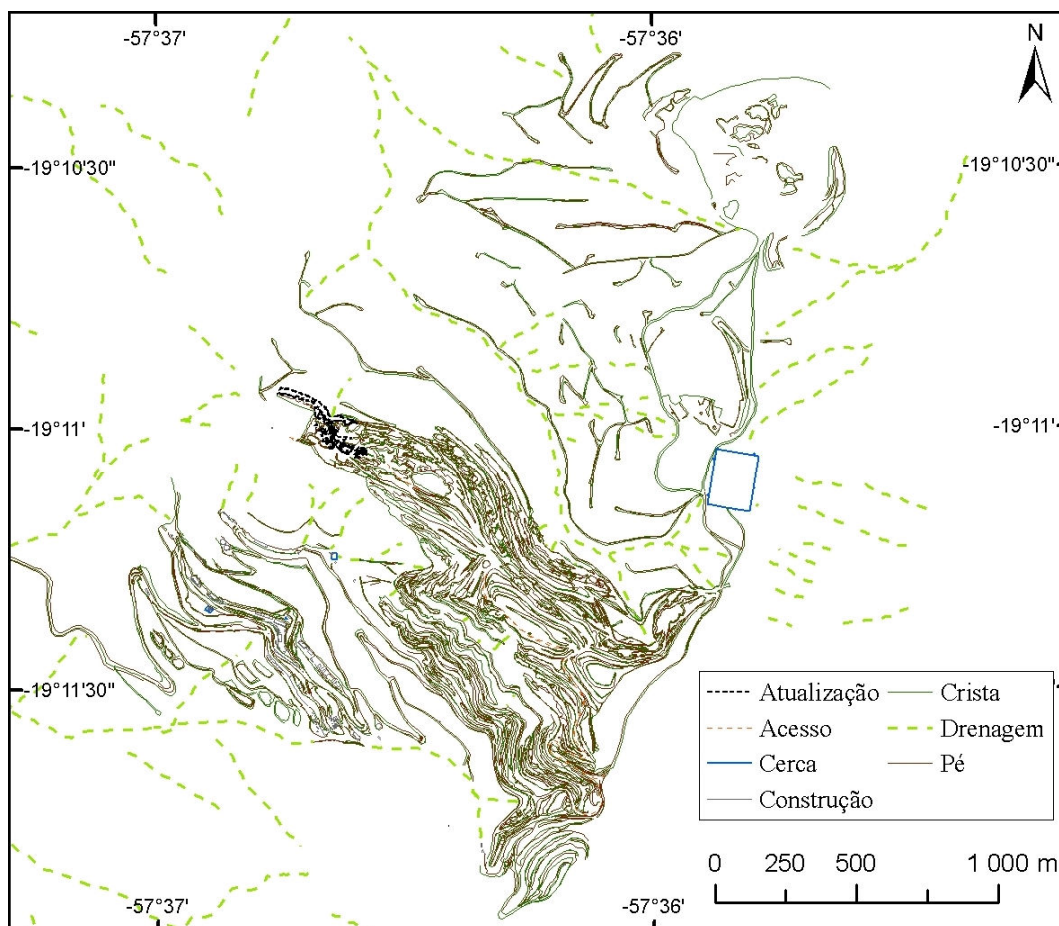


Figura 4 - Levantamento topográfico executado pela equipe de topografia da mina. Levantamento de cava, acessos e pátios. Dados fornecidos pela empresa de mineração.

O mapa de declividade permite a identificação das áreas com ângulo de taludes acima dos limites de segurança. Tendo-se esses dados inicia-se a elaboração do mapa de risco. Este mapa abordará a avaliação de dano potencial a ocupação, expresso segundo diferentes graus de risco, resultantes da conjunção da probabilidade de ocorrência de processos geológicos naturais ou induzidos, e das conseqüências sociais e econômicas decorrentes (Brasil, 2007).

A Figura 9 identifica as áreas de risco decorrentes da análise a partir do mapa de declividade e setores (Figura 8). Para a definição do grau de risco, foram

considerados os danos materiais, econômicos e principalmente humanos decorrentes dos riscos de acidentes. Desta forma, definiu-se, para as áreas de menor declividade e menor altura de talude, um grau de risco baixo. As áreas de médio grau de risco foram aquelas com maior potencial de risco que a anterior, devido à declividade, altura dos taludes e gravidade do risco, mas sem registro de ocorrências. Para as áreas de alto grau de risco levou-se em consideração a existência de eventos passados, associados às condições de declividade e altura de taludes acentuados.

O estudo foi embasado na metodologia do Ministério das Cidades sobre Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios (Brasil, 2007), considerando os critérios de definição de riscos utilizados nessa obra.

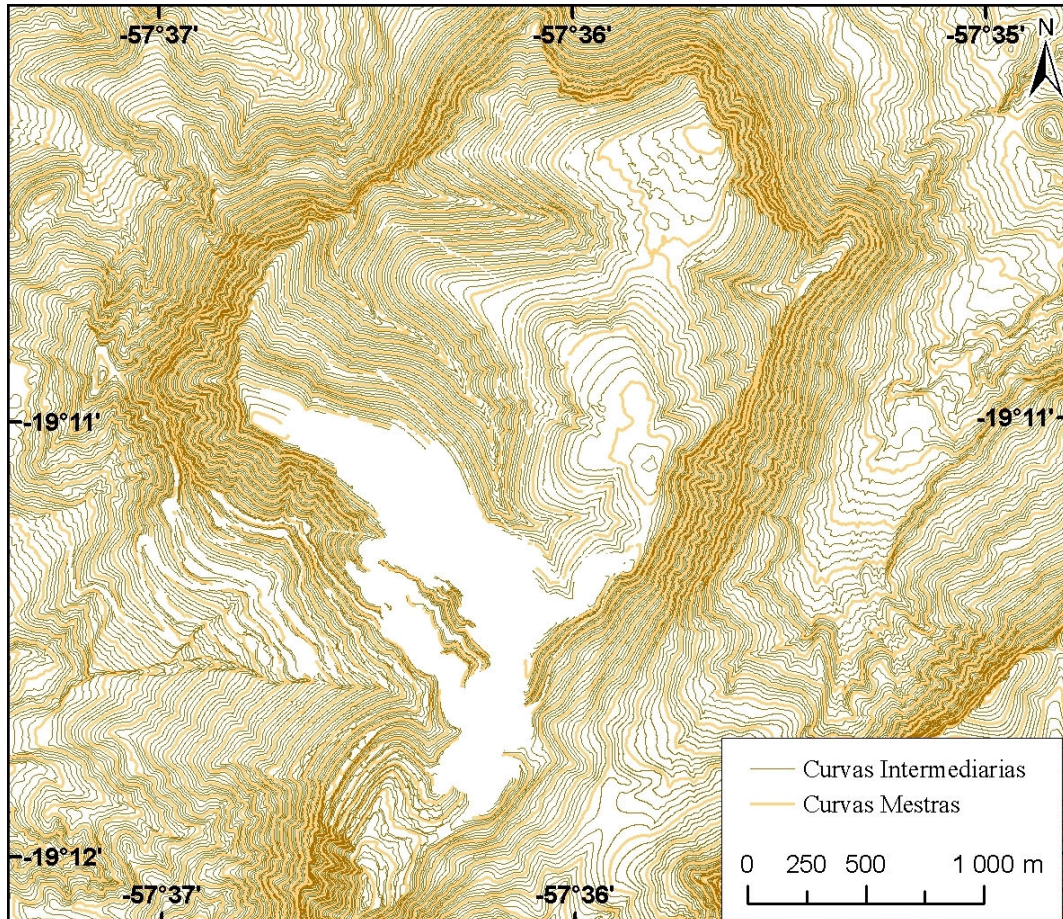


Figura 5 - Aerolevanteamento laser executado por empresa terceirizada com equidistância de 5m. As curvas foram recortadas na região interna da cava, acessos e pátio. Execução: ESTEIO S.A. Dados fornecidos pela empresa de mineração.

3. Resultados e Discussão

Partindo-se dos dados de levantamento topográfico e aerolevanteamento, construiu-se o MDE da área estudada (Figura 6). Com esse modelo foi possível

visualizar as declividades existentes no terreno (Figura 8). A partir do mapa de declividade da área estudada foram feitas as análises pertinentes aos ângulos e alturas dos taludes escavados ou naturais. Foram identificados três setores de risco, definidos pela litologia predominante. O setor A é formado por elúvio (jaspilito alterado), litologia bastante friável que favorece a ocorrência de deslizamento dos taludes, conforme mostrado na Figura 3. O setor B é uma região de afloramento rochoso numa escarpa praticamente vertical, formado por jaspilito (Figura 7), e o setor C que apresenta características dos dois primeiros setores (elúvio+blocos rochosos). Por ser uma rocha pouco alterada, o setor B apresenta o risco de ocorrência de queda de blocos. Já o setor C apresenta tanto o risco de queda de blocos como o risco de deslizamento. Estes três setores nos indicam as possibilidades dos tipos, tamanho, forma e estado dos eventos geotécnicos. Com eles definimos o mapa de inventário e suscetibilidade dos riscos (Figura 9). Foram definidos um total de 11 áreas de risco e calculadas suas respectivas áreas, em metros quadrados, e declividades médias em graus (Tabela 1). Percebe-se que as áreas classificadas com grau baixo de risco apresentaram declividade média menor que 23° , as áreas de médio risco com declividade entre 23° a 30° , e as de alto grau com declividades médias acima dos 30° . Exceção a essa observação foram as áreas 5 e 6 que receberam grau médio de risco pelo fato de não haver registros de escorregamento nessas áreas.

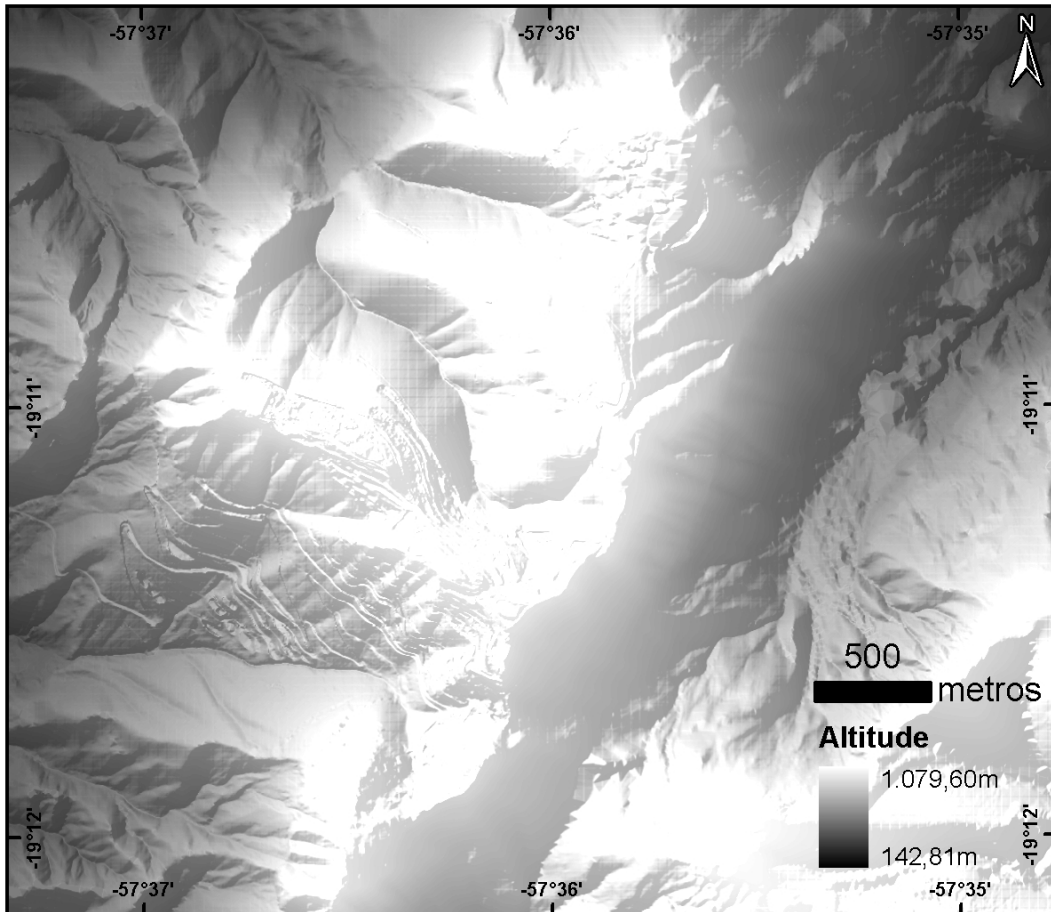


Figura 6 - Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir da interpolação dos dados topográficos (em shapefile). Arquivo raster com 2 metros de resolução espacial.



Figura 7 - Setor B. (1) foto da boca da mina subterrânea existente. (2) foto da escarpa acima da boca da mina, visualizada no mapa de declividade no setor B (figura 7).

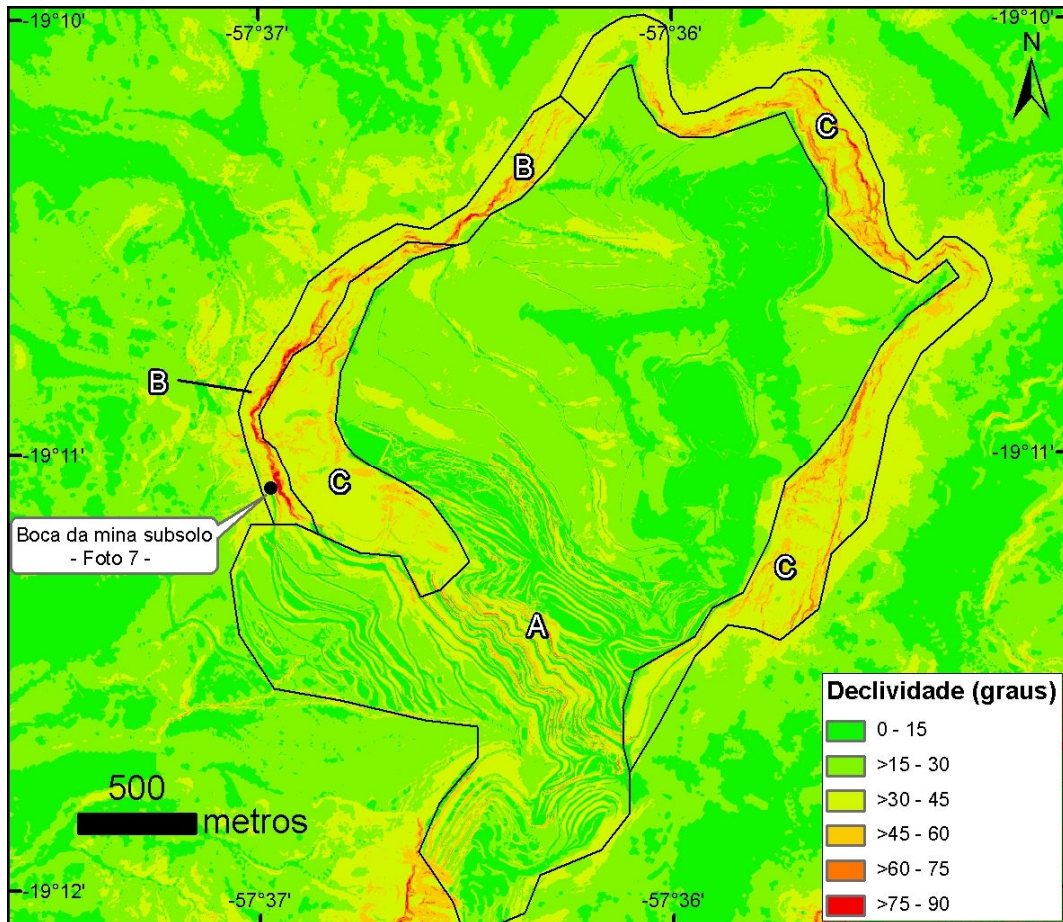


Figura 8 - Mapa de declividade da área de estudo. O gradiente de declividade aumenta dos tons verdes para os vermelhos. Foram identificados três setores de risco: (A) Setor de rocha alterada (elúvio) favorecendo ocorrência de deslizamento; (B) Setor de rocha sã (Jaspilito), favorecendo a ocorrência de queda de blocos; e (C) Setor de rocha alterada com blocos rochosos.

As classificações aqui definidas são reflexo da análise do relevo (declividade) associada a ocorrência de eventos e seus potenciais de danos. Dessa forma, áreas que apresentam declividade pouco acentuada foram classificadas como grau médio de risco, como no caso da área 3. Isso se deve ao fato de nessa área haver evidências de escorregamentos e registros desses, além dos possíveis danos em caso de sinistro (existência de instalações a jusante dessa vertente). O mesmo pode ser expresso para área 1, a qual apresenta declividade abaixo da crítica, mas que apresenta dano potencial a drenagem que se encontra abaixo dessa vertente, onde encontram-se estruturas de retenção de águas pluviais nesta drenagem (gabiões).

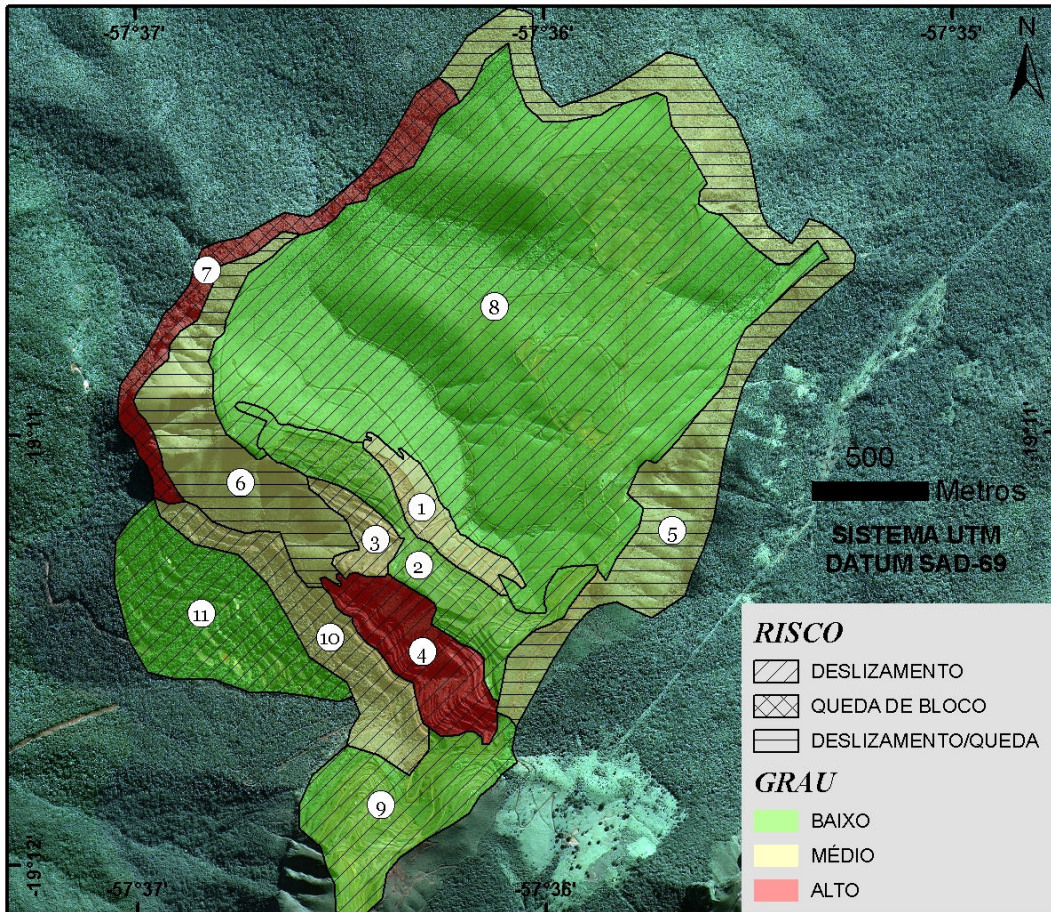


Figura 9 - Mapa das áreas de risco geotécnico dividido em classe e grau de risco. Imagem ikonos de 23/07/2008.

Tabela 1 - tabela de áreas de riscos com respectivas áreas e declividades médias de cada área mapeada.

Id	Grau	Risco	Área(m²)	Decliv. Média(°)
1	Médio	Deslizamento	118336	21.92
2	Baixo	Deslizamento	330844	15.13
3	Médio	Deslizamento	76664	20.41
4	Alto	Deslizamento	245680	30.86
5	Médio	Desl/QB	803596	42.09
6	Médio	Desl/QB	437612	39.52
7	Alto	Queda de Bloco	241356	47.13
8	Baixo	Deslizamento	3154120	19.05
9	Baixo	Deslizamento	383160	22.14
10	Médio	Deslizamento	293528	27.51
11	Baixo	Deslizamento	453384	20.34

4. Considerações Finais

As geotecnologias têm sido utilizadas cada vez mais em soluções e análise de problemas. Neste contexto, estudos deste tipo reforçam a necessidade de se pensar as práticas produtivas no intuito de criar um ambiente mais saudável e seguro para os trabalhadores destas empresas. Existem nestas empresas procedimentos operacionais que visam eliminar ou minimizar os riscos de acidentes de trabalho, dentre estes, é importante salientar os monitoramentos de estabilidade de talude feitos por técnicos de segurança do trabalho, geotécnicos e geólogos da empresa. Outro ponto importante são os estudos e projetos de estabilidade dos taludes da mina, o qual pode-se citar o estudo elaborado pela Solosconsult Engenharia Ltda, com o título *Estudo de Estabilidade de Cava da Mina de Urucum*, citado aqui como referência de pesquisa.

Analisando os mapas de declividade gerados pelo programa (mapa de declividade da área de estudo – Figura 7) e comparando-se estes com a realidade em campo pode-se verificar que o método responde bem as expectativas, gerando informações coerentes com a realidade, permitindo a delimitação das áreas de risco de deslizamento ou queda de blocos.

Os termos utilizados para a classificação do grau de risco (baixo, médio e alto) não definem a probabilidade de ocorrência do evento, mas a conjunção entre a suscetibilidade (possibilidade de ocorrência) e vulnerabilidade (grau de perda). Assim, ao apontarmos o setor B como tendo um risco médio de queda de blocos não estamos dizendo que haja possibilidades médias de ocorrências deste evento, mas que dentro das possibilidades, os danos materiais e humanos teriam um significativo valor. Estas considerações devem ser levadas em conta, mesmo sendo baixas as chances de ocorrências deste evento neste setor, visto que não há registros de quedas de blocos nesta área da mina. O mesmo se aplica a área de minério eluvial (setor A).

Recursos deste tipo auxiliam os trabalhos de campo na identificação das áreas com potencial de risco de deslizamento, ajudando nas tomadas de decisão e redução dos riscos. O mapa de risco produzido aqui poderá servir de base para estudos futuros de geotecnia. Está técnica pode facilmente ser aplicada a outras situações e problemas, fornecendo informações precisas da declividade da área em estudo. Em estudos futuros, se pensa utilizar esta ferramenta no auxílio de análise de bacias hidrográficas, como suporte na delimitação da linha de cumeada.

Agradecimentos

Agradecimentos ao senhor Evandro Favaretto dos Santos, por ter disponibilizado e autorizado o uso dos dados de topografia e as fotos utilizadas neste artigo. Agradecimentos também ao senhor Ronie Amorin pelo fornecimento de materiais de referência, e ao senhor Edson Douglas pela foto disponibilizada.

Referências

- BRASIL, Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília, 2007, 176p.
- CASSETI, Valter. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. São Paulo: Contexto, 1991, 148p.
- SOLOSCONSULT Engenharia. **Estudo de Estabilidade de Cava da Mina de Urucum**. 2007. Relatório de Estudos nº SC-806-111-RT-G16-001 rev1. Belo Horizonte.