

Modelagem Geotécnica de Áreas Susceptíveis a Movimentos de Massa usando o TauDEM em Escala Municipal

Cleverson Alves de LIMA ¹; Eduardo Antônio Gomes MARQUES ²; Lais Emily ASSIS ³; Sady Júnior Martins da Costa de MENEZES ⁴; Thais Simões Coelho SOUZA ⁵;

Resumo – A urbanização combinada à alta densidade populacional caracterizam os assentamentos atuais, sendo um fenômeno social, econômico e ambiental importante, que compromete o planejamento e gestão das cidades. Assim sendo, a percepção dos riscos socioambientais torna-se relevante, devendo, integrar ações estruturantes e o planejamento para as cidades modernas. Este estudo, tem objetivo propor uma modelagem de uma base de informações que subsidiarão os estudos de desastres naturais, usando dados de perfilamento a laser (LiDAR) no município de Três Rios-RJ e parâmetros hidrológicos comporão o mapa de áreas susceptíveis ao risco de movimentos de massa, a nível municipal. O estudo explora, através de métodos determinísticos a questão da estabilidade quanto ao movimentos de massa, em análise macro quando submetido a chuvas intensas, fazendo uma associação com a topografia da região e ao tipo de ocupação urbana. Assim, mostra a importância do planejamento socioambiental para cidades com porte semelhante e em franco crescimento econômico, fornecendo informações detalhadas para subsidiar propostas de desenho urbano.

Abstract – Urbanization combined with high population density characterize the current settlements, being a social, economic and environmental phenomenon important, which compromises the planning and management of cities. Therefore, the perception of environmental risks becomes relevant and integrate structural actions and planning for the modern cities. This study has the objective to propose a information modelling that support the natural disaster studies, using data from laser profiling (LiDAR) at Três Rios City, which, associated with the geological-geotechnical parameters, obtained by SPT Survey (Standard Penetration Test) and hydrological parameters make up the map of areas liable to the risk of mass movements. The study explores, through deterministic methods in GIS, macro analysis of variables like heavy rains in association with topography of the region and the type of urban occupation. Thus, the socio-environmental evaluation of similar size cities and in frank economic growth, providing detailed information to subsidize urban design proposals.

Palavras-Chave – área de risco; estabilidade de taludes; TauDEM

¹ Eng. Civil, Doutorando em Engenharia Civil/Geotecnia, Universidade Federal de Viçosa: Viçosa – MG, (31) 3899-2740, cleveson.lima@ufv.br

² Professor Titular, PhD, Universidade Federal de Viçosa: Viçosa – MG, (31) 3899-2740, emarques@ufv.br

³ Eng. Ambiental, Doutorando em Engenharia Civil/Geotecnia, Universidade Federal de Viçosa: Viçosa – MG, (31) 3899-2740, laismily9@gmail.com

⁴ Professor Adjunto, DsC, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Três Rios-RJ, (24) 2681-4921, sadymenezes@yahoo.com.br

⁵ Eng. Ambiental, MsC, Universidade Federal de Viçosa: Viçosa – MG, (31) 3899-2740, thaissimoes2004@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais constituem um tema cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, independentemente destas residirem ou não em áreas de risco. Ainda que em um primeiro momento o termo nos leve a associá-lo com terremotos, tsunamis, erupções vulcânicas, ciclones e furacões, os Desastres Naturais contemplam, também, processos e fenômenos mais localizados tais como deslizamentos, inundações, subsidências e erosão, que podem ocorrer naturalmente ou induzidos pelo homem (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

A UN-ISDR (2004) define desastre como “uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade arcar com seus próprios recursos.

De acordo com Cerri e Amaral (1998), “a ocorrência de um fenômeno geológico pode ou não gerar perdas e danos. No primeiro caso ele é chamado de acidente e no segundo de evento. A susceptibilidade de uma área com relação a determinado fenômeno geológico caracteriza a possibilidade de sua ocorrência (evento), enquanto que risco envolve a possibilidade de que um fenômeno (evento) seja acompanhado de danos e perdas (acidente)”, conforme mostrado na Tabela 1. Vulnerabilidade significa o grau de perda de um dado elemento ou grupo de risco dentro de uma área afetada por um processo.

Tabela 1 - Conceito dos termos acidente, evento e risco Fonte: (CERRI; AMARAL, 1998)

Termo	Conceito
Acidente	Fato já ocorrido, onde foram registradas consequências sociais e econômicas (perdas e danos)
Evento	Fato já ocorrido, onde não foram registradas consequências sociais e econômicas relacionadas diretamente a ele.
Risco	Possibilidade de ocorrência de um acidente.

Entretanto, o foco de uma análise de risco, deve estar pautada nos processos desencadeadores dos desastres, tornando o conhecimento e a avaliação do meio físico obrigatório, como forma de prever o comportamento das áreas envolvidas. No entanto, estes comportamentos são variáveis, dependendo de características do relevo, tipo de solo, tipo litológico do substrato, forma de uso e ocupação, além da climatologia local.

As ações humanas, tendem a amplificar a gravidade dos desastres naturais, produzindo ameaças em áreas estáveis onde não existiam tais condições. Isto é devido ao realização de modificações na área, mediante a construção civil, manejo inadequado, desfiguração ambiental, sem considerar os processos dinâmicos naturais. Portanto, a importância que tem a percepção da vulnerabilidade ambiental frente aos eventos de risco, dá uma dimensão que deve ser considerada para o desenvolvimento regional, fortalecendo os mecanismos de enfrentamento das causas e consequências, minimizando as perdas econômicas, sociais e ambientais.

Considerando o cenário atual, os gestores públicos, de posse de ferramentas de suporte a decisão e dados confiáveis, obrigam-se a um replanejamento das respostas ante futuras situações de riscos naturais, podendo seguir por uma redistribuição das habitações vulneráveis; planos de prevenção e mitigação como forma de minimizar os efeitos dos eventos futuros; associado ao fortalecimento e integração dos sistemas de defesa civil locais e nacionais, compartilhando meios e recursos.

Apresenta-se neste trabalho uma proposta de modelagem hidrogeotécnica, em escala municipal, a nível qualitativo, quanto a suscetibilidade de movimentos de massa aplicados as áreas urbanas ocupadas, considerando para isso, os cenários de uso do solo e o seu diagnóstico. Esta proposta em desenvolvimento, visa indicar as áreas susceptíveis e posteriormente analisar as possíveis consequências decorrentes de movimentos de massa em um município de médio porte, em franca expansão e industrialização, e como a falta de políticas publicas de planejamento urbano que podem acarretar ao aparecimento de zonas de risco evitáveis.

Desta maneira, os produtos deste trabalho de pesquisa visam contribuir ao desenvolvimento local, integrado e sustentável para a cidade de Três Rios – RJ, município este, inseridos no Plano Nacional de Prevenção a Desastres Naturais, com o fornecimento de cartas, mapas e ferramentas de apoio as decisões dos agentes publicos. Ou seja, possam auxiliar e direcionar as políticas publicas adequadas ligadas aos riscos geológico-geotécnicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Local dos estudos

O estudo será realizado na cidade de Três Rios, a qual faz parte do Vale do Rio Paraíba do Sul, região Centro-Sul do estado do Rio de Janeiro, estando inserido no bioma Mata Atlântica, caracterizada por colinas baixas e morrotes alinhados, com desnivelamentos inferiores a 50m (sempre na direção WSW-ENE), ladeados por colinas mais elevadas e morros baixos. Estes terrenos situados próximo à calha do Rio Paraíba do Sul apresentam, em geral, solos Argissolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos eutróficos, devido ao clima menos úmido nesta zona, com totais anuais entre 1.100 e 1.300 mm/ano.

Como relatado por AGEVAP (2007), estima-se que em Três Rios, o grau de vulnerabilidade a erosão são da ordem de 3.552 ha para classe muito alta, 5.084 ha para classe alta e 21.840 ha para classe média. Ou seja, a situação na qual o município se insere é de risco iminente.

Na Figura 1, indica os limites municipais de Três Rios, no enquadramento geográfico de Latitude 22°7'4"12,60"S a 22°09'52,87"S e Longitude 43°15'23,33"W a 43°04'43,97"W.

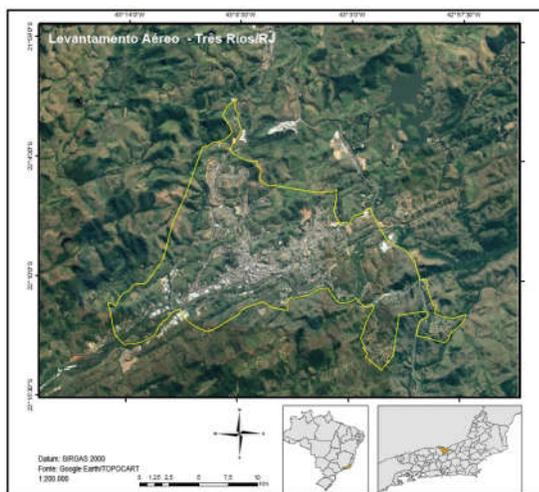


Figura 1 – Localização da área Fonte: Google Earth

O município de Três Rios, encontra-se na Região Hidrográfica RH-III, do médio Paraíba do Sul e possui criticidade para desastres entre médio e alta.

2.2. Modelo Digital do Terreno (MDT)

O MDT foi gerado a partir da nuvem de pontos obtidos pelo perfilamento a laser (LiDAR), que após filtrados os pontos descartáveis (copas de árvores, postes, casas etc), restará uma base de dados com mais de 20 milhões de coordenadas X, Y, Z (Latitude, Longitude e Altitude). O perfilamento a laser, foi processado com resolução espacial de 10 cm, abrangendo toda a área urbana do município, totalizando 35 km². A densidade de pontos adotada no mapeamento foi de 2 ppm (pontos por metro quadrado), com objetivo de gerar mapas na escala 1:2000. O plano de voo considerou sobreposições laterais de 30% e longitudinais de 60% de modo a prevalecer a resolução requerida, conforme pode ser visto nas figuras 2 e 3.

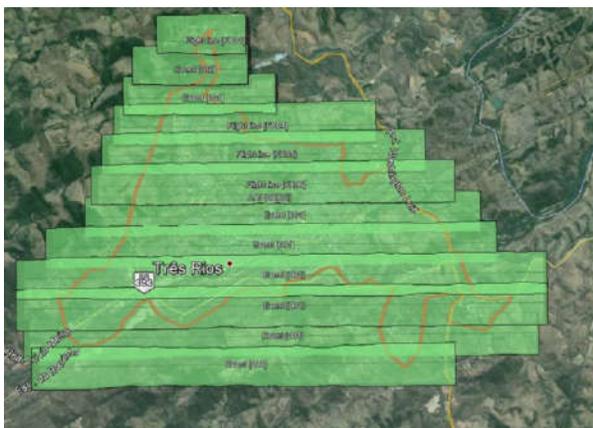


Figura 2 – Plano de voo com as sobreposições

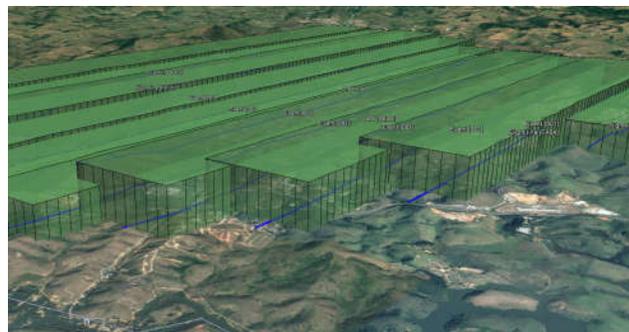


Figura 3 – Vista em 3D do plano de voo

O voo foi realizado com apoio de campo através de receptores GNSS, pelo sistema de aerotriangulação que atenderam as exigências analíticas e semi analíticas.

2.3. Sondagem SPT

Foram obtidos junto a prefeitura do município e empresas parceiras relatórios de sondagem SPT afim de se elaborar um base de dados dos parâmetros de subsolo em pontos discretos do município. Estes dados, após catalogados, forneceram informações quanto ao tipo de solos e a espessura de camada, além dos parâmetros de resistência a percussão. Tais furos de sondagem contemplam diversos bairros da zona urbana, permitindo a formação de um mapa de solos e subsolos, com suas respectivas propriedades mecânicas dispostas a cada metro de profundidade. A espacialização destas informações do substrato, forneceram os parâmetros de resistência do solo através de correlações para o perímetro urbano. Os furos apresentaram profundidade media de 10,0 m, sendo que alguns, foram executados com o auxilio de circulação de água e protegidos por um revestimento de 63,5mm, além da extração de amostras pelo de amostrador padrão de 50,8mm de diametro externo.

2.4. Processamento dos Dados

Foram feitas parcerias com diversos órgãos publicos, no ambito estadual e federal, a fim de se acumular as informações básicas iniciais para o desenvolvimento dos estudos. Para isso, a Defesa Civil do Município de Três Rios, Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro, IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), FURNAS Centrais Elétricas, Universidades e a Prefeitura Municipal de Três Rios, viabilizaram suas base de dados contendo as diversas informações necessárias para a modelagem de risco a nível municipal, para o caso de Três Rios.

Do leque de informações disponível, foi adotado o Perfilamento a Laser (LiDAR) realizado na área urbana municipal, a fim de se classificar o tipo de uso do solo urbano e obter os parâmetros topográficos (Figura 4), obtendo como produto o Modelo Digital de Terreno (MDT) usando o software ArcGIS 10.3.1 (Figura 5). Em seguida, foi feito o cruzamento com a hidrografia, vegetação e pontos de interesse, limitando-os a área em questão, usando a base de dados disponibilizada pelo IBGE, na escala 1:25.000. Após este processamento, como novo produto, foi obtido um mapa indicando a rede de drenagem municipal, que considera o relevo local e as diversas nuances das áreas ocupadas. Como resultado desta análise, traçou-se um perfil hidrogeotécnico superficial da área, que forneceram as áreas de maior suscetibilidade ao movimento de massa.

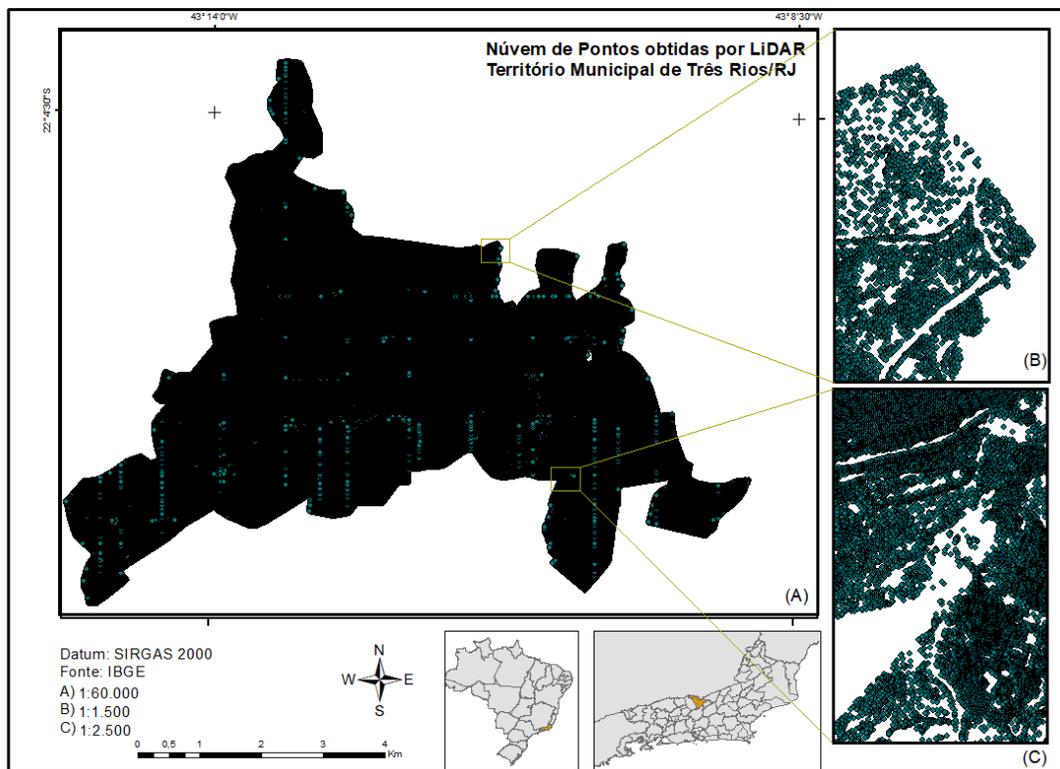


Figura 4 – Núvem de pontos do LiDAR após a remoção de dados desnecessários

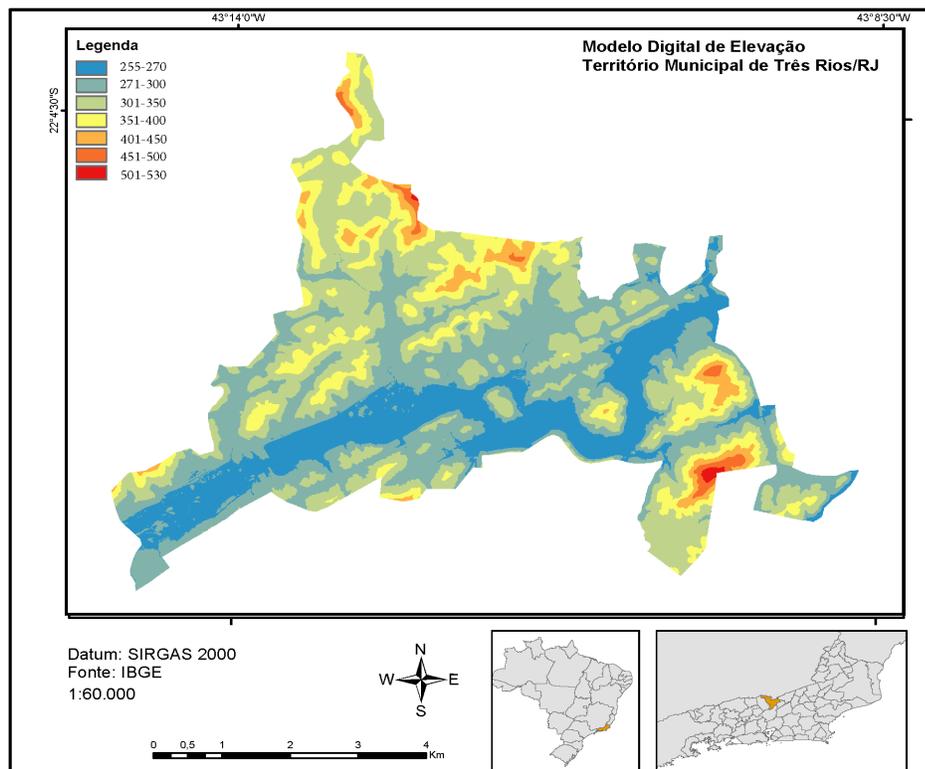


Figura 5 – MDT da cidade de Três Rios

Com estes resultados em mãos, pôde-se caracterizar a área de maior risco considerando a sua inclinação, acumulo de chuvas intensas na bacia hidrográfica e possíveis áreas atingidas por escorregamento utilizando a ferramenta TauDEM (Terrain Analysis – Digital Elevation Models).

Esta ferramenta permite realizar uma análise integrada, de toda a superfície e subsuperfície, diferente de outras ferramentas encontradas no mercado que fazem avaliações pontuais. Estes mapas subsidiarão o poder público a tomar medidas de prevenção, mitigação e gestão socio-ambiental urbana.

Desta forma, utilizou-se o algoritmo D^∞ , presente na ferramenta TauDEM, que dispersa o fluxo de água proporcionalmente de acordo com a inclinação da célula adjacente, ou seja, quando comparado a outras metodologias, esta ferramenta distribui os fluxos pluviais aproximando com a realidade encontrada na natureza, ilustrado na Figura 6. Sua vantagem frente ao método D8, tradicional, é que o fluxo de descarga não fica limitado aos 8 caminhos adjacentes à célula e possíveis de escoamento, ampliando a possibilidade, já que a análise é feita célula a célula e o fluxo disperso da mesma forma.

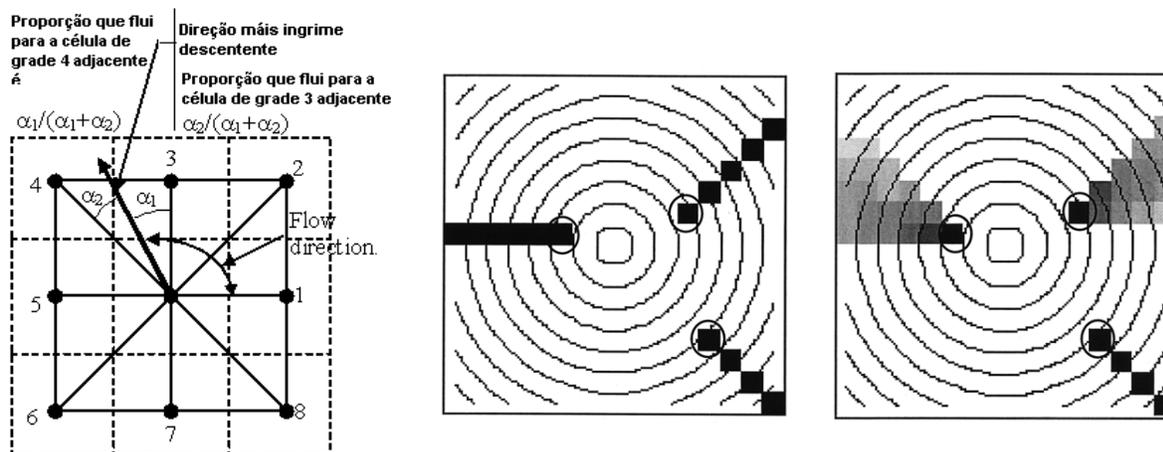


Figura 6 – (a) Representação da distribuição proporcional do fluxo no campo (Tarboton, 1997); (b) Representação do caminho de drenagem pelo método D8; e, (c) Representação da dispersão de fluxo pelo método D^∞

Como proposta, em uma segunda fase da pesquisa, serão integradas estes produtos do processamento entre MDT e características locais, com os dados de subsolo obtidos através de sondagens SPT, gerando um mapa temático que considera as camadas mais profundas do subsolo. Nesta etapa, serão feitas uma avaliação dos parâmetros geológicos-geotécnicos do subsolo, considerando os parâmetros listados acima por técnicas de geostatística, podendo, inclusive, dimensionar o alcance de um escorregamento. Desta forma, como produto final, um mapa com as áreas passíveis de ocorrências ou de alto risco, será confeccionado, ampliando o entendimento dos agentes públicos quanto aos riscos de desastres.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento de dados indicou os pontos de maior probabilidade de ocorrência de movimentos de massa considerando a intensidade de chuvas, a rede de drenagem superficial e parâmetros geotécnicos.

Partindo-se da base de dados obtida dos diversos órgãos, buscou-se entender o direcionamento das águas pluviais dentro do contexto urbano, modelando as redes de fluxo superficiais e zonas de concentração destas águas. Para isso, utilizou-se o algoritmo D^∞ presente na ferramenta TauDEM, que distribuiu os fluxos de água proporcionalmente de acordo com a inclinação de cada célula. Na Figura 7, é apresentado o direcionamento de fluxo da rede de drenagem municipal e, na Figura 8, apresentado os caminhos que cada fluxo de drenagem percorre:

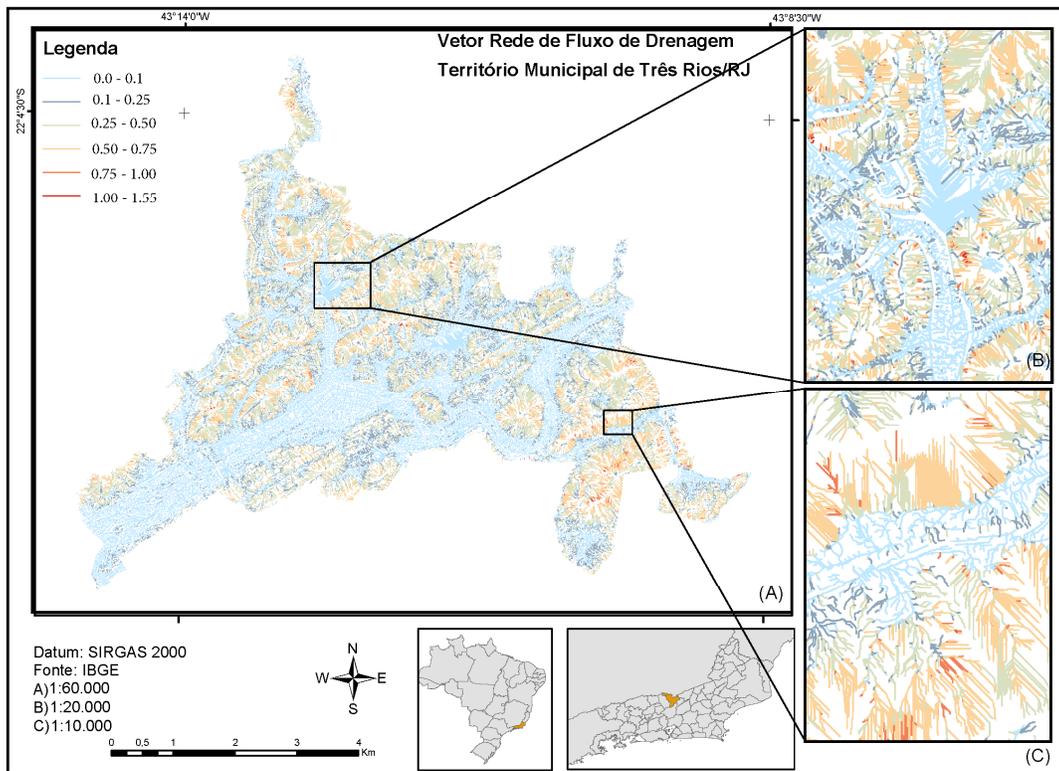


Figura 7 – Vetor fluxo de drenagem superficial

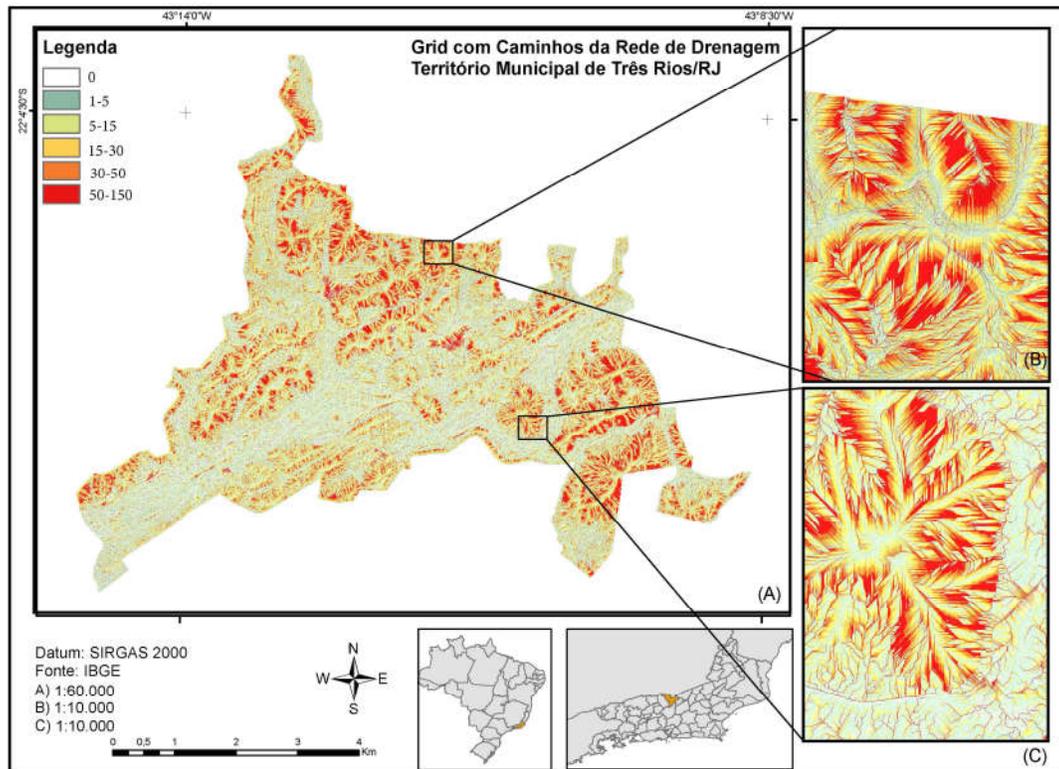


Figura 8 – Grid com os caminhos de direcionamento da rede de drenagem

Estes caminhos indicam a distância percorrida pelo fluxo de água e a velocidade que este fluxo chega até a sua base, dado que é obtido a partir da sua inclinação. Com isso, estas informações servem como parâmetro inicial sobre o potencial gerador de risco ocasionado pela ação das

águas pluviais em um ambiente urbano. Na Figura 7, percebe-se os pontos em azul (mais baixos) de concentração das águas pluviais e os caminhos de drenagem individualizados, enquanto que, na Figura 8, nota-se onde pontos em vermelho como os que concentram as maiores velocidades de escoamento superficial das águas pluviais.

Quando sobreposta a uma imagem de satélite (Figura 9) claramente ficam evidentes os pontos de concentração de água e os caminhos de drenagem pós chuva. Estes caminhos mostram a influência do relevo e da água nas áreas declivosas e potencialmente de risco, e são facilmente identificados no grid em vermelho. Uma observação pode ser feita nos pontos mais baixos, onde, a depender da precipitação, pode vir a ter acumulos de água e inundações. Isto, de fato, vem sendo observado nas ultimas chuvas registradas na cidade, sendo um indicativo de uma melhoria da rede de drenagem de águas pluviais. Não obstante, esta figura mostra os caminhos que estas águas percorrem em taludes com grande inclinação, já indicados na extração do *slope* do Modelo Digital de Elevação, e antropicamente degradados.



Figura 9 – Sobreposição dos Fluxos e Caminhos que as águas pluviais percorrem, considerando a topografia local em um trecho da zona urbana.

Sabendo-se o caminho de fluxo da drenagem e associando aos parâmetros geotécnicos, estimados a partir dos relatórios de sondagem SPT, pode-se simular o comportamento e espalhamento da água na subsuperfície. Este algoritmo, presente na ferramenta TauDEM, permite entender a distribuição da água na subsuperfície, podendo-se obter um índice de umidade no solo para uma dada condição de precipitação. Esta discussão se faz interessante, principalmente nos taludes com grandes interferências ou dentro das zonas urbanizadas. A Figura 10 é apresentada a área de contribuição específica da subsuperfície, onde fica evidenciado como o se espalha as águas pluviais infiltradas.

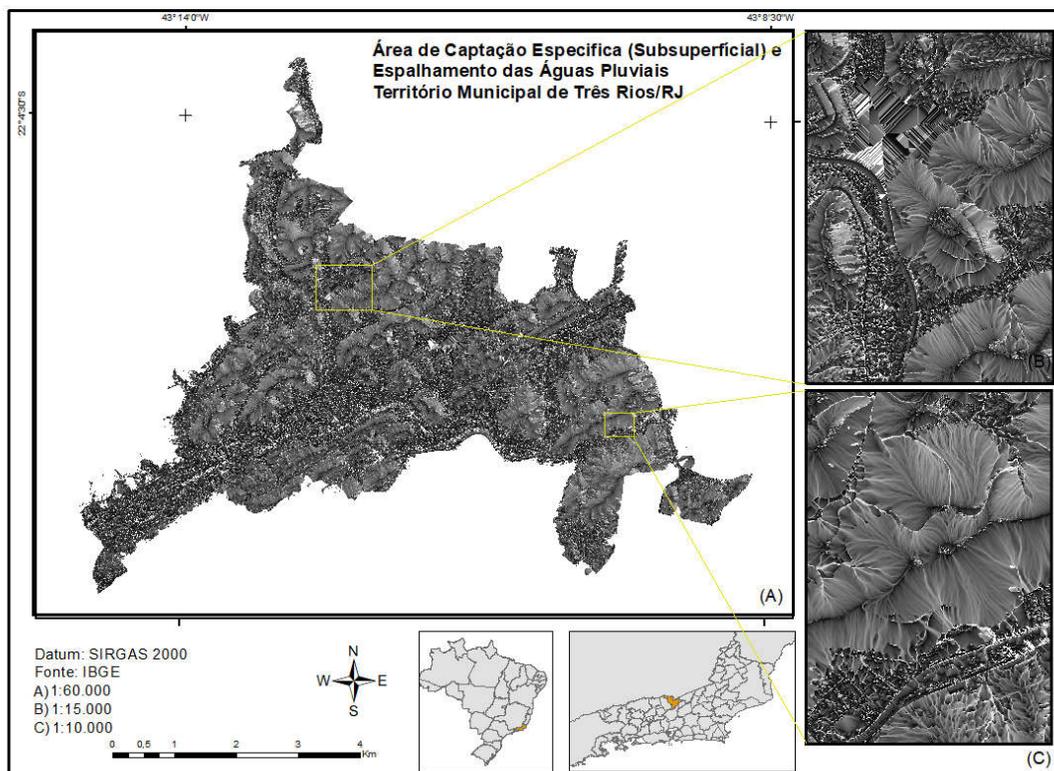


Figura 10 – Espalhamento das Águas pluviais na subsuperfície com estimativa do índice de umidade no solo.

Observa-se na Figura 10, que os pontos mais escuros são os pontos de início do escoamento subsuperficial lento das águas infiltradas, mostrando o espalhamento célula a célula no solo pelo degrade em escala de cinza. Este cálculo considera o logaritmo da razão entre a distância e a sua inclinação. O fluxo de espalhamento termina até os veios ou caminhos em branco que concentram a água drenada. A importância deste mapa é dada ao simular os locais que venham a ter um aumento ou concentração de água, aumentando o peso dos maciços aumentando o risco de ocorrer uma falha em taludes.

Por fim, foi associado aos parâmetros geotécnicos estimados para os solos da região, como coesão e ângulo de atrito do solo, gerando um mapa ilustrado na Figura 11, que indica as regiões de maior potencial de deslizamento, fornecendo uma informação inicial para que as equipes da defesa civil façam uma verificação in loco quanto a sua fragilidade.

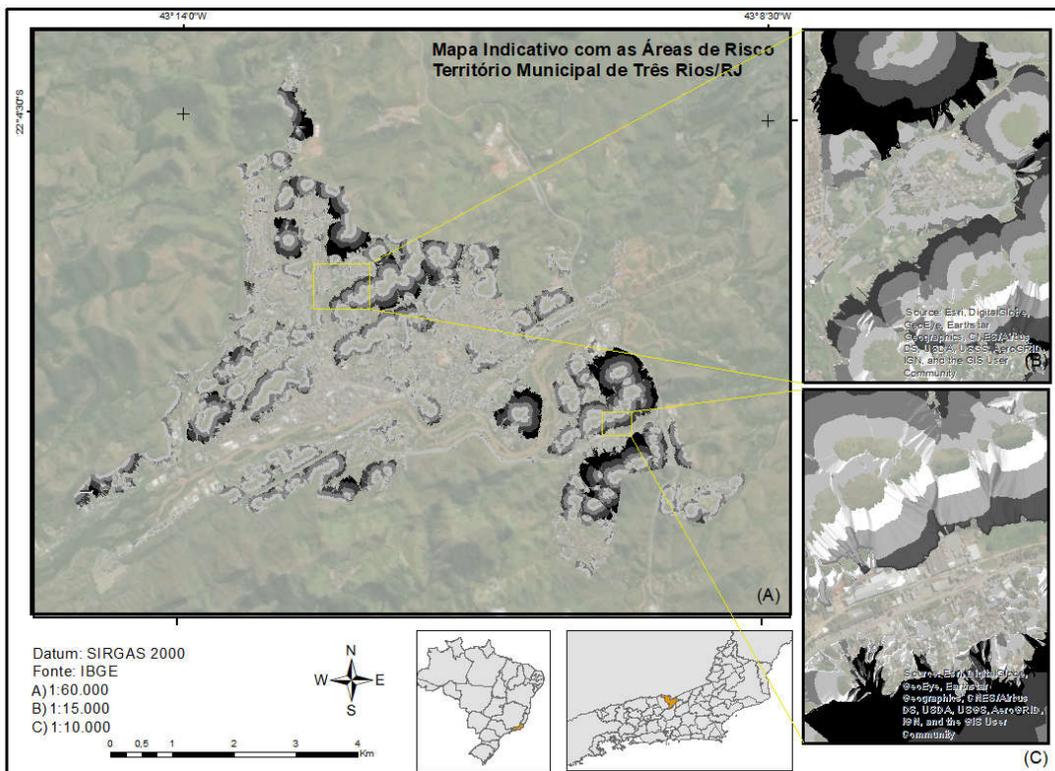
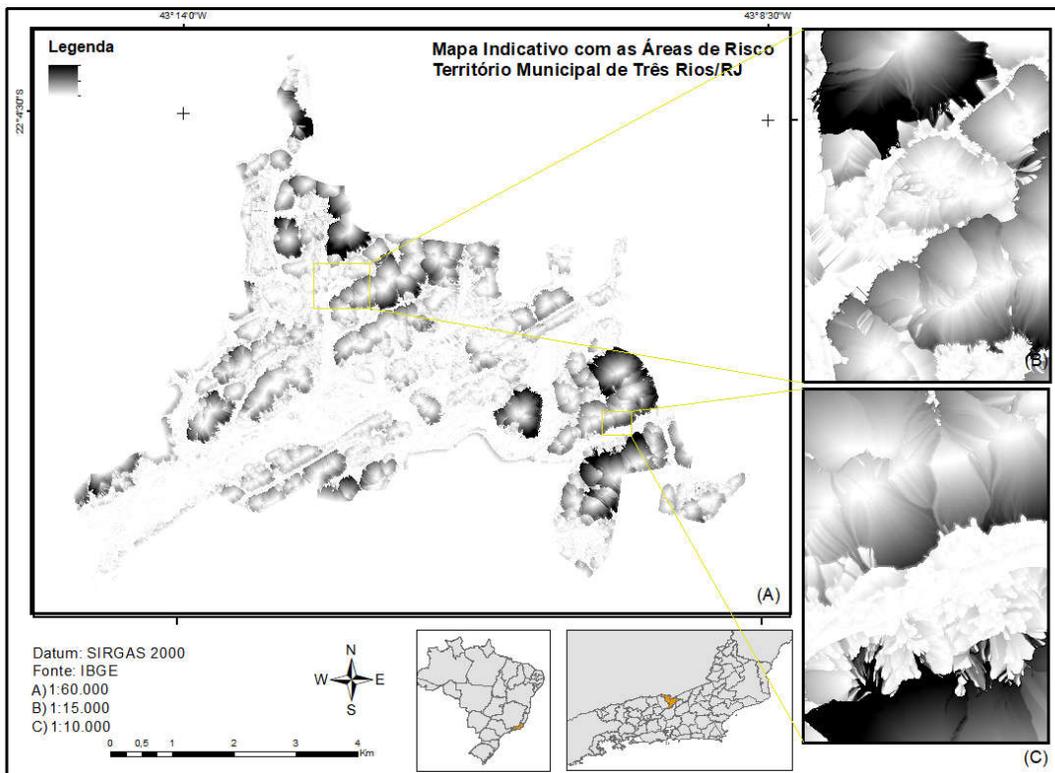


Figura 11 – Áreas vulneráveis, segundo os critérios topográficos, geotécnicos e hidrológicos; (B) Mapa anterior sobreposto a imagem de satélite

4. CONCLUSÕES

A importância de um estudo, com a associação de informações diversas e especializadas, tendem a aumentar o controle e a precisão dos resultados, condicionando o ambiente para as características de resistência dos materiais e, portanto, a maior e menor possibilidade de ocorrência de movimentos de massa. A dificuldade em se estudar uma quantidade grande de variáveis e as relações entre homem-natureza, criam oportunidade não exploradas de uso do espaço urbano. A forma pelas quais estas variáveis devem ser combinadas, permitem uma série de estudos de potencialidades e riscos, com uso de ferramentas qualitativas de suporte a decisão.

No caso em questão, foi proposto um estudo em escala municipal, que tem a vantagem de indicar todas as áreas com potencial de se tornar uma área de risco com base no relevo, parâmetros geotécnicos e precipitação anual. De posse deste mapa, pode-se sobrepor os padrões de uso do solo e ocupação urbana em ambiente SIG, permitindo uma análise inicial e indicativa para as ações posteriores mais enérgicas.

Os mapas da Figura 11, apresentam os locais na cidade que merecem atenção do poder público. De posse destes dados, o agente responsável pode verificar *in loco* as medidas a serem adotadas para a solução de potenciais problemas. O maior benefício desta metodologia é a velocidade em fazer uma análise de uma área extensa, a facilidade em integrar outras bases de dados e atualização de informações temporais.

5. REFERÊNCIAS

- AGEVAP. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Petrópolis: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.comitepiabanha.org.br/>>.
- CERRI, L. E. DA S.; AMARAL, C. P. Riscos Geológicos. In: Geologia de Engenharia. 5. ed. São Paulo: ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia), 1998. p. 301–310.
- DIETRICH, W. E.; BELLUGI, D.; ASUA, R. R. Validation of the Shallow Landslide Model, SHALSTAB, for Forest Management. In: AGU (Org.). Land Use and Watersheds: Human Influence on Hydrology and Geomorphology in Urban and Forest Areas. 2. ed. [S.l.]: Wigmosta, Mark S; Burges, Stephen J., 2001. p. 195–227.
- GERSCOVICH, D. M. S. Estabilidade de taludes - Vol 01 Campos, BrasilUERJ, , 1999.
- INEA-RJ. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro Relatório Síntese. Rio de Janeiro: [s.n.].
- LARRAIN, P.; SIMPSON-HOUSLEY, P. Percepción y prevención de catástrofes naturales en Chile. Investigaciones, n. 8, 1994.
- MARACHE, A. et al. Geotechnical modeling at the city scale using statistical and geostatistical tools: The Pessac case (France). Engineering Geology, v. 107, n. 3–4, p. 67–76, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.04.003>>.
- TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. Water Resources Research, v. 33, n. 2, p. 309–319, 1997. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/96WR03137>>.
- TAROLLI, P.; TARBOTON, D. G. A new method for determination of most likely landslide initiation points and the evaluation of digital terrain model scale in terrain stability mapping. Hydrology and Earth System Sciences, v. 10, n. 5, p. 663–677, 2006.
- TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres Naturais : conhecer para prevenir. São Paulo: [s.n.].
- UN; ISDR, I. S. FOR D. R. Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives. [s.l.] UN-ISDR, 2004. v. 1