

Comparação de métodos para a elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações - Sub-bacia do Arroio da Areia, Porto Alegre/RS.

OLIVEIRA, Guilherme Garcia de¹; GUASSELLI, Laurindo Antonio²

¹ Mestrando em Sensoriamento Remoto, CEPSSRM/UFRGS, Bolsista CAPES; g.g.oliveira10@gmail.com

² Prof. Dr. Departamento de Geografia/UFRGS

Resumo

A atividade humana provoca alterações na morfologia do terreno e na rede de drenagem, intensificando a ocorrência de inundações nas cidades. O aumento da vazão pluvial, decorrente da impermeabilização da superfície, compromete o sistema de drenagem, que não comporta tal fluxo de água. No mapeamento das áreas de inundação, o geoprocessamento surge como um recurso dinâmico, permitindo a manipulação de informações geográficas, contribuindo na interpretação geomorfológica e hidrológica, temáticas fundamentais na compreensão das inundações urbanas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo comparar critérios para o cruzamento de bases digitais, visando a elaboração de mapas de suscetibilidade a inundações. A área de estudo é a Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS, onde as inundações atingem área significativa. O Sistema de Informações Geográficas compreendeu: Modelo Numérico do Terreno (MNT), bases de declividade, geomorfologia, drenagem urbana, impermeabilização e ocupação do solo. Os mapas de suscetibilidade a inundações foram elaborados a partir do cruzamento destas bases com base em três métodos: A) utiliza a geomorfologia, a declividade, a ocupação e impermeabilização e a drenagem urbana; B) não considera a base de declividade; C) utiliza o MNT e a declividade, desconsiderando a geomorfologia. Ao comparar os métodos, se constatou que a diferença entre os mapas de suscetibilidade é maior nos topos e segmentos convexos dos morros. Nos cruzamentos A e C, a suscetibilidade nestas feições é supervalorizada, em virtude da baixa declividade desses padrões de formas. No cruzamento B, os morros têm baixa suscetibilidade a inundações, apresentando conformidade com a realidade, já que, somente as áreas planas inseridas nos terraços e planícies tiveram importância na ocorrência de inundações.

Palavras-Chave: geoprocessamento; inundações urbanas; geomorfologia; Sistema de Informações Geográficas.

Abstract

Human activity causes changes in the morphology of the land and to sewer, increased occurrence of floods in cities. The increased flow pluvial due to sealing the surface, commits the drainage system, which does not contain such a flow of water. In mapping the areas of flooding, the geoprocessing emerges as a dynamic resource, allowing the handling of geographic information, contributing in the interpretation geomorphological and hydrologic, thematic fundamental understanding of urban flooding. In that context, this study aimed to compare criteria for the intersection of digital databases, aimed at drawing up maps of susceptibility to flooding. The study is the Sub-basin of Arroio da Areia, in Porto Alegre/RS, where the floods hit area significantly. The Geographic Information System comprised: Digital Elevation Model (DEM), slope, geomorphology, urban drainage, waterproofing and occupation of land databases. The map of susceptibility to floods was prepared from crossing these databases according to three methods: A) geomorphology, slope, occupation and sealing and urban drainage; B) does not consider the slope database, C) uses the DEM and slope, disregarding the geomorphology. When comparing the methods, that the difference between the maps of susceptibility is higher in the tops and convex segments of hills. In crosses A and

C, susceptibility to these features has a great valorization, because of low slope of these morphological patterns. At the junction B, the hills have low susceptibility to flooding, presenting conform to reality. Only flat areas included in the plains and terraces had importance in the occurrence of floods.

Keywords: geoprocessing; urban flooding; geomorphology; Geographic Information System.

1. Introdução

O processo de urbanização implica na alteração de diversas dinâmicas naturais, modificando a morfologia do terreno e a rede de drenagem das bacias, influenciando nas inundações. A impermeabilização provoca a redução da infiltração de água no solo e o aumento do escoamento superficial. Há o aumento da vazão pluvial, comprometendo o sistema de drenagem, que não comporta tal fluxo de água.

Partindo disso, percebe-se a valiosa contribuição que, principalmente, a geomorfologia e a hidrologia oferecem no estudo das áreas de inundação. Estas ciências são fundamentais para explicar os processos desencadeados pela atividade humana, que têm origem nas alterações da morfologia e da rede de drenagem da superfície.

Segundo o Departamento de Esgotos Pluviais (DEP), da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA), alguns dos locais mais atingidos por inundações estão localizados na Sub-bacia do Arroio da Areia, na porção norte do município. A sub-bacia tem aproximadamente 11,7km² e seu curso principal 5,4km de extensão, apresentando um desnível de 121m.

A PMPA e o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) publicaram um volume do Plano Diretor de Drenagem Urbana direcionado para a sub-bacia. Neste, foram realizadas simulações para averiguar os pontos onde há falta de capacidade nos condutos, e avaliações de alternativas de controle para as inundações. No entanto, esse estudo não apresentou nenhum mapeamento das áreas mais frequentemente inundáveis.

O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações é um recurso muito importante para a leitura e compreensão dos episódios de inundações. A utilização dessas ferramentas permite a implantação de um SIG, reunindo um conjunto de bases digitais e de banco de dados que podem ser manipulados para realizar uma análise espacial de um fenômeno.

O presente trabalho integra um projeto de pesquisa, que tinha como objetivos elaborar um mapa de suscetibilidade a inundações, analisar a sua relação com a falta de

capacidade nos condutos do sistema de drenagem, e espacializar as áreas atingidas por inundações da Sub-bacia do Arroio da Areia. Os resultados encontrados mostraram limites na metodologia utilizada, principalmente do ponto de vista da análise morfológica da superfície.

Dando continuidade ao projeto, este trabalho tem como **objetivo** comparar critérios para o cruzamento de bases, visando a elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações.

2. Referencial Teórico

2.1. Inundações Urbanas

As inundações são eventos naturais que ocorrem devido ao extravasamento das águas do leito menor de um curso d'água. No entanto, a urbanização aumenta a probabilidade de ocorrências de inundações, pois promove a retirada da cobertura vegetal, o aterramento das áreas de várzeas e a impermeabilização do solo (Enomoto, 2004).

O mapeamento desses eventos, bem como das áreas suscetíveis a inundações, é importante para o controle e a prevenção de inundações. Para Nascimento *et al.* (1998), um mapa de inundação deve conter informações da cobertura vegetal; da impermeabilização dos lotes; do solo; da declividade e da topografia; das redes de drenagem natural e artificial.

Dias *et al.* (2004), ao elaborar um mapa de áreas com risco de enchentes, para uma bacia predominantemente rural, utilizou as seguintes bases: geomorfologia, declividade, uso e ocupação e solos. Entretanto, em áreas urbanas, outras variáveis são importantes no estudo de inundações, como o sistema de drenagem e a impermeabilização da superfície.

2.2. Geomorfologia no estudo de áreas de inundação

Segundo Ross (2003), o relevo apresenta diversos tipos de formas dinâmicas, que se manifestam de modo diferenciado ao longo do tempo e do espaço. Além disso, as atividades humanas exercem papel fundamental nas alterações das formas de relevo e dinâmicas de vertentes. O crescimento das áreas urbanas pressiona o meio físico, tendo como consequência deslizamentos, enchentes, inundações, etc. (Guerra & Marçal, 2006).

Os mapas geomorfológicos buscam apreender e representar a dinâmica e a gênese das formas de relevo, de diferentes dimensões (vertentes, colinas, morros, serras, etc.). Dessa

forma, uma carta geomorfológica deve fornecer elementos de descrição do relevo, identificar a natureza de todos os elementos do terreno e datar as formas (Ross, 2003).

Os padrões do relevo são determinantes para a delimitação de áreas suscetíveis a inundações e enchentes. Dias *et al.* (2004) colocam que a geomorfologia é o principal parâmetro influenciador das inundações. No entanto, considera a base de declividade no cruzamento para obter as áreas de inundação, ignorando o fato de que as informações de declividade estão inseridas no estudo geomorfológico.

2.3. Suscetibilidade a inundações

A suscetibilidade está diretamente relacionada à probabilidade de uma área ser atingida pelas inundações. Enomoto (2004) elabora mapas de inundação através da utilização de modelos hidrológicos. Essa metodologia busca determinar a distribuição temporal da chuva de projeto, a vazão de projeto através do modelo chuva-vazão IPH II e os níveis de enchente através do software HEC-RAS.

Dias *et al.* (2004) realizam o mapeamento de áreas de riscos de enchentes através da manipulação de bases digitais. Ao realizar o mapeamento, define pesos para os parâmetros influenciadores no cruzamento das bases: Geomorfologia (peso 27%), Declividade (peso 25%), Solos (peso 20%), Uso e Ocupação do Solo (peso 15%), Proximidades (peso 13%).

3. Materiais e Métodos

Foram utilizados os seguintes materiais no trabalho: imagens de satélite de alta resolução espacial, sensor QuickBird, de 2003; imagem de radar, sensor Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), resolução de 30m; base digital de solos obtida na Universidade Federal do Rio Grande do Sul; cartas da rede de esgoto pluvial, fornecidas pelo DEP.

3.1. Métodos

Para elaborar o mapa de suscetibilidade a inundações, segundo diferentes critérios de cruzamento, o trabalho foi estruturado nas seguintes etapas:

a) Processamento digital da imagem SRTM. Compreendeu a geração de um Modelo Numérico do Terreno (MNT), a partir da interpolação das informações altimétricas para cinco metros, por krigagem.

b) Elaboração da base de geomorfologia: se baseou em observações em campo, no MNT e nas bases derivadas, como curvas de nível, mapa de declividade e perfis topográficos. Considerou três padrões de formas: os morros, os terraços e as planícies fluviais.

Os morros foram segmentados, de acordo com as formas das unidades de vertente, em: topos plano/convexos (**Dc3**); segmentos retilíneos ou convexos (**Dc2**); segmentos côncavos (**Dc1**). Os terraços foram segmentados em terraços colúvio-aluvionares (**Arc2**) e alúvio-coluvionares (**Arc1**). As planícies fluviais (**Apf**) não foram segmentadas devido à relativa homogeneidade de formas no seu interior.

c) Elaboração da base de ocupação e impermeabilização: Foi realizado o mapeamento do uso e cobertura do solo, através da vetorização sobre o mosaico de imagens de satélite. Depois disso, realizou-se a ordenação dos tipos de solos presentes na sub-bacia, de acordo com o grau de impermeabilização, seguindo a metodologia de Tucci (2001).

As camadas vetoriais de uso e cobertura da superfície e de solos foram cruzadas para a aplicação de equações, que objetivam calcular o coeficiente de escoamento e estimar a impermeabilização, conforme proposta de Tucci (2001). Essas equações integram um modelo hidrológico que necessita de informações referentes às duas camadas vetoriais.

Após a aplicação das equações, foram obtidas as seguintes taxas de impermeabilização: áreas sem construção, de 14,2% a 42,8%; áreas construídas (edificações), 92,6%; arruamentos asfaltados, 92,6%; arruamentos de paralelepípedo, de 54% a 69,9%.

Com base no percentual das categorias acima, foi obtida a taxa de ocupação e impermeabilização (TOI) das quadras e dos arruamentos. De acordo com Fontes & Barbassa (2003) a TOI é obtida relacionando a área construída e a área livre de ocupação impermeabilizada com a área total de um local. Dessa forma, as unidades de uso e cobertura do solo e suas taxas de impermeabilização foram relacionadas com a área de cada quadra, as quais foram classificadas e nomeadas de A (valores inferiores) à J (valores superiores).

d) Elaboração da base de drenagem urbana. Foram vetorizados os arroios e os principais canais subterrâneos na sub-bacia. Em seguida, foram estabelecidas margens de proximidade dos arroios, canais principais e da confluência entre cursos d'água.

e) Elaboração do mapa de suscetibilidade a inundações, a partir do cruzamento das bases digitais elaboradas, de acordo com três métodos diferentes. O cruzamento A apresenta critérios e pesos semelhantes aos de Dias *et al.* (2004). O cruzamento B não considera a base de declividade nesta etapa, aumentando a contribuição da geomorfologia. O

cruzamento C utiliza o MNT e a declividade, desconsiderando a geomorfologia. Os pesos adotados baseiam-se em Dias *et al.* (2004), e são apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Critérios na elaboração da suscetibilidade a inundações

Cruzamento	Parâmetros	Peso	Categoria/Nota
A	Geomorfologia	27%	(Apf) – nota 10; (Arc1) – nota 8; (Arc2) – nota 7; (Dc1) – nota 3; (Dc2) – nota 2; (Dc3) – nota 1.
	Declividade	25%	0 a 2,5% (nota 10); 2,5 a 5% (nota 9); 5 a 10% (nota 7); 10 a 20% (nota 1); > 20% (nota 0).
	Ocupação e Impermeabilização	35%	Classes: J (nota 10); I (nota 9); H (nota 8); G (Nota 7); F (Nota 6); E (Nota 5); D (Nota 4); C (Nota 3); B (Nota 2); A (Nota 1).
	Drenagem Urbana	13%	Proximidade dos canais principais e confluência de cursos d'água (Nota 10).
B	Geomorfologia	52%	Idem ao cruzamento A.
	Ocupação e Impermeabilização	35%	
	Drenagem Urbana	13%	
C	Elevação	27%	cotas < 30m (nota 10); 30 a 40m (nota 8); 40 a 50m (nota 7); 50 a 80m (nota 2,5); > 80m (nota 1).
	Declividade	25%	Idem ao cruzamento A.
	Ocupação e Impermeabilização	35%	Idem aos cruzamentos A e B.
	Drenagem Urbana	13%	Idem aos cruzamentos A e B.

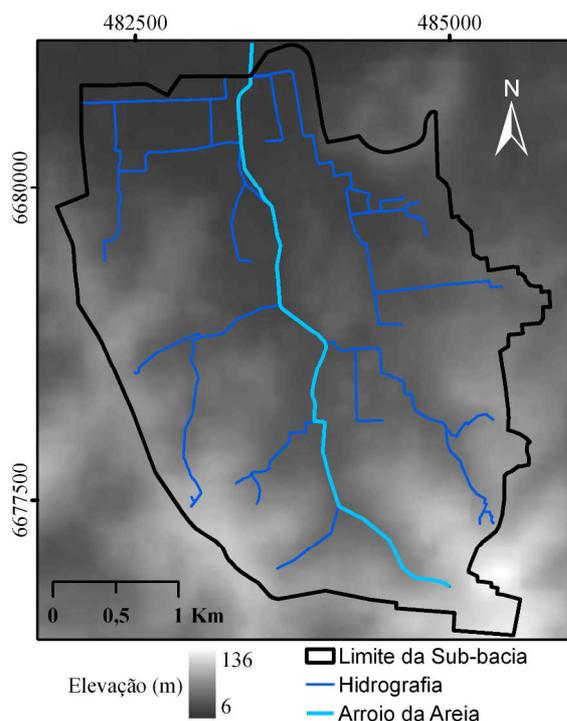
4. Resultados e Discussões

4.1. Modelagem do Terreno

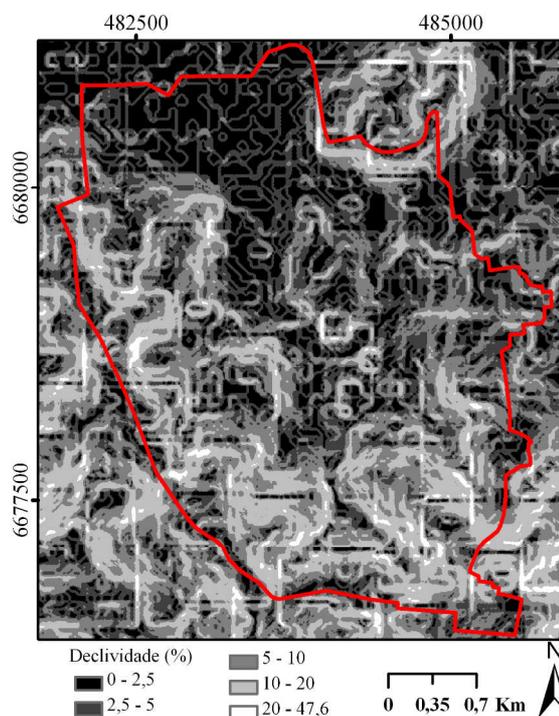
A modelagem do terreno, realizada através da interpolação dos dados da imagem SRTM, apresentou resultados satisfatórios. O MNT mostrou-se semelhante à superfície observada em campo e apresentou pouco deslocamento em relação à base de drenagem urbana, vetorizada sobre as imagens de satélite e as cartas do esgoto pluvial. Além disso, a interpolação por krigagem apresentou sensíveis ganhos na qualidade do modelo de elevação.

O MNT (**Mapa 1**) revela que a sub-bacia apresenta um desnível de 130m, desde os morros na porção sudeste, até o limite inferior na porção norte. O Arroio da Areia, com extensão de 5400m, apresenta o maior gradiente altimétrico (80m) nos primeiros 1000m de extensão, variando apenas 40m no restante de seu curso. O **Mapa 2**, de declividades, foi elaborado a partir do MNT.

Mapa 1: Modelo Numérico do Terreno



Mapa 2: Declividade



4.2. Geomorfologia

O mapeamento geomorfológico (**Mapa 3**) representa as feições do relevo relevantes às áreas suscetíveis a inundação. A sub-bacia está inserida em duas unidades morfoesculturais: a) Escudo Sul-Rio-Grandense: onde estão inseridos os morros; b) Planície Costeira: onde estão inseridas as planícies e terraços fluviais, ao norte da sub-bacia.

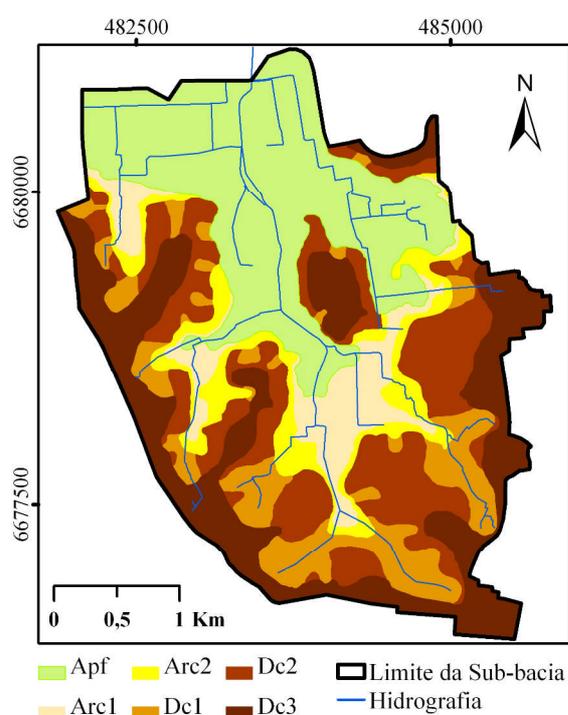
Nos topos dos morros (**Dc3**) predominam a infiltração e o escoamento subsuperficial, enquanto nos segmentos convexos ou retilíneos (**Dc2**), os escoamentos difuso (altas e médias vertentes) e concentrado (baixas vertentes). Já nos segmentos côncavos de vertente (**Dc1**) observa-se maior escoamento, tanto difuso quanto concentrado, do que infiltração e escoamento subsuperficial. No entanto, a ocupação antrópica provoca a retirada da vegetação da encosta e a redução da infiltração da água. Dessa forma, há o aumento significativo do escoamento concentrado, muitas vezes seguindo a direção dos arruamentos.

Os terraços e planícies são caracterizados pela deposição dos sedimentos, transportados por processos fluviais. Os terraços colúvio-aluvionares (**Arc2**) representam o primeiro nível de deposição. Os terraços alúvio-coluvionares (**Arc1**) representam o nível de deposição mais próximo aos arroios. A planície fluvial (**Apf**) é o último estágio de deposição.

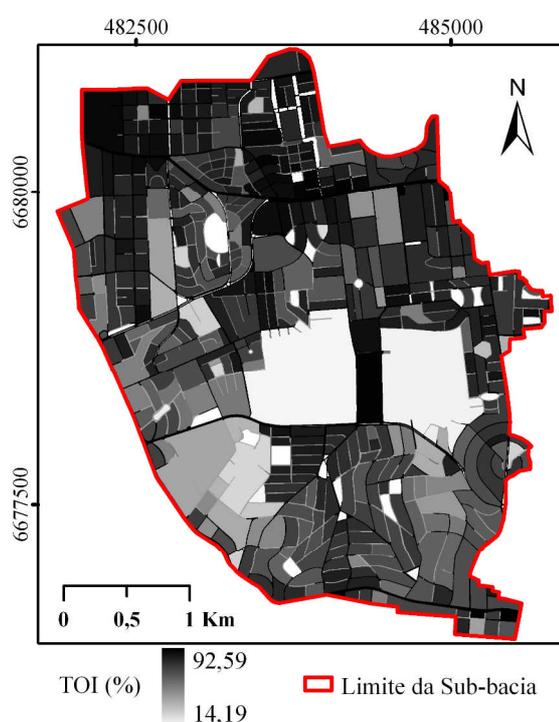
4.3. Ocupação e Impermeabilização

A TOI, obtida pelo cruzamento do uso e cobertura da superfície com a base de solos, é resultado da aplicação de um modelo hidrológico proposto por Tucci (2001). O **Mapa 4**, apresenta a variação da TOI entre quadras e arruamentos, e revela que: a) As maiores TOI correspondem às quadras comerciais e industriais, localizadas predominantemente no norte da sub-bacia, onde ocorrem os tipos de solos Gleissolos Háplicos e Planossolos Hidromórficos; b) As quadras residenciais com lotes pequenos e condomínios com pouca área de gramado e jardim também apresentaram elevadas TOI.

Mapa 3: Feições Geomorfológicas



Mapa 4: TOI



4.4. Suscetibilidade a inundações

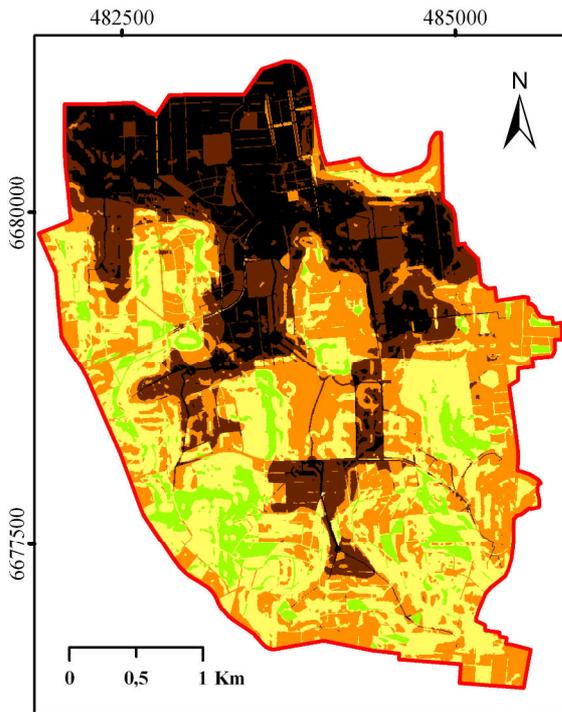
A suscetibilidade a inundações, obtida a partir dos cruzamentos de bases digitais, apresenta as áreas com maior probabilidade de ocorrência de inundação. O resultado dos cruzamentos A, B e C é apresentado nos **Mapas 5a, 5b e 5c**.

A análise dos Mapas 5a, 5b e 5c permite que se faça as seguintes considerações:

a) Nos três cruzamentos a tendência de maior suscetibilidade na porção norte da sub-bacia manteve-se. Esta área é caracterizada por elevadas TOI, declividade baixa e áreas de confluência de drenagem;

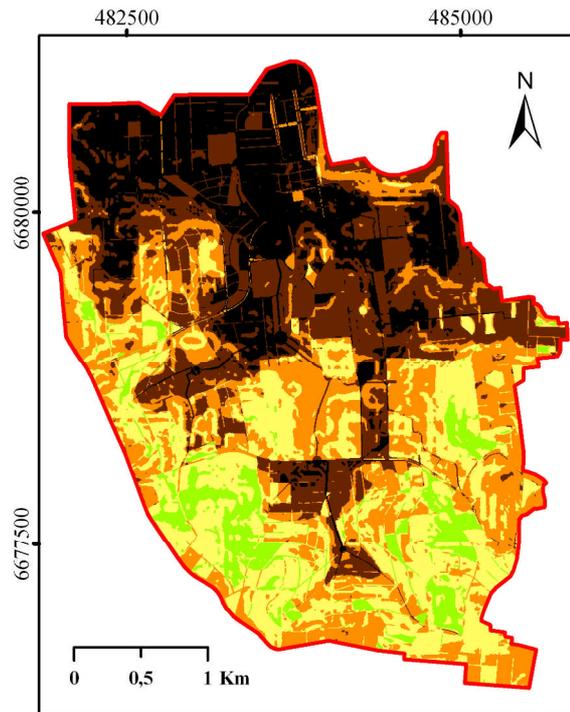
Mapa 5a: Suscetibilidade a inundações

Cruzamento A



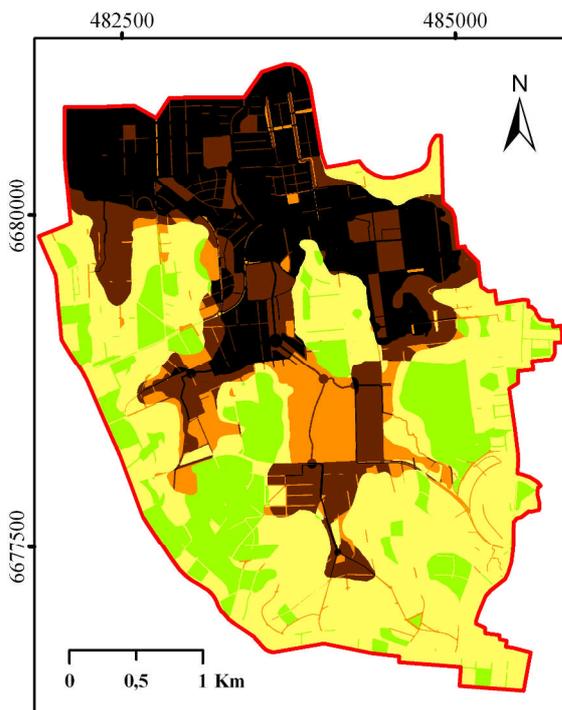
Mapa 5c: Suscetibilidade a inundações

Cruzamento C



Mapa 5b: Suscetibilidade a inundações

Cruzamento B



b) O cruzamento A, mais semelhante à metodologia aplicada por Dias *et al.* (2004), ignora o fato de que a declividade está inserida no contexto geomorfológico. Desta forma, ao considerarmos novamente a variável no cruzamento final, a suscetibilidade nos topos dos morros aumenta em virtude da baixa declividade deste padrão de formas;

c) O cruzamento B sugere que a geomorfologia seja o principal parâmetro na delimitação das áreas suscetíveis a inundações, e classifica os morros nas classes inferiores, representando de forma adequada o que ocorre na realidade. Somente áreas planas inseridas nos terraços e planícies terão significativa importância para a ocorrência de inundações;

d) Nos cruzamentos A e C, as áreas mais planas dos morros (principalmente os topos plano/convexos) são supervalorizadas, com índices de baixa a média suscetibilidade a inundações. No entanto, sabe-se que na realidade, os compartimentos inseridos no padrão de morros têm índices de muito baixa a baixa suscetibilidade;

e) A utilização do MNT (cruzamento C) para estimar as áreas mais suscetíveis a inundações não se mostra adequada, em virtude de o arroio principal apresentar considerável desnível altimétrico. Algumas áreas localizadas entre as cotas 30m e 40m estão inseridas no compartimento de morros e colinas, em virtude da acentuada declividade. Outras áreas localizadas entre as mesmas cotas, estão localizadas em área de terraços ou planície. Essa complexidade de formas no interior da sub-bacia justifica o mapeamento geomorfológico.

A **Tabela 2** apresenta o valor médio de suscetibilidade por compartimento geomorfológico, onde se constata que a diferença dos valores de suscetibilidade entre os métodos é maior nos segmentos convexos e topos dos morros. A Tabela 2 também mostra como o cruzamento B valoriza as áreas inseridas na planície, elevando a suscetibilidade de ocorrência de inundações neste padrão.

Tabela 2: Valor Médio de Suscetibilidade por compartimento geomorfológico

Cruzamentos	A	B	C
	Suscetibilidade a Inundações		
Planície Fluvial	79,81	83,04	79,60
Terraços Alúvio-Coluvionares	67,14	67,89	67,26
Terraços Colúvio-Aluvionares	62,29	61,52	64,18
Segmentos Côncavos dos Morros	42,96	40,86	43,62
Segmentos Convexos dos Morros	42,19	34,40	48,81
Topos Planos dos Morros	46,24	31,59	51,32

5. Considerações Finais

O mapeamento geomorfológico é recomendado para a delimitação de áreas de inundação no interior de uma bacia, pois considera as complexidades das formas, que não seguem um determinado padrão altimétrico de fácil delimitação.

Ao analisar os mapas de suscetibilidade a inundações, conclui-se que o método mais adequado para a elaboração da base de suscetibilidade a inundações é o que exclui a declividade e o MNT como parâmetros influenciadores (cruzamento B). Fica evidente que, uma vez realizado o mapeamento geomorfológico, a base de declividade pode ser desconsiderada na etapa de cruzamento que visa elaborar o mapa de suscetibilidade a inundações.

Uma das poucas vantagens na utilização do MNT e da declividade no cruzamento final está associada ao menor tempo para elaboração da base de suscetibilidade, uma vez que exclui etapas de interpretação e análise das formas de relevo.

Um aspecto da metodologia interessante de ser destacado se refere à combinação de modelos hidrológicos com análises geográficas, como a realizada na obtenção da taxa de ocupação e impermeabilização das quadras e arruamentos.

6. Referências

DIAS, J. E. *et al.* Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: o caso do município de Volta Redonda/RJ. In: SILVA, J. X. da, ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 143-177.

ENOMOTO, C. F. Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FONTES, A. R. M., BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da ocupação e impermeabilização urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre-RS, v.8, n.2, p.137-147, abr/jun, 2003.

GUERRA, A. J. T., MARÇAL, M. dos S. Geomorfologia Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

NASCIMENTO, G. A. *et al.* Adequate Mapping-a non estrutural Measure on urban drainage. In: International Workshop On Non Structural Flood Control in Urban Areas, 22 a 24 de Abril, 1998, São Paulo. Anais.

REHBEIN, M. O. Análise ambiental urbana: Vila Augusta/Viamão/RS. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia: ambiente e planejamento. 7. ed. São Paulo: Contexto, 2003.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: EdUFRGS, 2001.